

ESTILOS ESTRUCTURALES EN LA ZONA MARGINAL DE LA FAJA PLEGADA DE SAN BERNARDO Y SU RELACION CON LOS SISTEMAS PETROLEROS, SARMIENTO, PROVINCIA DEL CHUBUT, ARGENTINA.

Luis A. Chelotti¹ y Juan F. Homocv²

¹ Tecpetrol S.A. Comodoro Rivadavia. Chubut.

² YPF S.A. Comodoro Rivadavia. Chubut.

Keywords: Structural Styles, San Bernardo Foldbelt, Petroleum Systems, San Jorge Basin, Argentina.

Abstract: Structural Styles in a marginal area of the San Bernardo Foldbelt and its relationship with Petroleum Systems, Sarmiento, Chubut Province, Argentina. Structural characteristics of a transition area, between the eastern eastward extensional trend (Juro-Cretaceous) and the superimposed northward San Bernardo Foldbelt (Tertiary) are analyzed. The goal is to establish a link between Neocomian halfgrabens paleogeography and the occurrence of potential oil housing structures concerning the Cretaceous reservoirs. Location, width and strike of those halfgrabens in relation to the regional stresses are key elements in the petroleum systems performance. Both depth and original thickness of the Neocomian interval were critical factors in the later hydrocarbons generation. The rôle of master faults as main migration paths, together with the development of reservoirs close to them, is proved by the location of some oil accumulations recently discovered.

reactivación transtensiva del Cretácico habiendo experimentado leves episodios distensivos terciarios (Chelotti, 1997). El segundo dominio corresponde a la Faja de San Bernardo originalmente extensional, donde la sobrepuesta fase compresiva neógena produjo inversión tectónica con rumbo general NNW y polaridades variables (Homocv et al., 1995).

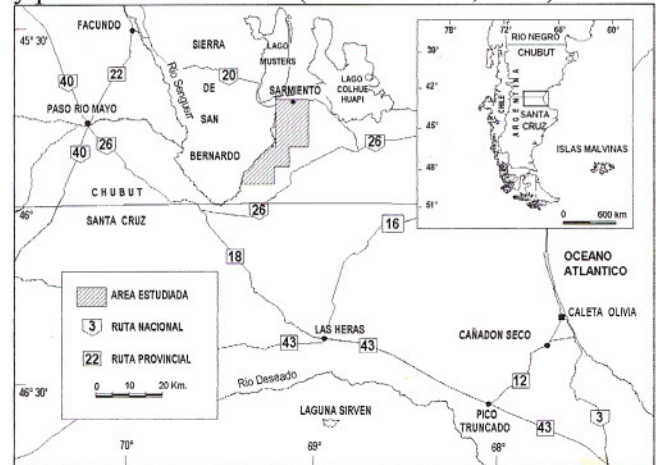


Figura 1 : Mapa de ubicación del área estudiada

INTRODUCCION

El área estudiada se extiende sobre el entorno de la localidad de Sarmiento y la zona aledaña a las estribaciones orientales de la Sierra de San Bernardo, en el centro-sur de la Provincia del Chubut, Patagonia Argentina (Fig. 1).

Numerosos autores han trabajado en esta región (desde Windhausen, 1924, y Feruglio, 1929) en la que se confunden dos estilos tectónicos de la cuenca del Golfo San Jorge. El primero corresponde al dominio extensional que comprende hemifosas Jurásico-Neocomianas, con fallas maestras de rumbo modal WNW y ESE con bloque bajo al sur, -- características del flanco norte de la cuenca del Golfo San Jorge-, que han tendido a conectarse involucrando unidades cretácicas generando pliegues asociados. Este conjunto presenta rasgos de

En la Fig. 2 se sintetiza la columna estratigráfica para el área tratada, incluyendo la denominación formal que reciben las unidades afloradas a lo largo de la Sierra de San Bernardo. La Formación Bajo Barreal ha documentado hidrocarburos generados en los depocentros neocomianos y migrados sub-verticalmente a través de fallas (Sciutto, 1981). La magnitud de las acumulaciones está controlada por el desarrollo que alcanzan los reservorios aledaños a las zonas de fallamiento.

SISTEMA	SERIE	PISO	FORMACION
Cuartario			FM.TEHUELCHE
TERCIARIO		Plio-Mioceno	
		OLIGOCENO	
		EOCENO	FM SARMIENTO
CRETACICO	SUPERIOR	PALEOCENO	FM. RIO CHICO
			FM SALAMANCA
		MAASTRICHTIANO	FM LAGUNA PALACIOS
		CAMPANIANO	
		SANTONIANO	
	INFERIOR	CONIACIANO	FM.BAJO BARREAL
		TURONIANO	
		CENOMANIANO	
		ALBIANO	FM CASTILLO
		APTIANO	FM MATASIETE
JURASICO	SUPERIOR	BARREMIANO	
		HAUTERIVIANO	FM POZO D-129
		VALANGINIANO	FM.P.CERRO GUADAL
	MEDIO	BERRIASIANO	FM.POZO ANTICLINAL AGUADA BANDERA
		KIMMERIDGIANO	
		OXFORDIANO	
		CALLOVIANO	
		BATHONIANO	GRUPO LONCO TRAPIAL
	INFERIOR	BAJOCIANO	
		ALENIANO	
	TOARCIANO		
	PLIENSBACHIANO		
	SINEMURIANO	LIAS	
	HETTANGIANO		
BASAMENTO PRE-JURASICO INDIFFERENCIADO			

Figura 2 : Columna estratigráfica de la región.

Se dispuso de un conjunto de secciones sísmicas de reflexión (2D, registradas por YPF en los años '80 y '90) que completaron un mallado medio de unos 2 km de lado en los sectores no aflorados. La calidad de los datos es regular a buena y su interpretación fue realizada sobre una estación de trabajo. Partiendo de la información de pozos de exploración petrolera se interpretaron distintos niveles guía y se elaboraron mapas isócronos e isocronopáquicos entre éstos.

Se contó con un total de 25 sondeos a profundidades del orden de los 2000 metros. Estos aportaron información diversa (pases formacionales, arreglos de secuencias, variaciones de facies) además de los registros de velocidad que brindaron la relación de profundidad versus tiempo sísmico.

Los datos geoquímicos más representativos corresponden a los obtenidos de un sondeo , sobre el que se realizaron consideraciones acerca de la

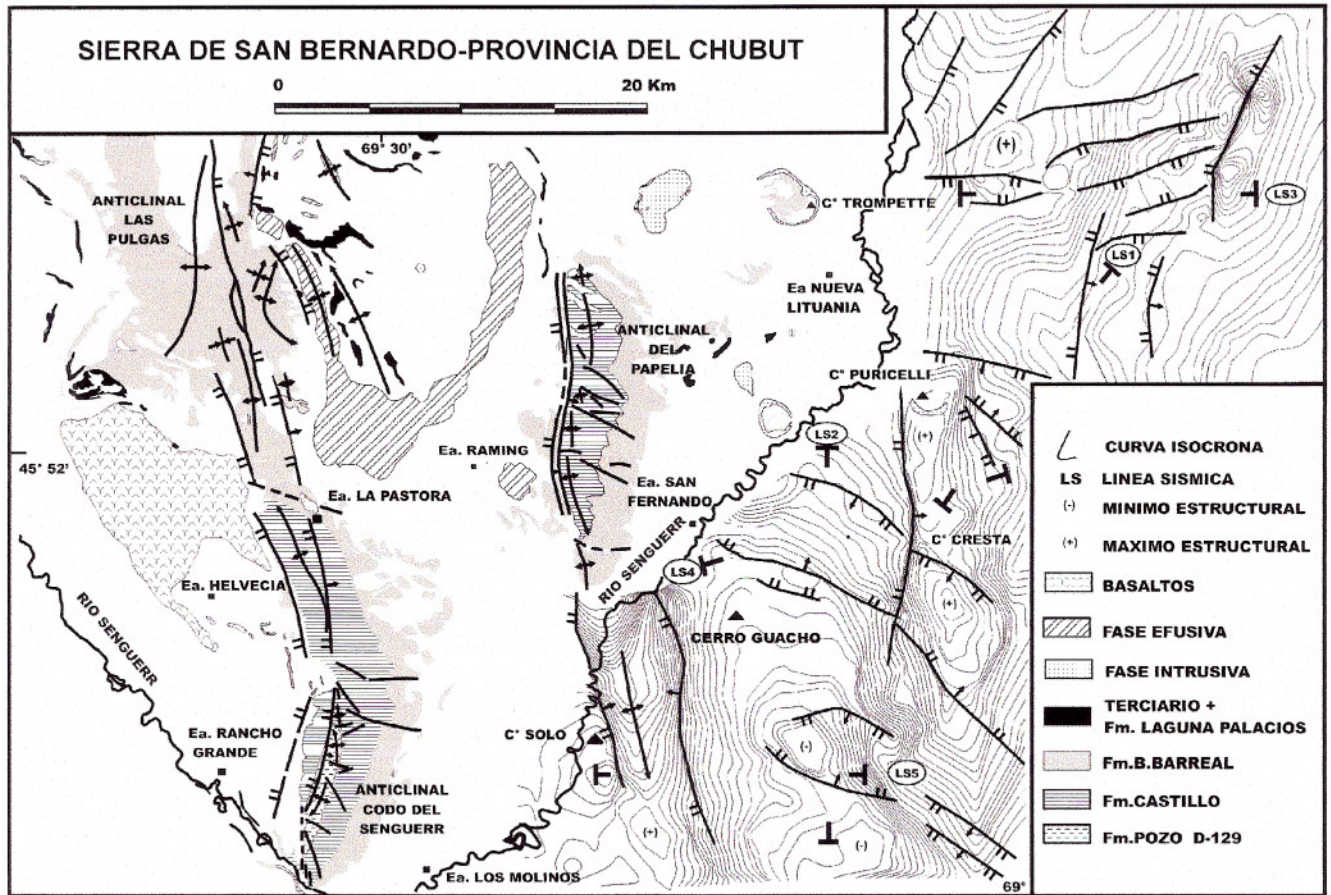


Figura 2 : Plano geológico y sísmico al tope de la Fm. Castillo

potencialidad de roca madre de las diferentes unidades atravesadas. La estratigrafía y la estructura de las formaciones cretácicas aflorantes a lo largo de la

Metodología de trabajo

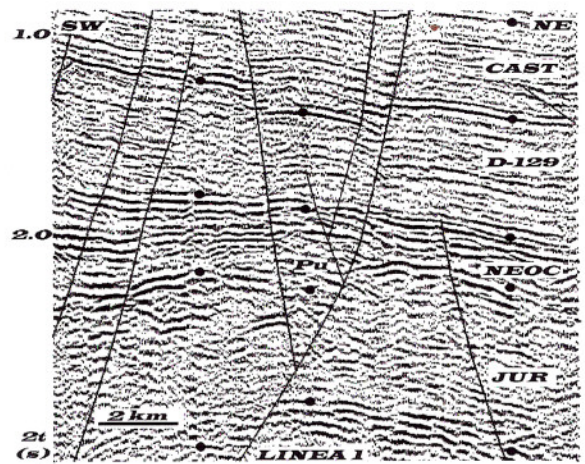
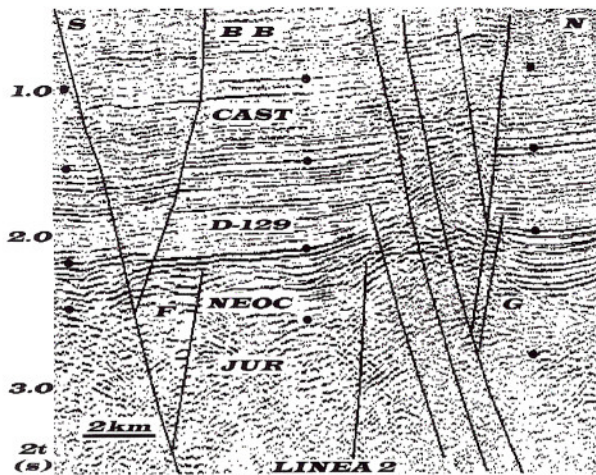


Figura 4 : Secciones sísmicas mostrando la extensión N-S. Hemifosas F (Funes), G (Guacho) y Pu (Puricelli).

Sierra de San Bernardo constituyen elementos de gran importancia en la correlación directa y en el establecimiento de analogías con la zona investigada.

CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES

La evolución tectónica puede deducirse a partir de la integración de los datos disponibles, resultando clara la visualización de conjunto en las secciones sísmicas y sus planos derivados (Fig. 3).

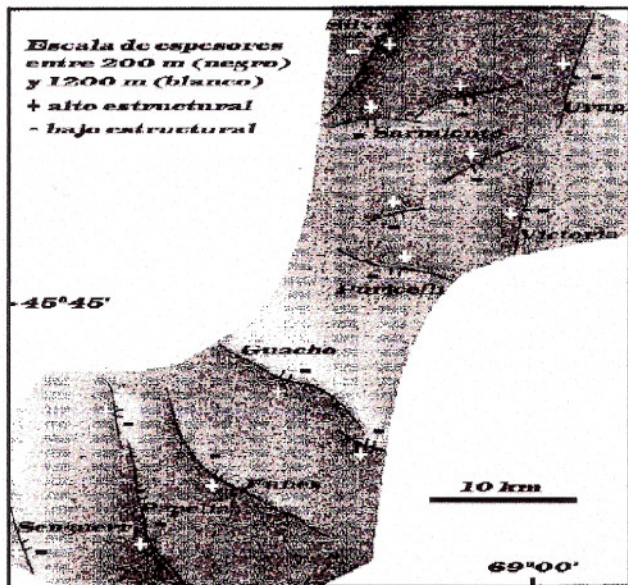


Figura 5 : Plano isópaco (sísmico) del Neocomiano, con fallas maestras y hemifosas.

En las secciones de rumbo N-S, paralelas a la dirección de los esfuerzos extensionales mayores que afectaron a la cuenca (Fig. 4), pueden observarse con

nitidez los resultados de la mayor parte de la historia tectónica, excepto los rasgos estructurales que reflejan la acción de los procesos compresivos del Neógeno. Estos, en cambio, son claros en las secciones de rumbo E-W, dado que ésa fue la dirección de los esfuerzos compresionales que indujeron la reactivación tectónica, prácticamente normal a la extensión previa.

Es ilustrativo observar el mapa isópaco sísmico (valores de tiempo doble $-2t-$ entre techo y base convertidos a espesor en metros, Fig. 5) referido al conjunto de secuencias neocomianas (Formaciones Pozo Anticlinal Aguada Bandera y Pozo Cerro Guadal) que son parte del relleno final del rift jurásico y que constituyen unidades tecto-sedimentarias que reflejan las características de un estadio fundamental en la generación de la cuenca. Las secuencias de relleno inicial (Grupo Lonco Trapial) no fueron mapeadas dada la pobre resolución sísmica de esos niveles, pero, para esta área, su distribución es comparable a aquella de las secuencias del relleno final, aunque con mayor potencia. El techo del Neocomiano se sitúa a profundidades calculadas entre los 2500 y 4000 metros y su espesor oscila entre los 200 y 1200 m. Un pozo ubicado en la zona de La Victoria, atravesó completamente las secuencias neocomianas en posición de flanco tendido, mientras que otro en C° Cresta sólo interesó la porción superior en una situación más central de una hemifosa jurásica.

Puede verse que la orientación dominante de las fallas formadoras de graben es WNW-ESE (desde WSW-ENE hasta NW-SE), con excepción de las porciones sudoccidental (donde se observa un arribamiento NNW-SSE) y septentrional (con

rumbo SW-NE). En las líneas sísmicas 1 y 2 (Fig. 4) se aprecian típicas pero diferenciadas hemifosas: mientras que en la primera presentan la vergencia usual del flanco norte, en la línea 2 éstas poseen vergencia opuesta, con las características tectónicas del flanco sur de la cuenca. Al analizar la distribución de espesores de las unidades neocomianas (Fig. 5) las hemifosas “Sarmiento” y “Puricelli” cotejan con la vergencia dominante más al este, en el flanco norte. Pero las denominandas “Guacho” y “Funes” son opuestas; aquellas del suroeste (“Papelia” y “Senguerr”) tienen otro rumbo (NNW), y las hemifosas “Silva” y “Uruguay” (así como “Victoria”), al norte, presentan otra orientación (NNE) y vergencias opuestas entre sí.

Este mosaico estructural indica que la tectónica más sencilla de la cuenca central y oriental (arrumbada al ESE) deviene en una situación más compleja en la transición a la faja de San Bernardo, de rumbo NNW. Faja que, además de diferir en la orientación general, no posee dos flancos de vergencias claramente definidas, sino una alternancia irregular de hemifosas jurásicas. Estas últimas geometrías reflejan aquellas atribuidas a episodios tectónicos más antiguos: desarrollo de cuencas del Carbónico o eventos del rifting Permo-Triásico (Ugarte, 1966; Veevers et. al., 1994) los que han dejado una fuerte impronta en la ulterior generación de espacio para el acomodamiento de los sedimentos.

Las subsiguientes fases extensionales, vinculadas a la subsidencia termal del Cretácico Inferior alto a Superior, acentuada durante el Albiano, se canalizaron básicamente sobre los lineamientos jurásicos preexistentes, siendo los rumbos sub-paralelos de la zona oriental los más favorables a la extensión. Las zonas de transferencia se desarrollaron allí donde existían zonas de acomodación entre hemifosas, controladas a su vez por lineamientos submeridianos de una fábrica más antigua.

Las fases distensivas del Maastrichtiano-Paleoceno y Oligoceno-Mioceno basal (promotoras de sendas intrusiones atlánticas) tuvieron menor envergadura, aunque la segunda disparó un importante episodio efusivo e intrusivo de naturaleza básica-alcalina. Los afloramientos de los cerros Solo, Guacho y Puricelli (Fig. 3) atestiguan estos fenómenos. En subsuelo la sísmica verifica la continuidad de las rocas hipabisales exhumadas en el cerro Puricelli.

Las antiguas fallas maestras reactivadas, o sus antitéticas principales, se transformaron en vías de

migración de los hidrocarburos generados en los depocentros neocomianos aledaños (Fig. 4).

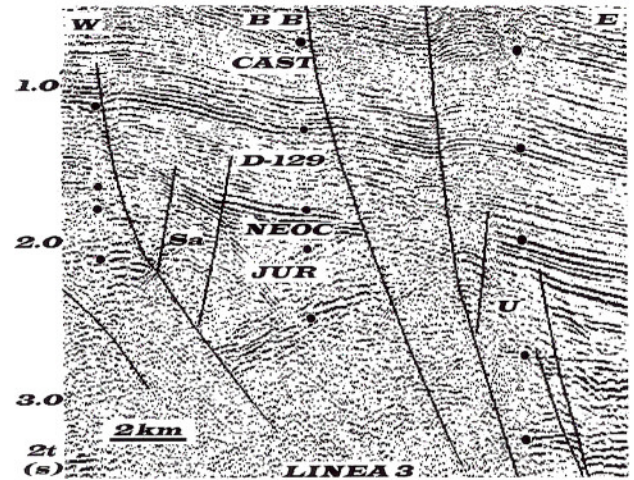


Figura 6 : Inversión tectónica sobre fallas total o localmente submeridianas : Hemifosas U (Uruguay) y Sa (Sarmiento), respectivamente.

Finalmente, durante el Mioceno Medio actuaron los esfuerzos compresivos-transpresivos que causaron la reactivación tectónica. La perturbación de la geometría cónica del intrusivo del cerro Puricelli es un elemento estructural que refleja localmente el límite temporal inferior de esta etapa de deformación. La correlación con la fase Quechua parece ajustarse en forma razonable a estas evidencias (Chelotti, 1997).

Los procesos de inversión actuaron sobre las fallas maestras submeridianas, tanto más cuanto más N-S era el rumbo de éstas (Fig. 6). Los límites parecen ser desde N45°W hasta N45°E. Para ángulos más cercanos a los paralelos sólo pudieron haber movimientos de rumbo. La hemifosa Sarmiento, resulta parcialmente invertida allí donde su rumbo, - localmente - N40/45°E - se corresponde a una zona de acomodación entre dos segmentos (Fig. 6). Otro ejemplo particular, aunque repetido fuera del área de estudio, es el del anticlinal de Cerro Cresta (Fig. 7), que, a falta de un rumbo favorable en la falla maestra de la hemifosa Guacho, se levantó sobre un lineamiento N-S pre-Jurásico. Este había condicionado un desplazamiento en la traza de falla, es decir, dos segmentos de falla maestra se relevaron en el cruce con la línea regmática submeridiana, y allí se elevó más tarde la antifirma. Este, como muchos otros lineamientos de la cuenca, representa una franja de transferencia cuya localización fue favorecida por un lineamiento más antiguo. Otros casos diferenciados son aquellos que muestran corrimientos localizados

vinculados a hemifosas infrayacentes (Fig.8), esto es, soluciones alternativas para comprimir estratos allí donde la geometría preexistente no era plenamente favorable (¿muy alta inclinación de la falla maestra?).

El proceso de inversión tectónica no avanzó tangencialmente desde un frente orogénico (no existe tal rasgo tectónico a estas latitudes) sino que ocurrió como una reactivación sincrónica de fallas distribuidas a lo largo de la fábrica invertida (Uliana et al., 1995). No se aprecia una vergencia general definida en la faja plegada. La vergencia de cada estructura particular producida por reactivación se corresponde con la de las estructuras extensionales previas, tanto si se trata de fallas maestras como de otras de menor envergadura. Se presume un fenómeno no enteramente compresional, sino transpresivo, aunque la componente regional levógira (Stach, 1986) resulta difícil de mensurar.

El área más intensamente afectada por inversión tectónica -la faja de San Bernardo- es aquella en la que mayor desarrollo presentó la etapa de rift: allí donde la corteza experimentó el mayor adelgazamiento. Esta área coincide a su vez, con una zona de debilidad regional preexistente en la que se desarrollaron cuencas transtensionales Carbónico-Pérmicas y se emplazaron intrusiones graníticas durante el Triásico. Sin embargo la subsidencia termal -reflejada en el mayor desarrollo de los espesores de las unidades post-neocomianas- tuvo lugar al este de la mencionada faja, donde se encuentran las facies lacustres generadoras de la Fm Pozo D-129, y allí el proceso de reactivación tectónica tuvo una expresión muy reducida.

SISTEMAS PETROLEROS

Las características estratigráficas del intervalo generador -Fm Pozo D-129 y equivalentes- y los estudios de factibilidad realizados acerca de la misma, indican que esta unidad, principal generadora en la cuenca, no presentaría facies adecuadas para la generación en esta área. Las secuencias neocomianas, en cambio, han alcanzado gran desarrollo de espesor y facies favorables en los depocentros mayores, y se las considera como posibles generadoras en el ámbito de estudio (Laffitte y Hechem, 1993).

Las trampas originales han obedecido a la tectónica extensional. La combinación de fallas maestras profundas que se conectan con los depocentros principales, conjuntamente con la

disposición de los reservorios arenosos en forma aledaña a aquellas, resulta importante para el entrapamiento de los hidrocarburos en el área. Hechem (1997) propone un control en la distribución de los elementos clásticos de la Fm Bajo Barreal relacionada a la actividad de las fallas extensionales, definiendo un patrón de drenaje longitudinal en este ámbito. El tamaño de la trampa se relaciona con la magnitud que alcanzan los reservorios adyacentes a las fallas. La migración ha sido subvertical a lo largo de las fallas mayores y en sentido horizontal, dada la discontinuidad de los reservorios fluviales de la Fm. Bajo Barreal, las vías de migración debieron haber sido poco eficaces. La Fm Castillo presenta facies desfavorables como reservorio dado el alto contenido tobáceo y sus inadecuadas propiedades petrofísicas.

La tectónica compresiva miocena ha modificado las estructuras originales provocando la remigración de los hidrocarburos, en algunos casos escapados a la superficie, y la erosión plio-pleistocena ha desventrado muchos de los anticlinales mayores. De cualquier manera, si bien localmente controlados por antiformal producto de la inversión tectónica, los patrones de localización de los hidrocarburos responden principalmente a la estructuración extensional previa en trampas combinadas.

CONCLUSIONES

El área estudiada presenta características estructurales debidas a su ubicación en una zona de transición entre dos dominios tectónicos de particulares desarrollos extensionales: uno, el de San Bernardo, con arrumbamiento promedio NNW-SSE (aunque variable), polaridades cambiantes, espesos depósitos de sinrift (Jurásico-Neocomiano) y menores de la fase de desplome (Grupo Chubut); el otro, vinculado al flanco norte de la cuenca, con rumbo WNW-ESE, más homogéneo, con bloques colgantes al sur, moderados espesores de sinrift y mayores de postrift (Cretácico Inferior alto-Terciario). A estas fábricas se sumó la tectónica compresiva miocena, que actuó principalmente sobre las líneas N-S y con predominio en la faja de San Bernardo, donde el adelgazamiento cortical habría sido inicialmente mayor.

El petróleo migró subverticalmente desde su principal roca madre, de edad neocomiana, hasta los reservorios del Cretácico Superior. Las fallas extensionales mayores constituyeron las vías

migratorias hasta las trampas combinadas que posteriormente fueron modificadas por la fase compresiva. Parte de los hidrocarburos remigraron o escaparon a la superficie, pero los patrones de yacencia mayores siguieron respondiendo a la estructuración extensional.

REFERENCIAS

- Chelotti, L., 1997. Evolución tectónica de la Cuenca del Golfo San Jorge en el Cretácico y Terciario: algunas observaciones desde la interpretación sísmica. B.I.P. N°63: p. 925-1025. Buenos Aires.
- Feruglio, E., 1929. La constitución geológica de la región del Golfo San Jorge. B.I.P. N°63: p. 925-1025. Buenos Aires. Boletín de Informaciones Petroleras. N° 49.
- Gust, D., Biddle, K., Phelps, D. y M. Uliana, 1985. Associated middle to late Jurassic volcanism and extension in southern South America. Tectonophysics, V. 116: p. 223-253.
- Hechem, J., 1997. Arquitectura y paleodrenaje del sistema fluvial efímero de la Formación Bajo Barreal, Cuenca del Golfo San Jorge, Argentina. Actas del 1° Congreso Latinoamericano de Sedimentología, Porlamar, Venezuela. Noviembre 1977.
- Homoc, J., Conforto, G., Lafourcade, P. y L. Chelotti, 1995. Fold belt in the San Jorge Basin, Argentina: an example of tectonic inversion. In Basin Inversion, Geological Society Sp. Publ. N°88 (J. Buchanan and P. Buchanan Eds.): p. 235-248. Oxford.
- Laffitte, G.A., and J.Hechem,1993. Hydrocarbon generation and migration in the Western Golfo San p. 167-320. Córdoba.
- Jorge Basin, Argentina. In: Mello, M.R. and Trindade, L.A.F. (Eds) Third Latin American Congress on Organic Geochemistry, Extended Abstracts: 69-71. Alagoas, Brazil.
- Sciutto, J.C., 1981. Geología del codo del Río Senguerr, Chubut, Argentina: Octavo Congreso Geológico Argentino, Actas, V..3, p. 203-219.
- Stach, N.H., 1986. Fotointerpretación de la zona comprendida entre Cerro Ferrarotti-Cañadón Grande y el Codo del Senguerr, Provincia del Chubut. Inédito YPF. Buenos Aires.
- Ugarte, F., 1966. La cuenca compuesta Carbonífera-Jurásica de la Patagonia Meridional. Anales Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, V. 1: p. 37-68. C. Rivadavia.
- Uliana, M.A., Arteaga, M.E., Legarreta, L., Cerdán, J.J., y G. Peroni, 1995. Inversion structures and hydrocarbon occurrence in Argentina. In Basin Inversion, Geological Society Sp. Publ. N°88 (J. Buchanan and P. Buchanan Eds.): p. 211-233. Oxford.
- Veevers, J.J., Powell, McA., Collinson, J.W. and O.R. López Gamundí, 1994. Synthesis, in Veevers, J.J., and Powell, C. Mc.A., eds., Permian-Triassic Pangean Basins and Foldbelts Along the Panthalassan Margin of Gondwanaland: Boulder, Colorado, Geological Society of America. Memoir 184.
- Windhausen, A., 1924. Líneas generales de la constitución geológica de la región situada al oeste del Golfo de San Jorge. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias, XXVIII:

Chelotti, L. y Homoc, J., 1998.

Estilos Estructurales en la Zona Marginal de la Faja Plegada de San Bernardo y su Relación con los Sistemas Petroleros, Sarmiento, Prov. de Chubut, Argentina.

X Congreso Latinoamericano de Geología, Actas, Vol. II, pag. 81-86. Buenos Aires.