



Cinemática transpresional pre-andina del segmento occidental de la Dorsal de Huincul (cerro Lotena-cerro Granito, Neuquén, Argentina)

Eduardo A. ROSSELLO^{1,2} y Mónica E. LÓPEZ DE LUCHI^{1,3}

¹ CONICET

² IGEBA. Universidad de Buenos Aires, FCEN, Depto. Cs. Geológicas. Pabellón II, Ciudad Universitaria (1428) Buenos Aires, Argentina.

³ INGEIS. Instituto de Geocronología y Geología Isotópica, Pabellón INGEIS, Ciudad Universitaria (1428) Buenos Aires, Argentina.

Email: ea_rossello@yahoo.com.ar, luchimonica@gmail.com.ar

Editor: José F. Mescua

Recibido: 10 de octubre de 2021

Aceptado: 10 de diciembre de 2021

RESUMEN

La Dorsal de Huincul es un rasgo estructural transcurrente dextral de primer orden que se extiende por casi 300 km a lo largo de aproximadamente el paralelo 39° y divide sublatitudinalmente las secuencias pre-andinas de la cuenca Neuquina en dos depocentros evolutivamente diferentes. Durante el Jurásico, los procesos tectosedimentarios asociados a la reactivación de fallamientos preexistentes, definen segmentos con diferentes características morfoestructurales multiescalares debido a las flexuras que exhibe a lo largo de casi 300 km de desarrollo. De acuerdo con la disposición espacial que guardan estos segmentos con respecto al campo de esfuerzos que los generó se reconocen: 1) un segmento occidental transpresional dextral dispuesto con rumbo ENE-OSO, 2) un segmento oriental transtensional dextral dispuesto preferentemente con rumbo ONO-ESE, y 3) un segmento central transcurrente dispuesto sublatitudinalmente. En particular, se describen las características tectosedimentarias del segmento occidental, comprendido entre Barda Colorada y Arroyo Picún Leufú expresado por un amplio anticlinal en cuyo flanco austral aflora el Cerro Granito. La sedimentación sintectónica desarrolla cuñas de crecimiento determinantes de la disposición espacial con fuertes cambios en el rumbo e inclinación, de las secuencias involucradas entre el Pliensbaquiano y Cenomaniano. La posterior deformación andina cuyo esfuerzo mayor subhorizontal (σ_1) está orientado ENE, no generó reactivaciones y/o deformaciones significativas sobre la Dorsal de Huincul debido a la disposición sublatitudinal. Se proporciona un modelo deformativo del segmento occidental de la Dorsal de Huincul a partir de datos de campo con el objetivo de contribuir a la localización de los sondeos de las actividades de exploración y producción de hidrocarburos en reservorios jurásicos no convencionales.

Palabras clave: Dorsal de Huincul, tectónica, transurrencia, Jurásico, Cuenca Neuquina, Argentina.

ABSTRACT

Pre-andean transpressional kinematics of the western segment of the Dorsal Huincul (Cerro Lotena-Cerro Granito, Neuquén, Argentina).

The Dorsal de Huincul is a first-order dextral transcurrent structural high that sublatitudinally extends along almost 300 km at ca. 39° SL and divides into two different depocentres, the pre-Andean sequences of the Neuquén basin, a big hydrocarbon producer. During the Jurassic the tectosedimentary processes in the Dorsal de Huincul that are related to the reactivation of preexisting faults, define three segments with different multiscale morphostructural features due to along strike flexures. According to the spatial relationship that the different segments keep regarding the Jurassic stress field they are: 1) an ENE-WSW trending westernmost segment with dextral transpression 2) a mainly WNW-ESE trending easternmost segment with dextral transtension, and 3) a sublatitudinally trending central segment with dextral wrench. In this paper, we describe the tectosedimentary characteristics of the western segment that extends from Barda Colorada to Arroyo Picún Leufú. This is expressed by a wide, WSW-ENE oriented breached anticline where the isolated late Paleozoic- Early Triassic (?) granitoids of the Cerro Granito outcrop on its southern flank. Syntectonic Pliensbaquian to Cenomanian sedimentation develops growth strata wedges that determine the irregular architecture of the sequences with strong

strike and dip changes. The sublatitudinal strike of the Dorsal de Huincul would explain the lack of significant reactivations associated with the Andean deformation since its maximal principal subhorizontal stress (σ_1) is ENE. Based on field data a 3D tectonic model of the western segment of the Dorsal de Huincul aimed to contribute to the best location of hydrocarbon exploration and production wells in the unconventional Jurassic reservoirs is provided

Keywords: Dorsal de Huincul, tectonics, wrenching, Jurassic, Neuquén Basin, Argentina

INTRODUCCIÓN

La Dorsal de Huincul, reconocida y definida por De Ferrariis (1947), es un rasgo tectosedimentario de casi 300 km de extensión, notable por su disposición sublatitudinal a los 39°S y localizado en la porción extraandina de la cuenca Neuquina (Legarreta et al. 2005, Veiga et al. 2020). Su desarrollo asociado con actividad tectónica durante el Jurásico, Cretácico y en menor medida el Terciario, influyó en la sedimentación del margen sur de la cuenca Neuquina, generándose múltiples series de estratos de sincrecimiento y discordancias (Silvestro y Zubiri 2008). La Dorsal de Huincul se extiende desde el frente orogénico andino, en el occidente, hasta las expresiones orientales de la cuenca Neuquina dentro de las provincias de Neuquén y Río Negro desarrollando flexuras que responden a segmentos con diferentes expresiones tectónicas (Fig. 1).

Rossello (2002, 2018) reconoce un particionamiento del funcionamiento transcurrente dextral de la Dorsal de Huincul, a partir de las flexuras que exhibe a lo largo de su desarrollo en los siguientes segmentos: a) oriental orientado ESE-ONO más transtensivo, b) central sublatitudinal transcurrente y c) occidental orientado ENE-OSO más transpresivo (Fig. 1).

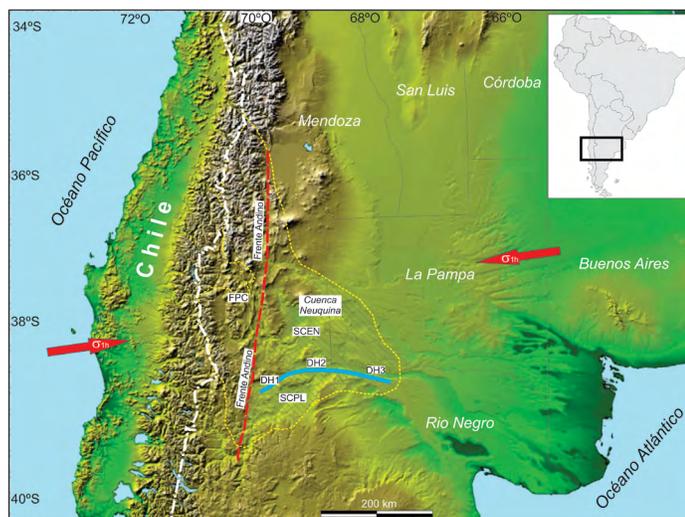


Figura 1. Localización de la Dorsal de Huincul dentro de la Cuenca Neuquina en la porción centro-occidental de Argentina. DH1: Segmento Occidental. DH2: Segmento Central. DH3 Segmento Oriental. SCPL: Subcuenca Picún Leufú. SCEN: Subcuenca Engolfamiento Neuquino. FPC: Faja Plegada y Corrida. Flecha roja indica la posición del esfuerzo principal máximo horizontal andino.

Digregorio y Uliana (1980) interpretaron a la Dorsal de Huincul como un bloque alto formado por un fallamiento extensional que se hundía tanto al norte como hacia el sur, caracterización tectónica que perduró hasta que Ploszkiewicz et al. (1984), a partir de la interpretación de líneas sísmicas 2D e información de perforaciones, la consideraron originada por una zona de transcurrencia de funcionamiento dextral denominada “Falla de Huincul”. En las últimas décadas se produjeron contribuciones que describen las características morfotectónicas de la Dorsal de Huincul, e intentan discernir los eventos tectosedimentarios vinculados con el potencial petrolero de las secuencias afectadas. Si bien el origen de la Dorsal de Huincul ha sido relacionado desde hace varias décadas con una deformación transcurrente dextral, son muy pocas las evidencias cinemáticas multiescalares que la confirman (Leanza 2009, Silvestro y Zubiri 2008, Pángaro et al. 2009, Mosquera et al. 2011, Marchal et al. 2020, Hernández 2019, Zabala et al. 2020, entre muchos otros). Con excepción de la síntesis de Silvestro y Zubiri (2008) donde parte de los argumentos estructurales se basan en el trabajo inédito de Rossello (2002), no se dispone de mayores datos estructurales específicos para sustentar la información cinemática.

El presente trabajo tiene como objetivo describir las estructuras multiescalares asociadas de la Dorsal de Huincul, particularmente de su segmento occidental, mediante observaciones propias y de información petrolera disponible que permiten confirmar e interpretar los campos de esfuerzos responsables. De este modo, se aportan nuevas evidencias multiescalares de la cinemática dextral y la estructuración sinsedimentaria relacionada ocurrida en el lapso comprendido entre el Pliensbaquiano y el Cenomaniano. Estos nuevos datos cinemáticos constituyen una base para la elaboración de un modelo evolutivo pre-andino que contribuya al mejor manejo de las actividades de exploración y al desarrollo del potencial hidrocarburífero de sectores adyacentes de la cuenca Neuquina (Hogg 1993, Uliana y Legarreta 1993, Cruz et al. 1999, Gómez Omil et al. 2002). Para ello, se proporcionan recomendaciones para localizar espacialmente del modo más eficiente las fracturas con potencial dilatante que incrementen la productividad de reservorios no convencionales.

MARCO GEOLÓGICO

La conformación geológica del segmento occidental de la Dorsal de Huincul estudiada en el presente trabajo ya fue delineada desde los pioneros trabajos de Windhausen (1914) y Wichmann (1934). Posteriormente, Suero (1951) en la hoja geológica Cerro Lotena, describe las principales unidades presentes y realiza las primeras observaciones detalladas de sectores claves del área cubierta por el presente trabajo (Fig. 2). Las nomenclaturas originales de Suero (1951) fueron actualizadas y ajustadas a los códigos estratigráficos con la profusa información generada a partir del desarrollo petrolero de la cuenca Neuquina (Urien et al. 1994, Veiga et al. 2020, Marchal et al. 2020) y de los relevamientos del SEGEMAR (2000).

Estratigrafía

Digregorio y Uliana (1980) caracterizan la cuenca Neuquina como un depocentro desarrollado en el margen pacífico de América del Sur que, evolucionó de un ambiente pasivo a otro de retroarco durante el Mesozoico. Los componentes más antiguos que constituyen el basamento de la cuenca Neuquina corresponden a rocas metamórficas de grado medio a alto Fm. Piedra Santa y Complejo Colohuincul, (Silvestro y Zubiri 2008) y un conjunto de granitoides que formarían parte del extenso magmatismo permotriásico del norte de Patagonia

(López de Luchi et al. 2020 y referencias) y que se correlacionarían con el Grupo Choiyoi (Sato et al. 2015).

De acuerdo con Llambías et al. (2007), este basamento fue exhumado y erosionado durante una extensión del Triásico temprano generándose una superficie erosiva sobre la que se depositó un relleno volcano-sedimentario sin-rift en hemigrábenes de dirección ONO, el Ciclo Precuyano (Franzese y Spalletti 2001, Carbone et al. 2011) del Triásico tardío-Jurásico temprano. Estos depósitos están limitados en su base y techo por dos discordancias, la Intratriásica o Huárpica, y la Intraliásica o Rioatuélica (Leanza 2009). Durante el Jurásico Temprano (Toarciano - Pliensbachiano) ocurre la primera ingresión marina representada por los depósitos de la sección inferior de la Formación Los Molles restringidos a los depocentros principales con un fuerte control paleogeográfico debido al fallamiento distensivo asociado con el inicio de la evolución de la cuenca Neuquina. Luego, en este ambiente depositacional predominó el medio aluvial con depositación de secuencias sedimentarias clásticas dominadas por conglomerados y areniscas gruesas de la Formación Lajas de extensión variada y frecuentes cambios granulométricos de sus componentes detríticos, con una incidencia primordial de la energía mecánica que incluso involucra el desplazamiento de grandes troncos fosilizados (Vergani et al. 1995). Sobre esta formación se depositó el Grupo Lotena constituido por sedi-

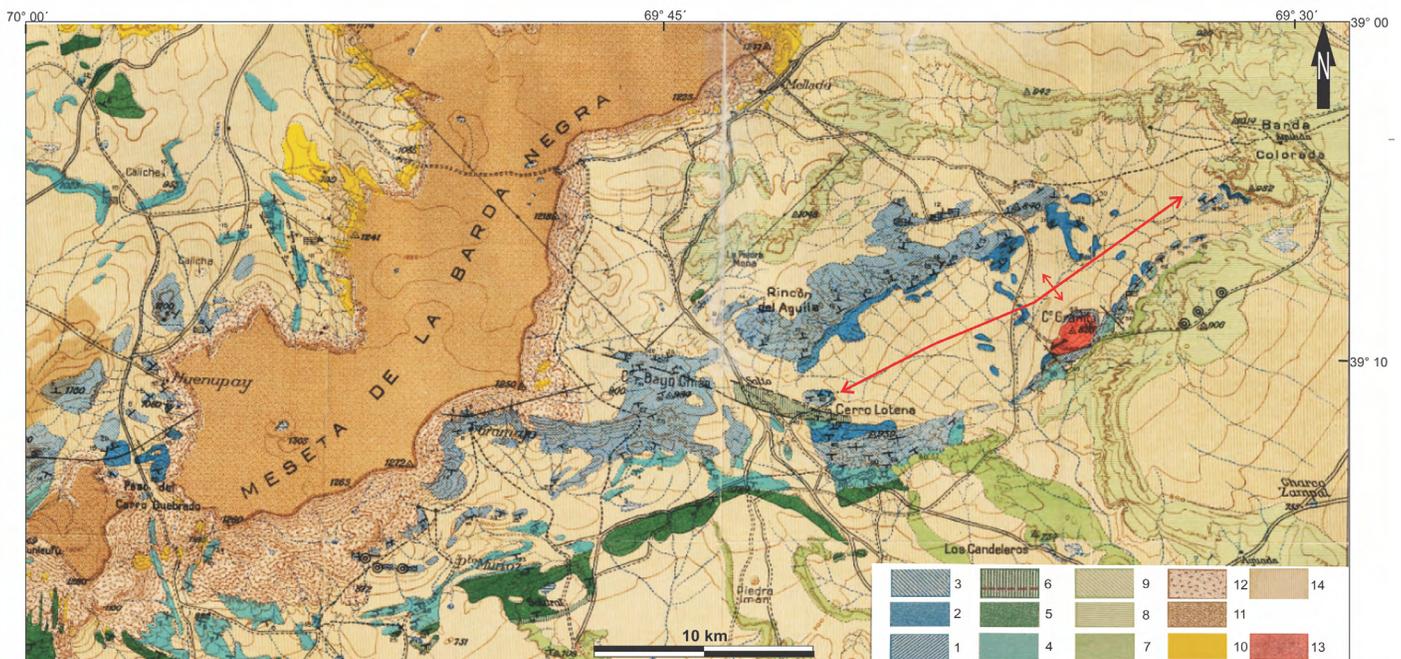


Figura 2. Mapa geológico reducido de su escala original 1:200000 de la Hoja Cerro Lotena donde se localiza el segmento occidental de la Dorsal de Huincul estudiado (tomado con las referencias originales de Suero 1951 y sus equivalentes formacionales actuales). 1: Liásico y 2: Bajociano (Fm. Lajas); 3: Calloviano (Fm. Lotena); 4: Tithoniano; 5: Valanginiano inclusive Berriasiano (Fm. Vaca Muerta); 6: Hauteriviano, inclusive Barremiano (Fm. Agrio) y Yeso de Transición); 7: Grupo de Candeleros; 8: Grupo de Huincul; 9: Grupo de Portezuelo (Gr. Neuquén); 10: Terciario (Oligoceno-Mioceno?); 11: Basalto de la Meseta de la Barda Negra; 12: Derrumbes y deslizamientos de bloques basálticos; 13: Granito y 14: Depósitos aluviales en general y terrazas fluviales. El trazo rojo del eje del anticlinal desventrado ha sido agregado.

mentos clásticos, carbonáticos y evaporíticos correspondientes a las Formaciones Lotena, La Manga (Stipanovic 1966), Barda Negra y Auquilco (Weaver 1931), que representan un ciclo transgresivo regresivo completo.

Durante el Jurásico Tardío - Cretácico Temprano comienza una etapa de subsidencia tectónica de la totalidad de la cuenca, que se extiende hasta el Cretácico Tardío, y controla la deposición de las secuencias marinas del Grupo Mendoza. Legarreta y Villar (2012) describen el desarrollo del Grupo Mendoza en tres ciclos sedimentarios principales: i) la Mesosecuencia Mendoza inferior (Valanginiano temprano – Tithoniano temprano), que incluye a la Formación Vaca Muerta (Chebli et al. 2011, Legarreta y Villar 2012, Kietzmann et al. 2016), ii) la Mesosecuencia Mendoza media (Valanginiano tardío - Hauteriviano temprano) y iii) la Mesosecuencia Mendoza superior (Hauteriviano tardío - Barremiano temprano). Por encima se dispone la Formación Huitrín con sedimentos continentales y evaporíticos y luego las sedimentitas fluvio-lacustre de la Formación Rayoso. En el intervalo Cretácico Tardío-Plioceno, se depositan los sedimentos continentales del Grupo Neuquén y los continentales y marinos someros del Grupo Malargüe en un ambiente de cuenca de antepaís (Ramos et al. 2020). El Grupo Malargüe representa la primera transgresión marina proveniente del océano Atlántico (Uliana y Dellapé 1981). Unidades modernas que completan el registro estratigráfico de la región estudiada están representadas por sedimentos fluviales aterrazados y coladas basálticas (meseta de la Barda Negra) con fuertes colapsos gravitatorios que afectan sus contornos.

La Dorsal de Huincul se consideró como un altofondo activo desde el Toarciano dado que las rocas ígneas del cerro Granito son sobreyacidas por unos 100 m de secuencias sedimentarias de la Formación Lajas, que comienzan con un conglomerado basal con rodados semiangulares de rocas plutónicas seguidos por un grueso paquete de calizas con restos abundantes de *Pecten alatus* v. *Buch*, *Rhynchonella tetraedra* (Sow.) Moer., *R. variabilis* Schloth., *Terebratula punctata* Sow. y corales, además de otros fósiles indicadores de una edad Aeliario-Bajociano (edad Liásica para Suero 1951) que corresponden a depósitos marinos poco profundos. Estas secuencias se disponen periclinalmente y directamente adosadas a las unidades ígneas del cerro Granito donde incluso rellenan sus grietas.

A partir de la presencia de este accidente tectónico se divide la cuenca Neuquina en dos sectores deposicionales (Vergani et al. 1995, Vergani 2005, Guzmán et al. 2021): i) la cuenca principal del Engolfamiento Neuquino, hacia el norte, más extensa con un mayor volumen sedimentario depositado, y ii) la subcuenca de Picún Leufú, hacia el sur, con registro

sedimentario más discreto y desarrollado sobre las porciones más septentrionales del basamento del Macizo Nordpatagónico. Sigismondi (2012), reconoce a partir de estudios gravimétricos y magnetométricos la influencia de la morfología basamental pre-sedimentaria sobre el desarrollo de los depocentros y la distribución de las secuencias que constituyen el relleno de la cuenca Neuquina.

El único afloramiento del basamento a lo largo de todo el desarrollo estudiado de la Dorsal de Huincul es el cerro Granito que constituye una lomada de contorno ovalado de unos 2 km², con una altura máxima de 890 m s.n.m., que aflora en medio de las Formaciones Los Molles y Lajas a modo de un anticlinorio, jalando el lineamiento regional de la Dorsal Huincul (Orchuela et al. 1981, Uliana et al. 1995). Las edades asignadas a los granitoides del cerro Granito son: 291 ± 20 y 310 ± 20 Ma K-Ar en biotita (Stipanovic y Linares 1969) y una edad aparente Ar-Ar de ca. 280 Ma (Rossello et al. 2011) calculada para anfíbol de una facies aflorante en el sector suroccidental.

Las Formaciones Los Molles y Lajas están bien representadas en afloramientos del segmento occidental de la Dorsal de Huincul a partir de la Barda Colorada, por el este, hasta sectores adyacentes a la meseta de la Barda Negra por el oeste constituyendo los relieves del Rincón del Águila, cerro Bayo Chico y, particularmente, en el cerro Lotena donde exhiben más de 1000 m de potencia (Fig. 2). Esta sedimentación marina somera y luego continental fue controlada por una tectónica extensional (previa a la Formación Los Molles) que determinó una geometría inicial de depocentros más localizados y aislados entre sí a lo largo porciones marginales de la Cuenca Neuquina (Fig. 3).

En el sector central del segmento de la Dorsal de Huincul estudiado, Suero (1951) identifica un amplio anticlinal desventrado donde afloran las unidades más antiguas (el basamento del cerro Granito y los registros bajocianos de la Formación Molles). Sobre sus flancos septentrional y austral, como en su extremo oriental se disponen de modo suavemente plegadas las secuencias del Grupo Neuquén (Fig. 2). Finalmente, hacia el noroeste se dispone la meseta de la Barda Negra, constituida por coladas basálticas. Sobre los flancos sudorientales, se localizan amplios sectores de derrumbes y colapsos gravitatorios que cubren parcialmente los afloramientos mesozoicos. También, entre esta meseta y el cerro Bayo Chico describe un anticlinal más apretado y aparentemente afectado por fallamientos (Fig. 2).

Marco tectónico

La evolución tectónica de la cuenca Neuquina registra diferentes episodios deformativos desde sus inicios dentro de

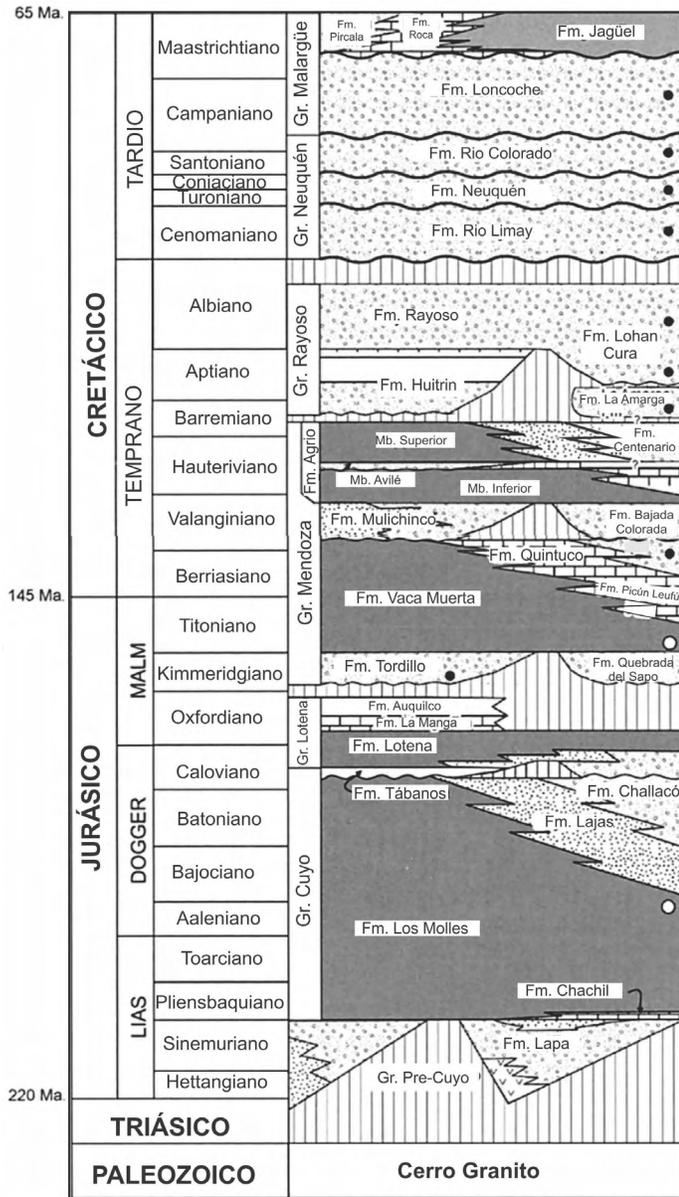


Figura 3. Cuadro estratigráfico del Jurásico y Cretácico de la Cuenca Neuquina involucrado en el sector occidental de la Dorsal de Huincul (modificada de Howell et al. 2005).

un contexto extensional que pasa luego a ser compresional a partir del Jurásico, situación que continúa en la actualidad, pero con diferentes orientaciones de los esfuerzos responsables. Groeber (1929) reconoció para la cuenca Neuquina los ciclos Jurásico, Ándico y Riográndico, y particularmente para el Jurásico identificó límites de sus subciclos Cuyano, Loteniano y Chacayano coincidentes con discordancias de orden mayor (Groeber et al. 1953). Estos eventos deformativos que abarcan unos cincuenta millones de años son los responsables de la formación de las principales trampas en todo el ámbito de la dorsal, tanto estructurales como estratigráficas, asociadas a truncamientos de los reservorios jurásicos con-

tra los sellos regionales (Veiga et al. 2001, Freije et al. 2001, Pángaro et al. 2002).

Uliana y Biddle (1987) consideran que durante el Triásico Tardío-Jurásico Temprano se estableció un régimen extensional que ejerció un control de primer orden caracterizado por una serie de depocentros estrechos y aislados orientación general NO controlados por grandes sistemas de fallas transcurrentes (en el sentido original de Moody y Hill 1956, Wilcox et al. 1973) y rellenos principalmente de depósitos continentales de la Mesosecuencia Pre-Cuyo (Gulisano et al. 1984, Kozlowski et al. 1993, 1996, Zavala y Freije 2002, Cristallini et al. 2009, Legarreta y Villar 2012).

Desde el Toarciense se producen los fenómenos más tempranos de inversión tectónica en la cuenca Neuquina (Vergani et al. 1995, Uliana et al. 1995, Mosquera et al. 2011, Pángaro et al. 2002, Freije et al. 2002, Gómez Omil et al. 2002), sin embargo, los procesos más importantes de deformación ocurren durante el Jurásico Tardío (discordancia Intramálmica, 154 Ma Windhausen 1914, Keidel 1917, Leanza 2009) y hacia el Cretácico Temprano terminal evidenciado por la discordancia Intercretácica (Windhausen 1914, Keidel 1917) o Intracenomaniana (Ploszkiewickz et al. 1984, Bettini 1984, entre otros), que determinan claras discordancias visibles en afloramientos.

Naipauer et al. (2014) consideran al Grupo Cuyo comprendido entre las discordancias Intra-Liásica e Intra-Calloviana. Sin embargo, se considera que estas discordancias disminuyen su influencia en áreas septentrionales a medida que aumenta la distancia desde la Dorsal de Huincul, debido a la falta de suministro clástico progradante de la Formación Lajas, al punto de su total desaparición en áreas depocentrales de la cuenca Neuquina. Zavala et al. (2020) describen y diferencian unidades dentro de estas secuencias y discuten evidencias de un levantamiento temprano y erosión durante el Bajociano tardío-Oxfordiano.

Orchuela et al. (1981) y Uliana et al. (1995) consideraron que los pliegues pequeños y oblicuos dispuestos a lo largo del rumbo sublatitudinal de la Dorsal de Huincul fueron generados por el arrastre de un sistema dextral, que en conjunto constituirían una estructura en flor positiva (Harding et al. 1983).

Se interpreta que durante la depositación del Grupo Cuyo (Pliensbaquiano-Calloviano) la Dorsal de Huincul ha actuado como un pilar activo oscilatoriamente (Orchuela et al. 1981, Ploszkiewickz et al. 1984, Uliana et al. 1995, Freije et al. 2002, Vergani, 2005, Pángaro et al. 2006b, entre otros), que engendró discordancias progresivas intracuyanas, las cuales fueron puestas de manifiesto por primera vez por Viñes et al. (1987) en un trabajo de interpretación de líneas sísmicas. Leanza (2009) comprende al Grupo Cuyo entre las discordancias

Rioatuélica y Loténica y destaca, en el área de influencia de la Dorsal de Huincul, tres discordancias intracuyanas: la Intra-toarciana (sólo reconocida en subsuelo), la Seguélica (Intrabajociana 1) y la Lohanmahuídica (Intrabajociana 2).

Eisner (1991) y Vergani et al. (1995) interpretan las estructuras de la Dorsal de Huincul como el resultado de la inversión tectónica de fallas extensionales. Estudios detallados llevados a cabo tanto en subsuelo como en superficie llevaron a interpretarlas como una sumatoria de eventos de deformación con esfuerzos cambiantes a lo largo del tiempo (Vergani et al. 1995), siendo inicialmente extensionales y luego compresionales con una orientación que rotaba desde NNO a E-O y SE de acuerdo con los cambios de posición del vector de convergencia entre las placas de Farallón y Nazca con la Sudamericana. Mosquera y Ramos (2006) consideran la presencia alternada en la Dorsal de Huincul de estructuras de pilares y grábenes durante Triásico Tardío a Jurásico Temprano; de estructuras de inversión tectónica positiva en el Jurásico Tardío; y de estructuras transpresivas a transtensivas en el Cretácico y el Cenozoico. Silvestro y Zubiri (2008) actualizaron parcialmente estas hipótesis planteando un esquema alternativo caracterizado por el desarrollo de corredores transcurrentes, estructuras relacionadas a inversión oblicua de hemigrábenes previos y la generación de estructuras compresivas sin influencia de los rasgos extensionales anteriores. Pángaro et al. (2006b, 2009), plantean por su parte un modelo compresivo puro sin inversión tectónica. Mosquera et al. (2011) propusieron tres factores principales que controlaron la evolución de la Dorsal de Huincul: un basamento altamente anisótropo, la rotación del campo de esfuerzos y la dinámica del margen convergente. Rossello (2018) identifica, a partir de la orientación de ovalizaciones de pozos perforados en campos productores de la cuenca Neuquina, dos campos de esfuerzos en función de la profundidad. Así, en sectores someros se identifica el campo de esfuerzos andino, pero en los más profundos se aprecia una rotación que indicaría la influencia de un estado deformacional afectado por la memoria tensional de un campo de esfuerzos preandino memorizado en las secuencias más antiguas. Finalmente, Ramos et al. (2020) y Marchal et al. (2020) actualizaron interpretaciones con esquemas alternativos caracterizados por el desarrollo de corredores transcurrentes, estructuras relacionadas a inversión oblicua de hemigrábenes previos y generación de estructuras compresivas sin influencia de los rasgos extensionales anteriores. Hernández (2019) considera que a lo largo de la Dorsal de Huincul se registra un control por fallas directas del Triásico Superior al Jurásico Inferior dispuestas NE a NNE que resultan de la reactivación de una fábrica del basamento.

El extremo oriental de la Dorsal de Huincul, dispuesto

con un rumbo ligeramente ONO-ESE, con respecto a su desarrollo regional sublatitudinal (Fig. 1), se caracteriza por la presencia de fallamientos extensionales interpretados en el subsuelo (Guzmán et al. 2021).

METODOLOGÍA Y FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La metodología utilizada para el análisis del segmento occidental de la Dorsal de Huincul comprende un relevamiento estructural que corresponde a relevamientos microtectónicos detallados de fracturamiento en sectores claves del tramo occidental de la Dorsal de Huincul que fueron volcados en diagramas estereográficos de Wulff para su análisis espacial y de Schmidt para su análisis estadístico ambos en el hemisferio inferior. A partir de cartografías geológicas, fotos aéreas de baja altura y capturas de Google Earth se confeccionaron mapas donde se indicaron las principales estructuras. Los datos estructurales multiescalares se utilizaron para diagramas de distribución 3D de fracturas y esquemas simplificados que intentan interpretar las diferentes respuestas deformativas y los mecanismos tectosedimentarios involucrados durante el funcionamiento del campo de esfuerzos pre-andino.

Estos resultados se discuten en el marco de un análisis del estado del arte sobre el conocimiento de la evolución estructural de la Dorsal. La bibliografía geológica de superficie y subsuelo revisada está vinculada a la descripción tectosedimentaria de la Dorsal de Huincul y su influencia en las secuencias pre-andinas adyacentes. La base cartográfica de superficie se basa en el excelente mapeo realizado por Suero (1951), y en el caso del subsuelo (sísmica 3D y gravimetría) en la información distribuida en diversos trabajos (entre otros, Uliana et al. 1995, Vergani et al. 1995, Sigismondi 2012).

Las metodologías de análisis estructural utilizadas están basadas en los condicionantes físicos de la deformación con la finalidad de establecer las relaciones espaciales que existen entre el campo de esfuerzo y los fracturamientos generados. Para ello, es necesario diferenciar primariamente: i) los fallamientos como superficies de discontinuidad que observan movimientos de los bloques contenidos en ellas, y ii) los diaclasamientos como superficies de discontinuidad que exhiben movimientos de los bloques solamente perpendiculares a los mismos. La Ley de Anderson (Jaeger y Cook 1979, Ramsay y Huber 1983, Price y Cosgrove 1990, Davis y Reynolds 1996, Rossello 2001, Healy et al. 2012) relaciona unívocamente espacialmente al esfuerzo principal máximo σ_1 y las superficies de fallamientos en un ángulo menor a 45° (del orden de 30-40°). Por lo tanto, independientemente que se trate

de un fallamiento normal, inverso o transcurrente, siempre el esfuerzo principal máximo σ_1 guarda invariablemente esta relación angular menor de 45° (cerca a $30 - 40^\circ$) con respecto al plano de fallamiento sobre el cual actúa (Rossello 2017). Lo único que varía para definir la nomenclatura del tipo de fallamiento es la posición espacial que exhiben con respecto al nivel de referencia horizontal (Anderson 1951) denominándose: i) “inversas”, si producen acortamiento de la superficie terrestre, son contraccionales, ii) “normales” si producen un estiramiento de la superficie terrestre, son extensionales y iii) “transcurrentes” si producen una traslación lateral de la superficie terrestre.

Las transcurrencias se asocian con pliegues y fallamientos normales, inversos y transcurrentes dispuestos de acuerdo con la posición espacial que guardan con respecto al campo de esfuerzo actuante (Anderson 1950). Por tal razón, en estos escenarios tectónicos se aprecian levantamientos y depresiones de bloques, al igual que desplazamientos relativos variables, rotaciones, etc. (e.g. Sanderson y Marchini 1984, Christie-Blick y Biddle 1985, Woodcock y Fischer 1986, Sylvester 1988, Twiss y Moores 1992). Por otro lado, es importante tener en cuenta también, la profundidad del sector estudiado, ya que el campo de esfuerzos puede modificarse resultando un esfuerzo principal mayor dispuesto verticalmente debido a la sobrecarga de las secuencias suprayacentes. De este modo, los sectores más profundos que soportan el apilamiento de las secuencias más jóvenes producen una sobrecarga que puede determinar que el campo de esfuerzos compense al esfuerzo principal mayor horizontal o, incluso, pueda superarlo (Rossello 2017). Esta situación determina que el conjunto del macizo rocoso o de una secuencia sedimentaria de una cuenca es dependiente de este factor enterramiento (Ramsay y Huber 1983, Zoback 2007, Rossello 2017). De este modo, en los sectores más someros el campo de esfuerzo está directamente relacionado con los esfuerzos tangenciales horizontales determinados por los escenarios compresionales o tensionales regionales que los determinen.

RESULTADOS

Relevamientos estructurales

Con el objetivo de obtener datos estructurales de campo que permitan ajustar el funcionamiento cinemático de la Dorsal de Huincul, se realizaron relevamientos microtectónicos en sectores claves de su segmento occidental. Particularmente, se efectuaron observaciones en el graben del Álamo, el sector intermedio entre el cerro Lotena y el cerro Granito, en el cerro Granito y en la quebrada del Bosque Petrificado

(Fig. 4). De este modo, basado en estos datos complementados con la observación de imágenes aéreas y satelitales se adquirieron evidencias que posibilitan la realización de un modelo tectónico que incluye aspectos cinemáticos.

El graben del Álamo

En el flanco occidental del cerro Lotena, Rossello (2001) reconoció un sector elongado relativamente deprimido de unos 150 m de ancho y casi 600 m de largo dispuesto con su eje en dirección NNO-SSE denominado graben del Álamo (Fig. 5). Está caracterizado por afloramientos de pelitas con niveles margosos típicas de la Formación Vaca Muerta, con un espesor estimado de 50 m, con tonalidades amarillentas que se disponen desde subhorizontalmente hasta unos 20° de inclinación hacia el SE. Por fuera del graben, afloran areniscas y conglomerados de la Formación Lajas con inclinaciones subverticales e incluso inversión hacia el Norte a partir de estructuras sedimentarias de estratificación diagonal en artesas y morfología de canales que indican criterios de polaridad deposicional. La Formación Lajas presenta en el cerro Lotena una potencia del orden del kilómetro de areniscas gruesas y conglomerados blanquecinos con un rumbo general NE-SO. A partir de las disposiciones espaciales de las Formaciones Lajas y Vaca Muerta se reconoce una muy fuerte discordancia angular entre ellas (Fig. 5). En estos afloramientos, Zavala et al. (2020) estiman un lapso de no deposición-erosión de unos 20 millones de años durante que median entre estas unidades del Jurásico Medio a Tardío

Se identificaron criterios cinemáticos microtectónicos (lineaciones de estiramiento, escalonamientos y desplazamientos de clastos) observados sobre los planos de falla subverticales con Az. 155° . Además, los fallamientos que limitan al graben del Álamo, guardan una ligera oblicuidad con respecto al esfuerzo principal máximo horizontal preandino responsable que determina una componente transcurrente dextral (Fig. 5).

Entre el cerro Lotena, el cerro Bayo Chico y el Rincón del Águila se destacan a lo largo de un corredor NO-SE relativamente deprimido y de un par de kilómetros, dos afloramientos de escasa expresión topográfica entre la cubierta moderna (Fig. 4, CA). Están integrados por una secuencia de tonos amarillentos a blancuzcos de areniscas compactas levemente entrecruzadas y calizas arenosas marinas con contenido fosilífero que permiten su asignación al Hauteriviano (Suero 1951) y que serían actualmente correlacionables con la Fm. Agrio (Rossello 2001). Estos afloramientos exhiben pliegues muy apretados y charnelas angulosas con ejes de rumbo sublatitudinal y NNO-SSE. Por su posición estratigráfica estos niveles son equiparables a la Fm. Rio Agrio (Howell et al.

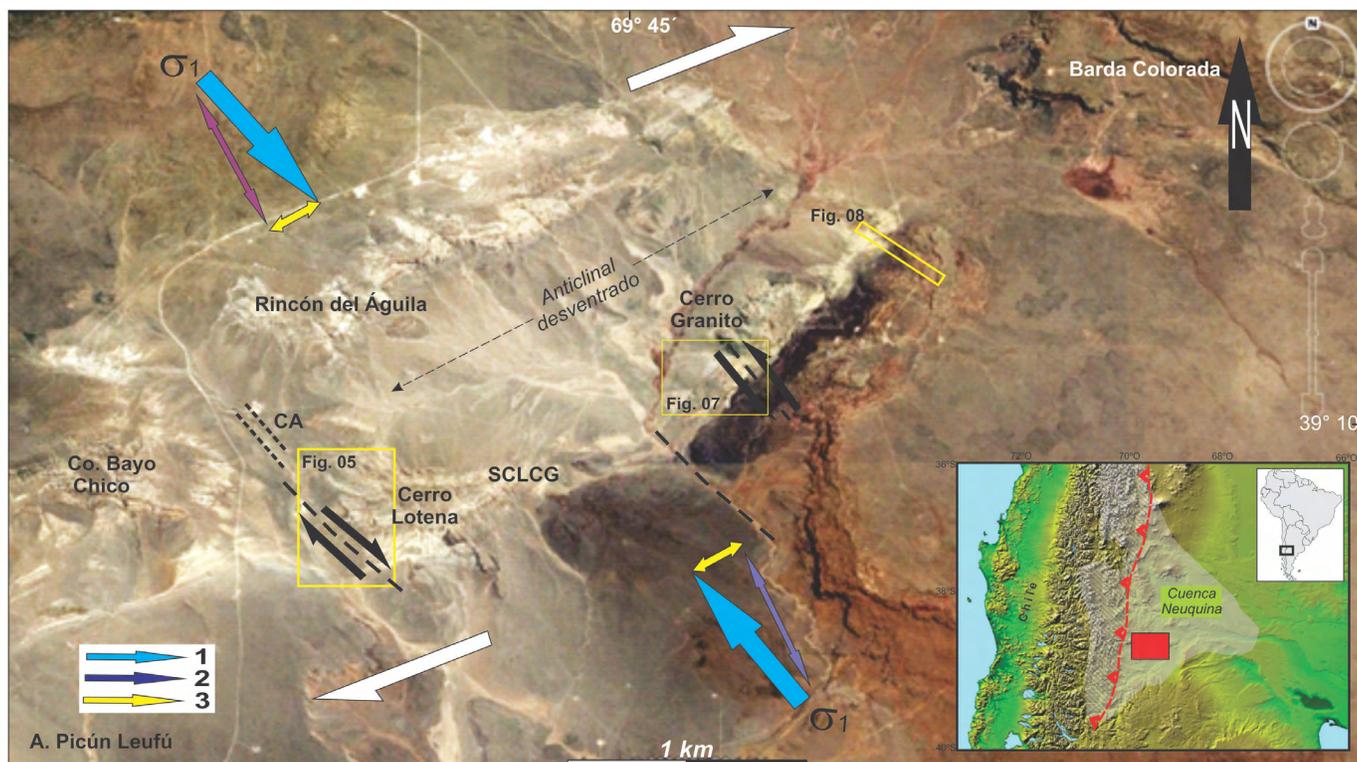


Figura 4. Esquema del segmento occidental de la Dorsal de Huincul donde se localizan los sectores estudiados del Graben del Álamo (Fig. 5), el sector intermedio entre el Cerro Lotena y el Cerro Granito (SCLCG), Cerro Granito (Fig. 6) y la quebrada del Bosque Petrificado (Fig. 7), y CA: Corredor con afloramientos de sedimentitas equivalentes a la Fm. Rio Agrio (originalmente identificadas como "Hauteriviano" por Suero 1951). Flechas: 1: esfuerzo principal; 2: componente ortogonal al segmento occidental de la Dorsal de Huincul; 3: componente paralela al segmento occidental de la Dorsal de Huincul. Flechas azules: esfuerzo principal máximo horizontal preandino. Flechas negras: criterios transcurrentes.

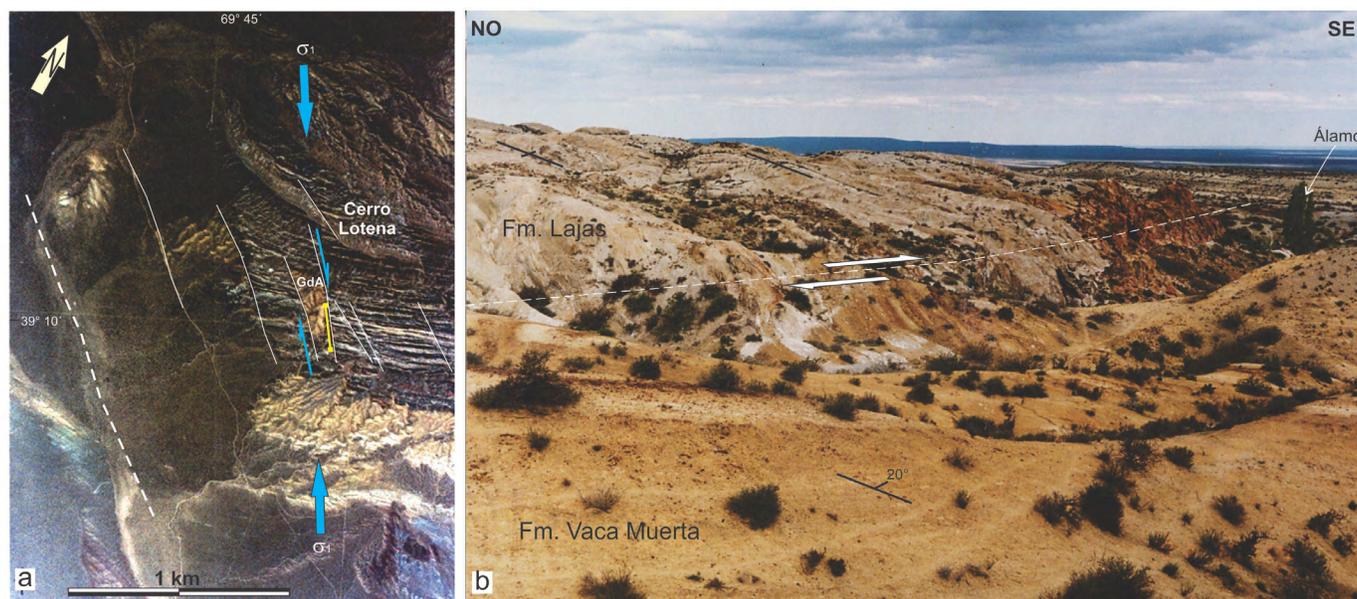


Figura 5. a) Imagen fotográfica aérea en color de baja altura donde se reconoce el graben del Álamo en tonos más claros (GdA) al sudoeste del Cerro Lotena, flanqueado por fallamientos subverticales con componentes dextrales (el trazo amarillo indica la ubicación de la foto b); b) Vista hacia el sudeste del graben del Álamo donde se aprecia el fuerte contraste entre la inclinación de 20° hacia el sur de la Fm. Vaca Muerta y la subvertical de la Fm. Lajas, limitadas por una falla transensiva con componente dextral dispuesta NO-SE.

2005). Estos afloramientos, dispuestos aproximadamente en la continuación septentrional del graben del Álamo sugieren localizarse dentro de una fosa deprimida limitada por falla-

mientos extensionales coincidentes con la posición del esfuerzo principal horizontal responsable.

Sector Cerro Lotena-Cerro Granito

Se realizaron relevamientos de fracturas de modo saluario en estaciones de trabajo (Fig. 9) sobre afloramientos particularmente de la Formación Lajas distribuidos entre el cerro Lotena y la Quebrada del Bosque Petrificado (Fig. 4). Estos relevamientos han permitido reconocer diaclasas y fallamientos con superficies donde se identificaron indicadores cinemáticos (estrías, escalonamientos, clastos arrastrados y/o seccionados, etc.) asociados con un campo de esfuerzo cuyos esfuerzos principales máximos horizontales se disponen NO-SE. Se destaca una falla NNO-SSE transcurrente y subvertical con desplazamientos métricos y flexuras izquierdas distensivas que indica su cinemática senestral (Fig. 6a y b). En escasas ocasiones debido a la textura gruesa de las litologías encajantes de la Formación Lajas se reconocen planos de falla transcurrente con indicadores cinemáticos de dirección y sentido a partir de resaltos y fibras de sílice (Fig. 6c).

Sobre afloramientos con superficies subhorizontales, se reconocen juegos de fallas con componentes senestrales y dextrales en planta que, al ser conjugados en un sistema, determinan la posición del campo de esfuerzo máximo horizontal en el cuadrante NO-SE (Fig. 6c).

Cerro Granito

En las rocas magmáticas del cerro Granito se observa una gran cantidad de diaclasas predominantemente dispuestas NNE-SSO que difieren de las mayoritariamente con rumbos NNO-SSE localizadas en las sedimentitas de la Formación Lajas circundantes.

El flanco occidental del Cerro Granito está limitado por un fallamiento dispuesto NO-SE que produce exhibe notables flexuras de arrastres en las secuencias jurásicas, particularmente de la Formación Lajas dispuestas con inclinaciones hacia el sur que, de norte a sur, decrecen paulatinamente de unos 40° a menos de 20° (Fig. 7). Keidel (1925) ya señaló la existencia de una falla de gran rechazo al oeste del cerro Granito y Suero (1951) dedujo su rechazo, a partir del desplazamiento horizontal de aproximadamente 800 m de una capa guía de la Formación Lajas portadora de amonites de la Zona de *Sauzei* asignado al Bajociano. Estos arrastres permiten considerar el funcionamiento transpresivo senestral del fallamiento. Dado que no afecta a las secuencias del Grupo Neuquén que se localizan sobre las áreas australes (Fig. 4) se puede acotar su actividad con anterioridad al Cenomaniano.

Sobre el tope del cerro, se identificaron corredores de fallas irregulares de unos 50 m y entre 2 y 5 m de potencia con desarrollo brechiformes dispuestas con Az. N95° a 100° e inclinaciones de 75° hacia el NE que expresan una cinemática

dextral a partir del arrastre de clastos. Además, la generación de venillas de carbonatos con flexuras derechas dilatantes dispuestas con Az. 150° confirman la localización del esfuerzo principal horizontal responsable cuya orientación es NNO-SSE y la consecuente componente dextral. Se considera que el pequeño afloramiento en forma de peñasco, mencionado por Suero (1951), dispuesto aproximadamente en sentido NNO en la parte oeste-sudoeste del cerro Granito y en contacto con la cubierta sedimentaria es análogo a los corredores brechosos identificados sobre porciones cuspidales. Además, por su composición de calcedonia y cuarzo de color rojo violáceo intenso con pequeñas manchas de decoloración y su textura brechosa se lo interpreta como una brecha cataclástica.

Sobre el sector cuspidal del cerro Granito afloran diques básicos de unos 10 m de potencia y dispuestos con Az. 110° y también, se reconocen fallamientos con desplazamientos dextrales discretos y desarrollos métricos con Az. 140°-150° que afectan la fábrica planar 50-60° de las facies de granitoides foliados (Rossello et al. 2011).

Sobre el flanco septentrional del cerro Granito afloran niveles calcáreos relictos de la Formación Lajas con abundantes fósiles que se adosan y preservan en hondonadas de las superficies irregulares. También, rellenan como diques clásticos, algunas fracturas con desplazamientos métricos a decimétricos dispuestas con direcciones NNO e inclinaciones de hasta 60° hacia el Norte. También, se localizan parches o "manchones" de escasa potencia relleno de depresiones de las unidades magmáticas. La naturaleza carbonática con abundantes restos y fragmentos de fósiles de estos relictos sedimentarios apoyan la consideración que fueron depositados en un ambiente arrecifal de alta energía favorecido por una posición somera del cerro Granito.

Quebrada del Bosque Petrificado

En una transecta NNO-SSE a lo largo de la quebrada del Bosque Petrificado (Fig. 8) se reconoce una típica secuencia de crecimiento de tipo cuña que involucra desde secuencias de la Formación Los Molles hasta el Grupo Neuquén. A partir del análisis de estructuras sedimentarias, particularmente estratificación diagonal, imbricación de clastos y morfologías de canales, se comprueba su actual disposición invertida, con inclinaciones que varían desde unos 70° hacia el norte hasta subverticales. La Formación Lajas al igual que los afloramientos más septentrionales del Rincón del Águila (Fig. 2), está constituida por secuencias de sabulitas y conglomerados de clastos pugilares redondeados y bien seleccionados de composiciones mayoritariamente riolíticas asignables al pre-Cuiano con escaso cemento carbonático. Hacia el sur, afloran areniscas castaño-rojizas de la Formación Lotena seguidas



Figura 6. Fotografías de afloramientos de la Fm. Lajas entre el Cerro Lotena y el Cerro Granito con fallamientos transcurrentes (véase ubicación en Fig. 4): a) Vista horizontal de un fallamiento senestral dispuestos ONO-ESE; b) Vista oblicua del fallamiento anterior donde se aprecia su inclinación vertical; c) Vista oblicua de espejo de falla con estriamientos (flechas negras) que indican fuerte componente transcurrente senestral (véase ubicación en b); d) Vista de juegos conjugados de fallamientos dextrales y senestrales (flechas blancas) que determinan la ubicación en una bisectriz aguda dispuesta NO-SE que expresa la localización del esfuerzo principal máximo horizontal responsable (flechas rojas).

por pelíticas y margosas de la Formación Vaca Muerta inclinando progresivamente con menor angularidad hacia el SSE.

De acuerdo con las relaciones espaciales de las secuencias que afloran de norte a sur, a lo largo de la quebrada del

Bosque Petrificado, se reconoce una secuencia continua dispuesta como cuña de crecimiento constituida en su base por estratos invertidos de la Formación Los Molles. A continuación, siguen estratos verticales de la Fm. Lajas que pasan

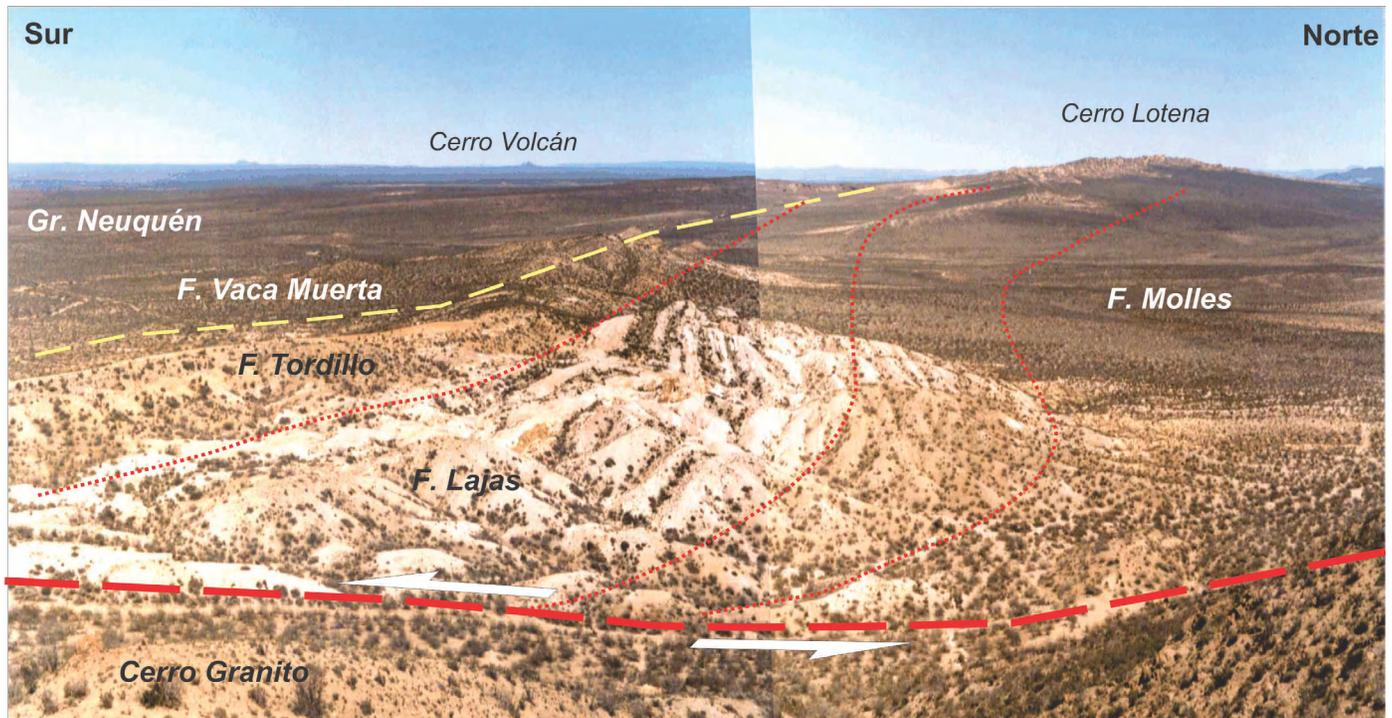


Figura 7. Vista hacia el Oeste desde el Cerro Granito donde se aprecian afloramientos de la Fm. Lajas con inclinaciones variables hacia el sur. Están afectados por el funcionamiento del fallamiento transcurrente dextral que limita por el occidente al cerro Granito (localización en Fig. 4).

con inclinaciones decrecientes hacia el sur, para continuar con capas cada vez menos inclinadas de las Formaciones Lotena y Vaca Muerta. Finalmente, todas estas formaciones, están poco más al este (Barda Colorada) suprayacidas por areniscas y conglomerados del Grupo Neuquén que se dispone como una amplia flexura que hacia el sur tiende a ser concordante y hacia el norte exhibir una discordancia angular de unos 110° (Cobbold y Rossello 2003) (Fig. 8).

Análisis estructural integrado de las observaciones

Los relevamientos de fracturas realizados con rumbos preferenciales contenidos dentro del cuadrante NO-SE permiten reconocer hacia los sectores más orientales, la presencia casi con exclusividad, del campo de esfuerzos pre-andino como su responsable. En cambio, a medida que los puntos de observación se localizan hacia el oeste (Painemil, Ruta 40, Picún Toba, Volcán), progresivamente van ocurriendo una mayor presencia de fracturas y pliegues dispuestos de modo más submeridional relacionadas con el campo de esfuerzos andinos (Fig. 9). Los relevamientos sistemáticos totales de las fracturas entre Cerro Lotena y Bosque Petrificado presentan sectores fracturados que se disponen dentro del cuadrante NO-SE (Fig. 9).

Los relevamientos totales de las fracturas relevadas entre el cerro Lotena y la quebrada del Bosque Petrificado determinan modas subordinadas que se disponen (Fig. 10): a) con

competentes dextrales (Riedel) con máximos orientados sublatitudinales y b) con componentes senestrales (AntiRiedel) dispuestos con un máximo en el Az 330° . El máximo dispuesto con Az 300° corresponde al diaclasamiento ya que ocupa la bisectriz aguda definida por los anteriores.

A partir de estos análisis, los fallamientos limitantes del graben del Álamo y del oeste del cerro Lotena orientados al O-E funcionan como Riedel y el fallamiento al oeste del cerro Granito por su disposición NNO-SSE funciona como AntiRiedel (Fig. 4).

DISCUSIÓN

Cerro Granito

Debido a la mayor resistencia relativa a la erosión de los afloramientos de rocas ígneas del cerro Granito con respecto a las unidades sedimentarias circundantes, éstos constituyen actualmente uno de los principales elementos topográficos positivos del segmento estudiado de la Dorsal Neuquina. Desde el punto de vista tectónico, Rossello (2001) consideró al único afloramiento del basamento del cerro Granito como la consecuencia de una extrusión debida al ambiente particularmente constrictivo del segmento occidental de la Dorsal de Huincul. De este modo, la localización del cerro Granito como un asomo aislado en medio de secuencias sedimentarias marinas resulta coherente con el funcionamiento regional

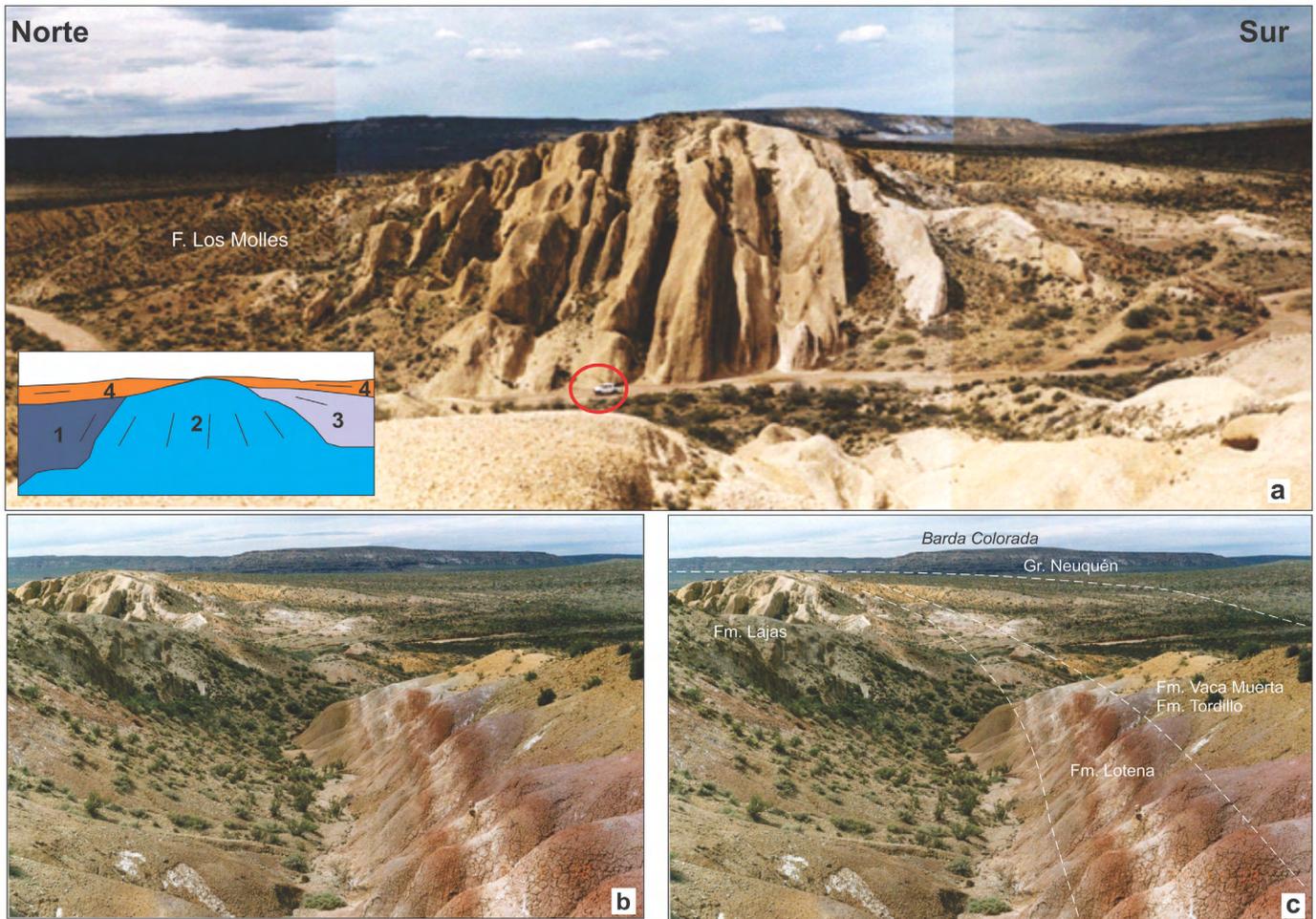


Figura 8. a) Vista al Este de los afloramientos de la quebrada del Bosque Petrificado (en el círculo rojo un vehículo como escala) donde se aprecia la discordancia angular de las secuencias del Gr. Neuquén (4) sobre la cuña de crecimiento integrada por la Fm. Los Molles (1), Fm. Lajas (2) y las formaciones Lotena, Tordillo y Vaca Muerta (3); b) Detalle de las formaciones Lotena y Tordillo-Vaca Muerta con fuertes inclinaciones hacia el sur; c) Interpretación de la anterior. (localización en Fig. 6).

transcurrente dextral de la Dorsal de Huincul sobre un pandeo regional izquierdo localmente transpresivo de acuerdo con ley de Anderson (Sanderson y Marchini 1984, Rossello 2001, Healy et al. 2012, entre otros).

La disposición NNO del pequeño afloramiento en forma de peñasco mencionado por Suero (1951) en la parte oeste-sudoeste del cerro Granito es coincidente con la orientación del fallamiento senestral que lo pone en contacto con las secuencias desplazadas de la Formación Lajas, razón por la cual se lo interpreta con una cinemática semejante.

Vergani et al. (1995) estima una intensa erosión de más de 2000 m durante el Calloviano que exhumó e incluso expuso el basamento de la cuenca Neuquina en el cerro Granito. Llambías et al. (2007) considera que la exhumación de los granitoides pérmicos en el oeste de la cuenca Neuquina tuvo lugar en el Triásico Temprano. Rossello et al. (2011), interpretaron el emplazamiento tectónico, exhumación-erosión de la Dorsal de Huincul e invasión marina, en el lapso que

media entre la edad de 188 Ma (Sinemuriano) para un dique andesítico que intruye diferentes facies plutónicas (Rossello et al. 2011) y la de las sedimentitas de la Formación Los Molles que las sobreyacen discordantemente (Bajociano, Suero 1951). Dicha edad del dique andesítico (Rossello et al. 2011) sugeriría que estos granitoides habrían estado a profundidades someras para el Pliensbachiano y, en consecuencia, su exhumación sería post 188 Ma.

Basado en los datos recogidos en el presente trabajo, se interpreta que a partir del Sinemuriano el cerro Granito comienza a exhumarse y erosionarse para luego ser cubierto por el mar que depositó la Formación Los Molles, tal vez en un contexto de relativa tranquilidad, al punto que pudo controlar como un alto fondo las secuencias de tipo arrecifales con fósiles que marcan la base de la Formación Lajas y que se distribuyeron sobre sus superficies erosionadas y dentro de depresiones y fracturas. A partir del Toarciense-Aaleniano, el funcionamiento translacional dextral asociado a la Dorsal

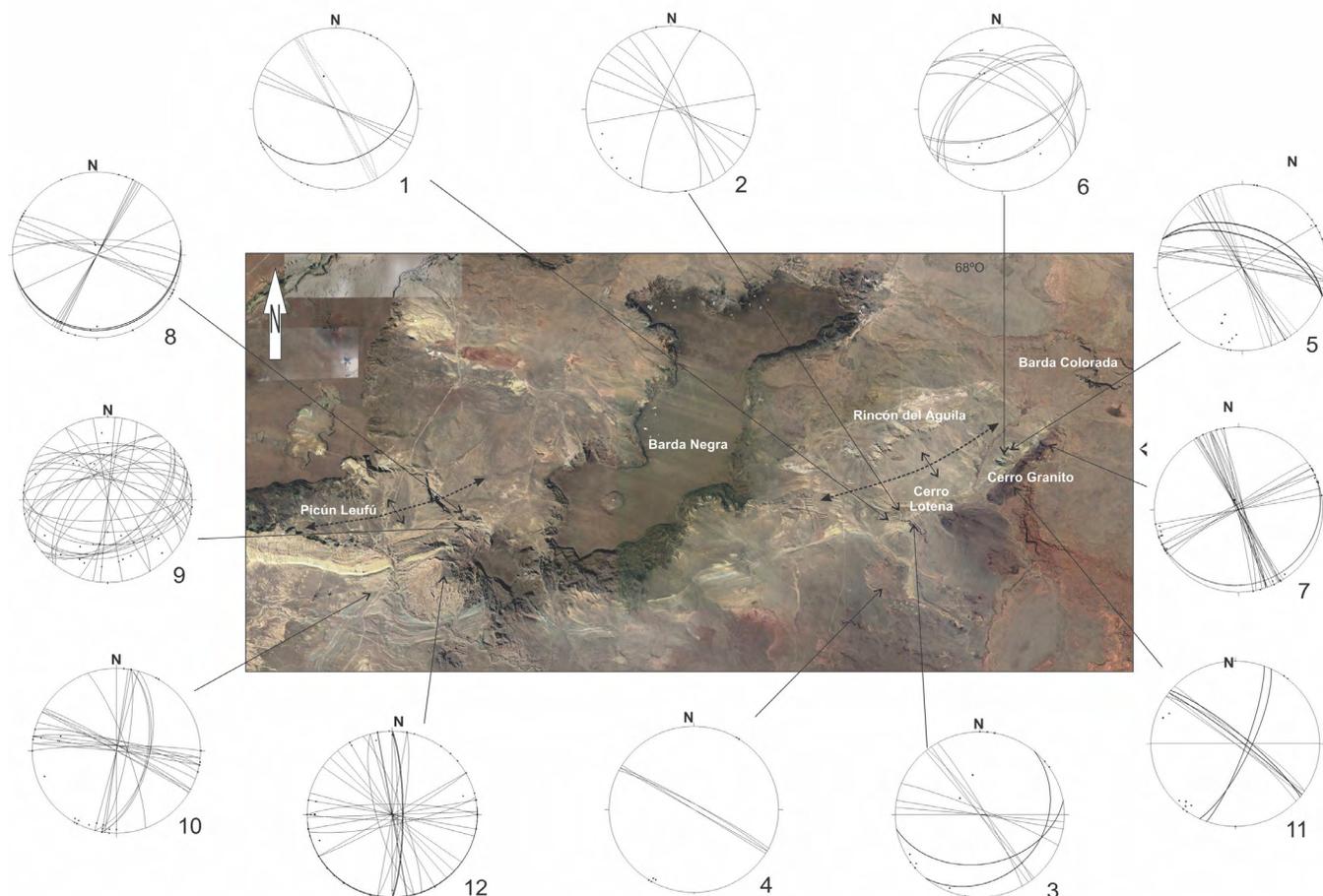


Figura 9. Datos estructurales de fracturas expresados en estereogramas de Schmidt hemisferio inferior donde se representan los fracturamientos relevados en estaciones microtectónicas desde el Bosque Petrificado hasta sectores occidentales de la zona de trabajo (véase localización en la Fig. 3). 1: Lotena Occidental; 2: Álamo; 3: West Jara; 4: Imán; 5: Granito tope; 6: Granito Oriental; 7: Bosque Petrificado; 8: Painemil; 9: Ruta 40; 10: Picún Toba; 11: Mina Cu; 12: Volcán.

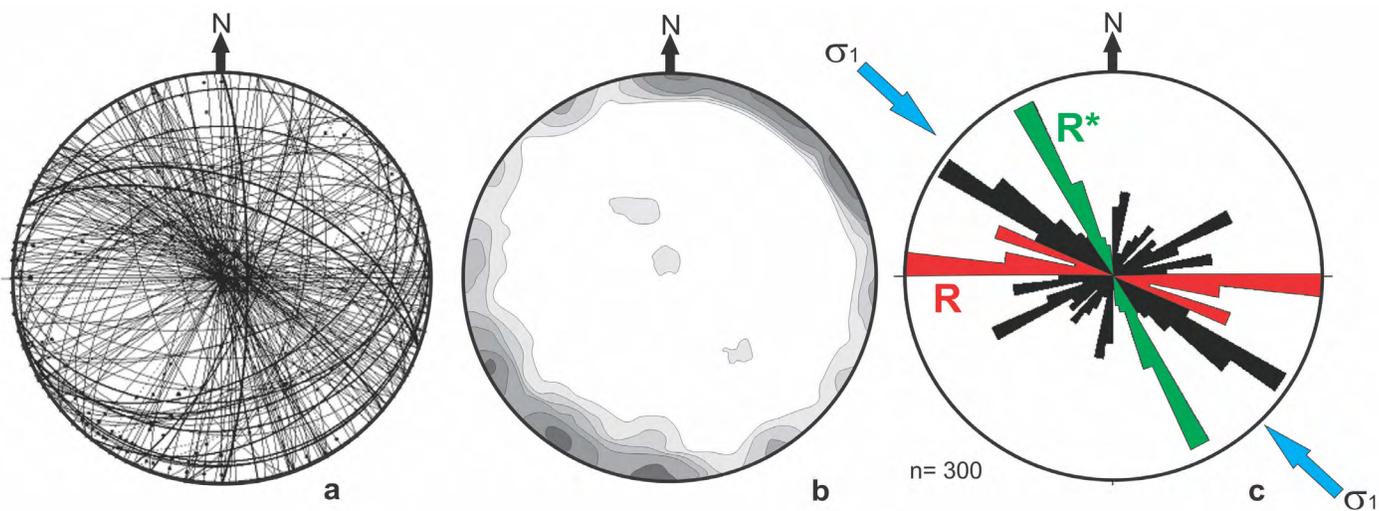


Figura 10. Diagramas de fracturas totales ($n= 500$) medidas sobre afloramientos del segmento occidental de la Dorsal de Huincul: a) Notación ciclográfica en hemisferio inferior de red de Wulff; b) Distribución estadística de polos en hemisferio inferior red de Schmidt. c: Notación en roseta distribuidos en 12 clases. R: Riedel (en rojo), R* AntiRiedel (verde).

de Huincul comienza a producir una intensa deformación con un nuevo proceso de exhumación expresado por la sedimentación sintectónica de las potentes secuencias clásticas de

la Formación Lajas (Bajociano), las que fueron sucesivamente traslapadas mediante discordancias intraestratales de las secuencias de las Formaciones Lotena y Vaca Muerta. De

este modo, el cerro Granito queda ocupando parte del flanco austral del anticlinal desventrado en la Formación Los Molles para ser finalmente suprayacido por la molasa cenomaniana del Grupo Neuquén.

Análisis los campos de esfuerzos actuantes

A continuación, se describen los campos de esfuerzos actuantes en el segmento occidental de la Dorsal de Huincul, diferenciados en función de la temporalidad de su ocurrencia.

Campo de esfuerzos pre-andino

Los datos estructurales de campo relevados en los diferentes sectores estudiados del segmento occidental de la Dorsal de Huincul permiten vincular la acción deformativa de un campo de esfuerzos pre-andino dispuesto aproximadamente con una orientación NO-SE.

Los datos adquiridos permiten reconocer fallamientos mayoritariamente dispuestos en el cuadrante NO-SE. En particular, los fallamientos dispuestos ONO-ESE acusan componentes transpresivas dextrales. En cambio, los fallamientos dispuestos NNO-SSE exhiben componentes transpresivas senestrales, como las que presentan el fallamiento que limita hacia el oeste al Cerro Granito (Fig. 8). Las unidades más antiguas del Grupo Cuyo (particularmente las Formaciones Los Molles y Lajas) están parcialmente invertidas y sobreyacidas con inclinaciones decrecientes por el Grupo Mendoza hasta que las unidades basales más jóvenes (Cenomaniano) del Grupo Neuquén están inclinadas muy suavemente hacia el SE. Las características periclinales de las secuencias jurási-

cas silicoclastitas areniscosas y conglomerádicas de la Fm. Lajas en torno al afloramiento del Cerro Granito indicarían que la exhumación-erosión de este asomo basamental, estuvo en gran parte vinculada con su depositación sintectónica (Fig. 7).

Así, como consecuencia de la interpretación de los datos anteriores se reconoce y corrobora la acción de campos de esfuerzos responsables de los rasgos deformativos del segmento occidental de la Dorsal de Huincul con orientaciones diferentes a la de aquellos activos a partir de la fase Peruana, de la tectónica Andina (Cobbold et al. 2007, Hernández 2019), temporalmente localizada en el Cretácico Superior (Fig. 11).

Campo de esfuerzos andino

A partir del Cretácico Tardío, la tectónica andina estableció sobre la cuenca Neuquina un régimen deformacional contraccional sublatitudinal debida a la convergencia de las placas Nazca y Sudamericana que continuó durante todo el Cenozoico, aunque alternante con eventos extensionales (Vergani et al. 1995, Manceda y Figueroa 1995, Diraison et al. 1998, Cobbold y Rossello 2003, Zapata y Folguera 2005, Cobbold et al. 2007).

La disposición espacial este campo de esfuerzos (Fig. 11) ha sido establecida a partir de información de superficie, particularmente de estudios de desplazamientos de puntos fijos medidos por GPS (Ruegg et al. 2002, Brooks et al., 2003, Khazaradze y Klotz 2003, Hoffmann-Rothe et al. 2006, entre otros), y subsuelo por determinaciones de ovalizaciones de pozos (Bechis et al. 2010, 2014, Rossello 2018, otros) y mecanismos focales de sismos (Heidbach et al. 2018).

La deformación andina desarrolló una serie de cinturones de plegamientos y fallamientos preferencialmente submeridianales localizados sobre la porción fallada y plegada de la cuenca Neuquina que determinan la generación de excelentes afloramientos de las sucesiones mesozoicas (Fig. 11). Estas estructuras fueron interpretadas como el resultado de la inversión tectónica de fallas extensionales preexistentes que delimitaban los grábenes del Triásico - Jurásico temprano (Manceda y Figueroa 1993, 1995, Uliana et al. 1995, Cobbold y Rossello 2003, entre otros). En cambio, los efectos de este campo de esfuerzos no han sido significativos en el sector occidental de la Dorsal de Huincul estudiado, ya que los fallamientos previamente generados no presentan claras evidencias de reactivaciones en los sectores estudiados.

Guzmán et al. (2011) estudiaron la continuidad y la evolución de la dirección de los esfuerzos horizontales en el ámbito de la cuenca Neuquina, a partir de resultados previamente obtenidos del análisis de ovalizaciones de pozos y con información de la disposición espacial de diques asfálticos y

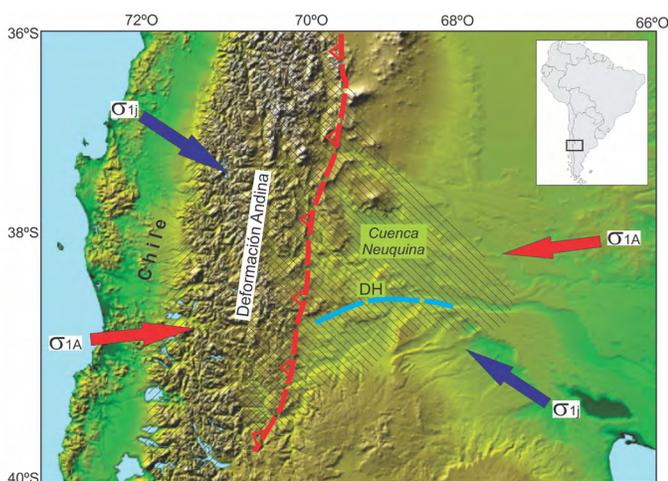


Figura 11. Localización aproximada de los campos de esfuerzos reconocidos en el segmento occidental de la Dorsal de Huincul. Las flechas rojas indican la orientación generalizada del esfuerzo principal máximo horizontal andino (simplificado de Ruegg et al. 2002, Brooks et al., 2003, Khazaradze y Klotz 2003, Hoffmann-Rothe et al. 2006) y las flechas azules indican la orientación generalizada del esfuerzo principal máximo horizontal pre-andino (tomado de Rossello y Barrionuevo 2005, Bechis et al. 2014).

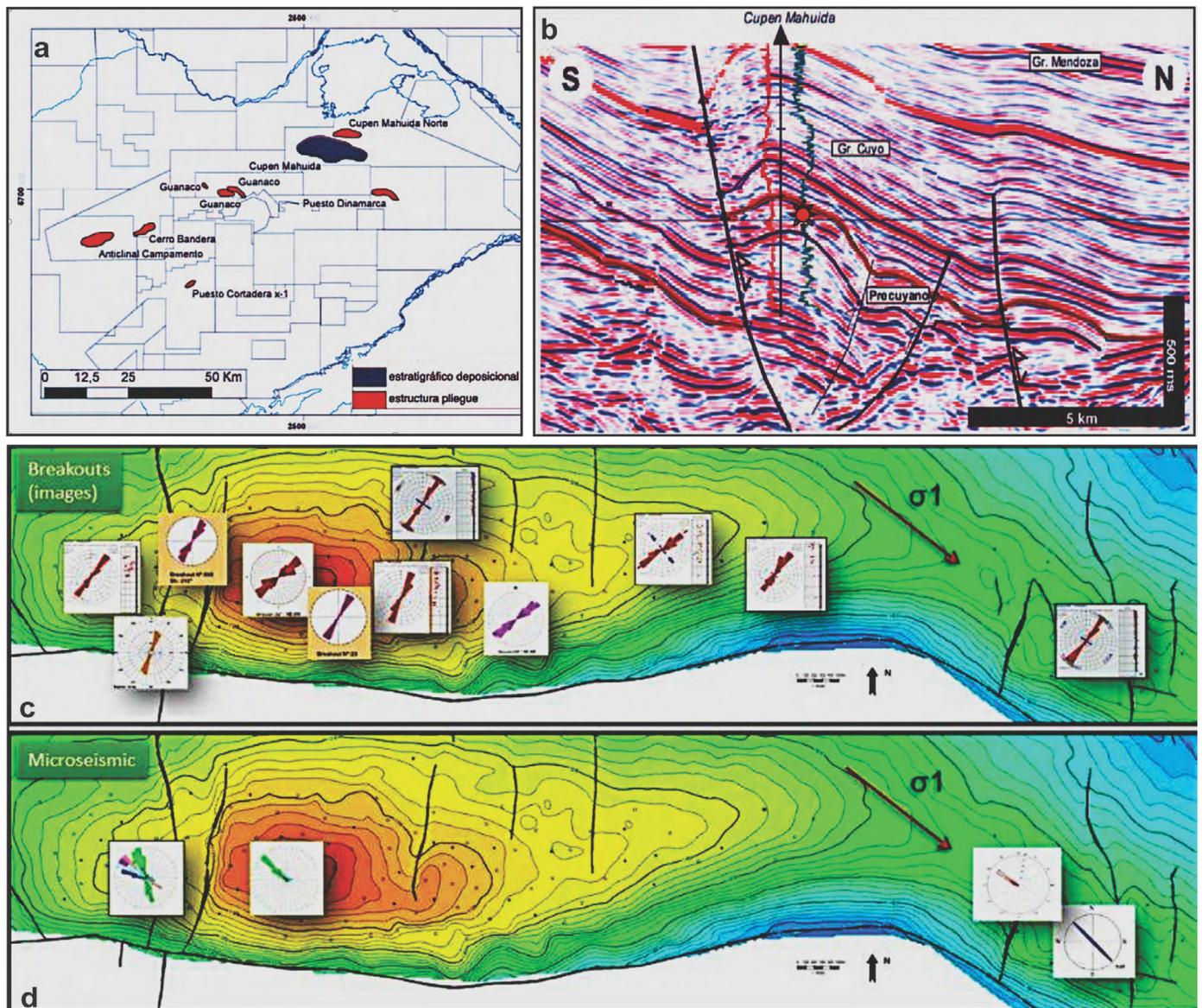


Figura 12. Rasgos estructurales del Campo Cupen Mahuida (tomado de Pángaro et al. 2006a): a) Localización del Campo Cupen; b) Interpretación sísmica de una línea transversal al Campo Cupen; c) Direcciones del esfuerzo máximo horizontal medidos en la Fm. Lajas a partir de *breakouts*; d) Datos eventos de monitoreos micro sísmicos microsísmicos (Tomado de Santiago et al. 2018).

volcánicos. Los diques asfálticos se emplazaron durante el Paleoceno - Eoceno en un contexto en el que el esfuerzo máximo era horizontal y con orientación NE. Por su parte, los diques volcánicos se disponen en dos poblaciones principales orientadas NE y NNE y una secundaria NO. Si bien, la edad de estos diques no está bien establecida, Guzmán et al. (2011) la consideran vinculada con un escenario magmático del Oligoceno tardío – Mioceno e interpreta que durante gran parte del Terciario la orientación del esfuerzo horizontal máximo fue NE. Sin embargo, reconocen que los datos de las ovalizaciones muestran en la actualidad una dirección preferencial media ENE. Este cambio en la dirección de los esfuerzos es coherente con el cambio en el vector de subducción producido entre el Eoceno y la actualidad.

Bechis et al. (2010, 2014) interpretan a partir de datos multiescales una disposición NNO-SSE del esfuerzo mayor horizontal vinculado con la generación del rifting del Triásico Superior-Jurásico Inferior de la región del río Atuel en el extremo septentrional de la cuenca Neuquina. Resultados del análisis de *breakouts* de 115 pozos perforados dentro de la cuenca Neuquina, Guzmán y Cristallini (2009) determinan un esfuerzo máximo horizontal (σ_{1max}) orientado en un promedio Az. $88,7^\circ$ y un intervalo de confianza del 95% de $13,3^\circ$ consistente con la tendencia esperada, aunque no es completamente uniforme. Estos autores mencionan que al norte del río Colorado, el σ_{1max} muestra una tendencia ESE y al sur del río Colorado, tiene una tendencia ENE similar a la esperada en base a las fuerzas en los límites de las placas y mostrando un

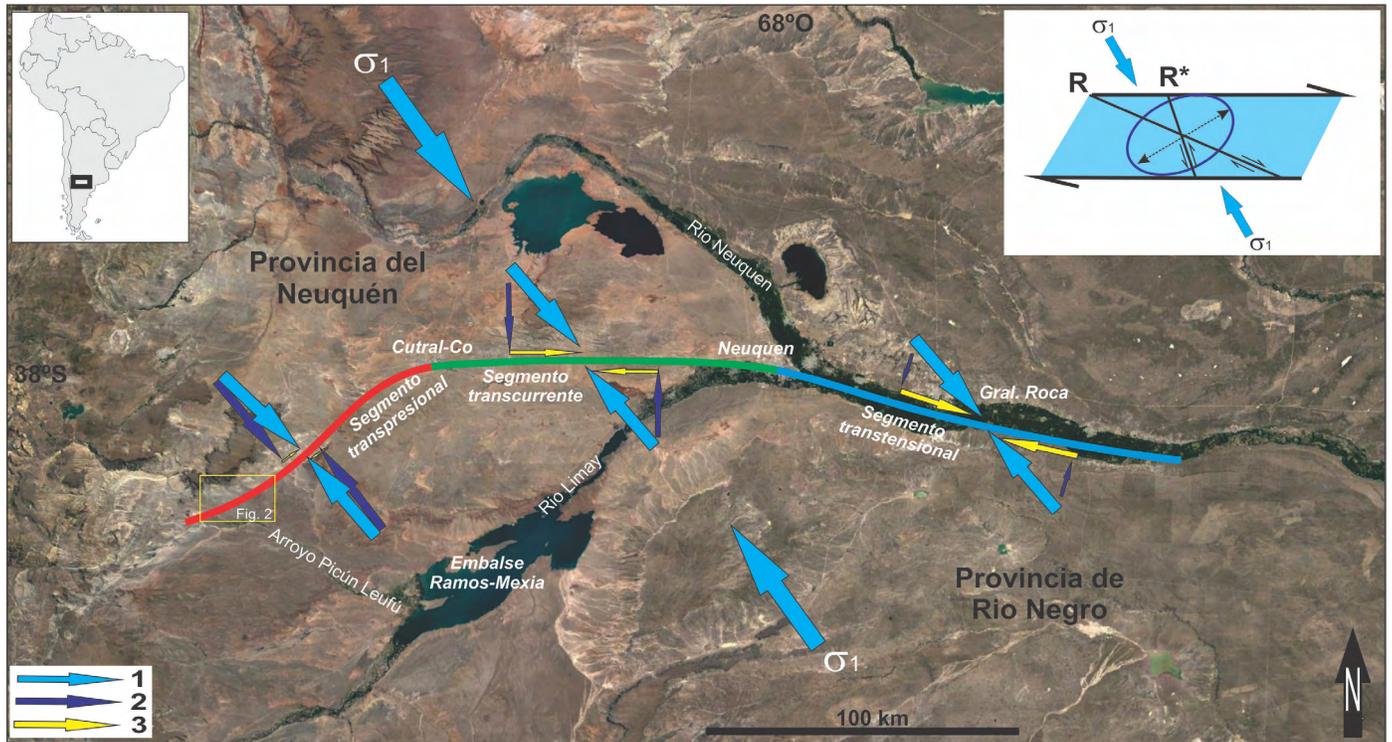


Figura 13. Localización esquemática de los diferentes segmentos de la Dorsal de Huincul en la porción centro-occidental de la cuenca Neuquina: rojo (transpresional), el verde (transcurrente) y el azul claro (transtensional). Las flechas indican la orientación generalizada del esfuerzo principal máximo horizontal pre-andino (1) y componentes compresionales (2) y transcurrentes (3).

probable control estructural del basamento (Fig. 12).

A partir de 27 *breakouts* de pozo disponibles en el sitio web del World Stress Map (WSM 2008 en Guzmán et al. (2007), asociados con el monitoreo microsísmico y las imágenes de registro de pozos de la Formación Lajas en el campo Cupen Mahuida, Santiago et al. (2018) establecen una dirección del esfuerzo máximo horizontal promedio actual en el Az. 315°, con valores que oscilan entre 305° y 330°. Esta dirección difiere de la medida en los campos ubicados al este (Silvestro y Zubiri 2008), como en los campos del noreste (El Cordón, Lindero Atravesado, Río Neuquén, etc.), donde es predominantemente este-oeste. De esta manera, debido a la orientación ligeramente diferente de los *breakouts* en el campo Cupen Mahuida, se aprecia que se mantiene la dirección que prevalecía en el momento en que se generaron las estructuras jurásico-cretácico, mientras que en los demás campos dicha dirección responde a la tectónica andina (Silvestro y Zubiri 2008).

Caracterización estructural del segmento occidental de la Dorsal de Huincul

A partir de las observaciones realizadas, se confirma un modelo transcurrente dextral regional, para la Dorsal de Huincul (Leanza 2009, Silvestro y Zubiri 2008, Pángaro et al., 2009, Mosquera et al. 2011, Marchal et al. 2020, Hernández 2019, entre muchos otros). En función de su expresión en

planta se reconocen tres segmentos bien diferenciados por cambios de disposición espacial a lo largo de su desarrollo sublatitudinal y sus características tectónicas asociadas. La relación espacial que guardan con respecto al campo de esfuerzos pre-andino responsable de su cinemática, permite identificar los siguientes segmentos (Rossello 2001): a) Occidental, caracterizado por una flexura izquierda dispuesta NE-SO, con comportamiento transpresional b) Central, sublatitudinal, con comportamiento transcurrente y c) Oriental, debido a su flexura ligeramente derecha dispuesta ONO-ESE, con comportamiento transtensional (Fig. 13).

Los fallamientos subordinados dispuestos O-E (fallas al oeste del cerro Lotena) actúan como estructuras de Riedel, y las dispuestas NNO-SSE (fallas al oeste del cerro Granito) como AntiRiedel (Fig. 13).

Evolución de la cuña de crecimiento y su inversión transpresional dextral

La depositación en entornos tectónicos activos tanto compresionales como extensionales siempre está controlada por estructuras en crecimiento a diferentes escalas vinculados a una estructura preexistente en profundidad (Verges et al. 2002). La sincronía inherente de los estratos de crecimiento y la actividad de plegado o falla acoplada hace que los estratos de crecimiento sean cruciales para interpretar la geometría y

la cinemática del plegado y empuje (Anastasio et al. 1997). Sin embargo, el estudio de las geometrías estratales de crecimiento no siempre es sencillo y depende en gran medida de la complejidad y duración de la actividad tectónica (Riba 1976), así como del grado de conservación que el caso aquí estudiado involucra desde el Jurásico a prácticamente la totalidad de Cretácico.

Durante del escenario transcurrente dextral de la Dorsal de Huincul se produce la depositación de las Formación Los Molles y, particularmente, de la Formación Lajas, integrantes del Grupo Cuyo y, más tarde durante el Calloviano tardío, de la Formación Lotena de acuerdo con una dirección de progradación hacia el Norte (Zavala y Freije 2002). Luego, con el advenimiento de la compresión andina se genera un frente de deformación que avanza hacia el este concomitantemente con el desarrollo de la depositación molásica del Grupo Neuquén (Fig. 14).

Debido a las fuertes variaciones de espesores de la depositación de las secuencias de la Fm. Lajas observadas entre el cerro Lotena y el Bosque Petrificado puede estimarse que se realizó sobre un relieve caracterizado por fosas extensionales muy irregulares, de modo sintectónico con la transurrencia dextral. Como resultado, se desarrolla una típica secuencia de crecimiento con estratos que progresivamente fueron basculándose hasta el punto de que las secuencias iniciales jurásicas estén verticales y así las secuencias del Grupo Neuquén se disponen con discordancias de más de 90° (Fig. 14).

La presencia de grandes troncos dispuestos alóctonamen-

te entre las gruesas capas de conglomerados muy redondeados sugieren una rápida depositación a partir de materiales previamente acumulados sobre ambientes cratonizados. El advenimiento de una repentina modificación tectónica de estos ambientes plataformales moviliza estos materiales previamente liberados que habían permanecido en equilibrio el tiempo suficiente para que sus clastos adquirieran las características texturales de maduración a partir de sus redondeamientos y selección. De este modo, los conglomerados constituyentes de la Fm. Lajas son inicialmente acumulados como potentes cuñas de crecimiento simultáneamente con el desarrollo de espacios de acomodación proporcionados por un ambiente transtensivo en el margen septentrional de la Dorsal de Huincul donde son fácilmente movilizados para nivelar las modificaciones topográficas producidas (Fig. 15).

Así, es posible reconocer una importante actividad sintectónica durante la depositación de las facies conglomerádicas que se expresa en depocentros con geometrías muy variables y formidables discordancias internas que podrían temporalmente asociarse con los episodios de erosión de la discordancia Intracalloviana descritos por Dellapé et al. (1979) y Gulisano (1981).

Una interpretación cronológica simplificada de la evolución de los campos de esfuerzos actuantes en segmento occidental de la Dorsal de Huincul permite individualizar un ambiente extensional inicial, previo al funcionamiento transcurrente dextral de la Dorsal de Huincul (Fig. 16a). Posteriormente, la reactivación transcurrente dextral controla la depo-

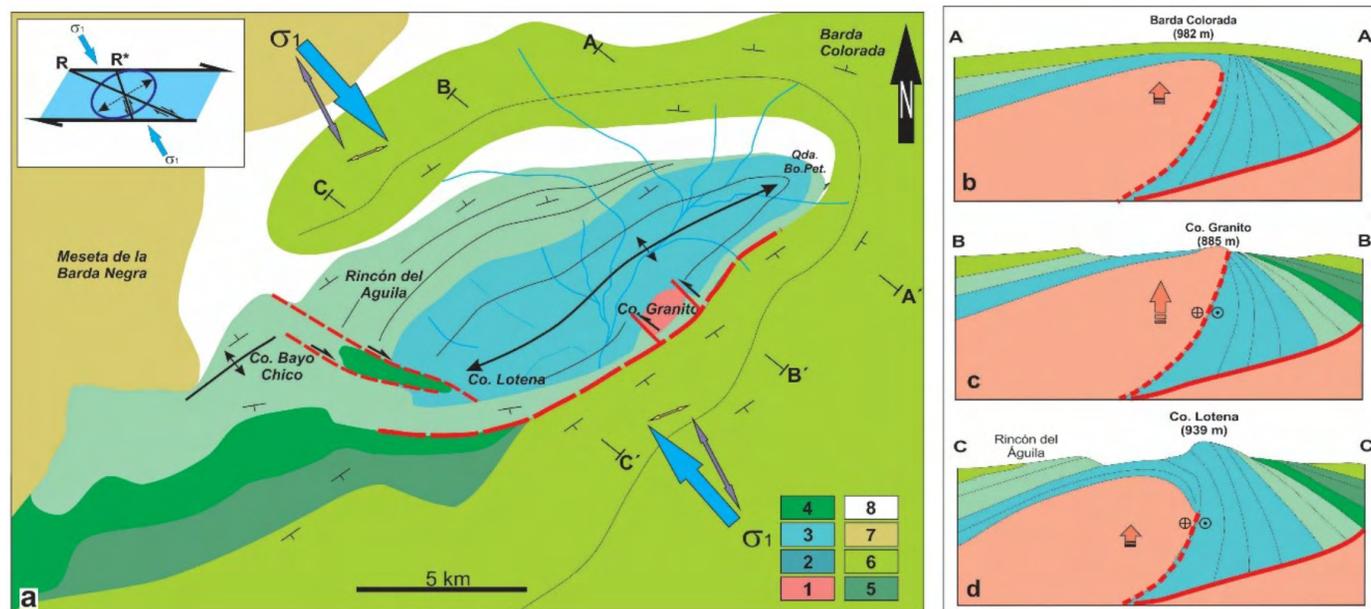


Figura 14. Esquemas simplificados de la geología y perfiles interpretativos de los afloramientos juro-cretácicos del segmento occidental de la Dorsal de Huincul entre la Barda Colorada y el cerro Bayo Chico tomados de la Fig. 2. 1: basamento cristalino, 2: Fm. Los Molles, 3: Fm. Lajas, 4: Fm. Lotena, 5: Fm. Vaca Muerta, 6: Fm. Candeleros, 7: Basaltos y 8: Cubiertas modernas.

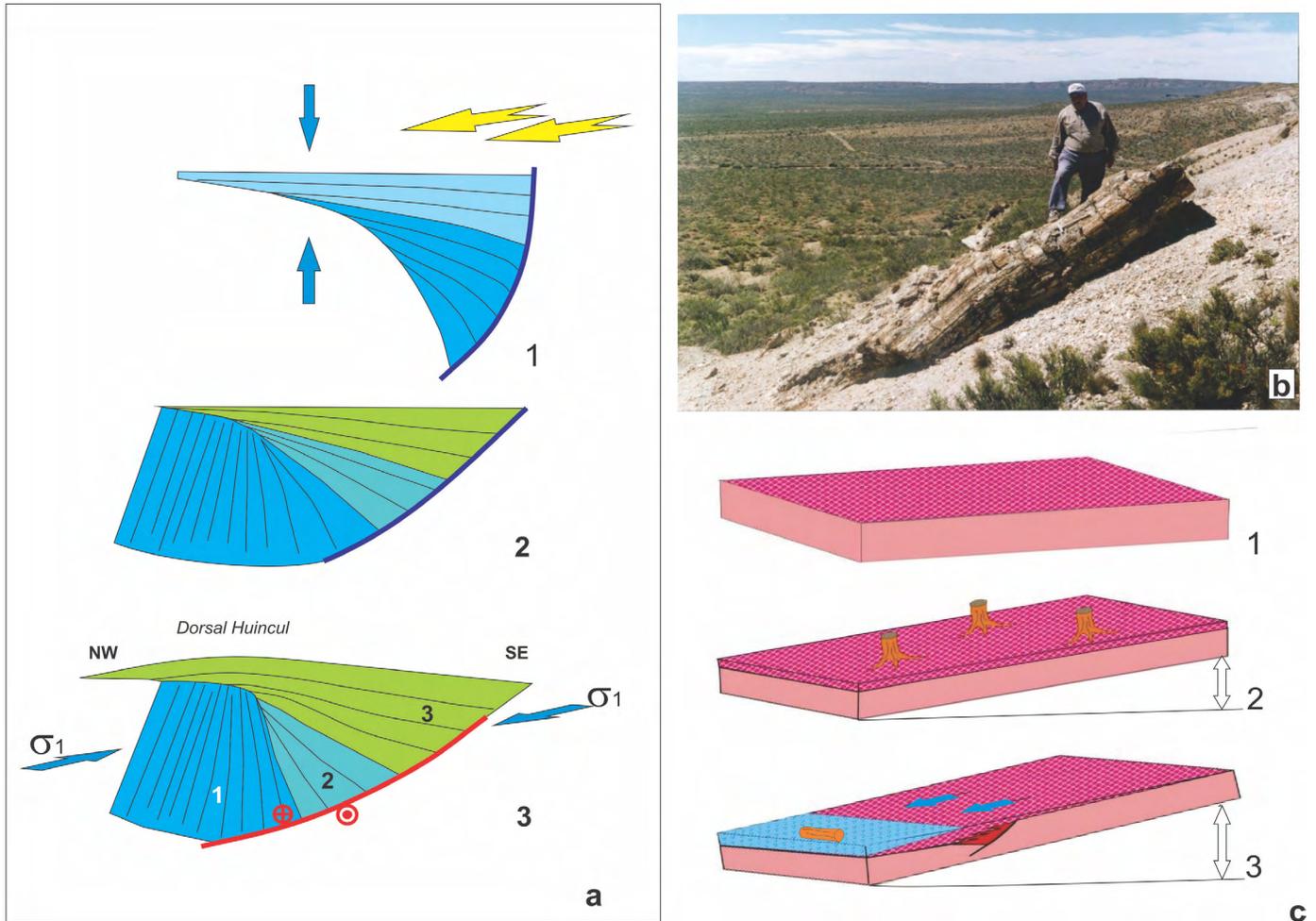


Figura 15. a) esquemas evolutivos interpretativos simplificados de la deposición en cuña de crecimiento de la Fm. Lajas (1), Formaciones Lotena, Tordillo y Vaca Muerta (2) y el Gr. Neuquén sobreyaciendo a las anteriores (3); b) Detalle de un gran tronco alóctono dentro de niveles conglomerádicos de la Fm. Lajas al Este del Cerro Granito (Don Arturo Cortés da la escala); c) Evolución interpretativa de la deposición de los clastos de la Fm. Lajas en los rifts: 1) acumulación y retrabajo, 2) emplazamiento de los troncos y 3) basculamiento de la secuencia, deslizamiento y relleno de los de los clastos en los sectores deprimidos.

situación sintectónica de la Formación Lajas seguida con una disminución de la intensidad deformativa durante la deposición sintectónica de las Formaciones Lotena, Tordillo y Vaca Muerta controlada por fallamientos subordinados (Fig. 16b). Al comienzo de la tectónica Andina se desarrolla el frente tectónico Andino con la generación de su molasa de antepaís representado por el Gr. Neuquén, con una influencia mínima sobre las anteriores estructuras debido a la relación desfavorable de su campo de esfuerzos (Fig. 16c).

ORIENTACIONES PREFERENCIALES PARA LA LOCALIZACIÓN EFICIENTE DE POZOS

La disposición actual del esfuerzo horizontal máximo es distinta a la existente con anterioridad a la tectónica andina

y de dirección ENE lo cual implica una variación en la distribución espacial del campo de esfuerzos desde el Jurásico a la actualidad (Fuchs y Müller 2001, Cobbold y Rossello 2003, Brooks et al. 2003, Guzmán et al. 2007, Guzmán y Cristallini 2009). Esta variación es compatible con la rotación del vector de convergencia determinado a partir de datos paleomagnéticos desde el Eoceno a la actualidad (Pardo Casas y Molnar 1987, Manceda y Figueroa 1995). En consecuencia, el cambio en la dirección de esfuerzo horizontal máximo basado en la disposición de los diques asfálticos y volcánicos (Cobbold et al. 1999) y de las ovalizaciones de pozos (Rossello 2018) es consistente con el cambio en la dirección de convergencia (Fig. 17).

Los campos de esfuerzos actuantes sobre el segmento occidental de la Dorsal de Huincul produjeron escenarios inicialmente extensionales dispuestos en dirección NO-SE para luego ser más convergentes en esa misma dirección. Este

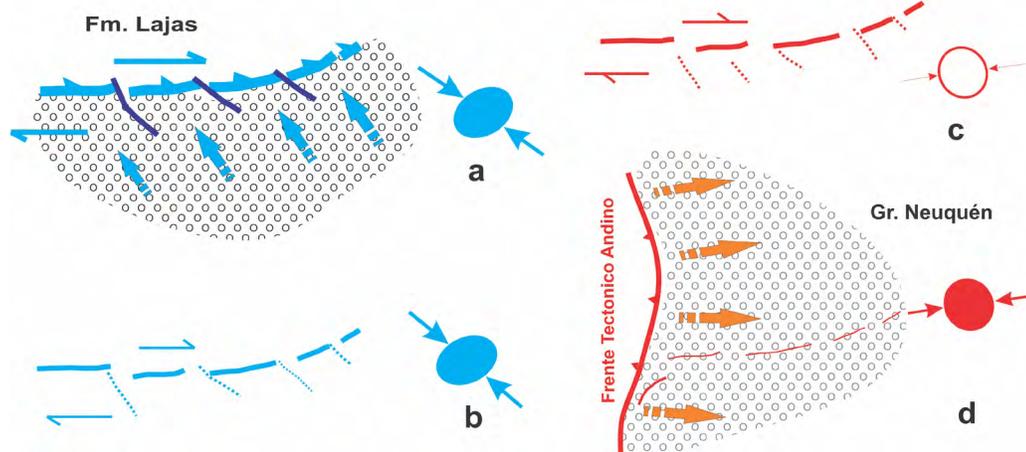


Figura 16. Esquema cronológico simplificado de la evolución del campo de esfuerzos actuante en segmento occidental de la Dorsal de Huincul: a) disposición del fallamiento extensional controlante de la transcurrencia dextral de la deposición sintectónica de la Fm. Lajas; b) disminución de la intensidad durante la deposición sintectónica y de las sedimentitas del graben del Álamo controlada por fallamientos subordinados. c: comienzo de la tectónica Andina con una influencia mínima sobre las anteriores estructuras debida a la relación espacial desfavorable de su campo de esfuerzos; d) desarrollo del frente tectónico andino con la generación de su molasa de antepaís representada por el Gr. Neuquén.

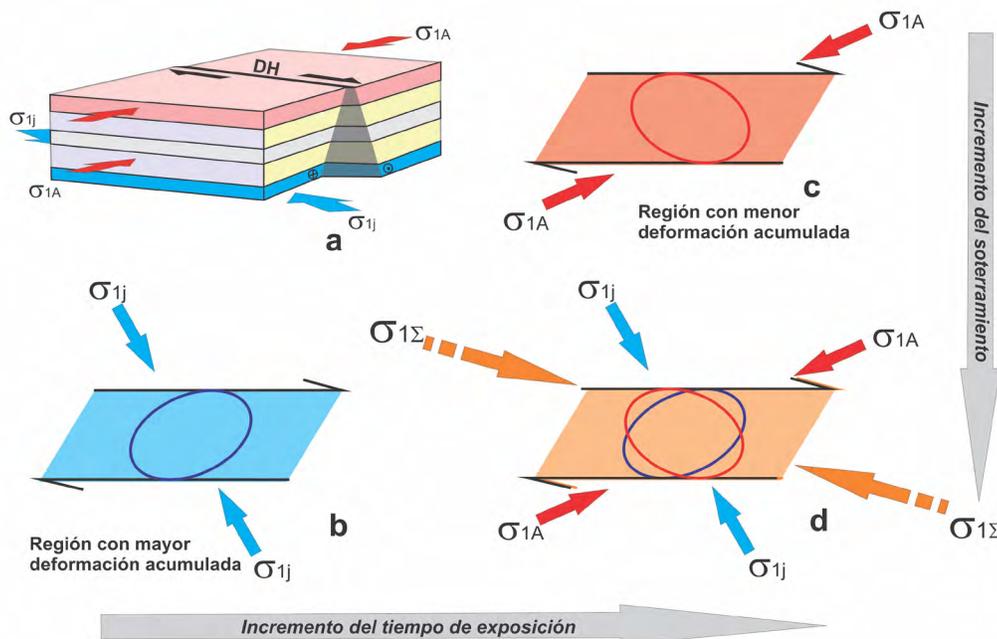


Figura 17. Esquemas simplificados de la evolución progresiva del campo de esfuerzos pre-andino (σ_{ij} NO-SE) al Andino (σ_{1A} OSO-ENE) en función de la posición espacial vertical de las secuencias involucradas.

cambio en la expresión de la deformación sobre una misma dirección es debido a la variación de la orientación del campo de esfuerzos que rotó con su esfuerzo principal máximo horizontal desde NO-SE a OSO - ENE de acuerdo con los cambios de posición del vector de convergencia entre las placas de Farallón y Nazca con respecto a la Sudamericana (Fig. 17).

La ovalización (*breakouts*) es la expresión bidimensional inmediata, perpendicular al eje del pozo, del estado tensional del macizo rocoso inducido por la acción mecánica de la herramienta perforante. Es una directa expresión instantánea de la elipse de deformación como consecuencia del estado tensional del macizo rocoso intervenido por la perforación (véanse detalles en Bell y Gough 1982, Aadnoy y Bell 1998). Cuando el estado tensional del macizo rocoso es conse-

cuencia de la superposición de campos de esfuerzos diferentes, la ovalización obtenida muestra rotaciones a lo largo del desarrollo del pozo, ya que la acumulación de deformación es variable en función del tiempo de exposición que tuvieron las rocas atravesadas (Rossello 2018). De este modo, si se tiene en cuenta el cambio de posición de los campos de esfuerzos a lo largo de la historia depositacional de la cuenca Neuquina, es posible interpretar una evolución de la orientación de las ovalizaciones en función de la profundidad de un pozo desarrollado en esta columna estratigráfica. Así, sobre sectores más profundos se producirá una superposición de campos de esfuerzos que redundará en respuestas híbridas de las ovalizaciones consistentes con un promedio de las ovalizaciones individuales que habrían ocurrido con cada campo de esfuerzo individual (Gough y Bell 1982, Rossello 2018). Si

se tiene en cuenta esta variación en la profundidad, se contribuirá con la eficiencia de las actividades de fracturamiento para incrementar la productividad de reservorios no convencionales considerándose las situaciones particulares de cada campo de esfuerzos (Fig. 17).

La superposición en el segmento estudiado de la Dorsal de Huincul de dos campos de esfuerzos, pre-andino (jurásico) y andino con orientaciones distintas, determina la posibilidad de reactivaciones e inversiones tectónicas de las estructuras más antiguas, donde, por ejemplo, el diaclasamiento original puede evolucionar a estructuras con componentes de desplazamiento lateral, y viceversa, y fallamientos con componentes de desplazamiento lateral pueden evolucionar a diaclasamientos (Fig. 18). Así, los niveles del Grupo Cuyo permiten interpretar con una mayor probabilidad, fallamientos extensionales contemporáneos dispuestos con rumbos generales en el cuadrante NO-SE (Uliana et al. 1995, Fernández et al. 2003). En cambio, a partir del Cretácico Superior se hacen más conspicuos los fallamientos contraccionales coetáneos dispuestos submeridionalmente y con rumbos en el cuadrante NE-SO (Fig. 18).

CONCLUSIÓN

Se confirma y se aportan nuevos datos cinemáticos que confirman el modelo transcurrente dextral regional pre-andino de la Dorsal de Huincul. También, se reconocen tres segmen-

tos con funcionamientos bien diferenciados basados en la relación espacial que guardan con respecto al campo de esfuerzos actuante; a) Occidental, caracterizado por una flexura izquierda dispuesta NE-SO, con comportamiento transpresional dextral, b) Central, sublatitudinal, con comportamiento transcurrente dextral y c) Oriental, debido a su flexura ligeramente derecha dispuesta ONO-ESE, con comportamiento transtensional dextral.

El segmento occidental de la Dorsal de Huincul, localizado entre la Barda Colorada por el NNE y el arroyo Picún Leufú por el SO, tiene una orientación general NNE-SSO a lo largo de unos 60 km. Se expresa en superficie como un gran anticlinal desventrado doblemente buzante donde se localizan afloramientos aislados de la Formación Los Molles y sobre su flanco austral se disponen los amplios afloramientos de la Formación Lajas del cerro Lotena y el cerro Granito. La interpretación de la información estructural permite identificar el carácter transpresional dextral de la Dorsal de Huincul que afecta las secuencias sedimentarias estratocrecientes del Grupo Cuyo, previamente a la depositación del Grupo Neuquén.

A partir de datos microtectónicos y mesoestructurales adquiridos en el segmento transpresional occidental de la Dorsal de Huincul se interpreta que estos acontecimientos deformativos fueron desarrollados en un lapso de aproximadamente 60 millones de años (entre el Pliensbaquiano y el Aptiano), cuyo σ_1 horizontal estaba dispuesto aproximadamente con Az. 130°. La disposición actual del esfuerzo horizontal máxi-

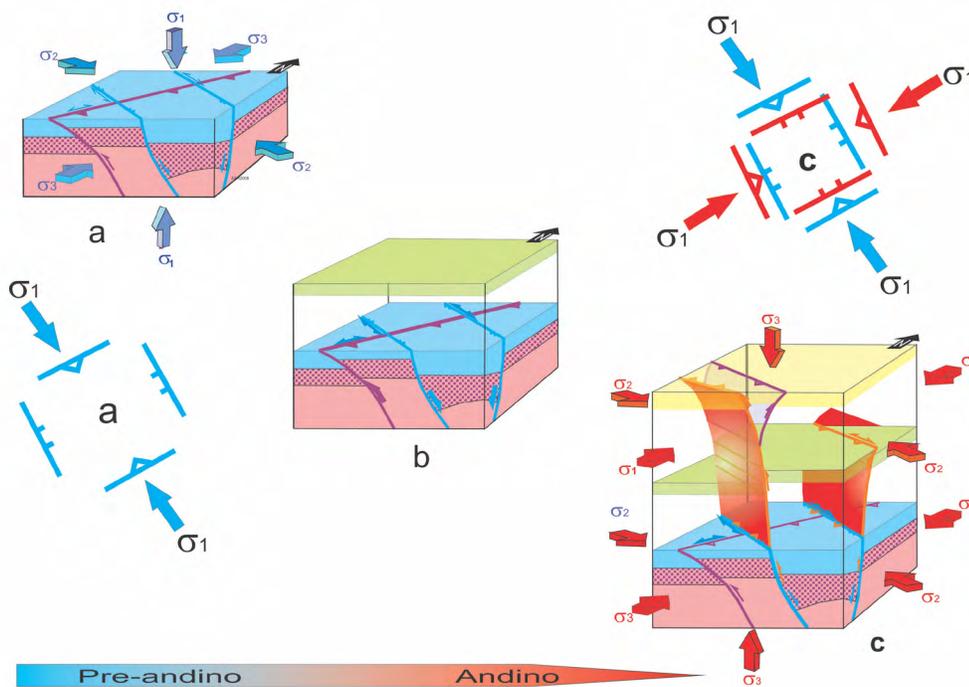


Figura 18. a) Esquema conceptual 3D de la distribución estructural debido a los campos de esfuerzos Jurásico (σ_1 , flechas azules) y Andino (σ_{1A} , flechas rojas); b) Esquema simplificado de las fallas asociadas al campo de esfuerzo andino; c) Esquema simplificado de las fallas asociadas a los campos de esfuerzos superpuestos andino y pre-andino.

mo del campo de deformación andino posee una dirección aproximada OSO-ENE, distinta a la que fue responsable de la generación de la cinemática transcurrente dextral que exhibe la Dorsal de Huincul. Los fallamientos asociados con la cinemática dextral dispuestos ONO-ESE (graben del Álamo y del oeste del cerro Lotena) actúan como estructuras subordinadas de Riedel, y las dispuestas NNO-SSE (fallas al oeste del cerro Granito) como AntiRiedel.

Con la finalidad optimizar el diseño y orientación de fracturas potencialmente abiertas por metro lineal (mf/m) durante la ejecución de actividades exploratorias y productivas de hidrocarburos en ambientes estructuralmente relacionados con el segmento oriental de la Dorsal de Huincul, se deberían diseñar en dirección NE - SO coincidente con la dirección de esfuerzo principal mínimo (σ_3) pre-andino, responsable del desarrollo de la Dorsal de Huincul. Sin embargo, los argumentos teóricos expuestos deben estar soportados por estudios específicos de Geomecánica y caracterización de Reservorios.

AGRADECIMIENTOS

Se desea dejar constancia de nuestro agradecimiento al colega Gustavo Vergani por haber impulsado originalmente este trabajo como una contribución a la caracterización estructural de la Dorsal de Huincul. Don Arturo Cortés guió eficazmente a los afloramientos claves recordando interesantes anécdotas de los grandes colegas pioneros de la geología de la cuenca Neuquina a los que acompañó por estos hermosos parajes. Finalmente, se agradecen las correcciones efectuadas por un árbitro anónimo, así como los comentarios editoriales que mejoraron la comprensión del trabajo.

REFERENCIAS

Aadnoy, B.S. y Bell, J.S. 1998. Classification of drill-induced fractures and their relationship to in situ stress directions. *Log Analyst* 39: 27-42.

Anastasio, D.J., Erslev, E.A. y Fisher, D.M. (eds.) 1997. Fault-related folding. *Journal of Structural Geology, Special Issue* 19 (3-4): v-vi.

Anderson, E.M. 1951. The dynamic of the faulting and dyke formation with application to Britain. *Oliver & Boyd*, 200 p., Edimburgo.

Bell, J.S. y Gough, D.I. 1982. The use of borehole breakouts in the study of crustal stress. U.S. Geological Survey, Open File Report 82-1075: 539-557.

Bettini, F.H. 1984. Pautas sobre cronología estructural en el área del cerro Lotena, cerro Granito y su implicancia en el significado de la dorsal del Neuquén, provincia del Neuquén. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 163-169.

Bechis, F., Giambiagi, L.B., García, V., Lanés, S., Cristallini, E.O. y Tunik, M. 2010. Kinematic analysis of a transtensional fault system: The Atuel

depocenter of the Neuquén basin, southern Central Andes, Argentina. *Journal of Structural Geology* 32 (7): 886-899.

Bechis, F., Cristallini, E.O., Giambiagi, L.B. y Yagupsky, D.L. 2014. Trans-tensional tectonics induced by oblique reactivation of previous lithospheric anisotropies during the Late Triassic to Early Jurassic rifting in the Neuquén basin: Insights from analog models. *Journal of Geodynamics* 79: 1-17

Brooks, B.A., Bevis, M., Smalley Jr., R., Kendrick, E., Manceda, R., Lauría, E., Maturana, R. y Araujo, M. 2003. Crustal motion in the Southern Andes (26° 36° S): Do the Andes behave like a microplate? *Geochemistry, Geophysical Geosystems* 4: 1085.

Carbone, O., Franzese, J. Limeres, M. Delpino, D. y Martínez, R. 2011. El Ciclo Precuyano (Triásico Tardío - Jurásico Temprano) en la Cuenca Neuquina. En: Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C. y Vallés, J.M. (eds.), *Geología y recursos naturales de la provincia del Neuquén*. 18° Congreso Geológico Argentino (Neuquén), Relatorio: 465-488.

Chebli, G., Mendiberry, H., Giusiano, A., Ibáñez G. y Alonso J. 2011. El shale gas en la provincia de Neuquén. 8° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas: 669-691, Mar del Plata.

Christie-Blick, N. y Biddle, K.T. 1985. Deformation and basin formation along strike-slip faults. En: Biddle, K.T. y Christie-Blick, N. (eds.), *Strike-slip deformation, basin formation and sedimentation*. SEMP, Special Publication 37: 79-103, Tulsa.

Cobbold, P.R. y Rossello, E.A. 2003. Aptian to recent compressional deformation, foothills of the Neuquén Basin, Argentina. *Marine and Petroleum Geology* 20: 429-443.

Cobbold, P.R., Diraison, M. y Rossello, E.A. 1999. Bitumen veins and Eocene transpression, Neuquén Basin, Argentina. *Tectonophysics*, 314: 423-442.

Cobbold, P.R., Rossello, E.A., Roperch, P., Arriagada, C., Gómez, L.A. y Lima, C. 2007. Distribution, timing, and causes of Andean deformation across South America. En: Ries, A.C., Butler, R.W.H. y Graham, R.H. (eds.), *Deformation of the continental crust: The legacy of Mike Coward*, Geological Society of London Special Publications 272: 321-343.

Cristallini, E.O., Tomezzoli, R., Pando, G., Gazzera, C., Martínez, J.M., Quiroga, J., Buhler, M., Bechis, F., Barredo, S. y Zambrano, O. 2009. Controles Precuyanos en la estructura de la Cuenca Neuquina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 65 (2): 248-264.

Cruz, C.E., Robles, F., Sylwan, C.A. y Villar, H.J. 1999. Los sistemas petroleros de la Dorsal de Huincul, Cuenca Neuquina, Argentina. 4° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos (Mar del Plata), Actas 1: 177-195.

Davis, G.H. y Reynolds, S.J. 1996. *Structural geology of rocks and regions*. John Wiley & Sons, 575 p., New York.

De Ferrariis, C. 1947. Edad del Arco o Dorsal Antigua del Neuquén Oriental de acuerdo con la estratigrafía de la zona inmediata. *Revista de la Sociedad Geológica Argentina* 2 (3): 256 - 283.

- Dellapé D.A., Pando G. A. y Uliana M.A. 1979. Foraminíferos y ostrácos del Jurásico en las inmediaciones del arroyo Picún Leufú y la Ruta 40 (provincia de Neuquén, Argentina), con algunas consideraciones sobre la estratigrafía de la Formación Lotena. 7° Congreso Geológico Argentino, Neuquén, Abstracts.
- Digregorio, J.H. y Uliana, M.A. 1980. Cuenca Neuquina. En: Turner, J.C.M. (ed.), Geología regional Argentina. Segundo Simposio de Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias 2: 985-1032, Córdoba.
- Diraison, M., Cobbold, P.R., Rossello, E.A. y Amos, A.J. 1998. Neogene dextral transpression due to oblique convergence across the Andes of northwestern Patagonia, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 11: 519-532.
- Eisner, P. 1991. Tectonostratigraphic evolution of Neuquén Basin, Argentina. Master Thesis, Rice University (unpublished), 56 p., Houston.
- Fernández, M.L., Verzi, H. y Sánchez, E. 2003. Actividad tectónica y evolución sedimentaria de los depósitos Tithoniano/Valanginiano Temprano, porción oriental de la Cuenca Neuquina, Argentina. 8° Simposio Bolivariano. Exploración petrolera en las cuencas subandinas (Cartagena), Actas 77: 283-246.
- Fossen, H., Tikoff, B. y Teyssier, C. 1994. Modeling transpressional and transtensional deformation. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 74: 134-145.
- Franzese, J.R. y Spalletti, L.A. 2001. Late Triassic - Early Jurassic continental extension in southwestern Gondwana: tectonic segmentation and pre-break-up rifting. *Journal of South American Earth Sciences* 14: 257-270.
- Freije, H., Azúa, G., González, R., Ponce, J.J. y Zavala, C. 2002. Actividad tectónica sinsedimentaria en el Jurásico del Sur de la Cuenca Neuquina. 15° Congreso Geológico Argentino, Actas 1-18.
- Fuchs, K. y Müller, B. 2001. World stress map of the Earth: a key to tectonic processes and technological applications. *Naturwissenschaften* 88: 357-371.
- Gómez Omil, R.G., Schmithalter, J., Cangini, A., Albariño, L. y Corsi, A. 2002. El Grupo Cuyo en la Dorsal de Huincul: consideraciones estratigráficas, tectónicas y petroleras. Cuenca Neuquina. 5° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata.
- Gough, D.I. y Bell, J.S. 1982. Stress orientation from borehole wall fractures with examples from Colorado, east Texas, and northern Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences* 19: 1358-1370.
- Groeber, P. 1929. Líneas fundamentales de la geología del Neuquén, sur de Mendoza y regiones adyacentes. Ministerio de Agricultura, Dirección General de Minas, Geología e Hidrología, Publicación, 58: 110 p. Buenos Aires.
- Groeber, P., Stipanovic, P.N. y Mingramm, A. 1953. Jurásico. En: Groeber, P. (ed.), Mesozoico. Geografía de la República Argentina, Sociedad Argentina de Estudios Geográficos, GAEA, 2 (2): 143-237. Buenos Aires.
- Gulisano, C.A. 1981. El Ciclo Cuyano en el norte de Neuquén y sur de Mendoza. 8° Congreso Geológico Argentino (Buenos Aires), Actas 3: 579-592.
- Gulisano, C.A., Gutiérrez Pleimling, A. y Digregorio, R. 1984. Stratigraphic scheme of the Jurassic Sequence in the West of the province of Neuquén. 9° International Geological Congress (S.C. de Bariloche), Actas 1: 236-259.
- Guzmán, C.G. y Cristallini, E.O. 2009. Contemporary stress orientations from borehole breakout analysis in the southernmost flat-slab boundary Andean retroarc (32° 44' and 33° 40'S). *Journal of Geophysical Research* 114 (B2): B02406.
- Guzmán, C.G., Cristallini, E.O. y Bottesi, G.L. 2007. Contemporary stress orientations in the Andean retroarc between 34°S and 39°S from borehole breakout analysis. *Tectonics* 26: TC3016.
- Guzmán, C.G., Cristallini, E.O., García, V.H., Yagupsky, D.I. y Bechis, F. 2011. Evolución del campo de esfuerzos horizontal desde el Eoceno a la actualidad en la Cuenca Neuquina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 68 (4): 542- 554.
- Guzmán, C., Tapia, F., Ambrosio, A., Gutiérrez Pleimling, A., Bustos, G. Gómez, C. y González, J.M. 2021. Lower Jurassic deformation in the eastern Huincul High, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 109: 10329
- Harding, T.P., Gregory, R.F. y Stephens, L.H. 1983. Convergent wrench fault and positive flower structure, Ardmore Basin, Oklahoma. En: Bally, A.W. (ed.), Seismic Expression of structural styles: A picture and work Atlas. American Association of Petroleum Geologists, Studies in Geology 3: 15, Boulder.
- Healy, D., Butler, R.W.H., Shipton, Z.K. y Sibson, R.H. (eds) 2012. Faulting, fracturing and igneous intrusion in the Earth's Crust. Geological Society, London, Special Publications, 367: 1-6.
- Heidbach, O., Rajabi, M., Cui, X., Fuchs, K., Müller, B., Reinecker, J., Reiter, K., Tingay, M., Wenzel, F., Xie, F., Ziegler, M.O., Zoback, M.L. y Zoback, M.D. 2018. The World Stress Map database release 2016: Crustal stress pattern across scales. *Tectonophysics* 744: 484-498.
- Hernández, N.M. 2019. Cinemática del sin-rift e inicio del post-rift de la cuenca Neuquina: análisis comparativo entre el extremo oriental (provincia de Río Negro) y las localidades de Chachil y Chacaico (provincia de Neuquén). Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires (inédito), 486 p., Buenos Aires.
- Hoffmann-Rothe, A., Kukowski, N., Dresen, G., Echter, H., Oncken, O., Klotz, J., Scheuber, E. y Kellner, A. 2006. Oblique Convergence along the Chilean Margin: Partitioning, margin-parallel faulting and force interaction at the plate interface. En: Oncken, O., Chong, G., Franz, G., Giese, P., Götze, H.-J., Ramos, V., Strecker, M. y Wigger, P. (eds.), The Andes - Active subduction orogeny. Springer 6: 125-146.
- Hogg, S.L. 1993. Geology and hydrocarbon potential of the Neuquén Basin. *Journal of Petroleum Geology* 16: 383-396.
- Howell, J.A., Schwarz, E., Spalletti, L.A. y Veiga, G.D. 2005. The Neuquén Basin: an overview; Geological Society, Special Publications 252: 1-14.
- Jaeger, J.C. y Cook, N.G.W. 1979. Fundamentals of rock mechanics.

- Chapman and Hall: 593 pp., London.
- Khazaradze, G. y Klotz, J. 2003. Short- and long-term effects of GPS measured crustal deformation rates along the south-central Andes. *Journal of Geophysical Research* 108: B6, 2289.
- Keidel, J. 1917. Über des Patagonischen Taffelland des Patagonische gerölle und ihre ziehungen zu den geologischen erscheinungen in argentinische Andes gebiet und Littoral. *Zeitschrift der Deutsche Wissenschaft Verlag* 3 (5-6): 219-245, Stuttgart.
- Keidel, J. 1925. Sobre la estructura tectónica de las capas petrolíferas en el Oriente del Territorio del Neuquén. Ministerio de Agricultura, Dirección General de Minas, Geología e Hidrología, Publicaciones 8: 1-67. Buenos Aires.
- Kozłowski, E.E., Manceda, R. y Ramos, V.A. 1993. Estructura. En: Ramos, V.A. (ed.), *Geología y Recursos Naturales de Mendoza*. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos (Buenos Aires), Relatorio: 235- 256.
- Kietzmann, D.A., Ambrosio, A.L. Suriano, J., Alonso, M.S., González-Tomassini, F., Depine, G. y Repol, D. 2016. The Vaca Muerta-Quintuco system (Tithonian-Valanginian) in the Neuquén Basin, Argentina: A view from the outcrops in the Chos Malal fold and thrust belt. *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin* 100 (5): 743-771.
- Leanza, H.A. 2009. Las principales discordancias del Mesozoico de la Cuenca Neuquina según observaciones de superficie. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 11 (2): 145-184.
- Leanza, H.A. 1990. Estratigrafía del Paleozoico y Mesozoico anterior a los movimientos intermálicos en la comarca del Cerro Chachil, Provincia del Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 45 (3-4): 272-299.
- Legarreta, L. y Villar, H.J. 2012. Las facies generadoras de hidrocarburos de la Cuenca Neuquina. *Petrotecnia*: 14-42.
- Legarreta, L., Villar, H., Laffitte, G., Cruz, C. y Vergani, G. 2005. Cuenca Neuquina. In: Chebli, G.A. et al., (eds.), *Frontera Exploratoria de la Argentina*. 6° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. IAPG: 233- 250, Buenos Aires.
- López de Luchi, M.G., Martínez Dopico, C.I. y Rapalini, A.E. 2020. The Permian to early Triassic granitoids of Nahuel Niyeu - Yaminué area, northern Patagonia: igneous stratigraphy, geochemistry and emplacement conditions. *Journal of South American Earth Sciences* 106: 102894.
- Llambías, E., Leanza, H. y Carbone, O. 2007. Evolución tectono-magmática durante el Pérmico al Jurásico temprano en la Cordillera del Viento (37°05' S - 37°15' S): nuevas evidencias geológicas y geoquímicas del inicio de la cuenca Neuquina *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 62(2): 217-235
- Manceda, R. y Figueroa, D. 1993. La inversión del rift mesozoico en la faja fallada y plegada de Malargüe. Provincia de Mendoza. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos (Buenos Aires), Actas 3: 219-232.
- Manceda, R. y Figueroa, D. 1995. Inversion of Mesozoic Neuquén rift in the Malargüe fold and thrust belt, Mendoza, Argentina. In: Tankard, A.J., Suárez, R., Welsink, H.J. (eds.) *Petroleum Basins of South America*. American Association of Petroleum Geology, Memoir 62: 369-382.
- Marchal, D., Manceda, R. Domínguez, R.F. y Sattler, F. 2020. Structural geology of the Vaca Muerta Formation shale play, Neuquén Basin. En: Minisini, D., Fantin, M., Lanusse, I. y Leanza, H.A. (eds.), *Integrated geology of unconventional: The case of the Vaca Muerta play, Argentina: American Association of Petroleum Geologists, Memoir* 120: 000-000.
- Moody, J.D. y Hill, M.J. 1956. Wrench fault tectonics. *Geological Society of America, Bulletin* 654 67: 1207-1246.
- Mosquera, A. y Ramos, V.A. 2006. Intraplate deformation in the Neuquén Embayment. En: Kay, S. y Ramos, V.A. (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.
- Mosquera, A., Silvestro, J., Ramos, V.A., Alarcón, M. y Zubiri, M. 2011. La estructura de la Dorsal de Huincul. En: Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C., Vallés, J.M. (eds.), *Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén: 18° Congreso Geológico Argentino, Neuquén, Argentina, Relatorio*, 385-397.
- Naipauer, M., Tunik, M., Marques, J.C., Rojas Vera, E.A., Vujovich, G.I., Pimentel, M.M. y Ramos, V.A. 2014. U-Pb detrital zircon ages of Upper Jurassic continental successions: implications for the provenance and absolute age of the Jurassic - Cretaceous boundary in the Neuquén Basin. En: Sepúlveda, S.A., Giambiagi, L.B., Moreiras, S.M., Pinto, L., Tunik, M., Hoke, G.D. y Farías, M. (eds.), *Geodynamic Processes in the Andes of Central Chile and Argentina*. Geological Society, London, Special Publications 399: 131.
- Orchuela, I.A., Ploszkiewicz, J.V. y Viñes, R.F. 1981. Reinterpretación estructural de la denominada Dorsal Neuquina. 8° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 281-293, Buenos Aires.
- Pángaro, F., Veiga, R.D. y Vergani, G.D. 2002. Evolución tectosedimentaria del área de cerro Bandera, Cuenca Neuquina, Argentina. 5° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas, 14 p., Mar del Plata.
- Pángaro F., Pereira, M., Silvestro, J.L., Raggio, F., Pioli, O., Zubiri, M. y González, G. 2006a. Tectonic Inversion of the Huincul High, Neuquén Basin, Argentina: An endangered species. stratigraphic evidence of its disappearance. 9° Simposio Bolivariano, Petroleum Exploration in the Subandean Basins, Actas digitales, Cartagena.
- Pángaro, F., Melli, A.T., Malone, P., Cevallos, M., Soraci, A., Mosquera, A. y Hyung Joo Kim. 2006b. Modelos de entrampamiento de la dorsal de Huincul, Cuenca Neuquina, Argentina. *Petrotecnia* 48 (1): 48-88.
- Pángaro, F., Pereira, D.M. y Micucci, E. 2009. El sinrift del ámbito de la dorsal de Huincul, 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 (2): 265-277.

- Pardo Casal, F. y Molnar, P. 1987. Relative motion of the Nazca (Farallon) and South American Plates since Late Cretaceous time. *Tectonics* 6: 233-248.
- Price, N.J. y Cosgrove, J.W. 1990. *Analysis of geological structures*. Cambridge University Press: 494 p., Cambridge.
- Ploskiewicz, J.V., Orchueta, I.A., Vaillard, J.C. y Viñes, R.F. 1984. Compresión y desplazamiento lateral en la zona de Falla Huinul, estructuras asociadas, Provincia del Neuquén. 9º Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 163-169, San Carlos de Bariloche.
- Ramos, V.A., Naipauer, M., Leanza, H.A. y Sigismondi, M.E. 2020. An exceptional tectonic setting along the Andean continental margin. En: Minisini, D., Fantín, M., Lanusse Noguera, I. y Leanza, H.A. (eds.), *Integrated geology of unconventional: The case of the Vaca Muerta play, Argentina*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 121: 25-38.
- Ramsay, J.G. y Huber, M.I. 1983. *The techniques of modern structural geology, 1: Strain analysis*. Academic Press: 307 p. Londres.
- Riba, O. 1976. Syntectonic unconformities of the Alto Cardener, Spanish Pyrenees: a genetic interpretation. *Sedimentary Geology* 15 (3): 213-233.
- Rossello, E.A. 2001. Sistemas tectónicos transcurrentes: una síntesis de sus condiciones mecánicas y aplicaciones geoeconómicas. In: Cortés, J.M., Rossello, E.A. y Dalla Salda, L. (eds.). *Avances en Microtectónica*. Asociación Geológica Argentina, Serie D 5: 19-43, Buenos Aires.
- Rossello, E.A. 2002. Estudio estructural de campo para proyecto Grupo Cuyo, Cuenca Neuquina. Repsol-YPF, 42 p., Reporte inédito, Buenos Aires.
- Rossello, E.A. 2017. Influencia del soterramiento en la calidad de los reservorios de hidrocarburos: fundamentos, metodologías prácticas de reconocimiento e interpretación. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 75 (2): 722-735.
- Rossello, E.A. 2018. Interpretaciones estructurales dinámicas a partir del análisis de ovalización (break-outs) de pozos: aplicaciones a perforaciones en la Fm. Vaca Muerta (Cuenca Neuquina, Argentina). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 75 (2): 252-264.
- Rossello, E.A. y Barrionuevo, M. 2005. El hemigraben invertido del yacimiento 25 de Mayo – Medanito SE (Cuenca Neuquina, Argentina): evolución geodinámica de un rift en borde de cuenca. Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Simposio Trampas. Memorias CD-Rom, Mar del Plata.
- Rossello, E.A., López de Luchi, M., Cobbold, P.R. y Ruffet, G. 2011. Cerro Granito (Cuenca Neuquina, Argentina): Un testimonio cinemático de la Dorsal Huinul. 18º Congreso Geológico Argentino, Actas: 677-678, Neuquén.
- Ruegg, J.C., Campos, J., Madariaga, R., Kausel, E., De Chabaliere, J.B., Armijo, R., Dimitrov, D., Georgiev, I. y Barrientos, S. 2002. Interseismic strain accumulation in south central Chile from GPS measurements, 1996 - 1999. *Geophysical Research Letters* 29 (11): 1517.
- Sanderson, D.J. y Marchini, W.R.D. 1984. Transpression. *Journal of Structural Geology* 6: 449-458.
- Santiago, E., Wagner, F., Montagna, A.O., Coppo, R., Gatica, C., Valenzuela, G. y Fornasero, M. 2018. Lajas Formation – Cupen Mahuida: the most important tight-sand gas development in South America. 27th World Gas Conference, Actas. 19 p., Washington DC.
- Sato, A.M., Llambías, E.J., Basei, M.A.S. y Castro, C.A. 2015. Three stages in the Late Paleozoic to Triassic magmatism of southwestern Gondwana, and the relationships with the volcanogenic events in coeval basins: *Journal of South American Earth Sciences* 63: 48-69.
- SEGEMAR 2000. Carta geológica de la República Argentina, Hoja 3969-I (Zapala), edición cartográfica preliminar. Instituto de Geología y Recursos Minerales (SEGEMAR), Buenos Aires.
- Sigismondi, M.E. 2012. Estudio de la deformación litosférica de la cuenca Neuquina: estructura termal, datos de gravedad y sísmica de reflexión. Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires (Inédito), Buenos Aires.
- Silvestro, J. y 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.
- Stipanovic, P. y Linares, E. 1969. Edades radiométricas determinadas para la República Argentina y su significado geológico. *Academia Nacional Ciencias Córdoba, Boletín* 47: 51-96.
- Suero, T. 1951. Descripción geológica de la Hoja 36c - Cerro Lotena (Neuquén). Ministerio Comercio e Industria, Dirección Nacional de Minería, Boletín 76, 68 p., Buenos Aires.
- Sylvester, A. G. 1988. Strike-slip faults. *Geological Society of America, Bulletin* 100: 1666-1703.
- Twiss, R.J. y Moores, E.M. 1992. *Structural Geology*. Freeman, 532 pp. New York.
- Uliana, M. y Dellapé, D. 1981. Estratigrafía y evolución paleoambiental de la sucesión Maastrichtiano-Eoterciaria del engolfamiento neuquino (Patagonia septentrional). 8º Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 673-711, Buenos Aires.
- Uliana, M.A. y Biddle, K. 1987. Permian to Late Cenozoic evolution of Northern Patagonia main tectonic events, magmatic activity and depositional trends. En: Mc Kenzie, G. (ed.). *Gondwana Six: Structure, tectonics and geophysics*. Geophysical Monography 40: 271-286.
- Uliana, M.A. y Legarreta, L. 1993. Hydrocarbon habitat in a Triassic to-Cretaceous Sub-Andean setting: Neuquén Basin, Argentina. *Journal of Petroleum Geology* 16: 397-420.
- Uliana, M.A., Arteaga, M.E., Legarreta, L., Cerdán, J.J. y Peroni, G.O. 1995. Inversion structures and hydrocarbon occurrences in Argentina. En: Buchanan, J.G. y Buchanan, P.G. (eds.), *Basin inversion*. Geological Society London, Special Publication 88: 211-233.
- Urien, C.M. y Zambrano, J.J. 1994. Petroleum systems in the Neuquén Basin, Argentina. En: Magoon, L.B., Dow, W.G. (eds.), *The petroleum system -from source to trap*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 60: 513-534.
- Veiga, R.H., H. Verzi y H. Maretto, 2001. Modelado bidimensional en el ámbito central de la cuenca Neuquina (Argentina). *Boletín de Informa-*

- ciones Petroleras 18, 67: 50-63.
- Veiga, G.D., Vergani, G.D., Brissón, I.E., Macellari, C.E. y Leanza, H.A. 2020. The Neuquén Super Basin. *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin*, 104 (2): 2521-2555.
- Vergani, G. 2005. Control estructural de la sedimentación Jurásica (Grupo Cuyo) en la Dorsal de Huincul, Cuenca Neuquina, Argentina. *Modelo de falla lístrica rampa-plano, invertida. Boletín de Informaciones Petroleras* 1 (1): 32-42.
- Vergani, G.D., Tankard, A.J., Belotti, H.J. y Welsink, H.J. 1995. Tectonic evolution and paleogeography of the Neuquén basin, Argentina. In: Tankard, A.J., Suárez, R. y Welsink, H.J. (eds.), *Petroleum basins of South America. American Association of Petroleum Geologists, Memoir* 62: 383-402.
- Vergés, J., Marzo, M. y Muñoz, J.A. 2002. Growth strata in foreland settings. *Sedimentary Geology* 146: 1-9.
- Víñes, F.R., Vaillard, L.C. y Foucault, J.E. 1987. Alto fondo de basamento y discordancias intracuyanas en el subsuelo de la Cuenca Neuquina, provincia del Neuquén, Argentina. 10º Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 131-134.
- Weaver, C. 1931. Paleontology of the Jurassic and Cretaceous of West Central Argentine. *Memory* 1, 595p. Seattle.
- Wichmann, R. 1934. Contribución al conocimiento geológico de los territorios del Neuquén y del Rio Negro. Ministerio de Agricultura, Dirección de Minas y Geología, Buenos Aires, *Boletín*, 39: 1-27.
- Wilcox, R., Harding, T. y Seely, D. 1973. Basic wrench tectonics. *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin* 57: 74-96.
- Windhausen, A. 1914. Contribución al conocimiento geológico de los territorios del Rio Negro y Neuquén, con su estudio de la región petrolífera de la parte central del Neuquén (Cerro Lotena y Covunco). Ministerio de Agricultura, Sección Geología, Mineralogía y Minería, *Anales*, 10 (1): 1-60, Buenos Aires.
- Windhausen, A. 1931. *Geología Argentina. Segunda Parte. Geología histórica y regional del territorio argentino*. Ed. Jacobo Peuser, 645 p., Buenos Aires.
- Woodcock, N.H. y Fischer, M. 1986. Strike-slip duplexes. *Journal of Structural Geology* 8: 725-735.
- Zavala, C. y Freije, H. 2002. Cuñas clásticas jurásicas vinculadas a la Dorsal de Huincul. Un ejemplo del área Picún Leufú. Cuenca Neuquina, Argentina. 5º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas: 14 p., Mar del Plata.
- Zavala, C., Arcuri, M., Meglio, M., Zorzano, A. y Otharán, G. 2020. Jurassic uplift along the Huincul Arch and its consequences in the stratigraphy of the Cuyo and Lotena Groups. Neuquén Basin, Argentina. En: Kietzmann, D. y Folguera, A. (eds.), *Opening and closure of the Neuquen basin in the Southern Andes, Springer Earth System Sciences*, 53-74, New York.
- Zapata, T. y Folguera, A. 2005. Tectonic evolution of the Andean Fold Thrust Belt of the southern Neuquén Basin, Argentina. En: Veiga, G.D., Spalletti, L.A., Howell, J.A. y Schwarz, E. (eds.), *The Neuquen Basin, Argentina: A Case Study in Sequence Stratigraphy and Basin Dynamics. Geological Society of London, Special Publications* 252: 37-56, London.
- Zoback, M.D. 2007. *Reservoir Geomechanics*. University Press, 452 p., Cambridge.
- Zoback, M.D., Moos, D., Mastin, L. y Anderson, R.N. 1985. Well bore breakouts and in situ stress. *Journal of Geophysical Research* 90 (B7): 5523-5530.