

ESTRUCTURACIÓN DE LOS YACIMIENTOS ORIENTAL Y ESCORIAL EN EL FLANCO NORTE DE LA CUENCA DEL GOLFO DE SAN JORGE

Luis L. Lucena¹, Juan J. Ramos¹, Brennan F. Augusto¹

1: Panamerican Energy, llucena@pan-energy.com,

jjramos@pan-energy.com, abrennan@pan-energy.com

Palabras clave: Golfo San Jorge, Estructuras extensivas, Evolución Cinemática, Basamento

ABSTRACT

The Oriental and Escorial productive blocks are located in the south of Cerro Dragón field, on the north flank of the Golfo San Jorge Basin. On the south of the field, the stratigraphic intervals increase in thickness towards the basin center, with average sedimentary accumulations of 3600 m corresponding to the Chubut Group and Tertiary formations.

In these blocks, there is a coexistence of different structures resulting from the different stresses which the area was subjected to over time. The opening of the basin generated extensional structures which, as they evolved, controlled the setting of the basin filling. In some cases, these features were used by the Andean compression generating a positive partial tectonic inversion.

The area can be divided into two sectors with distinctive structural features. This division is determined by a NW-SE structural trend which separates the Oriental productive block, located on the footwall to the north, and Escorial block on the hangingwall to the south.

This trend is key to the structural evolution of the area, and it presents extensional, strike-slip faulting, and transpression evidence and it formed the easternmost contractional structure of the basin.

These structures have significant economic value since the history of sedimentation and deformation resulted in mixed style traps, some of which are under development and exploration and others currently are assessed for future development.

UBICACIÓN

Los bloques productivos de Escorial y Oriental, forman parte del grupo de producción y desarrollo del distrito 9 perteneciente a Panamerican Energy; ubicado al sur del yacimiento de Cerro Dragón, en el flanco norte de la cuenca del Golfo de San Jorge (Fig. 1).

Su descubrimiento fue en la década 60' con un desarrollo intensivo a partir de la década del 80' a la actualidad, produciendo el 10% de petróleo y 0.9% de gas de la acumulada total de Cerro Dragón.

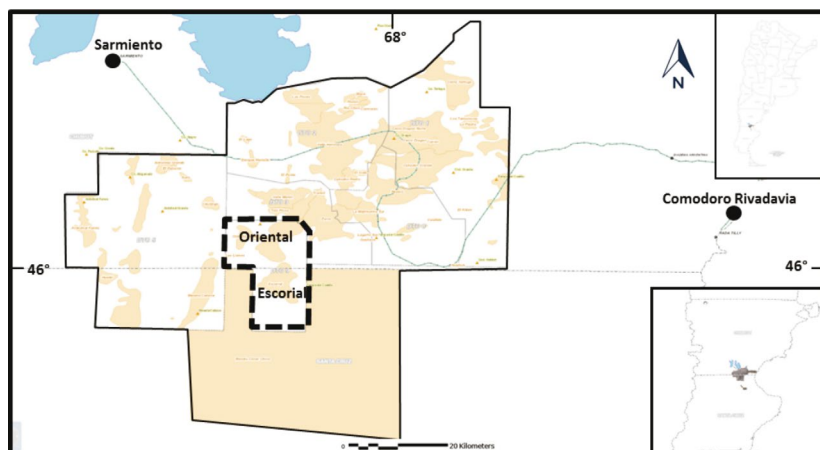


Figura 1. Ubicación de los bloques Oriental-Escorial, en el flanco norte de la Cuenca del Golfo de San Jorge.

MARCO GEOLÓGICO

La cuenca del Golfo San Jorge es de tipo extensional intracratónica y evolucionó a partir de un proceso de rifting ligado a la apertura del océano Atlántico desde el Jurásico (Figari *et al.* 1999; Sylwan 2001; Sylwan *et al.* 2008).

La columna sedimentaria del sector se asienta sobre un basamento económico compuesto por gneises y migmatitas paleozoicas (Lesta *et al.* 1980), y depósitos volcanoclásticos Jurásicos asignado al Grupo Lonco Trapial (Lesta y Ferello 1972). Sobre este basamento fallado y en forma discordante se apoya el Grupo Las Heras (Lesta *et al.* 1980) de edad Jurásico superior-Cretácico inferior (Uliana y Legarreta 1999), conformado por un relleno de distribución irregular.

La columna continúa con la depositación del Grupo Chubut (Lesta 1968), que se asienta en suave discordancia. Este intervalo representa el relleno principal de la cuenca con una estratigrafía continental fluvio-lacustre, con fuerte participación pirolástica en todo su intervalo (Feruglio 1950). Está compuesto en su base por la Formación Pozo D-129 (Barremiano-Aptiano; Hechem *et al.* 1987) como principal roca generadora de la cuenca, en su sección intermedia por la Formación Mina El Carmen (Albiano; Figari *et al.* 1999); y en su tramo superior por la Formación Comodoro Rivadavia (Cenomaniano-Coniaciano, Fitzgerald *et al.* 1990) y Formación Yacimiento El Trébol (Coniaciano Tardío-Maastrichtiano; Bonaparte y Gasparini 1978) como rocas sello y reservorios del sistema petrolero.

El Cenozoico está representado por las Formaciones Salamanca, Río Chico, Sarmiento, Chenque y Santa Cruz (Legarreta *et al.* 1990). Intruyen a este grupo una serie de basaltos alcalinos y cuerpos ígneos de edad Oligocena-Mioceno (Ferello 1969; Ardolino *et al.* 1999). Toda la columna es cubierta por Los Rodados Patagónicos de edad Pliocena Tardío-Pleistoceno.

A nivel regional la estructura dominante observada es un lineamiento NW-SE que se propaga desde ámbitos de Faja Plegada hacia centro de cuenca, atravesando la zona de estudio en su parte central (Fig. 2).

A lo largo de este lineamiento se ubican distintos yacimiento productivos como Anticlinal Grande, Koro, Chulengo, Oriental y Escorial, siendo estos dos últimos los más prolíficos y desarrollados.

A su vez, esta estructura regional se caracteriza por una serie de fallas que buzcan al SW y que generan altos de basamento hacia el norte y una serie de bajos relativos hacia el sur. El lineamiento separa los bloques productivos del área en Oriental, que se emplaza sobre un alto de basamento, y Escorial, emplazado sobre el bloque bajo.

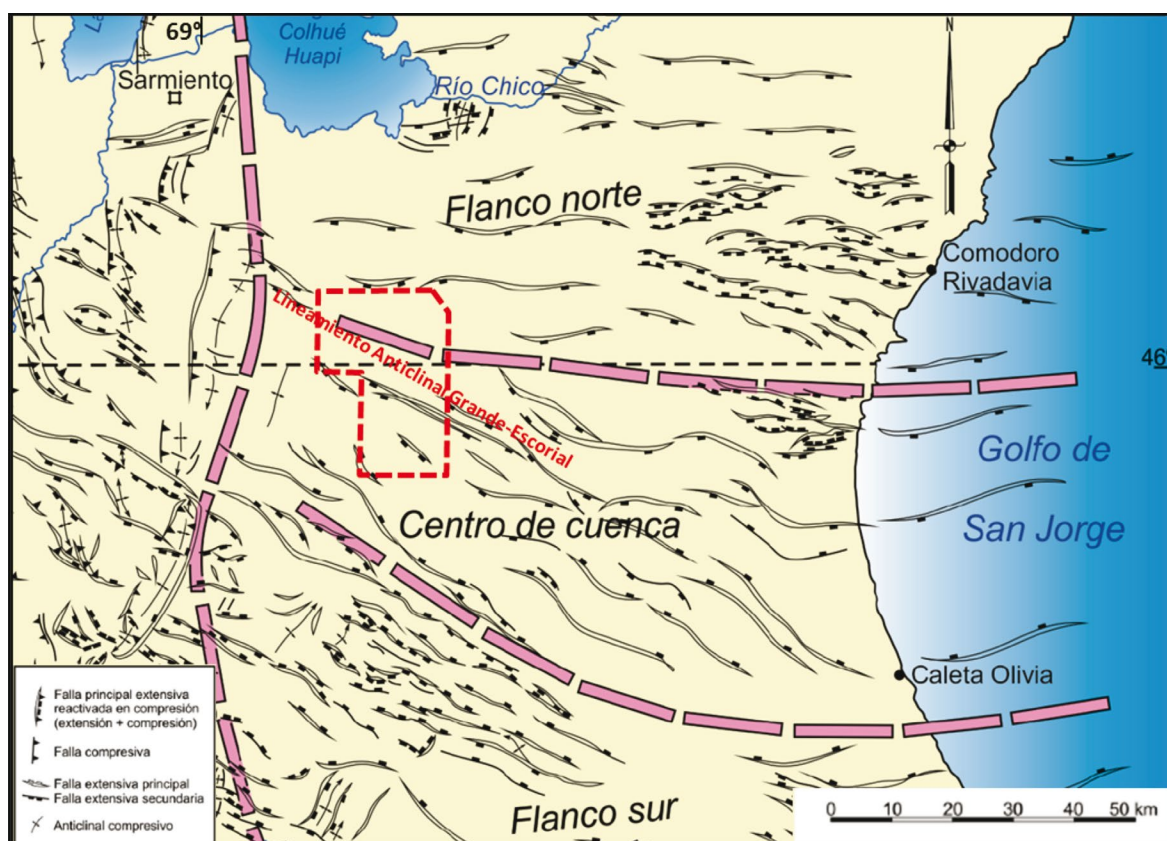


Figura 2. Estructural cercano al tope de la formación Castillo (tomado de Figari *et al* 1999), en línea punteada la ubicación de los bloques Oriental-Escorial, atravesado por un lineamiento de dirección NW-SE.

METODOLOGÍA:

Se trabajó sobre un cubo sísmico en tiempo reprocesado a partir de dos cubos sísmicos 3D que abarcan todo el Distrito 9 en conjunto. Se realizó sobre este una interpretación del Basamento y las fallas principales tratando de reflejar de la mejor forma posible la geometría de la cuenca.

Sobre este modelo estructural de basamento se midieron rechazos y espesores de los 6 paquetes estratigráficos limitados por los 7 markers regionales, con el objetivo de reconocer etapas de mayor actividad durante la historia de relleno. La ubicación cronoestratigráfica de los markers utilizados es la siguiente:

- Marker Base de Fm. Patagonia: reflector cercano a la base de la Fm. Patagonia.
- Marker Glauconítico: reflector cercano a la base de la Fm. Salamanca.
- Marker K: reflector cercano al techo de la Fm. Comodoro Rivadavia.
- MEC C: reflector cercano al tope de la Fm. Mina El Carmen.
- Marker D129: reflector cercano tope de la Fm. Pozo D-129.
- Marker NEOCOMIANO. Reflector que representa el techo del conjunto sedimentario del Grupo las Heras (Fm Aguada Bandera y Cerro Guadal).
- Marker BASAMENTO: representa la discordancia que separa el basamento económico de la cuenca (Grupo Bahia Laura y Lonco Trapial), del resto de la columna.

Sobre estas líneas se confeccionó una base de datos, con la cual se realizaron gráficos de Índice de Expansión de Thorsen (1963) a fin de definir períodos sinsedimentarios de mayor actividad a lo largo de las fallas principales. El índice de expansión nos indica gráficamente la historia de crecimiento de una falla a partir de sus registros de espesor en ambos bloques de la estructura estudiada.

E = Espesor en el colgante / Espesor en el yacente

Sobre las fallas principales definidas se realizaron gráficos de intersección de horizontes para cada marker con el objetivo de reconocer familias, relevos y actividad temporal.

Se analizó en un software de análisis cinemático una línea sísmica arbitraria perpendicular a una falla principal con el fin de reconstruir su geometría. Se utilizó el mecanismo de deformación por cizalla simple con un ángulo de 73°, el cual generó el mejor ajuste a los reflectores sísmicos. Esto permitió analizar la evolución de la estructura, la paleogeografía, y la extensión asociada a los distintos intervalos sedimentarios.

ESTRUCTURAS

Se reconocen 4 fallas principales profundas que involucran basamento. Estas fueron afectadas por diferentes esfuerzos en su historia, pero con un origen común distensivo vinculado a la apertura de la cuenca. Tanto sus geometrías como su comportamiento cinemático controlaron el relleno en este sector de la cuenca (Fig. 3).

F1, F1A y F3 son fallas directas de alto ángulo que buzan más de 60° hacia el SO, mantienen el rumbo general del lineamiento regional NO-SE y se relevan hacia centro de cuenca. F2 es una falla directa de alto ángulo que buza hacia el SE y representa la culminación de una falla mayor cuyo rechazo principal está fuera del área de estudio.

F1A tiene una desviación en su rumbo general en un punto cercano a la unión con la prolongación de la falla F2 hacia el SO; en este sector F1A tiende a tomar un rumbo NNO-SSE

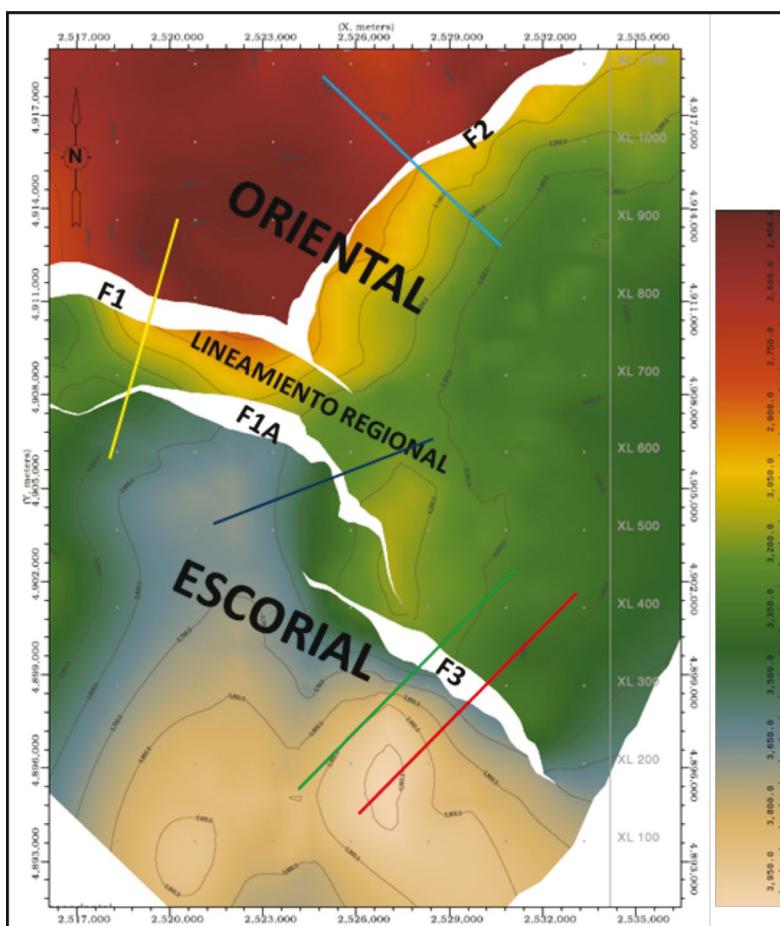


Figura 3. Mapa isócrono del Basamento, se observa el lineamiento regional que separa los bloques Oriental de Escorial, las fallas principales y trazas de secciones sísmicas presentadas. La traza de color verde representa la sección sísmica utilizada para la reconstrucción cinemática 2D.

hasta conectar con F3, generando un relevo del tipo “Footwall Breaching”.

F1 y F3 tienen un gráfico de intersección de horizontes similar (Fig. 4a y 4d), con geometrías elípticas y mayores rechazos al centro de las trazas. Otra característica de estas fallas es que su desplazamiento decrece en forma progresiva desde el basamento a valores mínimos en la sección superior de la Fm Comodoro Rivadavia (Tope K) y nulos para la Fm Salamanca y Patagonia.

F1A es una falla cuyo gráfico de intersección tiene un comportamiento particular. Se puede observar que en rasgos generales muestra para las unidades inferiores un perfil simétrico con rechazos normales, pero para las Formaciones Comodoro Rivadavia y Mina El Carmen en la zona de relevo con la falla F3 tiene un comportamiento de falla inversa. Esta característica se puede observar en forma puntual para la Formación D-129 (Fig. 4b).

F2 se caracteriza por presentar un gráfico de intersección diferente al de las fallas asociadas al lineamiento NO-SE. El gráfico de desplazamiento muestra para el basamento un perfil sin grandes variaciones, pero que para las unidades suprayacentes se convierte en asimétrico de poco desplazamiento el cual disminuye hacia el NE (Fig. 4c).

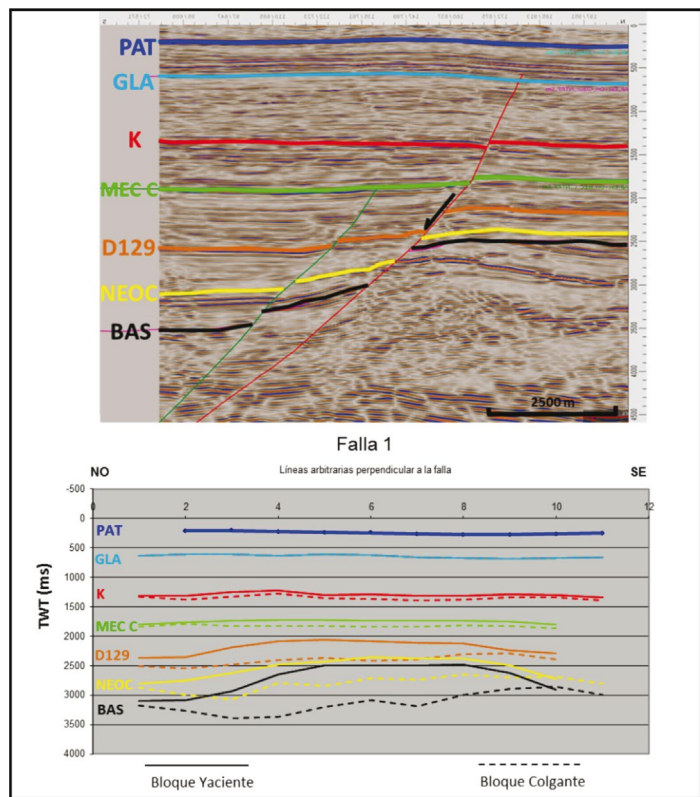


Figura 4a. Gráficos Intersección de horizontes para la traza de la falla F1, la sección sísmica es una traza arbitraria ubicación puede observarse en la figura 3. Los desplazamientos son normales con fuertes rechazos en niveles profundos y fin de actividad de la falla previo a la depositación del miembro Gauconítico. En el tramo SE de la traza disminuye el rechazo de falla y releva su desplazamiento a falla y su F1A.

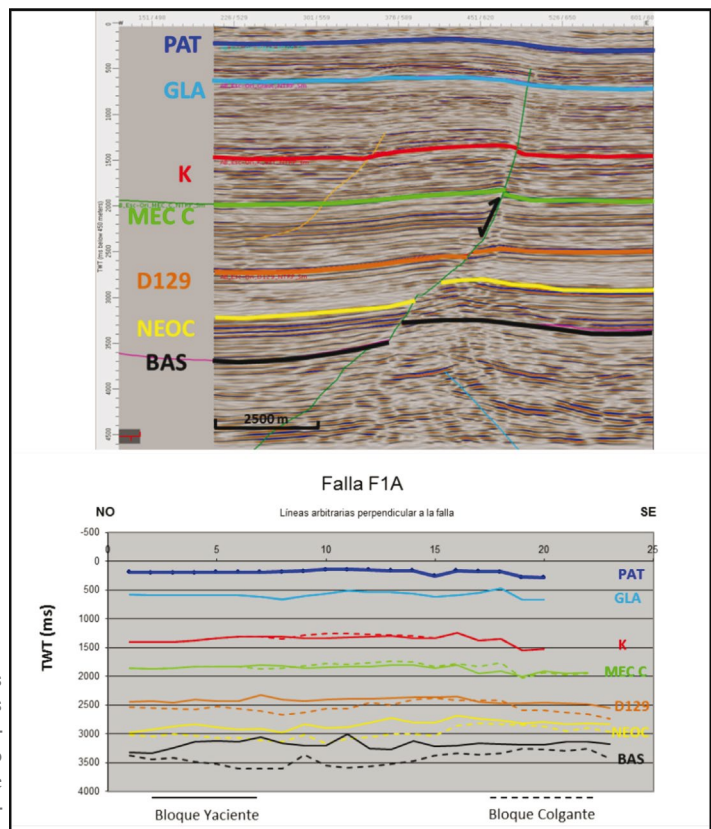


Figura 4b. Gráficos Intersección de horizontes para la traza de la falla F1A, la sección sísmica es una traza arbitraria y su ubicación puede observarse en la figura 3. F1A inicia su traza como relevo de F1 y cambia su orientación hacia el centro de traza; obsérvese las relaciones inversas en los markers K, MEC C y D129 puntualmente.

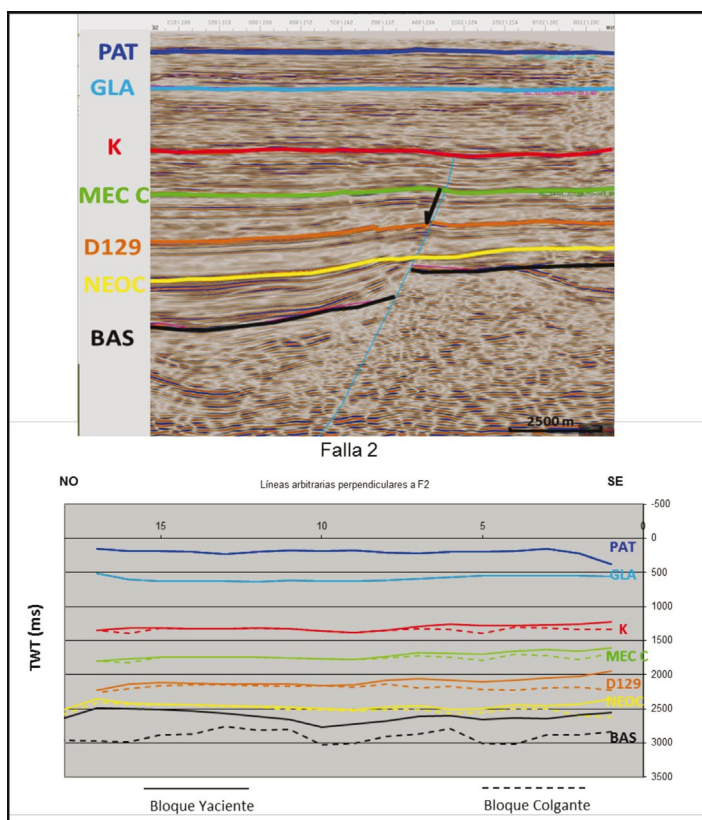


Figura 4c. Gráficos Intersección de horizontes para la traza de la falla F2, la sección sísmica es una traza arbitraria y su ubicación puede observarse en la figura 3. Se observan mayores rechazos en el basamento y menor actividad generalizada hacia los horizontes superiores, F2 representa la culminación de una falla mayor con mejor desarrollo fuera del área de estudio hacia el norte, obsérvese el plegamiento tipo Drape en el escalón de basamento.

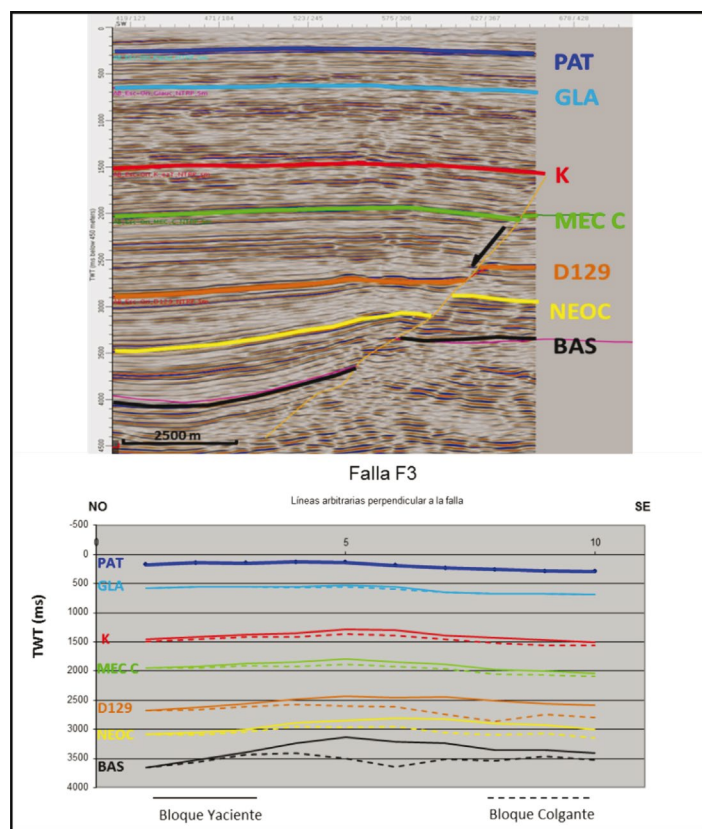


Figura 4d. Gráficos Intersección de horizontes para la traza de la falla F3, la sección sísmica es una traza arbitraria y su ubicación puede observarse en la figura 3. La traza presenta un gráfico tipo elíptico con la disminución progresiva de su desplazamiento hacia la superficie, llegando al valor 0 para el Patagoniano.

Del análisis de índices de expansión se observa que F1 y F2 presentan un control sedimentario similar con valores entre 4 y 5 en el Neocomiano y valores entre 1.5 y 1.7 para D129 y MEC C coincidiendo con periodos de mayor extensión generalizada en el sector. Mientras que para las formaciones Comodoro Rivadavia; Salamanca y Patagoniano, presentan un índice cercano a 1 relacionado a menor actividad tectónica.

Las fallas F1A y F3 muestran índices similares con valores cercanos a 1,5 para el Neocomiano, D129 y MEC C, y valores cercanos a 1 para resto de la columna. Estos valores están relacionados a la evolución cinemática del lineamiento (Fig. 5).

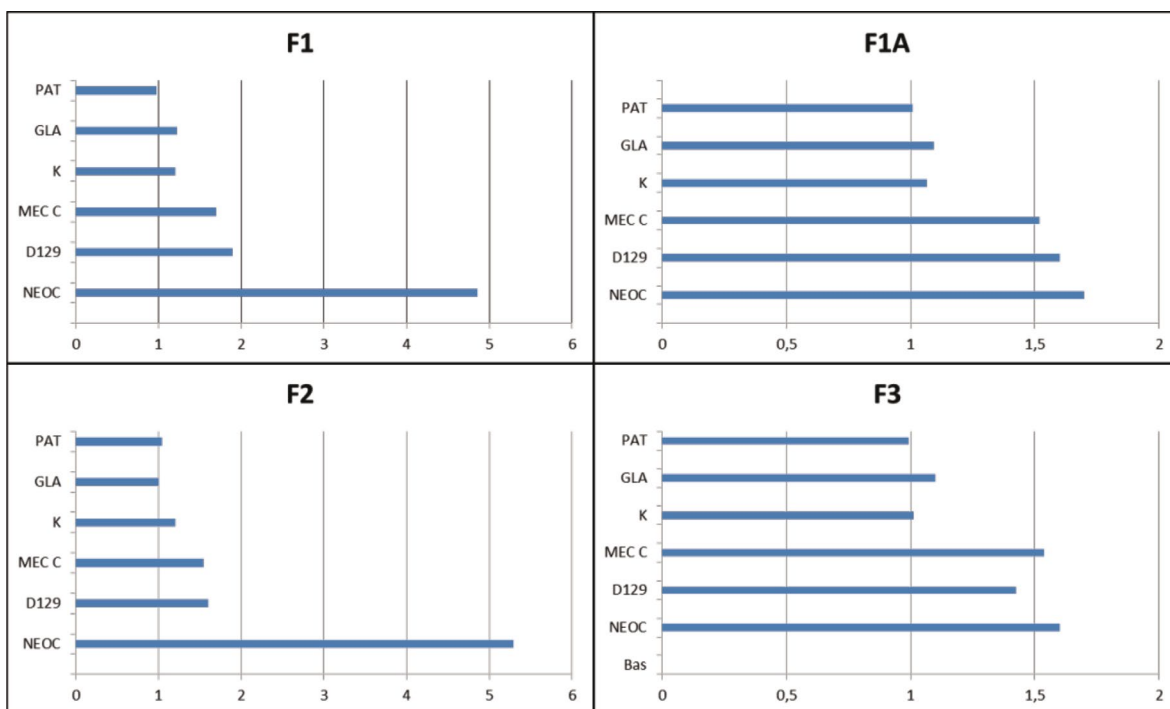


Figura 5. Índices de expansión promedios para cada falla.

EVOLUCIÓN CINEMÁTICA DE LA ESTRUCTURA

Durante el Neocomiano la evolución de la estructura en la zona estuvo controlada por las 4 fallas principales (F1, F1A, F2 y F3), las cuales evolucionaron durante esta etapa de manera independiente generando hacia el sur y al este espacio para la sedimentación del Grupo Las Heras. De los datos obtenidos se define un índice de expansión cercano a 5 para las fallas F1 y F2 (que generan el alto de basamento), y valores decrecientes hacia el SE del lineamiento para las fallas F1A y F3. El alto de basamento actuó como un elemento paleogeográfico positivo el cual restringió la depositación durante este periodo. De la reconstrucción cinemática realizada sobre F3 se obtiene una extensión de 1200 m, para esta etapa considerando este modelo aplicable a fallas F1A y F1 durante este período (Fig. 6B).

Para las Formaciones Pozo D-129 y Mina El Carmen se registran índices de expansión entre 1,5 y 2 para las fallas del lineamiento, y rechazos menores a los del Neocomiano indicando un decrecimiento en la actividad tectónica. Estas fallas continuaron evolucionando de forma independiente generando estructuras locales en sus bloques colgantes. Para el caso del análisis

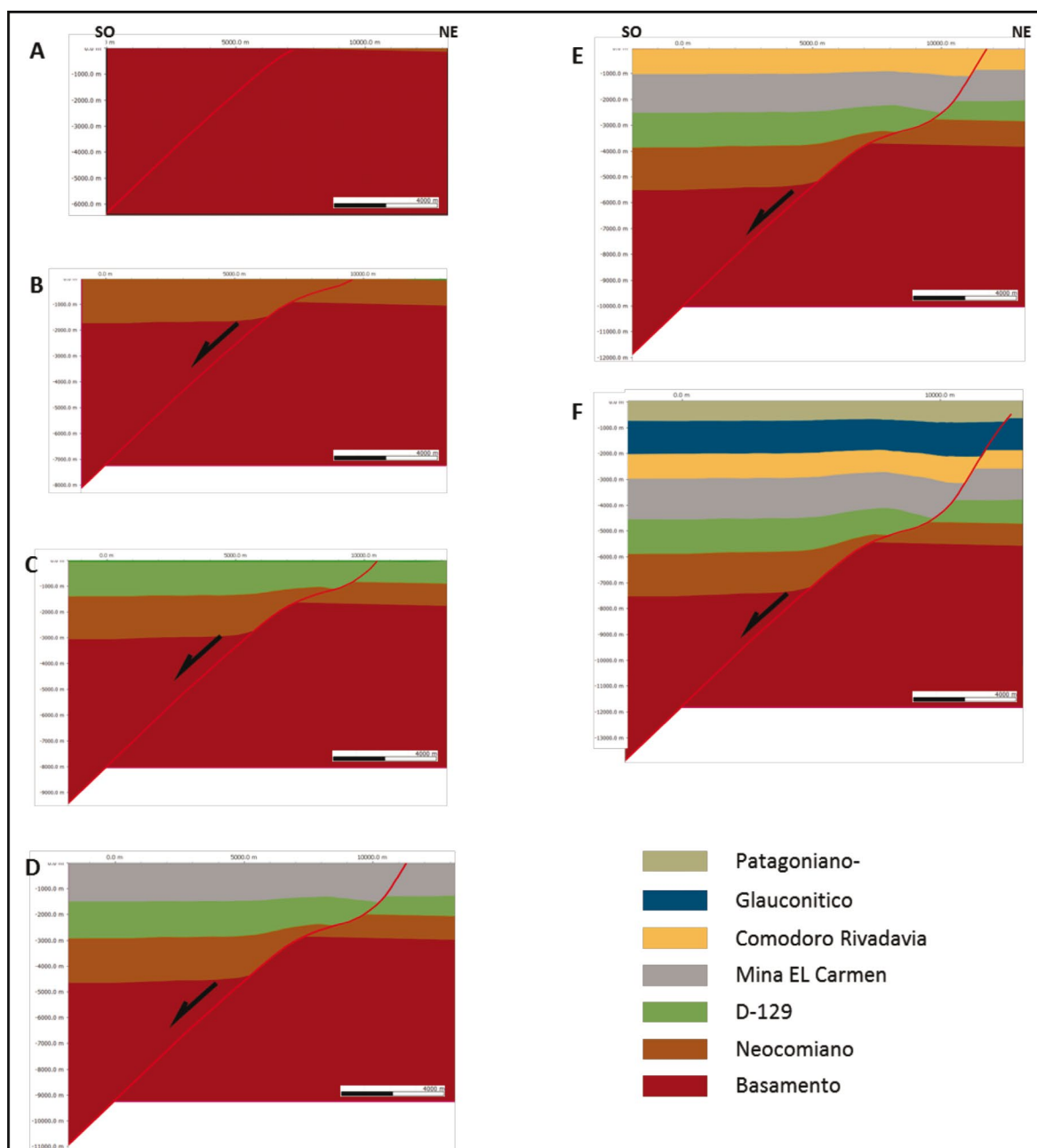


Figura 6. Evolución cinemática de la falla F3 y los depósitos sintectónicos asociados al sur del lineamiento. A) Estadío inicial del basamento rígido perteneciente al Grupo Las Heras. B) Una extensión inicial de 1200 m generó espacio para la depositación de las sedimentitas neocomianas. C) El cambio de ángulo en la falla y una extensión progresiva de 750 m formó el primer estadío del rollover sobre el cual se depositó la Formación D-129. D) Con una extensión de 400 m el rollover continuó evolucionando como un paleorelieve, generando depósitos en onlap sobre ambos flancos para la Formación Mina El Carmen. E) Durante esta etapa la extensión continua disminuyendo, con un valor de 150 m, donde los sedimentos de la Formación Comodoro Rivadavia se depositan sobre un rollover con flancos de buzamientos suaves. F) La extensión culmina con los depósitos patagónicos.

cinemático realizado a F3, una extensión calculada de 750 m para D129 y 220 m para Mina el Carmen, y un cambio en angularidad de la falla generó un anticlinal “rollover” en los depósitos Neocomianos sobre el cual se depositaron estas formaciones (Fig. 6 C y D). Sobre el flanco dorsal del pliegue se pueden observar estratos de crecimiento con geometrías onlap hacia la cresta del anticlinal (Fig. 7). En cuanto a la falla F2 mantiene el valor de índice de expansión del lineamiento y pierde rechazo hacia el norte alcanzando valores de 30 ms.

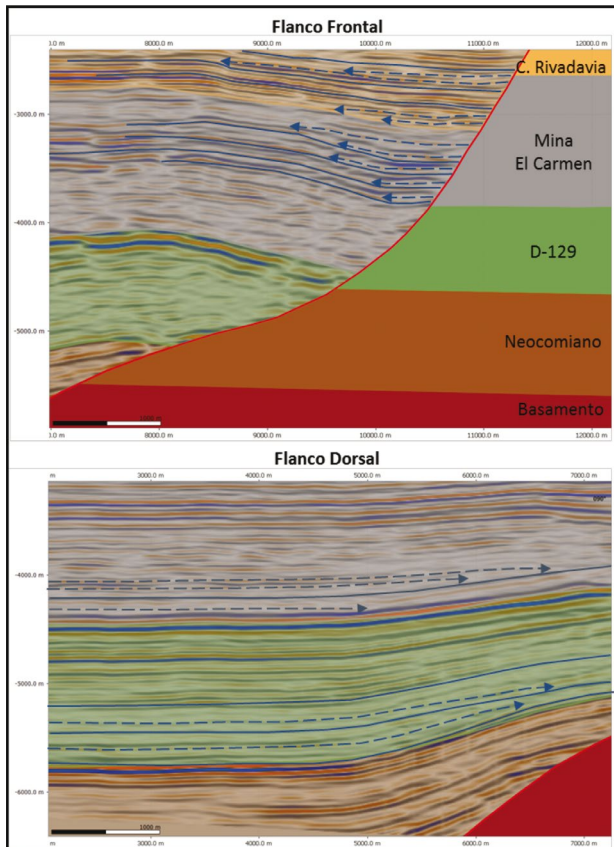


Figura 7. Sección sísmica utilizada para la reconstrucción cinemática, y su ubicación corresponde a la traza verde del mapa de la figura 3. Se observa el flanco dorsal y frontal del rollover, mostrando los estratos de crecimiento.

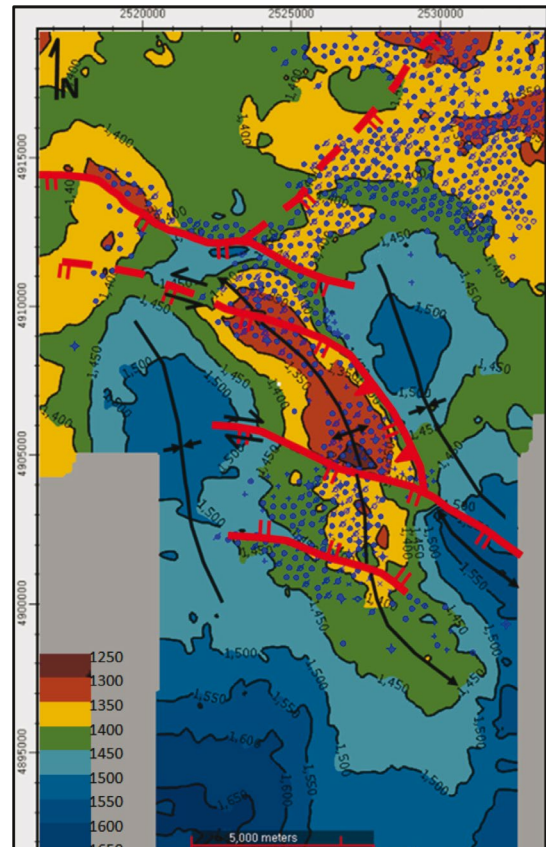


Figura 8 Mapa isócrono al tope del marker K, y en puntos azules el desarrollo actual. Se observa el anticlinal rollover compartimentalizado generado por las fallas del lineamiento.

Para la depositación de la Formación Comodoro Rivadavia se calculan índices de expansión menores a 1,5 con rechazos inferiores a los registrados en D129 y MEC C, y se interpreta una baja actividad tectónica y una sedimentación sobre un depocentro común al sur del lineamiento. La extensión calculada para este periodo es de 150 m (Fig. 6F), y durante su depositación las fallas principales del lineamiento actuaron en conjunto generando un único rollover compartimentalizado (Fig. 8). Este anticlinal continuó evolucionando coetáneo a la sedimentación actuando como elemento positivo y regulando la distribución de los sedimentos localmente. Esto se observa en

la geometría onlap de los reflectores a ambos flancos del pliegue (Fig. 7). En cuanto a la falla F2, disminuye su rechazo hacia el NE con valores que llegan a 0, evidenciando la culminación de la extensión en este sector, donde la estructura dominante es un pliegue monoclinal tipo Drape, generado por compactación diferencial y controlado por el alto de basamento.

Para el resto de la columna sobre la Fm. Comodoro Rivadavia, los índices de expansión decaen de 1,2 a 1 y rechazos mínimos con valores de 0 cercanos a la base de la Fm. Salamanca, lo que respondería a una extensión total de 250 m. Teniendo en cuenta el espesor depositado y bajo índice de expansión, nos indica la culminación de la extensión en la zona, y por lo tanto el fin del control de estas fallas sobre la sedimentación. La estructura regional dominante a esta etapa es un pliegue rollover con flancos de bajo ángulo.

Posterior a la depositación del Patagoniano se produce localmente una inversión tectónica producto de los esfuerzos compresivos del levantamiento Andino, esta deformación utilizó planos de falla preexistentes generando transcurrencia entre bloques y transpresiones locales según la orientación de los planos de falla. Este evento se evidencia donde la falla F1A cambia su orientación tomando un rumbo oblicuo a la vergencia Andina. Esta situación se puede observar en el perfil de desplazamiento de F1A, el cual tiene un comportamiento de falla inversa para las formaciones Mina el Carmen y Comodoro Rivadavia. Otra evidencia de esta inversión es la elevación del rollover Patagoniano generando un pliegue por propagación de falla, con su flanco frontal de mayor ángulo. Consideramos que esta deformación fue posterior a la depositación del Patagoniano evidenciado por los depósitos suprayacentes con geometría on lap que se desarrolla a ambos flancos del pliegue (Fig. 9).

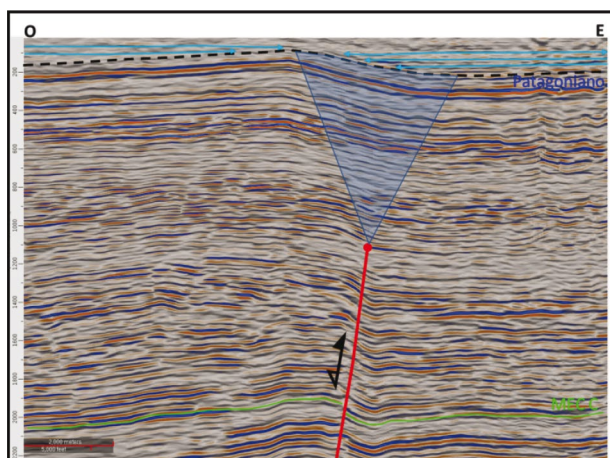


Figura 9. La imagen muestra la inversión tectónica de la falla F1A producida durante la compresión. Se puede observar el intervalo MEC C parcialmente invertido, disminuyendo su desplazamiento hacia el tip line, y por encima de este punto el plegamiento se resuelve por propagación de falla con trishear (zona sombreada). Sobre el Patagoniano los reflectores tienen geometría onlap generando una discordancia angular. Esto evidencia la compresión posterior a la depositación del Patagoniano.

CONCLUSIONES

Los bloques productivos de Oriental y Escorial se desarrollan como producto de la evolución sinsedimentaria de cuatro fallas principales que involucran basamento (F1, F1A, F2, y F3).

El análisis cinemático indica que las primeras fallas generadas fueron F1 y F2 formando el alto de basamento, y a continuación F1A y F3 con la propagación del lineamiento hacia el sureste.

Las fallas F1, F1A, y F3 están relacionadas a la evolución del lineamiento. Al inicio de la extensión, estas fallas generaron estructuras disociadas, las cuales empezaron a asociarse en su deformación a partir de la depositación de MEC C generando un único rollover.

La falla F2 tuvo actividad limitada durante la depositación del Neocomiano hasta la Fm. Pozo D-129. Luego de esto evolucionó como un pliegue monoclinial tipo drape controlado por el alto de basamento.

La sedimentación al sur estuvo controlada por la evolución del lineamiento y el rollover generado en el colgante. Mientras que hacia el este los depósitos fueron controlados al inicio por la falla F2, y posteriormente por el pliegue drape.

La estructura roll over gobernó la topografía durante la sedimentación del bloque colgante del lineamiento generando depósitos sintectónicos hacia los flancos del anticlinal, lo que sugiere mayores espesores de sedimentos en estos sectores del pliegue, generando posibles reservorios de interés para su prospección.

Posterior a la extensión generalizada del área, se produce un cambio en el régimen tectónico debido a los esfuerzos compresivos del levantamiento Andino, lo que provocó localmente una inversión tectónica parcial positiva de las formaciones D-129, Mina el Carmen y Comodoro Rivadavia, con el plegamiento de los depósitos de la Formación Patagonia.

Los esfuerzos compresivos utilizaron los planos de fallas preexistentes generando movimientos transcurrentes entre sus bloques. Esto habría permitido la reactivación de las vías de migraciones verticales durante este periodo, favoreciendo un último pulso de carga de reservorios por fallas.

Se identificaron oportunidades de desarrollo en dos estructuras principales. Al cambio de espesor generado en el bloque bajo de la falla F2 asociado al monoclinial del pliegue drape, donde se comprobó hidrocarburo en su estructura más baja por un pozo de avanzada recientemente perforado. Y en el anticlinal roll over, donde se prevee continuar con el desarrollo de su cresta hacia el sur-este, y comprobar con un pozo de avanzada la existencia de reservorios asociados a los estratos de crecimientos de sus flancos.

REFERENCIAS CITADAS

- Ardolino, A., Franchi M., Remesal M. y Salani, F. 1999. "El volcanismo en la Patagonia extraandina". En: Caminos R. (Ed.), Geología Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 29: 79-612, Buenos Aires.
- Bonaparte, J.F. y De Gasparini, Z.B. 1978. "Los saurópodos de los grupos Neuquén y Chubut y sus relaciones cronológicas". 7º Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 393-406. Neuquén
- Ferello, R. 1969. "Intento de sistematización geocronológica de las rocas eruptivas básicas en sectores de Chubut y Santa Cruz". Cuartas Jornadas Geológicas Argentinas 1: 293-310, Buenos Aires.
- Feruglio, E. 1950. "Descripción geológica de la Patagonia". Dirección General de Yacimientos Petrolíferos Fiscales 3: 431 p, Buenos Aires.
- Figari, E., Strelkov, E., Laffitte, G., Cid de la Paz, M., Courtade, S., Celaya, J., Vottero, A., Lafourcade, P., Martínez, R. y Villar, H. 1999. "Los sistemas petroleros de la cuenca del Golfo San Jorge". Síntesis estructural, estratigráfica y geoquímica. Boletín de Informaciones Petroleras 60: 54-90.
- Fitzgerald, M.G., Mitchum, R.M., Uliana, M.A. y Biddle, K.T. 1990. "Evolution of the San Jorge Basin, Argentina". American Association of Petroleum Geologists Bulletin 74: 879-920.
- Hechem, J.J., Figari, E.G. y Musacchio, E.A. 1987. "Cuenca del Golfo San Jorge: Hallazgo de la Formación D-129. Información estratigráfica y paleontológica". Petrotecnia 28: 13-15.
- Legarreta L., M. A. Uliana and M. A. Torres, 1990, "Secuencias Depositionales Cenozoicas de Patagonia Central: Sus Relaciones con las Asociaciones de Mamíferos Terrestres y Episodios Marinos Epicontinentales. Evaluación Preliminar". Segundo Simposio sobre el Terciario de Chile, Concepción, v.1, p. 135-176.
- Lesta, P.J. 1968, "Estratigrafía de la Cuenca del Golfo San Jorge". 3º Jornadas Geológicas Argentinas, Actas 1: 171-182, Buenos Aires.
- Lesta, P.J., Ferello, R. y Chebli, G. 1980, "Chubut Extraandino". En: Turner, J.C.M. (Ed.), 2º Simposio de Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias: 1307-1387, Córdoba.
- Lesta, P.J. y Ferello, R. 1972, "Región Extraandina de Chubut y Norte de Santa Cruz". En: Leanza, A.F. (Ed.), Primer Simposio de Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias: 601-653, Córdoba.
- Sylwan, C. A., Rodríguez, J.F. y Strelkov E. E. 2008, "Petroleum Systems of the Golfo San Jorge Basin, Argentina". En: Cruz, C.E., Rodríguez, J.F., Hechem, J.J. y Villar, H.J. (Eds.), Sistemas Petroleros de las Cuencas Andinas. 7º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos: 53-78, Mar del Plata.
- Sylwan, C. A. 2001, "Geology of the Golfo San Jorge Basin, Argentina". Journal of Iberian Geology, v. 27, p. 123-157.
- Thorsen, C.E. 1963, "Age of growth faulting in southeast Louisiana". Gulf Coast Assoc Geol Soc Trans 13: 103-110
- Uliana, M.A. y Legarreta, L. 1999, "Jurásico y Cretácico de la Cuenca del Golfo San Jorge". En: Caminos R. (Ed.), Geología Argentina. Instituto de Geología y Recursos Naturales. Anales 29: 496-510, Buenos Aires.

