



Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

journal homepage: www.sgp.org.pe ISSN 0079-1091

Inversión de las cuencas del triásico superior del Norte de Chile: ejemplo de la zona triangular de la Sierra de Varas, Precordillera CA. 24°30'S

Francisca Robledo, Rodrigo González, Daniela Espinoza.

Universidad Católica del Norte, Antofagasta, Chile.

RESUMEN

La Sierra de Varas, principal cordón montañoso de la Precordillera entre los 24°30' y 25°S, es el resultado de una serie de eventos tectónicos superpuestos, relacionados a la evolución del Ciclo Andino. El estilo estructural dominante corresponde a una zona triangular tipo piel gruesa constituida por estructuras compresivas que involucraron deformación de tipo piel delgada y gruesa. El evento compresivo que provocó el desarrollo de estas estructuras puede ser correlacionado con las fases compresivas del Cretácico Superior. Las estructuras compresivas corresponden a un sistema de fallas inversas de doble vergencia que, producto su propagación, propagaron pliegues que deformaron la cobertura mesozoica (*fault-related-folds*). El desarrollo de esta zona triangular estuvo fuertemente controlado por la existencia de estructuras extensionales preexistentes que controlaron el desarrollo de la cuenca sedimentaria del Triásico Superior. A partir del estudio de estructuras invertidas y de fallas normales sinsedimentarias, nuestros resultados muestran que la arquitectura de la Cuenca Domeyko en la Sierra de Varas estuvo controlada por la interacción de fallas hoy orientadas N-S y ONO-ESE a NO-SE que generaron depocentros asimétricos con hemigraben separados por paleo-altos estructurales. Estos resultados concuerdan con trabajos precedentes que sugieren que las fallas normales invertidas jugaron un rol fundamental durante los episodios compresivos de finales del Mesozoico y Cenozoico registrados en el N de Chile.

Palabras Claves: Zona triangular, Fase Peruana,

Fase K-T, Cuenca Domeyko, inversión de cuencas

ABSTRACT

The Sierra de Varas is the main mountain range of the Precordillera between 24°30' y 25°S and it record the combination of a series of superimposed deformation events related to the Andean Cycle. The main structural style corresponds to a compressive triangular zone made up through thick-skinned and thin-skinned compressive structures. This compressive event has opposed dipping thrust system and faults-related-folds and it has been correlated with the Late Cretaceous compressive phases. This structural style is part of fold and thrust belt of the Precordillera with folds-related-faults. The development of the triangular zone was controlled by the inherited synsedimentary extensional structures related to the Late Triassic sedimentary basin of the Domeyko Basin. Our results show the synsedimentary normal faults in the Sierra de Varas was oriented in the present N-S and WNW-ESE to NW-SE orientations, with asymmetric depocenters in hemigraben separated by structural paleo-high. This interpretation is agreed with previous works suggesting the inverted normal faults have an essential role during the later Mesozoic and Cenozoic compressive episodes recorded in the N Chile.

Key words: Triangular zone, Peruana Phase, K-T Phase, Domeyko Basin, basin inversion

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la Precordillera del norte de Chile durante el lapso Pérmico Medio-Cretácico Inferior se desar-

rolló la Cuenca Domeyko (Ezpinoza et al., en revisión) en una configuración de subducción, que tuvo dos etapas de *synrift* (Triásico Medio-Superior y Triásico Superior) y que fue rellenada por depósitos sedimentarias y volcánicos. Hacia finales del Cretácico Inferior la configuración tectónica cambió de un régimen extensional a uno compresivo, en este sentido, las rocas que afloran en la Pre-cordillera registraron dos eventos compresivos. El primer evento ocurrió a finales del Cretácico Inferior y ha sido asignada en el N de Chile a la Fase Peruana (Charrier y Vicente, 1972). El segundo evento corresponde a la Fase de Deformación K-T que ocurrió en el límite Cretácico Superior-Paleoceno (Cornejo y Mpodozis, 1996; Cornejo et al., 2003). Ambos eventos provocaron la inversión tectónica de las cuencas extensionales Mesozoicas y generaron la propagación hacia el E de rampas y fallas inversas que involucraron basamento (Amilibia et al., 2008; Martínez et al., 2017). A pesar de las evidencias de existencia de rasgos de inversión y existencia de fallas normales sinsedimentarias, aún no se ha develado la geometría de la cuenca triásica y el estilo estructural y cinemático de su inversión tectónica positiva. En este sentido, la Sierra de Varas es una zona idónea para realizar un estudio detallado sobre las estructuras compresivas y así poder comprender su relación con el evento extensional relacionado a la Cuenca de Domeyko. El objetivo del presente trabajo es develar la arquitectura de la Cuenca Domeyko durante el Triásico Superior en la actual Cordillera del Norte de Chile mediante el estudio estructural de la zona triangular.

METODOLOGÍA

Con el objetivo de determinar la geometría y cinemática de inversión de las fallas sinsedimentarias triásicas se realizó un mapeo geológico-estructural a escala 1:25.000, el análisis cinemático de fallas mediante el método de los diedros rectos (Faultkin 6.0; Marret y Allmendinger, 1990; Allmendinger et al., 2012), análisis estereográfico de datos estructurales (estratificación, clivaje y planos de fallas) y el despliegue (*unfolding*) de fallas normales sinsedimentarias para restituir su orientación original previa alplegamiento.

MARCO GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL

Las rocas más antiguas expuestas en el área de estudio corresponden al basamento de rocas ígneas del Carbonífero Superior-Pérmico Inferior; 315-290 Ma, y son: el Complejo Plutónico Sierra de

Varas (Pérmico Inferior, 295-288 Ma; González et al., 2015). El registro estratigráfico del Mesozoico está constituido por el relleno sedimentario de una cuenca perivolcánica continental que se desarrolló durante el Triásico Superior (Formación Sierra de Varas, Nórico Superior a Rético Superior) y una sucesión predominantemente volcánica subaérea contemporánea (Nórico-Rético; González et al., 2015). Posteriormente, se depositó una secuencia marina calcárea que rellenó la cuenca de trasarco Jurásica (Formación Profeta, Rético-Tithonia-no; Chong, 1973, Prinz et al., 1994, Ardill et al., 1998), al E del arco magmático ubicado en la actual Cordillera de la Costa.

RESULTADOS

Estructuras extensionales relacionadas a la extensión triásico superior

Se midieron 70 fallas normales sinsedimentarias y se reconocieron estructuras asociadas como anticlinales tipo roll over y estratos de crecimientos, las cuales afectaron a las rocas de la Formación Sierra de Varas. Los análisis de la orientación de planos de fallas normales sinsedimentarias y cinemático de las fallas normales con *datum* completo entregaron direcciones de extensión semejante orientadas NO-SE (Fig. 1a y b).

Estructuras compresivas

Las fallas inversas tienen doble vergencia y presentan rumbos orientados NS a NE-SO. El análisis de todas las fallas inversas con *datum* completo permitió determinar un acortamiento en la dirección NO-SE (Fig. 1c). Por su parte, los pliegues corresponden a *fault-related-folds* formados por deslizamiento flexural a lo largo de los planos de estratificación (*flexural slip*), con planos axiales subpaleos a las trazas de las fallas inversas, y, en general, con geometrías de anticlinales en los bloques colgantes y sinclinales en los bloques yacentes. A partir del análisis de todos los planos de estratificación medidos en el área se puede interpretar una dirección de acortamiento en la dirección ca. EO (Fig. 1d).

Zona triangular

Las zonas triangulares comprenden el desarrollo de fallas inversas con vergencia opuesta, ocurren en fajas plegadas y corridas cercanas al frente de deformación y están asociadas a márgenes activos en zonas de colisión y subducción (MacKay et al., 1996, Barnes y Nicol, 2004). La zona trian-

gular analizada en la presente investigación está constituida por fallas normales invertidas, fallas inversas de nueva formación y pliegues asociados que involucraron deformación de tipo piel delgada y gruesa (Fig. 2). El sector occidental de la zona triangular está conformado por estructuras com-

presivas con vergencia E y tiene como estructura principal la Falla Cerro Verde, mientras que el sector oriental está constituido por estructuras con vergencia O y tiene como estructura principal la Falla Llano (Fig. 2).

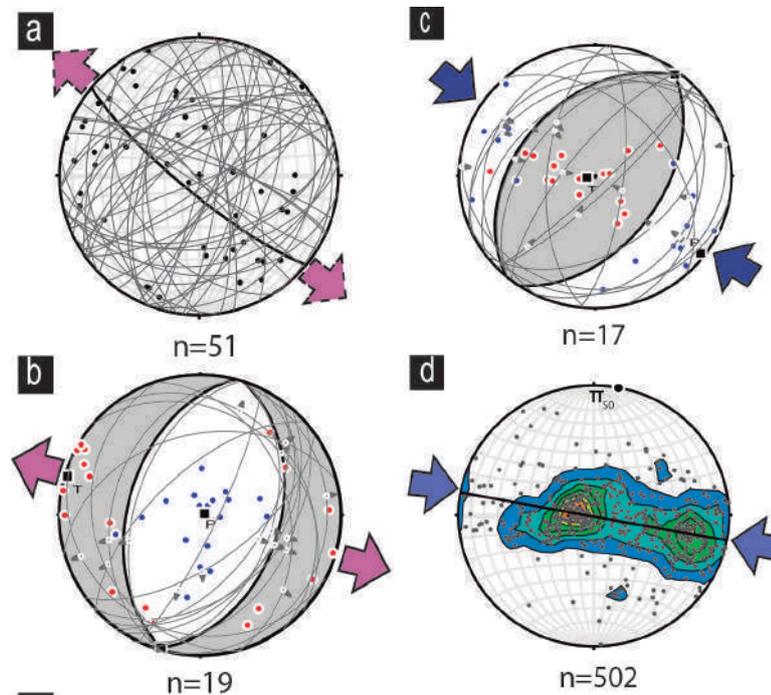


Figura 1. a) fallas normales sinsedimentaria. b) Análisis cinemático de fallas normales sinsedimentarias. c) Análisis cinemático de fallas inversas. d) diagrama π del plegamiento. Figuras a y d, puntos negros: polos de planos de fallas y planos de estratificación; puntos rojos y azules: ejes de extensión y acortamiento, respectivamente; diedros de extensión en gris y de acortamiento en blanco. Las flechas azules y rosadas indican las direcciones de acortamiento y extensión interpretadas.

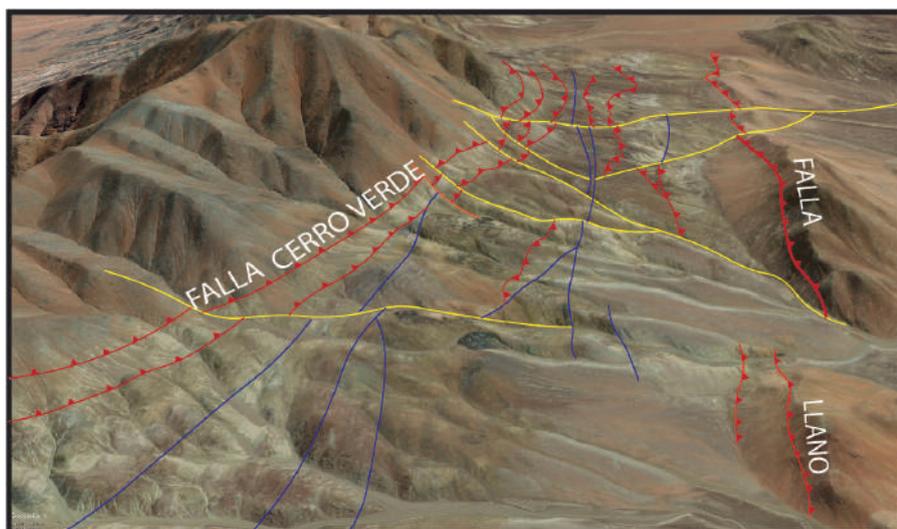


Figura 2. Zona triangular. Distribución de las fallas que afloran en el área de estudio. En rojo fallas inversas, en azul y amarillo fallas con desplazamientos laterales a lo largo de sus rumbos.

DISCUSIÓN: LA CUENCA DOMEYKO EN LA SIERRA DE VARAS DURANTE EL TRIÁSICO SUPERIOR

La geometría de la Cuenca Domeyko en la Sierra de Varas probablemente estuvo controlada por fallas orientadas NS a NO-SE y las fallas Cerro Verde y Llano corresponderían a estructuras de primer orden durante el desarrollo de la cuenca. Estas habrían generado un depocentro asimétrico con hemigraben separados por un horst (paleo alto estructural) y, probablemente la cuenca tuvo una geometría tipo cuenca *pull-apart* o *releasing bend*. Debido a la existencia de fallas normales de naturaleza sinsedimentaria y de facies grano-decrecientes posiblemente asociadas a depósitos de talud relacionados a la actividad de fallas (Contreras, 2015; González et al., 2015), las rocas de la Formación Sierra de Varas representan el relleno de Cuenca Domeyko durante la etapa synrift II (Espinoza et al., en revisión), durante esta etapa la sedimentación ocurrió de manera contemporánea a la actividad de las fallas. El análisis de fallas normales sinsedimentarias permite indicar que la dirección de extensión durante la etapa *synrift* fue ONO-ESE a NO-SE (Fig. 2a y b). En la Sierra de Varas, y sobre la base de dataciones radiométricas U-Pb en circón en rocas de la Formación Sierra de Varas (González et al., 2015), este evento *synrift* puede ser acotado para el lapso de 210-200Ma (Nórico). De acuerdo con González et al. (2015), en la Sierra de Varas el ingreso del mar habría comenzado a los 200Ma, esta edad puede ser asociada al inicio de la etapa de postrift que corresponde al desarrollo de la cuenca de trasarco de la primera etapa del Ciclo Andino.

CONCLUSIONES

En la Sierra de Varas hubo un evento extensional extensional NO-SE que provocó el desarrollo de una cuenca asimétrica rellena por secuencias continentales *synrift* durante el Nórico-Rético. Esta cuenca fue invertida según un estilo estructural dominado por un sistema de propagación de fallas inversas de doble vergencia y pliegues asociados que involucraron deformación de tipo piel delgada y gruesa. La orientación y distribución de las fallas inversas reconocidas estuvo fuertemente controlada por estructuras extensionales preexistentes. Este arreglo estructural es característico de fajas plegadas y corridas con una geometría de zona triangular de tipo piel gruesa. La deformación compresiva estudiada en este trabajo

puede ser correlacionada con los eventos compresivos estudiados en otros sectores de la Precordillera y son las fases de deformación Peruana y K-T (Charrier y Vicente, 197; Cornejo y Mpodozis, 1996; Cornejo et al., 2003; Bascuñán et al., 2015).

REFERENCIAS

Allmendinger, R. W.; Cardozo, N.C.; Fisher, D. 2002. *Structural Geology Algorithms: Vectors & Tensors*: Cambridge, England, Cambridge University Press, 289 pp.

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 Domeyko. *Journal of Structural Geology* 30: 1520-1539.

Ardill, J.; Flint, S.; Chong, G.; Wilke, H.G. 1998. Sequence stratigraphy of the Mesozoic Domeyko Basin, Northern Chile. *Journal of the Geological Society* 155 (1), 71-88.

Charrier, R.; Vicente, J.C. 1972. Liminary and geosynclines Andes; Major orogenic phases and synchronical evolution of the central and austral sectors of the Southern Andes. *Conferencia sobre problemas de la tierra sólida 2*: 451-470. Buenos Aires.

Charrier, R., Pinto, L., Rodríguez, M.P. 2007. *Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile*. – In: *Moreno, T., Gibbons, W. (Eds.)*. *The Geology of Chile*: 21-114.

Charrier, R.; Farías, M.; Makshev, V. 2009. Evolución tectónica, pleogeográfica y metalogénica durante el Cenozoico en los Andes de Chile Norte y Central e implicaciones para las regiones adyacentes de Bolivia y Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 65(1): 5-35.

Cornejo, P.; Matthews, S.; Pérez de Arce, C. 2003. The “K-T” Compressive Deformation Event in Northern Chile (24°-27°). En *Congreso Geológico Chileno 10*. Concepción.

Espinoza, M.; Montecino, D.; Oliveros, V.; Astudillo, N.; Vásquez, P.; Reyes, R.; Celis, C.; González, R.; Contreras, J.; Creixell, C.; Martínez, A. en revisión. The *synrift* phase of the early Domeyko Basin (Triassic, northern Chile); Sedimentary, volcanic and tectonic interplay in the evolution of an ancient subduction-related rift basin.

González R., Wilke, H.-G., Menzies, A., Espinoza, F, Riquelme, R, Herrera, C. 2015 (a). Carta Sierra de Varas, Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, mapa 1:100.000.

Marret, R. A.; y Allmendinger, R. W. 1990. Kinematic analysis of fault-slip data: *Journal of Structural Geology*, v. 12, p. 973-986.

Martínez, F.; González, R.; Bascuñan, S.; Arriagada, C. 2017. Structural styles of the Salar de Punta Negra Basin in The Preandean Depression (24°-25°S) of the Central Andes. *Journal of South American Earth Sciences*.

Mpodozis, C., Marinovic, C. & Smoje, I. 1993. Estudio geológico estructural de la Cordillera de Domeyko entre Sierra Limón Verde y Sierra Mariposas Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago, IR 93-04.

Prinz, P.; Wilke, H.G.; Hillebrandt, A. 1994. Sediment accumulation and subsidence history in the Mesozoic marginal sea of Northern Chile. En *Tectonics of the Southern Central Andes* (Reutter, K.K, Scheuber, E; Wigger, P.; editors), Springer Verlag, 219-232. Berlin.

Steinmann, G. 1929. *Geologie von Perú*. Karl Winter: 448 p. Heidelberg.