

INVERSIÓN Y REACTIVACIÓN TECTÓNICAS CRETÁCICO-CENOZOICAS EN EL NOROESTE ARGENTINO: INFLUENCIA DE LAS HETEROGENEIDADES DEL BASAMENTO NEOPROTEROZOICO-PALEOZOICO INFERIOR

Fernando HONGN¹, Ricardo MON², Iván PETRINOVIC³, Cecilia DEL PAPA¹ y Jaime POWELL².

¹ IBIGEO (Conicet-Universidad Nacional de Salta), Salta. Emails: fhongn@aol.com, ipetrinovic@yahoo.com, delpapacecilia@yahoo.com

² Conicet-Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán. Emails: ricardomon@arnet.com.ar, powell.jaime@gmail.com

RESUMEN

Los rasgos estructurales del basamento neoproterozoico-paleozoico inferior (Cámbrico- Ordovícico) del noroeste argentino han controlado en diferentes grados el desarrollo de las estructuras posteriores, principalmente las vinculadas con la extensión cretácica y el acortamiento andino. La inversión tectónica de fallas normales relacionadas con el *rift* cretácico ha sido frecuentemente invocada entre los mecanismos que influyen en la definición de las zonas de doble vergencia y retrovergenza que muestra el orógeno andino en el noroeste argentino. En esta contribución proponemos que las estructuras del basamento jugaron un papel primario en la localización tanto de las fallas normales cretácicas posteriormente reactivadas como de las fallas inversas andinas. Una sección estructural regional entre la Cordillera de Domeyko (Chile) y el Sistema de Santa Bárbara (aproximadamente 24°-25°LS) muestra segmentos con vergencias cenozoicas opuestas, en la que cada porción responde a diferentes controles ejercidos por estructuras previas. La inversión de fallas normales asociadas a sistemas de *rift* fue el principal control de la geometría y vergencia de las estructuras cenozoicas vinculadas al acortamiento andino en la Cordillera de Domeyko, en los Valles Calchaquíes y en el Sistema de Santa Bárbara. La reactivación de las estructuras y heterogeneidades originadas durante la evolución neoproterozoico-paleozoica del basamento controlaron el desarrollo de las estructuras cenozoicas en la Puna. La reactivación de las heterogeneidades no sólo influyó en los cambios de orientación y vergencia, sino también en la distribución temporal compleja que muestra el acortamiento andino. La reactivación múltiple de algunas estructuras del basamento neoproterozoico-paleozoico inferior ocurrió en diferentes etapas de su historia incluyendo inversiones positivas y negativas entre el Cretácico y el Cuaternario.

Palabras clave: *Inversión Tectónica, Reactivación, Rift Cretácico, Acortamiento Andino, NO Argentina.*

ABSTRACT: *Cretaceous-Cenozoic tectonic inversion and reactivation in Northwestern Argentina: Influence of Neoproterozoic-Lower Paleozoic basement heterogeneities.* The Neoproterozoic-Lower Paleozoic basement structural features have influenced in different ways the development of later both extensional Cretaceous and contractional Cenozoic structures. Tectonic inversion of normal faults related to the Cretaceous rift has been frequently addressed as the main mechanism for explaining double-vergent and retrovergent structures in the hinterland of the Andean orogen in northwestern Argentina. This paper proposes that basement structures played a primary role in the nucleation of both Cretaceous normal faults showing Cenozoic tectonic inversion and Cenozoic reverse faults. A regional section between the Domeyko Cordillera (Chile) and the Santa Bárbara System (nearly at 24°-25°SL) shows portions with opposite Cenozoic vergence, each one related to different controls made by previous structures. The inversion of Mesozoic rift-related faults mainly influenced the geometry and vergence of the Cenozoic structures linked to Andean shortening in the Domeyko Cordillera, in the Calchaquí Valleys region and in the Santa Bárbara System. Reactivation of structures and heterogeneities formed during the Neoproterozoic-lower Paleozoic tectonic evolution of the basement controlled the Andean contractional structures in the Puna. Reactivation of Neoproterozoic-lower Paleozoic basement heterogeneities not only contributes to changes in attitude and vergence but also to the irregular time distribution showed by the Andean shortening since many of the reactivated or inverted (positive and negative inversion) structures record superposed movements from the Cretaceous up to the Quaternary.

Keywords: *Tectonic Inversion, Reactivation, Cretaceous Rift, Andean Shortening, NW-Argentina.*

INTRODUCCIÓN

La orientación conveniente de heterogeneidades previas en un nuevo campo de es-

fuerzos es una de las condiciones para facilitar los procesos de reactivación e inversión tectónicas (Fig. 1). El margen occidental de América del Sur ha mantenido

desde el Paleozoico inferior una orientación aproximadamente constante, y en general, paralela a la cadena Andina que evolucionó desde el Mesozoico (*e.g.* Dávila *et al.* 2003).

Uno de los puntos en los que existe mayor coincidencia, entre la variedad de hipótesis planteadas para explicar la evolución de los protomargen y margen andinos, es la orientación submeridiana, a coordenadas actuales, de los principales rasgos geológicos a gran escala en el noroeste de Argentina, entre ellos: las estructuras que marcan contactos regionales entre dominios de basamento (González Bonorino 1950, Braccacini 1960, Salfity *et al.* 1975, Willner *et al.* 1987, Mon y Hongn 1991, Bahlburg y Hervé 1997, Ramos 2008), los arcos o cinturones magmáticos desarrollados a partir del Paleozoico (Méndez *et al.* 1973, Coira *et al.* 1982, Palma *et al.* 1986, Trumbull *et al.* 2006), la distribución y evolución de las cuencas (Boll y Hernández 1986, Vergani y Starck 1989, Salfity y Marquillas 1994, Sánchez y Salfity 1999, Moya 1999, Astini 2003, entre otros) como así otras características que en su conjunto han brindado las bases para las propuestas de provincias geológicas o morfoestructurales que naturalmente definen regiones alargadas de acuerdo con el rumbo de la cadena andina (véase trabajos en Turner 1979 y Caminos 1999).

Como resultado de la evolución geológica entre el Neoproterozoico terminal y el Ordovícico, lapso en el que ocurrieron fenómenos superpuestos de deformación, metamorfismo y magmatismo, el basamento mostraba heterogeneidades que constituían debilidades mecánicas propicias para su reactivación. Las principales heterogeneidades del basamento reactivadas durante la extensión cretácica y el acortamiento cenozoico corresponden a: foliaciones penetrativas, alternancias litológicas (bandeados tectonometamórficos, enjambres de diques y cuerpos plutónicos de diferentes tamaños) y estructuras discretas como fallas o fajas de deformación dúctil (Hongn y Seggiaro 2001, Riller y Hongn 2003, Hongn *et al.* 2006). Controles similares fueron establecidos en otras regiones, por ejemplo en las Sierras Pampeanas (*e.g.* Schmidt *et al.* 1995).

El Grupo Salta (Turner 1959), relleno de la cuenca de *rifft* cretácica del noroeste argentino, registra nítidamente las etapas de sub-

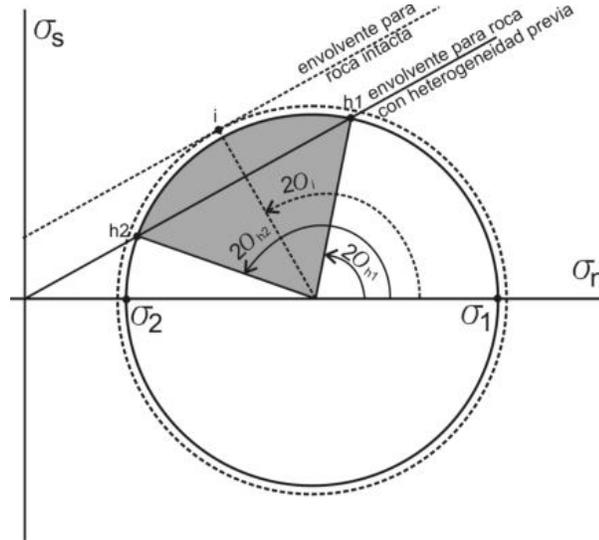


Figura 1: Diagrama de Mohr mostrando el rango de orientaciones de heterogeneidades previas (zona gris) que pueden reactivarse como nuevas fracturas antes de alcanzar valores de esfuerzos críticos para desarrollar una fractura en un material intacto (sin heterogeneidades). Las fracturas cuyas orientaciones formen un ángulo entre θ_{h1} y θ_{h2} funcionarán como fracturas reactivadas antes de alcanzar el esfuerzo necesario para generar una nueva fractura sobre material intacto con una orientación θ_i . Simplificado de Morley *et al.* (2004)

sidencias mecánica (Subgrupo Pirgua) y térmica (Subgrupos Balbuena y Santa Bárbara). Las fallas directas que definieron los hemigrabenos durante la subsidencia mecánica son principalmente de rumbo meridiano en la rama occidental del *rifft* (Salfity y Marquillas 1994, Sabino 2004).

La inversión de las estructuras del *rifft* cretácico ha sido postulada como una de las causas principales del desarrollo de estructuras retrovergentes en el noroeste argentino, en particular en la Cordillera Oriental y en el sistema de Santa Bárbara (Vergani y Starck 1989, Grier *et al.* 1991, Mon y Salfity 1995, Cristallini *et al.* 1997, Kley y Monaldi 2002). Las heterogeneidades del basamento controlaron parcialmente la localización y geometría de las fallas directas cretácicas con inversión tectónica positiva cenozoica (Hongn y Seggiaro 1998, 2001, Seggiaro y Hongn 1999, Riller y Hongn 2003, Hongn *et al.* 2006).

Las estructuras cenozoicas retrovergentes son también habituales en regiones como la Puna austral, como lo documentan las fallas y pliegues con vergencia hacia el oeste y el basculamiento regional hacia el naciente de las cuencas cenozoicas (Hongn y Seggiaro 2001). Sin embargo, las fallas directas asociadas a la subsidencia mecánica de la cuenca cretácica (Subgrupo Pirgua del Grupo Salta, Salfity y Marquillas 1994, Sabino 2004) no han sido reconocidas en esta zona con la excepción de su borde

oriental. Resulta que en áreas donde la inversión de las fallas normales no constituyó un mecanismo efectivo para generar estructuras retrovergentes, este rasgo también es notable en las estructuras cenozoicas. Este hecho implica que la inversión tectónica de las fallas normales cretácicas no es la condición principal para generar las retrovergentes y doble vergencia que caracterizan estructuralmente a extensas regiones del noroeste argentino.

En este trabajo se propone que la influencia de las heterogeneidades paleozoicas del basamento sobre la evolución de las estructuras formadas durante el acortamiento andino es tan significativa como la ejercida por las estructuras del *rifft* cretácico; si bien trabajos previos han tratado este tema (Allmendinger *et al.* 1983, Mon 1993, Coutand *et al.* 2001, Hongn y Seggiaro 2001, entre otros) es necesario un análisis más detallado del rol que juegan las heterogeneidades del basamento en la evolución tectónica cenozoica. Las heterogeneidades del basamento andino otorgan a la corteza un carácter altamente anisótropo para la transmisión del esfuerzo y de la deformación, resultando en un diseño complejo que presenta dificultades a la aplicación de modelos que presuponen un comportamiento reológico simple, por ejemplo el de flexuras corticales en esquemas de cuencas de antepaís (Flemings y Jordan 1989, DeCelles y Gilles 1996) que se utilizan para el análisis

de las cuencas cenozoicas del noroeste argentino (Jordan y Alonso 1987, Hernández *et al.* 1999, Starck y Vergani 1996, Carrapa y DeCelles 2008, entre otros).

ESTRUCTURA DEL BASAMENTO NEOPROTEROZOICO-PALEOZOICO INFERIOR

Los extensos afloramientos del basamento del noroeste argentino muestran una amplia diversidad de edades, litologías y estructuras. Las principales heterogeneidades vinculadas con superposición de eventos de deformación, metamorfismo y magmatismo fueron definidas principalmente entre el Neoproterozoico alto y el Ordovícico Tardío, lapso durante el que ocurrieron los principales procesos de deformación dúctil registrados en estos complejos.

Un primer intento de sistematizar el basamento por sus propiedades mecánicas al tiempo de la deformación andina corresponde a Fernández Garrasino (1985) quien definió dos grandes dominios de acuerdo con litología y estructuras internas: a) Basamento de alta anisotropía compuesto por unidades comparables a la Formación Puncoviscana y distribuido principalmente en la Cordillera Oriental, y b) Basamento de baja anisotropía constituido por metamorfitas de mediano a alto grado y por granitoides que aflora en el borde oriental de la Puna sur y en las Sierras Pampeanas. Posteriormente, otros autores postulan que las heterogeneidades principales se encuentran en la zona de baja anisotropía de Fernández Garrasino y están representadas a diferentes escalas por: alternancias litológicas, fajas de cizalla y foliaciones (Seggiaro y Hongn 1999, Hongn y Seggiaro 2001, Riller y Hongn 2003).

La disposición de dominios de basamento según sus rasgos estructurales y litológicos en fajas con elongación general norte-sur fue destacada permanentemente en los trabajos que proponen divisiones de este tipo (Willner *et al.* 1987, Mon y Hongn 1991, Mon y Salfity 1995). La sistematización de los afloramientos del basamento de acuerdo con la edad y sus principales rasgos litológicos y estructurales se sintetizan en

la figura 2, en la que además se delinean los cinturones que pueden definirse a partir de este análisis. Se describen las unidades del basamento comprendidas en una transecta entre el borde occidental de la Puna y la Cordillera Oriental, aproximadamente entre 24° y 25° de latitud sur, dado que en esta sección ocurren variaciones de las estructuras de basamento que se reflejan en las estructuras cenozoicas, especialmente en aquellas áreas sin registro de fallas directas vinculadas con el *rift* cretácico. Sin embargo, estas variaciones también se advierten en áreas ubicadas hacia el norte y sur. El cinturón más occidental está integrado por afloramientos aislados de basamento preordovícico con grado de metamorfismo variable, por sucesiones del Ordovícico Inferior con intercalaciones de volcanitas ligeramente metamorfizadas, y por granitoides paleozoicos (Seegerstrom y Turner 1972, Allmendinger *et al.* 1982, Palma *et al.* 1986, Mon y Hongn 1991, Moya *et al.* 1993, Koukharsky *et al.* 1996, Bahlburg y Hervé 1997, Coira *et al.* 1999, Lucassen *et al.* 2000, Ramos 2008, entre otros). Las observaciones estructurales sobre estas unidades son escasas debido a la naturaleza discontinua de los afloramientos, lo que impide una caracterización precisa de la orientación de sus heterogeneidades; las realizadas por Moya *et al.* (1993) destacan que el plegamiento de las unidades tremadocianas es ligeramente vergente hacia el noreste cuando se restituye la estructura a su posición presilúrica a través del rebatimiento a la horizontal de los niveles silúricos (Fig. 3); esta vergencia es opuesta a la del plegamiento relacionado con la deformación ordovícica superior que está bien definido en las sucesiones principalmente arenigianas que afloran hacia el este en la faja central de la Puna. La edad ordovícica Temprana propuesta para la deformación de las sucesiones tremadocianas del borde occidental de la Puna (Bahlburg 1990, Moya 1999) fue confirmada posteriormente por González *et al.* (2007) y Hongn y Vaccari (2008) mediante la identificación de discordancias intraordovícicas que separan sucesiones tremadocianas y arenigianas con diferentes grados de deformación.

Los abundantes afloramientos de sucesiones postremadocianas y presilúricas, predominantemente arenigianas, distribuidos en la porción central de la Puna (Fig. 2) registran la deformación próxima al límite Ordovícico-Silúrico que en forma general se vincula con la fase oclóyica (Turner y Méndez 1975, Mon y Hongn 1987, Astini 2003) aunque Moya (1999) plantea la discusión acerca de una edad paleozoica más joven para este evento. Los rasgos estructurales de estos afloramientos son mejor conocidos (Allmendinger *et al.* 1982, Mon y Hongn 1987, Bahlburg 1990) diferenciándose dos segmentos bien definidos: el septentrional (Puna de Jujuy) en el que la vergencia de las estructuras paleozoicas (oclóyicas) es variable (oriental, occidental y neutra) y el austral (Puna de Salta y Catamarca) con estructuras paleozoicas claramente vergentes hacia el oeste (Figs. 4 y 5).

El basamento del borde oriental de la Puna y su transición hacia la Cordillera Oriental registra una estructura interna compleja en la que participan eventos de deformación, metamorfismo y magmatismo superpuestos entre el Neoproterozoico-Cámbrico Inferior y el Ordovícico (entre otros trabajos véase: Méndez *et al.* 1973, Damm *et al.* 1990, Hongn 1994, Hongn y Mon 1999, Büttner *et al.* 2005, Tubía *et al.* 2008). Una parte importante de la evolución de esta región tuvo lugar bajo la influencia de una anomalía térmica regional datada entre el Cámbrico alto y el Ordovícico superior (Lucassen y Becchio 2003) que favoreció la deformación dúctil (Hongn y Riller 2007). La combinación de estos elementos resultó en un basamento altamente complejo, con unidades litotectónicas caracterizadas por grados metamórficos y estilos estructurales internos diferentes. Al igual que lo descrito para la zona de deformación ordovícica superior distribuida en la parte central de la Puna, el borde oriental de la Puna muestra dos segmentos bien definidos: el septentrional representado exclusivamente por una faja estrecha de rocas ordovícicas, y el austral, con participación de rocas ordovícicas y preordovícicas, con registro de eventos de deformación, magmatismo y metamorfismo más difundidos,

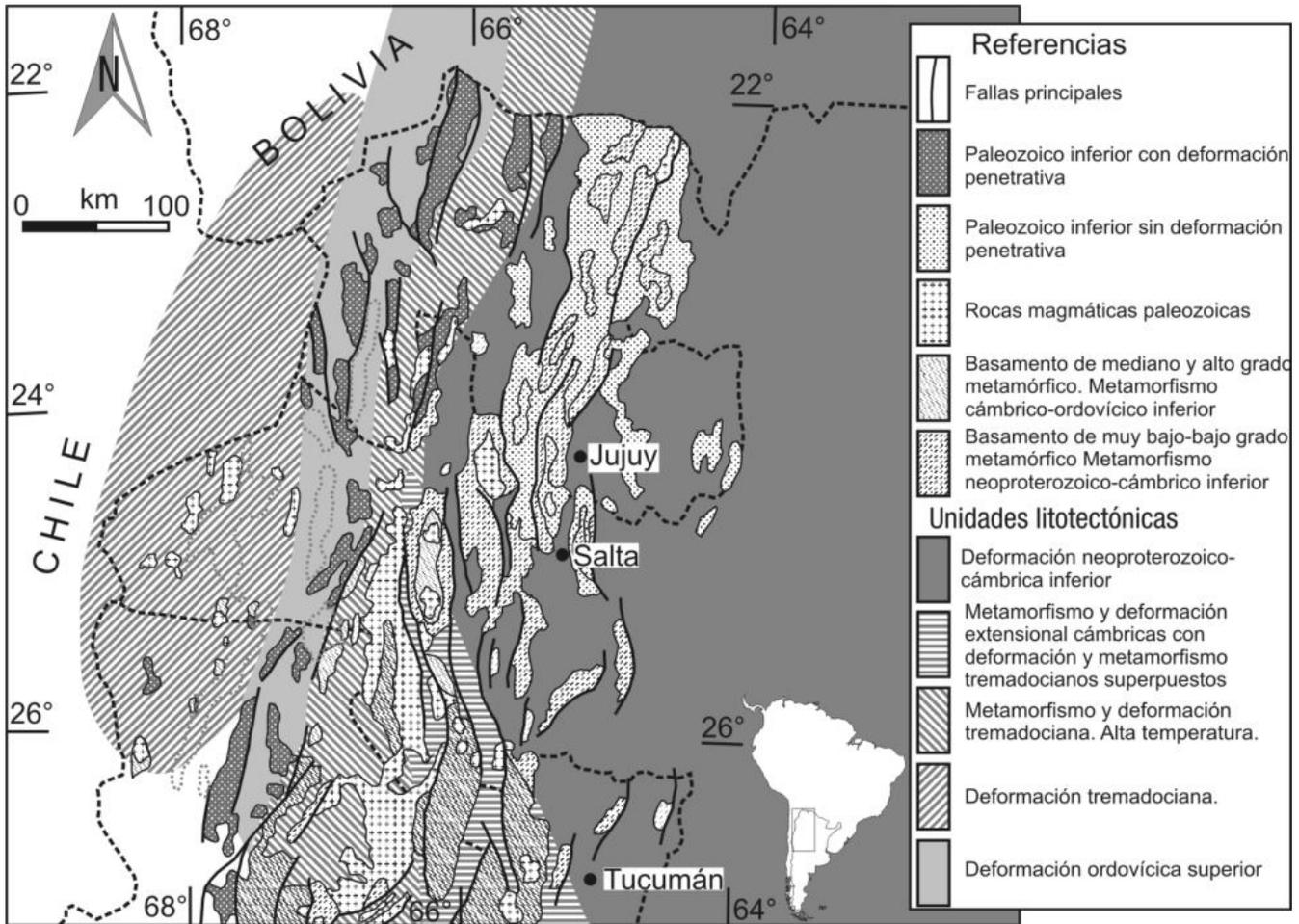


Figura 2: Mapa del basamento del noroeste argentino con diferenciación de principales unidades de acuerdo con rasgos litológicos, estructurales y edad. Distribución de principales cinturones litotectónicos de acuerdo con estos rasgos (Modificado de Hongn *et al.* 2008a).

que se reconocen también en el basamento de los contrafuertes occidentales de los Valles Calchaquíes (Cordillera Oriental); estas diferencias ya fueron advertidas por los primeros trabajos de cartografía regional (Brackebush 1881). Este dominio registra episodios de deformación y metamorfismo cámbricos y tremadocianos, los que fueron vinculados a etapas de extensión y contracción respectivamente (Büttner *et al.* 2005, Hongn *et al.* 2008a, Tubía *et al.* 2008). La historia compleja y los estudios escasos impiden una caracterización precisa y completa de la orientación de las heterogeneidades de este basamento. Sin embargo, los datos disponibles son suficientes para sugerir que en el borde occidental de esta faja dominan las estructuras vergentes hacia el oeste, en el oriental las de vergencia hacia

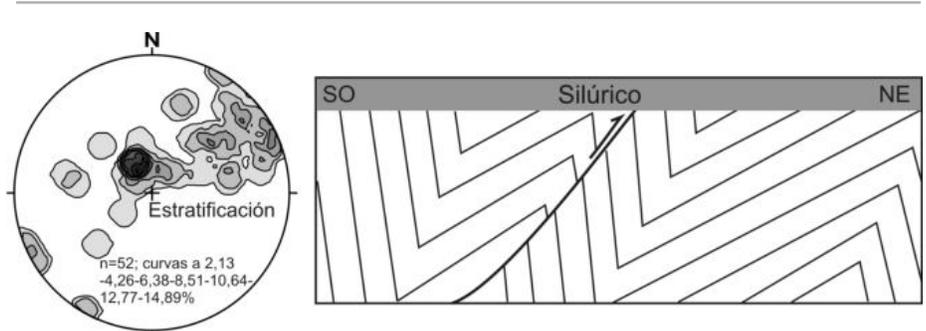


Figura 3: Esquema de la estructura tremadociana en afloramientos de esa edad en la vega Lari (Borde SO del salar de Rincón). La vergencia hacia el noreste es opuesta a la vergencia hacia el oeste que muestra la estructura del Ordovícico Medio a Superior que aflora hacia el este, en la parte central de la Puna. El diagrama estereográfico sintetiza la orientación de la estratificación plegada restituida a la posición horizontal de los niveles silúricos. Modificado de Moya *et al.* (1993).

el este mientras que en la parte central la estructuras paleozoicas no muestran una vergencia bien definida (Figs. 5 y 6). Los

complejos ígneo-metamórficos del borde oriental de la Puna están corridos sobre los depósitos ordovícicos situados hacia el oes-

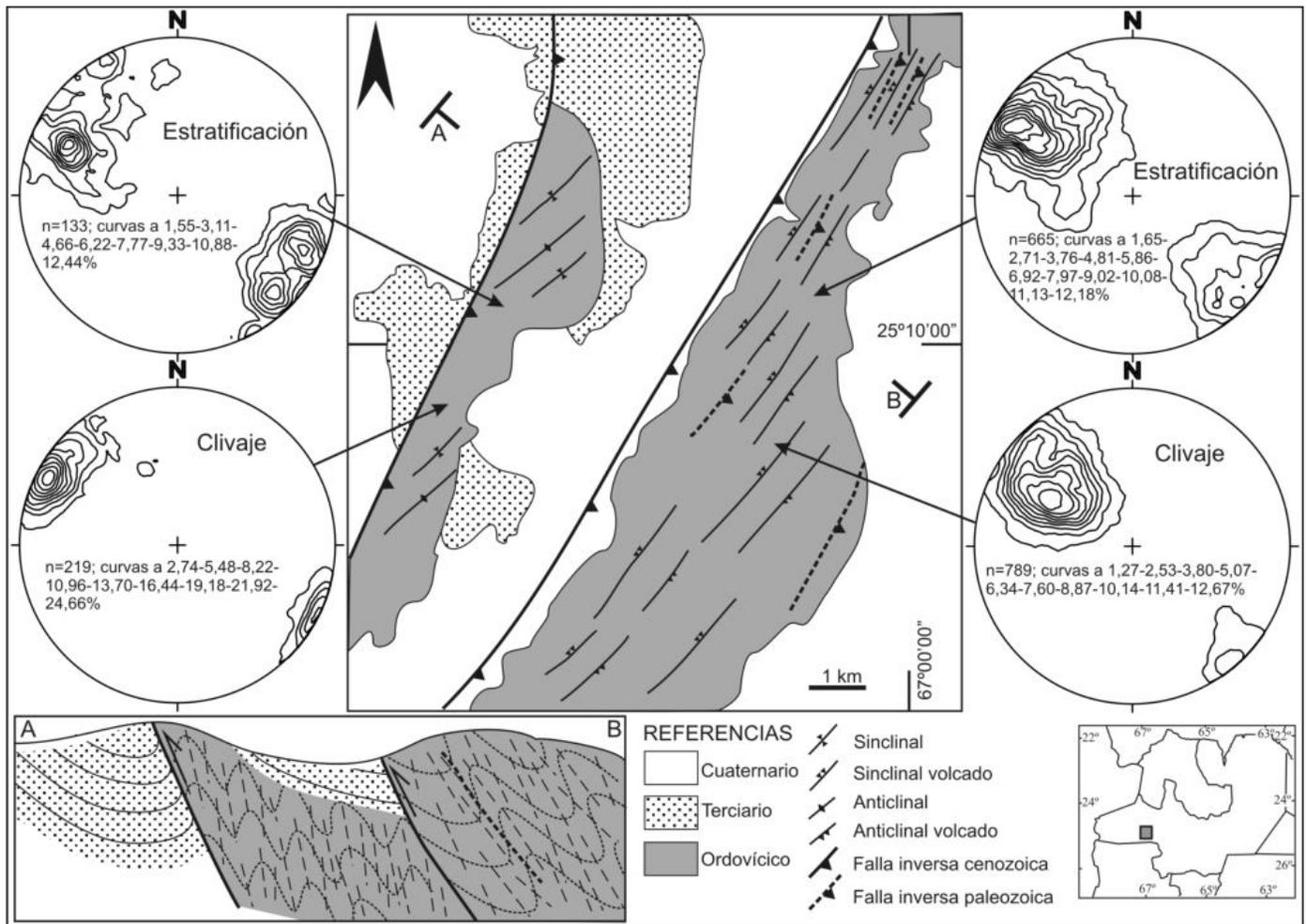


Figura 4: Mapa del extremo norte del cordón del Gallego. La vergencia occidental de las estructuras paleozoica y cenozoica está bien definida.

te a través de un sistema de fallas paleozoicas de vergencia occidental (Mon y Hongn 1988). Este dominio es el que registra las heterogeneidades del basamento mejor definidas y con características variadas tales como: fajas de deformación dúctil, foliaciones y alternancias litológicas a diferentes escalas, desde diques (Riller y Hongn 2003) hasta cinturones magmáticos de alcance regional (faja eruptiva de la Puna oriental, Méndez *et al.* 1973).

Por último, el dominio más oriental es el caracterizado por extensos afloramientos de basamento de muy bajo a bajo grado metamórfico que generalmente se incluyen en la Formación Puncoviscana. La estructura interna de este basamento muestra un plegamiento intenso con diferentes orientaciones y vergencias y ha dado lugar a

opiniones encontradas acerca de su edad y evolución estructural (Aceñolaza y Toselli 1976, Turner y Mon 1979, Willner *et al.* 1987, Mon y Hongn 1991, 1992, Willner y Miller 1992, Hongn *et al.* 2008a). Es el basamento típico de la Cordillera Oriental, si bien ocurren algunas manifestaciones con mayores grados de metamorfismo y deformación en las sierras de la Candelaria, de Medina y del Campo, las que constituyen los afloramientos más orientales en la zona limítrofe de las provincias de Salta y Tucumán. La deformación principal es neoproterozoico-cámbrica inferior como lo evidencian los sedimentos del Paleozoico inferior (Grupo Mesón) que se apoyan en clara discordancia angular sobre el basamento intensamente deformado (Turner y Méndez 1975, Aceñolaza y Toselli 1976).

Este dominio es caracterizado como altamente anisótropo por Fernández Garrasino (1985). Sin embargo, las heterogeneidades representadas por el plegamiento y los clivajes asociados no constituyen una anisotropía mecánica significativa ante las deformaciones mesozoicas y cenozoicas como lo sugiere la falta de correlación entre las orientaciones de las estructuras internas del basamento y las fallas modernas que lo desplazan; la participación de este basamento leptometamórfico en las estructuras cenozoicas es usual en la Cordillera Oriental donde generalmente constituye el núcleo de las láminas de corrimientos y de los anticlinales (Mon *et al.* 1996). Los análisis de líneas sísmicas arrojan resultados variables respecto a las relaciones existentes entre las estructuras del basamento de

bajo grado y las cenozoicas; Cristallini *et al.* (1997) proponen que las heterogeneidades del basamento controlaron las estructuras cretácico-cenozoicas en la región de Metán mientras que Hain y Strecker (2008) descartan este tipo de control en el tramo norte del Valle de Lerma.

ESTRUCTURA MESOZOICA

La cuenca cretácica muestra dos etapas evolutivas bien definidas que tienen clara expresión en la estratigrafía del Grupo Salta. Las fallas normales que definen los depocentros durante la etapa de subsidencia mecánica son en general de rumbo norte-sur con segmentos de transferencia de rumbo NO. El *rift* generó grabenes y hemigrabenos. Hacia el sur del paralelo 24°30', los depocentros del *rift* corresponden principalmente a hemigrabenos limitados por fallas normales que buzanan hacia el naciente (Figs. 6 y 7). Esta configuración tiene muy buena definición en la región de los valles Calchaquíes y en su prolongación hacia el este (Grier *et al.* 1991, Salfity y Marquillas 1994, Cristallini *et al.* 1997, Hongn y Seggiaro 2001, Sabino 2004, Carrera *et al.* 2006). Los fenómenos de inversión tectónica de las fallas normales del *rift* han sido frecuentemente invocados entre los mecanismos que influyen en la definición del orógeno andino en el noroeste argentino, en especial a partir del trabajo de Grier *et al.* (1991), si bien ya habían sido advertidos previamente por otros autores (*e.g.* Mingramm *et al.* 1979). La inversión tectónica del *rift* del Grupo Salta conduce a la definición de las estructuras de doble vergencia en la Cordillera Oriental y en el sistema de Santa Bárbara (Vergani y Starck 1989, Grier *et al.* 1991, Mon y Salfity 1995, Kley y Monaldi 2002, Carrera *et al.* 2006).

La inversión de las estructuras del *rift* mesozoico (Triásico-Cretácico) en la Cordillera de Domeyko (Chile) influyó fuertemente el estilo estructural andino de esa región (Mpodozis *et al.* 2005, Muñoz *et al.* 2005) generando también doble vergencia (Amilibia *et al.* 2008).

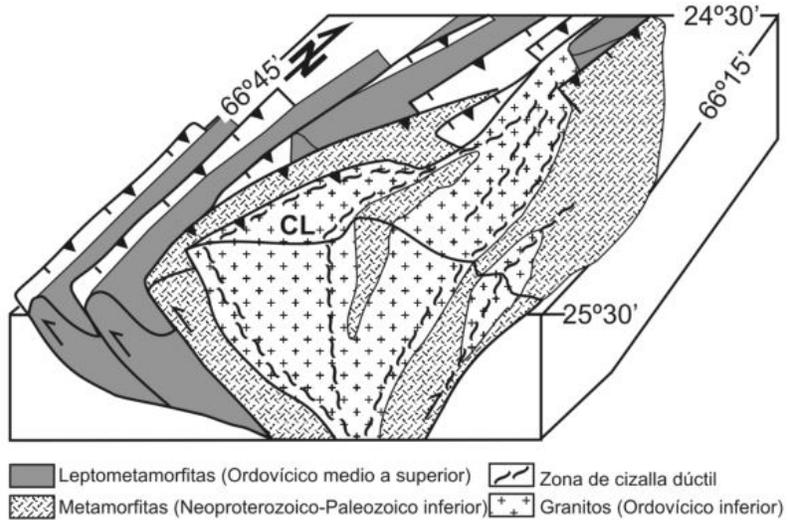


Figura 5: Esquema de las principales estructuras paleozoicas del borde oriental de la Puna entre 24°30' y 25°30' de latitud sur. Las cumbres de Luracatao (CL) están limitadas por zonas de deformación con buzamientos opuestos que convergen hacia el núcleo. Simplificado de Hongn y Mon (1999).

ESTRUCTURA CENOZOICA

La estructura cenozoica está definida por láminas de corrimiento y plegamiento que muestran características variables (Mon y Salfity 1995). Una de las particularidades es la doble vergencia de las estructuras de la Puna, Cordillera Oriental y Sistema de Santa Bárbara con fallas que involucran el basamento en un estilo de piel gruesa (Mon 1979, Mon y Salfity 1995). Por otra parte, las Sierras Subandinas constituyen una faja corrida y plegada típica de antepaís, en la que la deformación se concentra por encima de niveles de despegue localizados en rocas paleozoicas y sin participación del basamento (Mingramm *et al.* 1979, Allmendinger *et al.* 1983).

Las estructuras doble vergentes varían en su naturaleza y definición a lo largo y ancho del noroeste argentino. Algunas de estas variaciones se expresan claramente dentro de la zona analizada con mayor detalle en este trabajo (Figs. 6 y 7). Una propiedad de estas estructuras es que generalmente las fallas inversas cenozoicas con vergencia occidental tienen mejor definición y continuidad que las vergentes hacia el este. Este rasgo se observa principalmente en los Valles Calchaquíes, donde las depresiones de Amblayo, Tonco,

Calchaquí, y Hualfín-Amaicha-Luracatao muestran sus bordes orientales nítidamente definidos por fallas inversas de vergencia al oeste, mientras que en los bordes occidentales las fallas inversas con vergencia al este son discontinuas, de menor rechazo y en algunos casos mal definidas. Existen excepciones, por ejemplo la porción norte del Valle Calchaquí (región de la Poma), el valle de Luracatao y la quebrada del Toro, donde las fallas inversas de vergencias opuestas están bien expuestas sobre ambos márgenes de las depresiones. Las variaciones en el ancho de algunos valles, el ejemplo más notable es el Valle Calchaquí, se deben a diseños escalonados de las fallas que levantan sus bordes, en este ejemplo sobre su margen oriental (Mon y Salfity 1995). Características similares, fallas vergentes al oeste mejor desarrolladas, se distinguen también en la franja de la Puna situada entre las cumbres de Luracatao y los salares de Arizaro y Antofalla.

El basculamiento hacia el este de las cuencas cenozoicas es claro en las dos regiones cuya vergencia hacia el oeste está bien definida. Las secciones estratigráficas más completas se disponen en las espaldas de fallas inversas con vergencia occidental, como ocurre en los perfiles del Tintin y del ce-

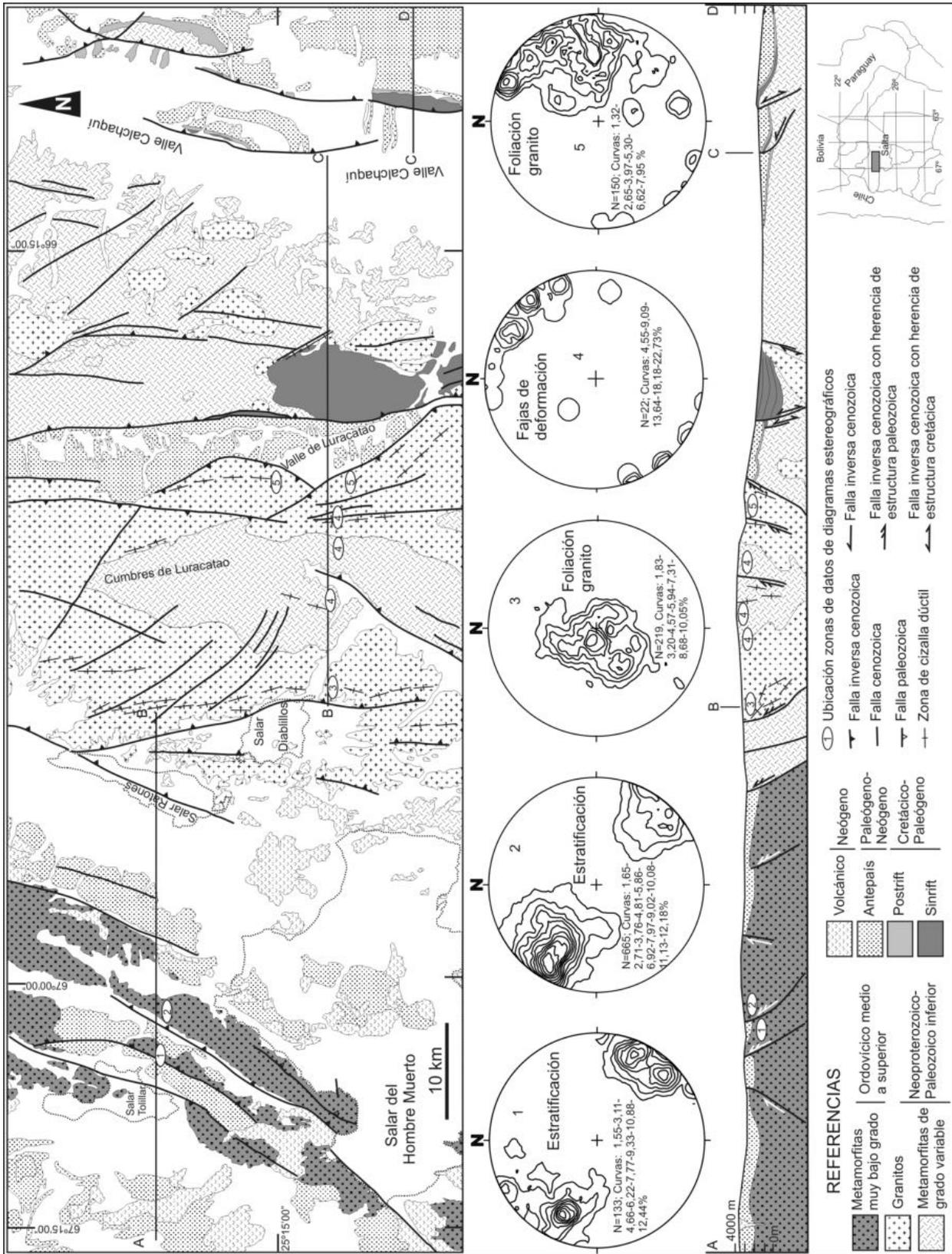


Figura 6: Mapa de la Puna centro-oriental y de los Valles Calchaquies entre 25°00' y 25°30' de LS (Simplificado de Hongn y Seggiaro 2001). Los diagramas estereográficos reflejan las orientaciones de los principales elementos estructurales del basamento. Los datos del diagrama 4 sintetizan la orientación de 22 zonas de deformación de diferentes espesores (desde centímetros a decenas de metros) cartografiadas en la parte central de las cumbres de Luracatao.

ro Negro en el valle Calchaquí (Vergani y Starck 1989, Hongn y Seggiaro 2001, Carrera y Muñoz 2008, Hongn *et al.* 2008b) o en los perfiles de las sucesiones cenozoicas que rellenan las cuencas de la Puna, por ejemplo en Pastos Grandes (Alonso 1992) y entre los salares de Arizaro y Pocitos; si bien existen pliegues y fallas con diferentes vergencias en esta última sección, la sucesión que comienza con depósitos de la Formación Geste sobre el basamento granítico ordovícico del cerro Macón se torna progresivamente más joven hacia el naciente hasta que es truncada por el corrimiento del borde oriental de las sierras de Pozuelos-Guayaos.

La franja del valle Calchaquí al sur de 24°45' y la extendida entre los salares de Arizaro y Pocitos tienen varias decenas de kilómetros de ancho y constituyen fajas con vergencia occidental dominante más que doble vergentes como se describen habitualmente. Las estructuras doble vergentes propiamente dichas alcanzan su mejor definición en la transición Puna-Valles Calchaquíes. El valle Calchaquí norte constituye un estrecho surco tectónico limitado por fallas inversas de vergencias y buzamientos opuestos, las fallas Toro Muerto y Calchaquí (Méndez 1975). Hacia el este y oeste de este segmento del valle, se disponen los altos de Lampasillos y los nevados de Palermo, bloques de basamento que lo separan respectivamente de las depresiones del Toro y de Luracatao, limitadas respectivamente por fallas de vergencia oriental y occidental. Una situación similar ocurre en el valle de Luracatao, que también corresponde a un valle angosto limitado por fallas de vergencia opuesta. La falla oriental buza hacia el este y levanta los nevados de Cachi-Palermo mientras que la occidental que buza hacia el oeste monta el basamento de las cumbres de Luracatao sobre el relleno del valle. Las cumbres de Luracatao definen el alto topográfico que marca el borde oriental de la Puna dado que su divisoria de aguas separa los cursos de agua que drenan hacia el oeste y este, alimentando respectivamente las cuencas cerradas de la Puna y el sistema fluvial que fluye hacia el Atlántico.

Las cumbres de Luracatao también están limitadas por fallas inversas de vergencia y buzamiento opuestos, la oriental vergente hacia el este monta el basamento sobre las sucesiones del valle de Luracatao y la occidental vergente hacia el oeste corre el basamento sobre las sucesiones cenozoicas preservadas en las depresiones que albergan los salares de Pastos Grandes, Ratonés y Hombre Muerto. De esta forma, el valle y las cumbres de Luracatao constituyen una depresión y una elevación topográficas limitadas por fallas inversas con vergencias y buzamientos opuestos. La distribución de estas zonas de doble vergencia en la transición Puna-Valles Calchaquíes muestra un diseño escalonado (Fig. 7), hecho que produce variaciones marcadas según el rumbo. Así, por ejemplo, el tramo norte del valle Calchaquí es un segmento de doble vergencia bien definido que pasa hacia el norte y hacia el sur a zonas dominadas por estructuras con vergencia occidental, tal se observa entre las sierras de Muñano y San Antonio de los Cobres hacia el norte (Donato y Vergani 1988) y en el valle Calchaquí al sur del paralelo 24°45' (Fig. 7).

Los corrimientos vergentes hacia el este son escasos en la Puna y en la región de los Valles Calchaquíes al sur del paralelo 24°. Las secciones estructurales regionales muestran claramente el dominio de las estructuras de vergencia occidental sobre las de vergencia oriental (Grier *et al.* 1991, Mon y Salfity 1995, Cristallini *et al.* 1997, Carrera y Muñoz 2008, Amilibia *et al.* 2008). Para algunos autores (Starck y Vergani 1996, Hernández *et al.* 1999), las fallas inversas vergentes al este que marcan el borde occidental de los valles Calchaquí norte y Luracatao-Colomé-Amaicha-Hualfín representan el frente de deformación paleógeno en la transición Puna-Cordillera Oriental, el que posteriormente migra hacia el este para emerger nuevamente en la región del valle de Lerma. De acuerdo con estas interpretaciones, las estructuras con vergencia occidental corresponderían a retrocorrimientos enraizados en las estructuras principales que transportan la cuña orogénica hacia el antepaís. Otras in-

terpretaciones plantean que el corrimiento principal vergente hacia el este emerge en el borde este de la Cordillera Oriental y su transición al sistema de Santa Bárbara a partir del Mioceno medio (Allmendinger *et al.* 1982, Cristallini *et al.* 1997, Carrera y Muñoz 2008). La falta de datos de subsuelo agrega un alto grado de incertidumbre a las interpretaciones que abarcan los Valles Calchaquíes y la Puna.

La edad de las estructuras cenozoicas es discutida. A las propuestas iniciales sobre una evolución principalmente neógena para la Puna y la Cordillera Oriental al sur de 24° (Jordan y Alonso 1987, Allmendinger *et al.* 1997, Carrera y Muñoz 2008, entre otros) se le contraponen las recientes observaciones de deformación y sedimentación paleógena en la Puna y en los Valles Calchaquíes tal lo documentan edades fósiles (Payrola *et al.* 2006, Powell *et al.* 2007) y de trazas de fisión (Deeken *et al.* 2006, DeCelles *et al.* 2007). De especial interés resulta que tanto la deformación como la sedimentación eocenas están vinculadas con estructuras doble vergentes (Valle de Luracatao, Payrola *et al.* 2006, Valle Calchaquí norte, Hongn *et al.* 2007) o con vergencia occidental (Cerro Tintin, Hongn *et al.* 2008b). También a fallas paleógenas de vergencia occidental se relacionarían los estratos de la Formación Geste (Jordan y Mpodozis 2006) que muestran estructuras de crecimiento sobre el flanco occidental de la sierra de Macón (Fig. 8a).

INFLUENCIA DE LA ESTRUCTURAS DE BASAMENTO SOBRE LAS ESTRUCTURAS MESOZOICAS Y CENOZOICAS

La figura 9 (véase también Fig. 7) muestra una sección regional entre la Cordillera de Domeyko y el Sistema de Santa Bárbara aproximadamente entre 24°30' y 25°30'. En esta sección se distinguen diferentes segmentos caracterizados por la vergencia superficial de las estructuras cenozoicas. El segmento más occidental corresponde a la Cordillera de Domeyko y la faja plegada y corrida de Atacama-Pedernales que se dispone hacia el naciente de la an-



Figura 7: Principales estructuras paleozoicas, cretácicas y cenozoicas en la Puna austral y borde oeste de la Cordillera Oriental. La vergencia superficial de las estructuras cenozoicas muestra buena correlación con la vergencia de las estructuras paleozoicas en la Puna y con la inversión de las fallas normales del rift cretácico en los Valles Calchaquíes. Las edades de trazas de fisión tomadas de Carrapa *et al.* (2005), Deeken *et al.* (2006), DeCelles *et al.* (2007) y Carrapa y DeCelles (2008). Las edades a partir de fósiles y relaciones estratigráficas de acuerdo con Payrola *et al.* (2006), Powell *et al.* (2007) y Hongn *et al.* (2008b).

terior, la que constituye una faja de vergencia oriental bien definida que se relaciona con la inversión de fallas normales asociadas a sistemas de *riffts* mesozoicos (Muñoz *et al.* 2005, Mpodozis *et al.* 2005, Amilibia *et al.* 2008). La relación entre las fallas normales mesozoicas y las estructuras previas del basamento son desconocidas. Los datos estructurales son escasos en la zona del arco volcánico; entre el arco volcánico y el salar de Arizaro, las estructuras cenozoicas principales continúan con vergencia hacia el este. La zona del salar de Arizaro corresponde a una zona de doble vergencia dado que en el borde oriental, el núcleo ordovícico de la sierra de Macón muestra las sucesiones de la Formación Geste apoyadas sobre su borde oriental y con la exposición de unidades más jóvenes hacia el este. La región del salar del Arizaro-salar de Rincón corresponde también a una zona de cambio de vergencia de las estructuras paleozoicas. En esta faja se encuentra el contacto entre los cinturones ordovícicos inferior y medio a superior que presentan estructuras vergentes al noreste y oeste respectivamente (Figs. 2, 3, 4, 6 y 7). No se han descrito para esta región estructuras vinculadas a sistemas de *rifft* mesozoicos. La vergencia occidental de las estructuras cenozoicas está bien determinada en la faja que comprende la sierra de Macón y los salares de Pocitos y Pastos Grandes-Centenario-Ratones, en particular en el extremo oriental de este segmento de la sección regional. Las cuencas cenozoicas están basculadas hacia el este. Esta faja de vergencia hacia el oeste coincide con las sucesiones del Ordovícico medio a superior que definen una faja plegada y fallada de leptometamofitas con marcada vergencia occidental (Figs. 2 a 7). Las estructuras cenozoicas definen una zona de doble vergencia en el borde oriental de la Puna y su transición hacia los Valles Calchaquíes. Las cumbres de Luracatao y el valle de Luracatao son las expresiones topográficas de estas zonas doble vergentes. La doble vergencia también caracteriza a las estructuras paleozoicas y es llamativa la similitud entre las orientación y vergen-

cia de las estructuras paleozoica y cenozoica (Figs. 5 a 7).

Las estructuras con vergencia hacia el oeste son nuevamente dominantes en la región de los Valles Calchaquíes, a partir del borde oriental del valle de Luracatao, rasgo asociado a la inversión de las fallas directas del *rifft* del Grupo Salta como fue establecido por otros autores (*e.g.* Grier *et al.* 1991). La influencia de las heterogeneidades del basamento sobre la localización de las fallas normales del *rifft* ha sido postulada para la región de los Valles Calchaquíes (Hongn y Seggiaro 1998, 2001, Riller y Hongn 2003, Hongn *et al.* 2006) en un esquema comparable al propuesto por Schmidt *et al.* (1995) para las Sierras Pampeanas. De acuerdo con estas hipótesis, este control es más efectivo donde el basamento muestra zonas de debilidad bien definidas representadas por fajas de deformación dúctil y alternancias litológicas a diferentes escalas; la porción suroeste de los Valles Calchaquíes (Valles de Luracatao, Colomé-Molinos, Pucará y Hualfin) muestra ejemplos ilustrativos de paralelismo entre estructuras del basamento y las fallas normales del *rifft*.

La inversión del *rifft* continúa como el control fundamental de la geometría de las estructuras hacia el naciente, en la parte este de la Cordillera Oriental y en el sistema de Santa Bárbara (Cristallini *et al.* 1997, Kley y Monaldi 2002). La influencia de las heterogeneidades del basamento sobre las fallas directas del *rifft* no está bien definida en estas regiones si bien Cristallini *et al.* (1997) sugieren que las fallas directas cretácicas reactivan debilidades del basamento.

Los extremos oriental y occidental de la sección regional discutida muestran claramente la influencia de la inversión de fallas normales asociadas a sistemas de *rifft* en la geometría y vergencia de las fallas y los pliegues cenozoicos, evidenciando la vinculación establecida entre estructuras cenozoicas retrovergentes y doble vergentes con la inversión tectónica de fallas normales (Grier *et al.* 1991, Mon y Salfity 1995, Kley y Monaldi 2002, Carrera *et al.* 2006, Amilibia *et al.* 2008). Sin embargo,

entre los contrafuertes orientales del salar de Arizaro y occidentales del valle de Luracatao existe una correlación fuerte entre las orientación y vergencia de las estructuras paleozoicas y cenozoicas. Las cuencas de *rifft* controladas por subsidencia mecánica no alcanzaron esta región y por lo tanto no es posible sostener el argumento de inversión de fallas normales para explicar la retrovergenza y doble vergencia de las estructuras cenozoicas. Si bien el registro estratigráfico de la Puna es limitado - principalmente sucesiones cenozoicas sobre basamento neoproterozoico-paleozoico-para establecer estructuras fosilizadas como en otras áreas en la que se analizan inversión y reactivación tectónicas (*e.g.* Giambiagi *et al.* 2009) la marcada coincidencia entre la orientación de las estructuras paleozoica y cenozoica se considera un argumento suficiente para proponer la influencia de la herencia estructural paleozoica sobre la evolución de las cuencas cenozoicas. Esta coincidencia en la geometría no sólo se observa en la zona tratada con mayor detalle en este trabajo (Fig. 6) sino en otras zonas de la Puna austral y su transición hacia las Sierras Pampeanas (Fig. 7).

DISCUSIÓN

El basamento premesozoico del noroeste argentino y regiones adyacentes corresponde a un sustrato altamente heterogéneo con una geología compleja definida por la superposición de eventos de deformación, sedimentación, magmatismo y metamorfismo ocurridos principalmente en el Paleozoico inferior (Cámbrico-Ordovícico). Esta superposición de eventos paleozoicos produce fenómenos de retrabajo continental (*continental reworking*, Miller *et al.* 2001) asociados a un protomargen andino cuya orientación fue a grandes rasgos paralela al margen andino mesozoico-cenozoico, dando lugar a heterogeneidades de diferentes naturaleza y escala con rumbos meridianos dominantes. Al tiempo mesozoico, el basamento ígneo-metamórfico había sufrido diferentes grados de exhumación aunque en la ma-

oría de los casos se encontraba en niveles de la corteza superior donde las temperaturas bajas favorecían la reactivación de las heterogeneidades heredadas de los procesos de retrabajo continental. De esta forma, las zonas de debilidad del zócalo se reactivaron durante los eventos extensionales cretácicos vinculados al desarrollo de la cuenca del Grupo Salta y contraccionales cenozoicos que dan marco a las cuencas andinas. Resulta que durante más de 500 años de historia geológica perduró un margen activo con una orientación general meridiana que favoreció la generación de estructuras de diferentes escalas y naturaleza durante los estadios de retrabajo y reactivación continentales (*Continental reactivation and reworking*, véase discusión de estos conceptos en Miller *et al.* 2001).

El basamento premesozoico del noroeste argentino incluye unidades cuyos rasgos litológicos y estructurales son variables y que definen diferentes tipos de heterogeneidades, entre ellas: 1) Las sucesiones sedimentarias paleozoicas con escasa deformación paleozoica, que caracterizan a la parte norte de la Cordillera Oriental y a las Sierras Subandinas, cuya principal heterogeneidad consiste en variaciones litológicas que controlan los niveles de despegue que determinan la faja plegada y corrida típica de piel fina de las Sierras Subandinas (Mingramm *et al.* 1979, Allmendinger *et al.* 1983), 2) Las fajas plegadas y corridas de leptometamorfitas con desarrollo de clivaje como la definida por las sucesiones ordovícicas de la Puna; en las porciones de vergencia marcada, como en la Puna austral, las heterogeneidades principales corresponden a la estratificación, que muestra pliegues volcados cuyos limbos normal e invertido buzan en la misma dirección, y a los corrimientos; 3) Fajas de cizalla dúctil afectando complejos ígneo-metamórficos como los del borde oriental de la Puna en los que los contactos y alternancias litológicas y las zonas de deformación dúctil constituyen las principales debilidades que son propicias para su reactivación; 4) Contactos regionales entre diferentes unida-

des del basamento, los que no sólo marcan heterogeneidades por su propia naturaleza de zona de debilidad sino también porque limitan unidades litotectónicas cuya distribución en cinturones alargados en sentido norte-sur definen las heterogeneidades a escala regional; en tal sentido, el ejemplo más claro se encuentra en la faja centro-oriental de la Puna, donde los corrimientos paleozoicos que cabalgan los complejos ígneo-metamórficos del borde oriental de la Puna sobre las sucesiones ordovícicas que se disponen hacia el oeste (Mon y Hongn 1988) constituyen estructuras aptas para ser reactivadas. Asimismo, estas estructuras separan dominios con diferentes propiedades litológicas y estructurales que significan comportamientos reológicos y mecánicos propios durante las deformaciones posteriores. Además de estos controles de carácter regional, existen otros locales como por ejemplo la influencia de la estructura y emplazamiento del batolito de Tastil sobre los corrimientos cenozoicos (Tubía *et al.* 2005). La exposición de este basamento heterogéneo ya al tiempo mesozoico está evidenciada por los depósitos iniciales del *rift* del Grupo Salta que se apoyan sobre materiales con grados variables de deformación y metamorfismo originados a diferentes profundidades (Salfity y Marquillas 1994, Hongn y Seggiaro 2001, Sabino 2004).

Trabajos detallados y sistemáticos son necesarios para precisar los modos, escala y naturaleza del control que las heterogeneidades del basamento producen sobre las estructuras mesozoicas y cenozoicas. Los datos disponibles por el momento destacan la correlación entre las orientaciones de las estructuras de diferentes edades y observaciones aisladas sobre reactivaciones frágiles de fajas de cizalla dúctil (Figs. 8b y c). El análisis de las orientaciones de las estructuras de distintas edades muestra que las debilidades del basamento influyeron fuertemente sobre el desarrollo de fallas normales vinculadas al *rift* del Grupo Salta como ocurre en la parte occidental de los Valles Calchaquíes, las que fueron invertidas dando lugar

a fallas inversas cenozoicas con vergencia hacia el oeste (retrovergenza). Por otra parte, también muestra que la reactivación de heterogeneidades del basamento favoreció directamente el desarrollo de fallas inversas cenozoicas retrovergentes como se verifica en la franja centro-oriental de la Puna austral. Una de las cuestiones a resolver es el modo en que se reactivan las heterogeneidades, específicamente el inicio y posterior propagación de las estructuras cenozoicas retrovergentes; cabe preguntarse si para generar una faja de vergencia opuesta a la teórica es suficiente con el inicio de una falla retrovergente a partir de la reactivación de una heterogeneidad o si este control debe mantenerse durante la propagación de esta faja o zona mediante la reactivación de otras heterogeneidades.

Otro aspecto a investigar es la temporalidad de las estructuras, dado que algunas de las fallas cenozoicas a las que se atribuye un control de heterogeneidades previas son tan antiguas como eocenas. Los datos recientes proporcionados por análisis estratigráficos y estructurales apoyados por edades fósiles o de trazas de fisión (Fig. 7; véase también Deeken *et al.* 2006, Payrola *et al.* 2006, Hongn *et al.* 2007, Carrapa y DeCelles 2008) apoyan esta hipótesis. En este contexto, se plantean situaciones de interés en áreas como las cumbres de Luracatao, alto topográfico vinculado a fallas de buzamiento y vergencia opuestas que generan una configuración estructural tipo *pop-up* desde el Paleógeno de acuerdo con las edades de trazas de fisión sobre su borde occidental (56 y 19-20 Ma, Deeken *et al.* 2006) y de la deformación datada por estratos de crecimiento eocenos sobre su borde oriental, en el valle de Luracatao (Payrola *et al.* 2006). Estas fallas registran también reactivaciones entre el Mioceno y el Cuaternario de acuerdo con trazas de fisión (16-18 Ma, Deeken *et al.* 2006) y cartografía (Hongn y Seggiaro 2001, Riller y Hongn 2003). La configuración tipo *pop-up* muestra una herencia paleozoica inferior definida por zonas de cizalla dúctil con buzamientos y vergencias opuestas (Fig. 5) que se habrían reactivado durante diferentes

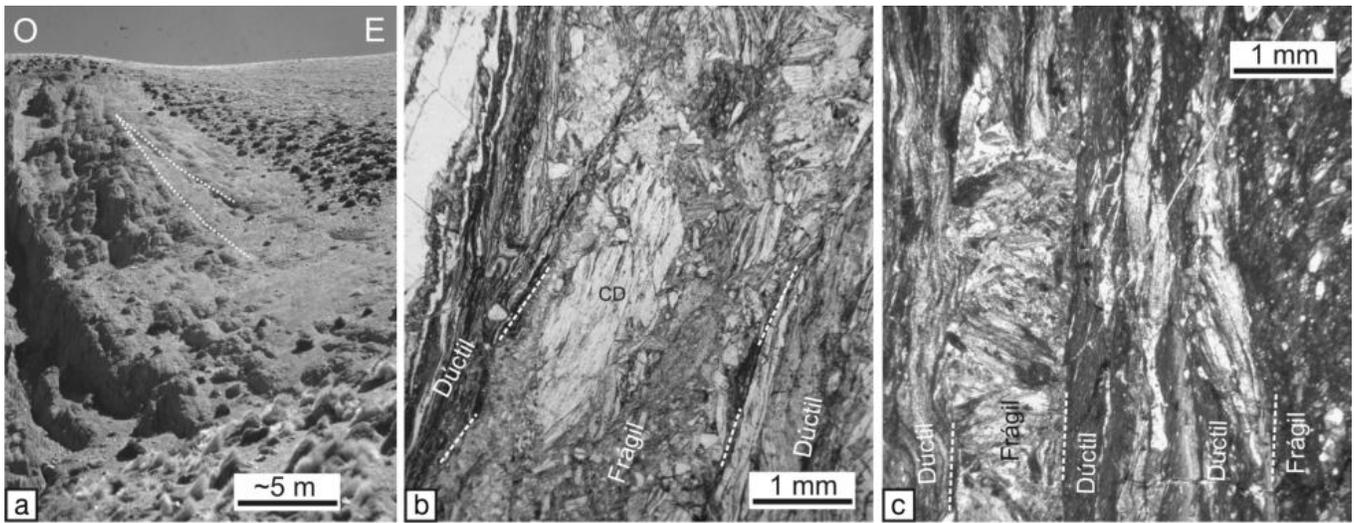


Figura 8: a) Estratos de crecimiento en la Formación Geste eocena en el borde occidental de la sierra de Macón; b y c) Cortes delgados de milonitas paleozoicas con reactivación frágil. En ambas fotografías las líneas entrecortadas separan dominios con foliación milonítica (dúctil) de dominios cataclásticos en los que los fragmentos derivan de la foliación milonítica (CD- Fragmento de cinta de cuarzo con recristalización dinámica en foto b). B- Brealito; C- Valle de Hualfín-Amaicha

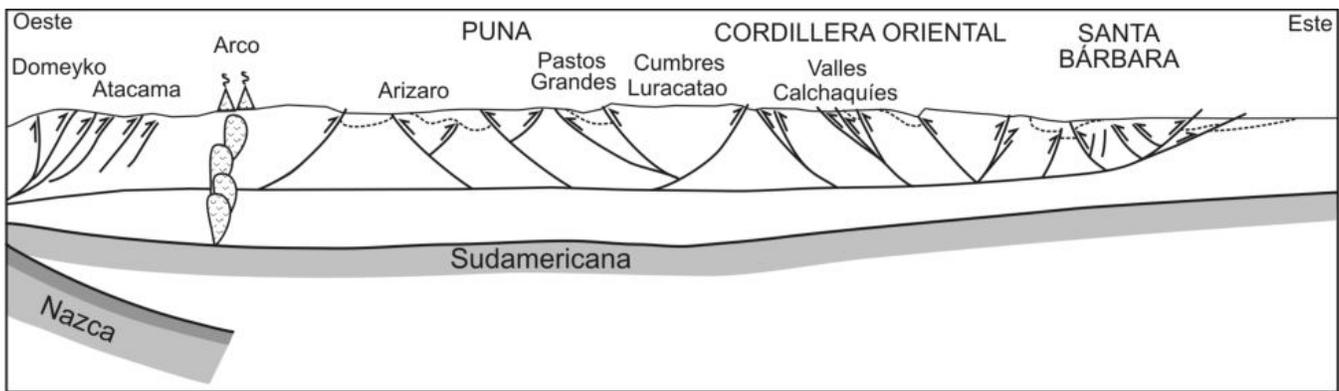


Figura 9: Corte esquemático regional entre la Cordillera de Domeyko y el Sistema de Santa Bárbara mostrando los principales dominios de vergencia cenozoica. Las líneas entrecortadas esquematizan la base de las cuencas cenozoicas. Más explicaciones en el texto. Ligeramente modificado de Muñoz *et al.* (2005).

etapas de la evolución andina. Cabe mencionar que durante la evolución de estas fajas de cizalla dúctil paleozoicas con buzamiento opuesto se forman también alternancias litológicas y foliaciones penetrativas, conjunto que refuerza la heterogeneidad asociada a las zonas de deformación. Hipótesis similares pueden aplicarse para discutir los nevados de Palermo. Dejando de lado los análisis más refinados sobre modo, escala y naturaleza de las reactivaciones, lo que sí es posible sostener es que las heterogeneidades del basamento tuvieron un control bien definido sobre las estructuras cenozoicas andinas en el noroeste argentino y que estos controles pare-

cen ser en algunos casos tan antiguos como paleógenos. Este control de heterogeneidades del basamento es más claro en las áreas donde no hubo desarrollo de las fallas normales de las cuencas de *rifft* mesozoico. Las heterogeneidades del basamento también influenciaron la localización de las fallas del *rifft* aunque los procesos de inversión tectónica de las fallas normales en muchos casos disimulan los controles primarios ejercidos por las estructuras pre-mesozoica. El basamento de las cuencas andinas cenozoicas era un sustrato altamente fragmentado por las heterogeneidades paleozoicas y por las fallas normales cretácicas, algunas de las cuales ya reactivaron

debilidades previas. Esta fragmentación favoreció la deformación de piel gruesa en amplias regiones del noroeste argentino (Puna, Cordillera Oriental, Sistema de Santa Bárbara, Sierras Pampeanas) y contribuyó a la propagación irregular de las deformación y sedimentación cenozoicas en un sistema complejo de cuencas en un antepaís fragmentado (Coutand *et al.* 2001, del Papa *et al.* 2005, Carrapa *et al.* 2005, Hongn *et al.* 2007) que evolucionó desde el Eoceno en la Puna y la Cordillera Oriental (Boll y Hernández 1986, Monaldi *et al.* 1993, Starck y Vergani 1996, del Papa *et al.* 2004, Carrapa y DeCelles 2008).

CONCLUSIONES

Los últimos trabajos de síntesis sobre los Andes han mostrado que las heterogeneidades y debilidades de la placa superior (americana) juegan un rol significativo en la evolución del orógeno (Coutand *et al.* 2001, Oncken *et al.* 2006). En tal sentido, las estructuras del basamento neoproterozoico-paleozoico inferior del noroeste argentino constituyen rasgos que han controlado la geometría y orientación de las estructuras posteriores y su participación en la definición del estilo estructural andino en la Puna ha sido tan significativa como la de las fallas normales asociadas a procesos de *rifting* en los contrafuertes orientales (Cordillera Oriental) y occidentales (Cordillera de Domeyko) del *plateau*. La reactivación/ inversión de las estructuras del basamento influye directamente sobre la retrovergencia y/o doble vergencia de las estructuras cenozoicas en extensas áreas en las que no se han observado fallas normales asociadas a sistemas de *rift*. Las heterogeneidades del basamento también influenciaron la localización y evolución de las fallas normales asociadas al *rift* cretácico del Grupo Salta, como ocurrió en la franja occidental de la región de los Valles Calchaquíes. Las investigaciones futuras deben descifrar si este control es local o regional.

Las estructuras cenozoicas retrovergentes y doble vergentes están generalmente vinculadas con inversión tectónica o reactivación de heterogeneidades previas, tanto de las fallas normales de *rift* o de algún tipo de estructura en el basamento. La diversidad litológica y estructural de los complejos del basamento implica comportamientos particulares para cada región de acuerdo con el desarrollo, orientación y grado de inversión de las estructuras previas. La fragmentación y heterogeneidad del sustrato andino dado por las estructuras originadas entre el Neoproterozoico-Paleozoico inferior y el Cretácico advierten sobre la inconveniencia de ignorar las complejidades geológicas en la aplicación de modelos simples de evolución geológica como ya lo

destacaron explícitamente Kley *et al.* (2005).

AGRADECIMIENTOS

Los resultados presentados en esta contribución forman parte de investigaciones financiadas por FONCYT (PICT 2006-381), CONICET (PIP 5255 y PIP 0781) y CIUNSa (P1679). Las sugerencias de los árbitros, Ernesto Cristallini y Ruben Monaldi, permitieron mejorar sensiblemente la versión original del manuscrito. A la Administración Nacional de Parques Nacionales por la autorización y apoyo para los trabajos de campo en el Parque Nacional Los Cardones.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Aceñolaza, F.G., y Toselli, A.J. 1976. Consideraciones estratigráficas y tectónicas sobre el Paleozoico inferior del noroeste argentino. 2º Congreso Latinoamericano de Geología, Memorias 2: 755-764, Caracas.
- Amilibia, A., Sàbat, F., McClay, R., Muñoz, J., Roca, E. y Chong, G. 2008. The role of inherited tectono-sedimentary architecture in the development of the Central Andes mountain belt: Insights from the Cordillera de Domeyko. *Journal of Structural Geology* 30: 1520-1539
- Alonso, R.N. 1992. Estratigrafía del Cenozoico de la cuenca de Pastos Grandes (Puna Salteña) con énfasis en la Formación Sijes y sus boratos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 47: 189-199.
- Allmendinger, R., Jordan, T., Palma, M. y Ramos, V. 1982. Perfil estructural de la Puna catamarqueña (25°-27° S), Argentina. 5º congreso Latinoamericano de Geología, Actas 1: 499-518, Buenos Aires.
- Allmendinger, R., Ramos, V., Jordan, T., Palma, M. y Isacks, B. 1983. Paleogeography and Andean structural geometry, northwest Argentina. *Tectonics* 2: 1-16.
- Allmendinger, R., Jordan, T., Kay, S. y Isacks, B. 1997. The evolution of the Altiplano - Puna Plateau of the central Andes, *Annual Review Earth Planetary Sciences* 25:139-174.
- Astini, R.A. 2003. The Ordovician proto-Andean basins. En Benedetto, J.L.(ed.) *Ordovician fossils of Argentina*, Secretaría de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional de Córdoba, 1-74, Córdoba.
- Bahlburg, H. 1990. The Ordovician basin in the Puna of NW Argentine and N Chile: geodynamic evolution from back-arc to foreland basin. *Geotektonische Forschungen* 75: 1-77, Stuttgart
- Bahlburg, H. y Hervé, F. 1997. Geodynamic evolution and tectonostratigraphic terranes of northwestern Argentina and northern Chile. *Geological Society of American Bulletin* 109: 869-884.
- Boll, A. y Hernández, R. 1986. Interpretación estructural del área de Tres Cruces. *Boletín de Informaciones Petroleras, Tercera Época*, 3(7): 2-14.
- Bracaccini, O. I. 1960. Lineamientos principales de la evolución estructural de la Argentina. *Petrotecnia* 10(6): 57-69.
- Brackebusch, L. 1891. Mapa Geológico del interior de la República Argentina, escala 1:1.000.000, Gotha.
- Büttner, S., Glodny, J., Lucassen, F., Wemmer, K., Erdmann, S., Handler, R. y Franz, G. 2005. Ordovician metamorphism and plutonism in the Sierra de Quilmes metamorphic complex: Implications for the tectonic setting of the northern Sierras Pampeanas (NW Argentina). *Lithos* 83: 143-181
- Caminos, R. (ed.) 1999. *Geología Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 29, 796 p., Buenos Aires
- Carrapa, B. y DeCelles, P. 2008. Eocene exhumation and basin development in the Puna of northwestern Argentina. *Tectonics* 27 TC1015 doi:10.1029/2007TC002127.
- Carrapa, B., Adelman, D., Hilley, G., Mortimer, E., Sobel, E. y Strecker, M. 2005. Oligocene range uplift and development of plateau morphology in the southern central Andes. *Tectonics*, 24, TC4011, doi:10.1029/2004TC001762.
- Carrera, N. y Muñoz, J. 2008. Thrusting evolution in the southern Cordillera Oriental (northern Argentine Andes): Constraints from growth strata. *Tectonophysics* 459(1-4): 107-122
- Carrera, N., Muñoz, J.A., Sàbat, F., Roca, E. y Mon, R., 2006. The role of inversion tectonics in the structure of the Cordillera Oriental (NW Argentinean Andes). *Journal of Structural Geology* 28: 1921-1932.
- Coira, B., Davidson, J., Mpodozis C. y Ramos V. 1982. Tectonic and magmatic evolution of the Andes of Northern Argentina and Chile. *Earth Science Review* 18: 303-332.

- Coira, B., Kay, S., Pérez, B., Woll, B., Hanning, M. y Flores, P. 1999. Magmatic sources and tectonic setting of Gondwana margin Ordovician magmas, northern Puna of Argentina and Chile. En Ramos, V.A. y Keppie, J.D. (eds.) *Laurentia-Gondwana Connections before Pangea*. Geological Society of America Special Paper 336: 145-170, Boulder.
- Coutand, I., Cobbold, P., de Urreiztieta, M., Gautier, P., Chauvin, A., Gapais, D., Rossello, E. y López Gamundi, O. 2001. Style and history of Andean deformation, Puna plateau, northwestern Argentina. *Tectonics* 20: 210-234.
- Cristallini, E., Comínguez, A.H. y Ramos, V.A. 1997. Deep structure of the Metán-Guachipas region: Tectonic inversion in Northwestern Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 10(5-6): 403-421.
- Damm, K.W., Pichowiak, S., Harmon, R.S., Todt, W., Kelley, S., Omarini, R. y Niemeyer, H. 1990. Pre-Mesozoic evolution of the central Andes; The basement revisited. En Kay, S.M. y Rapela, C.W. (eds.) *Plutonism from Antarctica to Alaska*. Geological Society of America Special Paper 241: 101-126.
- Dávila, F.M., Astini, R.A. y Schmidt, C.J. 2003. Unraveling 470 m.y. of shortening in the Central Andes and documentation of Type 0 superposed folding. *Geology* 31(3): 275-278.
- DeCelles, P.G. y Gilles, K.A. 1996. Foreland Basin Systems. *Basin Research* 8: 105-123.
- DeCelles, P., Carrapa, B. y Gehrels, G. 2007. Detrital zircon U- Pb ages provide provenance and chronostratigraphic information from Eocene synorogenic deposits in northwestern Argentina. *Geology* 35: 323-326.
- Deeken, A., Sobel, E., Coutand, I., Haschke, M., Riller, U. y Strecker, M. 2006. Development of the Southern Eastern Cordillera, NW Argentina, constrained by apatite fission track thermochronology: From Early Cretaceous extension to middle Miocene shortening: *Tectonics*, 25 TC6003, doi:10.1029/2005TC001894
- del Papa, C., Hongn, F., Petrinovic, I. y Domínguez, R. 2004. Evidencias de deformación pre-miocena media asociada al antepaís andino en la Cordillera Oriental (24°35' S - 66°12' O). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 59 (3): 506-509.
- del Papa, C., Hongn, F., Mon, R., Powell, J. y Petrinovic, I., 2005. Stratigraphy and syndepositional structures of the basal foreland deposits in the northern Valle Caclhaquí, NW Argentina. 6th International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG 2005, Barcelona), Extended Abstracts: 215-217.
- Donato, E. y Vergani, G. 1988. Geología del área de San Antonio de los Cobres. *Boletín de Informaciones Petroleras* 5(15): 83-101, Buenos Aires
- Fernández Garrasino, F. 1985. El basamento del noroeste argentino. *Boletín de Informaciones Petroleras*, 3(12): 18-41, Buenos Aires.
- Flemings P. B. y Jordan T. 1989. A synthetic stratigraphic model of foreland basin development. *Journal of Geophysical Research* 94: 3851-3866.
- Giambiagi, L., Mescua, J., Folguera, A., y Martínez, A. 2009. Estructuras y cinemática de la deformación pre-andina del sector sur de la Precordillera, Mendoza, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* (este número).
- González, J., Niemeyer, H., Benedetto, J., y Brussa, E. 2007. The Ordovician Quebrada Grande Formation, Cordón de Lila (Antofagasta Region, northern Chile): stratigraphic and paleogeographic significance. *Revista Geológica de Chile* 34: 277-290.
- González Bonorino, F. 1950. Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 5: 81-110.
- Grier, M.E., Salfity, J.A. y Allmendinger, R.W. 1991. Andean reactivation of the Cretaceous Salta Rift, northwestern Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 4: 351-372.
- Hernández, R., Galli, C. y Reynolds, J. 1999. Estratigrafía del Terciario en el Noroeste Argentino. En González Bonorino, G., Omarini, R., Viramonte, J. G. (eds.) *Geología del Noroeste Argentino*. 14° Congreso Geológico Argentino, Relatorio 1: 316-328, Salta.
- Hain, M. y Strecker, M. 2008. Control of Cretaceous extensional and inherited basement structures on position and style of Andean shortening - a case study from the valle de Lerma, Salta, NW Argentina. 17° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 23-24, Jujuy
- Hongn, F.D. 1994. Estructuras precámbricas y paleozoicas del basamento de la Puna oriental; su aplicación para el análisis regional de la faja eruptiva. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 49(3-4): 256-268.
- Hongn, F.D., Mon, R. 1999. La deformación ordovícica en el borde oriental de la Puna. En González Bonorino, G., Omarini, R., Viramonte, J.G. (eds.) *Geología del Noroeste Argentino*. 14° Congreso Geológico Argentino, Relatorio 1: 212-216, Salta.
- Hongn, F. y Riller, U. 2007. Tectonic evolution of the western margin of Gondwana inferred from syntectonic emplacement of Paleozoic granitoid plutons in Northwest Argentina. *Journal of Geology* 115: 163-180.
- Hongn, F.D. y Seggiaro, R.E. 1998. Estructuras del basamento y su relación con el rift cretácico, valles Calchaquíes, provincia de Salta. 10° Congreso Latinoamericano de Geología, Actas 2: 4-9, Buenos Aires.
- Hongn, F.D. y Seggiaro, R.E. 2001. Hoja Geológica 2566-III, Cachi, 1:250.000. Instituto de Recursos Minerales. Servicio Geológico Mío Argentino. *Boletín* 248, 96 p., Buenos Aires.
- Hongn, F. y Vaccari, N.E. 2008. La discordancia tremadociano superior-arenigiana inferior en vega Pinato (Salta): Evidencia de deformación intraordovícica en el borde occidental de la Puna. 17° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 1299-1300, Jujuy.
- Hongn, F., Mon, R., del Papa, C., Petrinovic, I. y Powell, J., 2006. Herencia de anisotropías del basamento en las cuencas de rift cretácico y antepaís cenozoico en el noroeste argentino. 13° Reunión de Tectónica, Actas en CD, San Luis.
- Hongn, F.D., del Papa, C., Powell, J., Petrinovic, I., Mon, R., Deraco, V. 2007. Middle Eocene deformation and sedimentation in the Puna-Eastern Cordillera transition (23°-26°S): Control by preexisting heterogeneities on the pattern of initial Andean shortening. *Geology* 35: 271-274.
- Hongn, F., Mon, R. y Seggiaro, R. 2008a. Evolución estructural en el lapso neoproterozoico-paleozoico inferior. En Coira, B. y Zappettini, E. (eds.) *Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Jujuy*. 17° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 37-49, Jujuy
- Hongn, F., del Papa, C., Powell, J., Petrinovic, I. y Mon, R. 2008b. Discordancias en el cerro Tintin (Salta): claves para interpretar la evolución tectónica en el noroeste argentino. 17° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 26-27, Jujuy.
- Kley, J. y Monaldi, C. 2002. Tectonic inversion in the Santa Bárbara System of the central Andean foreland thrust belt, northwestern Argentina. *Tectonics* 21 (6), 1061, doi:10.1029/2002TC902003.
- Kley, J., Monaldi, C., Rossello, E. y Ege, H. 2005. The Eastern Cordillera of the Central Andes: Inherited mechanical weakness as a first-order

- control on the Cenozoic orogeny. 6th International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG 2005, Barcelona), Extended Abstracts: 432-435, Barcelona.
- Koukharsky, M., Torres Claro, R., Etcheverría, M., Vaccari, N. E. y Waisfeld, B.G., 1996. Episodios volcánicos del Tremadociano y del Arenigiano en Vega Pinato, Puna Salteña, Argentina. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 5: 535-542, Buenos Aires
- Jordan, T. y Alonso, R. 1987. Cenozoic stratigraphy and basin tectonics of the Andes Mountains, 20-28 south latitude. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 71: 49-64.
- Jordan, T. E. y Mpodozis, C. 2006. Estratigrafía y evolución tectónica de la cuenca Paleógena de Arizaro - Pocitos, Puna Occidental (24°-25°). 11° Congreso Geológico Chileno, Actas 2: 57-60, Antofagasta
- Lucassen, F. y Becchio, R. 2003. Timing of high-grade metamorphism: Early Paleozoic U-Pb formation ages of titanite indicate long-standing high-T conditions at the western margin of Gondwana (Argentina, 26°-29°S). *Journal of Metamorphic Geology* 21: 649-662.
- Lucassen, F., Becchio, R., Wilke, H. G., Thirwall, M. F., Viramonte, J., Franz, G. y Wemmer, K. 2000. Proterozoic-Paleozoic development of the basement of the Central Andes (18°-26°)-a mobile belt of the South American craton. *Journal of South American Earth Sciences* 13: 697-715.
- Méndez, V. 1975. Estilos estructurales del Cerro Negro y la Fosa Calchaquí. Provincias de Salta y Jujuy. 2° Congreso Iberoamericano de Geología Económica, Actas 1: 115-136, Buenos Aires.
- Méndez, V., Navarini, A., Plaza, D. y Viera, V. 1973. Faja Eruptiva de la Puna Oriental. 5° Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 89-100, Buenos Aires.
- Miller, J., Holdsworth, R., Buick, I. y Hand, M. (eds.) 2001. Continental reactivation and reworking. *Geological Society, Special Publication* 184, 408 p., London.
- Mingramm, A., Russo, A., Pozzo, A. y Casau, L. 1979. Sierras Subandinas. En Turner, J. C. (ed) Segundo Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias 1: 95-138, Córdoba.
- Mon, R. 1979. Esquema tectónico de los Andes del Norte Argentino. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 34(1): 53-60.
- Mon, R. 1993. Influencia de la Orogénesis Oclóyica en la segmentación andina en el norte de Argentina. 12° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 65-71, Mendoza.
- Mon, R. y Hongn, F. 1987. Estructura del Ordovícico de la Puna. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 42: 31-38
- Mon, R. y Hongn, F. 1988. El corrimiento del borde occidental del Cratógeno Central en la Puna. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 43: 348-342.
- Mon, R. y Hongn, F. 1991. The structure of the Precambrian and Lower Paleozoic Basement of the Central Andes between 22° and 32° S. Lat. *Geologische Rundschau* 83: 745-758.
- Mon, R. y Hongn, F. D. 1992. A reply to the discussion of our paper on "The structure of the Precambrian and Lower Paleozoic Basement of the Central Andes between 22° and 32° S Lat, as presented by A.P. Willner and H. Miller. *Geologische Rundschau* 81: 799-801.
- Mon, R. y Salfity, J.A. 1995. Tectonic evolution of the Andes of northern Argentina. En Tankard, A.J., Suarez Soruco, R. and Welsink, H.J. (eds.) *Petroleum basins of South America*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 62: 269-283.
- Mon, R., Mena, R. y Amengual, R. 1996. Plegamiento cenozoico del basamento proterozoico en la Cordillera Oriental del norte argentino. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 51: 213-223.
- Monaldi, R., Salfity, J.A., Vitulli, N. y Ortiz, A. 1993. Estructuras de crecimiento episódico en el subsuelo de la laguna de Guayatayoc, Jujuy, Argentina. 12° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 55-64, Mendoza
- Mpodozis, C., Arriagada, C., Basso, M., Roperch, P., Cobbold, P. y Reich, M. 2005. Late Mesozoic to Paleogene stratigraphy of the Salar de Atacama Basin, Antofagasta, northern Chile: Implications for the tectonic evolution of the Central Andes: *Tectonophysics* 399: 125-154.
- Morley, C.K., Haranya, C., Phoosongsee, W., Pongwapee, S., Kornawan, A. y Wonganan, N. 2004. Activation of rift oblique and rift parallel pre-existing fabrics during extension and their effect on deformation style: examples from the rifts of Thailand. *Journal of Structural Geology* 26: 1803-1829
- Moya, M.C. 1999. El Ordovícico de los Andes del Norte Argentino. En González Bonorino, G., Omarini, R., Viramonte, J.G. (eds.) *Geología del Noroeste Argentino*. 14° Congreso Geológico Argentino, Relatorio 1: 134-152, Salta.
- Moya, M.C., Malanca, S., Hongn, F.D. y Bahlburg, H. 1993. El Tremadoc temprano en la Puna occidental argentina. 12° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 20-30, Mendoza
- Muñoz, J., Amilibia, A., Carrera, N., Mon, R., Chong, G., Roca, E. y Sàbat, F. 2005. A geological cross-section of the Andean orogen at 25,5° L.S. 6th International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG 2005, Barcelona), Extended Abstracts: 536-539.
- Oncken, O., Hindle, D., Kley, J., Victor, P. y Schemman, K. 2006. Deformation of the Central Andean upper plate system- Facts, fiction and constrains for plateau models. En Oncken, O., Chong, G., Franz, G., Giese, P., Götze, H., Ramos, V., Strecker, M. y Wigger, P (eds.) *The Andes: Active subduction orogeny*, *Frontiers in Earth Sciences*, Springer Verlag, Chapter 1: 3-27.
- Palma, M.A., Parica, P.D. y Ramos, V.A. 1986. El granito Archibarca: Su edad y significado tectónico, provincia de Catamarca. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 41: 414-419.
- Payrola, P.A., Powell, J., Hongn, F. y del Papa, C. 2006. Registro de deformación eocena en el Valle de Luracatao, noroeste del Valle Calchaquí. 13° Reunión de Tectónica, Resúmenes: 47, San Luis.
- Powell, J., Deraco, V., Hongn, F., Mon, R. y Petrinovic, I. 2007. Primer registro de mamíferos de la Formación Quebrada de los Colorados (Grupo Payogastilla). Consideraciones cronológicas de la unidad y de las primeras fases del levantamiento de los Andes. *Ameghiniana*, Resúmenes 43 (4-suplemento): 53R.
- Ramos, V.A. 2008. The basement of the Central Andes: The Arequipa and Related Terranes. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 36: 289-324.
- Riller, U. y Hongn, F. 2003. Structural influence of Paleozoic discontinuities on Cretaceous to Quaternary tectonism in the Eastern Cordillera, NW-Argentina. *European Geophysical Society (Contributions of the EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice, April 2003)*, *Geophysical Research Abstracts* 5: 02303.
- Sabino, I.F. 2004. Estratigrafía de la Formación La Yesera (Cretácico): Base del relleno sinrift

- del Grupo Salta, noroeste argentino. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 59 (2): 341-359.
- Salfity, J.A. y Marquillas, R. A. 1994. Tectonic and sedimentary evolution of Cretaceous-Eocene Salta Group basin, Argentina. En Salfity J.A. (ed.) *Cretaceous Tectonics of the Andes*. *Earth Evolution Sciences*, Friedr. Vieweg and Sohn, 266-315.
- Salfity, J.A., Omarini, R., Baldis, B. y Gutierrez, W. 1975. Consideraciones sobre la evolución geotectónica del Precámbrico y Paleozoico del Norte Argentino. 2° Congreso Iberoamericano de Geología Económica, Actas 4: 341-362, Buenos Aires.
- Sánchez, M.C. y Salfity, J.A. 1999. La cuenca cámblica del Grupo Mesón en el noroeste argentino: Desarrollo estratigráfico y paleogeográfico. En Colombo, F., Querault, I., Petrinovic, I. (eds.) *Geología de los Andes Centrales Meridionales: El Noroeste Argentino*. *Acta Geológica Hispánica* 34: 123-139, Barcelona.
- Schmidt, C.J., Astini, R.A., Costa, C.H., Gardini, C.E. y Kraemer, P.E. 1995. Cretaceous rifting alluvial fan sedimentation and Neogene inversion, Southern Sierras Pampeanas, Argentina. En Tankard, A.J., Suarez Soruco, R. y Welsink, H.J. (eds.) *Petroleum basins of South America*. *American Association of Petroleum Geologists*, *Memoir* 62: 341-358.
- Segerstrom, K. y Turner, J.C. 1972. A conspicuous flexure in regional structural trend in the Puna of Northwestern Argentina. *U.S. Geological Survey, Professional Paper*, 800b: 205-209, Washington.
- Seggiaro, R. y Hongn, F. 1999. Evolución orogénica y volcanismo cenozoico en el noroeste de Argentina. En Colombo, F., Querault, I., Petrinovic, I. (eds.) *Geología de los Andes Centrales Meridionales: El Noroeste Argentino*. *Acta Geológica Hispánica* 34: 227-242. Barcelona.
- Seggiaro, R., Aris, J., Heredia, N., Gallardo, E., Rodríguez, R., Gallastegui, G. y Alonso, J. L. 2008. Estructuras extensionales ordovícicas en la Cordillera Oriental, Noroeste Argentino. 17° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 43-44, Jujuy.
- Starck, D. y Vergani, G. 1996. Desarrollo Tectosedimentario del Cenozoico en el Sur de la provincia de Salta-Argentina. 13° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 433-452, Buenos Aires.
- Trumbull, R., Riller, U., Oncken, O., Scheuber, E., Munier, K. y Hongn, F. 2006. A compilation of space-time distribution of Cenozoic volcanism in the Central Andean arc, pattern recognition and a conservative assessment of tectonic significance. En Oncken, O., Chong, G., Franz, G., Giese, P., Götze, H., Ramos, V., Strecker, M. y Wigger, P. (eds) *The Andes: Active subduction orogeny*. *Frontiers in Earth Sciences*, Springer Verlag Chapter 2: 29-43.
- Tubía, J. M., Hongn, F., Aranguren, A., Vegas, N. y Mon, R. 2005. Estructura del batolito de Tastil (Salta): aportaciones de la geología de campo y de la susceptibilidad magnética. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 501-509, La Plata.
- Tubía, J.M., Hongn, F. y Aranguren, A. 2008. Inversión tectónica en la corteza dúctil: basamento neoproterozoico-paleozoico inferior de la sierra de Cachi (Salta). 17° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 55-56, Jujuy.
- Turner, J.C. 1959. Estratigrafía del cordón de Escaya y de la sierra de Rinconada (Jujuy). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 13(1): 15-39.
- Turner, J.C. (ed.) 1979. *Geología Regional Argentina*. Segundo Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias, 1, 675 p. Córdoba.
- Turner, J.C. y Méndez, V. 1975. *Geología del sector oriental de los departamentos de Santa Victoria e Iruya, Provincia de Salta*. República Argentina. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias* 51(1-2): 11-24, Córdoba.
- Turner J.C. y Mon, R. 1979. Cordillera Oriental. En Turner, J.C. (ed.) *Geología Regional Argentina*. Segundo Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias 1: 57-94, Córdoba.
- Vergani, G. y Starck, D. 1989. Aspectos estructurales del Valle de Lerma al sur de la Ciudad de Salta. *Boletín de Informaciones Petrolíferas*, 16: 2-9, Buenos Aires
- Willner, A. y Miller, H. 1992. A discussion of "The structure of the Precambrian and Lower Paleozoic Basement of the Central Andes between 22° and 32° S Latitude." by Mon and Hongn. *Geologische Rundschau* 81: 795-798. Stuttgart.
- Willner, A., Lottner U. y Miller, H. 1987. Early Paleozoic Structural Development in the NW Argentina Basement of the Andes and its implication for geodynamic reconstructions. En McKenzie, G.D. (ed.) *Gondwana Six: Structure, Tectonics and Geophysics*. *American Geophysical Union, Geophysical Monographs* 4: 229-240.

Recibido: 2 de noviembre, 2009

Aceptado: 7 de diciembre, 2009