

CONVERGENCIA OBLICUA: MODELO ESTRUCTURAL ALTERNATIVO PARA LA DORSAL NEUQUINA (39°S) - NEUQUÉN

José Silvestro¹ y Martín Zubiri²

¹ Repsol YPF S. A. Talero 360, (8300) Neuquén. Email: jsilvestrod@repsolypf.com

² Repsol YPF S. A., Neuquén. Actualmente: Tecpetrol S. A., Carlos Della Paolera 299 piso 20, (C1001ADA) Buenos Aires.

RESUMEN

La dorsal neuquina es un lineamiento estructural de escala regional desarrollado a los 39°S, que se extiende por más de 270 km con orientación E-O, marcando el límite natural norte de la Patagonia. La actividad tectónica a lo largo de esta zona durante el Jurásico y Cretácico controló la sedimentación de la cuenca Neuquina desarrollando una serie de secuencias de crecimiento y discordancias asociadas. Por las características estructurales se reconoce un sector occidental con predominio de lineamientos orientados al NE relacionados a estructuras predominantemente compresivas y un sector oriental caracterizado por el predominio de lineamientos NO con desarrollo de estructuras transcurrentes. La orientación particular de este rasgo tectónico, aproximadamente perpendicular a los cinturones andinos, fue tradicionalmente explicado mediante dos modelos estructurales: transcurrencia e inversión tectónica. Basándose en nueva información de subsuelo y la disponibilidad de nuevos conceptos tectónicos, se plantea un esquema alternativo en donde se contempla el desarrollo de zonas dominadas por transcurrencia, estructuras relacionadas a inversión oblicua de hemigrábenes y el desarrollo de estructuras compresivas sin influencia de los rasgos extensionales previos. El arreglo en planta de las estructuras y su evolución en el tiempo puede ser originado por convergencia oblicua, bajo un campo de esfuerzos NO-SE, entre un bloque rígido ubicado al sureste (Cratón norpatagónico) actuando como contrafuerte con límite oeste paralelo a la traza del río Limay y límite norte paralelo al cauce del río Negro, que converge con una zona al noroeste factible de ser plegada representada por la cuenca Neuquina. Este esquema permite explicar la distribución y orientación de las zonas compresivas y transcurrentes y su evolución en el tiempo con desarrollo de estructuras cada vez más jóvenes hacia la parte externa del sistema.

Palabras clave: *Campo de esfuerzos, Transcurrencia, Inversión oblicua, Convergencia oblicua, Dorsal neuquina.*

ABSTRACT: *Oblique convergence: alternative structural model for the Neuquén high (39° S), Neuquén.*

The regional scale structural lineament recognized as Neuquen high developed at 39° S latitude, is extended for more than 270 km in an E-W direction, defining the natural northern boundary of the Argentine Patagonia. The tectonic activity in this zone during Jurassic and Cretaceous times controlled the sedimentation of the basin, given place to a series of growth sequences and related unconformities. The structural features allows the recognition of a western sector where NE trending anticlines predominate related to high angle reverse basement faults and an eastern sector where the lineaments are NW trending and developed right-lateral wrench structures. The particular orientation of the Neuquen high, almost orthogonal to the Andean belt, and its complex structural features, were traditionally explained by two end-member models: wrench and inversion tectonics. Based on new subsurface data and the development of new structural concepts, an alternative model is proposed combining wrench-dominated tectonics trends with oblique inversion of half-grabens and basement related tectonics without influence of previous extensional features. The plan-view distribution of the structures and its evolution through time is explained by oblique convergence between a rigid block located to the southeast (Northpatagonian Craton), acting as a backstop with its boundaries sub-parallel to Negro and Limay rivers; which converge with a zone to the north able to be folded represented by the Neuquen basin, under an NW-SE oriented stress field. This model explains the distribution and orientation of the compressive and wrench dominated zones and its structural evolution where younger structures are developed from the SE to the NW towards the outer part of the system.

Keywords: *Stress field, Strike slip, Oblique inversion, Oblique convergence, Neuquen high.*

INTRODUCCIÓN

Se reconoce como dorsal neuquina (De

Ferraris 1947) a una serie de estructuras asociadas a escala regional, que se desarrollan a los 39° S presentando en con-

junto una orientación general E-O que marcan el límite natural norte de la Patagonia (Ramos *et al.* 2004) (Fig. 1). La

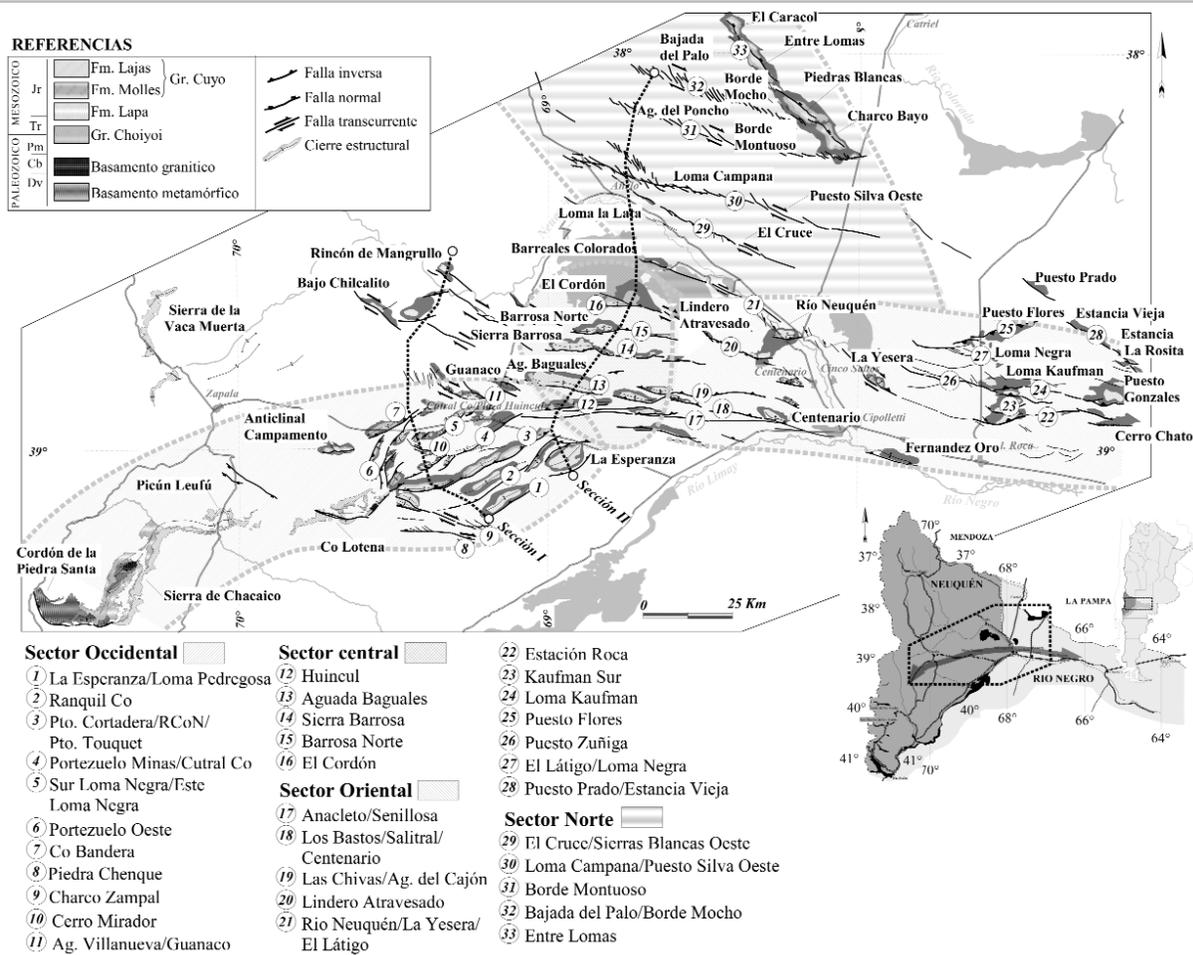


Figura 1: Lineamientos estructurales principales de subsuelo y afloramientos, relacionados a la dorsal neuquina. En base a la orientación de los lineamientos se puede diferenciar un sector occidental con predominio de estructuras compresivas de orientación NE y vergencia hacia el sureste; un sector oriental con estructuras mayormente transcurrentes de orientación NO; un sector norte correspondiente al engolfamiento en donde se desarrollan casi exclusivamente corredores transcurrentes de bajo relieve estructural y finalmente un sector central de transición en donde las estructuras tienen una orientación E-O y presentan características tanto transcurrentes como compresivas.

actividad tectónica en este sector ejerció un fuerte control de la sedimentación de la parte sur de la cuenca Neuquina durante el Jurásico y parte del Cretácico. Además de la faja plegada es el sector que presenta la mayor estructuración de la cuenca, involucrando una serie de lineamientos tanto compresivos como transcurrentes, que se extienden dentro del territorio de Neuquén y Río Negro por más de 270 km de largo, afectando estructuras en un ancho de más de 100 km. Por las características de los rasgos estructurales se pueden reconocer cuatro sectores: un sector occidental con predominio de lineamientos orientados al NE; un sector oriental caracterizado por lineamientos NO de tipo transcurrentes; un

sector central en donde predominan estructuras generadas por inversión oblicua con orientación E-O y un sector norte donde las estructuras desarrolladas son enteramente transcurrentes y de orientación NO (Fig. 1).

La orientación particular de este rasgo tectónico, aproximadamente perpendicular a los cinturones andinos, fue tradicionalmente explicado mediante dos modelos estructurales que fueron evolucionando en el tiempo y que en parte continúan vigentes hasta la actualidad: transcurrancia e inversión tectónica. Este último modelo fue recientemente modificado por Pángaro *et al.* (2006), quienes plantearon la ausencia de inversión tectónica en dos localidades relacionadas a la dorsal neu-

quina. Estos nuevos datos obligan a una revisión de los modelos existentes.

En el presente trabajo basándose en nueva información de subsuelo y nuevos modelos teóricos, se plantea un esquema alternativo en donde se contempla la inversión oblicua de hemigrábenes y el desarrollo de corredores transcurrentes y compresivos, todos ellos originados por tectónica oblicua.

ANTECEDENTES

Modelos preexistentes y sustento teórico

Los diferentes modelos estructurales propuestos para esta zona fueron evolu-

cionando en función de dos factores principales: 1) el desarrollo de modelos teóricos y experimentales que permitieran explicar las geometrías observadas y 2) la obtención de datos de subsuelo de mayor resolución, como sísmica y pozos, que posibilitaron mejorar la definición de los rasgos geométricos. Existe entre ambos factores una dependencia mutua, debido a que los datos de mayor resolución hacen necesario modelos más ajustados que permitan resolverlos y a su vez la posibilidad de observar en mayor detalle posibilita generar modelos más evolucionados.

En la actualidad existen dos modelos estructurales desarrollados para explicar el conjunto de estructuras relacionadas a la dorsal neuquina: el modelo de transcur-rencia publicado a principios la década del 80 y el modelo de inversión tectónica, publicado durante la década del 90; previamente a la década del 80 se proponía un modelo de pilar tectónico limitado por fallas normales hacia el norte y el sur. El modelo de pilar tectónico (De Ferraris 1947, Ramos 1978, Digregorio y Uliana 1980) se basaba principalmente en datos de afloramientos, pozos y sísmica de baja calidad, que si bien permitía explicar los altos de basamento no analizaba la génesis las estructuras en conjunto, siendo mayormente mencionado como complemento de los trabajos estratigráficos más detallados.

Podríamos considerar entonces que el primer modelo estructural para esta zona fue propuesto por Orchuella *et al.* (1981) y posteriormente actualizado por Ploszkiewicz *et al.* (1984) y Orchuella y Ploszkiewicz (1984), quienes presentaron un esquema contemplando el movimiento de los bloques en un sistema transcurrente dextral, resolviendo las estructuras con geometrías de flores positivas o negativas, relacionadas a fallas de basamento de alto ángulo. Este esquema permitía explicar las estructuras anticlinales orientadas con rumbo general NE correspondiendo a las zonas transpresivas del sistema, mientras que las estructuras de rumbo NO corresponderían a las zonas trans-

tensivas. Este modelo está basado principalmente en trabajos de la década del 70 como Wilcox *et al.* (1973), Harding (1974), Thomas (1974) y Harding y Lowell (1979) entre otros, en donde se expresaban los conceptos básicos de tectónica transcurrente y donde se describieron también geometrías típicas de estos sistemas, tales como pliegues en echelon, sistemas de fracturas conjugadas de Riedel, fracturas de tensión y zonas convergentes-divergentes. También es en estos trabajos donde se introduce el modelo de estructuras en flor positivas y negativas relacionadas a zonas transpresivas y transtensivas (Harding y Lowell 1979).

Aproximadamente al mismo tiempo que se publicaban los trabajos de transcur-rencia en la dorsal neuquina, Glennie y Boegner (1981, en Mitra 1993) y Harding (1983), definían el concepto de inversión tectónica, que consideraba la posibilidad de aprovechar a las fallas extensionales preexistentes como zonas de debilidad, favoreciendo la reactivación en sentido inverso por lo cual los bajos estructurales iniciales pasan a ocupar zonas elevadas. Este modelo rápidamente comenzó a ser aplicado y propuesto para prácticamente todas las cuencas en donde una etapa extensional era sucedida por una etapa compresiva, lo que llevo a que se publicaran diversos trabajos y números especiales relacionados a ejemplos aplicados y modelos experimentales de laboratorio como Cooper y Williams (1989), Letouzey (1990), McClay y Buchanan (1992) y Buchanan y Buchanan (1995), entre otros.

La cuenca Neuquina no fue la excepción por lo cual Eisner (1991), Uliana y Legarreta (1993), Uliana *et al.* (1995) y con mayor detalle Vergani *et al.* (1995) y Vergani (2005), proponen un modelo con predominio de inversión selectiva de hemigrábenes orientados en sentido NE, los que controlaron la orientación de las estructuras anticlinales originadas. Según los autores, la segmentación observada a lo largo del rumbo es explicada por zonas de transferencia que actuaron como límites estructurales durante la inversión.

Basados en este modelo fueron explicadas estructuras aisladas relacionadas a la dorsal, como Cerro Bandera (Pángaro *et al.* 2002) Sierra Barrosa-Aguada Toledo (Veiga *et al.* 2001, Grimaldi 2005, Grimaldi y Dorobek 2005), Las Chivas, Punta Senillosa y Los Bastos (Mosquera 2002), Salitral-Centenario (Cangini *et al.* 2002), mientras que para el caso de la estructura de Río Neuquén Berdini *et al.* (2002) proponen un modelo de inversión tectónica en un ambiente transcurrente. Recientemente, Pángaro *et al.* (2006) pusieron en duda este modelo postulando la ausencia total de inversión tectónica basándose en información sísmica de Sierra Barrosa-Aguada Baguales y Piedra Chenque, dos sectores relacionados a la dorsal neuquina que serán también tratados en el presente trabajo.

Situación actual: nuevos modelos teóricos

Con posterioridad a la publicación de los trabajos que sirvieron de base para proponer los modelos estructurales vigentes, fueron desarrolladas nuevas líneas de investigación que muestran una tendencia a la cuantificación de los procesos geológicos y a considerar situaciones intermedias que reflejan la geología de manera más aproximada a la realidad y no como miembros extremos puros de inversión y transcur-rencia.

En lo que se relaciona a la tectónica transcurrente, los artículos de la década del 70 siguen una línea de trabajo de tipo cualitativa ya que de hecho se basan en la descripción de geometrías observadas en la sísmica, afloramientos y cajas de arcillas (Wilcox *et al.* 1973, Harding 1974, Thomas 1974 y Harding y Lowell 1979). Una línea de trabajo alternativa donde se consideran modelos cuantitativos más complejos fue desarrollada desde finales de la década del 80 por Sandenson y Marchini (1984) y Fossen y Tikoff (1993), en donde analizan la deformación experimentada en una zona transcurrente definiendo una matriz de deformación según una componente ortogonal de cizalla pu-

ra (contracción en transpresión y extensión en transtensión) y una componente lateral de cizalla simple, definiendo sistemas dominados por la componente de rumbo y sistemas dominados por la componente ortogonal, según el ángulo de incidencia. Siguiendo esta línea de análisis, Tikoff y Teyssier (1994), Teyssier *et al.* (1995) y Fossen y Tikoff (1998), evalúan la partición del desplazamiento de rumbo, es decir la porción de deformación que es consumida por desplazamiento lateral a lo largo de una falla, para lo que observan una fuerte dependencia del ángulo de incidencia entre el campo de esfuerzos y la zona de falla, en que según los autores la partición aumenta para ángulos de incidencia menores. Finalmente basándose en modelos físicos Tikoff y Peterson (1998) y Venkat-Ramani y Tikoff (2002) evalúan las características del plegamiento en ambiente transpresivo y transtensivo respectivamente.

De manera similar, los primeros modelos de inversión tectónica fueron desarrollados considerando un campo de esfuerzos ortogonal con respecto a las estructuras extensionales, los que evolucionaron a partir de la segunda mitad de la década del 90 a modelos de inversión tectónica bajo un campo de esfuerzos oblicuo. En estos modelos la reactivación de antiguas fallas depende del ángulo que éstas forman con la dirección de esfuerzo máximo donde según Brun y Nalpas (1996) las fallas con alto ángulo de buzamiento comienzan a invertirse cuando el ángulo de incidencia es menor a 45°, es decir, con una componente de desplazamiento lateral importante, mientras que para ángulos mayores se desarrollan nuevas fallas inversas. Los modelos de Viola *et al.* (2004) y Panien *et al.* (2005) muestran que las nuevas fallas y retrocorrimientos que se originan durante inversión oblicua tienden a orientarse paralelamente a las fallas extensionales preexistentes y por lo tanto oblicuamente con respecto a la dirección de máximo esfuerzo.

Situación actual: calidad de la información

Con respecto a la información, la adquisición de sísmica 3D durante los últimos años y su integración en proyectos regionales, permitió mejorar considerablemente la resolución geométrica de las estructuras y su relación espacial. Así también, la posibilidad de contar con perfiles de imágenes de pozo permite analizar el campo de esfuerzos activo tanto en la actualidad como en el momento de plegamiento. De igual manera, la exploración de objetivos petroleros profundos en unidades próximas al basamento, posibilita comprender de manera más acabada la evolución temporal de la cuenca al tener un registro más completo de las unidades estratigráficas.

CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES PRINCIPALES

Las características estructurales sobresalientes de la zona de estudio fueron analizadas mediante la interpretación de la sísmica 3D integrada en una única base de datos a nivel regional, calibrada mediante pozos profundos. También se utilizaron perfiles de imagen que permitieron determinar el campo de esfuerzos actual y al tiempo de plegamiento.

Lineamientos estructurales y estilo de plegamiento

Partiendo de la interpretación sísmica, se identificaron los lineamientos estructurales reconocidos a diferentes niveles, los que fueron representados en conjunto en un mapa a escala regional (Fig. 1). En este mapa se pueden reconocer tres orientaciones preferenciales: NE, NO y un sector central de orientación E.

Los lineamientos de orientación NE adquieren mayor desarrollo en el sector occidental, donde se observan por lo menos seis corredores estructurales subparalelos: La Esperanza, Ranquil Co, Divisadero (Puesto Cortadera - Ranquil Co

Norte - Puesto Touquet), Portezuelo Minas y Cerro Bandera (Fig. 1). En todos los casos estos lineamientos se relacionan a fallas inversas de basamento con rechazo vertical muy importante, en ocasiones mayor a los 2.000 m, con escaso a nulo desplazamiento de rumbo y con vergencia predominante hacia el sureste. Las estructuras generadas son pliegues de propagación de falla con flanco posterior con buzamiento suave entre 10° y 15°, pudiendo llegar a los 30° en los casos de mayor rechazo y flancos frontales abruptos hasta rebatidos (Fig. 2a).

Los lineamientos NO se relacionan a zonas de cizalla con desplazamiento lateral de tipo dextral, reconocidos a lo largo de toda la dorsal pero con mayor desarrollo en el sector oriental y norte del área dentro del engolfamiento o bajo de Añelo (Fig. 1). Entre otras las zonas de mayor extensión regional son: Charco Zampal, Aguada Villanueva, Lindero Atravesado, Río Neuquén, Loma Campana, Borde Montuoso y Bajada del Palo (Figs. 1 y 2b). Estos lineamientos corresponden a zonas dominadas por transpresión que dan lugar a estructuras de geometrías en flor negativas o positivas, originadas por fallas subverticales que pueden presentar rechazo inverso en la parte inferior y normal en la parte superior. Las fracturas de Riedel responden claramente a sistemas dextrales con desplazamiento lateral del orden del kilómetro.

Los lineamientos E tienen menor distribución areal que los anteriores, restringiéndose al sector central de la dorsal. Corresponden a las estructuras de Huincul, Aguada Baguales, Sierra Barrosa, Barrosa Norte y El Cordón (Fig. 1). Son estructuras anticlinales relacionadas a fallas de basamento con rechazo inverso importante, pero que además están afectadas por una componente de desplazamiento de rumbo de tipo dextral que origina el fallamiento extensional perpendicular al eje del pliegue anticlinal.

La ubicación de algunos de los sistemas transcurrentes, coincidente con las culminaciones de las estructuras compresivas NE (Fig. 1) y la coincidencia en edad

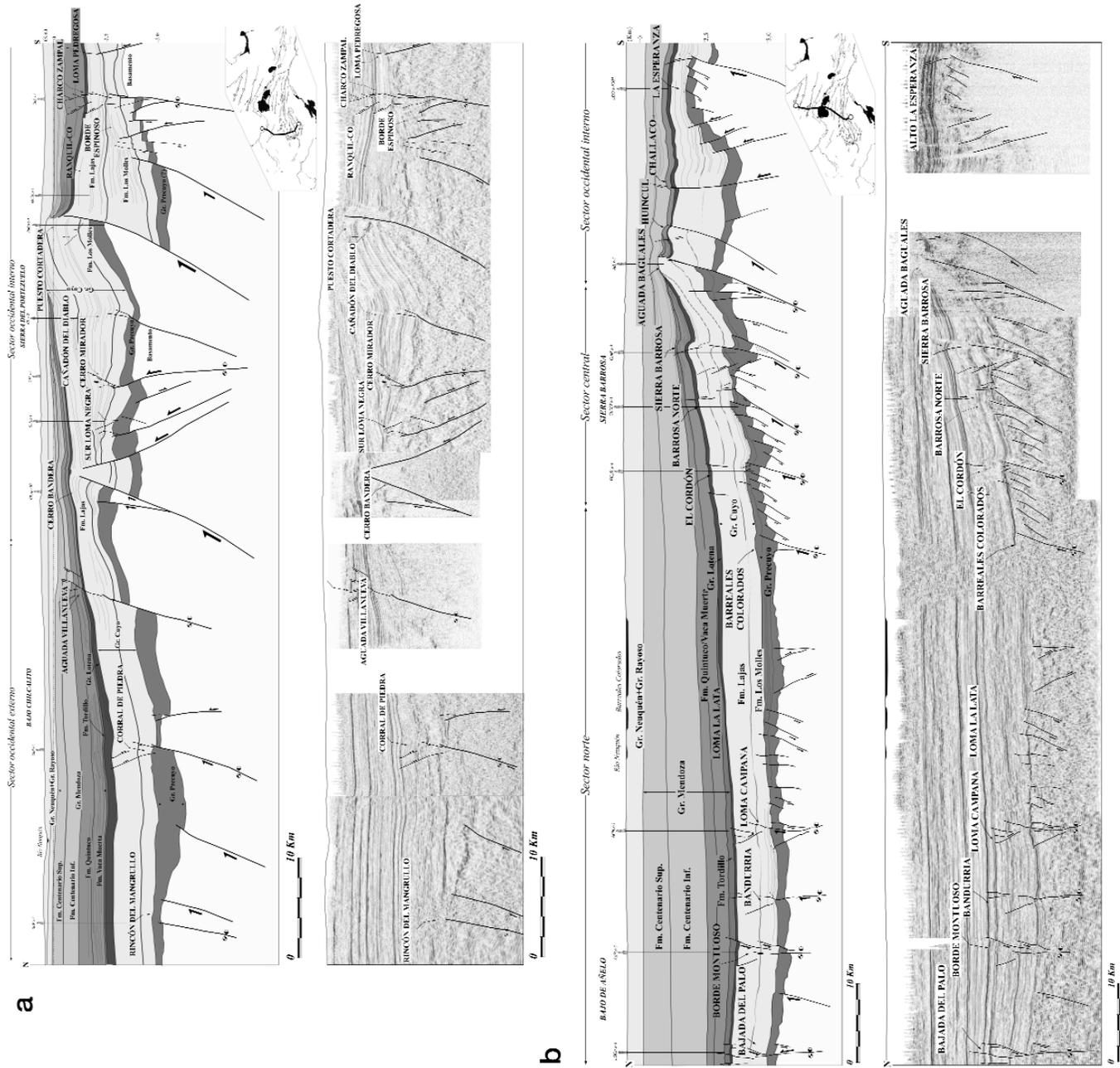


Figura 2: Secciones estructurales regionales basadas en información sísmica con control de pozos profundos. En ambas secciones se observa en el sector sur el desarrollo de estructuras compresivas con fuerte rechazo vertical definiendo la parte interna del sistema, mientras que hacia el norte se desarrollan estructuras transcurrentes de menor relieve marcando la parte externa. a) Sección I: ubicada en el sector oeste, comienza al sur de la sierra del Portezuelo y se extiende hasta el bajo Chilcalito al norte del río Neuquén. b) Sección II: se extiende desde el alto La Esperanza próximo al borde de cuenca en el sur hasta el bajo de Añelo en el norte.

entre determinados sistemas de fallas, lleva a pensar que en parte los lineamientos transcurrentes actuaron como zonas de transferencia o rampas laterales transfiriendo el desplazamiento lateral hacia las estructuras anticlinales. En conclusión, por las características de los rasgos estructurales observados en

planta, se pueden reconocer cuatro sectores: un **sector occidental** con predominio de lineamientos orientados en sentido NE de tipo compresivos, en parte ex-puesto en los afloramientos desde el cordón de la Piedra Santa hasta el cerro Granito, que continúa en subsuelo hacia el este por más de 50 km hasta los 68°30'

O, coincidiendo aproximadamente con la localidad de Challacó; un **sector oriental** que se extiende al menos hasta la longitud 67°00' O unos 50 km al este de la localidad de General Roca y que se caracteriza por un predominio de lineamientos NO; un **sector central** que puede considerarse de transición entre los dos secto-

res antes mencionados y en donde predominan estructuras anticlinales con orientación E; y un **sector norte** ubicado ya en el ámbito del engolfamiento donde las estructuras desarrolladas son enteramente transcurrentes y de orientación NO (Fig. 1).

En cuanto a la observación en secciones, la magnitud del rechazo vertical experimentado por las estructuras permite reconocer dos zonas: una **zona interna** con fuerte relieve estructural relacionado a las estructuras compresivas que tienen desarrollo en el sector sur del área, próximo al borde de cuenca; y una **zona externa** en donde las estructuras pierden relieve notablemente y en donde predominan las estructuras de tipo transcurrentes desarrolladas en toda la parte norte del área correspondiente al centro de cuenca (Figs. 2a y 2b).

Campo de esfuerzos

Estado de esfuerzos actual

La orientación de las fracturas inducidas durante la perforación, interpretadas en las imágenes de pozo, y la orientación de la ovalización del pozo (breakout), obtenida de la interpretación de los perfiles de buzamiento, permiten definir el campo tensional actual, de forma tal que las fracturas inducidas se desarrollan de forma paralela a la dirección del esfuerzo máximo (σ_1), mientras que la dirección de ovalización es perpendicular al mismo (Taha 1998).

Las fracturas inducidas interpretadas en las imágenes (Loza *et al.* 2003) fueron analizadas conjuntamente con los datos de ovalización publicados para la zona por Guzmán *et al.* (2005). Estos datos permiten observar que la dirección de esfuerzos predominante en el sector oeste del área (Cerro Bandera-Puesto Cortadera) es SO-NE, coincidente en términos generales con los datos del resto de la cuenca aportados por Guzmán *et al.* (2005), mientras que para el sector central (Sierra Barrosa) el esfuerzo máximo actual tiene una orientación NO (Fig. 3a).

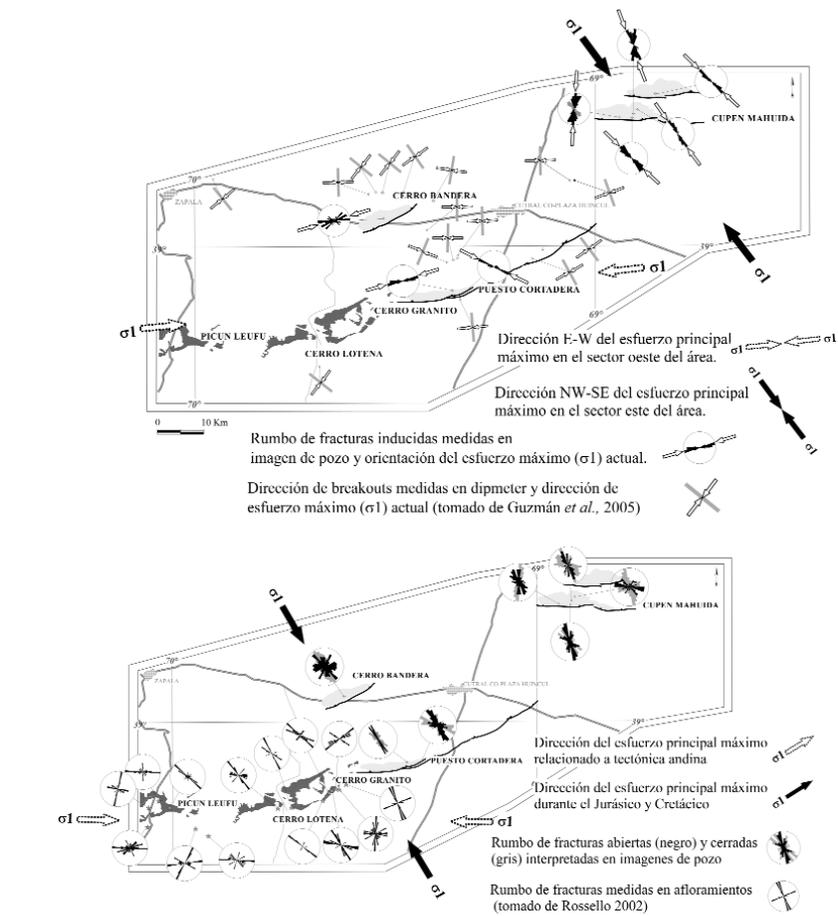


Figura 3: a) Mapa de dirección del esfuerzo máximo actual obtenido de la orientación de fracturas inducidas interpretadas en las imágenes de pozo y dirección de ovalización (breakout) obtenidas en perfiles de buzamiento (dipmeter) por Guzmán *et al.* (2005). Se observa una orientación predominante E-W en los pozos del sector oeste del área y mientras que en los pozos ubicados en el noreste el esfuerzo máximo tiende a orientarse NW-SE. b) Mapa de orientación de fracturas obtenidas de la interpretación de los perfiles de imagen (Loza *et al.* 2003) y de mediciones de campo (modificado de Rossello 2002). La orientación de las fracturas responde a un campo de esfuerzos de orientación NO-SE (N30°O) activo al momento de plegamiento durante el Jurásico y Cretácico. En el sector oeste, próximo a la faja plegada, aparece como dominante una familia de fracturas de orientación E-O, posiblemente relacionadas al plegamiento andino.

Estado de esfuerzos durante el Jurásico y Cretácico

Para tener una estimación directa del campo de esfuerzos bajo el cual se originaron las estructuras durante el Jurásico y Cretácico, se analizaron los datos de orientación de fracturas naturales (diaclasas y venillas) de subsuelo y afloramientos y los sistemas de fracturas de Riedel en secciones sísmicas horizontales.

Las fracturas naturales son consideradas indicadores del campo de esfuerzos ya que en el caso de las diaclasas son de origen tensional y se generan de forma perpendicular a la dirección de mínimo es-

fuerzo (σ_3) y paralelo al esfuerzo máximo (σ_1), lo que permite relacionar la orientación de estas fracturas con la orientación del campo de esfuerzos bajo el cual se generaron (Hancock 1985, Groshong 1988, Eyal *et al.* 2001). En subsuelo, la orientación de los sistemas de diaclasas fue determinada a partir de las interpretaciones de las imágenes de pozos (Loza *et al.* 2003), mientras que en afloramientos se utilizaron los datos de fracturas obtenidos por Rossello (2002) (Fig. 3b). Estos datos permiten obtener la dirección del campo de esfuerzos actuante durante el Mesozoico al momento de plegamiento, en donde se observa una

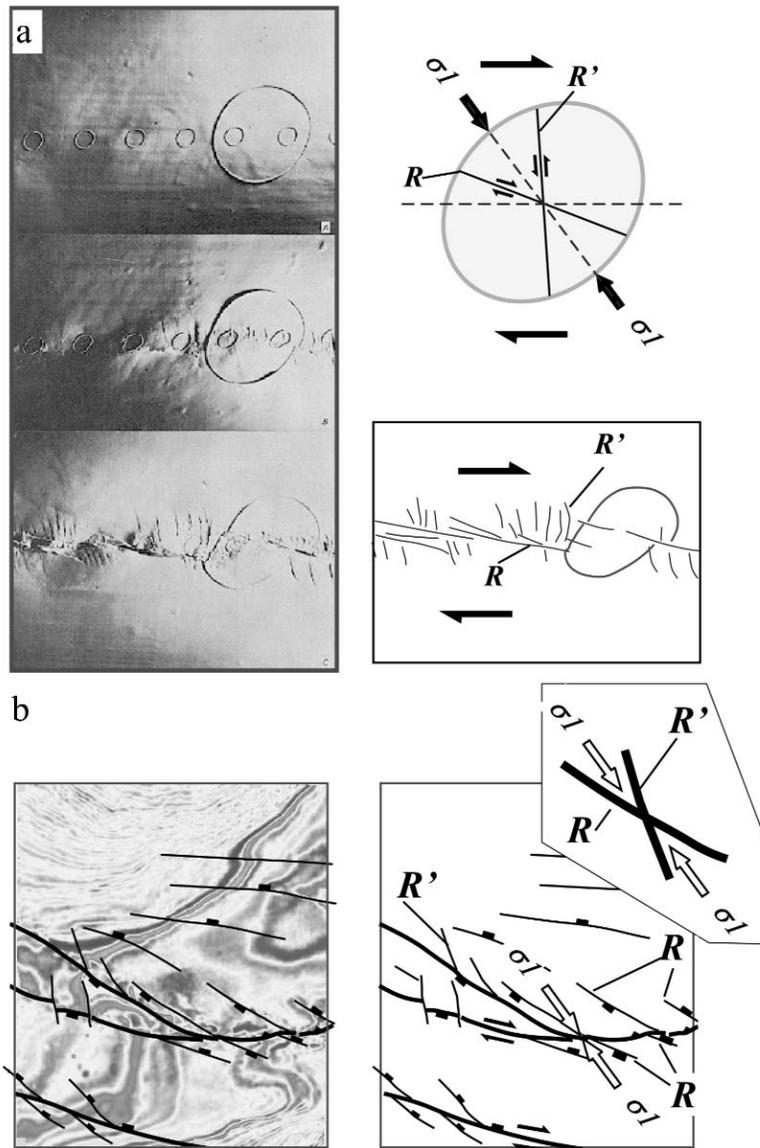


Figura 4: a) Sistemas de fracturas de Riedel (R) y anti-Riedel (R') observados en modelos de caja de arcillas con desplazamiento de rumbo de tipo dextral (según Wilcox et al. 1973); y b) sistemas de fracturas Riedel observados en secciones sísmicas horizontales asociados a la zona de cizalla de Charco Zampal, donde se observa que responden a un campo de esfuerzos de orientación aproximadamente N30°O, en coincidencia con la orientación obtenida en las imágenes de pozo.

orientación dominante para todo el área en sentido NO-SE (N30° a 40°O). En el sector oeste, a medida que nos acercamos a la zona de faja plegada, el juego de fracturas se enmascara con las fracturas E-O, posiblemente relacionadas al plegamiento andino (Fig. 3b). En el caso del análisis de los sistemas de Riedel asociados a las zonas de cizalla, realizado sobre secciones sísmicas horizontales, se determinó un rumbo NO (entre N40° O y N15° O) para la orienta-

ción del esfuerzo máximo (σ_1), estimado a partir de la identificación de los sistemas de Riedel sintéticos (R) y antitéticos (R'), de forma que el esfuerzo máximo se ubica en la bisectriz del ángulo agudo formado por ambos sistemas (Tchalenko 1970, Wilcox et al. 1973 y Davis et al. 2000) (Fig. 4). Con estos datos se confirma que las estructuras jurásico-cretácicas fueron desarrolladas bajo un campo de esfuerzos NO (N30° a N40°O) (Pángaro y Bruveris

1999, Rossello 2002), el cual se mantiene activo actualmente en la zona de Sierra Barrosa, mientras que en el sector occidental del área el campo de esfuerzos actual es aproximadamente E-O, posiblemente relacionado a tectónica andina. En una escala de trabajo totalmente diferente, Mosquera y Ramos (2005 y 2006) arriban a una conclusión similar, basándose en el análisis de la evolución de las placas pacíficas y las estructuras resultantes durante el Jurásico y Cretácico.

Rasgos previos del basamento: estructuras extensionales

La disponibilidad de proyectos integrados de sísmica 3D a nivel regional y el ajuste en profundidad con pozos exploratorios profundos, permitió reinterpretar los principales rasgos estructurales del basamento, principalmente en lo que corresponde a la etapa extensional del Triásico Superior-Jurásico Inferior, representado por unidades equivalentes al Precuyano y Grupo Cuyo (Gulisano 1981, Legarreta y Uliana 1999). Como ya fuera mencionado por Pángaro et al. (2006), la orientación predominante determinada para los hemigrábenes es NO a lo largo de toda el área de estudio (Fig. 5), respondiendo a un campo de esfuerzos extensional en sentido NE-SO. La vergencia dominante es hacia el este, aunque en las zonas de mayor extensión también se desarrollan fallas antitéticas de menor rechazo con buzamiento al oeste. Una clara excepción es el hemigráben de Lindero Atravesado-Río Neuquén que muestra una vergencia hacia el oeste. Las fallas extensionales más importantes como Portezuelo-Charco Zampal, Sierra Barrosa y Lindero Atravesado-Río Neuquén, pueden ser seguidas e interpretadas en la sísmica por más de 30 km, integrándose por una serie de depocentros coalescentes a lo largo del rumbo de la falla. Los puntos de enlace entre los depocentros representan altos estructurales relativos para el momento de la extensión, los que evolucionaron desde rampas de

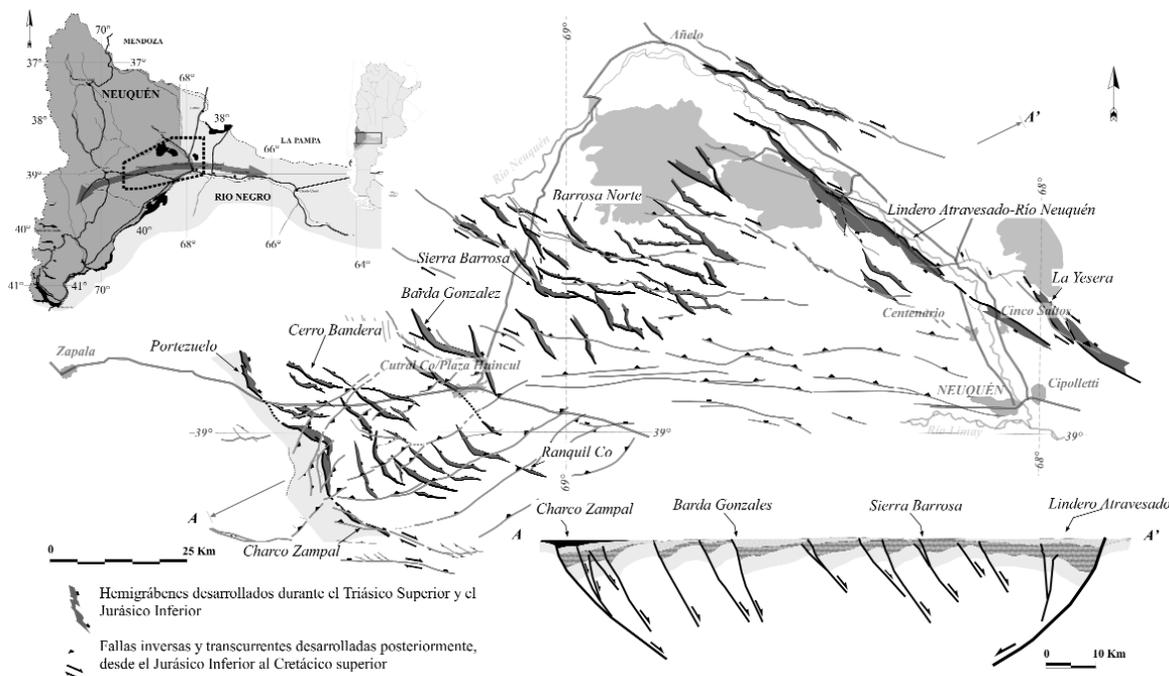


Figura 5: Mapa de estructuras extensionales desarrolladas durante el Triásico Superior-Jurásico Inferior al momento de depositación del Precuyano, obtenido a partir de la interpretación de la sísmica 3D. Las fallas extensionales muestran una orientación NO predominante y con vergencia al este en el sector occidental y vergencia oeste en la parte oriental del área.

transferencia (*relay ramps*) en estadios tempranos de desarrollo, hasta generar de nuevos tramos de falla que posibilitaron la conexión completa de los hemigrábenes.

El relleno de estas estructuras es de tipo volcániclastico, con espesores del orden de los 500 a 700 m, llegando a registrar espesores máximos mayores a los 1.500 m en los hemigrábenes más importantes. El desarrollo de discordancias internas y la geometría sísmica del relleno estratigráfico, permite diferenciar una etapa inicial de depositación sinrift de tipo volcániclastico con subsidencia controlada por las fallas extensionales, desarrollada desde el Triásico Superior hasta el Sinemuriano Inferior, correspondiente a la Formación Lapa (Leanza 1990). Le sigue una etapa sinrift tardío a postrift donde la actividad volcánica continuó pero en condiciones submarinas y con subsidencia controlada por fallas sólo en algunos sectores, desarrollada entre el Pliensbajiano Superior y el Toarciano Inferior, con depósitos equivalentes a la parte inferior del Grupo Cuyo. Posteriormente y a partir del Toarciano Superior, se depositan las secuencias sinorogénicas que serán tratadas en apartados siguientes.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Sistemas transcurrentes y compresivos

El patrón estructural reconocido en los diferentes sectores a partir del mapa de lineamientos regionales (Fig. 1), puede ser analizado según el ángulo que forman las estructuras con el campo de esfuerzos. En este sentido, Fossen y Tikoff (1993) reconocen sistemas transcurrentes dominados por la componente de desplazamiento de rumbo o cizalla simple, cuando el ángulo de incidencia es menor a 20°, es decir altamente oblicuo. Para ángulos mayores comienza a ser más importante la componente ortogonal o cizalla pura (contracción en transpresión y extensión en transtensión), hasta llegar a casos extremos en donde el sistema está dominado por la componente ortogonal dando lugar a estructuras compresivas o extensionales puras.

Siguiendo este esquema, las estructuras NE observadas en el sector occidental de la dorsal son prácticamente ortogonales al campo de esfuerzos, con un ángulo de incidencia mayor a 85°, por lo cual es claramente dominado por cizalla pura, lo que genera el desarrollo de estructuras

compresivas con una componente de desplazamiento de rumbo poco significativa.

En el sector central, el ángulo formado entre el campo de esfuerzos y los lineamientos E-O es de 50° lo que genera una combinación de estructuras con una fuerte componente de acortamiento y a la vez una componente de desplazamiento de rumbo. Por último, los lineamientos NO del sector norte y oriental, forman un ángulo de incidencia entre 20° y 30°, lo que se acerca a estructuras transcurrentes dominadas por cizalla simple.

Relación entre el campo de esfuerzos y rasgos de basamento

El arreglo estructural observado a escala regional es distorsionado y controlado de forma local por los rasgos previos presentes en el basamento y la interacción que éstos tienen con el campo de esfuerzos. De esta forma se definen características estructurales particulares que se describen a continuación.

Estructuras compresivas sin inversión tectónica

La orientación de los anticlinales de rumbo NE predominantes en el sector occi-

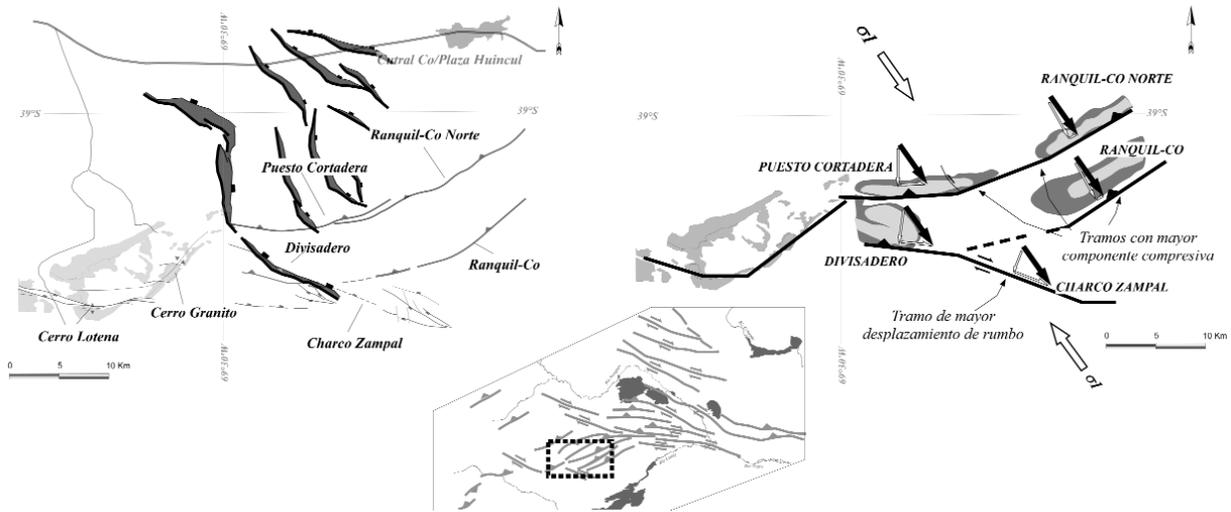


Figura 6 Esquema estructural del Divisadero-Puerto Cortadera. a) Mapa con fallas extensionales NO y superposición lineamientos estructurales desarrollados posteriormente. a) Las estructuras compresivas principales (Puesto Cortadera/Ranquil-Co Norte y Ranquil Co) se generan de forma ortogonal al campo de esfuerzos sin que evidencien control de los hemigrabenes previos. Por el contrario, la zona transcurrente (Charco Zampal) responde a la reactivación de los hemigrabenes con un a fuerte componente de desplazamiento lateral.

dental (Ranquil Co, Puesto Cortadera-Ranquil Co Norte-Puerto Touquet y Cerro Bandera), es prácticamente perpendicular a la orientación en sentido NO de los hemigrabenes preexistentes (Fig. 6). Estas estructuras fueron originalmente interpretadas como el resultado de la inversión ortogonal de fallas extensionales orientadas en igual sentido que las estructuras compresivas. Con la interpretación actual (Pángaro *et al.* 2006) la inversión tectónica ortogonal es descartada para éste sector. El único control que puede observarse relacionado a las fallas preexistentes son bajos internos o cierres estructurales menores dentro de estructuras anticlinales de mayor magnitud. Por este motivo se interpreta que la orientación de las estructuras compresivas está controlada únicamente por el campo de esfuerzos, desarrollándose de forma ortogonal al mismo y sin control de las fallas extensionales preexistentes

Inversión tectónica oblicua

Se reconocen dos sectores donde las estructuras pueden ser resueltas mediante mecanismos de inversión tectónica oblicua.

En el sector central, donde los anticlinales se desarrollan con rumbo E-O, la par-

tición del campo de esfuerzos aplicado a la falla de Sierra Barrosa genera zonas de mayor componente compresiva en los tramos de rumbo E-O, dando origen a las estructuras positivas y zonas con mayor componente de desplazamiento de rumbo en los tramos orientados NO en donde se generan los bajos estructurales (Fig. 7). Los cambios de rumbo en la falla responden a la ubicación y orientación de los hemigrabenes, por lo cual cuando la trayectoria de la falla inversa atraviesa una falla extensional previa cambia de rumbo generando zonas de transferencia entre las estructuras principales, para luego volver a retomar la orientación original de la falla (Fig. 7). Con este esquema, las principales estructuras anticlinales se relacionan a inversión oblicua de los depocentros más importantes de los hemigrabenes, invirtiendo sólo en tramos las fallas extensionales y generando nuevas fallas inversas según el esquema regional.

En el sector occidental, para Portezuelo Oeste se propone un esquema particular de inversión oblicua y contrafuerte (Fig. 8). Las nuevas estructuras generadas se orientan en sentido NE de forma perpendicular al campo de esfuerzos, invirtiendo de forma parcial la falla del hemigraben de Portezuelo-Charco Zampal,

que actúa a manera de contrafuerte (Fig. 8).

Ambos estilos de inversión oblicua contradicen a los modelos físicos existentes (Dubois *et al.* 2002, Panien *et al.* 2005) en donde las nuevas fallas generadas son siempre paralelas a las fallas extensionales previas. En este caso en cambio, las fallas normales son reactivadas parcialmente, predominando el desarrollo de nuevas fallas de basamento controladas por el campo de esfuerzos y oblicuas con respecto a las fallas previas.

Reactivación por desplazamiento de rumbo

La orientación entre las fallas extensionales y el campo de esfuerzos, favorece la reactivación mediante desplazamiento de rumbo a lo largo de las estructuras transcurrentes, como en los casos de los lineamientos Charco Zampal y cerro Mirador.

Los cambios de rumbo a lo largo de las fallas extensionales o la presencia de zonas de transferencia entre diferentes hemigrabenes genera cambios de angularidad con respecto al campo de esfuerzos, que pueden resolverse como estructuras anticlinales (cerro Mirador) cuando los cambios son en sentido antihorario, o extensionales (Portezuelo Grande) cuando

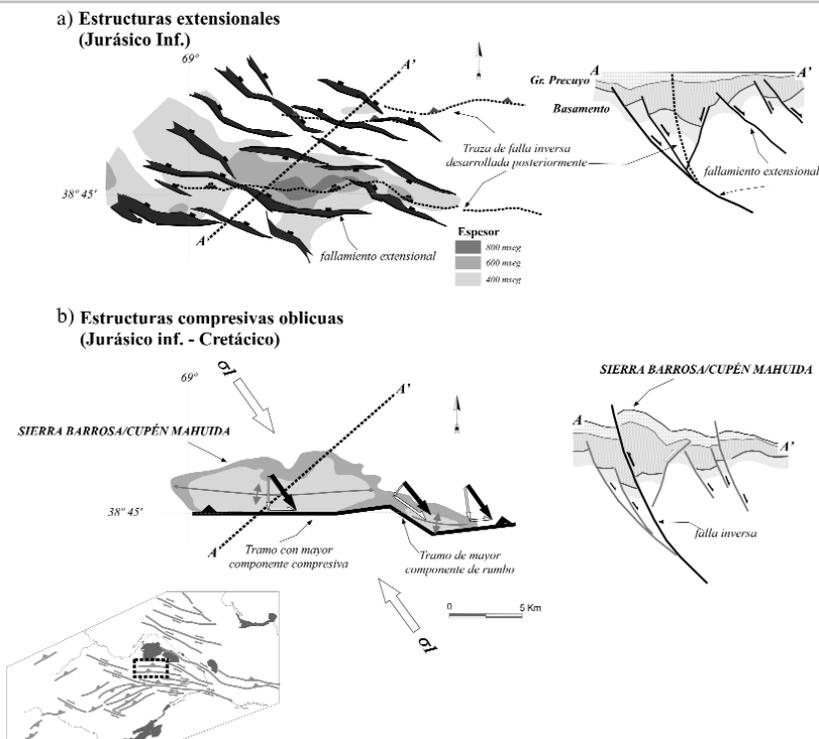


Figura 7: Esquema de inversión oblicua de la estructura anticlinal Aguada Toledo/Cupén Mahuida. a) Durante la etapa extensional se originan hemigrabenes orientados NO. La superposición de las fallas inversas generadas posteriormente muestra que los quiebres a lo largo de la falla están controlados por la ubicación y orientación de los hemigrabenes. b) Las estructuras anticlinales se originaron bajo un campo de esfuerzos NW-SE, la orientación de este campo de esfuerzos aplicado a la falla de Cupén Mahuida genera altos estructurales en los tramos de falla orientados E-O relacionados a mayor componente compresiva, mientras que los bajos estructurales se ubican en los tramos NO en donde la componente transcurrente tiene mayor desarrollo.

son de tipo horario (Fig. 9).

Edad de plegamiento y evolución tectónica

Con posterioridad a la etapa de rifting del Triásico Superior-Jurásico Inferior, continuó una etapa relacionada a subsidencia térmica desarrollada a partir del Toarciano Inferior. En el entorno de la dorsal y después de una etapa de transición que transcurre entre el Toarciano Inferior y Superior, durante la cual no se observa tectónica activa, comienzan las primeras evidencias de estructuración compresiva y transcurrente. Como consecuencia del plegamiento y la sedimentación sinorogénica se desarrollaron una serie de discordancias progresivas y estratos de crecimiento cuyo análisis permite determinar tanto la cinemática de plegamiento como la evolución en el tiempo de la

deformación.

Con la información sísmica disponible, se analizaron los paquetes de reflectores que muestran evidencias de crecimiento sintectónico, determinando secuencias de crecimiento a partir de la identificación de horizontes guía que limitan estas secuencias, ajustados en el tiempo mediante control bioestratigráfico.

Con las edades determinadas, se desprende que desde el Toarciano Superior hasta el Cenomaniano existió actividad tectónica a lo largo de toda la dorsal (Fig. 10). Sin embargo, los eventos de máxima deformación determinados para cada estructura individualmente, permiten determinar una tendencia evolutiva del plegamiento hacia el noroeste, es decir con las estructuras más antiguas ubicadas en la zona interna del sistema y las más jóvenes hacia la parte externa.

El más antiguo de los eventos de máxima

deformación corresponde al inicio de la tectónica oblicua durante el Toarciano Superior, con el desarrollo de dos trenes principales de orientación NE: uno de mayor desarrollo ubicado en el extremo sureste del área de análisis (La Esperanza-Loma Pedregosa) y otro hacia el norte donde se incluyen las estructuras del fallamiento de Sur Loma Negra. Estos dos lineamientos se unen por una serie de estructuras transcurrentes como las zonas de falla de Charco Zampal, cerro Mirador y Guanaco, que serían los límites de un depocentro de forma romboidal. Durante el Kimmeridgiano se originan una serie de estructuras alineadas en dirección NE ubicadas al noroeste del tren principal desarrollado en la etapa anterior. Las nuevas estructuras originadas muestran el mayor rechazo vertical observado en todo el área, conformando el eje estructural de la dorsal neuquina. Posteriormente durante el Valanginiano se reconoce un evento de máxima deformación en las estructuras ubicadas hacia la parte externa del sistema, hacia el noroeste de las estructuras anteriores. También se observan diferentes etapas de reactivación durante el Bajociano, Calloviano y Aptiano pero sin que signifiquen eventos de máximo de deformación para la estructura a la que se asocian (Fig. 10).

DISCUSIÓN: CONVERGENCIA OBLICUA COMO MODELO ESTRUCTURAL ALTERNATIVO

La descripción y análisis de las características estructurales de la zona hacen necesario el planteo de un nuevo modelo regional tomando como punto de partida la revisión de los modelos existentes y su actualización a partir de las observaciones realizadas.

Revisión de modelos existentes

El planteo de un esquema transcurrente puro implica el desarrollo de estructuras afectadas a una zona de deformación angosta y en donde las orientaciones ob-

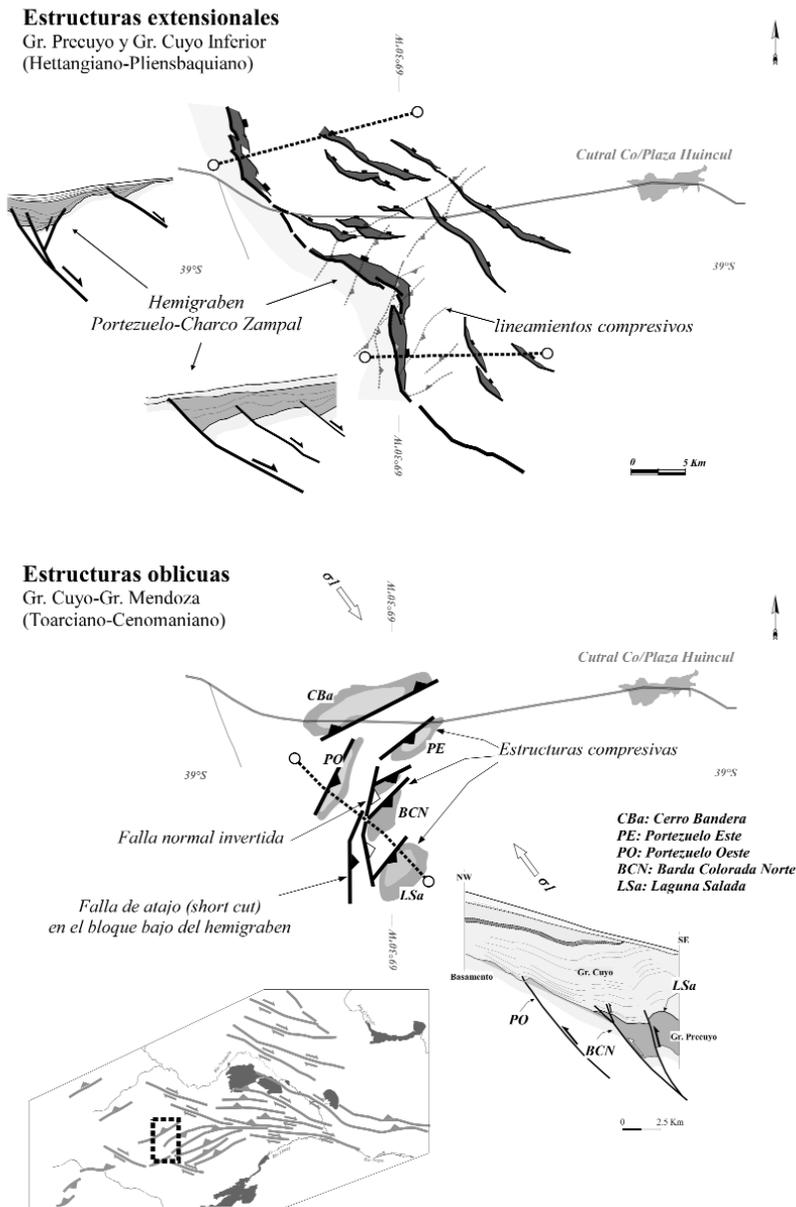


Figura 8: Esquema estructural Portezuelo Oeste. a) Fallas extensionales NO y lineamientos estructurales inversos superpuestos, donde se observa que únicamente en el sector sur hay influencia del fallamiento extensional sobre las nuevas estructuras generadas. b) Inversión parcial de los hemigrabenes bajo un campo de esfuerzos NO. Las nuevas estructuras se originan en la parte interna del hemigraben, orientadas en dirección NE de forma ortogonal al campo de esfuerzos.

servadas en planta se explican diferenciando un sector transpresivo en el oeste y uno transtensivo en el este. Este esquema es difícil de aplicar ya que como se puede observar en el mapa regional las estructuras no están confinadas a una zona de deformación angosta, sino que abarcan un ancho de hasta 100 km y en un ambiente enteramente transpresivo aunque con diferente intensidad depen-

diendo del ángulo de incidencia con el campo de esfuerzos.

Con respecto a la inversión tectónica, la reinterpretación de los hemigrabenes con una orientación general NO, contrastante con la dirección de las estructuras compresivas, dificulta considerar al proceso de inversión como responsable de la orientación en planta de las estructuras de la dorsal. De todas formas, no se des-

carta el control localizado que ejercen las fallas y depocentros extensionales, principalmente mediante procesos de inversión tectónica oblicua y transcurrente, tal como fue explicado en párrafos anteriores.

Sustento teórico

En este trabajo, para explicar las estructuras relacionadas a la dorsal neuquina y su evolución en el tiempo se propone el modelo de convergencia oblicua como alternativa a los modelos existentes. Este modelo se basa en los trabajos de Zweigel (1998), Macedo y Marshak (1999) y Marshak (2004) en donde sectores corticales factibles de ser plegados convergen contra las salientes rígidas cratónicas bajo un campo de esfuerzos oblicuo (Fig. 11 a). Estos modelos permiten exponer en un único esquema zonas con desarrollo predominante de fallamiento inverso, aproximadamente perpendicular a la dirección de convergencia, y zonas donde predominan las estructuras transcurrentes orientadas de forma subparalela a la dirección de convergencia, copiando en ambos casos la geometría de los bordes del bloque rígido (Fig. 11a).

Según Zweigel (1998), el incremento del acortamiento provoca el engrosamiento de la cuña acrecional en el sector frontal, generando nuevas fallas en secuencia hacia el frente de avance. En los sectores laterales en cambio, donde el desplazamiento predominante es de rumbo, se origina menor engrosamiento por lo cual el avance del sistema es menos evidente. En cuanto a la vergencia de las estructuras, los modelos de cajas de arena realizados por Macedo y Marshak (1999) muestran que la dirección y sentido de convergencia ejerce un control primario sobre la vergencia predominante del sistema. Cuando el avance de la deformación alcanza una zona rígida, las nuevas fallas se desarrollan en el sector próximo al bloque rígido y con vergencia hacia el mismo, avanzando posteriormente en sentido contrario a la vergencia del sistema (Fig. 11b). Así también existen modelos

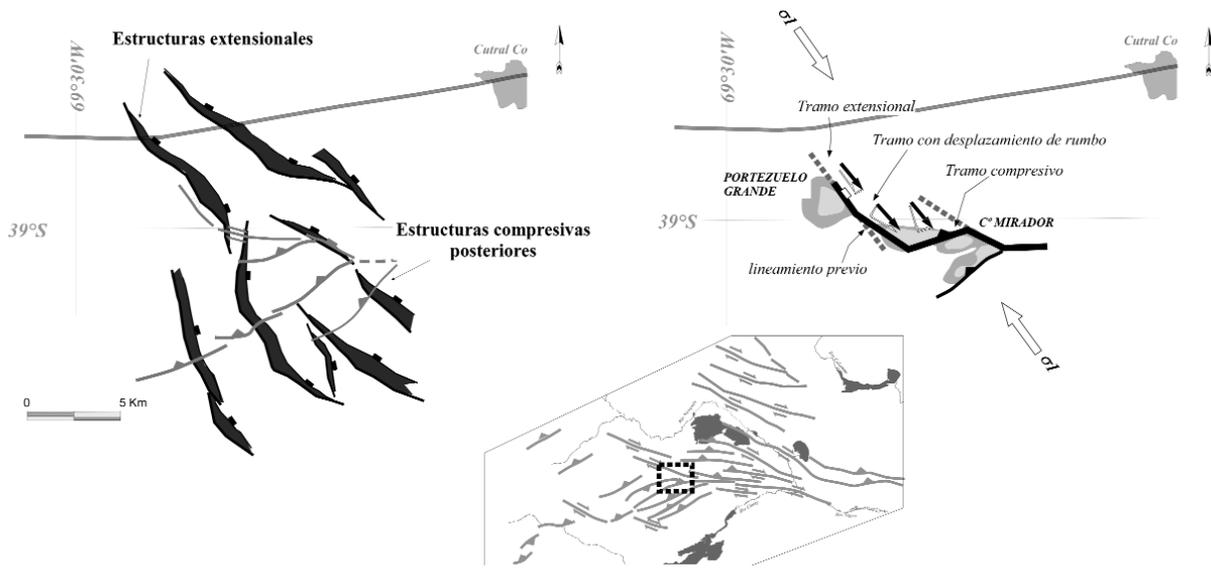


Figura 9: Esquema estructural de reactivación extensional bajo transcurrancia en la zona de falla de Portezuelo Grande-Cerro Mirador. a) Esquema extensional del Grupo Precuyo y lineamientos compresivos superpuestos. b) Esquema estructural y relación entre el campo de esfuerzos y las estructuras generadas. La partición de los esfuerzos en el sector de Portezuelo Grande genera una componente de extensión que provoca la reactivación extensional del hemigraben del Grupo Precuyo. Hacia el este el cambio de rumbo de la falla provoca una mayor componente compresiva dando lugar a cizallamiento inverso.

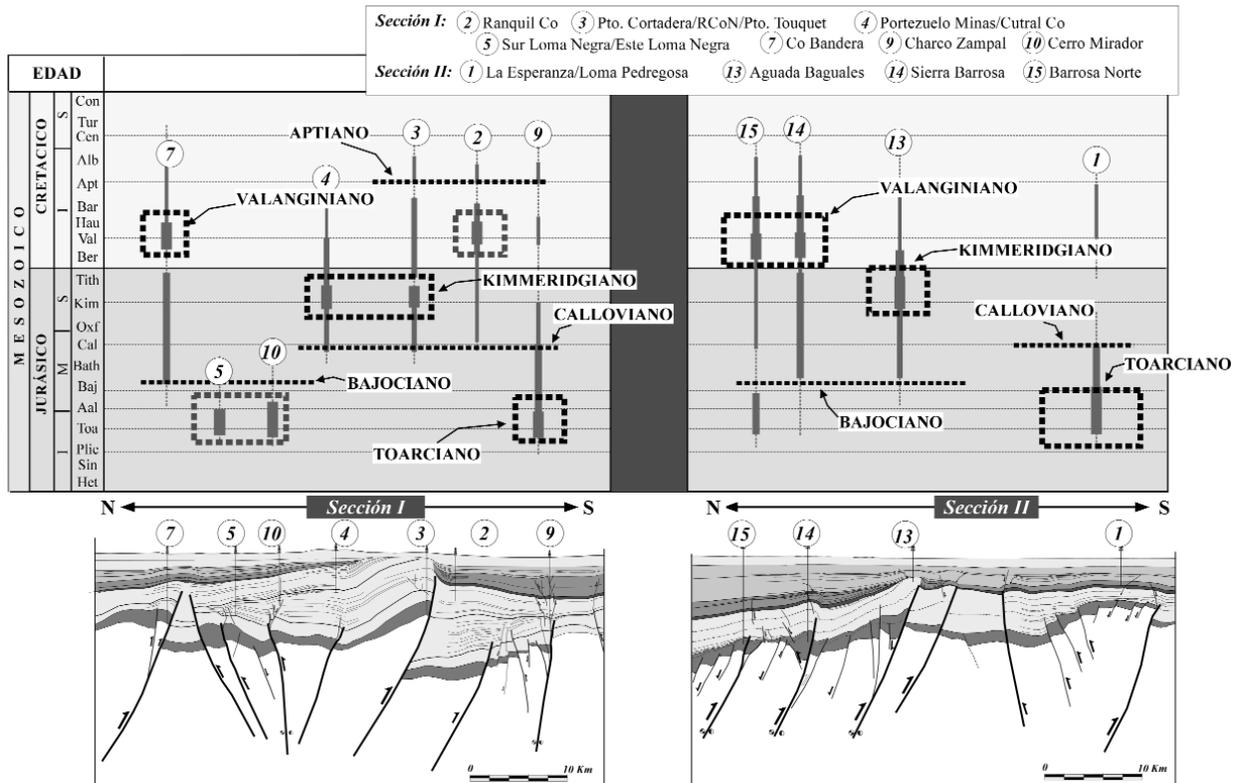


Figura 9: Cuadro de edades de levantamiento de las estructuras principales del sector occidental y central de la Dorsal Neuquina (véase la Fig. 1 para ubicación de las estructuras). Se reconocen tres estadios de máxima deformación: el más antiguo durante el Toarciano, el siguiente durante el Kimmeridgiano y finalmente el último durante el Valanginiano, que marcan una tendencia desde el sector interno hacia el externo.

en donde la vergencia está controlada por las características del nivel de despe-

gue y la magnitud de la tasa de acortamiento que el sistema experimenta (Guts-

cher *et al.* 2001).

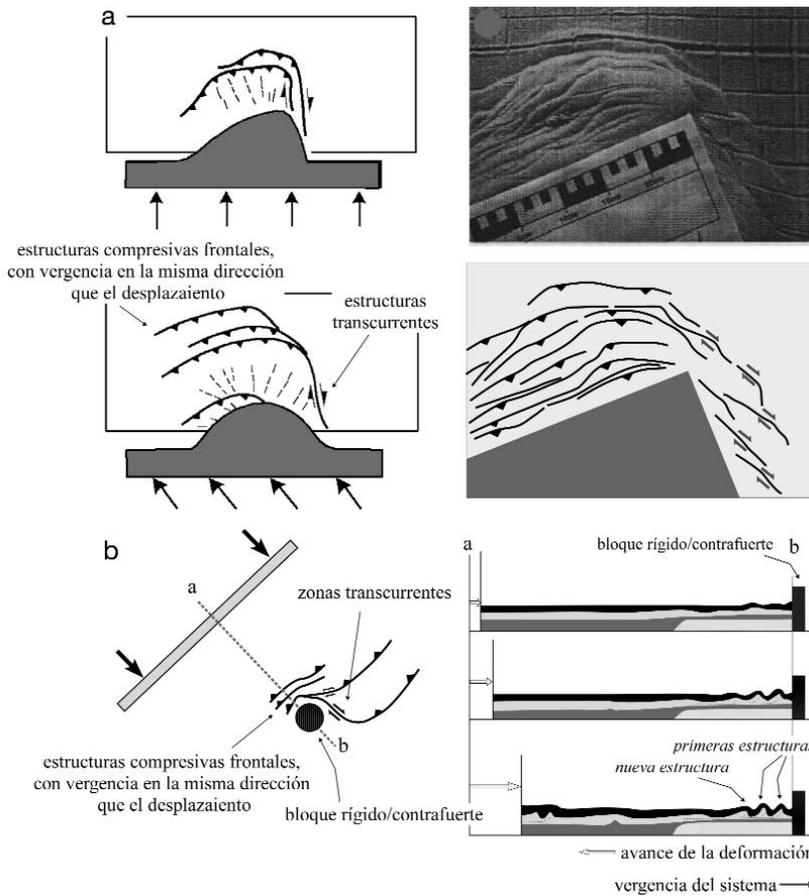


Figura 11: Modelos de convergencia oblicua. a) vista en planta de convergencia entre un bloque rígido móvil y niveles dúctiles posibles de ser plegados. Las estructuras compresivas se forman paralelas a la cara frontal del bloque rígido y en sentido ortogonal a la dirección de movimiento, las zonas transcurrentes se generan subparalelas a la cara lateral del bloque rígido. b) vista en planta y sección de convergencia entre un bloque rígido fijo que actúa como contrafuerte y niveles dúctiles plegados. La vergencia de las estructuras es en el sentido de acortamiento, mientras que la evolución es en el sentido contrario (Modificado de Zweigel 1998, Macedo y Marshak 1999).

Distribución en planta, vergencia y evolución del sistema

En el caso de la dorsal neuquina, a escala regional se observa claramente un sector occidental con predominio de estructuras compresivas y un sector norte y oriental donde predominan las estructuras transcurrentes dextrales (Fig. 12). Simplificando el modelo, el arreglo en planta de las estructuras puede ser originado por convergencia oblicua bajo un campo de esfuerzos NO, entre un bloque rígido y estático ubicado al sureste, que podría corresponder a un cambio en las condiciones mecánicas de la corteza. Este sector actuaría a manera de contrafuerte, con límite oeste de rumbo NE (paralelo

a la traza del río Limay) y límite norte NO (paralelo al cauce del Río Negro). El bloque rígido converge de forma oblicua con una zona al noroeste con corteza adelgazada y debilitada térmicamente por la etapa extensional previa, representada por el basamento de la cuenca Neuquina. La deformación generalizada se extiende hacia la zona de mayor debilidad, mientras que la deformación compresiva se localiza en la zona próxima al bloque rígido (Fig. 12).

Con el avance de la deformación, el sector frontal mayormente compresivo desarrolla características propias de fajas plegadas de piel gruesa, con rejuvenecimiento de las estructuras hacia el sector externo, respondiendo a la necesidad de esta-

bilidad de la cuña orogénica. La vergencia del sistema es contraria al sentido de avance de la deformación en respuesta al efecto de contrafuerte que ejerce el bloque rígido.

Marco tectónico

El origen y evolución tectónica de la dorsal neuquina es relacionada por diferentes autores a la apertura atlántica, principalmente en lo que se refiere al cambio de polaridad del campo de esfuerzos durante el Jurásico. Según Vergani *et al.* (1995) la apertura atlántica provoca la reactivación de debilidades corticales como zonas de transferencias relacionadas a eventos tectónicos paleozoicos de orientación E-W. Evidencias aeromagnéticas aportadas por Chernicoff y Zappettini (2003) muestran anomalías corticales de orientación meridional, coincidentes con el límite sur de la dorsal neuquina, interpretadas por los autores como el límite colisional entre los terrenos de Patagonia en el sur y Chilenia y Cuyania en el norte.

En trabajos recientes Mosquera y Ramos (2005 y 2006) relacionan la evolución de las placas pacíficas, los vectores de convergencia y su influencia en la zona de subducción, con la orientación del campo de esfuerzos activo durante el Jurásico y Cretácico en la cuenca Neuquina. Según los autores, la orientación de la dorsal neuquina es producto de la reactivación de las zonas de sutura del Paleozoico activadas por el inicio de la subducción en el margen Pacífico. La influencia de la placa subducida pacífica fue observada para la etapa extensional previa por Bermúdez *et al.* (2002) a partir del análisis de las características geoquímicas del volcanismo del Precuyano, demostrando la existencia de subducción desde el Triásico Superior-Jurásico Inferior bajo condiciones tectónicas extensionales.

De esta forma, la influencia de placa subducida se observa tanto durante la etapa extensional (Triásico superior-Jurásico inferior) como posteriormente durante la tectónica compresiva (Jurásico Inferior-

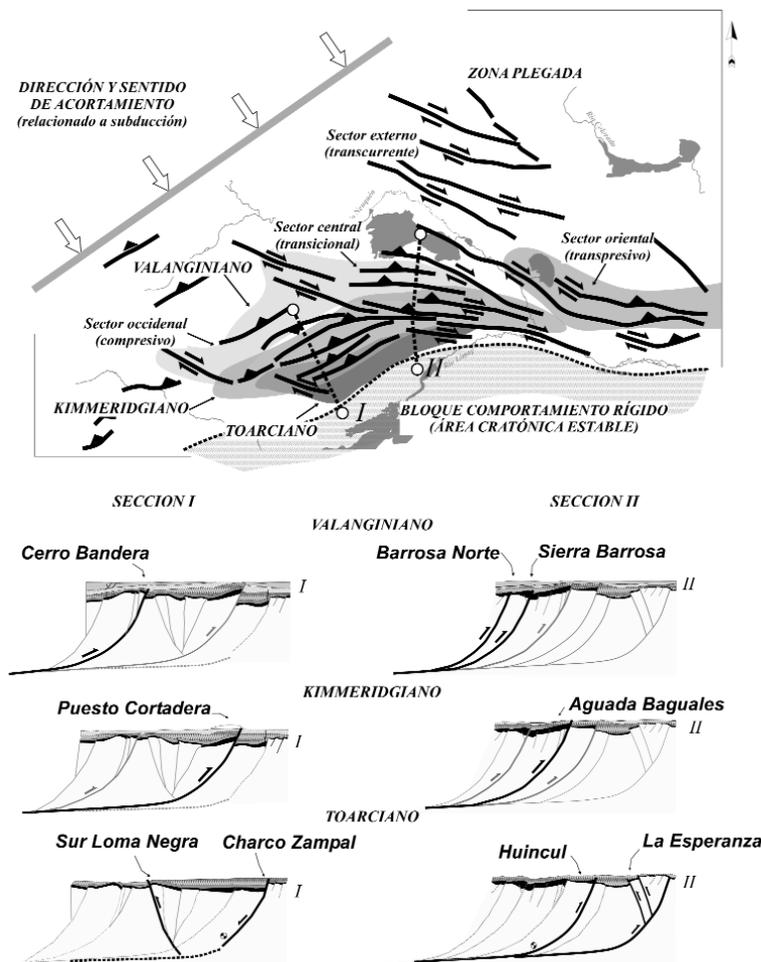


Figura 12: Esquema de convergencia oblicua propuesto para la Dorsal Neuquina. a) Mapa de simplificado de los lineamientos reconocidos en el entorno de la dorsal, con la distribución de zonas compresivas y transcurrentes, ubicación de los tres estadios reconocidos de máxima deformación y límite aproximado entre el sector de comportamiento rígido y el sector plegado. b) Secciones estructurales esquemáticas.

Cretácico). El cambio en el régimen de esfuerzos podría responder entonces a un aumento en la velocidad de convergencia en el margen pacífico originado por la apertura atlántica y relacionado a cambios en el régimen de *roll-back* (Ramos 1999). Según las edades de deformación obtenidas, el cambio en el régimen de esfuerzos tuvo lugar durante el Toarciaco, pasando de un régimen de *roll-back* negativo durante el cual la región de retroarco estuvo sujeta a extensión, a un régimen de *roll-back* positivo donde la tectónica compresiva comienza a dominar el retroarco, focalizando la deformación en la zona de transición entre dos unidades corticales diferentes y reactivando niveles de despegue en la corteza a

profundidades de 15 a 20 km.

CONCLUSIONES

Mediante la interpretación de nueva información de subsuelo integrada en proyectos regionales, se propone un esquema tectónico alternativo para la dorsal neuquina.

La geometría y evolución de las estructuras a escala regional es explicada por la convergencia oblicua entre dos zonas de comportamiento mecánico diferente, bajo un campo de esfuerzos NO-SE relacionado a la subducción en el margen Pacífico. La zona de comportamiento rígido se desarrolla hacia el sureste, con límites aproximados marcados por los

ríos Limay y Río Negro, actuando como un bloque rígido y fijo a manera de contrafuerte. Hacia el noroeste la corteza continental adelgazada por extensión y debilitada térmicamente, posibilita la reactivación y desarrollo de estructuras transcurrentes y compresivas, concentrando la deformación en la zona de transición entre las dos unidades corticales diferentes dando lugar a la dorsal neuquina.

Este modelo regional interactúa con las fallas extensionales preexistentes en el basamento generando estructuras con características locales. Esto permite explicar en un único esquema las complejas características estructurales observadas en la dorsal neuquina, en donde se incluye: 1) rasgos de basamento con hemigrábenes del Triásico Superior-Jurásico de orientación NO; 2) la existencia de un sector occidental dominado por fallamiento inverso y un sector norte y oriental con predominio de estructuras transpresivas; 3) desarrollo de lineamientos estructurales determinando tres orientaciones principales: NE relacionados a las estructuras compresivas sin evidencias de inversión tectónica, NO relacionados a las zonas transcurrentes con control parcial de los rasgos extensionales y E-W que se originan mediante inversión tectónica oblicua con rasgos mixtos de compresión y desplazamiento de rumbo; 4) avance general de la deformación desde el sureste hacia el noroeste, basado en la determinación de las edades de máximo levantamiento de las estructuras.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Gerencia de Exploración de Repsol YPF por permitir la publicación de este trabajo, en especial a Pedro Lafourcade, Tomás Zapata y Jorge Hechem.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Berdini, O., Arregui, C. y Pimentel Mendes, M. 2002. Evolución tecto-sedimentaria de la estructura Río Neuquén, Cuenca Neuquina, Re-

- publica Argentina. 15° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 187-192, Calafate.
- Bermúdez, A., Delpino, D. y Pángaro, F. 2002. Volcanismo de arco asociado a procesos de subducción - extensión durante el Triásico Superior - Jurásico Inferior (Precuyano). Área Cerro Bandera, Cuenca Neuquina, Argentina. 5° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas en CD: 11p., Mar del Plata.
- Brun, J., y Nalpas, T. 1996. Graben inversion in nature and experiments. *Tectonics* 15(2): 677-687.
- Buchanan, J. y Buchanan, P. 1995. Basin inversion. Geological Society, Special Publication 88. 453 p., London.
- Cangini, A., Gomez Omil, R. y Surdam, R. 2002. Nuevas estrategias y tecnologías para la búsqueda de gas en reservorios no convencionales. Cuenca Neuquina, Argentina. INGEPET: 14 p., Lima.
- Cooper, M. y Williams, G. 1989. Inversion tectonics. The Geological Society, Special Publication 44, 356 p., London.
- Chernicoff, C. y Zappetini, E. 2003. Delimitación de los terrenos tectono-estratigráficos de la región centro-austral Argentina: evidencias aeromagnéticas. *Revista Geológica de Chile* 30(2): 299-316.
- Davis, G., Bump, A., García, P. y Ahlgren, S. 2000. Conjugate Riedel deformation band shear zones. *Journal of Structural Geology* 22: 169-190.
- De Ferraris, C. 1947. Edad del arco o Dorsal antigua del Neuquén oriental de acuerdo con la estratigrafía de la zona inmediata. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 2(3): 256-283.
- Digregorio, J. y Uliana, M. 1980. Cuenca Neuquina. En Turner, M. (ed.), 2° Simposio de Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias: 985-1032, Córdoba.
- Dubois, A., Odonne, F., Massonnat, G., Lebourg, T. y Fabre, R. 2002. Analogue modelling of fault reactivation: tectonic inversion and oblique remobilisation of grabens. *Journal of Structural Geology* 24(11): 1741-1752.
- Eisner, P., 1991. Tectonostratigraphic evolution of Neuquén Basin, Argentina. Master Thesis, Rice University (inédito), 56 p., Houston.
- Eyal, Y., Gross, M., Engelder, T. y Becker, A. 2001. Joint development during fluctuation of the regional stress field in southern Israel. *Journal of Structural Geology* 23: 279-296.
- Fossen, H. y Tikoff, B. 1993. The deformation matrix for simultaneous simple shearing, pure shearing and volume change, and its application to transpression-transension tectonics. *Journal of Structural Geology* 15 (3-5): 413-422.
- Fossen, H. y Tikoff, B. 1998. Extended models of transpression and transtension, and application to tectonic settings. En Holdsworth, R., Strachan, R. y Dewey, J. (eds.) Continental transpressional and transtensional tectonics. The Geological Society, Special Publication 135: 15-33, London.
- Grimaldi, G. 2005. Mesozoic tectonic inversion in the Neuquen Basin of west-central Argentina. PhD thesis, Texas A&M University (inédito), 179 p.
- Grimaldi, G. y Dorobek, S. 2005. Styles of deformation and kinematics of mesozoic intraforeland inversion structures, central Neuquén Basin, Argentina. American Association of Petroleum Geology, Annual meeting, Digital abstracts, Calgary.
- Groshong, R. 1988. Low-temperature deformation mechanisms and their interpretation. *Geological Society of America, Bulletin* 100: 1329-1360.
- Gulisano, C. 1981. El ciclo Cuyano en el norte de Neuquén y sur de Mendoza. 8° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 579-592.
- Gutscher, M., Klaeschen, D., Fluch, E. y Malavicille, J. 2001. Non-Coulomb wedges, wrong-way thrusting, and natural hazards in Cascadia. *Geology* 29(5): 379-382.
- Guzmán, C., Cristallini, E., Botessi, G. y Comeron, R. 2005. Horizontal stress orientation from breakout analysis in the Neuquén Basin. 6th ISAG, Extended Abstracts: 354-357, Barcelona.
- Hancock, P. 1985. Brittle microtectonics: principles and practice. *Journal of Structural Geology* 7(3-4): 437-457.
- Harding, T. 1974. Petroleum traps associated with wrench faults. *American Association of Petroleum Geology, Bulletin* 58 (7): 1290-1304.
- Harding, T. 1983. Structural inversion at Rambutan oil field, South Sumatra Basin. En Bally, W. (ed.). Seismic expression of structural styles: a picture and work atlas. American Association of Petroleum Geologists, Studies in Geology 15 (3): 3-18.
- Harding, T. y Lowell, J. 1979. Structural style, their plate tectonic habitats, and hydrocarbon traps in petroleum provinces. *American Association of Petroleum Geology, Bulletin* 63(7): 1016-1058.
- Leanza, H. 1990. Estratigrafía del Paleozoico y Mesozoico anterior a los movimientos intermálmicos en la comarca del Cerro Chachil, Provincia del Neuquen. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 45: 272-299.
- Legarreta, L. y Uliana, M. 1999. El Jurásico y Cretácico de la Cordillera Principal y Neuquina. 1. Facies Sedimentarias. En Caminos, R. (ed.) *Geología Argentina, SEGEMAR, Anales* 29(16): 399-416, Buenos Aires.
- Letouzey, J. 1990. Fault reactivation, inversion and fold-thrust belt. En Letouzey, J. (ed.) *Petroleum and tectonics in mobile belts. Editions Technip: 101-128, Paris.*
- Loza, J., Martínez Lampe, J., Ortín, A., Sánchez, E. y Vignetta, H. 2003. Estudio integral multidisciplinario del Grupo Precuyo. Repsol-YPF, (inédito), 71 p., Neuquén.
- Macedo, J. y Marshak, S. 1999. Controls on the geometry of fold-thrust belt salients. *Geological Society of America, Bulletin* 111(12): 1808-1822.
- Marshak, S. 2004. Salients, recesses, arcs, oroclines, and syntaxes: A review of ideas concerning the formation of map-view curves in fold-thrust belts. En McClay, K.R. (ed.) *Thrust tectonics and hydrocarbon systems. American Association of Petroleum Geologists, Memoir* 82: 131-156.
- McClay, K. y Buchanan, P. 1992. Thrust faults in inverted extensional basins. En McClay, K.R. (ed.) *Thrust tectonics: 93-104, London.*
- Mitra, S. 1993. Geometry and kinematic evolution of inversion structures. *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin* 77: 1159-1191.
- Mosquera, A. 2002. Inversión tectónica jurásico inferior en el sector central de la Dorsal de Huincul, área Los Bastos. 5° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas en CD, 11p., Mar del Plata.
- Mosquera, A. y Ramos, V. 2005. Intraplate deformation in the Neuquén embayment. 6° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas en CD, 28 p., Mar del Plata.

- Mosquera, A. y Ramos, V. 2006. Intraplate deformation in the Neuquén Embayment. En Kay, S. y Ramos, V. (eds.) Evolution of an Andean margin: A tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén Basin (35°-39°S lat), Geological Society of America, Special Paper 407: 97-123.
- Orchuela, J., Ploszkiewicz, V. y Viñes, R. 1981. Reinterpretación estructural de la denominada Dorsal Neuquina. 8° Congreso Geológico Argentino (San Luis), Actas 3: 281-293.
- Orchuela, I. y Ploszkiewicz, V. 1984. La Cuenca Neuquina. En Ramos, V. (ed.) Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Río Negro, 9° Congreso Geológico Argentino (San Carlos de Bariloche), Relatorio: 163-188, Buenos Aires.
- Pángaro, F. y Bruveris, P. 1999. Reactivación tectónica multiepisódica de sistemas extensionales, Cuenca Neuquina, Argentina. 14° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 231-234, Salta.
- Pángaro, F., Veiga, R. y Vergani, G. 2002. Evolución tecto-sedimentaria del área Cerro Bandera, Cuenca Neuquina, Argentina. 5° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas en CD, 16 p., Mar del Plata.
- Pángaro, F., Pereira, M., Raggio, F., Pioli, O., Silvestro, J., Zubiri, M. y Gozalvez, G. 2006. Tectonic inversion of the Huincul High, Neuquen Basin, Argentina: an endangered species. Stratigraphic evidences of It's disappearance. 9° Simposio Bolivariano de Exploración Petrolera en Cuencas Subandinas, Actas 9 p., Cartagena.
- Panien, M., Schreurs, G. y Pfiffner, A. 2005. Sandbox experiments on basin inversion: testing the influence of basin orientation and basin fill. *Journal of Structural Geology* 27: 433-445.
- Ploszkiewicz, V., Orchard, L., Vaillard, J., y Viñes, R. 1984. Compresión y desplazamiento lateral en la zona de falla Huincul, estructuras asociadas, Provincia de Neuquén. 9° Congreso Geológico Argentino (Bariloche), Actas 2: 163-169, Buenos Aires.
- Ramos, V. 1978. Estructura. Relatorio Geología y Recursos Naturales del Neuquén, 7° Congreso Geológico Argentino (Neuquén), Relatorio: 99-118, Buenos Aires.
- Ramos, V. 1999. Plate tectonic setting of the Andean Cordillera. *Episodes* 22(3): 183-190.
- Ramos, V., Riccardi, A. y Roller, E. 2004. Límites naturales del norte de la Patagonia. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 59(4): 785-786.
- Rossello, E. 2002. Estudio estructural de campo para proyecto Grupo Cuyo, Cuenca Neuquina. Repsol-YPF, (inédito), 42 p., Neuquén.
- Sanderson, D. y Marchini, R. 1984. Transpression. *Journal of Structural Geology* 6(5): 449-458.
- Taha, M. 1998. Fractures and fractures reservoirs. Search, Schlumberger Surencó C.A. 6: 6-25.
- Tchalenko, J. 1970. Similarities between shear zones of different magnitudes. *Geological Society of America, Bulletin* 81: 1625-1640.
- Teyssier, C., Tikoff, B. y Markley, M. 1995. Oblique plate motion and continental tectonics. *Geology* 23(5): 447-450.
- Thomas, G. 1974. Lineament-block tectonics: Williston-Blood Creek Basin. *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin* 58(7): 1305-1322.
- Tikoff, B. y Teyssier, C. 1994. Strain modelling of displacement-field partitioning in transpressional orogens. *Journal of Structural Geology* 16(11): 1575-1588.
- Tikoff, B. y Peterson, K. 1998. Physical experiments of transpressional folding. *Journal of Structural Geology* 20(6): 661-672.
- Uliana, M. y L. Legarreta (1993). Hydrocarbons habitat in a Triassic-to-Cretaceous sub-andean setting: Neuquén Basin, Argentina. *Journal of Petroleum Geology* 16(4): 397-420.
- Uliana, M., Arteaga, M., Legarreta, L., Cerdan, J. y Peroni, G. 1995. Inversion structures and hydrocarbon occurrence in Argentina. En Buchanan, J. y Buchanan, P. (eds.) Basin Inversion. The Geological Society, Special Publication 88: 211-233. London
- Veiga, R., Hechem, J., Bolatti, N., Agraz, P., Sánchez, E., Saavedra, C., Pángaro, F., García, D. y Moreira, E. 2001. Syn-rift deposits as a new play concept in the central portion of the Neuquén basin: future perspectives from the analysis of physical models. *American Association of Petroleum Geologists, Hedberg Research Conference, Abstracts* 6 p., Mendoza.
- Venkat-Ramani, M. y Tikoff, B. 2002. Physical models of transtensional folding. *Geology* 30(6): 523-526.
- Vergani, G. 2005. Control estructural de la sedimentación Jurásica (Grupo Cuyo) en la Dorsal de Huincul, Cuenca Neuquina, Argentina. Modelo de falla lítrica rampa-plano, invertida. *Boletín de Informaciones Petroleras* 1(1): 32-42.
- Vergani, G., Tankard, A., Belotti, H. y Welsink, H. 1995. Tectonic evolution and paleogeography of the Neuquén Basin, Argentina. En Tankard, A., Suárez, R. y Welsink, H. (eds.) Petroleum Basins of South America, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 62: 383-402.
- Viola, G., Odone, F. y Mancktelow, N. 2004. Analogue modelling of reverse fault reactivation in strike-slip and transpressive regimes: application to the Giudicarie fault system, Italian Eastern Alps. *Journal of Structural Geology* 26(3): 401-418.
- Wilcox, R., Harding, T. y Seely, D. 1973. Basic wrench tectonics. *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin* 57: 74-96.
- Zweigel, P. 1998. Arcuate accretionary wedge formation at convex plate margin corners: results of sandbox analogue experiments. *Journal of Structural Geology* 20(12): 1597-1609.

Recibido: 16 de marzo, 2007

Aceptado: 22 de noviembre, 2007