

Las estructuras tectónicas andinas en las nacientes del arroyo Taquimilán (37°35'S), faja plegada y corrida del Agrio, Cuenca Neuquina

Brenda ARAMENDIA¹, Martín TURIENZO^{1,2,3}, Florencia PERALTA², Fernando LEBINSON^{2,3} y Natalia SÁNCHEZ^{2,3}

¹ Departamento de Geología y Petróleo, Universidad Nacional del Comahue, Neuquén.

² Instituto Geológico del Sur (INGEOSUR), Universidad Nacional del Sur - CONICET, Bahía Blanca.

³ Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca.

E-mail: brendaaramendia@hotmail.com

Editores invitados: Mariano Larrovere, Pablo Alasino y Sebastián Rocher

RESUMEN

En un área situada 20 km al sudoeste de Chos Malal, que abarca el límite entre la zona interna y externa de la faja plegada y corrida del Agrio, se adquirieron datos de campo que permitieron elaborar un mapa detallado, identificando cinco anticlinales con un rumbo aproximado N-S y vergencia dominante al este. En la zona interna la unidad más antigua aflorante es la Formación Tordillo, expuesta en el núcleo de un anticlinal con una longitud de onda de ~5 km considerado una estructura de primer orden que involucra al basamento. En la zona externa los pliegues tienen una longitud de onda de ~3 km, y forman estructuras de segundo orden que afectan principalmente al Grupo Mendoza. Un apretado anticlinal cuya longitud de onda es ~1 km, se interpreta como un pliegue de tercer orden que involucra a la Formación Agrio y unidades suprayacentes. Se elaboró una sección estructural balanceada O-E a los 37°35'S que permitió caracterizar el estilo estructural de la región y establecer una estrecha relación entre las estructuras de distinto orden, mediante corrimientos unidos a diferentes despegues en la cubierta sedimentaria que transmiten la deformación desde las estructuras de mayor escala a las de menor. La restitución de la sección estructural interpretada permitió calcular un acortamiento tectónico de 7,24 km (27%). Mediante un modelo cinemático se visualiza la secuencia relativa de la deformación y la estrecha vinculación entre las estructuras de piel gruesa y piel fina en la región estudiada.

Palabras clave: *Sección balanceada, tectónica andina, modelo cinemático.*

ABSTRACT

The andean tectonic structures in the head of Taquimilán stream (37°35'S), Agrio fold and thrust belt, Neuquén Basin.

In an area located 20 km to the southwest of Chos Malal, encompassing the boundary between the inner and outer zone of Agrio fold and thrust belt, field data were acquired that allowed the elaboration of a detailed map, identifying five anticlines with an approximate N-S trend and dominant vergence to the east. In the inner zone the oldest outcropping unit is the Tordillo Formation, exposed in the core of an anticline with a wavelength of ~ 5 km considered a first order basement involved structure. In the outer zone the folds have a wavelength of ~ 3 km, and form second order structures that mainly affect the Mendoza Group. A tight anticline whose wavelength is ~ 1 km, is interpreted as a third order fold involving the Agrio Formation and overlying units. A balanced cross-section was constructed at 37°35' S that allowed to characterize the structural style of the region, and to establish a close relation between the structures of different order, by means of thrusts linked to different detachments in the sedimentary cover that transmit the deformation from the structures of greater scale to those of smaller. The restoration of the interpreted structural cross-section allows to calculate a tectonic shortening of 7.24 km (27%). A kinematic model shows the relative sequence of the deformation and the close linkage between the thick- and thin-skinned structures in the studied region.

Keywords: *Balanced cross-section, andean tectonics, kinematic model.*

INTRODUCCIÓN

La faja plegada y corrida del Agrio es una región intensamente deformada de los Andes Neuquinos formada en respuesta a la contracción derivada de la subducción de la placa de Nazca por debajo de la placa Sudamericana (Ramos y Folguera 2005). Este cinturón orogénico se desarrolla en la región centro-oeste de la Provincia del Neuquén, aproximadamente entre las localidades de Chos Malal y Las Lajas (Fig. 1a). De acuerdo al predominio de estructuras involucrando al basamento (piel gruesa o *thick-skinned*) o a la cubierta sedimentaria (piel fina o *thin-skinned*), la faja plegada y corrida del Agrio ha sido dividida en una zona interna y una zona externa (Ramos 1998, Zapata y Folguera 2005). Para explicar la participación del basamento en la zona interna se han propuesto principalmente dos posibles mecanismos: la inversión tectónica positiva de fallas normales de alto ángulo heredadas de la etapa de rift (Vergani *et al.* 1995, Zapata *et al.* 2002, Zamora Valcarce *et al.* 2007, 2009, Rojas Vera *et al.* 2015) y la formación de nuevos corrimientos (fallas inversas de bajo ángulo) creadas en respuesta a la contracción andina (Minitti *et al.* 1986, Nocioni 1996, Kozłowski *et al.* 1998, Turienzo *et al.* 2014, 2018, Sánchez *et al.* 2015, Lebinson *et al.* 2015, 2018). Por otro lado, la deformación de piel fina en la zona externa ha sido caracterizada mediante pliegues por despegue y por propagación de falla desacoplados a partir de la Formación Auquilco (Viñes 1985, Zapata *et al.* 2002, Zamora Valcarce *et al.* 2007, 2009), aunque trabajos detallados más recientes reconocen estilos más complejos incluyendo mecanismos de plegamiento por flexión de falla debido a la localización de múltiples niveles de despegue en las formaciones Vaca Muerta, Agrio y Huitrín (Sánchez *et al.* 2014, Lebinson *et al.* 2015, 2018, Zamora Valcarce y Zapata 2015). El desplazamiento transmitido a través de estos niveles secundarios da lugar a estructuras de menor escala, interpretadas como pliegues de tercer y cuarto orden (Turienzo *et al.* 2014, 2018). El segmento septentrional de la faja plegada y corrida del Agrio se caracteriza por presentar excelentes exposiciones de las estructuras tectónicas, al contrario de lo

que ocurre con la información de subsuelo donde la mala calidad de las líneas sísmicas no permite definir con claridad la geometría de las estructuras en profundidad. Ante esta situación, los estudios estructurales de superficie son indispensables y constituyen una valiosa herramienta para caracterizar el estilo estructural y evaluar los mecanismos de deformación que afectaron a esta región.

El área de estudio se encuentra en las nacientes del arroyo Taquimilán, y abarca el límite entre la zona interna y externa de la faja plegada y corrida del Agrio (Fig. 1b). Está limitada hacia el oeste por el cerro El Manzano y hacia el este por el cerro Naunauco. El objetivo del presente trabajo es estudiar las estructuras tectónicas expuestas en el área de estudio, mapeadas en base a la adquisición de datos estructurales georreferenciados y al reconocimiento de las unidades en campo. Para caracterizar el estilo estructural de este sector de la faja plegada y corrida se construyó una sección estructural balanceada a los 37°35'S, la cual permite asegurar la viabilidad geométrica de las estructuras interpretadas y calcular el acortamiento tectónico. Con el fin de comprender la relación entre las estructuras de piel gruesa y piel fina interpretadas se elaboró un modelo cinemático con el programa *Decision Space Geosciences* de Halliburton. El conocimiento de la configuración de este cinturón orogénico servirá de sustento para el entendimiento de la evolución tectónica de este sector de los

Andes y/o para el desarrollo de modelos exploratorios en búsqueda de hidrocarburos en el ámbito de la faja plegada y corrida neuquina.

MARCO GEOLÓGICO

Contexto tectonoestratigráfico

Desde el Paleozoico hasta la actualidad ocurrieron diversos ciclos tectónicos y sedimentarios en el margen occidental de Gondwana, que dieron como resultado la configuración geológica y estructural de esta porción de la Cordillera de los Andes (Ramos y Folguera 2005). El basamento paleozoico no se encuentra expuesto en la zona de estudio y por lo tanto no es posible diferenciar las unidades que lo constituyen, como si ocurre en la región de la Cordillera del Viento. Allí el basamento está integrado por el Grupo Andacollo, el cual contiene sedimentitas marinas y rocas volcánicas de edad carbonífera (Zöllner y Amos 1973), y por rocas ígneas pérmicas incluidas en el Complejo volcánico-plutónico Huingancó (Llambías *et al.* 2007). Sobre el basamento se depositaron entre el Triásico Medio y Jurásico Temprano rocas volcánicas y volcánicas del ciclo Precuyano (Llambías *et al.* 2007), tampoco aflorantes en la faja plegada y corrida del Agrio, cuya acumulación estuvo controlada por hemigrábenes de orientación predominante NO-SE (Vergani *et al.* 1995).

Entre el Jurásico y el Cretácico Temprano

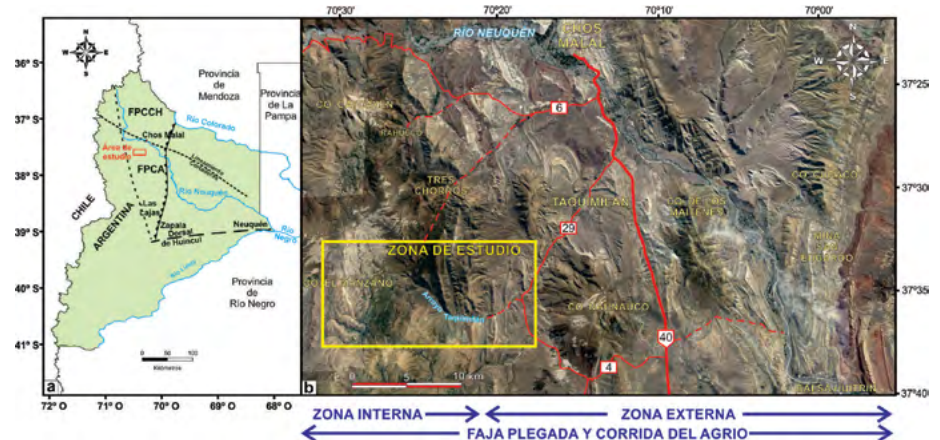


Figura 1. a) Localización de las principales fajas plegadas y corridas en el norte de la Provincia del Neuquén. FPCA: faja plegada y corrida del Agrio. FPCCH: faja plegada y corrida de Chos Malal. b) Imagen de ubicación (tomada de Google Earth) de la zona de estudio en las nacientes del arroyo Taquimilán.

se desarrollaron en la Cuenca Neuquina numerosos ciclos marinos transgresivos-regresivos, vinculados a la subsidencia en el retroarco, representados por los Grupos Cuyo, Lotena, Mendoza y Bajada del Agrio (Fig. 2). Los datos de espesores mencionados a continuación, que son los utilizados para realizar la sección estructural, fueron compilados a partir de trabajos previos sobre la estratigrafía en esta región (Zöllner y Amos 1973, Gulisano y Gutiérrez Pleimling 1994, Leanza y Hugo 2001, etc.), los datos de pozos ubicados en las regiones adyacentes a la zona de estudio (CMO.x-1; PDS.x-1; PDN.x-1; Bs.Nq.Ch.x-1; Bs.Nq.ChE.x-1) y observaciones propias en el campo. El Grupo Cuyo representa la primera ingresión marina en la cuenca que ocurrió durante el Pliensbaquiano-Calloviano y aflora hacia el norte del área de estudio integrado por las Formaciones Los Molles y Tábanos, las cuales presentan un espesor mínimo (pues su base no se halla expuesta) de 855 metros (Gulisano y Gutiérrez Pleimling 1994). En discordancia sobre el Grupo Cuyo sobreyace el Grupo Lotena, depositado entre el Calloviano medio y el Oxfordiano tardío, integrado por las Formaciones Lotena, La Manga y Auquilco (Legarreta y Gulisano 1989). Se debe destacar el carácter evaporítico de la Formación Auquilco, detectada en los sondeos exploratorios de la región, que constituye el principal nivel de despegue para el desarrollo de las estructuras de la faja plegada y corrida. El espesor conjunto de estas tres formaciones en la zona de estudio es de aproximadamente 170 m. Entre el Jurásico Tardío y el Cretácico Temprano se depositó el Grupo Mendoza (Fig. 2), el cual registra diferentes períodos de ascenso y descenso relativo del nivel del mar que generaron una serie de secuencias sedimentarias regresivas y transgresivas con paleogeografías cada vez más restringidas (Legarreta y Gulisano 1989, Vergani *et al.* 1995). Este grupo está integrado por las Formaciones Tordillo, Vaca Muerta, Mulichinco y Agrio, y se encuentra bien representado por extensos afloramientos dentro de la zona de estudio (Fig. 3). La Formación Tordillo se compone de ~700 m de areniscas rojizas tobáceas, intercaladas con niveles de limolitas verdosas y rojizas. La Formación Vaca

Muerta está constituida por ~575 metros de pelitas negras laminadas, intercaladas con calizas grises masivas que alojan invertebrados fósiles, predominantemente amonites, depositados entre el Tithoniano temprano y el Valanginiano temprano, marcando la máxima expansión marina de la Cuenca Neuquina (Legarreta y Gulisano 1989, Leanza *et al.* 2011). Entre el Valanginiano temprano y el tardío se depositó la Formación Mulichinco, con un espesor de ~360 m, formada por areniscas finas a gruesas micáceas, niveles de conglomerados, limolitas gris verdosas, calizas grises y coquinas. La Formación Agrio

se depositó entre el Valanginiano tardío y Barremiano temprano (Aguirre Urreta *et al.* 2008) y se divide en cuatro miembros denominados Pilmatué, Avilé, Agua de la Mula y Chorreado (Leanza y Hugo 2001, Leanza 2003). El Miembro Pilmatué posee un espesor estimado de 700 m mientras que el Miembro Agua de la Mula alcanza los 300 m de espesor. Ambos están constituidos por lutitas negras laminadas de ambiente marino y calizas con abundante contenido fosilífero que incluye amonites y bivalvos. El Miembro Avilé contiene ~30 m de areniscas medias a muy gruesas con estratificación entrecruzada, mientras que

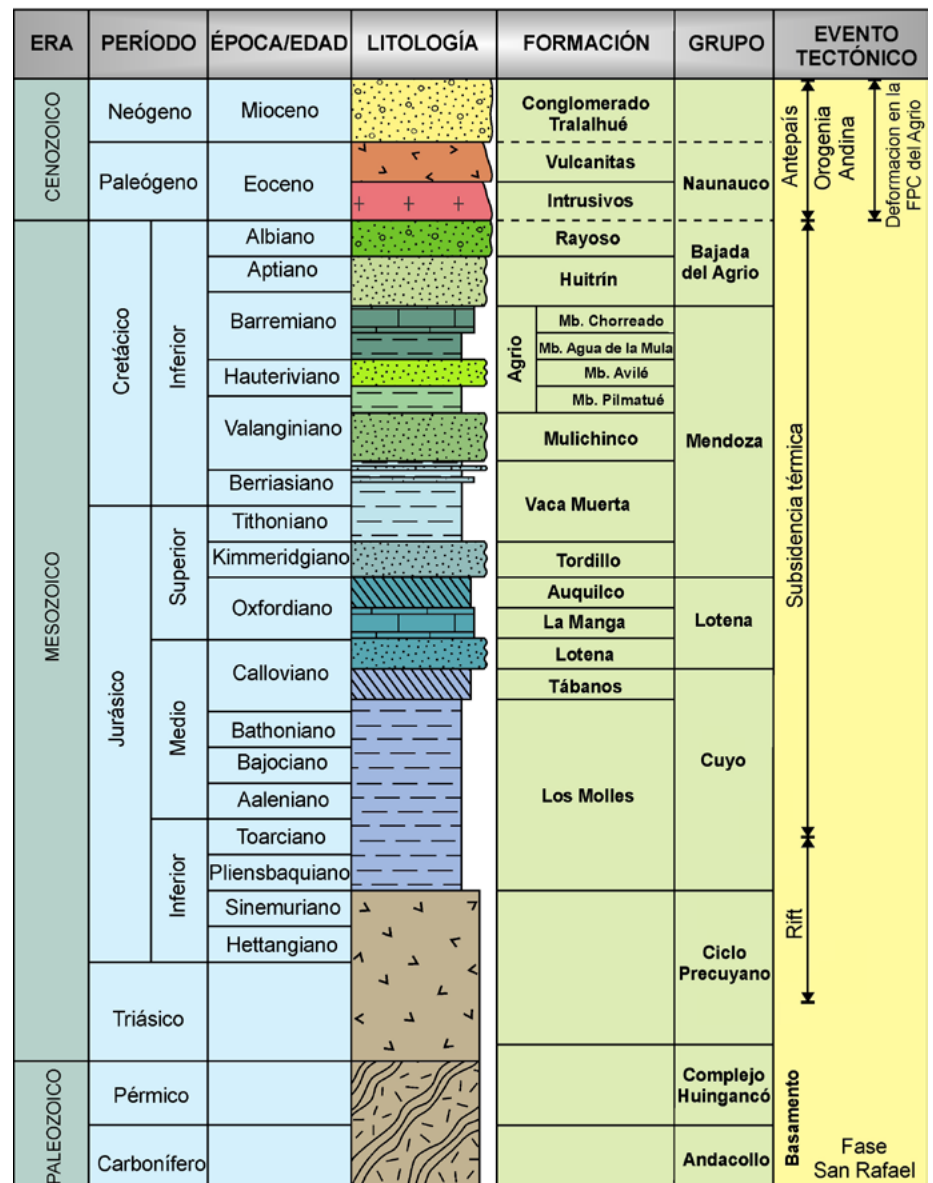


Figura 2. Cuadro tectonoestratigráfico con las unidades involucradas en la zona de estudio (basado en Legarreta y Gulisano 1989, Vergani *et al.* 1995, Leanza 2003, 2009, Tunik *et al.* 2010).

el Miembro Chorreado está formado por calizas blanquecinas de reducido espesor (~20 m) depositadas en un ambiente marino restringido (Gutiérrez Pleimling *et al.* 2011). Debido a su litología carbonática y su marcada laminación, este miembro desarrolla repliegues y fallamiento, visibles a escala de afloramiento.

Entre el Barremiano tardío y el Albiano se depositaron las secuencias evaporíticas y clásticas del Grupo Bajada del Agrio, compuesto por las Formaciones Huitrín y Rayoso (Méndez *et al.* 1995), las cuales afloran en los pliegues de la zona externa de la faja (Fig. 3). La Formación Huitrín está constituida por los Miembros Troncoso, el cual incluye una sección inferior arenosa y una superior evaporítica, La Tosca y Salina de naturaleza dominante carbonática, y posee un espesor en el orden de los 150 m en el área de estudio. La Formación Rayoso tiene un espesor aproximado de 300 m y se caracteriza por areniscas gruesas y conglomerados de tonalidades rojizas que marcan la desconexión definitiva de la cuenca con el paleo-Océano Pacífico.

La actividad magmática iniciada en el Cretácico Tardío hasta el Eoceno está evidenciada en la región por diversas rocas ígneas del Grupo Naunauco, que incluye facies intrusivas y extrusivas (Zamora Valcarce *et al.* 2006). En el área relevada se observan escasos afloramientos de rocas ígneas tentativamente asignables a este grupo, las cuales cubren discordantemente y/o intruyen a las Formaciones Agrio, Huitrín y Rayoso (Fig. 3). La unidad más joven mapeada en la zona de estudio corresponde a los depósitos sinorogénicos miocenos del Conglomerado Tralalhué (Ramos 1998), los cuales apoyan de manera discordante sobre las Formaciones Agrio y Rayoso en el núcleo del sinclinal Tralalhué (Fig. 3).

Edad de la deformación

Actualmente existe un consenso en que la construcción de la faja plegada y corrida del Agrio ocurrió durante dos pulsos principales de compresión, uno en el Cretácico Tardío-Paleógeno y otro en el Mioceno (Ramos y Folguera 2005, Zamora Valcarce *et al.* 2006, 2009, Rojas Vera *et al.* 2015), los cuales deformaron a los sedimentos mesozoicos de la Cuenca Neuquina y a su substrato. Cobbold y Rossello

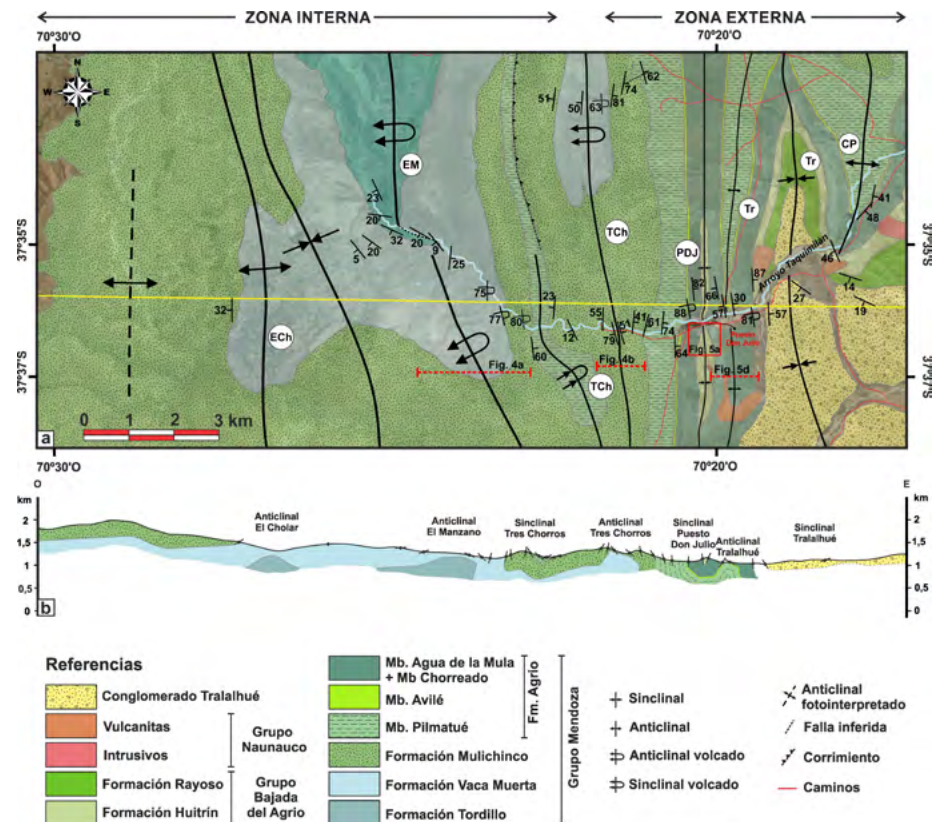


Figura 3. a) Mapa geológico del área de estudio. b) Perfil estructural O-E mostrando los principales datos estructurales relevados y los pliegues aflorantes. Ech: El Cholar. EM: El Manzano. Tch: Tres Chorros. PDU: Puesto Don Julio. Tr: Tralalhué. CP: Cerro Pitrén. Las líneas más gruesas representan los pliegues de mayor escala (1° orden) mientras que las líneas sucesivamente más delgadas indican los pliegues de menor escala (2° y 3° orden).

(2003) observaron tanto en líneas sísmicas como en los afloramientos una discordancia angular entre las Formaciones Huitrín y Rayoso, proponiendo el inicio de la compresión andina durante el Aptiano-Albiano. Los estratos rojos del Grupo Neuquén, discordantes sobre la Formación Rayoso, son considerados depósitos sinorogénicos acumulados en una cuenca de antepaís en respuesta al inicio de la Orogenia Andina (Ramos 1981, Cobbold y Rossello 2003, Ramos y Folguera 2005, Zamora Valcarce *et al.* 2009). Tunik *et al.* (2010) proponen el inicio de la exhumación en la zona occidental de los Andes entre los 98,6 Ma y los 88 Ma, basado en el análisis de circones detríticos de las Formaciones Agrio, Rayoso y Candeleros. En la región de Cerro Mocho, los estratos mesozoicos plegados se hallan cortados por diques basálticos subverticales E-O con edades $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de $101,9 \pm 0,69$ Ma y $91,97 \pm 4,06$ Ma, lo cual sugiere un evento compresivo E-O Cretácico antes de los ~ 100 Ma (Zamora Valcarce *et al.* 2006,

2009). Otras determinaciones geocronológicas $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de estos autores indican una edad de $65,5 \pm 0,46$ Ma para el lacolito del Cerro Naunauco, $72,83 \pm 0,83$ Ma para una bomba volcánica en la región de Colipilli, y $56,64 \pm 0,44$ Ma para un sill andesítico emplazado en la Formación Agrio en Colipilli. Zamora Valcarce *et al.* (2011) determinaron que estas dataciones marcan la edad mínima cretácica tardía para el evento de deformación. El estudio paleomagnético de los filones capa de edad eocena (56 Ma) en el área de Colipilli, sugiere que estos se habrían intruido en una secuencia previamente deformada con inclinaciones del orden de 20° - 25° (Zamora Valcarce *et al.* 2007). Durante el Mioceno medio a tardío, los filones habrían sufrido un basculamiento hasta su posición actual. Según Ramos y Folguera (2005) este evento de deformación Cretácico se podría correlacionar con la migración del arco volcánico hasta la región de Colipilli como consecuencia de una suave somerización de la placa de Nazca. Los modelos

de historia térmica a partir de las trazas de fisión en apatitos realizados por Rojas Vera *et al.* (2015) muestran un primer pulso de deformación entre el Cretácico Tardío y el Paleoceno (100-40 Ma), que habría elevado una estructura de basamento en la región más occidental de la faja plegada. Mediante el análisis termocronológico de U-Th/He en zircones a lo largo de la faja plegada y corrida de Chos Malal, Sánchez *et al.* (2018) determinaron edades entre $72,2 \pm 2,8$ y $66 \pm 6,1$ Ma, concluyendo que el enfriamiento de la Cordillera del Viento (sector interno) comenzó hace 70 Ma. En el plutón de Varvarco, situado en el sector noroccidental de la Cordillera del Viento, Kay *et al.* (2006) obtuvieron una edad $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en biotitas de $69,09 \pm 0,13$ Ma que interpretan como de enfriamiento asociado al levantamiento de dicha estructura.

Las secuencias sinorogénicas de las Formaciones Puesto Burgos, Rincón Bayo y Chos Malal (Cervera y Leanza 2009), junto con el Conglomerado Tralalhué (Ramos 1998), evidencian un segundo evento de contracción en la faja plegada y corrida del Agrio, ocurrido durante el Mioceno medio-tardío (Zapata *et al.* 2002, Zamora Valcarce *et al.* 2006, 2007). A partir de los datos de trazas de fisión en apatitos en el dorso de los Chihuidos, Zamora Valcarce *et al.* (2009) correlacionan los depósitos de las Formaciones Puesto Burgos y Rincón Bayo con las edades de enfriamiento obtenidas entre los 11 y los 6 Ma. Los modelos termocronológicos de Rojas Vera *et al.* (2015) muestran que este segundo evento ocurrió en el Mioceno medio-tardío, aproximadamente entre los 15 y 10 Ma, completando la configuración estructural tanto de la zona interna como externa de la faja plegada y corrida del Agrio. En el ámbito de la faja plegada y corrida de Chos Malal, Sánchez *et al.* (2018) determinaron mediante trazas de fisión en apatitos, que la deformación neógena tuvo lugar entre los ~15 y 7 Ma en ambos sectores de la faja. En esa misma región, un conjunto de diques y filones que forman el cerro Negro, con edades U-Pb de $11,55 \pm 0,06$ Ma y $11,63 \pm 0,2$ Ma respectivamente, se hallan intruidos en el núcleo de un importante anticlinal y en base a sus relaciones estructurales han sido interpretados como emplazados

de manera coetánea a los esfuerzos compresivos (Gürer *et al.* 2016). La deformación miocena coincidiría con una nueva horizontalización de la placa de Nazca por debajo de la placa Sudamericana (Ramos y Folguera 2005, Ramos *et al.* 2011, entre otros).

DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS EN SUPERFICIE

Durante las tareas de relevamiento se tomaron 91 puntos de medición posicionados mediante GPS, en cada uno de los cuales se describieron las rocas aflorantes y se efectuaron varias mediciones de rumbo y buzamiento de los planos de estratificación. Los puntos se volcaron sobre una imagen satelital georreferenciada permitiendo así elaborar el mapa geológico detallado con el programa ArcGis 10.1 (Fig. 3a) y un perfil para ilustrar la geometría de las estructuras aflorantes (Fig. 3b). En función de lo observado en el mapa se pueden distinguir dos sectores, uno occidental caracterizado por estructuras de ~4-5 km de longitud de onda y uno oriental cuyas estructuras presentan longitudes de onda entre ~3 y 1 km. Todas las estructuras identificadas tienen un rumbo aproximado norte-sur y vergencia dominante al este.

Anticlinal El Cholar

Esta estructura se encuentra en el extremo occidental del mapa y presenta una longitud de onda de ~4 km. En su limbo occidental afloran las areniscas y limolitas verdosas de la Formación Mulichinco mientras que en su núcleo expone a las pelitas de la Formación Vaca Muerta (Fig. 3a). Su limbo trasero buza 32° O, mientras que el limbo frontal no se pudo medir *in situ*, y fue observado a distancia con una inclinación aproximadamente similar al otro flanco por lo cual no es posible definir con claridad su vergencia. En el extremo oeste del perfil se fotointerpretó un amplio y suave anticlinal, que genera la exposición de la Formación Mulichinco a elevadas cotas topográficas (Fig. 3b). Unos 3 km al sur del área de estudio, en las nacientes del arroyo Tralalhué, dicho anticlinal contiene en su núcleo a la Formación Vaca Muerta y presenta un limbo trasero

con muy bajo buzamiento y un limbo frontal con inclinaciones entre 20° - 30° E.

Anticlinal El Manzano

Este pliegue presenta una longitud de onda de ~5 km, vergencia oriental, y en el arroyo Taquimilán su eje se encuentra ligeramente desplazado (Fig. 3a). En ese sector se observaron los estratos muy disturbados y brechas de falla, aunque sin indicadores cinemáticos. Esta deformación coincide con un segmento lineal de la quebrada del arroyo, con orientación NO, oblicua respecto al rumbo del plegamiento, pudiendo interpretarse como una falla menor con componente de desplazamiento de rumbo sinistral. Al norte de la sección el anticlinal El Manzano expone en su núcleo a la Formación Tordillo, mientras que hacia el sur involucra en superficie a las Formaciones Vaca Muerta y Mulichinco. El flanco occidental del pliegue presenta buzamientos entre 5° y 20° O y el limbo oriental es subvertical (Fig. 4a). Hacia el tope de la Formación Vaca Muerta las capas se invierten y presentan un buzamiento de 77° - 80° O. Por su magnitud, este pliegue es sin duda la estructura más importante de este sector de la faja plegada y corrida del Agrio.

Anticlinal y sinclinal Tres Chorros

El anticlinal Tres Chorros es un pliegue con una longitud de onda de ~3 km y con vergencia variable a lo largo del rumbo. En el sector norte del área mapeada el pliegue se halla desventrado exponiendo en su núcleo pelitas de la Formación Vaca Muerta (Fig. 3a), intensamente deformadas mediante pequeños repliegues y fallas visibles a escala de afloramiento. Sus flancos están bien definidos por los estratos más resistentes de la Formación Mulichinco, en la cual se midieron capas en posición normal con buzamientos de aproximadamente 50° O y 80° E que definen su vergencia oriental. En el sector sur, a lo largo del arroyo Taquimilán, la Formación Mulichinco tiene buzamientos entre 55° y 79° O en el flanco occidental y entre 41° y 51° E en el oriental (Fig. 3), pudiendo reconocerse localmente la vergencia occidental del pliegue (Fig. 4b). Entre los anticlinales Tres Chorros y El Manzano queda configurado el sinclinal Tres Chorros en

cuyo núcleo afloran las pelitas oscuras del Miembro Pilmatué y en sus flancos la Formación Mulichinco. En el contacto entre ambas unidades se midió un buzamiento de 60° E para el limbo occidental y de 23° O en el oriental.

Sinclinal Puesto Don Julio

Hacia el este del anticlinal Tres Chorros se localiza este apretado sinclinal, con rumbo N-S y afectando principalmente a los distintos miembros de la Formación Agrio (Fig. 3a). Las pelitas del Miembro Pilmatué aflorantes en el limbo occidental presentan buzamientos entre 61° y 87° E. Las areniscas del Miembro Avilé se encuentran invertidas con un buzamiento de 88° O al norte del arroyo Taquimilán mientras que hacia el sur se encuentran en posición normal y con buzamientos de 64° - 71° E. En el núcleo del sinclinal se aloja la Formación Huitrín y las calizas del Miembro Chorreado. En la orilla norte del arroyo Taquimilán el Miembro Chorreado presenta buzamientos de 82° E y 66° O para el flanco occidental y oriental respectivamente.

Al sur del arroyo los estratos carbonáticos del Miembro Chorreado en el núcleo del sinclinal Puesto Don Julio evidencian un intenso replegamiento, por lo cual se realizó un mapa y un perfil de detalle para ilustrar esta compleja deformación (Fig. 5). Se observan tres sinclinales separados por dos anticlinales, con longitudes de onda decamétricas (~ 60 - 100 m), los cuales involucran a los Miembros Agua de la Mula y Chorreado y a la Formación Huitrín. Esta intensa deformación probablemente ocurrió favorecida por el contraste de competencia entre los niveles más resistentes del Miembro Chorreado y las pelitas infra-yacentes del Miembro Agua de la Mula. Al oeste de la sección se observa un sinclinal con un limbo occidental buzante 40° SE y el oriental buzante 53° O. A continuación se encuentra un anticlinal volcado hacia el este que aloja en su núcleo a las pelitas del Miembro Agua de la Mula. Las capas del Miembro Chorreado en el limbo oriental de este pliegue se hallan invertidas, con un buzamiento de 80° O. Este limbo invertido es compartido con el sinclinal contiguo, cuyo flanco oriental buza 53° O. Hacia el este se desarrolla un segundo anticlinal, muy apretado, con las calizas del Miembro Chorreado en el limbo oriental

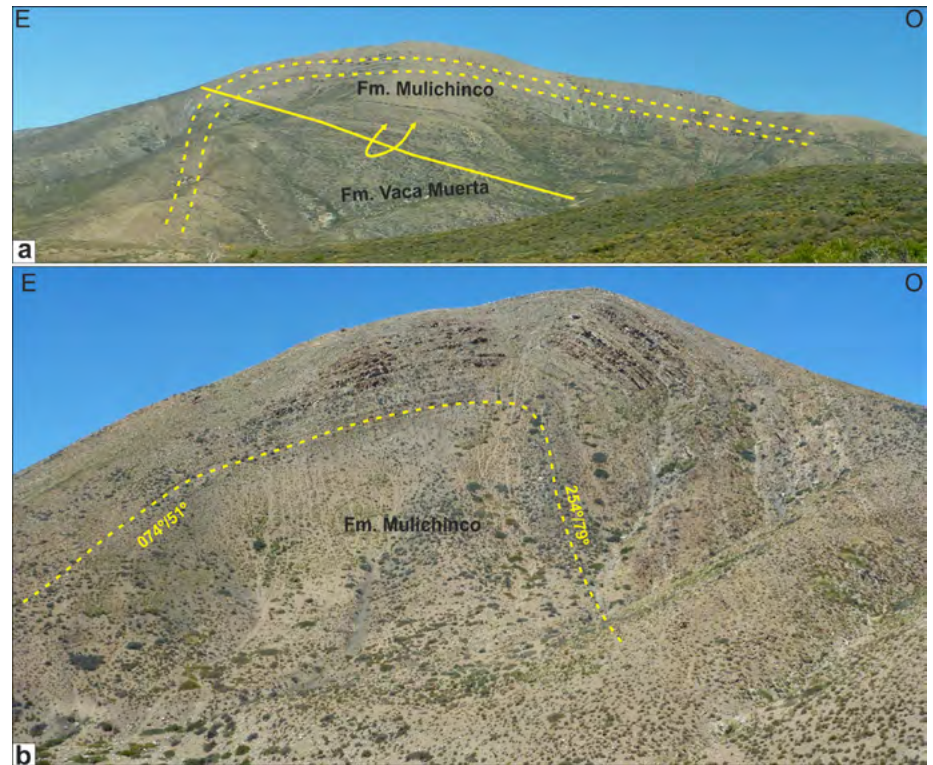


Figura 4. a) Fotografía panorámica del anticlinal El Manzano hacia el sur del arroyo Taquimilán. b) Fotografía del anticlinal Tres Chorros donde se reconoce su vergencia occidental.

buzantes 81° E. Finalmente en el extremo oriental del perfil se encuentra el tercer y último sinclinal, el cual culmina con los bancos carbonáticos buzantes 58° O. La corta longitud de onda de este tren de pliegues permite inferir un nivel de despegue muy somero, localizado dentro de las pelitas del Miembro Agua de la Mula (Fig. 5b).

Anticlinal Tralalhué

Es un pliegue apretado, con rumbo N-S y una longitud de onda de ~ 1 km, que se halla al este del sinclinal Puesto Don Julio (Fig. 3a). Al norte del arroyo expone en su núcleo a las pelitas del Miembro Pilmatué, que están en contacto con las areniscas del Miembro Avilé las cuales presentan buzamientos de 57° O y 30° E para el limbo occidental y oriental respectivamente. Hacia el sur del arroyo este anticlinal involucra a los miembros Agua de la Mula y Chorreado, evidenciando un hundimiento de su eje en esa dirección (Fig. 5d). Las capas del Miembro Chorreado en su flanco occidental buzan 58° O, mientras que en su flanco oriental se encuentran invertidas e inclinando con un ángulo de 81° O.

Sinclinal Tralalhué

Es un amplio pliegue de rumbo N-S que

expone en su núcleo los depósitos sinorogénicos miocenos del Conglomerado Tralalhué, en discordancia sobre los estratos plegados de las Formaciones Agrio y Rayoso (Ramos 1998, Zamora Valcarce *et al.* 2007). Al norte del arroyo Taquimilán involucra a las sedimentitas de las Formaciones Agrio, Huitrín y Rayoso, donde su flanco occidental buza 87° E y su flanco oriental 46° O (Fig. 3a). Al sur del arroyo los estratos invertidos (81° O) del Miembro Chorreado son cubiertos en discordancia angular por los conglomerados neógenos que buzan 57° E, en el limbo occidental del sinclinal. Por el contrario, en el flanco oriental del sinclinal Tralalhué, los depósitos miocenos yacen en paraconcordancia sobre los estratos de la Formación Rayoso, ambas secuencias mostrando buzamientos de bajo ángulo hacia el SO (Fig. 3a).

Anticlinal Cerro Pitrén

Esta estructura se encuentra en el extremo oriental del área de estudio y presenta su mejor desarrollo y exposición al norte del perfil estructural (Fig. 3). En la zona de estudio en su núcleo expone a las pelitas de la Formación Agrio, mientras que en sus limbos aflora el Miembro Chorreado.

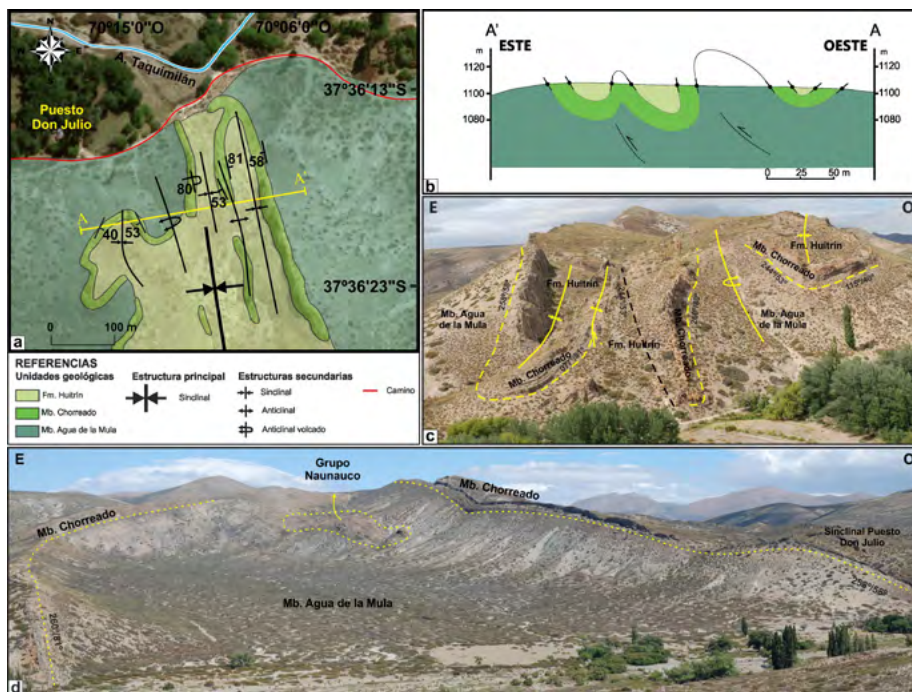


Figura 5. a) Mapa de detalle del sinclinal Puesto Don Julio. b) Perfil esquemático A'-A ilustrando las complejas estructuras desarrolladas dentro del sinclinal. c) Fotografía del sinclinal Puesto Don Julio al sur del arroyo Taquimilán. d) Anticlinal Tralalhué al sur del arroyo Taquimilán destacándose los estratos carbonáticos del Miembro Chorreado que en el limbo oriental se encuentran invertidos.

En los depósitos de los Miembros Avilé y Agua de la Mula se obtuvieron buzamientos de 46° O en el limbo occidental y de 41° - 48° E en el limbo oriental, por lo cual su vergencia no queda definida con claridad (Fig. 3a). Sin embargo se debe destacar que más al norte este anticlinal alcanza su mayor relieve estructural, permitiendo el afloramiento de la Formación Mulichinco, y esta corrido hacia el este mediante un corrimiento que genera su vergencia oriental (Lebinson *et al.* 2015, 2018).

SECCIÓN BALANCEADA Y EVOLUCIÓN CINEMÁTICA

Sobre el mapa geológico elaborado se trazó un perfil geológico O-E de 19,3 km de longitud, aproximadamente normal al rumbo de las estructuras, abarcando las zonas con mayor densidad de datos relevados en el campo (Fig. 3). El perfil topográfico se obtuvo a partir del modelo de elevación digital (ASTER GDEM) del área, caracterizado por una resolución horizontal de ~ 30 m y vertical de ~ 20 m. En base a los datos de buzamiento medidos se realizó una reconstrucción de la geometría

superficial de las estructuras aplicando el método *kink* de las bisectrices, el cual permite conservar constante el espesor de las unidades, obteniendo así una primera aproximación de la sección para su posterior interpretación en profundidad. En base a las características de las estructuras relevadas se interpretó que los pliegues de mayor longitud de onda, en el sector occidental de la sección, forman estructuras de primer orden involucrando al basamento (Fig. 6). Debido a que no existe información de subsuelo que permita inferir la influencia o no de fallas normales preexistentes, se interpreta que estas grandes estructuras de rumbo N-S están formadas por corrimientos profundos. Si bien el nivel de despegue basal de las fallas de basamento no se observa, debido a la escasa longitud de la sección balanceada, es posible considerar una profundidad en el orden de los 12-14 km, similar a la interpretada en la mayoría de las secciones estructurales regionales en distintos segmentos de la faja plegada neuquina (Zapata y Folguera 2005, Zamora Valcarce *et al.* 2006, 2011, Zamora Valcarce 2007, Rojas Vera *et al.* 2015, Sánchez *et al.* 2015, 2018, Lebinson *et al.* 2018, Turienzo *et al.* 2018; entre otros). Estos corrimien-

tos se insertan en la cubierta sedimentaria y de este modo el desplazamiento de las estructuras de primer orden involucrando al basamento produce la formación de estructuras de segundo orden que pliegan las secuencias mesozoicas, como los anticlinales Tres Chorros y Pitrén (Fig. 6). El nivel de despegue principal elegido para el desarrollo de las estructuras de piel fina es la Formación Auquico, debido a su naturaleza evaporítica e incompetente que favorecen el desacople estructural entre las secuencias infra y suprayacentes. Un nivel de despegue secundario corresponde al Miembro Pilmatué, a partir del cual se genera el anticlinal Tralalhué considerado una estructura de tercer orden (Fig. 6).

Siguiendo las técnicas de los perfiles balanceados (Dahlstrom 1969, Woodward *et al.* 1989) y con el objetivo de garantizar su viabilidad geométrica, la sección estructural fue restituida utilizando el método de conservación de la longitud de las líneas. El acortamiento tectónico calculado a partir de la restitución de la sección interpretada es de 7,24 km, lo que representa un 27% de su longitud inicial (Fig. 6). Se debe aclarar que el valor porcentual de contracción estimado es muy elevado (27%), debido a que la longitud total de la sección interpretada es pequeña comparada con los perfiles regionales de otros autores. Por otro lado el acortamiento en kilómetros calculado puede evaluarse en dos etapas de contracción, que luego se detallaran al analizar la cinemática. El desplazamiento de las fallas 1 y 2 que involucran al basamento, y los corrimientos asociados a ellos que producen todos los pliegues en la cubierta sedimentaria estudiados en la sección, genera un acortamiento de ~ 3 km. El movimiento de la falla 3 genera una importante cuña de basamento en subsuelo, que contribuye a la elevación final de las estructuras mapeadas en el área, pero su desplazamiento de ~ 4 km es completamente transferido hacia el este generando pliegues de piel fina fuera de la sección interpretada (Fig. 6). Un corte estructural ubicado a la misma latitud pero mucho más extenso, abarcando todo el ancho de la faja plegada, fue elaborado por Zamora Valcarce (2007) quien determinó un acortamiento de 9,32 km. En dicha sección la deformación de piel gruesa más notoria ocurre en el sector interno

de la faja, donde se interpreta una única cuña de basamento que se considera formada por la inversión de fallas normales previas. El movimiento de esa gran estructura sobre la Formación Auquilco habría generado algunos pliegues en la cubierta sedimentaria ubicados hacia la zona frontal, pero gran parte del desplazamiento es acomodado a través de un retrocorrimento adyacente a la estructura de piel gruesa (Zamora Valcarce 2007, Zamora Valcarce *et al.* 2011). De acuerdo a estos autores la deformación del basamento es menor en la zona externa, producto de la inversión parcial de tres hemigrábenes que generaron el resto de los pliegues de piel fina.

Una sección equivalente pero algo más extensa presentada por Rojas Vera *et al.* (2015), también considerando un modelo de inversión de fallas extensionales previas, muestra un acortamiento total de 9,6 km. Recientemente Lebinson *et al.* (2018) realizaron una sección balanceada ubicada unos 8 km al norte del perfil aquí estudiado, que incluye todo el ancho de la faja a excepción del último resalto de basamento asociado a la falla Las Yeseras en el frente de deformación, y calcularon un acortamiento de 10,9 km. La configuración del sector interno de acuerdo a Lebinson *et al.* (2018) se halla formada por tres corrimientos que involucran al basamento, el

más occidental con desplazamiento relativamente menor y los otros dos formando importantes cuñas. Esas dos cuñas de basamento son similares a las cuñas A y B interpretadas en la sección a lo largo del arroyo Taquimilán (Fig. 6), pero el desplazamiento relativo de cada una de ellas es diferente debido a la variación a lo largo del rumbo de las estructuras. En la región norte la cuña superior tiene más desplazamiento que la inferior, lo cual permite explicar el afloramiento de la Formación Tordillo en la zona interna y transmitir la deformación suficiente para que el anticlinal Cerro Pitrén alcance su máximo desarrollo (Lebinson *et al.* 2018). A lo largo de la

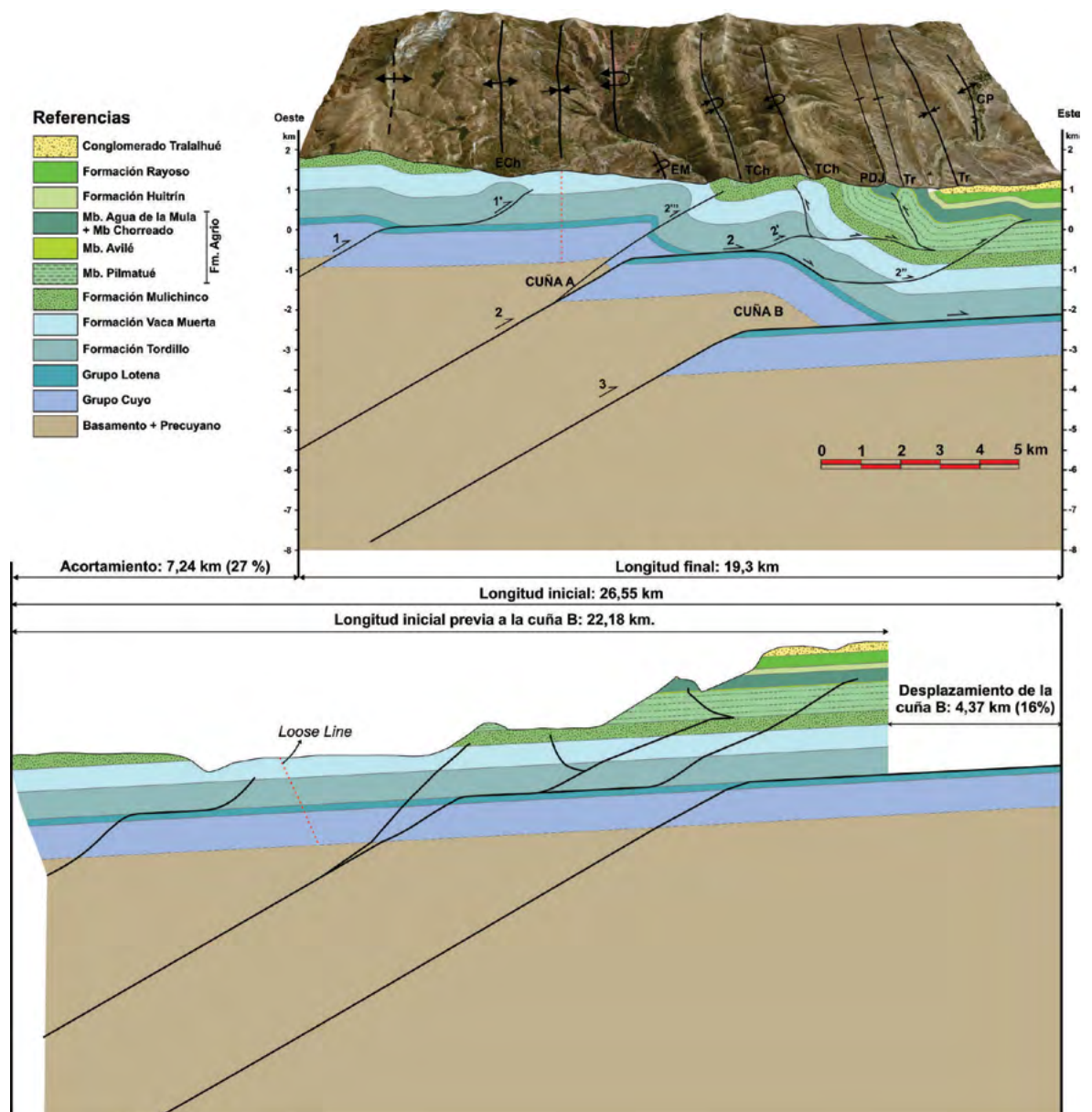


Figura 6. Sección estructural interpretada y balanceada. El acortamiento tectónico total calculado es de 7,24 km (27%). Los números indican el orden relativo del fallamiento (ilustrado secuencialmente en la Fig. 7).

sección estudiada en la zona interna el relieve estructural es ligeramente menor, por lo que aflora la Formación Vaca Muerta, y el anticlinal Cerro Pitrén es cortado en su culminación austral requiriendo muy bajo desplazamiento de la falla asociada (Fig. 6). Comparando numerosas secciones estructurales a lo largo de la faja plegada del norte neuquino, Lebinson *et al.* (2018) mostraron que la contracción porcentual calculada es sensible al modelo estructural dominante asumido en la reconstrucción. De dicho análisis se desprende que las secciones interpretadas siguiendo un modelo de inversión de fallas normales preexistentes presentan en general bajos acortamientos porcentuales, mientras que las interpretadas con un predominio de corrimientos formados por la contracción andina arrojan valores mayores. Por otro lado los acortamientos en kilómetros pueden obtenerse con mayor exactitud al reconstruir y restituir las estructuras de piel fina, generalmente expuestas y con niveles guía que facilitan su mapeo y medición. En tal caso los estudios detallados considerando estructuras de diversa escala en las secuencias sedimentarias suelen obtener acortamientos más elevados que las secciones muy regionales donde la deformación en la cubierta puede estar simplificada.

Para ilustrar la vinculación espacial y temporal entre las estructuras interpretadas se realizó un modelo cinemático (Fig. 7), utilizando la herramienta *structural modeling* del programa *Decision Space Geosciences* de Halliburton. Partiendo de la sección restituida y moviendo cada una de las fallas interpretadas se realizó un modelado hacia adelante o *forward modelling* considerando una secuencia de propagación normal de la deformación, en la cual las estructuras más jóvenes se forman sucesivamente hacia el antepaís. Si bien no se cuenta con datos propios acerca de la edad absoluta de la deformación, en base a la información brindada por trabajos previos detallados en el marco geológico es posible considerar que las estructuras representadas se formaron en las fases de contracción reconocidas para la región, una en el Cretácico Tardío-Paleógeno y otra en el Mioceno medio-tardío.

La primera estructura en formarse en la evolución modelada es el anticlinal El

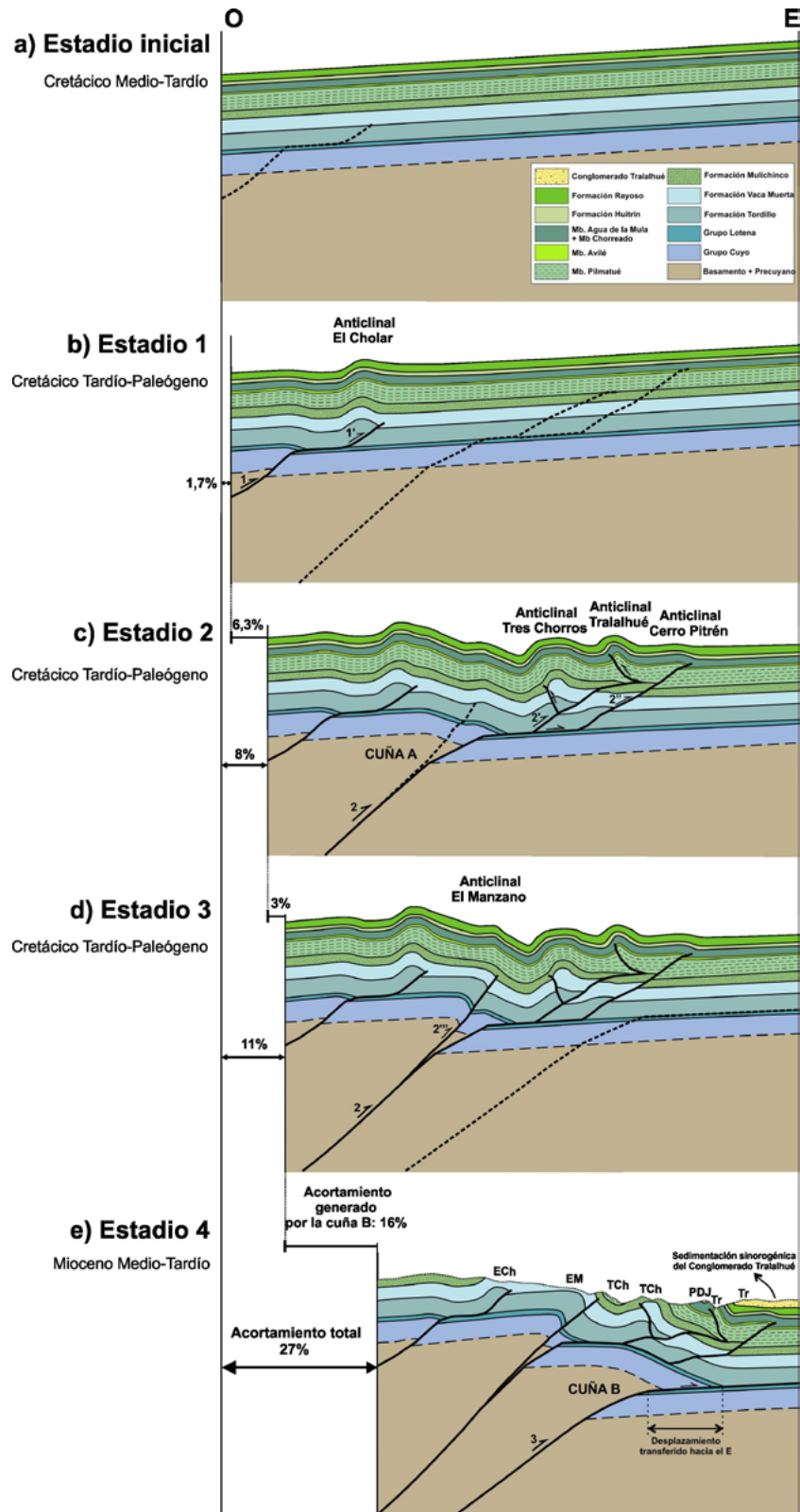


Figura 7. Modelo cinemático propuesto para las estructuras interpretadas en este sector de la faja plegada y corrida del Agrio (Fig. 6), con el porcentaje (%) de acortamiento en cada etapa. a) Estadio inicial previo a la deformación; b) Formación del anticlinal El Cholar; c) Inicio de la cuña de basamento "A" (estructura de 1º orden) cuyo desplazamiento origina los anticlinales Tres Chorros y Cerro Pitrén (de 2º orden), y Tralalhué (de 3º orden); d) Ramificación del corrimiento 2 que corta la cuña y cuya propagación hacia la superficie incrementa el buzamiento del limbo frontal del anticlinal El Manzano; e) Inicio de la cuña de basamento "B" que eleva y pliega a todas las estructuras anteriormente formadas y transmite su importante desplazamiento hacia el este formando otras estructuras de segundo orden fuera del área de estudio.

Cholar, interpretado como un pliegue por propagación de falla con un desplazamiento relativamente bajo, que presenta un nivel de despegue en la Formación Auquilco al tope del Grupo Lotena (Fig. 7b). El desplazamiento necesario para generar esta estructura podría provenir de una pequeña cuña de basamento formada más al oeste, cuyo levantamiento incipiente a su vez permitiría explicar el plegamiento de la Formación Mulichinco y su exposición a elevadas cotas topográficas. El acortamiento producido por esta estructura es de ~1,7% (Fig. 7b). Al continuar la compresión y en secuencia normal hacia el antepaís se forma un segundo corrimiento en el basamento (falla 2) que se horizontaliza en el despegue al tope del Grupo Lotena conformando la cuña A (Fig. 7c). Esta cuña de basamento transmite el desplazamiento hacia el este y produce un pliegue por propagación de falla con un retrocorrimiento asociado (falla 2'), creando una geometría de tipo *pop-up* para el anticlinal Tres Chorros. El corrimiento 2' se interpreta cortando secuencia arriba hasta alcanzar la base del Miembro Pilmatué, donde se horizontaliza y transfiere el desplazamiento necesario que origina el anticlinal Tralalhué. Entre los anticlinales Tres Chorros y Tralalhué se encuentra el sinclinal Puesto Don Julio, el cual al quedar apretado por los anticlinales adyacentes sufre una intensa deformación observada en el Miembro Chorreado (Fig. 5c). Parte del desplazamiento transmitido por la cuña A sobre el nivel de despegue principal da lugar hacia el antepaís a una falla buzante al oeste (falla 2'') que origina el anticlinal Cerro Pitrén. El acortamiento en este segundo estadio de deformación es de aproximadamente 6,3 % (Fig. 7c). Una ramificación del corrimiento 2 se propaga hacia la superficie (falla 2'''), fragmentando el frente de la cuña A y aumentando el buzamiento del flanco oriental del anticlinal El Manzano, produciendo ~3% de acortamiento (Fig. 7d). Si bien no hay evidencia para distinguir en qué momento de la evolución se generó la falla 2''', se interpretó luego de las estructuras de piel fina considerando que el importante desarrollo de las mismas creó un contrafuerte que dificultó el continuo desplazamiento de la cuña A hacia el antepaís. Este impedimento del movimiento

favoreció la reactivación del corrimiento 2 y la consiguiente fragmentación de la cuña previamente formada. Al finalizar esta etapa ya se encuentran desarrolladas todas las estructuras propias del sector interno de la faja plegada y corrida del Agrio en la sección estudiada, totalizando un acortamiento de aproximadamente 3 km que corresponde a un 11% (Fig. 7d). Teniendo en cuenta toda la información referida a la edad de la deformación en la faja plegada y corrida del Agrio, el desarrollo de las estructuras ilustradas en las etapas iniciales de la evolución (Fig. 7 b-d) probablemente ocurrió durante la contracción del Cretácico Tardío – Paleógeno. Finalmente se interpretó la formación del corrimiento 3 y la cuña de basamento B (Fig. 7e), cuyo desplazamiento no genera ninguna estructura de piel fina dentro del perfil si no otras que se encuentran hacia el este, fuera del área de estudio, tales como los anticlinales Taquimilán, Maitenes y Río Neuquén (Lebinson *et al.* 2018). Sin embargo, se debe destacar que el desarrollo de esta gran estructura de piel gruesa en profundidad deforma y eleva considerablemente a la mayoría de las estructuras que conforman la sección estructural estudiada y permite la exposición de las unidades jurásicas en el sector occidental a elevadas cotas topográficas. El acortamiento estimado en esta etapa de deformación es de 4,3 km (16%), que al estar ligada al desarrollo de estructuras formadas en la región oriental de la faja plegada se vincula a la etapa de contracción durante el Neógeno. Esta reactivación y levantamiento adicional es consistente con los datos de trazas de fisión en apatitos que registran un último evento de exhumación entre los 15 y 10 Ma en la zona interna de la faja plegada y corrida del Agrio (Rojas Vera *et al.* 2015). Adicionalmente este alzamiento Neógeno en la región occidental de la sección genera un importante relieve estructural (Fig. 7e), creando una probable fuente de aporte para los depósitos sinorogénicos miocenos del Conglomerado Tralalhué (Ramos 1998). Estudios de paleocorrientes en el sinclinal Tralalhué (Zamora Valcarce 2007) indican procedencia desde el noroeste en el flanco occidental del pliegue y desde el noreste, donde se localiza el intrusivo del cerro Naunauco, en el flanco oriental.

La reconstrucción geométrica y cinemática aquí presentada permite comprender la vinculación entre las estructuras de piel gruesa del sector interno y las de piel fina que conforman el sector externo de la faja plegada y corrida del Agrio. Modelos estructurales comparables, que conectan la deformación de estructuras de piel gruesa y piel fina de diferente orden, han sido elaborados y documentados en otros sectores de la faja plegada y corrida del Agrio (Viñes 1985, Minniti *et al.* 1986, Zamora Valcarce 2007, Zamora Valcarce *et al.* 2011, Lebinson *et al.* 2015, 2018) y la faja plegada y corrida de Chos Malal (Kozłowski *et al.* 1998, Sánchez *et al.* 2014, 2015, 2018, Turienzo *et al.* 2014, 2018).

CONCLUSIONES

En base al relevamiento de campo se realizó un mapa geológico de detalle y una sección estructural balanceada que permitieron ilustrar las estructuras que forman la faja plegada y corrida del Agrio a los 37°35'S, identificando 5 anticlinales, con un rumbo aproximado N-S y vergencia dominante al este. Se reconoció un sector interno con anticlinales de gran longitud de onda interpretados como estructuras de primer orden que involucran al basamento, y un sector externo con pliegues de menor longitud de onda considerados estructuras de segundo orden que afectan principalmente al Grupo Mendoza. En la zona externa también se relevó un anticlinal de menor escala interpretado como un pliegue de tercer orden que involucra a la Formación Agrio y unidades suprayacentes, con una longitud de onda de ~1 km. En el modelo estructural propuesto se interpretaron dos cuñas de basamento (A y B), generadas a partir de corrimientos profundos, desarrolladas como pliegues por flexión de falla que en su ascenso alcanzan las evaporitas de la Formación Auquilco y transmiten la deformación hacia el antepaís originando las estructuras que involucran a la cubierta sedimentaria. La cuña A es la responsable de generar las estructuras de piel fina que conforman la sección estructural estudiada, mientras que el desplazamiento de la cuña B no genera ninguna estructura dentro del perfil si no otras que se encuentran hacia el este

fuera del área de estudio. Sin embargo, esta segunda cuña eleva y pliega considerablemente a la mayoría de las estructuras de la sección estructural hasta su posición actual, exponiendo a las unidades jurásicas en el sector occidental a elevadas cotas topográficas. La restitución de la sección permitió estimar un acortamiento tectónico de 7,24 km (27%), consistente con lo estimado por otros autores en la región. Se desarrolló un modelo cinemático para evaluar la secuencia relativa de deformación y comprender la estrecha relación entre las estructuras de piel gruesa y piel fina en este sector de la faja plegada y corrida del Agrio, donde los grandes corrimientos que involucran al basamento se insertan en la cubierta y transmiten la deformación necesaria para crear los pliegues relacionados a fallas que afectan la secuencia sedimentaria mesozoica.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue financiado a través de los subsidios CONICET P-UE 22920160100047CO y ANPCyT PICT 0419. Se agradece a la empresa Halliburton, por brindarnos el programa *Decision Space Geosciences* con licencia académica en la Universidad Nacional del Comahue. Agradecemos a los editores la invitación para participar de este número especial y las valiosas correcciones y sugerencias realizadas por los Dres. José Mescua y Gonzalo Zamora que contribuyeron a enriquecer y mejorar nuestro trabajo.

REFERENCIAS

- Aguirre Urreta, M.B., Casadio, S., Cichowski, M., Lazo, D.G. y Rodríguez, D. 2008. Afinidades paleobiogeográficas de los invertebrados cretácicos de la cuenca Neuquina. *Ameghiniana* 45(3): 591-611.
- Cervera, M. y Leanza, H.A. 2009. Hallazgo de sedimentitas sinorogénicas neógenas en los alrededores de Chos Malal, Cuenca Neuquina, Argentina. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales* 11: 15-22.
- Cobbald, P. y Rossello, E. 2003. Aptian to recent compressional deformation, foothills of the Neuquén Basin Argentina. *Marine and Petroleum Geology* 20: 429-443.
- Dahlstrom, C.D.A. 1969. Balanced cross sections. *Canadian Journal of Earth Sciences* 6: 743-757.
- Gulisano, C.A. y Gutiérrez Pleimling, A.R. 1994. The Jurassic of the Neuquén Basin, a) Neuquén Province. Secretaría de Minería de la Nación, Publicación 158: 111 p.
- Gürer, D., Galland, O., Corfu, F., Leanza H. y Sassier, S. 2016. Structure and evolution of volcanic plumbing systems in fold-and-thrust belts: A case study of the Cerro Negro de Tricao Malal, Neuquén Province, Argentina. *GSA Bulletin* 128: 315-331.
- Gutiérrez Pleimling, A.R., Olea, G., Suárez, M. y Valenzuela, M. 2011. El Miembro Chorreado de la Formación Huitrín (Cretácico Temprano). En: Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C. y Vallés J.M. (eds.), *Geología y Recursos Naturales de la provincia del Neuquén*. Asociación Geológica Argentina, 175-180, Neuquén.
- Kay S., Burns, W., Copeland P.C. y Mancilla, O. 2006. Upper Cretaceous to Holocene magmatism and evidence for transient Miocene shallowing of the Andean subduction zone under the northern Neuquén Basin. En: Kay S.M. y Ramos V.A. (eds.), *Evolution of an Andean margin: a tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén Basin (35°-39°S)*. Geological Society of America, Special Paper 407: 19-60, Boulder.
- Kozłowski, E., Cruz, C. y Sylwan, C. 1998. Modelo exploratorio en la faja corrida de la Cuenca Neuquina, Argentina. *Boletín de Informaciones Petroleras* 55: 4-23.
- Leanza, H.A. 2003. Las sedimentitas huitrianas y rayosianas (Cretácico Inferior) en el ámbito central y meridional de la cuenca Neuquina, Argentina. *Servicio Geológico Minero Argentino, Serie Contribuciones Técnicas, Geología* 2: 1-31.
- Leanza, H.A. 2009. Las principales discordancias del Mesozoico de la Cuenca Neuquina según observaciones de superficie. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales* 11: 145-184.
- Leanza, H.A. y Hugo, C.A. 2001. Hoja Geológica 3969-I Zapala, Provincia del Neuquén. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, *Boletín* 275: 128 p., Buenos Aires.
- Leanza, H.A., Sattler, F., Martínez, R.S. y Carbone, O. 2011. La Formación Vaca Muerta y Equivalentes (Jurásico Tardío-Cretácico Temprano) en la cuenca Neuquina. En: Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C. y Vallés J.M. (eds.), *Geología y Recursos Naturales de la provincia del Neuquén*. Asociación Geológica Argentina, 113-129, Neuquén.
- Lebinson, F., Turienzo, M., Sánchez, N., Araujo, V. y Dimieri, L. 2015. Geometría y cinemática de las estructuras tectónicas en el extremo septentrional de la faja corrida y plegada del Agrio, Cuenca Neuquina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 72: 299-313.
- Lebinson, F., Turienzo, M., Sánchez, N., Araujo, V., D'Annunzio, M. y Dimieri, L. 2018. The structure of the northern Agrio fold and thrust belt (37°05' S), Neuquén Basin, Argentina. *Andean Geology* 45: 249-273.
- Legarreta, L. y Gulisano, C. 1989. Análisis estratigráfico secuencial de la Cuenca Neuquina (Triásico Superior-Terciario inferior). En: Chebli, G. y Spalletti, L. (eds.), *Cuencas Sedimentarias Argentinas. Serie Correlación Geológica* 6: 221-243, San Miguel de Tucumán.
- Llambías, E.J., Leanza, H.A. y Carbone, O. 2007. Evolución tectono-magmática durante el Pérmico al Jurásico Temprano en la Cordillera del Viento (37°05' S – 37°15' S): Nuevas evidencias geológicas y geoquímicas del inicio de la cuenca neuquina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 62: 217-235.
- Méndez, V., Zanettini J.C. y Zappettini, E.O. 1995. Geología y metalogénesis del Orógeno Andino Central, República Argentina. Secretaría de Minería de la Nación, Dirección Nacional del Servicio Geológico, *Anales* 23: 1-190, Buenos Aires.
- Minniti, S., Gutiérrez Pleimling, A., Artega, M. y Pestalardo, F. 1986. Análisis estructural y estratigráfico de la Faja Plegada Neuquina a la latitud de 37°30', Departamentos de Ñorquin y Pehuenches, provincia de Neuquén. Gerencia General de Exploración (YPF), Subgerencia de Geología, Comisión Geológica N°1 (informe inédito), 64 pp.
- Nocioni, A.D. 1996. Estudio estructural de la Faja Plegada y Corrida de la Cuenca Neuquina- Surmendocina. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, *Actas* 2: 353-372, Buenos Aires.
- Ramos, V.A. 1981. Descripción geológica de la Hoja 33c, Los Chihuidos Norte. *Boletín del Servicio Geológico Nacional* 182 (escala 1:200.000), 103 p., Buenos Aires.
- Ramos, V.A. 1998. Estructura del sector occidental de la faja plegada y corrida del Agrio,

- cuenca Neuquina, Argentina. 10° congreso Latinoamericano de Geología, Actas 2: 105-110, Buenos Aires.
- Ramos, V.A. y Folguera, A. 2005. Tectonic evolution of the Andes of Neuquén: Constraints derived from the magmatic arc and foreland deformation. En: Spalletti, L., Veiga, G., Schwarz, E. y Howell, J. (eds.), The Neuquén Basin: A case study in sequence stratigraphy and basin dynamics. Geological Society, Special Publications 252: 15-35, London.
- Ramos, V.A., Mosquera, A., Folguera, A. y García Morabito, E. 2011. Evolución tectónica de los Andes y del Engolfamiento Neuquino adyacente. En Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C., Vallés J.M. (eds.), Geología y Recursos Naturales de la provincia del Neuquén. Asociación Geológica Argentina, 335-348, Neuquén.
- Rojas Vera, E., Mescua, J., Folguera, A., Becker, T., Sagripanti, L., Fenell, L., Orts, D. y Ramos, V.A. 2015. Evolution of the Chos Malal and Agrio fold and thrust belts, Andes of Neuquén: Insights from structural analysis and apatite fission track dating. *Journal of South American Earth Sciences* 64: 418-433.
- Sánchez, N.P., Turienzo, M.M., Dimieri, L.V., Araujo, V.S. y Lebinson, F. 2014. Evolución de las estructuras andinas en la faja corrida y plegada de Chos Malal: interacción entre el basamento y la cubierta sedimentaria de la Cuenca Neuquina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 71: 233-246.
- Sánchez, N., Turienzo, M., Lebinson, F., Araujo, V., Coutand, I. y Dimieri, L. 2015. Structural style of the Chos Malal fold and thrust belt, Neuquén basin, Argentina: Relationship between thick- and thinskin tectonics. *Journal of South American Earth Sciences* 64: 399-417.
- Sánchez, N., Coutand, I., Turienzo, M., Lebinson, F., Araujo V. y Dimieri, L. 2018. Tectonic evolution of the Chos Malal fold and thrust belt (Neuquén Basin, Argentina) from (U-Th)/He and fission track thermochronometry. *Tectonics* 37: 1907-1929.
- Tunik, M., Folguera, A., Naipauer, M., Pimentel, M. y Ramos, V.A. 2010. Early uplift and orogenic deformation in the Neuquén basin: Constraints on the Andean uplift from U-Pb and Hf isotopic data of detrital zircons. *Tectonophysics* 489: 258-273.
- Turienzo, M., Sánchez, N., Dimieri, L., Lebinson, F. y Araujo V. 2014. Tectonic repetitions of the Early Cretaceous Agrio Formation in the Chos Malal fold-and-thrust belt, Neuquén Basin, Argentina: geometry, kinematics and structural implications for Andean building. *Journal of South American Earth Sciences* 53: 1-19.
- Turienzo, M., Sánchez, N., Lebinson F. y Dimieri L. 2018. The structure of the Southern Central Andes (Chos Malal fold and thrust belt). En: Folguera, A., Contreras Reyes, E., Heredia, N., Encinas, A., Iannelli, S., Oliveros, V., Dávila, F., Collo, G., Giambiagi, L., Maksymowicz, A., Iglesia Llanos, M.P., Turienzo, M., Naipauer, M., Orts, D., Litvak, V., Álvarez, O., Arriagada, C. (eds) The Evolution of the Chilean Argentinean Andes. Springer Earth System Sciences: 411-441, Cham.
- Vergani, G.D., Tankard, A.J., Belotti, H.J. y Weisink, H.J. 1995. Tectonic evolution and paleogeography of the Neuquén Basin, 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: 383-402, Tulsa.
- Víñes, R.F. 1985. Estilos estructurales en la faja plegada occidental neuquina. Gerencia General de Exploración (YPF), Subgerencia de Geología (informe inédito), 14 pp., Buenos Aires
- Woodward, N., Boyer, S. y Suppe, J. 1989. Balanced Geological Cross-Sections: An Essential Technique in Geological Research and Exploration. *American Geophysical Union. Short Courses in Geology* 6, 132 pp.
- Zamora Valcarce, G. 2007. Estructura y cinemática de la faja plegada del Agrio. Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires (inédita), 304 p., Buenos Aires.
- Zamora Valcarce, G. y Zapata, T. 2015. Building a valid structural model in a triangle zone: An example from the Neuquén fold and thrust belt, Argentina. *Society of Exploration Geophysicists and American Association of Petroleum Geologists* 3: 117-131.
- Zamora Valcarce, G., Zapata, T., del Pino, D. y Ansa, A. 2006. Structural evolution and magmatic characteristics of the Agrio fold-and thrust belt. En: Kay, S.M. y Ramos, V.A. (eds.), *Evolution of an Andean margin: A tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén Basin (35°-39°S)*. Geological Society of America, Special Paper 407: 125-145.
- Zamora Valcarce, G., Rapalini, A.E. y Spagnuolo, C.M. 2007. Reactivación de estructuras cretácicas durante la deformación miocena, faja plegada del Agrio, Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 62: 299-307.
- Zamora Valcarce, G., Zapata, T., Ramos, V.A., Rodríguez, F. y Bernardo, L.M. 2009. Evolución tectónica del Frente Andino en Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 65: 192-203.
- Zamora Valcarce, G., Zapata, T. y Ramos, V.A. 2011. La faja plegada y corrida del Agrio. En: Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C. y Vallés J.M. (eds.), *Geología y Recursos Naturales de la provincia del Neuquén*. Asociación Geológica Argentina, 367-374, Neuquén.
- Zapata, T.R., Córscico, S., Dzelalija, F. y Zamora Valcarce, G. 2002. La faja plegada y corrida del Agrio: Análisis estructural y su relación con los estratos terciarios de la Cuenca Neuquina, Argentina. 5° Congreso de exploración y desarrollo de Hidrocarburos, Actas electrónicas, Mar del Plata.
- Zapata, T. R. y Folguera, A. 2005. Tectonic evolution of the Andean fold and thrust belt of the southern Neuquén Basin, Argentina. En: Veiga, G., Spalletti, L., Schwarz, E. y Howell, J. (eds.), The Neuquén Basin: A case study in sequence stratigraphy and basin dynamics. Geological Society, Special Publications 252: 37-56, London.
- Zöllner, W. y Amos, A. J. 1973. Descripción geológica de la Hoja 32b, Chos Malal, provincia del Neuquén. Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 143: 91 p., Buenos Aires.