

## EL FLANCO ORIENTAL

Francisco Pángaro<sup>1</sup>, Ricardo Martínez<sup>1</sup>, Federico Sattler<sup>1</sup> y Fernando H. Bettini<sup>2</sup>

1. Petrobras Argentina SA francisco.pangaro@petrobras.com 2. YPF SA

### RESUMEN

El análisis estructural del flanco oriental del Engolfamiento Neuquino mediante la recopilación de trabajos previos y su integración con nuevos datos permitió una visión integrada de su evolución. Se reconoce al Bajo de Añelo como eje de subsidencia durante el Jurásico y control sobre la orientación predominantemente NO de las fallas del *rift* el cual se prolongó desde el Triásico Tardío hasta el Pliensbachiano, aunque la subsidencia en algunas fallas de la etapa de *rift* fue observada en numerosas estructuras hasta el Kimmerdigiano. La subsidencia termal posterior estuvo controlada tanto por la distancia al Bajo de Añelo como por el basculamiento regional hacia el O reconociéndose una línea de *hinge* que separa un talud y una extensa plataforma. Lineamientos de orientación ONO desarrollados entre el Jurásico Tardío y el Cretácico Tardío e inclusive Terciario, se interpretan asociados a fallas de rumbo destal de alto ángulo. Éstas generan en la cobertura sedimentaria sistemas de fallas *en echelon* que ocurren en trenes de más de 50 km de longitud y segmentan rasgos estructurales mayores como *half-grabens* del *rift* y estructuras asociadas. Se interpreta su desarrollo como el resultado de la rotación del campo de esfuerzos durante el Jurásico Tardío y su interacción con macro elementos estructurales. Las principales estructuras productivas de hidrocarburos del flanco oriental del engolfamiento están asociadas a *faulted drapes* y *drape folds* desarrollados sobre hombros de *half-grabens* y *horsts* de orientación NO; por su parte los lineamientos ONO generan pocas estructuras positivas y de tamaño más reducido que las asociadas al *rift*. La subsidencia diferencial de la etapa de *sag* tiene impacto en la distribución de hidrocarburos ya que controla la ubicación de trampas estratigráficas de orientación paralela al eje de subsidencia.

**Palabras clave:** Flanco Oriental, configuración estructural regional, *rift*, deformación transcurrente

### ABSTRACT

*The eastern flank.* - The integrated analysis of the Engolfamiento Neuquino through compilation of published and new data allowed a solid integrated interpretation of its structural evolution. The Bajo de Añelo is recognized as the subsidence axis during Jurassic times and the controlling factor of the orientation of the rift phase faults which were active from Upper Triassic to Pliensbachian. Later tectonic subsidence related to rift faults is present in several structures up to Kimmerdigian times. Post rift thermal subsidence was controlled by the distance to the Bajo de Añelo and regional westwards tilting; a hinge line dividing this flank of the basin in a talus and an extended platform is recognizable through thickness of post rift sediments. WNW oriented lineaments developed during Upper Jurassic to Upper Cretaceous and possibly Tertiary times; they are interpreted as being related to right lateral high angle strike slip faults. These faults generate en echelon fault systems in the sedimentary cover occurring in 50 km long trends and segmenting major structural features such as half-grabens and horsts of the rift phase and related structures. Their genesis is interpreted as the result of the stress field rotation during Upper Jurassic times and its interaction with macro structural features. Main oil producing structures of the eastern flank of the Engolfamiento Neuquino are related to faulted drapes and drape folds developed over NW oriented half-grabens and horsts of the rift phase; on the other hand WNW lineaments generate smaller and fewer structures. Differential subsidence during sag phase is interpreted as having a strong impact in the existence of stratigraphic traps oriented parallel to the subsidence axis.

**Key words:** Eastern Flank, regional structural configuration, rift, strike slip deformation

### INTRODUCCIÓN

El Flanco Oriental del Engolfamiento Neuquino de abarca un área de 27.000 km<sup>2</sup> y se extiende desde el Bajo de Añelo al sudoeste hasta el borde de cuenca al noreste, abarcando parte de las provincias del Neuquén, La Pampa, Río Negro y Mendoza (Fig. 1). Sus límites como unidad morfo-estructural están dados por el Bajo de Añelo al SO, el borde de cuenca al NE y la Dorsal de Huincul al SE; hacia el NO el límite es algo más difuso pudiendo situarse el mismo en el Bajo de Huantraico.

La Plataforma Oriental fue descrita por Ramos (1978) en el contexto estructural de la cuenca reconociendo sus límites en el lineamiento Añelo – Cortaderas – Chillán, y en el Cratógeno Pampeano (Braccacini 1960) y destacando

el paralelismo entre estos rasgos y los trenes estructurales interpretados en ella. Dada su importancia desde el punto de vista de la producción de hidrocarburos, el área fue objeto de numerosos análisis y publicaciones enfocados tanto en su estratigrafía como en su estructura (Ramos 1978; Arregui *et al.* 1996; Veiga *et al.* 1999; Arregui *et al.* 2005; Rossello & Barrionuevo 2005; Valenzuela *et al.* 2005; Barrionuevo *et al.* 2005; Olmos & Somerfeld 2005; Cristallini *et al.* 2006). El grado de integración y escala de estas publicaciones evolucionó a lo largo de las últimas tres décadas en función de la cantidad de información sísmica 3D disponible y las herramientas de integración con que se cuenta en la actualidad. Se destaca en especial el análisis estructural integrado que aportan para diferentes áreas de la plataforma Cristallini *et al.* (2009).

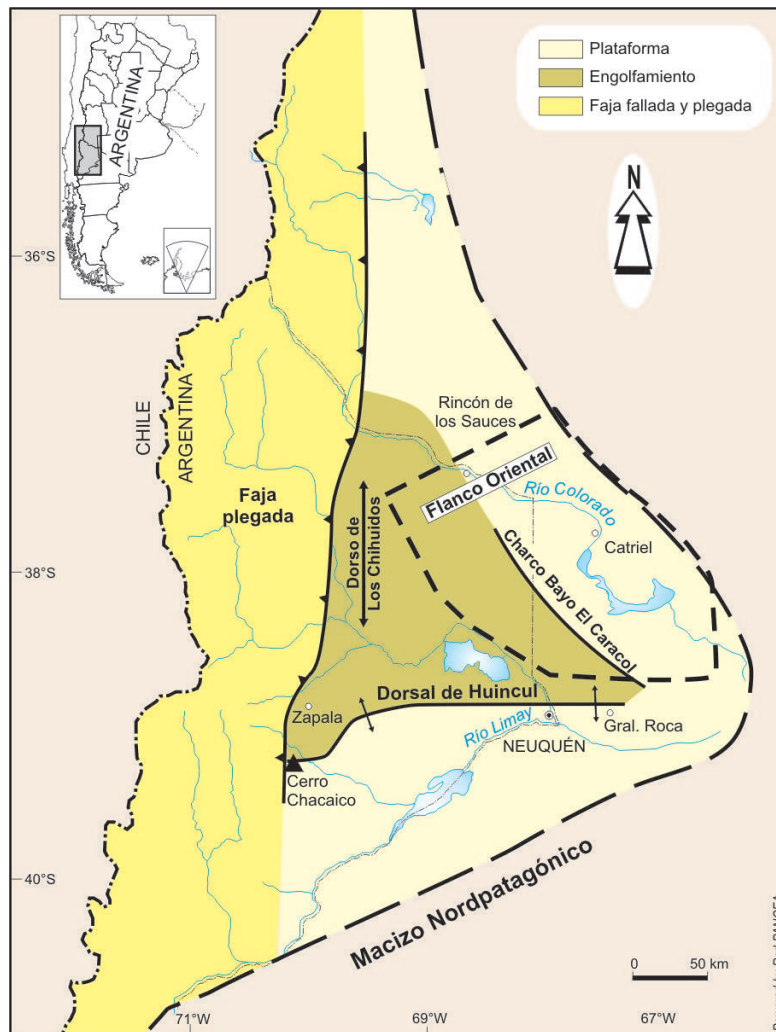


Figura 1: Mapa de ubicación del área analizada.

En el presente trabajo se provee una integración a escala regional de los rasgos estructurales entre el Bajo de Añelo y el borde NE de la Cuenca Neuquina con el objeto de consolidar e interpretar en forma integrada el conocimiento acumulado sobre la estructura del área, su evolución, y su impacto sobre los elementos condicionantes de la distribución de hidrocarburos.

### Configuración estructural regional

El Flanco Nororiental se encuentra confinado entre dos rasgos paralelos de orientación NO de escala regional que, pese a la cobertura Cretácica y Terciaria poco deformada, son claramente visibles aún en imágenes satelitales (Fig. 2). En particular su límite SO que coincide con un tramo rectilíneo del río Neuquén de orientación NO de 80 km de longitud entre las ciudades de Neuquén y Añelo; mientras que el límite nororiental está constituido por el borde de cuenca sobre el macizo de la Sierra Pintada.

En un corte sísmico regional es posible caracterizar al Flanco Oriental como el flanco de una cuenca de *rift*, reconociéndose en él claramente el relleno de la etapa de subsidencia tectónica activa y el de subsidencia térmica (Fig. 3); el eje de esta cuenca de *rift* que conforma el Engolfamiento Neuquino es el Bajo de Añelo, rasgo que

controló la subsidencia entre el Jurásico Temprano y al menos el Paleógeno, aunque desde el Cretácico el basculamiento regional hacia el O enmascara la subsidencia en este eje. Se reconocen en la etapa de subsidencia termal dos etapas, una inicial que abarcó hasta el Jurásico Superior (Kimmeridgiano) durante la cual el grueso de la sedimentación se concentró al sur del río Colorado, y una póstuma que se extiende al menos hasta el Paleógeno durante la cual se da una subsidencia térmica generalizada y traslape de los sedimentos hasta el borde de cuenca. De esta forma los sedimentos pre-cretácicos presentan un fuerte acuñaamiento en la zona del río Colorado en coincidencia con una zona de *hinge* que divide a la plataforma en dos sectores, uno sudoccidental caracterizado por una mayor inclinación de la discordancia *rift – sag*, y uno nororiental caracterizado un gradiente mucho menor. El control sobre la subsidencia de cada uno de los segmentos queda de manifiesto si se compara su origen tecto-sedimentario, el sector más interno tienen una proporción mucho mayor de sedimentos de *sag*, 6 km contra 2,5 km de *rift*, mientras que al NE del *hinge* esta situación se invierte siendo mayor el espesor del relleno de *rift* en comparación con el de *sag*. Otros autores proponen al Bajo de Añelo y parte del Flanco Oriental como una cuenca de antepaís (Mosquera & Ramos 2006) que habría evolucionado desde

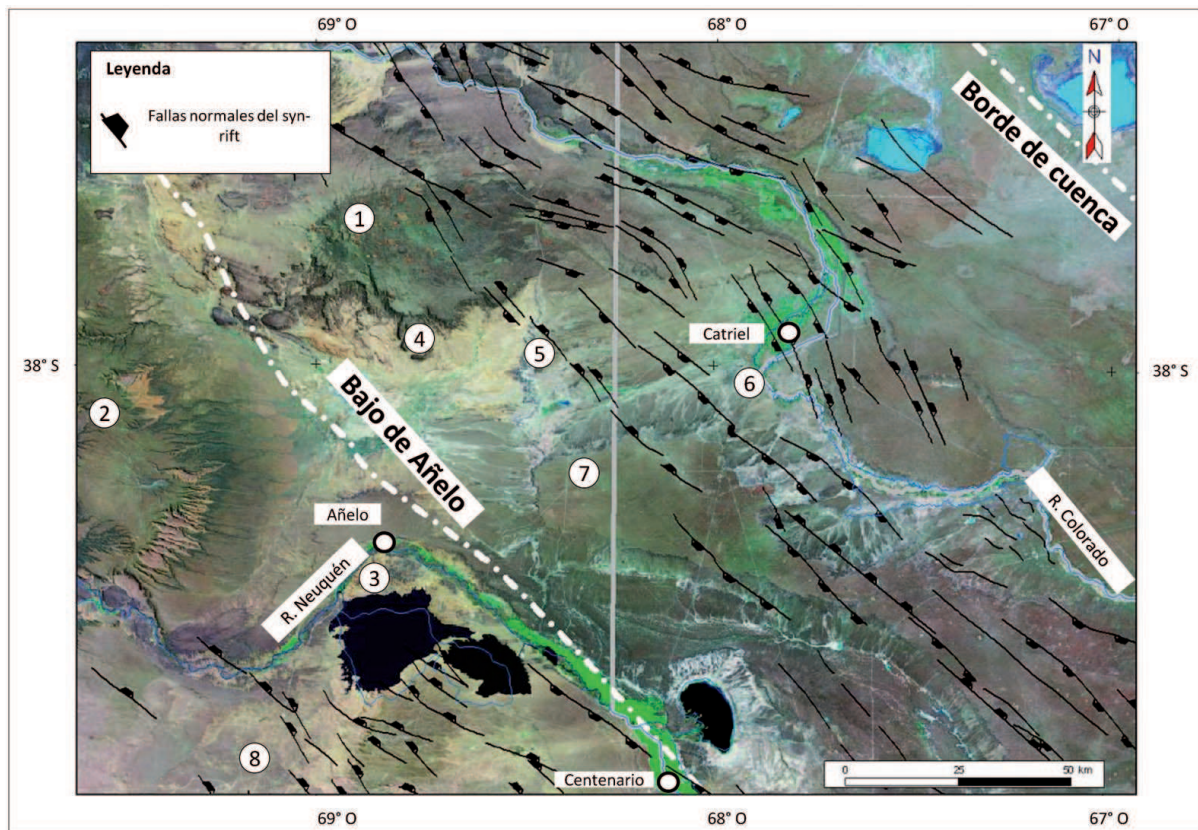


Figura 2: Imagen Landsat del área analizada. Superpuestas se encuentran las fallas de la etapa de *rift* mapeadas. Nótese el paralelismo entre éstas y el borde de cuenca y el Bajo de Añelo, el cual coincide con un tramo rectilíneo del río Neuquén de unos 80 km. 1. Volcán Auca Mahuida. 2. Dorso de los Chihuidos. 3. Alto de Sauzal Bonito. 4. Aguada San Roque. 5. Alto Entre Lomas. 6. Medanito - 25 de Mayo. 7. Coirón Amargo. 8. Aguada Toledo.

el Cretácico en respuesta al apilamiento tectónico en la faja plegada; este punto es tratado con más detalle en este volumen en Pángaro *et al.* (2011).

Un análisis más detallado del mismo corte y otro ubicado al SE (Figs. 3 y 4) permite reconocer tres tipos de fallas: las de la etapa de *rift* que se propagan en los sedimentos jurásicos y cretácicos del *sag*; sistemas de fallas normales que afectan a la cobertura cretácica y se localizan directamente sobre las fallas del *rift*; y por último fallas posteriores a la etapa de *rift* que afectan desde el basamento hasta los sedimentos cretácicos. Mientras que las dos primeras muestran un claro patrón de evolución y su actitud responde a la subsidencia tafrogénica en las fallas maestras de los depocentros y a subsidencia mixta tafrogénica y por compactación diferencial (Cristallini *et al.* 2009), las segundas no muestran control previo alguno sobre su emplazamiento y desarrollan en general estructuras en flor típicas de la deformación con componente de rumbo.

Para el análisis estructural se integró a escala regional la información existente en la bibliografía aumentada con mapeos adicionales consolidándose un mapa de fallas para el tope del Jurásico (Fig. 5); se construyó además un mapa de las estructuras de la etapa de *rift* (Fig. 6) basándose ambos principalmente en los trabajos de Arregui *et al.* (2005), Berdini *et al.* (2005), Cechich (2005), Fernández *et al.* (2005), Martínez *et al.* (2005), Mirinda & Carbone (2005), Valenzuela & Comeron (2005), Cristallini *et al.* (2006), Pángaro *et al.* (2006, 2009), Silvestro & Zubiri (2008) y Cristallini *et al.*

(2009) y en la zona noreste, hacia el borde de cuenca, en el mapa de anomalía de Boguer de Sigismondi & Ramos (2008).

El mapa de fallas y estructuras al tope del Jurásico (Fig. 5) permite a escala regional aislar tres sectores: uno con estructuras de orientación E – O y fallas inversas de igual orientación, uno de estructuras y lineamientos N – S, y otro en el que predominan las fallas y estructuras de orientación NO. Sobreimpuesto a estos tres sectores se reconoce un conspicuo sistema de alineaciones de fallas *en echelon* de orientación NNO que en algunos casos superan los 50 km de longitud. Se reconocen además las estructuras sub-circulares del volcán Auca Mahuida y Chihuido de la Sierra Negra – El Trapial, con sus fallas asociadas de arreglo aproximadamente radial generadas ambas por el emplazamiento de rocas ígneas en la columna sedimentaria durante el Terciario (Valenzuela & Comeron 2005; Vottero *et al.* 2005).

#### Análisis de estructuras a escala regional

La integración de los depocentros del *syn-rift* permite a las claras reconocer un arrumbamiento NO de las fallas de esta etapa paralelas al Bajo de Añelo, y se destacan en ellas una serie de altos de basamento en hombros de *half-grabens* y *horsts* de unos 50 km de extensión como el de Charco Bayo – El Caracol (Fig. 6).

Por su parte el mapa de estructuras construido para el tope del Jurásico (Fig. 5) permite discriminar las fallas

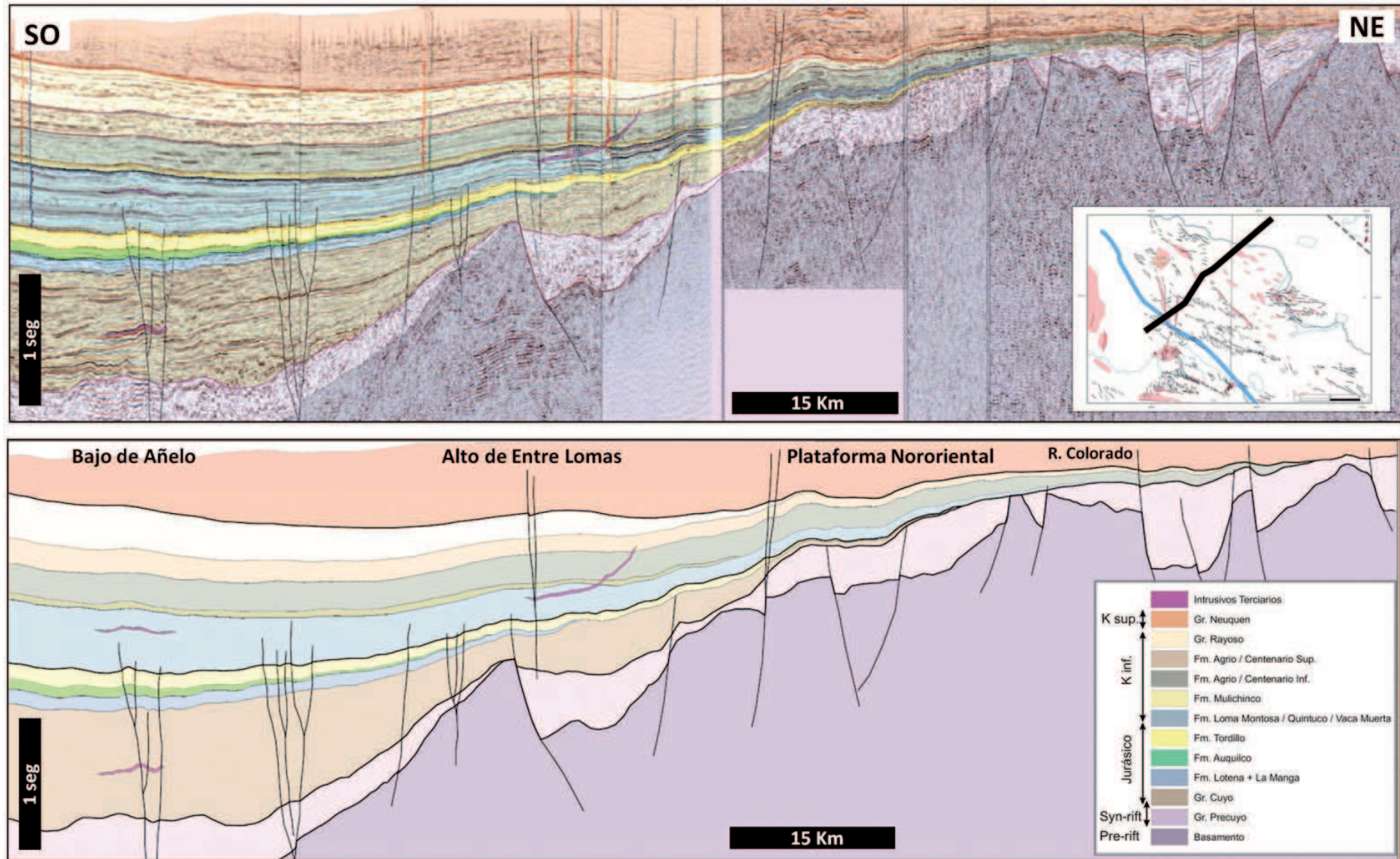


Figura 3: Corte sísmico en tiempo del área analizada. Al SO se observa el Bajo de Añelo y en el cual se destaca un potente paquete de sedimentos Jurásicos en contraste con el fuerte acuñamiento de los mismos hacia la plataforma nororiental.

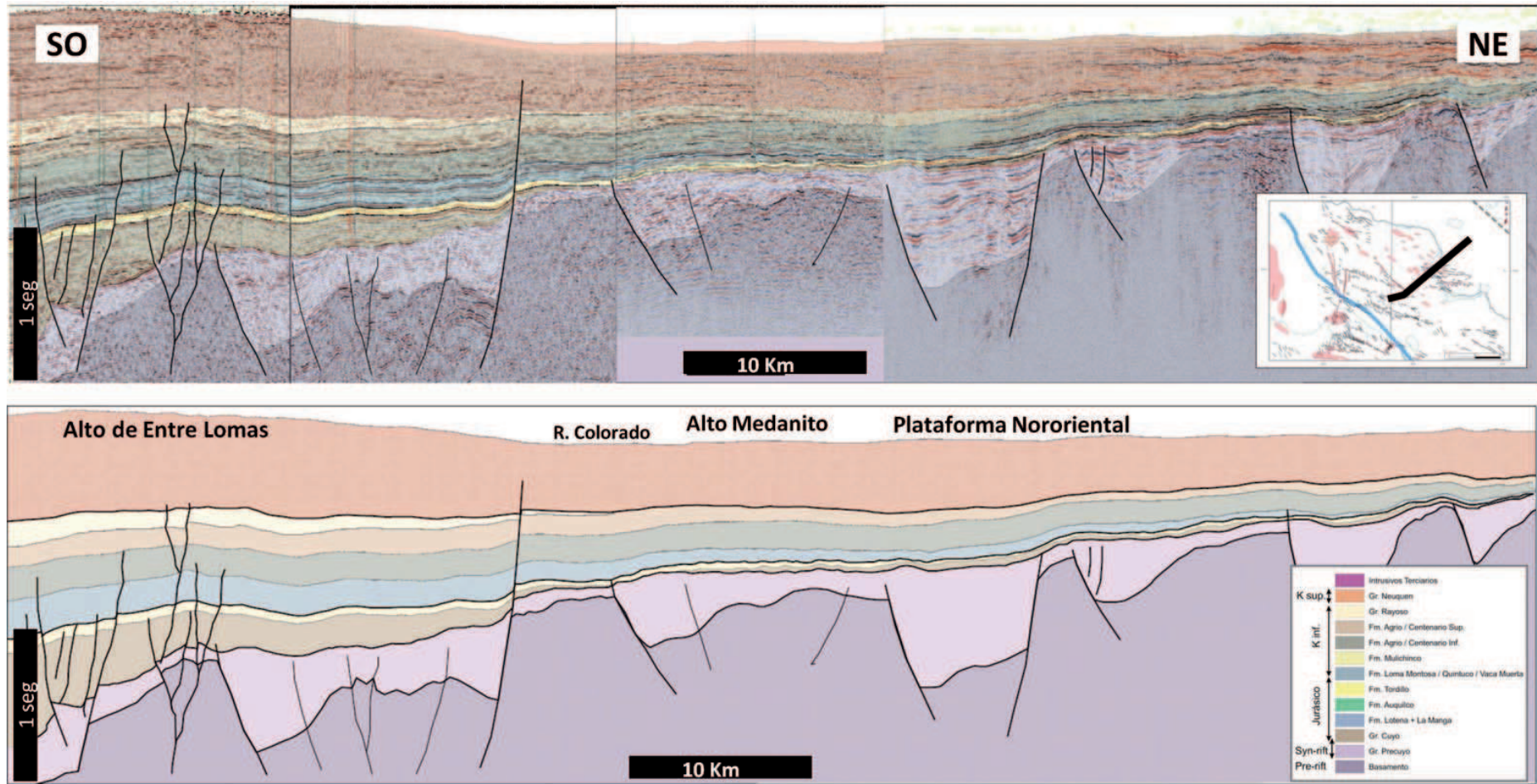


Figura 4: Corte sísmico en tiempo entre el alto de Entre Lomas y la plataforma nororiental. Nótese las estructuras generadas por subsidencia tafrogénica y por compactación diferencial en las zonas de hombro de *half-grabens* y de *horsts*. Hacia el SO los sistemas de fallas *en echelon* son un rasgo conspicuo.

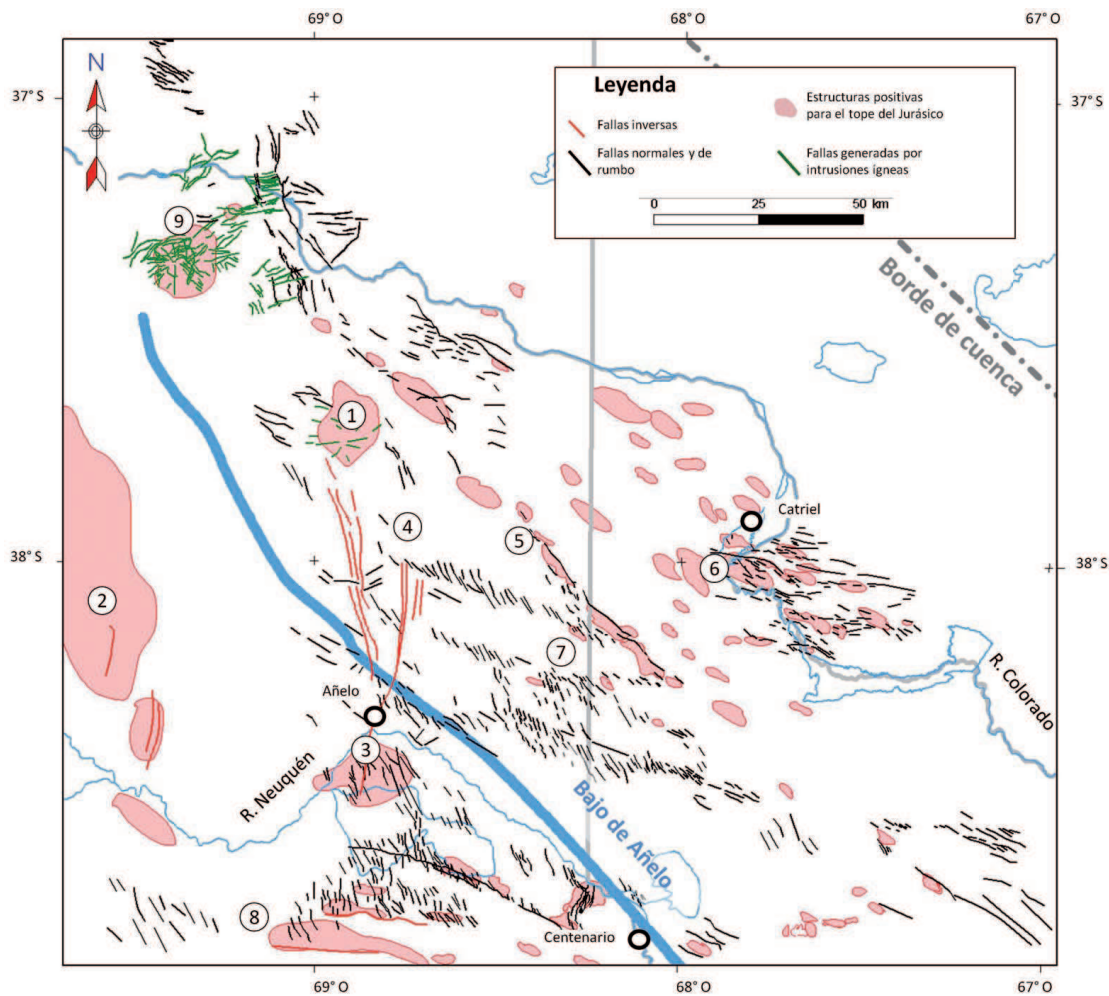


Figura 5: Estructuras mapeadas al tope del Jurásico. 1. Volcán Auca Mahuida. 2. Dorso de los Chihuidos. 3. Alto de Sauzal Bonito. 4. Aguada San Roque. 5. Alto Entre Lomas. 6. Medanita - 25 de Mayo. 7. Coirón Amargo. 8. Aguada Toledo.

generadas por la propagación de las fallas del *syn-rift* en la cobertura sedimentaria de la etapa de *sag*, éstas tienen una orientación netamente NO similar a la mayoría de las estructuras anticlinales mapeadas en la plataforma. Este sistema de fallas a nivel de la cobertura es interpretado por Cristallini *et al.* (2009) en algunos sectores de la plataforma como el resultado de subsidencia por compactación diferencial. Se destacan en el mapa también las culminaciones estructurales positivas más importantes, las cuales tienen en el sector del Flanco Oriental en su mayoría perfecto correlato con las estructuras del *syn-rift*.

Se observa además que el sistema de fallas asociadas a las estructuras en flor mapeadas para el tope del Jurásico corresponde a los sistemas de fallas *en echelon* de orientación ONO como los descritos en este y otros sectores de la cuenca (Pángaro & Bruveris 1999; Pángaro *et al.* 2002; Fernández *et al.* 2005; Mirenda & Carbone 2005; Cristallini *et al.* 2009). La integración de diferentes fuentes de información permitió reconstruir en algunos casos trenes de fallas que exceden los 50 km de longitud como los de Lago Pellegrini norte, Aguada San Roque – Entre Lomas y Borde Montuoso, Coirón Amargo y Mata Mora. Otros trenes de estas fallas como el de Lindero Atravesado o Lindero Atravesado Norte no pudieron ser mapeados en extensiones tan largas pero esto fue debido a la falta de datos.

Estos sistemas de fallas presentan para el tope del Jurásico típicamente alineamientos de fallas normales de orientación NO de unos 2 a 5 km de longitud conformando flores negativas; flores positivas son muy poco frecuentes y fallas inversas, si bien fueron documentadas, son también muy escasas. En profundidad los sistemas *en echelon* corresponden a fallas dextrales de gran longitud que fueron identificadas en sismica 3D tanto en el Bajo de Añelo como al SO y NE del mismo.

En el sector sur del mapa presentado se destacan una serie de fallas y estructuras asociadas de orientación E – O; éstas corresponden a estructuras anticlinales, en general de vergencia al sur que constituyen el sector norte de la Dorsal de Huincul. Por otro lado, hacia el Oeste se destaca la estructura del Dorso de los Chihuidos y un conjunto de fallas de orientación N-S que corresponden a la máxima extensión hacia el E de la deformación miocena de la faja plegada y corrida que en el sector norte del área analizada alcanzan el Flanco Oriental. Otro rasgo que destaca en la zona centro norte del área analizada son las estructuras del Volcán Auca Mahuida y Chihuido de la Sierra Negra – El Trapial, estructuras semicirculares surcadas por fallas radiales y cuya génesis se debe a la intrusión de rocas ígneas en la columna sedimentaria (Vottero *et al.* 2005; Pángaro *et al.* 2005; Valenzuela & Comeron 2005).

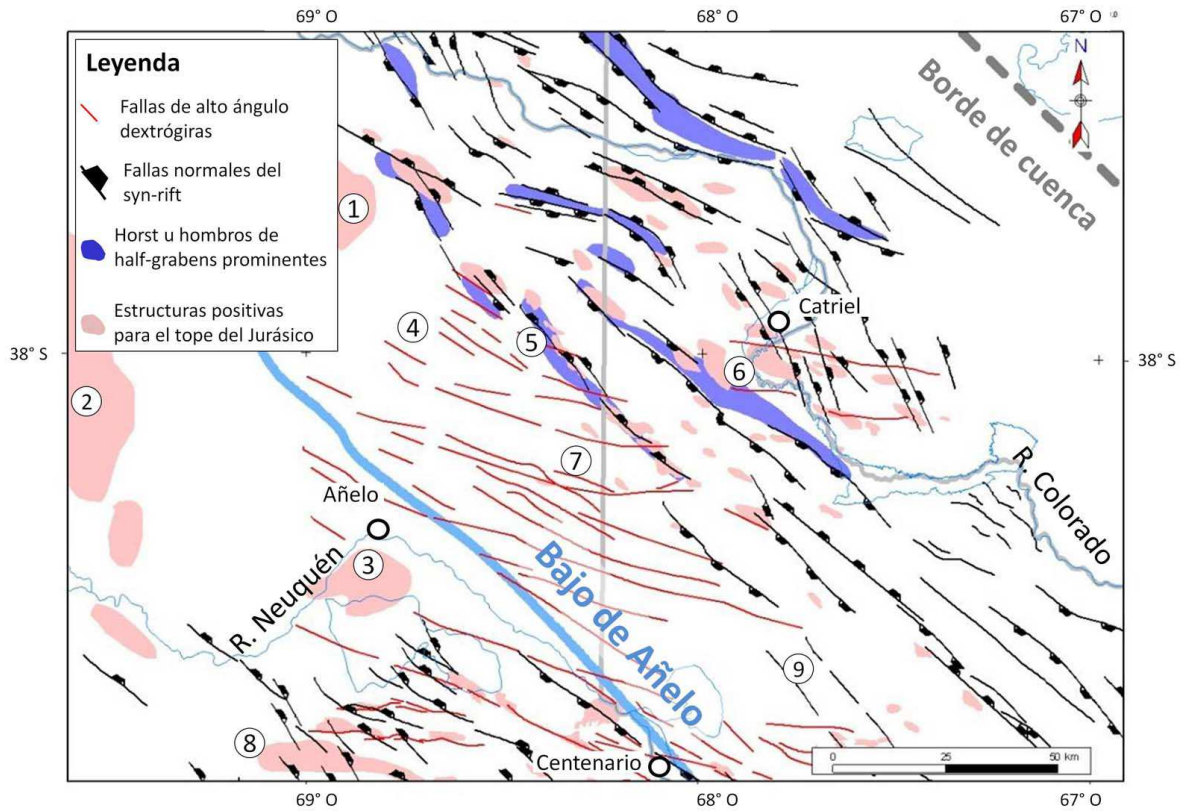


Figura 6: Estructuras mapeadas al tope del Precambriano y basamento basadas en interpretación y recopilación bibliográfica. Véase el texto para referencias de trabajos previos. 1. Volcán Auca Mahuida. 2. Dorso de los Chihuidos. 3. Alto de Sauzal Bonito. 4. Aguada San Roque. 5. Alto Entre Lomas. 6. Medanita - 25 de Mayo. 7. Coirón Amargo. 8. Aguada Toledo. 9. Alto de Kauffman.

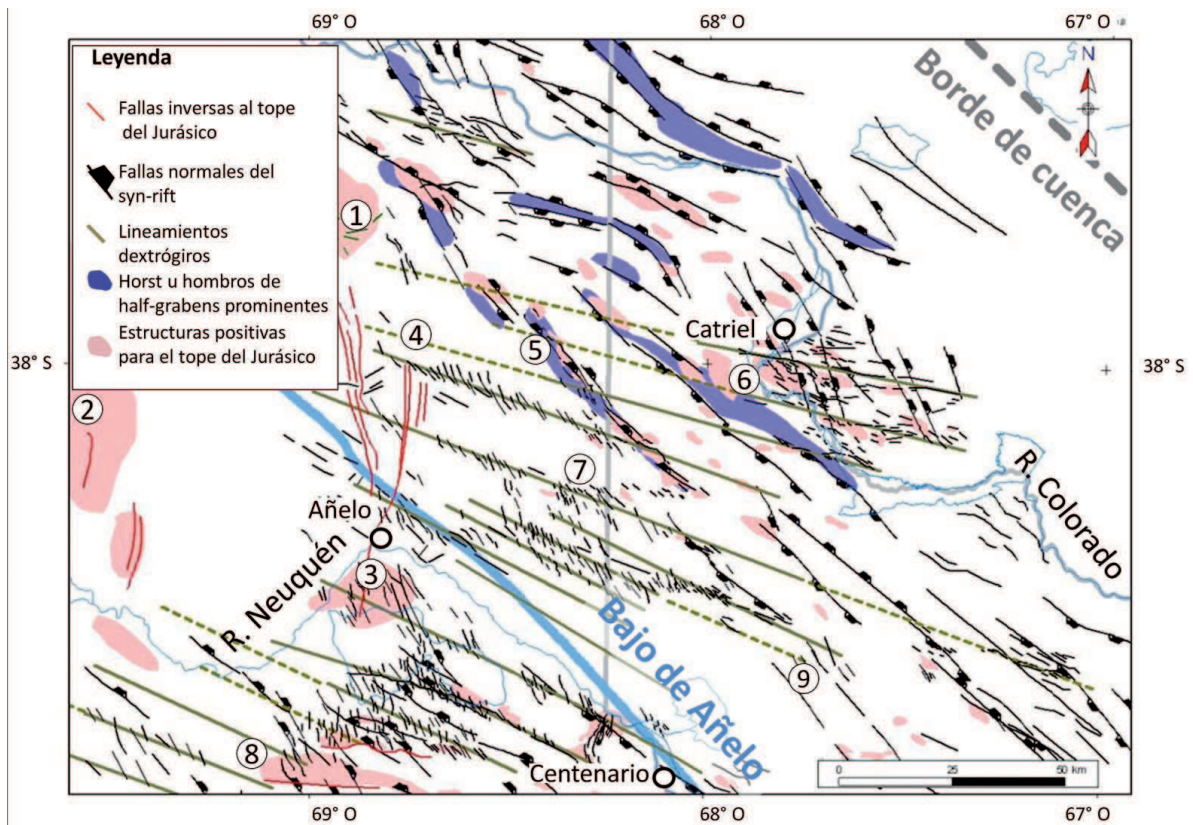


Figura 7: Superposición de las estructuras mapeadas al tope del Precambriano y basamento con los sistemas de fallas mapeados para el tope del Jurásico. Se destacan los sistemas de fallas en echelón para el tope del Jurásico. 1. Volcán Auca Mahuida. 2. Dorso de los Chihuidos. 3. Alto de Sauzal Bonito. 4. Aguada San Roque. 5. Alto Entre Lomas. 6. Medanita - 25 de Mayo. 7. Coirón Amargo. 8. Aguada Toledo. 9. Alto de Kauffman.

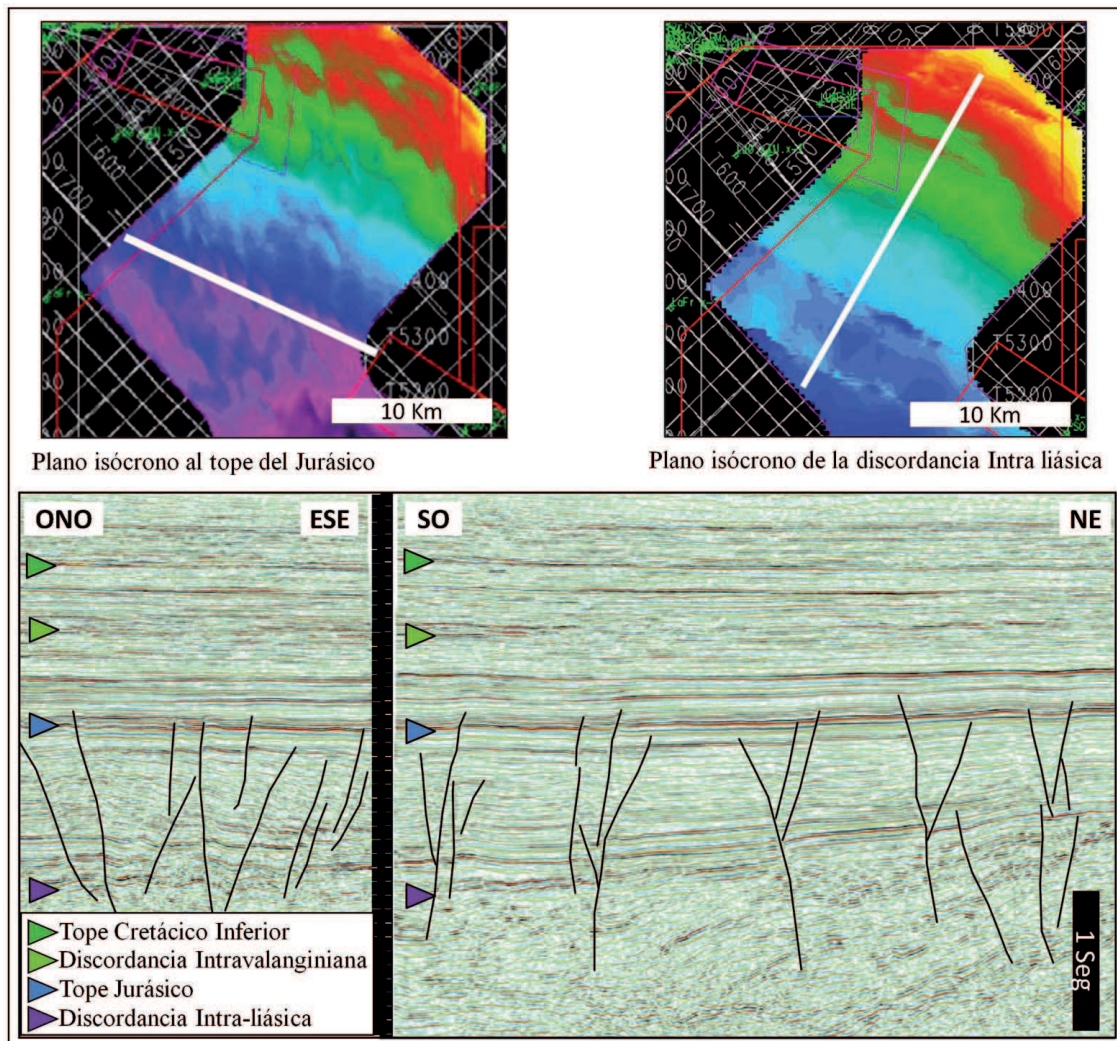


Figura 8: Ejemplo del área Coirón Amargo en que se muestra la geometría de los sistemas de fallas *en echelon*. La línea sísmica SO-NE presenta cinco fallas de rumbo de alto ángulo que se propagan hacia la cobertura sedimentaria afectando desde el basamento hasta el Cretácico Temprano.

### Análisis de meso estructuras

Se presentan dos ejemplos locales de los estilos estructurales principales del Flanco Oriental. El corte de la Fig. 4, que abarca el área comprendida entre Entre Lomas y Gobernador Ayala se destacan una serie de *half-grabens* de la etapa de *rift* y las estructuras positivas en cobertura cretácica generadas sobre los altos y hombros de *half-grabens*. Estos depocentros tienen típicamente un relleno de unos 1000 a 1500 m de depósitos volcánicos y volcanoclásticos del Precuyano y presentan un hiato entre los depósitos del *rift* y el *sag* tardío cada vez más pronunciado hacia el noreste debido a la subsidencia terminal mayor hacia el centro de cuenca. Las estructuras generadas en la cobertura se interpretan en su mayoría como *faulted drapes* y *drape folds* resultantes de la subsidencia tafrogénica póstuma y de la compactación diferencial. El corte contiene sin embargo una estructura que sobresale del conjunto y que no parece estar asociada a un hombro de *half-graben* o *horst*, se trata del yacimiento Medanita -25 de Mayo SE. Ésta estructura está generada por los sistemas de falla transcurrentes que, en este caso,

por interferencia con estructuras preexistentes generó una estructura positiva (Rosello & Barrionuevo 2005). Se remite al lector al trabajo citado ya que la interpretación presentada por los autores difiere en algunos aspectos del contexto estructural regional presentado en este trabajo. Para una referencia a las trampas formadas sobre los altos estructurales del *rift* se remite a la descripción del yacimiento Entre Lomas presentada por Arregui *et al.* (2005).

El otro ejemplo provisto corresponde al área de Coirón Amargo e ilustra la geometría de los sistemas de falla transcurrentes y las fallas *en echelon* asociadas (Fig. 8). Puede apreciarse en la línea sísmica perpendicular a los lineamientos de rumbo que los sistemas *en echelon* que afectan a la cobertura jurásica y cretácica tienen su raíz en fallas de rumbo discretas que se propagan desde el basamento.

### Evolución estructural

La evolución estructural del área presenta tres etapas claramente diferenciadas y cuya importancia como





proceso formador de estructuras varía tanto temporal como espacialmente. La primera, el desarrollo del *rift* mecánico y su transición a un régimen de subsidencia térmica, comenzó en el Triásico Tardío. Dataciones radimétricas de rocas volcánicas de la etapa de *rift* en el Yacimiento 25 de Mayo-Medanito SE proporcionaron edades de 219 Ma y 182 Ma (Corbera & Kraemer 2001); esta edad está en sintonía con dataciones en el ámbito occidental de la Dorsal de Huincul en la zona de Anticlinal Campamento y Guanaco,  $199 \pm 1,5$  y  $203 \pm 0,75$  Ma (Schiuma & Llambías 2008). La extensión de la etapa de *rift* se prolongó en la zona de la Dorsal de Huincul hasta el Toarciano Temprano (Pángaro *et al.* 2006 y 2009) tiempo en el cual se da el pasaje a un régimen de subsidencia termal; en contraste, en sectores del Flanco Oriental la subsidencia tectónica de las fallas del *rift* se extendió hasta el Kimmeridgiano (Veiga *et al.* 1999; Rosello & Barrionuevo 2010).

El segundo elemento en la evolución estructural del área, es la propagación de las fallas del *rift* en la cobertura sedimentaria posterior alcanzando en muchos casos hasta los depósitos del Cretácico Tardío del Grupo Neuquén e inclusive hasta el Terciario (Arregui *et al.* 2005), esta situación es claramente visible en numerosos *horsts* y bloques altos de fallas del *rift* destacándose el yacimiento Señal Cerro Bayo (Veiga *et al.* 1999) y el alto de Entre Lomas (Arregui *et al.* 2005). Cabe aclarar que este fallamiento es en gran parte del tiempo que duró su desarrollo, coetáneo con el tercer elemento, las fallas transcurrentes regionales y sus sistemas de fallas *en echelon* asociados. Recientemente Cristallini *et al.* (2009) en un análisis pormenorizado de la estructura de diversos sectores del Engolfamiento Neuquino proponen que el mecanismo de subsidencia diferencial por compactación sería el responsable en gran medida de la propagación de las fallas del *rift* hacia la cobertura de *sag*; en su análisis discriminan, al igual que en el presente trabajo, los sistemas *en echelon* y las fallas de orientación NO atribuyendo estas últimas al proceso mencionado. En el área de la Dorsal de Huincul Pángaro *et al.* (2006, 2009) documentan la actividad de las fallas de *rift* y su control sobre la estratigrafía hasta el Toarciano Temprano, tiempo en el cual se da un pasaje gradual a la etapa de *sag*; por otro lado en Señal Cerro Bayo y en el alto de Entre Lomas diversos autores postulan que la subsidencia de *rift* se prolongó hasta al menos el Kimmeridgiano (Veiga *et al.* 1999; Cristallini *et al.* 2006), hecho que queda en evidencia al analizar la distribución de la Fm. Tordillo o sus equivalentes Fms. Catriel y Sierras Blancas.

El tercer elemento lo constituyen los sistemas transcurrentes en general rectilíneos de orientación ONO (Pángaro & Bruveris 1999; Cristallini *et al.* 2009; Fernández *et al.* 2005; Mirenda & Carbone 2005) cuya génesis se interpreta como el resultado de la propagación de fallas de alto ángulo a subverticales desde el basamento hacia la cobertura sedimentaria mesozoica. La geometría de estos lineamientos y sistemas de fallas asociados puede interpretarse como el resultado de un vector  $\sigma_1$  de esfuerzo principal con orientación NO. Si se considera que la máxima extensión durante la etapa de *rift* resultó en un sistema de fallas normales de basamento de orientación NO, y que los sistemas transensivos *en echelon* son atribuibles a un  $\sigma_1$  NO, resta entonces acotar el momento en que se da la rotación de los vectores de esfuerzo en el sector de la plataforma.

En la zona de la Dorsal de Huincul Pángaro *et al.* (2006) acotan el cambio en el régimen de esfuerzos al post Toarciano Tardío; en su análisis regional del ámbito de la Dorsal Silvestro & Zubiri (2008) atribuyen el desarrollo de sistemas dextrales, particularmente al norte y este de la Dorsal, a la interacción entre elementos corticales de diferente rigidez que, combinados con la orientación del  $\sigma_1$ , se tradujeron en el sistema de lineamientos mapeado en la Plataforma. Cristallini *et al.* (2009) por su parte interpretan la existencia de *half-grabens* de orientación ONO menor envergadura que los NO y mencionan que la reactivación de éstos sería responsable, combinada con la subsidencia por compactación diferencial, por los sistemas de fallas *en echelon*. En el presente trabajo se interpreta, sobre la base de sólidos datos de sísmica 3D e integraciones regionales y del hecho de que estos lineamientos atraviesan sin cambios de rumbo rasgos tectónicos del *rift* e inclusive al Bajo de Añelo, que los sistemas de fallas *en echelon* obedecen exclusivamente al desarrollo de fallas de rumbo dextrales sin control previo sobre su disposición. En este contexto la hipótesis propuesta por Silvestro & Zubiri (2008) podría explicar en gran medida su geometría y extensión. En particular la interpretación aquí presentada cobra fuerza si se considera que la extensión de algunos de estos lineamientos rectilíneos se prolonga por más de 50 km, mientras que no hay documentados en la cuenca *half-grabens* individuales de esa extensión.

La actividad de las fallas de rumbo y sistemas *en echelon* asociados se extendió al suroeste del área analizada en las zonas de Ramón Castro y Cerro Bandera al menos hasta el Cretácico Tardío (Pángaro & Bruveris 1999; Pángaro *et al.* 2002). En dichas localidades las fallas transensivas se propagan hasta el Grupo Neuquén mostrando estratos de crecimiento aún para niveles de la Fm. Agrio. Por su parte en el Flanco Oriental de la cuenca la edad del fin del fallamiento de rumbo es difícil de acotar ya que su intensidad disminuye hacia los niveles estratigráficos más altos; este hecho puede obedecer a dos factores: que la edad de actividad de estos sistemas esté efectivamente acotada en el área al pre Cretácico Tardío, o que la intensidad de la deformación sea menor que en las localidades previamente mencionadas y en consecuencia las fallas no alcancen a propagarse hasta los sedimentos del Cretácico Tardío. Esta última interpretación es la preferida en el presente análisis, quedando entonces la incógnita sobre la edad del fin de la deformación transcurrente en el área. La existencia del sistema dextrógiro interpretado es incompatible con el  $\sigma_1$  E-O asociado a la deformación andina desde al menos el Mioceno, en consecuencia esta sería la edad más joven posible para la deformación de rumbo; probablemente ésta esté acotada al Cretácico en sintonía con los antecedentes mencionados.

La evolución estructural del área culmina con la deformación terciaria; ésta comprende un levantamiento regional con basculamiento de la porción occidental, y deformación compresiva con desarrollo de fallas N-S en la zona de Aguada San Roque y al pie del Dorso de los Chihuidos. El basculamiento por levantamiento en la región del Dorso de los Chihuidos y faja plegada es particularmente visible al oeste del alto de Entre Lomas (Fig. 3), donde se alcanza una inversión de la pendiente deposicional cretácica. La configuración regional del Grupo Neu-

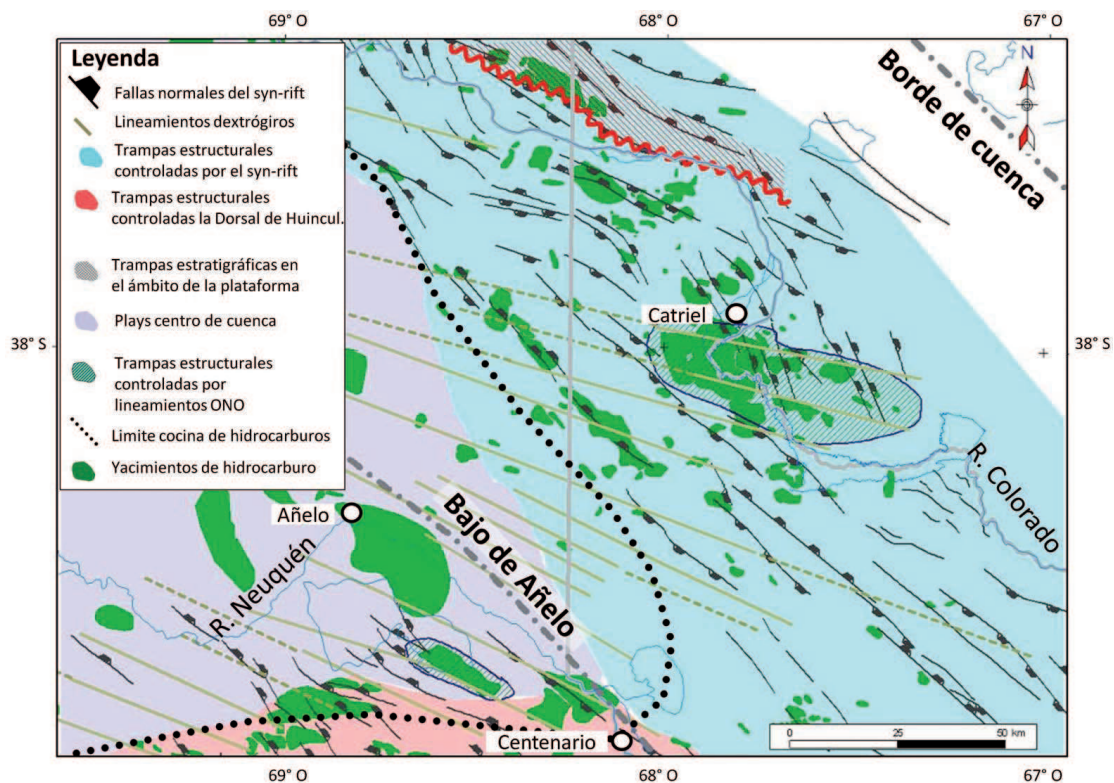


Figura 9: Control de la estructura sobre los sistemas petroleros del flanco oriental de la Cuenca Neuquina.

quén, con dirección de transporte hacia el O y sin evidencias de estructuración compresiva local ni estratos de crecimiento en el área, permite acotar la deformación andina en el Flanco Oriental al post Cretácico Tardío.

### Impacto sobre la distribución de hidrocarburos

La evolución estructural del área tuvo un impacto directo sobre la distribución de hidrocarburos y los estilos de entrapamiento presentes. A escala regional la línea de *hinge* definida por la subsidencia termal mayor hacia el SO controló la ubicación de la cocina de hidrocarburos de la Fm. Vaca Muerta debido a su mayor soterramiento (Fig. 9); esta unidad es la responsable por la generación de la gran mayoría de hidrocarburos de la Cuenca Neuquina. Además, la trepada estructural casi continua hacia el NE para los sedimentos del *sag*, especialmente la Fm. Tordillo, proveyó al sistema petrolero de un *carrier bed* de extensión regional que permitió migraciones laterales de más de 150 kilómetros.

Los principales reservorios productivos en el Flanco Oriental son los depósitos clásticos del Grupo Cuyo, las Fms. Sierras Blancas o Tordillo y la Fm. Loma Montosa. Los yacimientos productivos de estas unidades están en general en trampas estructurales asociadas a los altos de la etapa de *rift* generadas por los procesos mencionados anteriormente; existen además estructuras generadas por la deformación transcurrente entre las que se destaca el entorno del yacimiento Medanita – 25 de Mayo SE cercano a la ciudad de Catriel (Fig. 9). Aún a la escala del mapa presentado es posible discernir entre las trampas estructurales de orientación NO y las de orientación ONO que se concentran alrededor de los lineamientos transcurrentes regionales. Un *play* muy explorado en los últimos años en

la zona de plataforma, con menor subsidencia, está constituido por trampas estratigráficas asociadas a acuíferos por erosión de reservorios de la Fm. Centenario del Cretácico Temprano. La distribución de estas trampas estaría en gran parte controlada por la subsidencia térmica diferencial entre la plataforma y el centro de cuenca que derivó en la formación de trampas por acuíferos de reservorios. La existencia de fallas normales y transtensionales a lo largo del camino de migración de hidrocarburo desde la roca generada combinada con la pendiente regional continua, permitieron la carga de los reservorios más someros. Por último, al norte del área analizada se encuentra el yacimiento Chihuido de la Sierra Negra – El Trapial, cuya trampa está alojada en una estructura dómica de edad terciaria generada por la intrusión de rocas ígneas en la columna sedimentaria.

### CONCLUSIONES

La integración a escala regional y semi-regional de las estructuras del Flanco Oriental de la Cuenca Neuquina permitió caracterizar las dos direcciones estructurales principales, NO y ONO, cuya génesis fue correlacionada con eventos tectónicos que, si bien son independientes, podrían haber actuado en forma coetánea durante parte de su desarrollo. Éstos son la evolución del *rift* y el *sag*, y el desarrollo de sistemas de deformación transcurrente dextral de escala regional; ambos eventos fueron correlacionados con otros sectores de la cuenca con el fin de proveer elementos para su caracterización y datación. La deformación terciaria en el área se limitó a basculamiento regional y a algunas fallas de orientación N-S asociadas a estructuras miocenas en el sector más occidental. Además,



existieron eventos locales de deformación asociada a la intrusión de rocas ígneas en la columna sedimentaria. Todos los elementos del área, tanto a escala regional como local, convergen e impactan fuertemente en la distribución de yacimientos de hidrocarburos controlando la ubicación de las cocinas, las vías de migración y el estilo de entrapamiento.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a Petrobras Argentina SA y a YPF SA por permitir la publicación de este trabajo.

### TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Arregui, C., Benotti, S. & Carbone, O. 1996. Sistemas petroleros asociados en el yacimiento Entre Lomas, Provincia del Neuquén. 13º Congreso Geológico Argentino y 3º Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 1: 287-306. Buenos Aires.
- Arregui, C., Gazzera, C., Seguí, C., Carbone, O. & Quiroga, J. 2005. Las trampas del eje Charco Bayo – El Caracol. En: Kozłowski, E. Vergani, G. & Boll, A. (Eds.): Las Trampas de Hidrocarburos en las Cuencas Productivas de Argentina. Simposio 6º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos (IAPG): 239-260. Mar del Plata.
- Barrionuevo M., Valenzuela, M., Olea, G. & Gutiérrez Pleimling, A. 2005. Trampas características de las formaciones triásico jurásicas en la plataforma nororiental de la Cuenca Neuquina. En: Kozłowski, E. Vergani, G. & Boll, A. (Eds.): Las Trampas de Hidrocarburos en las Cuencas Productivas de Argentina. Simposio 6º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos (IAPG): 209-224. Mar del Plata.
- Berdini O., Schachner, G., Castellarini, P., Arregui, C. & Quinteros, J. 2005. Entrampamientos del yacimiento Río Neuquén. En: Kozłowski, E. Vergani, G. & Boll, A. (Eds.): Las Trampas de Hidrocarburos en las Cuencas Productivas de Argentina. Simposio 6º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos (IAPG): 299-316. Mar del Plata.
- Braccacini, O. 1960. Lineamientos principales de la evolución estructural de la Argentina. *Petrotecnia*, Revista del Instituto Argentino del Petróleo 10(6): 57-69. Buenos Aires.
- Cechich O. 2005. Yacimiento El Trapial. Miembro Troncoso Inferior. En: Kozłowski, E. Vergani, G. & Boll, A. (Eds.): Las Trampas de Hidrocarburos en las Cuencas Productivas de Argentina. Simposio 6º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos (IAPG): 181-187. Mar del Plata.
- Corbera R. & Kraemer P. 2001. Aplicación de sismica 3D en un reservorio no convencional de rocas ignimbríticas. Cuenca Neuquina, Argentina, EXITEP Exposición Internacional de Tecnología Petrolera, págs. 14–16. México, D.F.
- Cristallini, E.O., Bottesi, G., Gavarrino, A., Rodríguez, L., Tomezzoli, R.N. & Comeron, R. 2006. *Synrift* geometry of the Neuquén Basin in the northeastern Neuquén Province, Argentina. En: Kay, S.M. & Ramos, V.A. (Eds.): Evolution of the Andean margin: a tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén Basin (35°-39° S latitude) Geological Society of America Special Paper 407: 147-161.
- Cristallini E.O., Tomezzoli, R., Pando, G., Gazzera, C., Martínez, J.M., Quiroga, J., Buhler, M., Bechis, F., Barredo, S. & Zambrano, O. 2009. Controles precuayanos en la estructura de la Cuenca Neuquina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 65(2): 248-264.
- Fernández M.L., Mirenda, S. & Belotti, H. 2005. Evolución estructural de los hemigrábenes en la porción oriental de Cuenca Neuquina - Argentina – V SINTEX V Seminario de Interpretación Exploratoria PETROBRAS. Río de Janeiro. Resúmenes en CD-Rom. Agosto 2005.
- Mirenda S. & Carbone, O. 2005. Evaluación técnica económica de los bloques Coirón Amargo y Mata Mora. Petrobras de Argentina. (Informe inédito).
- Martínez E., LaSalle, D.D. & Pecuch, D.E. 2005. Entrampamiento en el yacimiento Lindero Atravesado. En: Kozłowski, E. Vergani, G. & Boll, A. (Eds.): Las Trampas de Hidrocarburos en las Cuencas Productivas de Argentina. Simposio 6º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos (IAPG): 317-330. Mar del Plata.
- Mosquera, A. & Ramos, V.A. 2006. Intraplate deformation in the Neuquén Embayment. En: Kay, S.M. & Ramos, V.A. (Eds.): Evolution of an Andean margin: A tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén Basin (35°-39° S latitude), Geological Society of America Special Paper 407: 97-123.
- Olmos, M. & Somerfeld, V. 2005. Trampas características de la Fm. Quintuco en la región de la Plataforma Nororiental de la Cuenca Neuquina. En: Kozłowski, E., Vergani, G. & Boll, A. (Eds.): Las Trampas de Hidrocarburos en las Cuencas Productivas de Argentina. Simposio 6º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos (IAPG): 225-237, Mar del Plata.
- Pángaro, F. & Bruveris, P. 1999. Reactivación tectónica multiepisódica de sistemas extensionales, Cuenca Neuquina, Argentina. 14º Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 231-234. Salta.
- Pángaro F., Veiga, R. & Vergani, G. 2002. Evolución tecto-sedimentaria del área de Cerro Bandera, Cuenca Neuquina, Argentina. 5º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Trabajos Técnicos en versión CD-ROM. Mar del Plata.
- Pángaro, F., Vottero, A., Villar, H., Rodríguez Arias, L. & Bojarski, G. 2005. Volcanic Events and Petroleum Systems: The Case of the Volcán Auca Mahuida Field, Neuquén Basin, Argentina. EAGE 67º Conference & Exhibition, Resúmenes. Madrid.
- Pángaro F., Pereira, M., Silvestro, J.L., Raggio, F., Pioli, O., Zubiri, O. & Gozávez, G. 2006. Tectonic Inversion of the Huincol High, Neuquen Basin, Argentina: An Endangered Species. Stratigraphic Evidences of It's Disappearance. 9º Simposio Bolivariano. Petroleum Exploration in the Subandean Basins September 24-27, 2006, Cartagena.
- Pángaro, F., Pereira, D.M. & Micucci, E. 2009. El *sinrift* del ámbito de la dorsal de Huincol, Cuenca Neuquina: su evolución y control sobre el registro estratigráfico del Jurásico y la evolución estructural del área. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 65: 265-277.
- Pángaro F., Martínez, R., Sattler, F. & Bettini, F.H. 2011. El Bajo de Añelo. En: Relatorio Geología y Recursos Naturales del Neuquén. 18º Congreso Geológico Argentino (este volumen).
- Ramos, V.A. 1978. Estructura. En: Relatorio Geología y Recursos Naturales del Neuquén. 7º Congreso Geológico Argentino (Neuquén), 99-135. Buenos Aires.
- Rossello, E.A. & Barrionuevo, M. 2005. El hemigraben invertido del yacimiento 25 de Mayo - Medanita S.E. (Cuenca Neuquina, Argentina): evolución geodinámica de un *rift* en borde de cuenca. 6º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Trabajos Técnicos en versión CD-ROM, 15 págs.
- Schioma, M. & Llambías, E.J. 2008. Nuevas edades del volcanismo Jurásico Inferior de la cuenca Neuquina en la dorsal de Huin-



- cul. Revista de la Asociación Geológica Argentina. Simposio Jurásico de América del Sur 63 (4): 644-652.
- Sigismondi M.E. & Ramos, V.A. 2008. El flujo de calor en la Cuenca Neuquina. Instituto Argentino del Petróleo y el Gas, Petrotecnia 2(09): 400-412.
- Silvestro, J. & Zubiri, M. 2008. Convergencia oblicua: modelo estructural alternativo para la dorsal Neuquina (39° S), Neuquén. Revista de la Asociación Geológica Argentina 63 (1): 49-64.
- Valenzuela M.E., Olea, G.M., Gutiérrez Pleimling, A. & Gavarrino, S. 2005. Evaluación del Precuyano en el Bloque Barranca de Los Loros, provincia de Río Negro. 6º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos (IAPG), Trabajos Técnicos en versión CD-ROM. Mar del Plata.
- Valenzuela M.E. & Comeron, R. 2005. Yacimiento Chihuido de la Sierra Negra - Lomita. Miembro Avilé. En: Kozłowski, E. Vergani, G. & Boll, A. (Eds.): Las Trampas de Hidrocarburos en las Cuencas Productivas de Argentina. Simposio 6º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos (IAPG): 173-179. Mar del Plata.
- Veiga, R., Lara, M.E. & Bruveris, P. 1999. Distribución de hidrocarburos sobre el margen externo en una cuenca de tras-arco. Ejemplos en la Cuenca Neuquina, Argentina. Boletín de Informaciones Petroleras 60: 142-164.
- Vottero A.J., Rodríguez Arias, L. & R. Vela. 2005. Trampas de hidrocarburos en el centro este de la Cuenca Neuquina. En: Kozłowski, E. Vergani, G. & Boll, A. (Eds.): Las Trampas de Hidrocarburos en las Cuencas Productivas de Argentina. Simposio 6º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos (IAPG): 190-208. Mar del Plata.