



# Evolución estructural de la fosa del Toro: Influencia de estructuras precretácicas en la faja plegada y corrida andina, Cordillera Oriental argentina

**Agustina VILLAGRÁN<sup>1</sup>, Raúl SEGGIARO<sup>1,2</sup>, Rubén FILIPOVICH<sup>1</sup>, Facundo APAZA<sup>1</sup>, Emilio BARRABINO<sup>1</sup> y Melina CELEDÓN<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO), UNSa-CONICET

<sup>2</sup>Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR)

Emails: villagranagustina@gmail.com, rubenfilipovich@yahoo.com.ar, domingoapaza@gmail.com, barrabinoemilio@gmail.com, melceledon.mc@gmail.com, ruliseggiaro@yahoo.com.ar.

**Editor:** José F. Mescua

Recibido: 1 de julio de 2022

Aceptado: 22 de noviembre de 2022

## RESUMEN

La superposición de los eventos tectónicos registrados en la Cordillera Oriental argentina condicionó el estilo estructural actual. En la quebrada del Toro (provincia de Salta), coincidente con el tramo central del lineamiento Calama-Olapapato-Toro (COT), se reconocen estructuras paleozoicas que habrían ejercido un significativo control estructural durante la tectónica andina. En esta contribución se presentan nuevos datos estructurales, estratigráficos y sedimentológicos de la quebrada del Toro que permitieron un análisis integral mediante la generación de secciones geológicas balanceadas, restituciones de la deformación y modelados cinemáticos 2D (*forward modeling*). Se identificaron al menos dos eventos de deformación. El primero de ellos, desarrollado durante la fase extensional Tumbaya en el Tremadociano tardío, se expresa mediante dos fallas (de La Cruz y Pascha) normales sinsedimentarias, mientras que el segundo, de carácter compresivo, se habría iniciado durante el Eoceno medio, con la generación de corrimientos someros (e.g. corrimiento Toro) y pliegues de gran escala, luego, transportados por fallas inversas de alto ángulo (fallas Gólgota y Lampazar) con despegues profundos. Las relaciones estructurales de ambos eventos de deformación constituyen claras evidencias del control que habrían ejercido las fallas paleozoicas en la localización del corrimiento Toro durante la tectónica andina.

**Palabras clave:** reactivación tectónica, extensión ordovícica, deformación sinsedimentaria, compresión andina, modelado cinemático 2D

## ABSTRACT

*Structural evolution of the Quebrada del Toro Basin: Influence of pre-cretaceous structures on the Andean fold-and-thrust belt in the Argentinian Eastern Cordillera.*

The superimposition of the tectonic events recorded in the Argentinian Eastern Cordillera conditioned the current structural style. In the Quebrada del Toro Basin (Salta province), coinciding with the central section of the Calama-Olapapato-Toro lineament (COT), Paleozoic structures that would have exerted an important structural control during Andean tectonics are recognized. We present new structural, stratigraphic and sedimentological data which allowed an integral analysis through the generation of balanced geological sections, deformation restorations and 2D forward modeling. At least two deformation events were identified. The first one, developed during the Tumbaya extensional phase in the late Tremadocian, is expressed by two synsedimentary normal faults (de la Cruz and Pascha), while the second one, of compressional nature, would have started during the middle Eocene, with the generation of shallow thrusts (e.g. Toro thrust) and large-scale folds, later transported by high-angle reverse faults (Gólgota and Lampazar faults) with deep detachment. The structural relationships of both deformations events are clear evidence of the control that Paleozoic faults would have exerted on the location of the Toro thrust during Andean tectonics.

**Keywords:** tectonic reactivation, Ordovician extension, synsedimentary deformation, Andean compression, 2D forward modeling

## INTRODUCCIÓN

La Cordillera Oriental (Fig. 1a), región en la que se enmarca el área analizada en este trabajo, preserva registros estratigráficos y estructurales correspondientes a diversos eventos tectónicos desarrollados durante los ciclos Pampeano, Famatiniano y Andino. El ciclo Pampeano (Proterozoico-Cámbrico temprano) (Aceñolaza y Toselli 1976) fue parcialmente sincrónico con el ciclo panafricano-brasiliano (Moya 2008), responsable del desmembramiento de Rodinia y la posterior acreción de Gondwana (Almeida et al. 1976, Ramos 1988 y Weinberg et al. 2018). El ciclo Famatiniano (Cámbrico medio-Devónico Tardío) dio inicio a una etapa de extensión regional sobre gran parte del borde oeste gondwánico (Aceñolaza y Toselli 1976), representado por un prolongado proceso de sedimentación controlado principalmente por cambios relativos del nivel del mar, dando como resultado el desarrollo de los ciclos tectono-eustáticos Mesoniano, Victoriano y Cordillerano (Aceñolaza y Toselli 1976 y Moya 2015). Dentro del ciclo Famatiniano tienen lugar distintas fases de deformación tanto compresivas como extensivas, que dieron lugar al cierre, apertura o modificación de las distintas cuencas asociadas. Por último, el ciclo Andino (Cretácico Temprano-Cuaternario) se divide en dos etapas, una extensiva de edad cretácico-paleógena con la instauración de un rift intracratónico (Grier et al. 1991) y otra compresiva, de edad eoceno-reciente, que estructuró el orógeno andino y que reactivó estructuras formadas en ciclos tectónicos previos.

El registro de los diferentes eventos tectónicos permite analizar la relación que existe entre ellos y la influencia en el estilo estructural reciente. En este sentido, Seggiaro et al. (2017a) divide el noroeste argentino en cuatro dominios estructurales, de acuerdo a las reactivaciones andinas de los eventos tectónicos previos: 1) dominio de fallas paleozoicas y cretácicas reactivadas que incluye la Puna y el borde occidental de la Cordillera Oriental, 2) dominio de fallas normales paleozoicas reactivadas en el sector central de la Cordillera Oriental, 3) dominio de fallas paleozoicas inversas reactivadas que ocupa el sector oriental de la Cordillera Oriental y 4) dominio de fallas cretácicas reactivadas en el Sistema de Santa Bárbara.

La influencia de la tectónica extensional cretácica sobre la tectónica andina fue analizada por diferentes autores (e.g. Salfity 1979, Grier et al. 1991, Coutand et al. 2001, Mon et

al. 2005, Kley et al. 2005, Deeken et al. 2006, Monaldi et al. 2008, Hongn et al. 2010a, Iaffa et al. 2011 y Carrera y Muñoz 2013). Así también, son diversos los trabajos que estudiaron la presencia de estructuras precretácicas y el control que éstas ejercieron sobre la configuración actual de los andes en el noroeste argentino (e.g. Mon et al. 1993, Seggiaro y Gallardo 2002, Riller y Hongn 2003, Seggiaro 2004, Hongn et al. 2010a, Alonso et al. 2012, Santimano y Riller 2012, Seggiaro et al. 2014, Barrabino et al. 2017, Seggiaro et al. 2017b, Henríquez et al. 2020 y Celedón 2020).

La presencia de estructuras proterozoicas o anisotropías del basamento habría controlado la localización de fallas normales durante el rift cretácico (Santimano y Riller 2012, Carrera y Muñoz 2013 y Celedón 2020) y también habría contribuido a la doble vergencia en áreas donde las fallas de rift no tuvieron injerencia (Hongn et al. 2010a y Iaffa et al. 2013). Por otro lado, se estudiaron estructuras paleozoicas de cinemática inversa (Henríquez et al. 2020), que en algunos casos registran acortamientos mayores que los andinos (Mon et al. 1993, Alonso et al. 2012, Seggiaro y Aguilera 2014, Seggiaro et al. 2014 y Barrabino 2014). De manera selectiva estas estructuras favorecieron la generación de fallas normales en el Cretácico (Hongn y Seggiaro 1998, Iaffa et al. 2013 y Barrabino 2021) o fueron exhumadas y transportadas pasivamente durante el desarrollo de la faja plegada andina (Seggiaro et al. 2014).

En esta contribución se analiza la influencia de estructuras normales paleozoicas en la evolución tectónica andina de la quebrada del Toro, a partir de evidencias estructurales, sedimentológicas y estratigráficas.

## MARCO GEOLÓGICO

La Cordillera Oriental (Fig. 1a) constituye una faja plegada y corrida doble vergente que involucra el basamento en su deformación (Ramos 1999 y 2017). Limita al oeste con la Puna, al este con las Sierras Subandinas y el Sistema de Santa Bárbara y al sur con las Sierras Pampeanas. Desde el punto de vista estratigráfico, se caracteriza por presentar extensos afloramientos del Complejo Puncoviscana (Zimmermann 2005) (Proterozoico superior-Cámbrico inferior) y Grupo Mesón (Turner 1960) (Cámbrico medio-superior), los cuales están ausentes o poco representados en las provincias geológicas colindantes. Por otro lado, es notoria la ausencia de

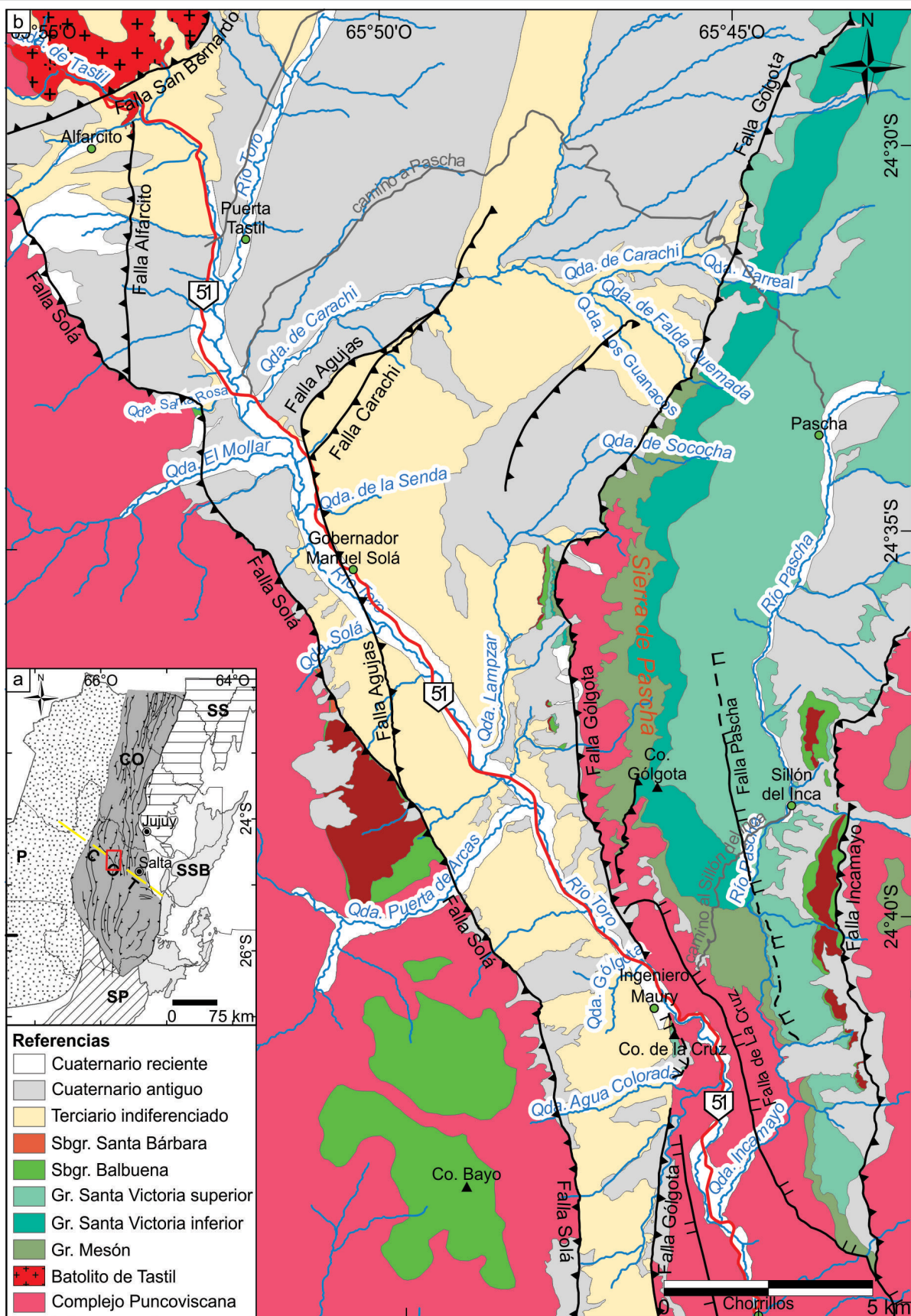


Figura 1. a) Mapa de las Provincias Geológicas del NOA donde se muestra la ubicación del área de estudio (recuadro rojo); b) Mapa geológico (simplificado) de la quebrada del Toro.

volcanismo cenozoico, excepto en el sector occidental donde presenta escasos afloramientos de depósitos piroclásticos (Ramos 1999). Desde el punto de vista estructural se divide en dos segmentos marcadamente diferentes separados por el lineamiento Calama-Olacapato-Toro (COT) (Salfity 1985) de rumbo NO-SE. El segmento norte (al norte de los 24°S), se caracteriza por corrimientos de piel gruesa con marcada persistencia regional y vergencia oriental principalmente (Ramos 1999), mientras que el segmento sur (24°S-27°S) está dominado por estructuras de inversión tectónica (Grier et al. 1991) doble vergente.

## METODOLOGÍAS

Se confeccionaron mapas geológicos a escala general y de detalle del sector oriental de la quebrada del Toro, a partir de relevamientos de campo enfocados en la recolección de datos estructurales, estratigráficos y sedimentológicos.

La evolución de las estructuras fue analizada en base a la construcción de dos secciones estructurales y su restitución geométrica, para lo cual se utilizó la base de la Formación Yacoraite, como nivel de referencia, debido a su cobertura regional. Las restituciones fueron realizadas mediante el programa Estereográfica Web (Cristallini 2022) siguiendo las recomendaciones de Babín Vich y Gómez Ortiz (2010) para rotaciones de elementos mediante red estereográfica.

Para el cálculo de la profundidad de despegue de corrimientos fue utilizado el método de restauraciones por exceso de áreas (Chamberlin 1910), mediante el software Andino 3D (Cristallini et al. 2022). Luego, se realizó la reconstrucción y un modelado cinemático (*forward modelling*) de las estructuras andinas mediante el módulo 2D del software MOVE (Midland Valley Exploration Ltd.). Debido a las características geométricas de las estructuras se utilizó el modelo de “*Trishear*” (Erslev 1991), que son modelos realizados únicamente por métodos computacionales y son apropiados para la representación de estructuras con patrones de deformación complejos que además presentan variaciones de espesores en sus capas. Por lo tanto, el método *Trishear* es el más apropiado para modelar la estructura del sector oriental del área, la cual se caracteriza por un pliegue anticlinal, relacionado a falla, con geometrías curvas, donde su flanco frontal se encuentra vertical a invertido con desarrollo de una zona de intensa deformación y con una marcada reducción en el espesor de las unidades comparadas con las del flanco dorsal.

Finalmente, se utilizó el método Flujo Paralelo a la Falla (*fault-parallel flow*) (Kane et al. 1997 y Egan et al. 1997) que es un algoritmo diseñado para modelar estructuras geológi-

cas en el bloque colgante de una falla donde la deformación se produce por cizalla paralela a la falla, por lo tanto, es apropiado para modelar estructuras de fajas plegadas y corridas y sobre todo plegamientos por flexión de falla (Egan et al. 1999).

## QUEBRADA DEL TORO: ESTRATIGRAFÍA

La quebrada del Toro (Fig. 1b) se ubica entre los paralelos 24°45' S y 24°30' S. Desde el punto de vista estructural constituye una depresión tectónica (fosa), limitada por fallas inversas de alto ángulo con vergencias opuestas, que elevaron la sierra de Pascha, San Bernardo y el cerro Bayo.

Las unidades estratigráficas están integradas por basamento de edad Proterozoico tardío-Cámbrico temprano, representado por sedimentitas levemente metamorizadas del Complejo Puncoviscana (Zimmermann 2005), el Batolito de Tastil (Hongn et al. 2010b) o Complejo Santa Rosa de Tastil (Kilmurray e Igarzábal 1971) de edad cámbrica inferior, integrado por facies de granodioritas grises, pórfidos dacíticos y granitos rojos (Hongn et al. 2010b) que intruyen al Complejo Puncoviscana.

En discordancia angular sobre el basamento, se apoyan sedimentitas clásticas, pertenecientes al Grupo Mesón (Turner 1960) de edad cámbrica media-superior, y le sobreyacen sedimentitas marinas cambro-ordovícicas del Grupo Santa Victoria (Turner 1960). Los estratos de los Grupos Mesón y Santa Victoria afloran al norte del COT y no se registran al sur del mismo, razón por la cual el COT fue interpretado por Sánchez (1994 y 1999) y Sánchez y Salfity (1999) como el límite austral de la cuenca cámbrica. Sin embargo, el Grupo Santa Victoria cubre discordantemente al Grupo Mesón y al basamento cristalino y su ausencia al sur del COT puede explicarse por erosión (Moya 1988a).

El Grupo Mesón está integrado por depósitos marinos de plataforma dispuestos a lo largo de una faja alargada en dirección meridiana, que ocupa la actual Cordillera Oriental de Argentina y el sur de Bolivia. En el área de estudio, aflora principalmente en la sierra de Pascha (Fig. 1b) con 100 m de espesor aproximadamente.

El Grupo Santa Victoria es el registro estratigráfico de una cuenca marina que ocupó gran parte del noroeste argentino. Las unidades ordovícicas se registran en la Puna, Sistema de Famatina, Cordillera Oriental y Sierras Subandinas, con una prolongación al este, en el subsuelo de la Llanura Chaqueña (Moya 1999). En el área de estudio afloran en la sierra de Pascha (Fig. 1b) con un espesor estimado de 1200 metros. Están integradas por una potente sucesión alternante de

cuerpos de arenisca y lutitas de edad cámbrica tardía–arenigiana, que representan episodios sucesivos de transgresión–regresión (Moya 1988a). En algunos sectores se apoyan en discordancia angular sobre el Complejo Puncoviscana (e.g. cerro de la Cruz y quebrada Agua Colorada) (Fig. 1b), mientras que en otros sobreyacen al Grupo Mesón en discordancia de bajo ángulo (e.g. quebradas Falda Quemada, Sococha y cerro Gólgota) (Fig. 1b).

Por encima de las unidades ordovícicas, se apoyan en discordancia los Subgrupos Balbuena y Santa Bárbara (Moreno 1970) del Grupo Salta, de edad cretácico–paleógena. Se destaca la ausencia en la región de los depósitos de sinrift cretácicos del Subgrupo Pirgua debido a que, en esa época, el área formaba parte de un alto estructural identificado como Dorsal Salto–Jujeña (Reyes 1972 y Salfity 1979).

Los depósitos marinos del Subgrupo Balbuena (Moreno 1970), integrados por la Formación Yacoraite, transgredieron los bordes de los depocentros durante el estadio de postrift cretácico (Salfity y Marquillas 1994 y Marquillas et al. 2005), apoyándose sobre distintas unidades del basamento. En el sector oriental del área de estudio (Fig. 1b), sobreyacen a unidades ordovícicas, mientras que en el sector occidental y sudoccidental (Fig. 1b) se apoyan sobre el Complejo Puncoviscana. Los afloramientos de la Formación Yacoraite en el área de estudio presentan espesores de 40 metros aproximadamente.

En conformidad sobre la Formación Yacoraite se disponen las Formaciones Mealla, Maíz Gordo y Lumbrera del Subgrupo Santa Bárbara (Moreno 1970), las cuales constituyen depósitos lacustres y fluviales desarrollados en una cuenca de sag (del Papa et al. 2002 y del Papa 2006).

Por encima del Grupo Salta y en discordancia erosiva se apoyan las unidades terciarias representadas por rocas continentales sinorogénicas clásticas, volcanoclásticas y volcánicas de edad paleógeno–neógena. Los estratos más antiguos identificados como Formación Peña Agujero (Gallardo 1981), fueron recientemente correlacionados con las Formaciones paleógenas Quebrada de Los Colorados y Casa Grande (Montero López et al. 2017). Éstas últimas, representan los depósitos de una cuenca de antepaís fragmentada, cuyas evidencias de depositación sinorogénica fueron registradas en los Valles Calchaquíes (Hongn et al. 2007, Payrola Bosio et al. 2009, del Papa et al. 2013 y Aramayo et al. 2017), en la Cordillera Oriental de Jujuy (Montero López et al. 2018) y en la Puna (Apaza et al. 2018).

A partir del Neógeno, la fosa del Toro se estructuró como una cuenca intermontana, parcialmente aislada del valle de Lerma y de la Puna (Marrett y Strecker 2000). Las unidades depositadas en esta cuenca fueron ampliamente estudia-

das por diversos autores (e.g. Mauri et al. 1946, Báez 1950, Schwab y Schäfer 1976, Gallardo 1981, Fernández Pérez 1984, Marrett y Strecker 2000, Matteini et al. 2004, Hilley y Strecker 2005, Molina Castillo 2006, Lucena 2007, Mazzuoli et al. 2008 y Vezzoli et al. 2012). Recientemente, Villagrán (2020) realizó un nuevo esquema estratigráfico de los depósitos terciarios de la fosa del Toro, integrado por la Formaciones Peña Agujero (Paleógeno), Carachi (Mioceno inferior a medio), Agujas (Mioceno medio a superior), Gólgota (Mioceno superior), Solá (Mioceno superior), Alfarcito (Mioceno superior–Plioceno) y el complejo magmático Las Burras–Almagro–El Toro, dentro del cual fueron definidos siete miembros litoestratigráficos volcánicos (Vezzoli et al. 2009, 2012 y Mazzuoli et al. 2008) intercalados.

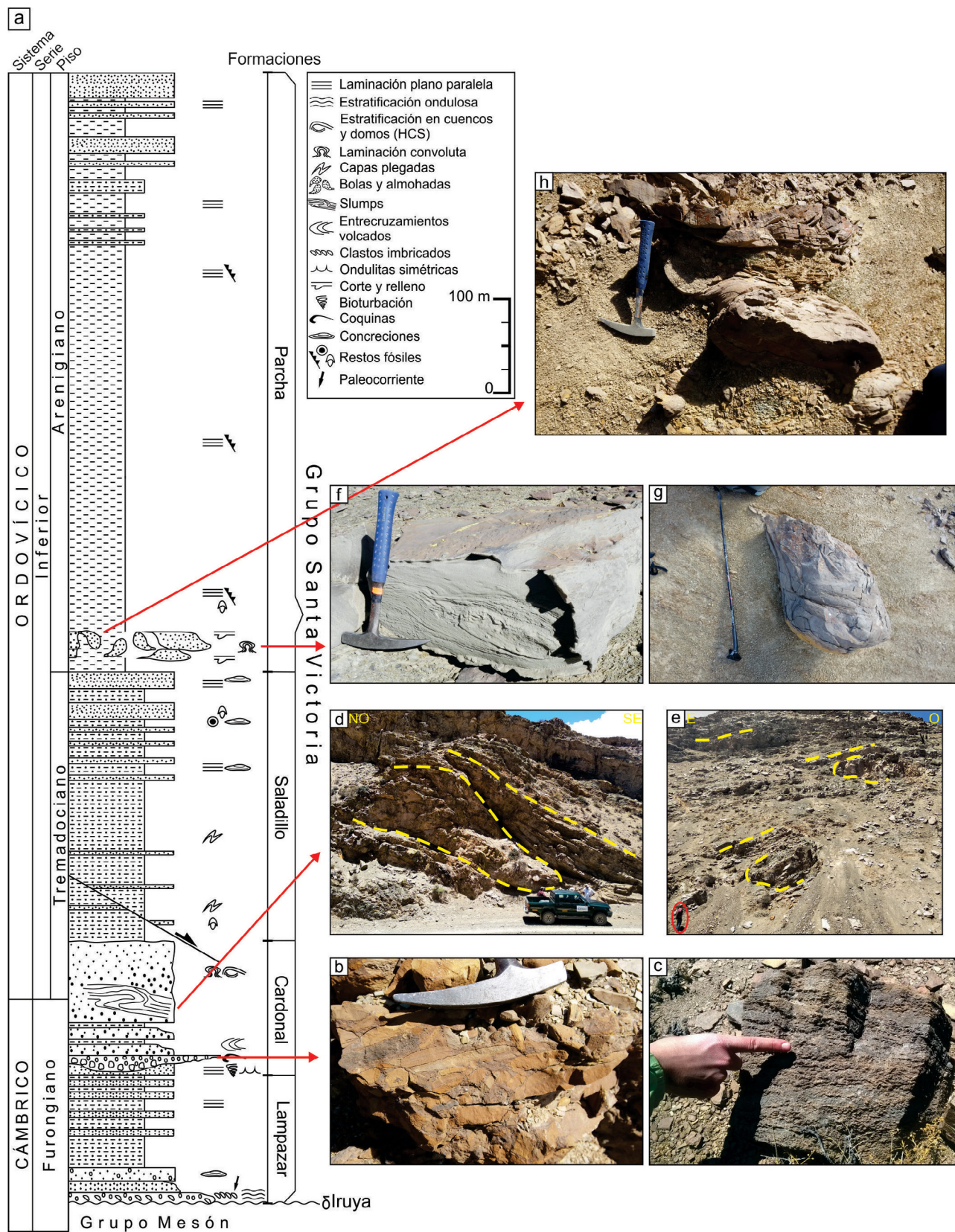
Los depósitos cuaternarios se diferencian en antiguos (Trauth y Strecker 1999 y Lucena 2007), dispuestos en discordancia sobre sedimentitas terciarias plegadas, y recientes, producto de sistemas fluviales (Tofelde et al. 2017), lagos temporarios (Strecker y Marrett 1999 y Veizaga Saavedra 2022) y flujos gravitacionales (Hermanns y Strecker 1999).

## Evidencias de inestabilidad tectónica en la cuenca ordovícica

El Grupo Santa Victoria (Fig. 2) está integrado por las Formaciones Lampazar, Cardonal y Saladillo de edad tremadociana equivalentes a la Formación Santa Rosita (Turner 1960) y la Formación Parcha de edad arenigiana, equivalente a la Formación Acoite (Turner 1960). A los fines del mapeo y del análisis estructural se dividió el Grupo Santa Victoria en inferior, integrado por las Formaciones Lampazar y Cardonal y superior con las Formaciones Saladillo y Parcha (Fig. 1b).

El Grupo Santa Victoria inferior se caracteriza por la presencia de areniscas cuarzosas y lutitas verdes subordinadas. En su parte media aflora un depósito de conglomerados polimícticos, gruesos a muy gruesos (Fig. 2b), matriz soportados, con clastos de cuarcitas grises, lutitas verdosas, concreciones y coquinas negras. El depósito es caótico, muy bien cementado y de color gris verdoso. A partir de las características litológicas y texturales, fueron interpretados como conglomerados intraformacionales, que presentan bloques de calizas y fósiles que no están preservados en el área y representan depósitos mezclados, retrabajados y resedimentados de áreas cercanas (Moya 1988a y Astini 2003).

Desde la parte media hacia el techo de la unidad es notable la presencia de estructuras generadas por esfuerzo de cizalla en sedimentos licuefactados (e.g. estratificación entrecruzada volcada o plegada, laminación convoluta) y estructuras de desmoronamiento (*slumps*) (Collinson et al. 2006) (Figs. 2d y e) con dimensiones que oscilan entre 4 y 12 me-



**Figura 2.** a) Columna estratigráfica del Grupo Santa Victoria; b) Conglomerado polymítico grueso a muy grueso; c) Detalle de los sectores en donde la matriz está formada por una coquina de color negro; d-e) Estructuras de desmoronamiento (*slumps*) donde se observan sus características principales y sus dimensiones (escala persona en círculo rojo); f) Laminación convoluta; g) Estructuras de deformación por carga y desmembramiento (*ball and pillows*); h) *Ball and pillow* con deformación plástica.

tros aproximadamente. La paleopendiente calculada a través de los *slumps* estaría orientada en dirección SE (Fig. 3a) y los ejes de los pliegues habrían permanecido aproximadamente perpendiculares a la dirección de movimiento (Figs. 3b y c).

El Grupo Santa Victoria superior está constituido principalmente por pelitas de colores verde amarillento a verde oscuro e intercalan algunos bancos de areniscas finas. En el sector medio de la unidad aflora una capa de arenisca tabular denominada “megacapa Parcha” (Astini 2002). Esta capa guía constituye un banco de areniscas amalgamadas, grano y estratocreciente, con desarrollo de estructuras de corte y relleño, laminación convoluta (Fig. 2f) y variadas estructuras de deformación por carga y desmembramiento (*ball and pillows*, *boudinage*, Figs. 2g y h), en ocasiones con aparente deformación plástica (Fig. 2h). Las características que presenta esta “megacapa” permitieron a Astini (2002), interpretarla como una sismita compuesta.

## ESTRUCTURA

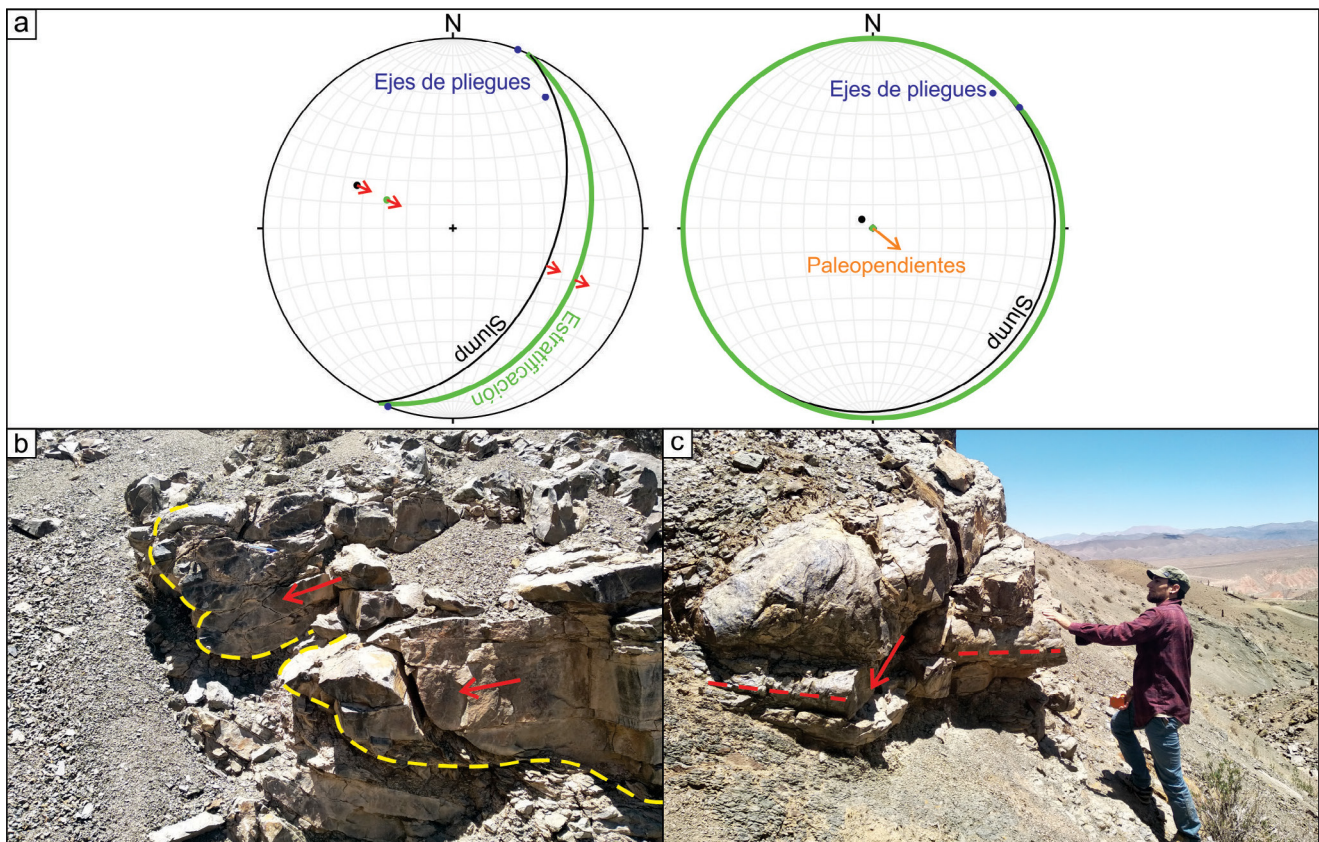
Las principales estructuras de la zona de estudio están configuradas por fallas de alto ángulo y vergencias opues-

tas que elevaron las sierras que constituyeron las fuentes de aporte de las unidades cenozoicas (Marrett y Strecker 2000 y Mazzuoli et al. 2008) y delimitaron la fosa tectónica del Toro (Fig. 1b).

A continuación, se analizan e interpretan las estructuras del sector oriental del área en tres tramos. La falla Gólgota (Fig. 1b) es la estructura principal que forma el límite este de la fosa del Toro (Vilela 1956, Turner 1960 y Schwab y Schäfer 1976) y eleva la sierra de Pascha. Su traza, de más de 30 kilómetros de longitud, varía hacia el sur de rumbo NNE-SSO a NNO-SSE donde adopta una orientación aproximadamente paralela al COT. Por otro lado, la falla Solá (Fig. 1b) limita la fosa por el sudoeste y presenta rumbo NO-SE.

**Tramo norte (Fig. 4a):** La falla Gólgota presenta una orientación NNE-SSO e inclinaciones de 60° a 70°ESE. En su bloque colgante aflora un pliegue anticlinal (Pascha), cilíndrico, asimétrico, abierto y con vergencia noroccidental, constituido por el Complejo Puncoviscana, en su núcleo y los Grupos Mesón y Santa Victoria, en sus flancos. El bloque yaciente está integrado por unidades terciarias dispuestas en un sinclinal identificado en la quebrada Carachi.

La falla Gólgota desarrolló una brecha de 20 a 40 m de espesor en el bloque colgante donde se registraron estrías



**Figura 3.** a) Restauración de la estratificación a la horizontal, a través de la cual se determina la paleopendiente (SE) en la que se formaron los *slumps*; b) Detalle de los *slumps*, marcado con líneas de trazos amarillos se observan los pliegues generados en la parte frontal de las estructuras, c) con líneas de trazos rojos se observan los ejes de los pliegues aproximadamente perpendiculares a la dirección de movimiento.

que indican deslizamiento de inclinación. La expresión cartográfica de la falla (Fig. 4a) muestra que, su rechazo aumenta de norte a sur, exponiendo gradualmente las unidades más antiguas del bloque colgante.

**Tramo medio (Fig. 4b):** La sección A-A' (Fig. 5a) muestra el anticlinal Pascha, que de acuerdo con sus características geométricas (flanco frontal invertido, cresta plana y flanco dorsal suave), habría sido generado por un corrimiento ciego, relativamente somero (corrimiento Toro) y posteriormente transportado por la falla Gólgota. La falla Gólgota de orientación N-S (54°E), corta la charnela del anticlinal Pascha desplazando al Complejo Puncoviscana sobre el Grupo Mesón (Fig. 5b) y sobre la Formación Alfarcito (Figs. 5b y c). Al oeste de la misma el desplazamiento se transfiere a la falla Lampazar de orientación N-S y ángulo elevado (50°E), poniendo en contacto a la Formación Peña Agujero del bloque colgante con la Formación Alfarcito del bloque yacente (Fig. 5b).

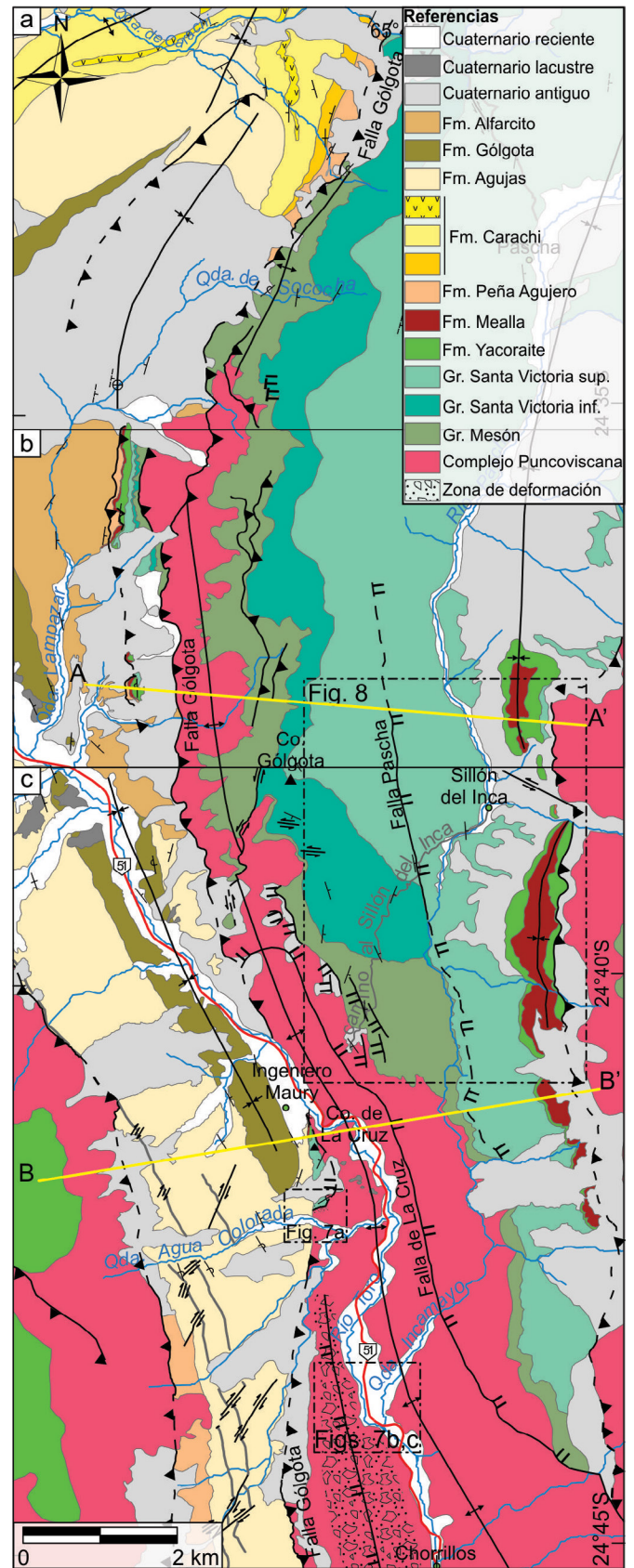
El flanco dorsal del pliegue Pascha, integrado por los Grupos Mesón y Santa Victoria, se encuentra afectado por fallas inversas que repiten las unidades del Grupo Mesón, generando pliegues anticlinales y sinclinales menores con vergencia occidental (Figs. 5a y d).

En el extremo oriental de la sección A-A', un sinclinal apretado (Fig. 5e) integra el bloque yacente de la falla Incamayó que pone en contacto el Complejo Puncoviscana con el Grupo Santa Victoria (Fig. 5e) y con la Formación Yacoraite.

**Tramo sur (Fig. 4c):** En inmediaciones a Ingeniero Maury se realizó la sección B-B' (Fig. 6a) que se extiende desde el cerro Bayo, hasta la base del cerro Pacuy y pasa por el cerro de La Cruz en su parte media. La característica principal de esta sección es que, a lo largo de la misma aflora la Formación Yacoraite en discordancia con el Grupo Santa Victoria al este y con el Complejo Puncoviscana al oeste, mostrando un sustrato fuertemente heterogéneo.

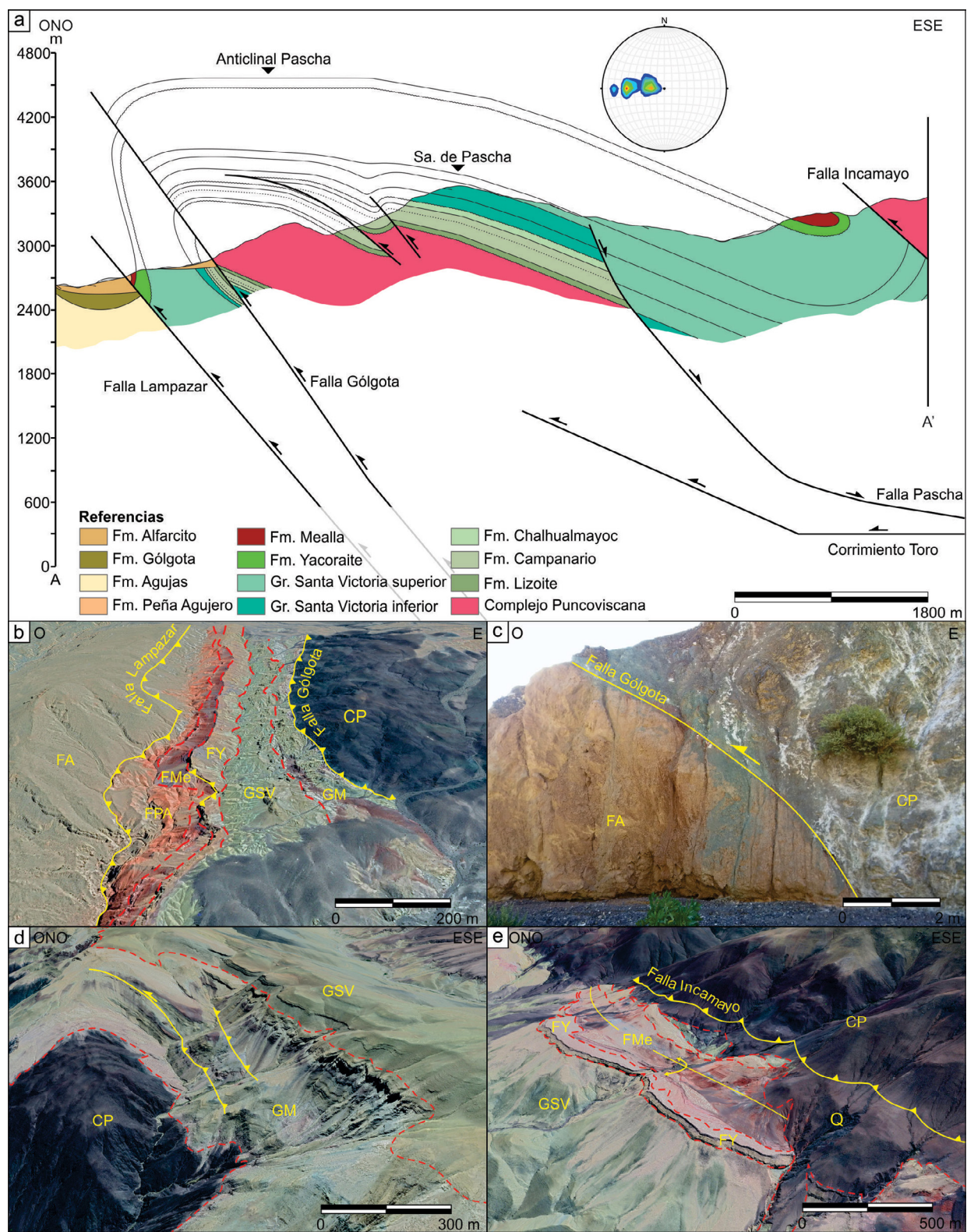
La estructura principal interpretada es el anticlinal Pascha (Fig. 6a), que presenta vergencia occidental con un flanco frontal invertido y adelgazado que aflora parcialmente en el cerro de La Cruz y un flanco dorsal suave a inclinado que aflora en la sierra de Pascha. El flanco dorsal del pliegue está integrado por el Complejo Puncoviscana, el Grupo Mesón y el Grupo Santa Victoria superior. El flanco frontal del pliegue está integrado por el Complejo Puncoviscana, el Grupo Santa Victoria superior y la Formación Yacoraite. Sobre la Formación Yacoraite sobreyacen las sedimentitas de la Formación Mealla y a su vez, en contacto erosivo sobre las mismas, se apoyan las unidades más jóvenes de la Formación Agujas (Villagrán 2015).

Si bien el flanco frontal del pliegue se encuentra intensamente deformado y adelgazado, la falla Gólgota no pudo ser



**Figura 4.** Mapa geológico de detalle del sector oriental de la fosa del Toro. a) Tramo norte, b) Tramo medio y c) Tramo sur.



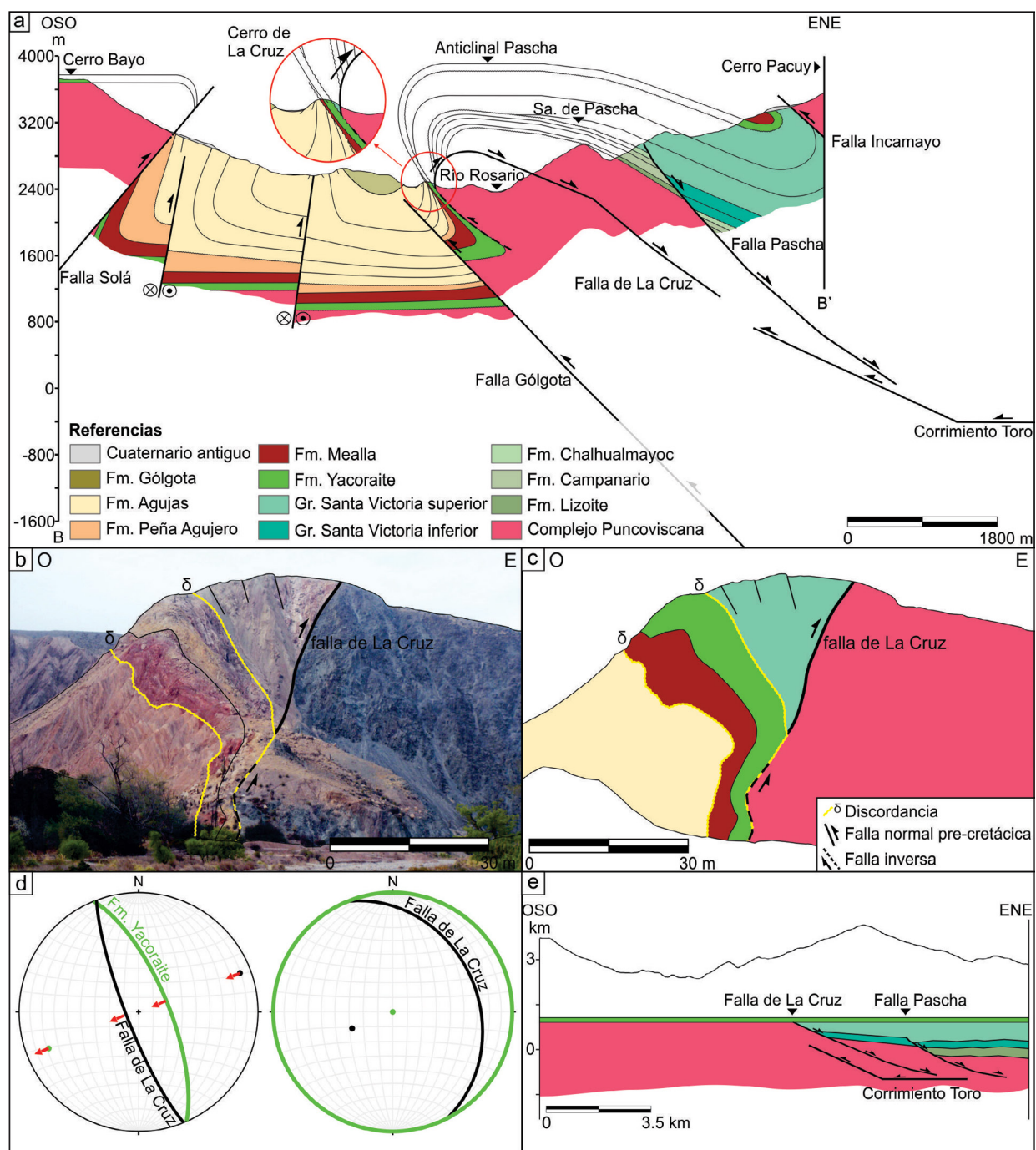


**Figura 5.** a) Sección geológica-estructural A-A'; b) Imagen Google Earth del flanco frontal del anticlinal Pascha que se encuentra invertido y limitado por dos fallas inversas de alto ángulo. CP: Complejo Puncoviscana, GM: Grupo Mesón, GSV: Grupo Santa Victoria, FY: Formación Yacoraite, FMe: Formación Mealla, FPA: Formación Peña Agujero, FA: Formación Alfarcito; c) Fotografía de la falla Gólgota, que pone en contacto el Complejo Puncoviscana con la Formación Alfarcito; d) Imagen Google Earth del flanco dorsal del pliegue Pascha, dos fallas inversas repiten las unidades del Grupo Mesón generando pliegues anticlinales y sinclinales menores; e) Imagen Google Earth de la falla inversa Incamayayo, en su bloque yacente aflora un pliegue sinclinal apretado integrado por el Grupo Santa Victoria, la Formación Yacoraite y la Formación Mealla, abanicos aluviales cuaternarios (Q) cubren la estructura.

identificada en este sector por lo que se interpreta que se encontraría en profundidad ya que aflora pocos kilómetros al norte y al sur del cerro de La Cruz. Por otro lado, en la base del cerro de La Cruz una brecha de falla de 2 metros de espesor fue identificada en el contacto entre el Complejo Puncoviscana y La Formación Yacoraita (indicada como "falla inversa" en las Figs. 6a, b y c), se interpreta a la misma como una falla menor que correspondería a un desplazamiento ge-

nerado sobre la superficie de discordancia inducido por contraste reológico de las unidades.

Adyacente al pliegue Pascha, en la parte media a occidental de la sección, aflora un pliegue sinclinal integrado por las Formaciones Agujas y Gólgota, en cuyo flanco occidental se identifican numerosas fallas subverticales de rumbo NE-SO con cinemática dextral inversa (Fig. 4c), que generan zonas de intensa deformación y variaciones en los ángulos de incli-



**Figura 6.** a) Sección geológica-estructural B-B'; b) y c) Fotografía y esquema interpretado de las estructuras y relaciones estratigráficas observadas en el cerro de La Cruz (las imágenes fueron invertidas en espejo con el fin de facilitar su comprensión); d) Restitución de la Formación Yacoraita a la horizontal y nueva orientación del plano de falla; e) Sección estructural esquemática que muestra las orientaciones de las fallas normales (de La Cruz y Pascha) antes de la deformación andina.

nación de las capas.

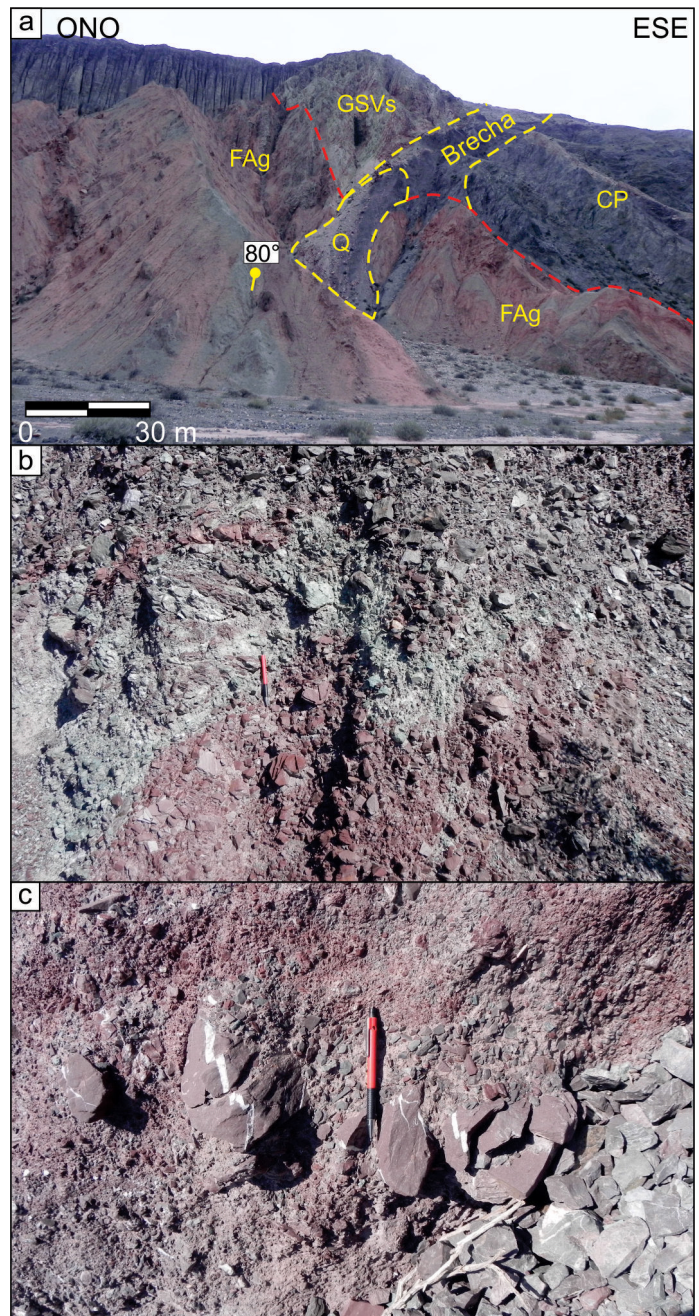
Por último, la falla Solá (Fig. 1) eleva el cerro Bayo y cabalga el Complejo Puncoviscana sobre estratos basales de la Formación Agujas (Fig. 6a). Esta falla es de alto ángulo y presenta un aumento del rechazo de sur a norte.

En el cerro de La Cruz y en la sierra de Pascha se identificaron dos estructuras precretácicas que complejizan la estructura andina (falla de La Cruz y falla Pascha, respectivamente). En las figuras 6 a, b y c se presenta un detalle del cerro de La Cruz donde se observa que las unidades del Grupo Santa Victoria superior se truncan contra el Complejo Puncoviscana mediante una falla buzante al oeste, denominada falla de La Cruz. La misma presenta rumbo NNO-SSE, aproximadamente paralelo al COT (Fig. 4c) y  $80^\circ$  de buzamiento. La Formación Yacoraite se dispone discordante sobre el Grupo Santa Victoria superior y sobre el Complejo Puncoviscana (Figs. 6b y c), limitando temporalmente la actividad de la falla de La Cruz a tiempos previos a su depositación.

El conjunto se encuentra plegado y con la Formación Yacoraite invertida por la tectónica andina (Fig. 6a). A los fines de obtener la orientación de la falla previa a la deformación andina, se realizó su restauración rotando el conjunto, hasta horizontalizar la Formación Yacoraite (Fig. 6d). El resultado de este procedimiento muestra que la falla de La Cruz adquiere una disposición de falla normal, con rumbo NNO-SSE e inclinación de  $30^\circ$ NE (Fig. 6d), con el Complejo Puncoviscana en el bloque yacente y el Grupo Santa Victoria superior en el colgante (Fig. 6e).

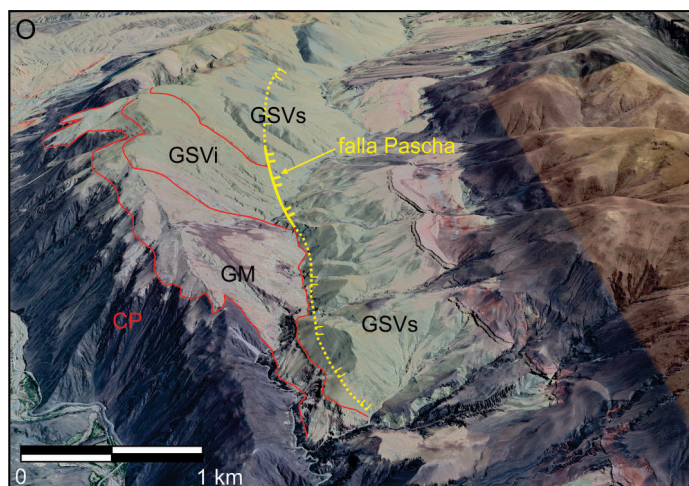
La falla de la Cruz habría desarrollado una brecha de falla de aproximadamente 15 metros de espesor dentro del Complejo Puncoviscana (Figs. 7a y 4c), identificada al sur del cerro de La Cruz. Además, una zona de deformación continua, de aproximadamente 40 metros de espesor, fue identificada dentro del Complejo Puncoviscana desde la quebrada de Incamayo hasta el área de Chorrillos (Fig. 4c). Esta zona, fue asociada a la falla de La Cruz por su orientación (NNO-SSE), su ubicación y continuidad con la estructura (Fig. 4c). Las rocas que componen esta zona de deformación están integradas por una brecha de falla compleja que presenta sectores con porcentajes de matriz que varían entre  $<10\%$  (Fig. 7b) y  $>30\%$  (Fig. 7c) y son clasificadas como brechas cohesivas caóticas y protocataclasita, respectivamente (Woodcock y Mort 2008). En base a esta clasificación se puede suponer que las rocas fueron desarrolladas en un régimen de deformación frágil en profundidades de entre 4 y 10 kilómetros (Sibson 1977).

Por otro lado, en la sierra de Pascha, aflora la falla normal Pascha de orientación NNO-SSE con buzamiento elevado hacia el este y pone en contacto el Grupo Santa Victoria inferior con el Grupo Santa Victoria superior (Fig. 8). Las relacio-



**Figura 7.** a) Brecha de falla cohesiva identificada al sur del cerro de La Cruz en el contacto entre el Grupo Santa Victoria superior (GSVs) y el Complejo Puncoviscana (CP), por encima la Formación Agujas (FAg) se apoya en discordancia erosiva sobre las unidades anteriores y derrubios cuaternarios (Q) cubren el sector; b) y c) Detalle de la brecha de falla del sector de Incamayo-Chorrillos (ubicación en el mapa de la figura 4c).

nes estratigráficas observadas en el área, donde al norte el Grupo Santa Victoria superior se apoya sobre el Grupo Santa Victoria inferior en continuidad (Figs. 5a y 8) y hacia el sur, el mismo se apoya en *onlap* directamente sobre el Grupo Mesón (Figs. 6a y 8), muestran a la falla Pascha como normal y sinsedimentaria a la depositación del Grupo Santa Victoria superior. De esta manera, hacia el sur la falla se encuentra cubierta por las unidades superiores del Grupo Santa Victoria.



**Figura 8.** a) Imagen Google Earth que muestra las relaciones estratigráficas observadas en la sierra de Pascha (ubicación en el mapa de la figura 4c). CP: Complejo Puncoviscana, GM: Grupo Mesón, GSVi: Grupo Santa Victoria inferior, GSVs: Grupo Santa Victoria superior. En línea de trazos la falla Pascha se encuentra cubierta.

### Reconstrucción de la estructura

Previo a la realización del modelado cinemático de las secciones A-A' (Fig. 5a) y B-B' (Fig. 6a) se calculó la profundidad de despegue del corrimiento Toro, a través del método de restauraciones por exceso de áreas (Chamberlin 1910). El mismo entrega una profundidad de despegue de 2325 metros (Fig. 9), muy aproximada a la obtenida por el modelado cinemático realizado a continuación, cuyas profundidades de despegue se encuentran entre los 1925 y 2313 metros.

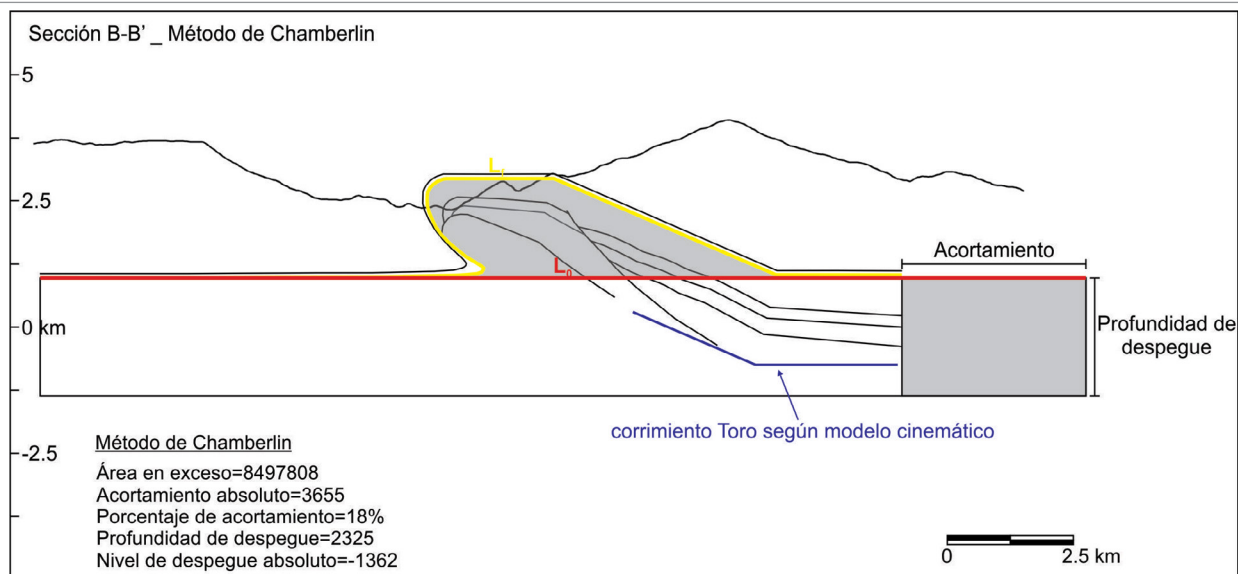
**Sección A-A':** La construcción del modelo parte de un estadio preandino (Fig. 10a), con la Formación Yacoraita en

su posición horizontal, con su base ubicada a los 940 m s. n. m. de acuerdo con la estructura sinclinal interpretada en el sector occidental de la sección y al espesor de las unidades terciarias. Las unidades que subyacen a la Formación Yacoraita fueron construidas asumiendo un paleo-alto en el sector sudoccidental del área y las fallas normales intraordovícicas fueron ubicadas según su registro en el campo.

La geometría del corrimiento Toro (ángulo de corte, profundidad de despegue y estilo rampa-plano) está estrechamente vinculada a la geometría del pliegue interpretado. El despegue del corrimiento tiene una profundidad de 2313 metros medido desde la base de la Formación Yacoraita, esta ubicación fue asumida a partir de la generación de múltiples modelos, en los que se variaron los parámetros hasta la obtención de un modelo que se ajusta a los datos de campo.

En la primera etapa de deformación (Fig. 10b), el corrimiento Toro es activado a través del método "Trishear", con un deslizamiento de 4100 metros, un ángulo de *Trishear* de 70° y una relación Propagación/Desplazamiento (P/S) de 0.75. La estructura generada es un pliegue anticlinal curvo, con cresta plana y marcada vergencia occidental. El flanco frontal del pliegue se presenta invertido, con una deformación intensa y adelgazado en su parte media, aunque cerca de sus charnelas anticlinal y sinclinal los espesores aumentan.

La generación del pliegue a través de este método deja a los sinclinales de los extremos al mismo nivel y al anticlinal Pascha en profundidad con respecto al relieve actual. En la etapa siguiente, se activa la falla Gólgota (Fig. 10c), por el método "Flujo Paralelo a la Falla" con 600 metros de desplazamiento, transportando en su bloque colgante la cresta y el flanco dorsal del anticlinal generado previamente.



**Figura 9.** Cálculo de la profundidad de despegue del corrimiento Toro, a través del Método de Chamberlin con el software Andino 3D (Cristallini et al. 2022). En azul se observa el corrimiento Toro obtenido a partir del modelo cinemático.

Por último (Fig. 10d), la falla Lampazar, produjo un nuevo transporte del pliegue cortando la charnela del sinclinal frontal, por el método "Flujo Paralelo a la Falla", con un desplazamiento de 1700 metros.

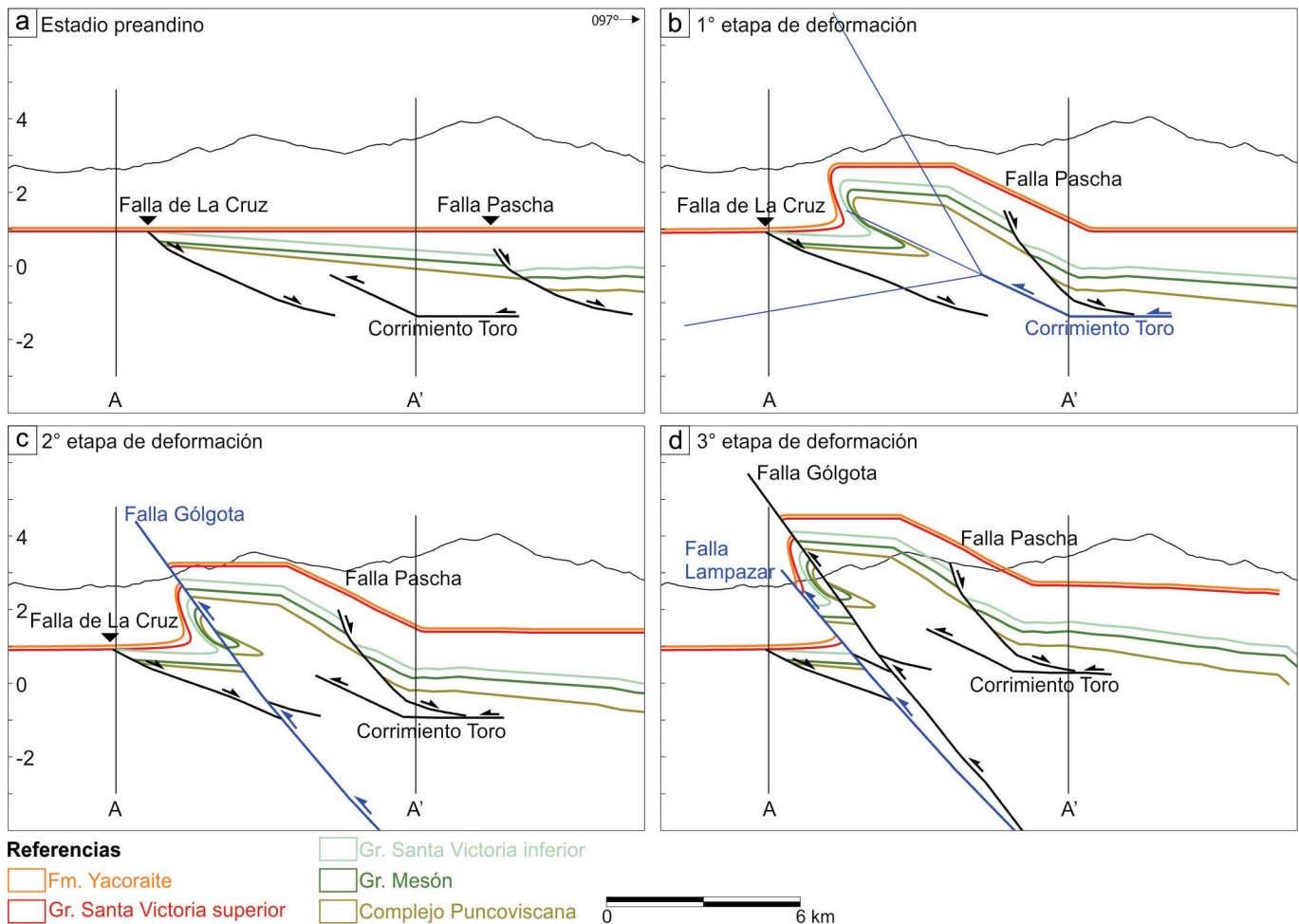
Las fallas Gólgota y Lampazar presentan elevados ángulos y estarían vinculadas a un despegue del orden de los 9 kilómetros (Pearson et al. 2013, Giambiagi et al. 2022) que, si bien fue modelado, no está representado en la figura 10 debido a una cuestión de escala. En este sentido, debido al despegue tan profundo de las fallas, las mismas no deforman la estructura generada previamente, sino más bien la transportan.

**Sección B-B':** La construcción del modelo parte de un estadio inicial preandino (Fig. 11a), tomando a la Formación Yacoraite como nivel de referencia, sin deformar a una profundidad de 940 m s. n. m. del mismo modo que en la reconstrucción de la sección A-A' (Fig. 10a). En el sector oriental se incluyó la falla normal Pascha y, al oeste de la misma, la

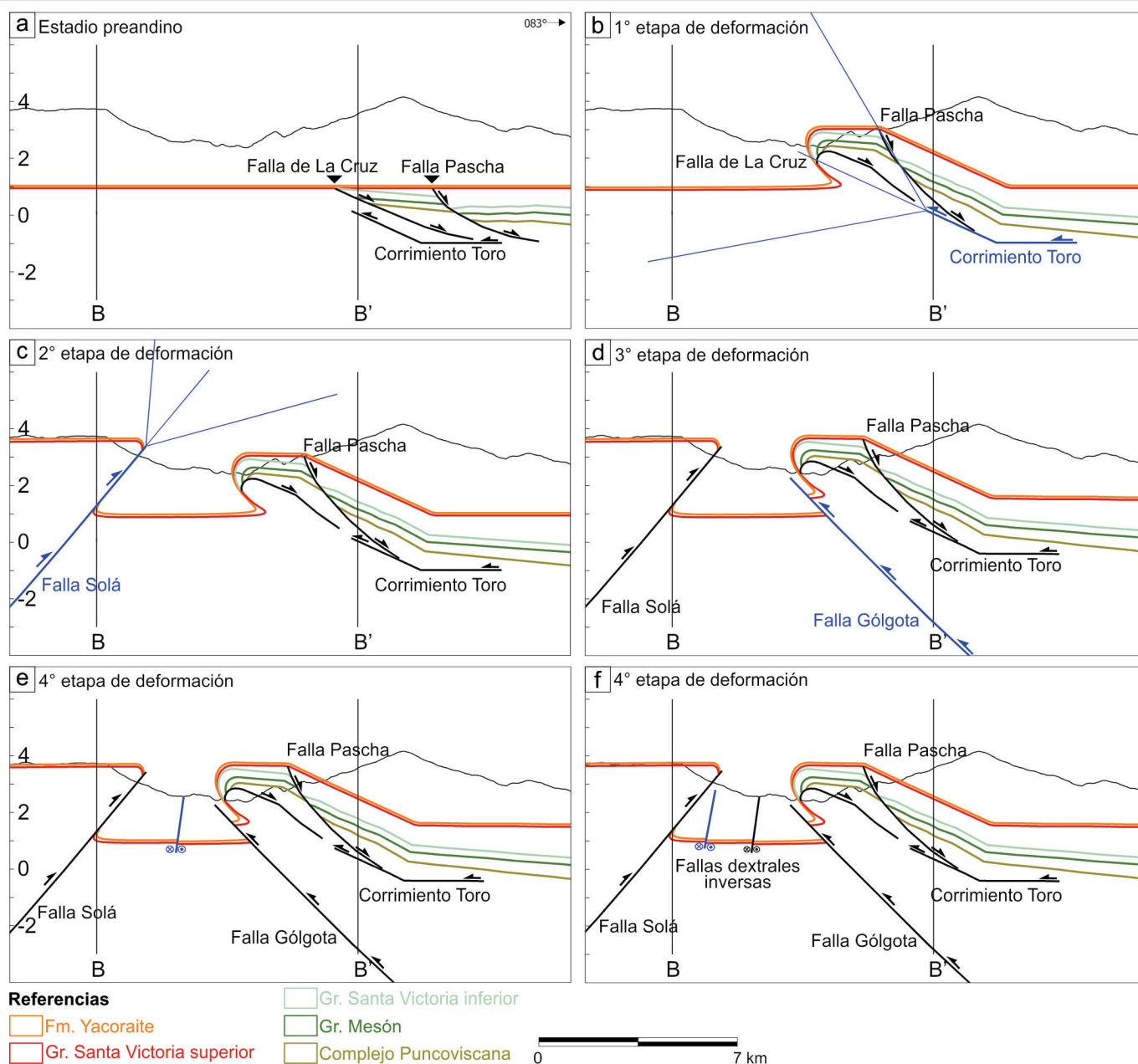
falla de La Cruz. Ambas fallas, interpretadas como lístricas y sincrónicas con la depositación del Grupo Santa Victoria superior (Fig. 11a).

En la primera etapa de deformación (Fig. 11b) se activó el corrimiento Toro (1925 metros de profundidad), por el método "Trishear" con un desplazamiento de 5000 metros, ángulo de *trishear* de 70° y una relación P/S de 0.55. Los parámetros elegidos para dicha estructura están fuertemente relacionados a la geometría del pliegue. En este caso, en comparación con la reconstrucción de la sección A-A' (Fig. 10b), el pliegue obtenido presenta una amplitud sensiblemente mayor, longitud de cresta más corta y por lo tanto flancos más largos. Estas diferencias en la geometría del pliegue están vinculadas a un mayor desplazamiento y a una relación P/S menor (Fig. 11b).

Posteriormente se activó la falla Solá (Fig. 11c), ubicada en el sector occidental, utilizando también el método "Trishear" con 3500 metros de desplazamiento, 70° de ángulo de *trishear* y una relación P/S de 1.5. De esta manera se obtuvo



**Figura 10.** Modelo cinemático de la sección A-A generado a partir de MOVE a) Estadio preandino; b) Primera etapa de deformación que activa el corrimiento Toro con el método "Trishear"; c) y d) Segunda y tercera etapa de deformación, el pliegue es transportado por dos fallas de alto ángulo ubicadas en el flanco frontal del mismo a través del método "Flujo Paralelo a la Falla". En color azul se marcan las fallas que se encuentran activas en cada etapa.



**Figura 11.** Modelo cinemático de la sección B-B' generado a partir de MOVE a) Estadio preandino; b) Primera etapa de deformación que activa el corrimiento Toro a través del método "Trishear"; c) Segunda etapa de deformación donde se activa la falla Solá ("Trishear"); d) Tercera etapa de deformación donde se activa la falla Gólgota a través del método "Flujo Paralelo a la Falla" y eleva su bloque colgante integrado por el pliegue Pascha; e) y f) Última etapa de deformación donde se induce el desplazamiento sobre las fallas inversas dextrales ubicadas en la parte media y occidental de la sección. En color azul se marcan las fallas que se encuentran activas en cada etapa.

un pliegue anticlinal con vergencia oriental y con el flanco frontal sensiblemente adelgazado y cortado por la propagación de la falla. Entre los dos pliegues anticlinales generados se produce un sinclinal amplio dentro de las sedimentitas terciarias.

En las siguientes etapas (Figs. 11d, e, f) se indujo el desplazamiento sobre las fallas del sector medio de la sección, a través del método de "Flujo Paralelo a la Falla". La primera en activarse y con un mayor desplazamiento fue la falla Gólgota (Fig. 11d), ubicada en la charnela sinclinal del pliegue

Pascha con un desplazamiento de 850 metros. Este movimiento habría provocado la elevación del bloque colgante y de todo el anticlinal Pascha. Luego se procedió a activar las fallas inversas dextrales (Figs. 11e y f), que presentan ángulo elevado e inclinan hacia el oeste, con un desplazamiento de 50 m cada una. Estas fallas se habrían generado dentro de las sedimentitas terciarias aflorantes y debido a la separación de las capas observadas a través de imágenes satelitales, se estima que las mismas tendrían poco desplazamiento.

## DISCUSIÓN Y CONSIDERACIONES FINALES

En base a los resultados presentados, se discuten las evidencias estructurales, estratigráficas y sedimentológicas a partir de las cuales se identificaron las estructuras paleozoicas y se analiza su influencia en la configuración doble vergente de la Cordillera Oriental.

### Tectónica preandina

La evidencia estratigráfica más sobresaliente relacionada a la estructuración preandina en la región se expresa en la heterogeneidad del sustrato sobre el que se asienta la Formación Yacoraite. Un corte transversal (O-E), desde la quebrada del Toro hasta la sierra de Santa Bárbara, expone a la Formación Yacoraite asentada sobre una superficie de erosión debajo de la cual se identifican unidades proterozoicas, cambro-ordovícicas y siluro-devónicas. Siguiendo el mismo criterio estratigráfico, Moya (1999) adjudica las relaciones heterogéneas del basamento precretácico a paleoaltos estructurales desarrollados en las cuencas cambro-ordovícica (Umbral de Lipán y Alto de Cobres) y siluro-devónica (Arco Puneño). Si bien, el sustrato heterogéneo sobre el cual se apoya la Formación Yacoraite en menos de 6 kilómetros de distancia y las variaciones en la procedencia de los clastos de esta unidad constituyen evidencias de primer orden para inferir la existencia de estructuras precretácicas, estas por sí solas, son insuficientes para avanzar en la caracterización del tipo y la edad relativa de las estructuras involucradas.

En el sector sur de la quebrada del Toro (Fig. 4c) las fallas de La Cruz y Pascha, constituyen evidencias estructurales de fases tectónicas precretácicas asumidas en este trabajo como paleozoicas. En ambos casos se trata de fallas normales, pero con rechazos que presentan ordenes de magnitud diferentes. La falla de La Cruz pone en contacto el Complejo Puncoviscana con la Formación Saladillo del Tremadociano por lo que, se interpreta que la misma habría desplazado al Grupo Mesón y a las unidades inferiores del Ordovícico, mientras que la falla Pascha solo desplazó a la Formación Saladillo del bloque colgante sobre la Formación Cardonal aflorante en el bloque yacente. La relación de los estratos de la Formación Saladillo apoyados en onlap sobre unidades del Grupo Mesón en el yacente hasta sepultar la falla totalmente, acotan la edad máxima de la falla Pascha al tiempo de depositación de esta unidad, durante el Arenigiano temprano. Esta edad resulta coherente con el registro de estructuras de licuefacción (e.g. estratificación cruzada volcada, laminación convoluta, estructuras de bolas y almohadas), slumps y con-

glomerados intraformacionales presentes en las Formaciones Cardonal y Saladillo hasta la base de la Formación Parcha acotando el lapso de inestabilidad tectónica entre el Tremadociano temprano, hasta el Arenigiano temprano, inclusive.

La dirección de flujo obtenida de las estructuras de slumps que indican paleopendientes coincidentes con las inclinaciones de las fallas ordovícicas y la presencia de clastos provenientes de áreas alejadas en los conglomerados intraformacionales (Moya 1988b y Astini 2003), constituyen indicios que vinculan la inestabilidad de la cuenca con la generación de relieves abruptos ligados a efectos tectónicos. En el mismo sentido, en el área del angosto de la Quesera (fuera del área de estudio), Astini (2005) atribuye evidencias similares de inestabilidad en la cuenca a movimientos tectónicos sincrónicos con la depositación de la Formación Devendeus, la cual es estratigráficamente equivalente a los conglomerados intraformacionales de la Formación Cardonal. Previamente, Moya (1997), también en base a registros de inestabilidad en depósitos del Tremadociano superior de la quebrada de Humahuaca, define la fase Tumbaya y la destaca como evidencia de la expansión de la cuenca ordovícica hacia el oeste (Moya 1999).

Por otro lado, la expansión de la cuenca se encuentra bien documentada en la franja oriental de la Puna, donde las rocas ígneas y metamórficas del Complejo Eruptivo Oire son interpretadas como producto de un periodo de anomalía térmica asociada a movimientos extensionales (Lork y Bahlburg 1993, Hongn et al. 2006, Kirschbaum et al. 2006, Viramonte et al. 2007, Coira et al. 2009 y Bahlburg et al. 2016); sin embargo son escasos los registros de estructuras representativas de la fase Tumbaya en la Cordillera Oriental (Seggiaro y Gallardo 2002, Seggiaro 2004, Villagrán et al. 2016 y Seggiaro et al. 2017a).

En continuidad con la falla de La Cruz hacia el sur, se destaca una amplia zona de cizalla frágil, compuesta por cataclasitas y brechas cohesivas, siguiendo el rumbo aproximado del COT entre Chorrillos y la quebrada de Incamayo. Las características litológicas y estructurales encontradas en esta zona de cizalla son propias de condiciones litostáticas comprendidas entre 4 y 10 kilómetros de profundidad (Sibson 1977), dato con el que se estima la profundidad de despegue que habrían tenido las fallas normales durante el Ordovícico (Fig. 12).

En la figura 12 se presenta un esquema evolutivo de la cuenca ordovícica con el desarrollo de las fallas normales de La Cruz y Pascha. Parte de las unidades erosionadas del bloque yacente fueron depositadas en los niveles sintectónicos basales del bloque colgante durante las etapas iniciales de la fase Tumbaya, mientras que los depósitos superiores se

apoyaron progresivamente en *onlap* sobre el bloque yacente hasta soterrar las fallas. Estas relaciones suponen el pasaje gradual de un régimen inicial en donde la tectónica supera la tasa de depositación, en el Tremadociano temprano, a un régimen en donde la sedimentación supera a la tectónica en el Arenigiano temprano a medio. Finalmente, la ausencia en la región de unidades ordovícicas suprayacentes a la Formación Parcha, presentes hacia el norte, en el área de Los Colorados-Abra de Lipán, podría atribuirse a la erosión de las

unidades como consecuencia de las fases Los Colorados y Oclóyica del Ordovícico o Chánica, del Devónico (Astini 2003 y Moya 2015).

### Tectónica andina

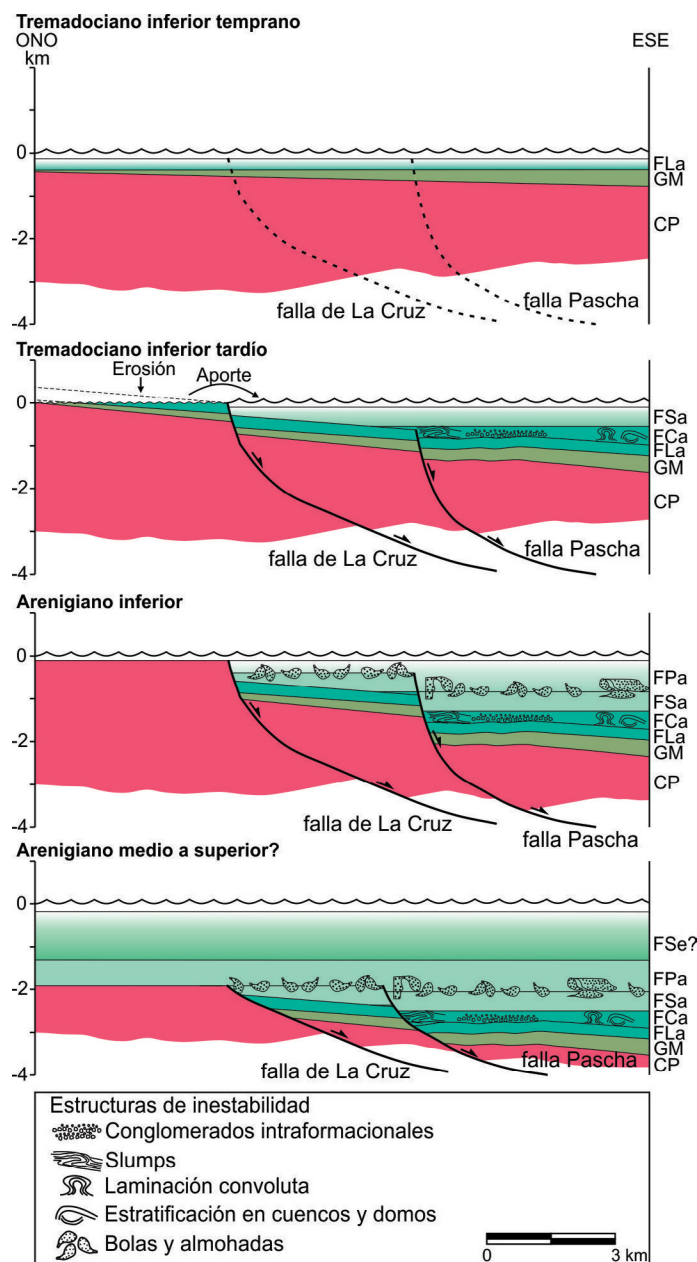
Durante el Eoceno medio, la Cordillera Oriental experimentó un primer levantamiento (Coutand et al. 2001, Carra-pa y DeCelles 2008, Deeken et al. 2006 y Giambiagi et al. 2022) vinculado a la reactivación de estructuras preexistentes (Hongn et al. 2006, 2007, Payrola Bosio et al. 2009, Montero López et al. 2018 y Giambiagi et al. 2022). El corrimiento Toro habría sido generado durante estos primeros estadios y su localización habría estado controlada por las fallas ordovícicas de La Cruz y Pascha.

Si bien los planos de debilidad de las fallas de la Cruz y Pascha, presentan orientaciones favorables para su reactivación con los esfuerzos andinos, los mismos solo habrían controlado parcialmente el despegue del corrimiento Toro, lo cual podría atribuirse a determinados parámetros físicos de las fallas y/o de las rocas circundantes (Mescua y Giambiagi 2012 y Horton y Folguera 2022).

Posteriormente, durante el Mioceno temprano se desarrolla una zona de despegue principal por debajo de la Cordillera Oriental, a una profundidad de entre 8 y 14 km (Pearson et al. 2013 y Giambiagi et al. 2022). A este despegue estarían vinculadas las estructuras Lampazar y Gólgota que acomodan la deformación y transportan el pliegue previamente formado.

Finalmente, durante el Mioceno medio a tardío se desarrolló en la Puna y Cordillera Oriental un sistema transcurriente de dirección general NO-SE (Giambiagi et al. 2022) expresado en el lineamiento Calama-Olapato-Toro (Salfity 1985). En el sector sur del mapa (Fig. 4c), la traza de la falla Gólgota modifica su orientación de N-S a NNO-SSE generando una zona de transferencia con desplazamiento sinistral (Salfity 1985, Marrett y Strecker 2000, Hongn et al. 2002 y Abascal 2005) integrada al tramo central del COT. La disposición de las fallas de La Cruz y Pascha sobre la traza del COT sugiere que, al menos en este sector, la estructuración del lineamiento habría sido controlada por una zona de cizalla generada por las fallas ordovícicas.

En síntesis, sobre la base de las evidencias y observaciones realizadas en este trabajo, se postula que las fallas normales ordovícicas de La Cruz y Pascha, asignadas a la fase Tumbaya, habrían controlado la localización del corrimiento Toro en el área de estudio, durante el Eoceno medio. Por otro lado, las fallas Pascha y de La Cruz, junto a las registradas en la sierra de Aguilar (Seggiaro 2004) y en la Quebrada de Humahuaca (Seggiaro y Gallardo 2002), integran una faja regional con doble vergencia concentrada en el sector cen-



**Figura 12.** Esquema evolutivo de las fallas normales de La Cruz y Pascha, donde se observa la profundidad de despegue que habrían tenido. Las unidades en degradé representan sedimentación activa en cada etapa. CP: Complejo Puncoviscana, GM: Grupo Mesón, FLA: Formación Lampazar, FCa: Formación Cardonal, FSA: Formación Saladillo, FPa: Formación Parcha, FSe?: Formación Sepulturas?.



tro-occidental de la Cordillera Oriental, lo cual refuerza la hipótesis sobre la influencia preponderante de fallas normales ordovícicas en los corrimientos con vergencia occidental de esta región (Seggiaro et al. 2017a). En futuras investigaciones, se precisan estudios de detalle de las zonas de fallas para avanzar en el entendimiento de la reactivación selectiva de estas fallas en la región.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Dr. José Mescua (Editor Asociado) y a los revisores/as, cuyos comentarios y sugerencias contribuyeron a mejorar la calidad del manuscrito. Este trabajo fue posible gracias al apoyo del CONICET y del Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta a través de los proyectos 2370 y 2785 y el proyecto PICT-2020-SERIEA-02242 de la Agencia Nacional de Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación.

## REFERENCIAS

- Abascal, L.D.V. 2005. Curved geometries in a transfer zone, Quebrada dei Toro, Salta Province, NW Argentina. 6th International Symposium on Andean Geodynamics, Actas: 15-18, Barcelona.
- Aceñolaza, F.G. y Toselli, A.J. 1976. Consideraciones estratigráficas y tectónicas sobre el Paleozoico inferior del Noroeste Argentino. 2° Congreso Latinoamericano de Geología, Actas 2: 755-764, Caracas.
- Almeida, F.F., Hasui, Y. y de Brito Neves, B.B. 1976. The upper precambrian of South America. Boletim IG 7: 45-80.
- Alonso, J.L., Seggiaro, R., Quintana, L., Gallastegui, J., Bulnes, M., Poblet, J., Heredia, N. y Rodríguez Fernández, L.R. 2012. Deformaciones paleozoicas en la Cordillera Oriental de los Andes a los 23°S (NO de Argentina). 8° Congreso Geológico de España, Actas 13: 1844-1847, Oviedo.
- Apaza, F.D., Seggiaro, R.E. y Guzmán, S.R. 2018. Análisis estructural del corrimiento Muñano, borde oriental de la Puna salteña. 17° Reunión de Tectónica, Actas: 13, La Rioja.
- Aramayo, A.J., Hongn, F.D. y del Papa, C.E. 2017. Acortamiento paleógeno en el tramo medio de los Valles Calchaquíes: depositación sintectónica de la Formación Quebrada de los Colorados. Revista de la Asociación Geológica Argentina 74(4): 524-536.
- Astini, R.A. 2002. La "megacapa" Parcha (Ordovícico temprano de la Cordillera Oriental): sismita, regresión forzada o evento extraordinario. Reunión Argentina de Sedimentología, Actas: 48, Córdoba.
- Astini, R.A. 2003. The Ordovician Proto-Andean basins. En: Benedetto, J.L. (ed.), Ordovician Fossils of Argentina, Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Córdoba 1-74, Córdoba.
- Astini, R.A. 2005. Las sedimentitas que apoyan en no concordancia sobre el "granito rojo" en el angosto de la Quesera (Cordillera Oriental, Salta): una revisión crítica a más 60 años de los trabajos pioneros de J. Keidel. Revista de la Asociación Geológica Argentina 60: 513-523.
- Babín Vich, R.B. y Gómez Ortiz, D. 2010. Problemas de Geología Estructural 5. Rotaciones. REDUCA (Geología). Serie Geología Estructural 2(1): 57-73.
- Báez, C. 1950. Estudio geológico de la quebrada del Toro, provincia de Salta. Y.P.F. Informe inédito. Buenos Aires.
- Bahlburg, H., Berndt, J. y Gerdes, A. 2016. The ages and tectonic setting of the Faja Eruptiva de la Puna Oriental, Ordovician, NW Argentina. Lithos 256: 41-54.
- Barrabino, E. 2014. Análisis estructural del valle de Alfarcito-Punta Corral. Quebrada de Humahuaca. Provincia de Jujuy. Tesis profesional (inédita), Universidad Nacional de Salta, 56 p.
- Barrabino, E., Seggiaro, R. y Gallardo, E. 2017. Reactivación de estructuras en el área Los Colorados. Límite occidental de la Cordillera Oriental Jujeña. 20° Congreso Geológico Argentino, Actas ST2: 13-15, San Miguel de Tucumán.
- Barrabino, E. 2021. Tectónica de la Cordillera Oriental entre el valle de Alfarcito y Abra de Lipán Quebrada de Humahuaca. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Salta (inédita), 214 p., Salta.
- Carrapa, B. y DeCelles, P.G. 2008. Eocene exhumation and basin development in the Puna of northwestern Argentina. Tectonics 27(1).
- Carrera, N. y Muñoz, J.A. 2013. Thick-skinned tectonic style resulting from the inversion of previous structures in the southern Cordillera Oriental (NW Argentine Andes). Geological Society, London, Special Publications 377(1): 77-100.
- Celedón, R.M. 2020. Tectónica superpuesta en el límite oriental de las Provincias Geológicas Cordillera Oriental y Calchaquenia en las sierras de Mojotoro Sur, Castillejo y Sancha, Salta-Argentina. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Salta (inédita), 205p., Salta.
- Chamberlin, R.T. 1910. The Appalachian folds of central Pennsylvania. The Journal of Geology 18(3): 228-251.
- Coira, B., Koukharsky, M., Guevara, S.R. y Cisterna, C.E. 2009. Puna (Argentina) and northern Chile Ordovician basic magmatism: A contribution to the tectonic setting. Journal of South American Earth Sciences 27(1): 24-35.
- Collinson, J.D., Mountney, N. y Thompson, D.B. 2006. Sedimentary structures, 3° edition. Terra Publishing, 292 p., Hertfordshire.
- Coutand, I., Cobbold, P.R., de Urreiztieta, M., Gautier, P., Chauvin, A., Gapais, D., Rossello, E.A. y López-Gamundí, O. 2001. Style and history of Andean deformation, Puna plateau, northwestern Argentina. Tectonics 20(2): 210-234.
- Cristallini, E.O. 2022. EstereograficaWeb. Stereographic projection and fault kinematics web application. Reyuntec. Available for use in: <https://estereo.reyuntec.ar/>
- Cristallini E., Hernández R., Balciunas D., Nigro J., Sánchez F., Dellmans M., Costilla M., Hernández J.I. 2022. Andino 3D: structural modeling software (Version 2.0.1.2). CONICET-LATE ANDES [Softwae]. Available from <http://www.andino3d.com.ar/>

- Deeken, A., Sobel, E.R., Coutand, I., Haschke, M., Riller, U. y Strecker, M.R. 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(6): TC6003
- del Papa, C.E. 2006. Estratigrafía y paleoambientes de la Formación Lumbrera, Grupo Salta, Noroeste Argentino. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 61(3): 15-29.
- del Papa, C.E., García, V. y Quattrocchio, M. 2002. Sedimentary facies and palynofacies assemblage in Eocene perennial lake, Lumbrera Formation, Northwest Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 15: 553-569.
- del Papa, C.E., Hongn, F.D., Powell, J., Payrola Bosio, P., do Campo, M., Strecker, M.R., Petrinovic, I., Schmitt, A.K. y Pereyra, R. 2013. Middle Eocene-Oligocene broken foreland evolution in the Andean Calchaquí Valley, NW Argentina: insights from stratigraphic, structural and provenance studies. *Basin Research* 25: 1-20.
- Egan, S.S., Buddin, T.S., Kane, S.J., Williams, G.D. 1997. Three-dimensional modelling and visualisation in structural geology: new techniques for the restoration and balancing of volumes. In *Proceedings of the 1996 Geoscience Information Group Conference on Geological Visualisation. Electronic Geology Special Volume 1*: 67-82.
- Egan, S.S., Kane, S., Buddin, T.S., Williams, G.D. y Hodgetts, D. 1999. Computer modeling and visualization of the structural deformation caused by movement along geological faults. *Computers and Geosciences* 25: 283-297.
- Erslev, E.A. 1991. Trishear fault-propagation folding. *Geology* 19(6): 617-620.
- Fernández Pérez, C.E. 1984. Perfil Estratigráfico de las sedimentitas aflorantes en las quebradas de Carachi y el Mollar. Dpto. Rosario de Lerma. Provincia de Salta. Tesis profesional (inédita), Universidad Nacional de Salta, 55 p.
- Gallardo, E.F. 1981. Estratigrafía y tectónica en la quebrada del río Capiillas, entre las quebradas del Bayo y del Toro. Tesis profesional (inédita), Universidad Nacional de Salta, 31 p.
- Giambiagi, L., Tassara, A., Echaurren, A., Julve, J., Quiroga, R., Barriovenuevo, M., Liu, S., Echeverría, I., Mardónez, D., Suriano, J., Mescua, J., Lossada, A.C., Bertoa, M. y Lothari, L. 2022. Crustal anatomy and evolution of a subduction-related orogenic system: Insights from the Southern Central Andes (22-35°S). *Earth-Science Reviews*, 104138.
- 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(4): 351-372.
- Henríquez, S., DeCelles, P.G., Carrapa, B., Hughes, A.N. Davis, G.H. y Alvarado, P. 2020. Deformation history of the Puna plateau, Central Andes of northwestern Argentina. *Journal of Structural Geology* 140: 104133.
- Hermanns, R.L. y Strecker, M.R. 1999. Structural and lithological controls on large Quaternary rock avalanches (sturzstroms) in arid northwestern Argentina. *Geological Society of America Bulletin* 111(6): 934-948.
- Hilley, G.E. y Strecker, M.R. 2005. Processes of oscillatory basin filling and excavation in a tectonically active orogen: Quebrada del Toro Basin, NW Argentina. *Geological Society of America Bulletin* 117(7-8): 887-901.
- Hongn, F. y Seggiaro, R. 1998. Estructuras del basamento y su relación con el rift cretácico, Valles Calchaquíes, Provincia de Salta. 10° Congreso Latinoamericano Geológico, Actas 2: 4-9, Buenos Aires.
- Hongn, F.D., Turbia, J.M., Aranguren, A. y Mon, R. 2002. La Monzodiorita Las Burras: Un plutón mioceno en el Batolito de Tastil, Cordillera Oriental Argentina. 15° Congreso Geológico Argentino, Artículo N° 220, 6 p., El Calafate.
- Hongn, F., Mon, R., Acuña, P., Kirschbaum, A. y Menegatti, N. 2006. Deformación intraordovícica en la sierra de Cobres. *Asociación Geológica Argentina, Serie D, Publicación Especial 10*: 186-192, Buenos Aires.
- Hongn, F., Papa, C.D., Powell, J., Petrinovic, I., Mon, R. y 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(3): 271-274.
- Hongn, F., Mon, R., Petrinovic, I., Del Papa, C. y Powell, J. 2010a. Inversión y reactivación tectónicas Cretácico-Cenozoicas en el noroeste argentino: Influencia de las heterogeneidades del basamento Neoproterozoico-Paleozoico inferior. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 66(1): 38-53.
- Hongn, F.D., Tubía, J.M., Aranguren, A., Vegas, N., Mon, R. y Dunning, G. 2010b. Magmatism coeval with lower Paleozoic shelf basins in NW-Argentina (Tastil batholith): Constraints on current stratigraphic and tectonic interpretations. *Journal of South American Earth Sciences* 29(2): 289-305.
- Horton, B.K. y Folguera, A. 2022. Tectonic inheritance and structural styles in the Andean fold-thrust belt and foreland basin. En: Zamora, G. y Mora, A. (eds.), *Andean Structural Styles 1*, Elsevier, p. 3-28, New York.
- Iaffa, D.N., Sàbat, F., Muñoz, J.A., Mon, R. y Gutiérrez, A.A. 2011. The role of inherited structures in a foreland basin evolution. *The Metán Basin in NW Argentina. Journal of Structural Geology* 33(12): 1816-1828.
- Iaffa, D.N., Sàbat, F., Muñoz, J.A. y Carrera, N. 2013. Basin fragmentation controlled by tectonic inversion and basement uplift in Sierras Pampeanas and Santa Bárbara System, northwest Argentina. *Geological Society, London, Special Publications* 377(1): 101-117.
- Kane, S.J., Williams, G.D., Buddin, T.S., Egan, S.S., Hodgetts, D. 1997. Flexural-slip Based Restoration in 3D, A New Approach. *American Association of Petroleum Geologists. Annual Convention Official Program*: A58
- Kilmurray, J. e Igarzábal, A. 1971. Petrografía y rasgos geomórficos del batolito granítico de Santa Rosa de Tastil, Provincia de Salta, Rep.

- Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 26 (4): 417-438.
- Kirschbaum, A., Hongn, F. y Menegatti, N. 2006. The Cobres Plutonic Complex, eastern Puna (NW Argentina): Petrological and structural constraints for Lower Paleozoic magmatism. *Journal of South American Earth Sciences* 21(3): 252-266.
- Kley, J., Rossello, E.A., Monaldi C.R. y Habighorst, B. 2005. Seismic and field evidence of Cretaceous normal faults, Salta rift, Northwest Argentina. *Tectonophysics* 399: 155-172.
- Lork, A. y Bahlburg, H. 1993. Precise U-Pb ages of monazites from the Faja Eruptiva de la Puna Oriental and the Cordillera Oriental, NW Argentina. 12° Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 1-6, Mendoza.
- Lucena, L.L. 2007. Geología de la Fosa del Toro-Cordillera Oriental-Provincia de Salta. Tesis profesional (inédita), Universidad Nacional de Salta, 64 p., Salta.
- Marquillas, R., del Papa, C., y Sabino I. 2005. Sedimentary aspects and paleoenvironmental evolution of a rift basin: Salta Group (Cretaceous-Paleogene), northwestern Argentina. *International Journal of Earth Sciences* 94 (1): 94-113.
- Marrett, R. y Strecker, M.R. 2000. Response of intracontinental deformation in the central Andes to late Cenozoic reorganization of South American Plate motions. *Tectonics* 19: 452-467.
- Matteini, M., Acocella, V., Dini, A., Mazzuoli, R., Omarini, R., Uttini, A., Vezzoli, L., Gioncada, A., y Guillou, H. 2004. Magmatism along a transverse structure in the Central Andes: The Miocene Tastil-Las Burras Magmatic Complex (NW Argentina). Abstracts IAVCEI Chile.
- Mauri, T.E., Báez, C.P. y Jakúllica, D. 1946. Relevamiento de la quebrada del Toro en los alrededores de las estaciones Gobernador Manuel Solá y Damián Torino. Yacimiento Petrolíferos Fiscales, Informe inédito. 25 p., Buenos Aires.
- Mazzuoli, R., Vezzoli, L., Omarini, R., Acocella, V., Gioncada, A., Matteini, M., Dini, A., Guillou, H., Hauser, N., Uttini, A. y Scaillet, S. 2008. Miocene magmatism and tectonics of the easternmost sector of the Calama-Olacapato-El Toro fault system in Central Andes at ~24°S: Insights into the evolution of the Eastern Cordillera. *Geological Society of America Bulletin* 65: 175-194.
- Mescua, J.F. y Giambiagi, L.B. 2012. Fault inversion vs. new thrust generation: a case study in the Malargüe fold-and-thrust belt, Andes of Argentina. *Journal of Structural Geology* 35: 51-63.
- Molina Castillo, J.I. 2006. Estratigrafía de los depósitos volcánoclasticos de la Quebrada del Toro. Salta. Tesis profesional (inédita), Universidad Nacional de Salta, 99 p., Salta.
- Mon, R., Rahmer, S. y Mena, R. 1993. Estructuras superpuestas en la Cordillera Oriental, provincia de Jujuy, Argentina. 12° Congreso Geológico Argentino, Actas: 48-54.
- Mon, R., Monaldi, C.R. y Salfity, J.A. 2005. Curved structures and interference fold patterns associated with lateral ramps in the Eastern Cordillera, Central Andes of Argentina. *Tectonophysics* 399(1-4): 173-179.
- Monaldi, C.R., Salfity, J.A. y Kley, J. 2008. Preserved extensional structures in an inverted Cretaceous Rift basin, Northwestern Argentina: Outcrop examples and implications for fault reactivation. *Tectonics* 27: TC1011.
- Montero López, M.C., Aramayo, A. y Ballato, P. 2017. New evidences of the Paleogene and Early Miocene unconformity in the Quebrada de Carachi, El Toro basin, Cordillera Oriental (NW Argentina). En Grosse, P. y Sruoga, P. (eds.), *Ciencias de la Tierra y Recursos Naturales del NOA*. 20° Congreso Geológico Argentino, Actas: 117-118. San Miguel de Tucumán.
- Montero López, C., del Papa, C., Hongn, F., Strecker, M.R. y Aramayo, A. 2018. Synsedimentary broken-foreland tectonics during the Paleogene in the Andes of NW Argentina: new evidence from regional to centimetre-scale deformation features. *Basin Research* 30: 142-159.
- Moreno, J. 1970. Estratigrafía y paleogeografía del Cretácico superior en la cuenca del Noroeste Argentino con especial mención en los Grupos Balbuena y Santa Bárbara. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 25 (1): 9-44.
- Moya, M.C. 1988a. Lower Ordovician in the southern part of the Argentine Eastern Cordillera. En Bahlburg, H., Breitzkreuz, Ch. y Giese, P. (eds.), *The Southern Central Andes*. Lecture Notes in Earth Sciences 17: 55-69. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.
- Moya, M.C. 1988b. Estratigrafía del Tremadociano en el tramo austral de la Cordillera Oriental argentina. Tesis doctoral (inédita), Universidad Nacional de Salta.
- Moya, M.C. 1997. La fase Tumbaya (Ordovícico Inferior) en los Andes del norte argentino. 8° Congreso Geológico Chileno, Actas 1: 185-189, Antofagasta.
- Moya, M.C. 1999. El Ordovícico en los Andes del norte argentino. En González Bonorino, G., Omarini, R. y Viramonte, J. (eds.), *Geología del noroeste argentino*. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 134-152, Salta.
- Moya, M.C. 2008. El Paleozoico Inferior en el Noroeste Argentino. Evidencias, incógnitas, propuestas para la discusión. En Coira, B. y Zappettini, E.O. (eds.), *Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Jujuy*. 17° Congreso Geológico Argentino, Actas 74-84, Jujuy.
- Moya, M.C. 2015. La "Fase Oclóyica" (Ordovícico Superior) en el noroeste argentino. Interpretación histórica y evidencias en contrario. *Serie de correlación geológica* 31 (1): 73-110
- Payrola Bosio, P.A., Powell, J., del Papa, C.E. y Hongn, F.D. 2009. Middle Eocene deformation-sedimentation in the Luracatao Valley: Tracking the initial Andean deformation in the Central Andes (NW Argentina). *Journal of South American Earth Sciences* 28: 142-154.
- Pearson, D.M., Kapp, P., DeCelles, P.G., Reiners, P.W., Gehrels, G.E., Duca, M.N. y Pullen, A. 2013. Influence of pre-Andean crustal structure on Cenozoic thrust belt kinematics and shortening magnitude: Northwestern Argentina. *Geosphere* 9(6): 1766-1782.
- Ramos, V.A. 1988. Late Proterozoic-early Paleozoic of South America-a collisional history. *Episodes* 11(3): 168-174.
- Ramos, V.A. 1999. Las Provincias Geológicas del Territorio Argentino. En

- Caminos, R. (ed.), *Geología Argentina* 29(3): 41-96.
- Ramos, V.A. 2017. Las Provincias Geológicas del Noroeste Argentino. En Muruaga, C.M. y Grosse, P. (eds.), *Ciencias de la Tierra y Recursos Naturales del NOA*. 20° Congreso Geológico Argentino, Relatorio, p. 38-52, San Miguel de Tucumán.
- Reyes, F.C. 1972. Correlaciones en el Cretácico de la cuenca andina de Bolivia, Perú y Chile. Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos. *Revista Técnica* 1 (2-3):101-144.
- Riller, U. y Hongn, F. 2003. Structural significance of Paleozoic discontinuities on Cretaceous to Quaternary tectonism in the Eastern Cordillera, NW-Argentina. En EGS-AGU-EUG Joint Assembly.
- Salfity, J.A. 1979. Paleogeología de la cuenca del Grupo Salta (Cretácico-Eogénico) del norte de Argentina. 7° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 505-515. Neuquén.
- Salfity, J.A. 1985. Lineamientos transversales al rumbo andino en el noroeste argentino. 4° Congreso Geológico Chileno, Actas 2: 119-237, Antofagasta.
- Salfity, J.A. y Marquillas, R.A. 1994. Tectonic and sedimentary evolution of the Cretaceous-Eocene Salta Group basin, Argentina. En: Salfity, J.A. (ed.), *Cretaceous tectonics of the Andes* 266-315p. Earth Evolution Sciences Monograph Series, Friedr. Vieweg & Sohn, p. 266-315, Braunschweig/Weisbaden.
- Sánchez, M.C. 1994. El Grupo Mesón (Cámbrico) en el tamo austral de la Cordillera Oriental argentina. Tesis doctoral (inédita), Universidad Nacional de Salta, 214 p., Salta.
- Sánchez, M.C. 1999. Sedimentología y paleogeografía del Grupo Mesón (Cámbrico). En González Bonorino, G., Omarini, R. y Viramonte, J. (eds.), *Geología del noroeste argentino*. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 126-133, Salta.
- Sánchez, M.C. y Salfity, J.A. 1999. La cuenca cámbrica del Grupo Mesón en el Noroeste argentino: desarrollo estratigráfico y paleogeográfico. *Acta Geológica Hispánica* 34(2-3): 123-139.
- Santimano, T. y Riller, U. 2012. Kinematics of Tertiary to Quaternary intracontinental deformation of upper crust in the Eastern Cordillera, southern Central Andes, NW Argentina. *Tectonics* 31: TC4002.
- Schwab, K. y Schäfer, A. 1976. Sedimentation und Tektonik im mittleren Abschnitt des río Toro des Ostkordillere NW-Argentinien. *Geologische Rundschau* 65: 175-196.
- Seggiaro, R.E. 2004. Tectónica superpuesta en la sierra de Aguilar, provincia de Jujuy. *Asociación Geológica Argentina, Serie D, Publicación Especial* 7: 124-130.
- Seggiaro, R. y Gallardo, E. 2002. Evidencias de tectónica extensional durante el Paleozoico inferior en las quebradas de Coquena y Humahuaca. Cordillera Oriental. Norte Argentino. 15° Congreso Geológico Boliviano, Actas: 279-282, Santa Cruz.
- Seggiaro, R. y Aguilera, N. 2014. Cabalgamiento pre-andino en la Sierra de Santa Victoria, Cordillera Oriental, Noroeste Argentino. 19° Congreso Geológico Argentino, Actas S21-53: 1515-1516, Córdoba.
- Seggiaro R., Gallardo E. y González, D. 2014. Tectónica superpuesta en la Sierra de Mojotoro, Cordillera Oriental Provincia de Salta. 19° Congreso Geológico Argentino, Actas S22-63: 1669-1670, Córdoba.
- Seggiaro, R.E., Villagrán, C.A., Celedón, M.R., Barrabino, E. y Apaza, F.D. 2017a. Reactivación de fallas paleozoicas durante la tectónica andina en la Cordillera Oriental-noroeste argentino. En Muruaga, C.M. y Grosse, P. (eds.), *Ciencias de la Tierra y Recursos Naturales del NOA*. 20° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 602-623 p. San Miguel de Tucumán.
- Seggiaro, R.E., Guzmán, S.R. y Apaza, F.D. 2017b. Control estructural sobre el magmatismo en los alrededores de San Antonio de los Cobres, sector oriental de la Puna Central. 20° Congreso Geológico Argentino, Actas ST2: 142-146, San Miguel de Tucumán.
- Sibson, R.H. 1977. Fault rocks and fault mechanisms. *Journal of the Geological Society* 133(3): 191-213.
- Strecker M.R. y Marrett, R. 1999. Kinematic evolution of fault ramps and its role in development of landslides and lakes in the northwestern Argentine Andes. *Geology* 27: 307-10.
- Tofelde, S., Schildgen, T.F., Savi, S., Pingel, H., Wickert, A.D., Bookhagen, B., Wittmann, H, Alonso, R.N., Cottle, J. y Strecker M.R. 2017. 100 kyr fluvial cut-and-fill terrace cycles since the Middle Pleistocene in the southern Central Andes, NW Argentina. *Earth and Planetary Science Letters* 473: 141-153.
- Trauth, M.H. y Strecker, M.R. 1999. Formation of landslide-dammed lakes during a wet period between 40,000 and 25,000 yr B.P. in northwestern Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 153: 277-287.
- Turner, J.C.M. 1960. Estratigrafía de la sierra de Santa Victoria y adyacencias. *Academia Nacional de Ciencias Boletín* 441 2: 163-196.
- Veizaga Saavedra, J.G. Sánchez, M.C., Martínez, O., Pingel, H. y De Francesco, C.G. 2022. Recording of multiple lake-marsh paleoenvironments during the middle Holocene in the Quebrada del Toro, NW Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 79(1): 30-46.
- Vezzoli, L., Matteini, M., Hauser, N., Omarini, R., Mazzuoli, R. y Acoce-lla, V. 2009. Non-explosive magma-water interaction in a continental setting: Miocene examples from the Eastern Cordillera (central Andes; NW Argentina). *Bulletin of Volcanology* 71: 509-532.
- Vezzoli, L., Acocella, V., Omarini, R. y Mazzuoli, R. 2012. Miocene sedimentation, volcanism and deformation in the Eastern Cordillera (24 30' S, NW Argentina): tracking the evolution of the foreland basin of the Central Andes. *Basin Research* 24(6): 637-663.
- Vilela, C.R. 1956. Descripción geológica de la Hoja 7d, Rosario de Lerma (Provincia de Salta). *Dirección de Minas y Geología Boletín* N° 84, 61 p. Buenos Aires.
- Villagrán, C.A. 2015. Análisis estructural en los alrededores del Gólgota-Quebrada del Toro-Salta. Tesis profesional (inédita), Universidad Nacional de Salta, 57 p., Salta.
- Villagrán, C.A. 2020. Evolución estructural del Paleozoico al Cenozoico en la quebrada del Toro entre Alfarcito y Chorrillos, Cordillera Oriental, Salta. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Salta (inédita), 208 p., Salta.

- Villagrán, C.A.; Seggiaro, R.E.; Pereyra, R.; Barrabino, E.; Celedón, R.M. 2016. Influencia de tectónica pre-cretácica en corrimientos andinos en la quebrada del Toro, Salta, Argentina. 1° Simposio de Tectónica Sudamericana, Actas:117, Santiago de Chile.
- Viramonte, J.M., Becchio, R.A., Viramonte, J.G., Pimentel, M.M. y Martino, R.D. 2007. Ordovician igneous and metamorphic units in southeastern Puna: New U-Pb and Sm-Nd data and implications for the evolution of northwestern Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 24: 167-183.
- Weinberg, R.F., Becchio, R., Farias, P., Suzaño, N. y Sola, A. 2018. Early paleozoic accretionary orogenies in NW Argentina: Growth of West Gondwana. *Earth-Science Reviews* 187: 219-247.
- Woodcock, N.H. y Mort, K. 2008. Classification of fault breccias and related fault rocks. *Geological Magazine* 145(3): 435-440.
- Zimmermann, U. 2005. Provenance Studies of very low to lowgrade metasedimentary Rocks of the Puncoviscana Complex, northwest Argentina. En Vaughan, A.P.M., Leat, P.T. y Pankhurst, R.J. (eds.), *Terrane Processes at the margins of Gondwana*. Geological Society of London, special Publications 246: 381-416.