



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL BORDE ORIENTAL DE LA CUENCA
TERCIARIA DE ABANICO EN EL VALLE DEL RÍO TENO, 7^{MA} REGIÓN**

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE GEÓLOGO

RODRIGO EDUARDO PARADA MORALES

PROFESOR GUIA:
CONSTANTINO MPODOZIS MARIN

MIEMBROS DE LA COMISION:
SR. REYNALDO CHARRIER GONZALEZ
SRA. LUISA PINTO LINCOÑIR
SR. JUAN PABLO RADIC LANAS

SANTIAGO – CHILE
2008

RESUMEN

La zona de estudio se ubica en la región contigua a la frontera de Chile con Argentina comprendida entre las nacientes de los ríos Tinguiririca y Teno.

El objetivo de este estudio es generar un modelo estructural que caracterice la arquitectura para el borde oriental de la Cuenca Abanico en el sector del Río Teno y la secuencia de deformación. Para alcanzar los objetivos planteados, se ha utilizado los métodos de geología de campo y de construcción de secciones balanceadas. Con esto se construyó una sección estructural regional y de detalle las cuales se utilizaron para caracterizar la geometría y el estilo de deformación las que fueron restauradas a distintos horizontes para validar la posible secuencia de deformación.

En la zona de estudio el borde este de la Cuenca de Abanico se encuentra sobreimpuesto a la parte occidental de la faja plegada y fallada de Malargüe (FPFM), la arquitectura del área se caracteriza por dos dominios principales. El dominio oriental corresponde a la porción occidental de la FPFM y se encuentra contiguo a la frontera de Chile-Argentina y se extiende hacia el oeste hasta el estero La Gloria. Esta dominado por una tectónica mixta donde existen anticlinales (Nacimiento-Las Zorras y Pellejo) que corresponden a pliegues por propagación de falla de vergencia oriental que involucran tanto al basamento como a la cobertura mesozoica. Además de estos, existen otros dos anticlinales (de Maitenes), menores en tamaño y que responden a una mecánica distinta de deformación, son pliegues por despegue desarrollados en arenas rojas clásticas del Cretácico despegados por sobre la Formación Baños del Flaco. El dominio occidental que preserva el estilo de la Cuenca invertida de Abanico se extiende hacia el oeste, al resto de la zona de estudio. Sus estructuras son principalmente de orientación NE-SW y está caracterizado por suaves pliegues que afectan a las rocas de la Formación Abanico y se encuentra dividido en tres bloques (La Palma, Las Mulas y La Gloria) limitados por fallas, las cuales han sido interpretadas como normales invertidas.

Se ha propuesto una deformación polifásica que comprende al menos cuatro eventos. Sobre rocas mesozoicas de geometría horizontal no deformada se desarrolla el primer evento de deformación compresivo de edad cretácica superior-eocena que produjo un pliegue por flexión de falla (anticlinal Chacarillas), el cual genero el relieve necesario para su erosión y el depósito de las Areniscas de Pichuante en su frente. Posteriormente el desplazamiento continúa y transfiere la deformación necesaria a la cobertura cretácica para generar los anticlinales de Maitenes. Un segundo evento de deformación compresivo produce el anticlinal Nacimiento-Las Zorras, el cual se desarrolla “en secuencia normal” hacia el este. Posteriormente, un tercer evento de edad eocena?-oligocena, esta vez de carácter extensional afecta a la zona occidental del área de estudio, sobreponiéndose a la FPFM, fallas normales cortan la estructura compresional previa generando tres hemigrabenes donde se depositaron las rocas de la Formación Abanico. Finalmente un cuarto episodio de deformación compresivo de edad miocena invirtió las fallas normales producidas en el anterior evento exhumando y plegando en amplios anticlinales y sinclinales las potentes secuencias de las Formación Abanico. Además la deformación avanzó hacia el este del borde extensional reactivando la parte más interna de la faja formando el anticlinal Pellejo y dos nuevas fallas inversas.

La falla normal maestra invertida más oriental para este sector de la cuenca es la falla La Gloria, esta se caracteriza por limitar los potentes depósitos de Abanico al oeste, de dos sectores con espesor reducido. A pesar que los depósitos terciarios continúan hacia el este de la falla, el límite de estos no coincide con el límite estructural de la cuenca, ya que su potencia (300 m.) es bastante menor que la del sector al oeste de la falla (2500 m.). Esto indica que su depósito estuvo controlado por fallas normales de menor desplazamiento o estos corresponden a sedimentos locales ubicados al oriente del borde.

Por lo tanto la falla que representa el borde oriental para este sector de la Cuenca de Abanico es la falla La Gloria y el límite de los depósitos terciarios se encuentra ubicado al este de esta estructura.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. EXPOSICIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.2.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	2
1.3 HIPÓTESIS.....	2
1.4 METODOLOGÍA.....	3
1.5 ÁREA DE TRABAJO.....	4
2 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.....	6
3 ESTRATIGRAFÍA.....	7
3.1 INTRODUCCIÓN:.....	7
3.2 ESTRATIGRAFÍA.....	9
4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	23
4.1 INTRODUCCIÓN.....	23
4.2 METODOLOGÍA.....	25
4.3 ESTRUCTURA DEL ÁREA.....	27
4.3.1 <i>Dominio Oriental</i>	29
4.3.2 <i>Dominio Occidental</i>	35
4.3.3 <i>Sección B-B'</i>	39
4.3.4 <i>Interpretación de las estructuras del dominio occidental</i>	42
4.4 SECUENCIA DE LA DEFORMACIÓN.....	44
5 DISCUSIONES.....	52
5.1 ESTILOS DE LA DEFORMACIÓN EN UN CONTEXTO REGIONAL.....	52
5.2 EL CORRIMIENTO EL FIERRO.....	55
5.3 CONSIDERACIONES REGIONALES EN CUANTO A LA EDAD DE LA DEFORMACIÓN.....	60
6 CONCLUSIONES.....	61
7 REFERENCIAS.....	64

Índice de figuras

Figura 1: Ubicación del área de estudio	4
Figura 2: Mapa localidades y ríos relevantes para la zona de estudio.....	5
Figura 3: Tabla comparativa de edades	8
Figura 4: Formaciones y unidades en la zona de estudio	11
Figura 5: Columna estratigráfica.....	12
Figura 6: Distribución de formaciones y unidades tras Zapatta y Charrier.....	22
Figura 7: Mapa de ubicación de la FPFM y la cuenca Terciaria de Abanico.....	24
Figura 8: Proyección de los datos de rumbo y manteo.....	26
Figura 9: Mapa distribución de los dominios estructurales.....	27
Figura 10: Dominios en la sección estructural A-A''	28
Figura 11: Dominio Estructural Oriental	29
Figura 12: Perfil estructural del dominio Oriental	30
Figura 13: Dominio Estructural occidental	35
Figura 14: Dominio occidental en perfil A-A'	38
Figura 15: Sección estructural B-B'	40
Figura 16: Foto interpretada de la falla el Fierro	41
Figura 17: Detalle de las proyecciones de rumbo y manteo.....	43
Figura 18: Estado inicial de la secuencia de deformación	44
Figura 19: Restauración al Cretácico par a bloques definidos por la Falla La Gloria.....	46
Figura 20: Secuencia de deformación para el Anticlinal Chacarillas.....	47
Figura 21: Segundo evento compresivo	48
Figura 22: Evento extensión.....	49
Figura 23: Inversión del dominio occidental y reactivación de la faja plegada.	51
Figura 24: Sección estructural regional Río Grande-Lindero de Piedra	53
Figura 25: Dominios en la sección regional A-A''	54
Figura 26: Restauración esquemática del corrimiento el Fierro.....	56
Figura 27: Inversión de bloques de falla domino	57
Figura 28: Sección B-B'	59
Figura 29: Evolución estructural	63

Índice de fotos

Foto 1: Grietas de secamiento, Quebrada La Zorra	14
Foto 2: Areniscas verdes con fósiles, Formación Baños del Flaco	16
Foto 3: Formación Abanico y Unidad Areniscas de Pichuante.....	18
Foto 4: “Unidad Clástica Café-Rojiza”	19
Foto 5: Afloramiento de la Formación Abanico.	21
Foto 6: Falla Nacimiento- Las Zorras	31
Foto 7: Falla Pellejo	32
Foto 8: Deformación de piel delgada en las areniscas clásticas cretácicas	33
Foto 9: Falla Maitenes	34
Foto 10: Limbo trasero anticlinal Pellejito.....	36
Foto 11: Anticlinales en rocas de la Formación Abanico.	37

Fuera de texto

Mapa geológico	Anexo 1
Perfil estructural.....	Anexo 2

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Exposición del problema

Durante la última década, el estudio de las secuencias terciarias expuestas en la Cordillera Principal en Chile central (Formaciones Abanico, Coya- Machalí, Farellones, etc.) ha registrado importantes avances documentados en estudios estructurales (e.g. Godoy et al.,1999; Jordan et al., 2001; Charrier et al., 2002), modelos cronológicos y tectónicos de exhumación (Fock, 2005), análisis de facies sedimentarias (e.g. Aguirre, 1999; Elgueta et al., 2000; Medina, 2002), dataciones radiométricas (e.g. Gana et al., 1997; Sellés et al., 2000; Fuentes, 2004; Vergara et al., 2004) y estudios paleontológicos (e.g. Wyss et al., 1996; Flynn et al., 2003). Estos trabajos han comenzado a develar la posible evolución tectónica de las cuencas y las relaciones entre las distintas unidades contenidas en estas (Fock, 2005). Muchos de los trabajo citados sugieren que la Formación Abanico (Coya-Machalí), se habría acumulado en un sistema de cuencas extensionales, que durante el Mioceno habría sufrido inversión tectónica, alzamiento y erosión (Charrier et al.1996, 2002; Godoy y Lara, 1994;; Godoy et al., 1999; Jordan et al., 2001, Charrier et al., 2002a; Giambiagi et al., 2003a, 2003b).

Trabajos efectuados en el zona de los Ríos Teno y Tinguiririca indican que en esa zona la falla el Fierro, descrita originalmente por Davidson (1971), correspondería al borde oriental de la cuenca extensional, donde se habría depositado la Formación Abanico (Coya-Machalí). Sin embargo, los perfiles estructurales publicados no presentan geometrías coherentes con la hipótesis de inversión, sin que se conozca la historia secuencial de la deformación que dio origen a las estructuras presentes en dicha región.

Dentro de este contexto y a fin de ayudar a resolver estas incógnitas y verificar las hipótesis de inversión tectónica, en este trabajo se propone un modelo estructural integrado, que incluye revisión de la estratigrafía, construcción de una sección balanceada y secuencia de deformación.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Generar un modelo estructural que caracterice la arquitectura para el borde oriental de la “Cuenca Abanico” en el sector del Río Teno e incluya la secuencia de deformación.

1.2.2 Objetivos específicos:

- Caracterizar la estructura de la ribera sur del Río Tinguiririca a través de un perfil estructural de detalle y su análisis geométrico.

1.3 Hipótesis

Si la evolución geológica de la Cuenca terciaria de Abanico estuvo caracterizada por un periodo inicial extensional, que posteriormente habría experimentado inversión tectónica, las estructuras generadas en estos eventos debieran ser geoméricamente compatibles con modelos clásicos de inversión de cuencas.

1.4 Metodología

Para alcanzar los objetivos planteados, se han utilizado los métodos clásicos de geología de campo como la elaboración de un mapa de escala 1:25000, junto a la metodología de construcción de secciones balanceadas propuesta por Marshak y Woodward (1988). A este método se le agrega el propuesto por Wilkerson et al., (2001) para el chequeo geométrico de estas. Las estructuras extensionales, se analizan de acuerdo al trabajo de McClay (1989) y las producidas en ambientes de inversión, los trabajos de Mitra (1993) y McClay (1995). En cuanto a las geometrías propias de compresión, se utilizarán los modelos para la construcción de pliegues asociados a fallas desarrollados por Suppe (1983, 1990).

1.5 Área de trabajo

La zona de estudio se ubica en la Cordillera Principal de Chile central contigua al paralelo 35°S, en un área comprendida entre las nacientes de los ríos Tinguiririca y Teno, que abarca parte de las regiones VI y VII (figura 1). En la Figura 2, se indican los principales elementos morfológicos y la nomenclatura geográfica de la región analizada.

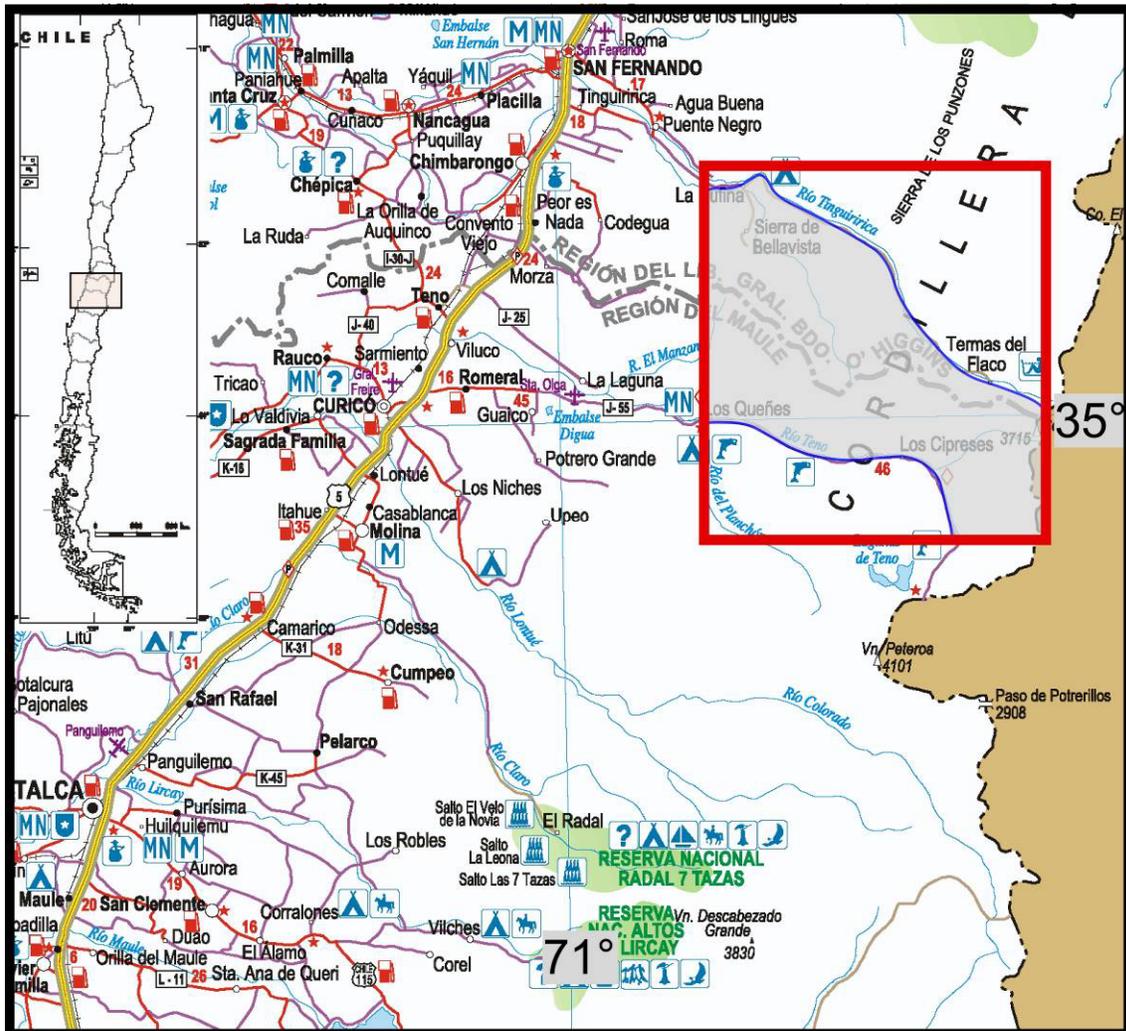


Figura 1: Ubicación del área de estudio (en gris).

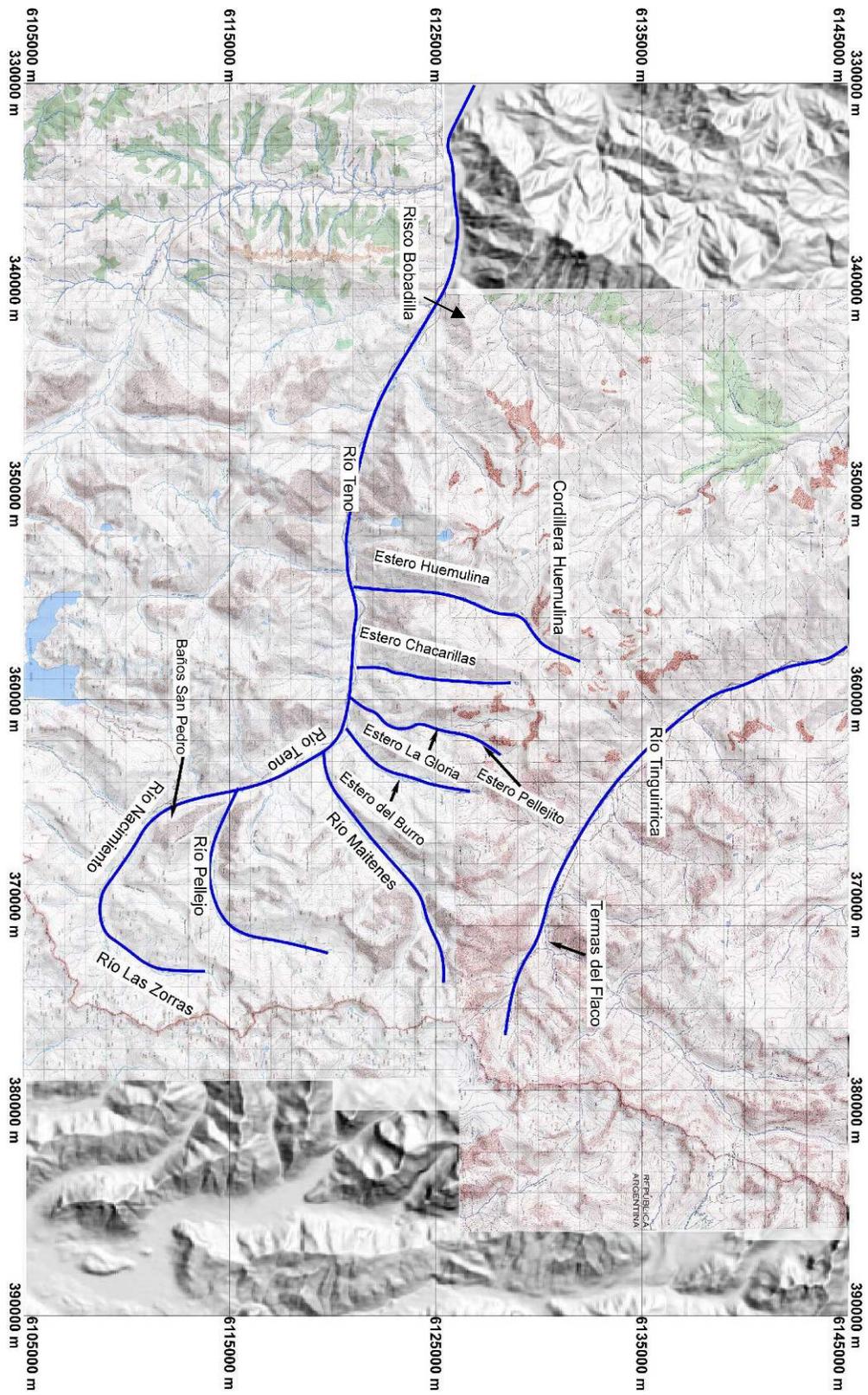


Figura 2: Mapa localidades y ríos relevantes para la zona de estudio.

2 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La zona de estudio se encuentra ubicada en la Cordillera Principal de los Andes de Chile central constituida por potentes secuencias volcánicas y volcano-sedimentarias terciarias (Formaciones Abanico, Coya Machalí) (Aguirre, 1960, Klohn, 1960). En las cercanías de la frontera con Argentina estas unidades están en contacto con secuencias sedimentarias, marinas y continentales mesozoicas acumuladas entre el Jurásico y Cretácico inferior en el borde occidental de la Cuenca de Neuquén.

La evolución tectónica de la Cuenca Neuquina se desarrolla a través del Mesozoico y Cenozoico abarcando unos 220 M.a. (Vergani et al., 1995). Durante el Jurásico, se desarrolló una etapa de extensión general, en donde la sedimentación se produjo asociada a una serie de cuencas extensionales continentales restringidas que dieron paso a una amplia cuenca extensional marino-continental de edad Jurásica Superior, la cual continuó en subsidencia pasiva durante el Cretácico inferior. Durante el Cretácico superior y el Terciario existieron sucesivas fases de tectónica compresiva que provocaron la inversión de las estructuras extensionales mesozoicas dando origen a la faja plegada y fallada de Malargüe (FPFM).

La Cuenca de Abanico corresponde a una cuenca extensional de rift continental desarrollada durante el Oligoceno-Mioceno Temprano, que habría sufrido un proceso de inversión tectónica durante el Mioceno. (e.g. Charrier et al., 2002; Godoy y Lara, 1994; Zapatta, 1995; Wyss et al. 1996; Godoy et al. 1999; Burns y Jordan, 1999; Jordan et al., 2001; Radic et al., 2002). Este evento extensional habría ocurrido intercalado en las fases compresivas del Cretácico superior-Eoceno de la FPFM y la inversión de la cuenca Abanico durante el Mioceno superior junto a la reactivación tardía de la faja plegada.

El contacto entre ambos dominios ha sido interpretado como una falla que resultaría de la reactivación inversa de una falla normal ubicada en el borde oriental de la cuenca de Abanico (e.g. Charrier et al., 2002; Zapatta, 1995; Wyss et al. 1996). En la zona de estudio esta estructura ha sido asimilada a la Falla el Fierro descrita originalmente por Davidson en la ladera sur de valle de Río Tinguiririca en el sector de Baños de Flaco (Figura 6). El análisis del significado tectónico de esta estructura y su relación con la FPFM y la Formación Abanico es uno de los objetivos propuestos para este trabajo.

3 ESTRATIGRAFÍA

3.1 Introducción:

La zona de estudio ha sido objeto de diversos estudios geológicos de distintas escalas, lo que ha llevado a diversos autores a proponer diferentes esquemas estratigráficos tanto en lo referente a la nomenclatura y límites de las diferentes formaciones como en cuanto a la edad de las mismas. En la Figura 4 se presenta un cuadro comparativo entre las diversas propuestas estratigráficas publicadas para la zona. El primero de esto corresponde al propuesto por Klohn (1960), quien definió la mayoría de las formaciones utilizadas hasta el presente. Posteriormente, fueron realizados una serie de trabajos, que propusieron una serie de cambios al esquema estratigráfico de Klohn (1960). Estos son González y Vergara (1962), Davidson (1971), Arcos (1987), Zapatta (1995) y Charrier (1996, 2002). La estratigrafía utilizada en este trabajo se basa principalmente en la nomenclatura propuesta por Klohn, la cual se ha modificado, considerando tanto los antecedentes presentados por autores posteriores como las observaciones efectuadas durante este trabajo.

			Klohn	Gonzalez y Vergara	Davidson	Arcos	Zapatta	Charrier
			Neogene	Pliocene				
		Gelasian						
		Piacenzian						
		Zanclean						
Miocene		Messinian						
		Tortonian						
		Serravallian						
		Langhian						
		Burdigalian						
		Aquitanian						
Paleogene	Oligocene	Chattian						
		Rupelian						
	Eocene	Priabonian						
		Bartonian						
		Lutetian						
		Ypresian						
	Paleocene	Thanetian						
		Selandian						
		Danian						
	Cretaceous	Upper	Maastrichtian	Coya Machall				
Campanian								
Santonian								
Coniacian								
Turonian								
Cenomanian								
Lower		Albian	Colimapu					
		Aptian						
		Barremian						
		Hauterivian						
		Valanginian						
		Berriasian	Baños del Flaco					
Jurassic	Upper	Tithonian						
		Kimmeridgian	Río Damas					
		Oxfordian						
		Callovian						
	Middle	Bathonian	Nacientes del Teno					
		Bajocian						
		Aalenian						

Figura 3: Comparación entre las edades asignadas a las formaciones, por los distintos autores. N del T: Nacientes del Teno; VG: Valle Grande; RD: Río Damas; BF: Baños del Flaco; Cm: Colimapu; PY: Plan de los Yeuques; BRCU: Unidad clásica café-rojiza; A: Abanico. (Basado en Klohn, 1960; González y Vergara, 1962; Davidson, 1971; Arcos, 1987; Zapatta, 1995 y Charrier, 1996, 2002.)

3.2 Estratigrafía

Formación Nacientes del Teno

La Formación Nacientes del Teno fue definida por Klohn (1960) y su localidad tipo se encuentra ubicada en el valle superior del Río Teno donde esta representada por una secuencia sedimentaria marina con un espesor cercano a los 1500 m. La Formación Nacientes del Teno aflora solo en el sector sur-oriental de la zona de estudio, constituyendo una franja de rumbo aproximado noreste - sureste. Davidson (1971) le asignó a esta una edad **Bajociano Inferior-Oxfordiano superior** en base a su contenido fosilífero. Klohn (1960) dividió a esta unidad en tres miembros.

Estratos inferiores: Corresponden a los niveles más antiguos expuestos en el área y estarían formados por 1.000 m de conglomerados, areniscas, lutitas, calizas portadoras de fauna fósil de amonites y bivalvos e intercalaciones de niveles de tobas entre las sucesiones anteriores. La base de esta unidad no ha sido reconocida en la localidad tipo (Klohn, 1960).

La asociación de amonites reconocida en la Formación Nacientes del Teno fue estudiada por Tavera (1956) y permitió asignarle a esta unidad una edad bajociana, considerando la presencia de *Sonninia aff s Sowerbyi*, *Perisphinctes sp.*, *Sphaeroceras gervillei Sowerby* entre otras. El miembro Estratos inferiores puede correlacionarse cronológicamente con las formaciones Tres Esquinas y Los Molles de la Cuenca Neuquina y con la Formación Nacientes del Bío Bío (De la Cruz y Suárez, 1997) y Formación Nieves Negras expuesta en la Cordillera Principal al este de Santiago (Álvarez et al., 1997).

Miembro Rinconada: Esta unidad esta compuesta por 450 m de conglomerados, areniscas, lutitas, margas, y calizas con intercalaciones de brechas y tobas andesíticas.

Los niveles marinos son portadores de fauna de amonites pertenecientes a las siguientes especies *Perisphinctes sp.*, *Quenstedticeras sp.* y *Macrocephalites sp.* los cuales permitieron datar este miembro en un intervalo de tiempo que comprende desde el Caloviano inferior hasta el Oxfordiano basal?. El Miembro Rinconada se correlaciona con la Formación Lotena y La Manga de la Cuenca Neuquina y con la Formación Nacientes del Bío Bío en el sector Chileno.

Miembro Santa Helena: El miembro superior de la Formación Nacientes del Teno está constituido por 80 a 120 m de yeso y mantos de anhidrita de color gris y blanco. Las secuencias evaporíticas de este miembro corresponden a un ambiente marino restringido hipersalino. La edad de esta sucesión esta dada en base a correlaciones estratigráficas y se las atribuye al Oxfordiano por estar concordante sobre el Miembro Rinconada y ser correlacionable con el “Yeso Principal” (Schiller, 1912). El intervalo de tiempo que comprende esta unidad en la Cuenca Neuquina sería Oxfordiano superior (146,5 M.a.) - Kimmeridgiano medio (Legarreta et al., 1993a) y es conocida como Formación Auquilco (Weaver, 1931).

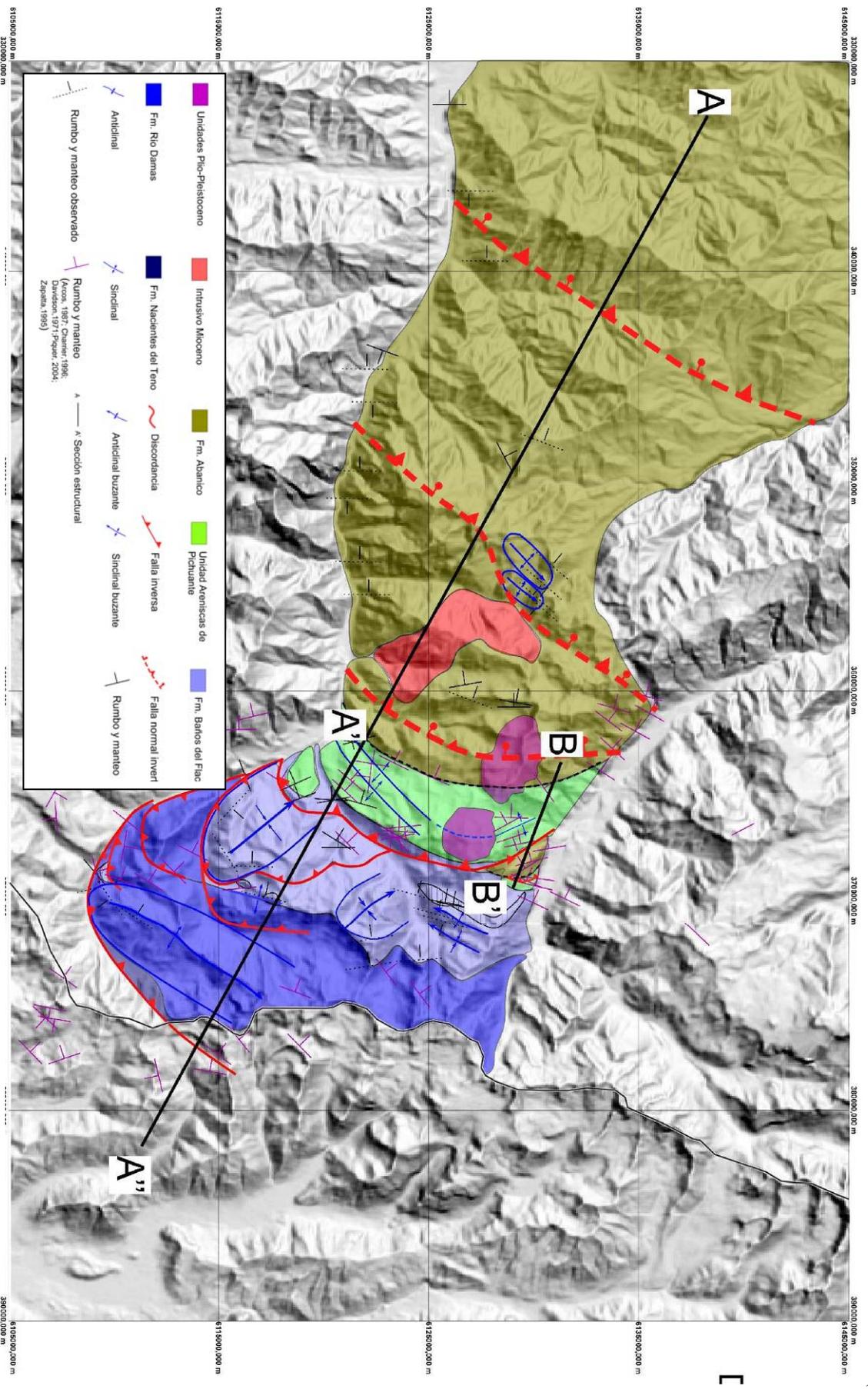


Figura 4: Distribución de las Formaciones y unidades en la zona de estudio.

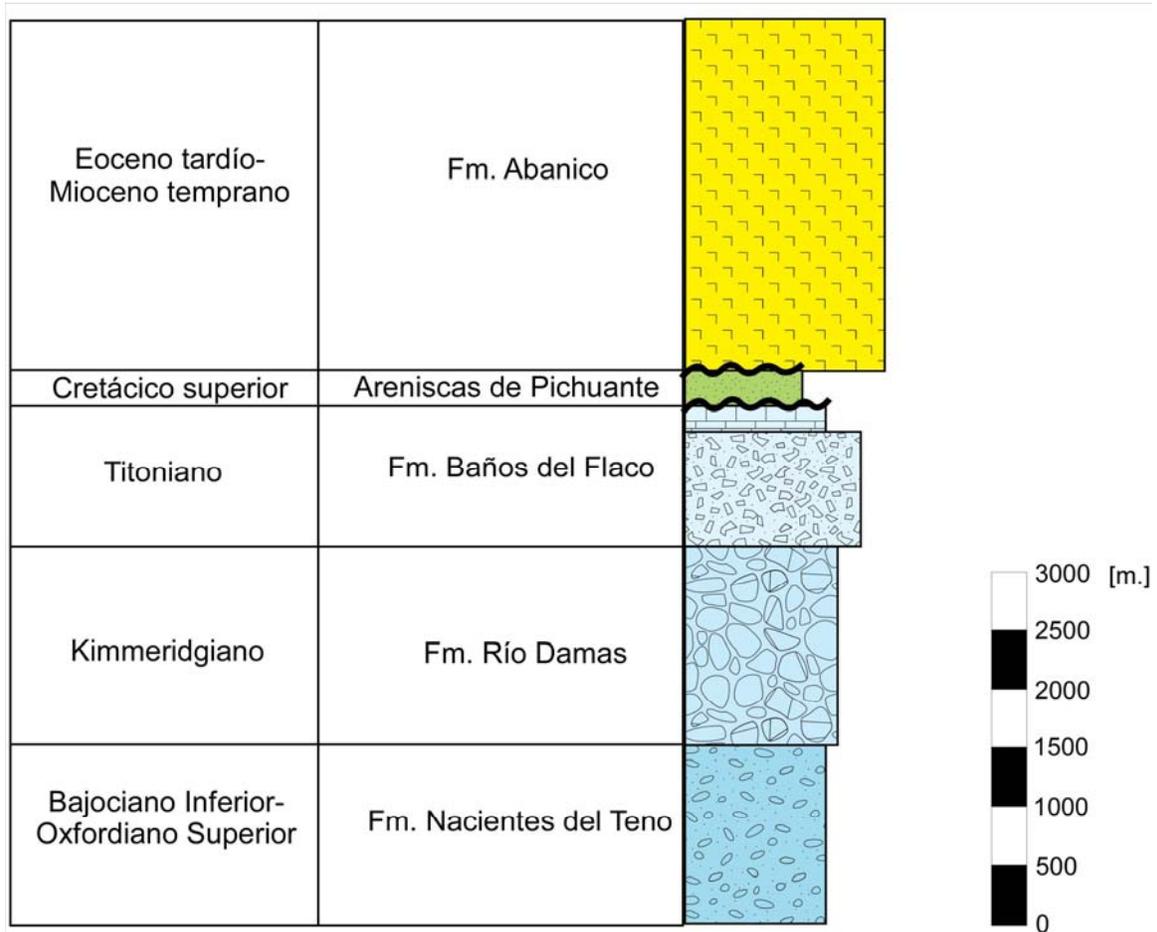


Figura 5: Columna estratigráfica utilizada en la zona de estudio.

Formación Río Damas

Fue definida por Klohn (1960) y su localidad tipo se encuentra en el río homónimo ubicado al noreste de la hoya superior del Río Tinguiririca, presentando su mayor desarrollo entre este y el Río Teno donde presenta su mayor desarrollo. Compuesta por más de 5000 m. de areniscas rojas, conglomerados, brechas andesíticas, brechas efusivas y lutitas rojas con estructuras sedimentarias tales como grietas de secamiento, impresiones de gotas de lluvia y ondulitas (Foto 1). A pesar de la ausencia de material fosilífero con valor cronológico, Klohn (1960) le atribuyó una edad kimmeridgiana debido a sus relaciones estratigráficas concordantes con las formaciones infra y supra yacentes.

Aunque en trabajos anteriores (Klohn, 1960; González y Vergara, 1962; Davidson, 1971; Arcos, 1987; Zapatta, 1995; Charrier, 1996), se ha indicado que la formación tendría un espesor total del orden de 5000 m.; observaciones efectuadas para este trabajo permiten indicar que estas estimaciones no consideran las repeticiones tectónicas que la afectan. Las estimaciones realizadas en este trabajo permiten señalar que en la zona de estudio, la formación tiene un espesor máximo de 1700 m.

Fuera de lo anterior durante las campañas de terreno se constató en el valle del Río Nacimiento la existencia de una capa de 400 m. de areniscas verdes con fragmentos fósiles de amonites no reportada previamente (Foto 2), intercalada entre estratos atribuidos por Klohn (1960) a la Formación Río Damas. Sobre esta capa fosilífera se observa dispuesta en forma concordante una unidad de areniscas y brechas de 600 m. de espesor, que en el presente trabajo han sido incluidas dentro de la Formación Baños de Flaco.



Foto 1: Vista lateral de grietas de secamiento en la Formación Río Damas, Quebrada La Zorra.

Formación Baños del Flaco

Definida por Klohn (1960) en la localidad de Termas del Flaco, en la rivera sur del Río Tinguiririca, compuesta principalmente por calizas, calizas arenosas, margas y areniscas calcáreas, predominantemente de color gris, y en menor proporción, conglomerados, areniscas glauconíticas y lutitas. Debido al contenido fosilífero asociado (Pholadomya gigantea Sow., Nautilus cf. Pertriatius, Neocomites sp. y Trigonia picunensis Weav.), Klohn propuso una edad Titoniano superior – Hauteriviano. Cubre en forma concordante a la Formación Río Damas y sus afloramientos se extienden en una franja noreste-sureste entre el Río Maitenes y el Río Pellejo.

Posteriormente Biro-Bagoczky (1984) le atribuyó una edad esencialmente Titoniana. El espesor de la formación alcanzaría aproximadamente los 400 m. Sin embargo como se indicó en el párrafo anterior, la ocurrencia de un nivel calcáreo portador de amonites intercalado en estratos atribuidos con anterioridad a la formación Río Damas conlleva a incluir dentro de la Formación Baños del Flaco, la parte superior de la Formación Río Damas (en el sentido de Klohn) la cual alcanzaría, de este modo, un espesor total estimado de 1200 m.



Foto 2: Areniscas verdes con fragmentos fósiles de amonites en la base de la Formación Baños del Flaco en el valle del Río Nacimiento.

Areniscas de Pichuante

Sobre la formación Baños del Flaco, en la zona de estudio se dispone una secuencia de areniscas rojas continentales atribuidas originalmente por Klohn (1964), a la Formación Colimapu.

Klohn describió la Formación Colimapu en la quebrada homónima, tributaria del Río Maipo al norte de la zona de estudio. Esta secuencia esta formada por areniscas rojas, grauvacas verdes, tobas, conglomerados, lavas andesíticas y pelitas rojas. A pesar de no contar con datos o relaciones estratigráficas de valor crono-estratigráfico significativo Klohn (1960) le atribuyó una edad del “Barremiano-Coniaciano” mientras que posteriormente, Martínez y Osorio (1963) en base a carófitas fósiles propusieron para ella una edad Aptiano – Albiano.

En la zona de estudio la secuencia de sedimentitas continentales encuentra dispuesta en forma concordante sobre la Formación Baños del Flaco, y de acuerdo a Klohn (1960) en el sector del Río Maitenes, estas incluyen, hacia su base una potente serie de areniscas rojas con un conglomerado que incluye clastos de calizas en su base, a las cuales Klohn (1954) se refirió como “*Areniscas de Pichuante*”.

Posteriormente Zapatta (1995) separo en dos unidades las rocas asignadas a la Formación Colimapu en la zona de Termas del Flaco. La unidad inferior fue redefinida como “**Brownish-Red Clastic Unit**” (BRCU) y asignada al Cretácico (figura 4) Esta unidad estaría formada por 40 m. de brechas conglomerádicas con concreciones calcáreas, en la base, y, hacia el techo, 170 m. de conglomerados y areniscas gruesas canalizadas, intercaladas en una serie de areniscas de grano fino y lutitas laminadas con fósiles de dinosaurios no aviar. Zapatta incluyó la parte superior de la Formación Colimapu dentro de la Formación Coya-Machalí (figura 6) en base a fósiles de mamíferos presentes en estas unidades. Charrier (2002) confirmó la edad Cretácica para el BRCU en base al hallazgo de de huesos de dinosaurio no aviar en la localidad de Termas del Flaco

Las Areniscas de Pichuante (Foto 3) se disponen paraconcordante sobre la Formación Baños del Flaco y discordante bajo las rocas de la Formación Abanico, presentando las mismas relaciones de contacto que el BRCU. Además ambas unidades presentan clastos de calizas en su base, es en base a estos argumentos que estas unidades son equivalentes y asignables al Cretácico superior gracias a los datos de edades existentes para el BRCU, es por esto que en este trabajo se mantiene lo propuesto por Klohn en cuanto al nombre y a las rocas incluidas en las Areniscas de Pichuante.

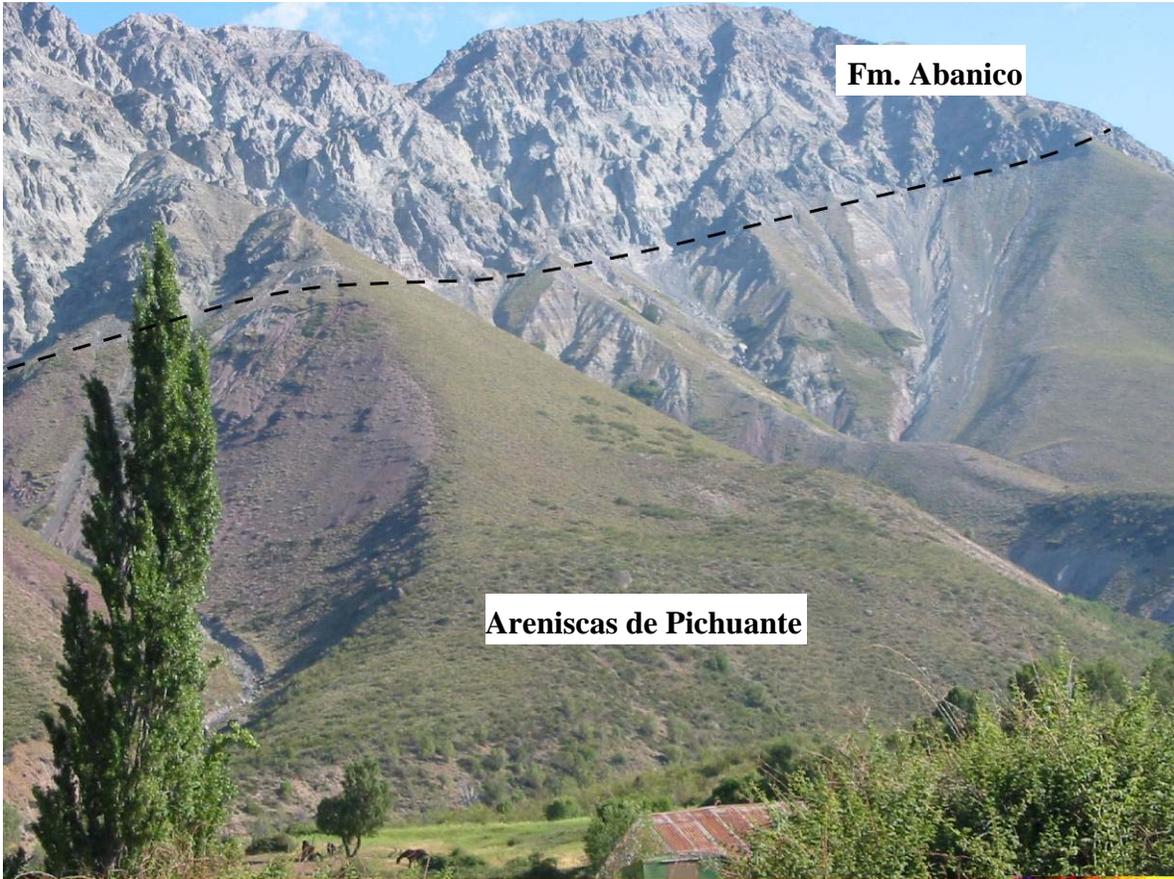
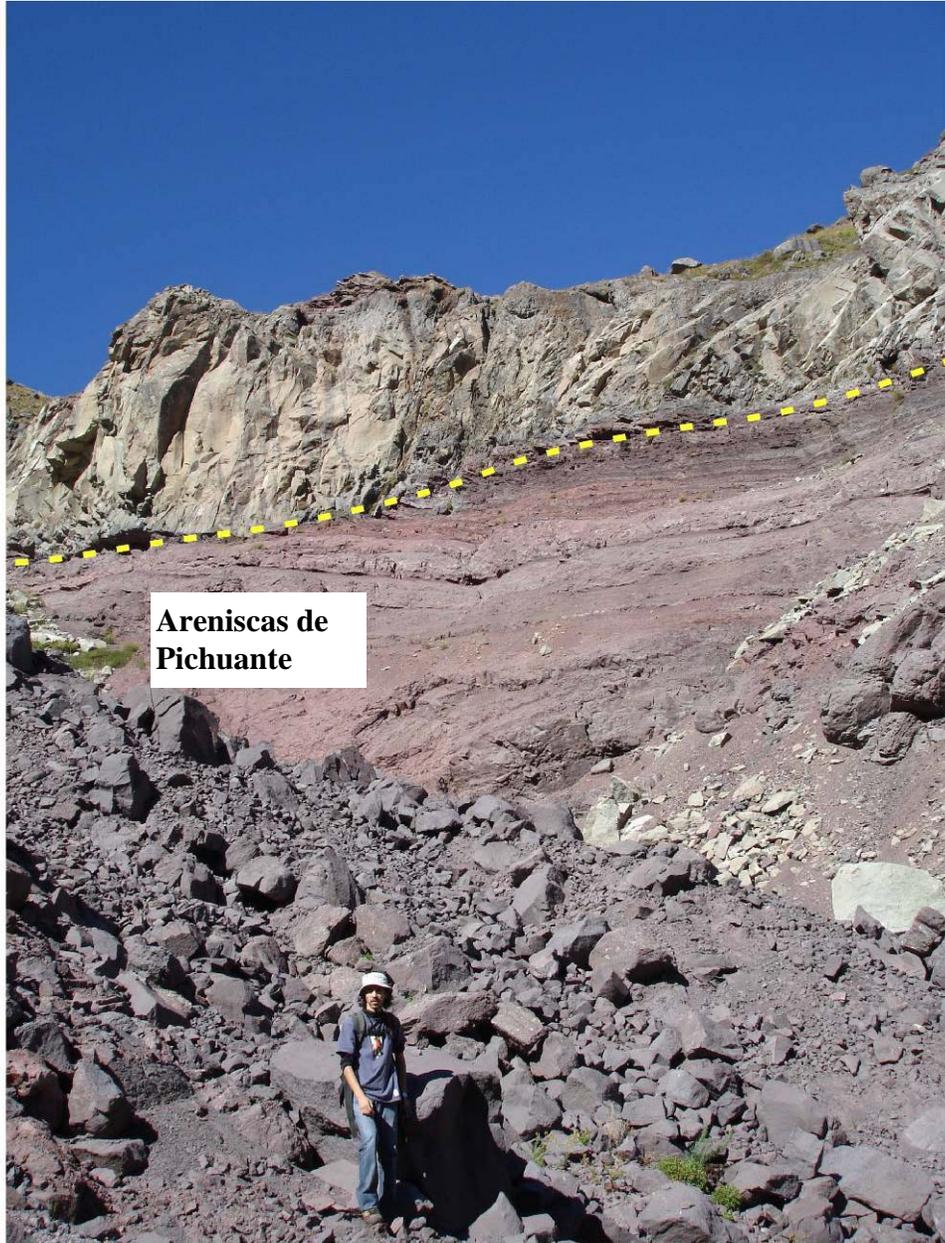


Foto 3: Rocas de la Formación Abanico cubriendo en forma discordante a las Areniscas de Pichuante en la rivera occidental del Estero del Burro.



Areniscas de Pichuante

Foto 4: Afloramientos de las Areniscas de Pichuante en la rivera sur del Río Tinguiririca, en la localidad de Temas del Flaco.

Formación Abanico

Una de las unidades más importantes dentro de la Cordillera Principal de los Andes de Chile Central que corresponde a un potente secuencia volcánica y volcano-sedimentaria, descrita por Aguirre (1960) como Formación Abanico en el cerro homónimo y por Klohn (1960) como Formación Coya Machalí, cuya localidad tipo se ubica en la Cordillera Principal al este de Rancagua, donde se encuentra representada por una secuencia volcánica y sedimentaria de cerca de 3000 m. de espesor constituida por andesitas basaltos, traquitas, lavas brechosas, tobas brechosas; e intercalaciones de areniscas, conglomerados y lutitas. Charrier (2002) correlaciona la Formación Coya Machalí con la Formación Abanico (Aguirre, 1960) nombre que será utilizado en el presente trabajo.

En la zona de estudio, la Formación Abanico aflora desde el Estero del Burro hacia el oeste y se extienden más allá de los límites de la zona de estudio, se presenta en forma discordante sobre las Areniscas de Pichuante. Su espesor máximo estimado es de 3000 m.

Klohn (1960) atribuyó, tentativamente una edad del. “Senoniano superior-Maastrichtiano” a la Formación Coya Machalí. Posteriormente Arcos (1987) redefinió la edad de la Formación Coya Machalí para la zona del Tinguiririca, asignándola al Oligoceno-Mioceno por medio de correlaciones estratigráficas con rocas de la misma formación al hacia el oeste.

Finalmente Charrier mediante hallazgos fósiles y dataciones radiométricas obtiene edades dentro de un rango de 37.67 ± 0.31 M.a. ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) y 31.34 ± 0.17 M.a. ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) (ver figura 3 para ubicación). Además en un contexto regional Charrier (1996, 2002) interpreto que las rocas de la Formación Abanico fueron depositadas al interior de una serie de cuencas extensionales, basándose en una distribución de facies con frecuentes intercalaciones fluviales y lacustres y la existencia de estratos de crecimiento ubicados en la localidad de Termas del Flaco.



Foto 5: Afloramientos de la Formación Abanico en el risco Bobadilla (ubicación en figura 2).

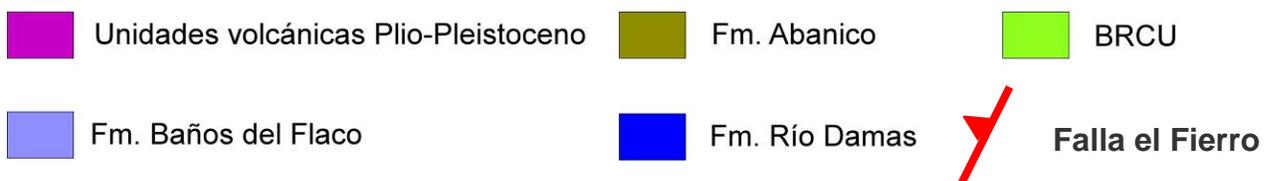
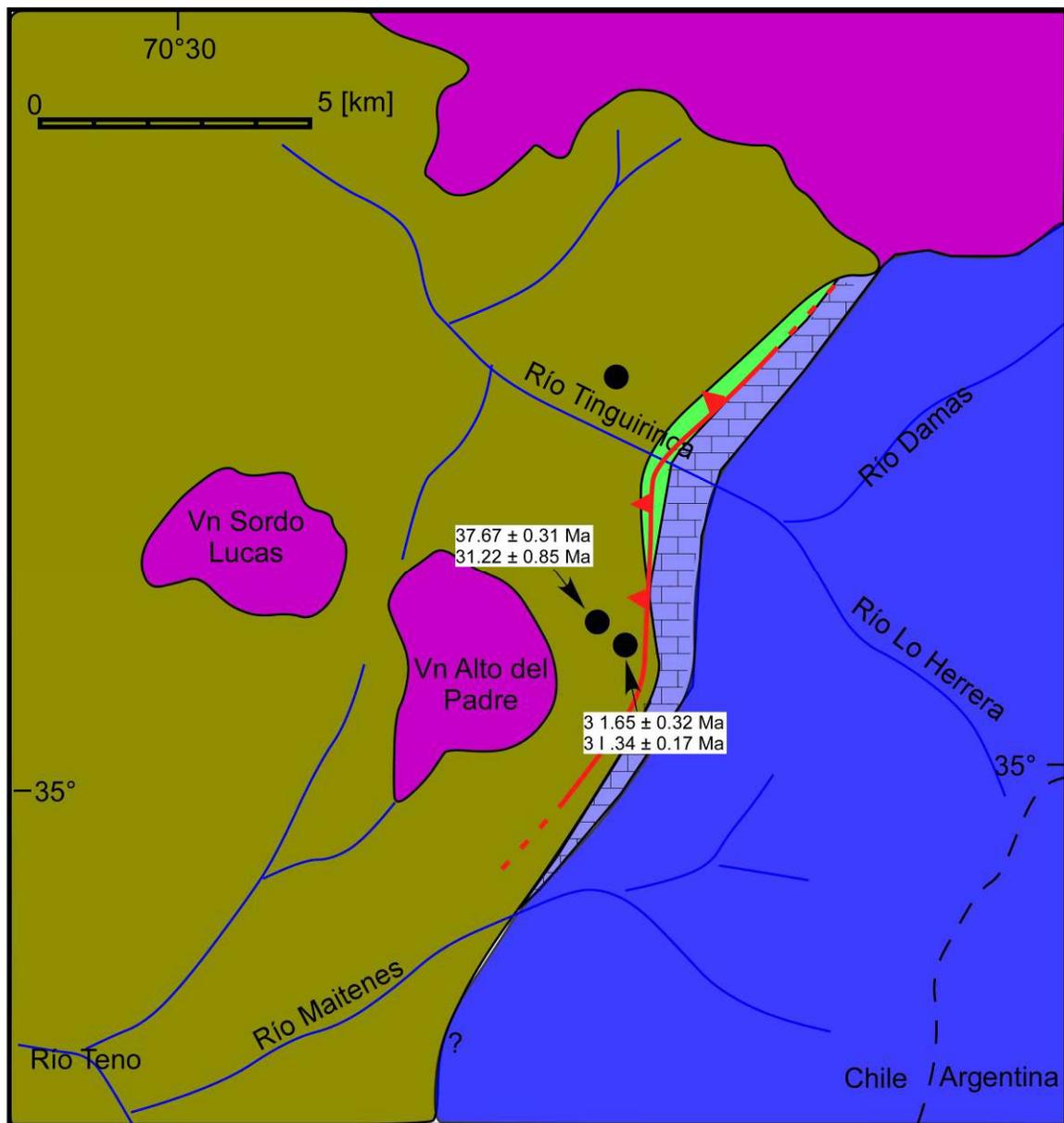


Figura 6: Distribución de formaciones y unidades tras Zapatta, 1995 y Charrier, 1996. (Puntos en negro indican localidades fosilíferas).

4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

4.1 Introducción

El sistema orogénico andino a la latitud de la zona de estudio incluye dos dominios estructurales principales dentro del ámbito de la Cordillera Principal. Al este, la vertiente argentina de la Cordillera forma parte de la de la Faja Plegada y Fallada de Malargüe (FPFM), mientras la vertiente chilena de la Cordillera está constituida, principalmente por afloramientos de rocas volcánicas terciarias contenidas en la cuenca de Abanico (Figura 7).

La FPFM se extiende por el margen oriental de la Cordillera de los Andes entre los 34° y 38° de latitud sur (Vergani et al., 1995). Se caracteriza por una tectónica mixta que esta representada por grandes fallas inversas que exhuman bloques de basamento, las cuales transfieren la deformación a la cobertura sedimentaria de la Cuenca Neuquina. Las estructuras que afectan al basamento corresponden a inversiones tectónicas de fallas extensionales previas que controlaron la sedimentación durante el Jurásico. El estilo y vergencia de las estructuras compresivas es variable a lo largo del rumbo, dependiendo principalmente de la orientación de las estructuras extensionales y del comportamiento mecánico de la cobertura sedimentaria durante la deformación (Manceda y Figueroa, 1995).

La cuenca de Abanico se reconoce aproximadamente desde los 30°S hasta los 44°S en la cordillera entre Chile y Argentina. Corresponde a un sistema de cuencas extensionales de orientación aproximada N-S, desarrolladas por sobre los depósitos del mesozoico y caracterizada por hemigraben asociados a fallas normales de alto ángulo. La cuenca comenzó su desarrollo en el Eoceno tardío hasta la posterior inversión en el Mioceno temprano (Charrier, 2002). Dicha inversión provocó la reutilización de las fallas extensionales previas exhumando los depósitos contenidos en los hemigraben y generando amplias estructuras hacia los bordes y cercanos a las fallas (Charrier, 1996, Jordan, 2001, Radic et al., 2002)

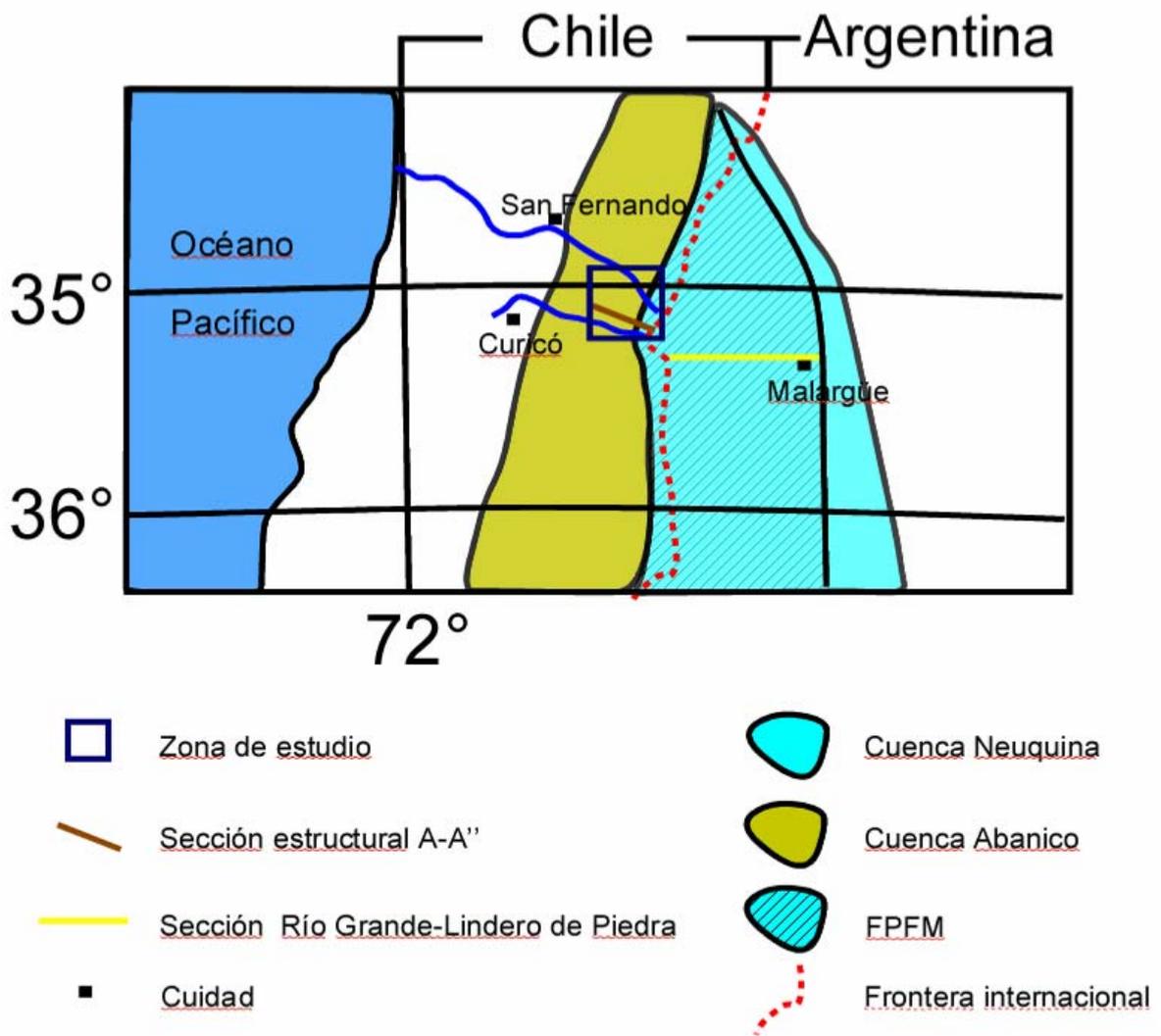


Figura 7: Mapa de ubicación de la FPFM y la cuenca Terciaria de Abanico

4.2 Metodología

La estructura del área de estudio fue descrita mediante la sección estructural A-A'' (figura 10 y anexo 2) y B-B' (figura 15). La primera cuenta con un largo de aproximadamente 60 Km., tiene una orientación noroeste-sureste y atraviesa desde la cuenca de Abanico hasta la FPFM, mientras la sección de detalle B-B' fue construida para la zona del Río Tinguiririca, en el sector de Termas del Flaco.

Las secciones se realizaron en base a los todos los datos estructurales (rumbo y manteo) disponibles en trabajos anteriores (Arcos, 1987, Charrier, 1996, Davidson, 1971, Piquer, 2004, Zapatta, 1995), así como los nuevos obtenidos en el trabajo de campo. La totalidad de los datos fueron separados en familias siendo proyectados en el rumbo (figura 8).

La proyección de los datos de superficie hacia el plano de la sección fue realizada en el software 2DMove. Finalmente las secciones fueron restauradas y balanceadas en el mismo programa.

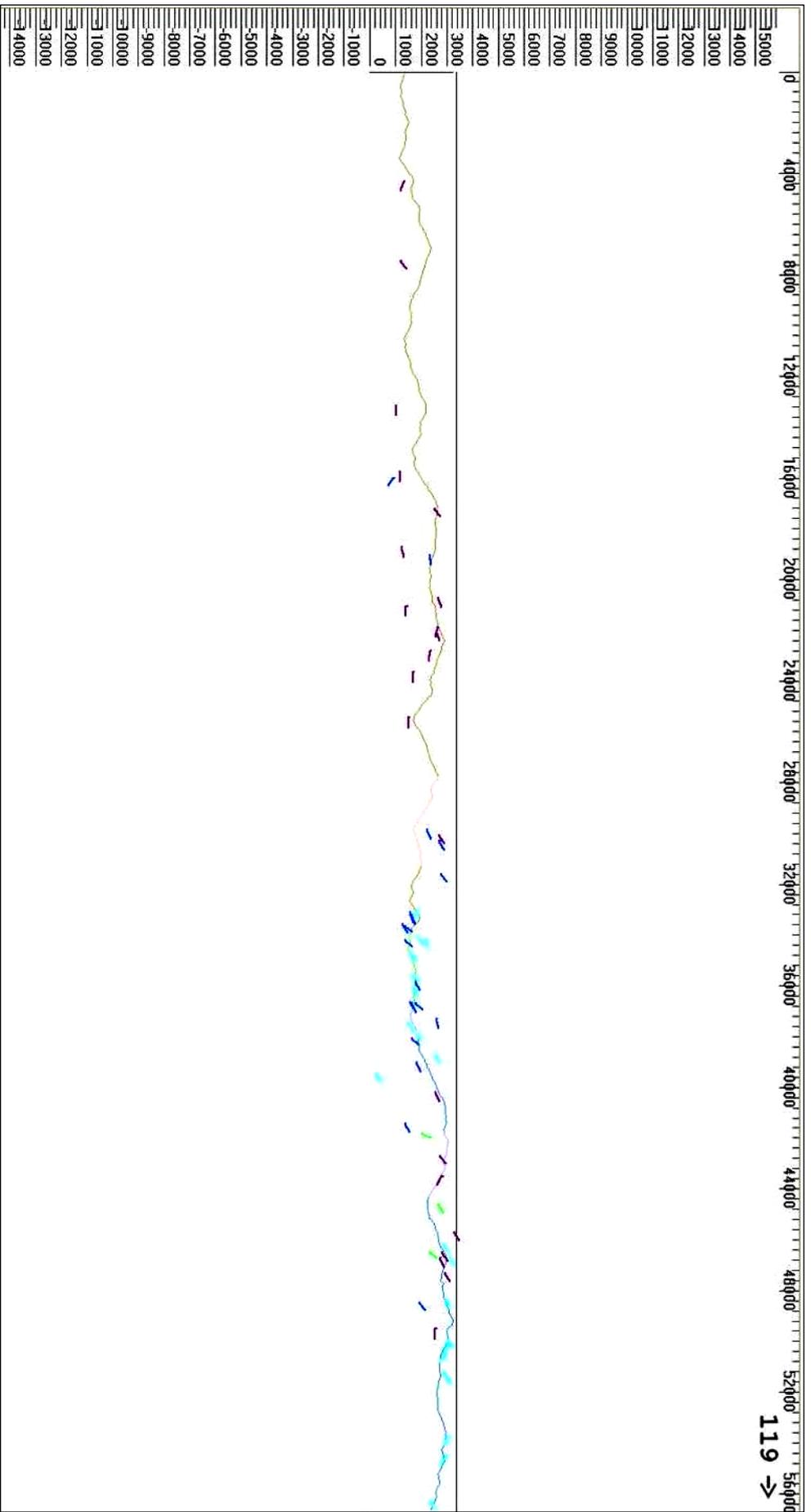


Figura 8: Proyección de los datos de rumbo y manteo sobre la sección estructural usando 2DMove.

-
 Davidson, 1971
-
 Piquer, 2004
-
 Este trabajo
-
 Este trabajo

4.3 Estructura del área

La arquitectura de la zona de estudio se caracteriza por dos dominios estructurales (figura 9 y 10), el dominio oriental corresponde a la porción occidental de la Faja Plegada y Fallada de Malargüe, mientras el dominio occidental corresponde al sector oriental de la cuenca invertida de Abanico.

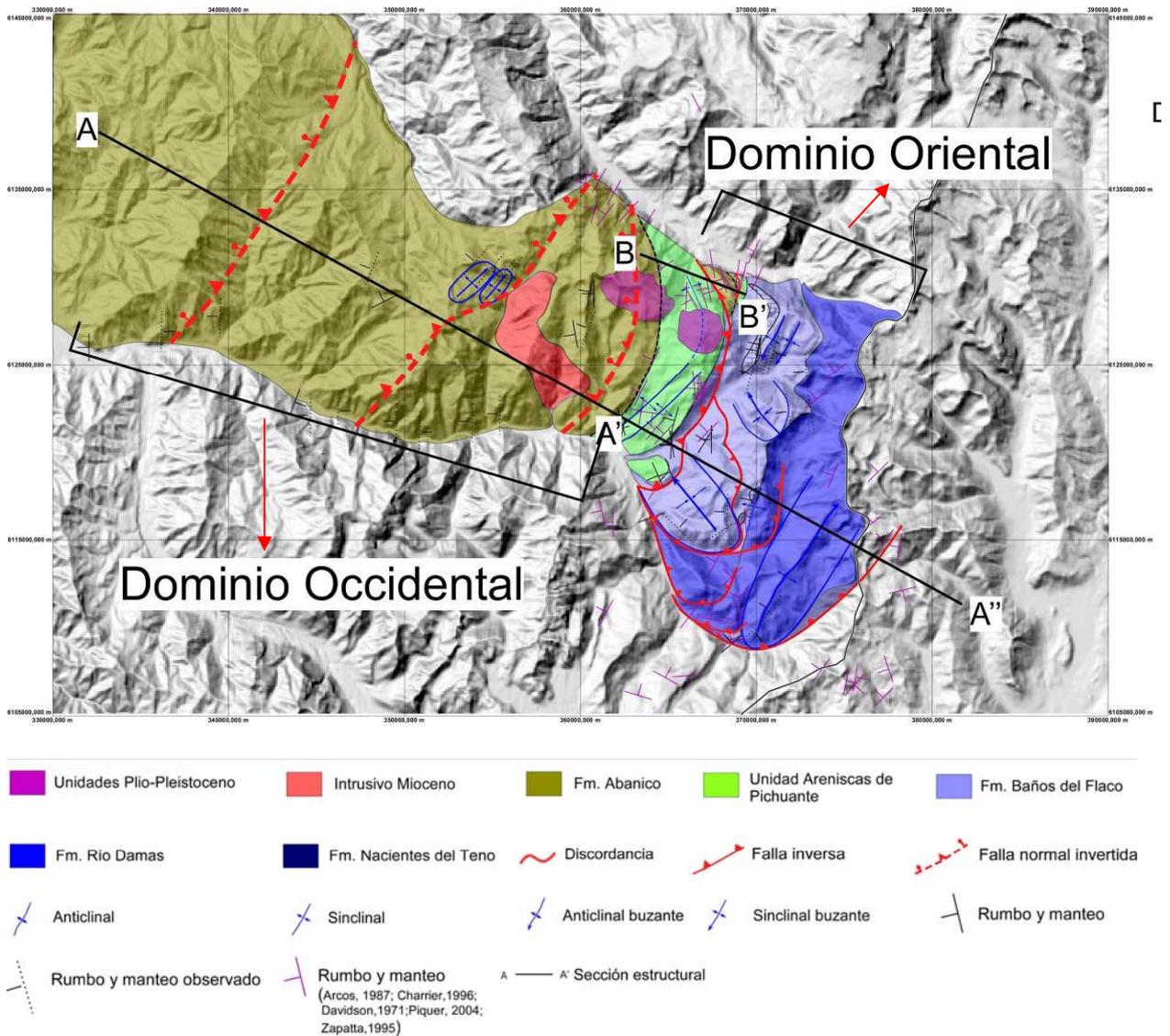


Figura 9: Mapa distribución de los dominios estructurales

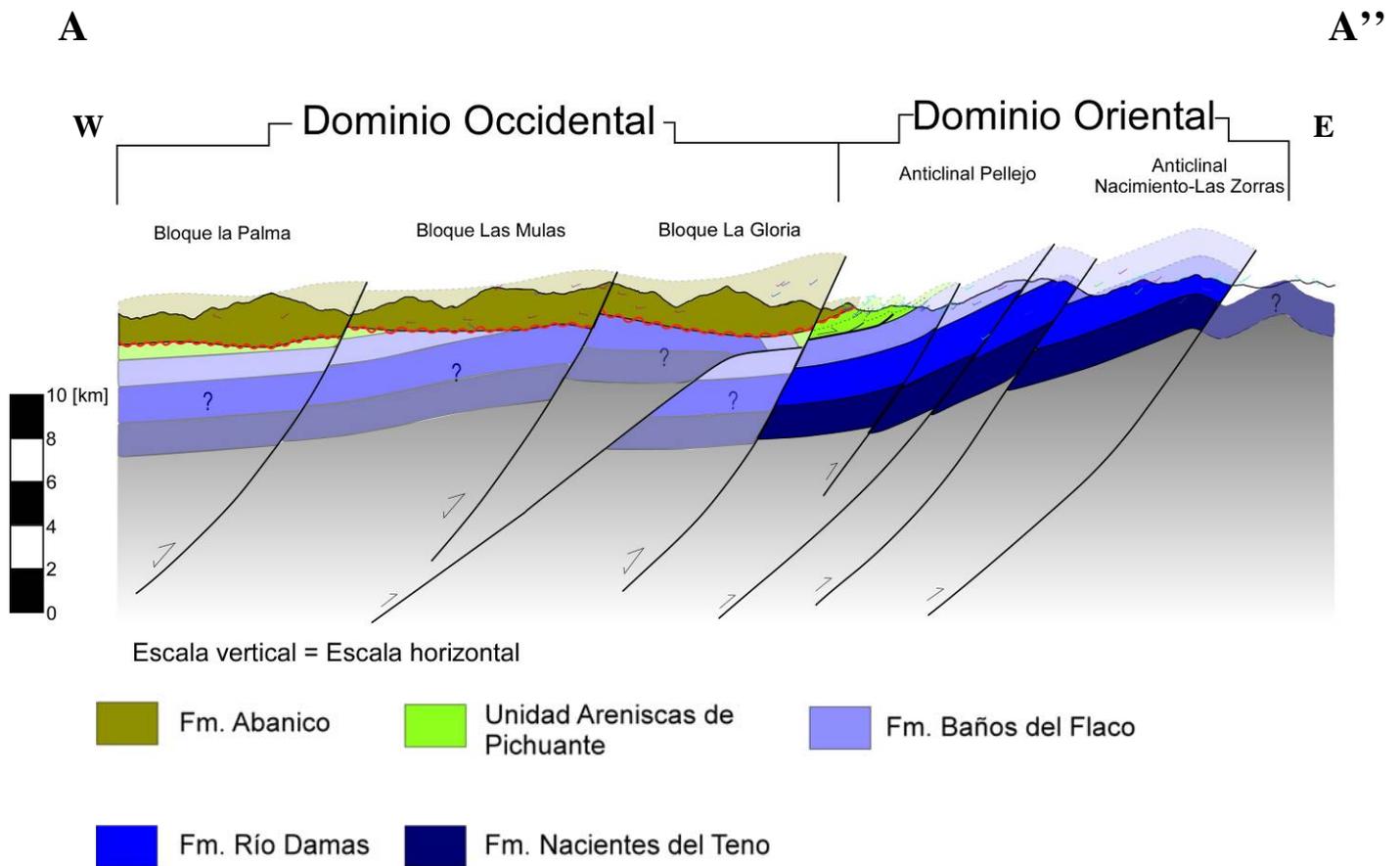


Figura 10: Dominios en la sección estructural A-A''.

4.3.1 Dominio Oriental

El dominio oriental se encuentra contiguo a la frontera de Chile-Argentina y se extiende hacia el oeste hasta el estero La Gloria (figura 11). Desde la vista en planta se aprecia que en esta zona las estructuras principales tienen una orientación aproximada NE-SW, además las trazas de las fallas presentan en forma de “arco”.

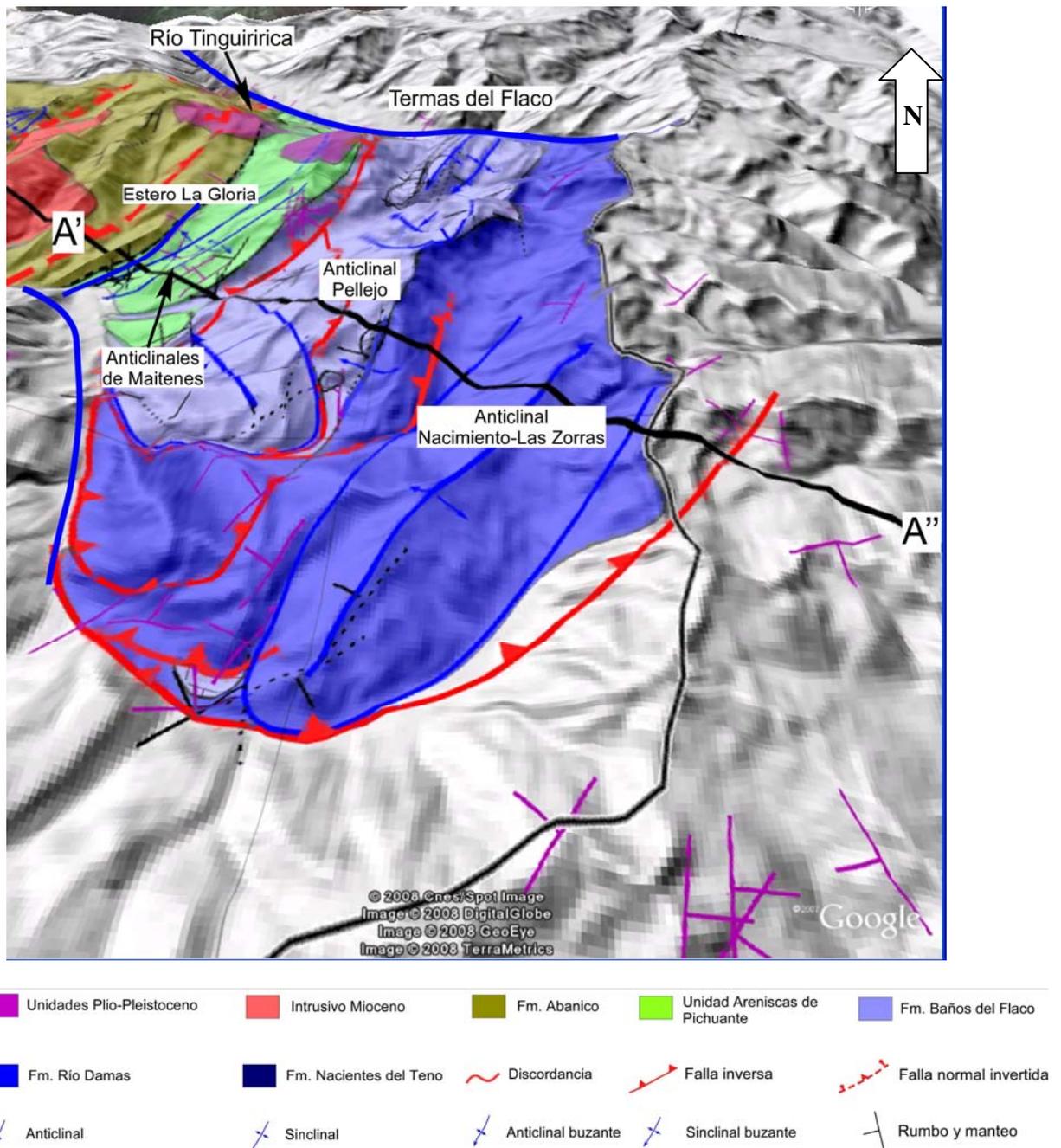


Figura 11: Dominio Estructural Oriental de la zona de estudio

Su arquitectura se caracteriza por dos anticlinales de propagación de falla que se presentan asimétricos, con limbos traseros extensos comparados con su limbo frontal, relacionados a fallas inversas de vergencia oriental (figura 12). Estas estructuras deforman de manera acoplada al basamento y a las formaciones mesozoicas. Existen además dos anticlinales menores (Anticlinales de Maitenes) con limbos apretados desarrollados en Areniscas de Pichuante y relacionados a una falla de despegue que se desarrolla por sobre la Formación Baños del Flaco, por sobre el limbo trasero del anticlinal Pellejo.

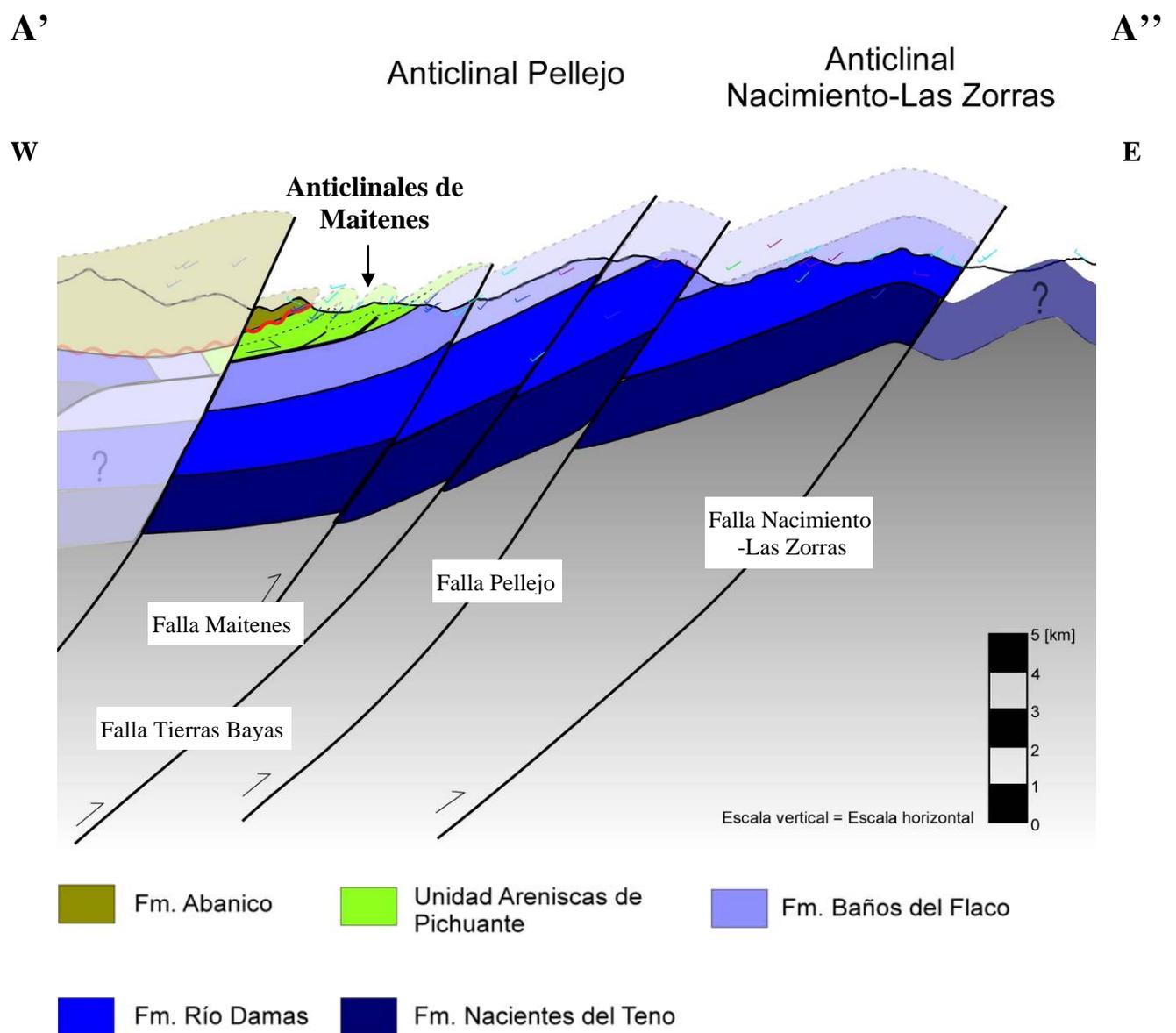


Figura 12: Perfil estructural del dominio Oriental

La estructura más oriental es el **anticlinal Nacimiento-Las Zorras**, asociado a la falla homónima (Foto 6). Su extensión alcanza 7 km. de longitud de onda y 10 km. de eje con rumbo NE-SW, corresponde a un pliegue por propagación de falla asimétrico, con respecto a la longitud y manteo de sus limbos. El limbo trasero más largo presenta un manteo de 30° NW y el delantero más corto posee un manteo de 25° SE. En los flancos de este anticlinal afloran principalmente los depósitos de la Formación Río Damas como consecuencia de la erosión de las capas superiores. La falla Nacimiento-Las zorras presenta una traza curva en su vista de planta (anexo 1) y pone en contacto rocas de las formaciones Río Damas con Nacientes del Teno. De acuerdo con la geometría del bloque colgante (pliegue por propagación), esta falla se ha interpretado con un ángulo de 30° aproximadamente.

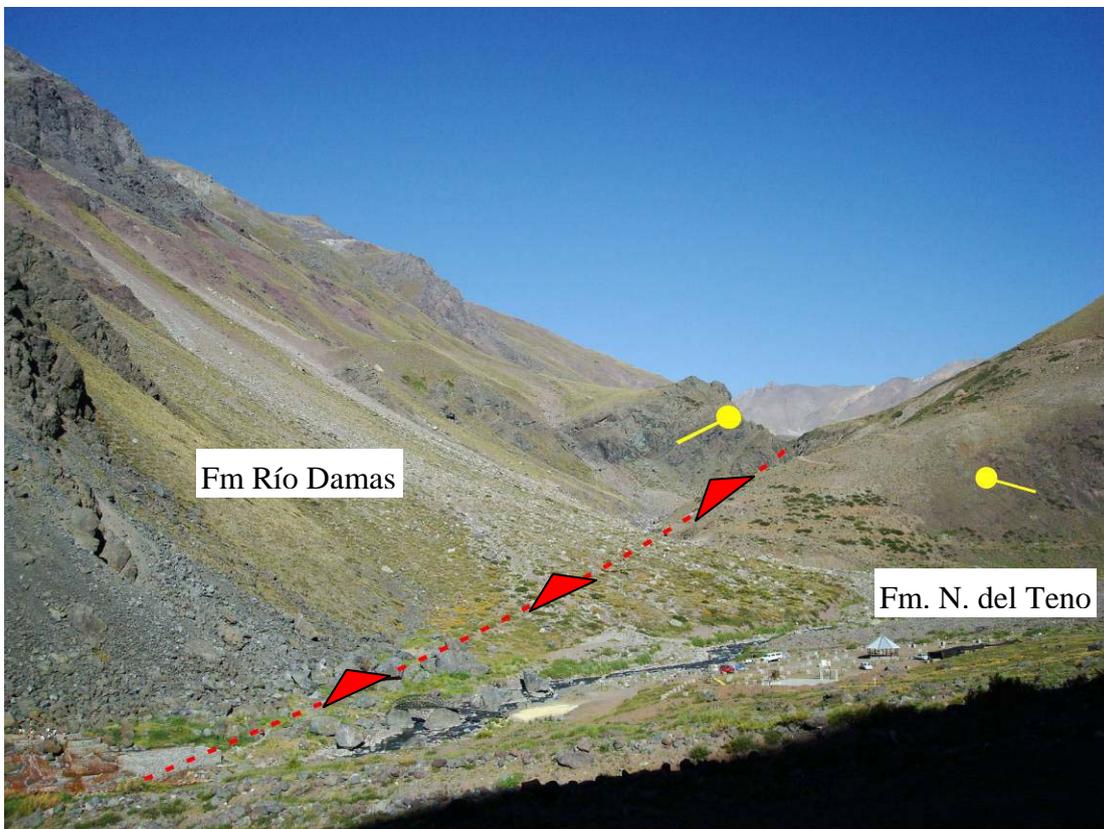


Foto 6: Terminación sur de la Falla Nacimiento- Las Zorras (línea segmentada roja) en los Baños de San Pedro, vista norte desde camino internacional.

La siguiente estructura hacia el occidente, es el **anticlinal Pellejo** asociado a la Falla homónima (Foto 7). El anticlinal tiene una extensión aproximada de 10 km. de longitud de onda y 14 km. de eje con rumbo aproximado NNE-SWS, corresponde a un pliegue por propagación de falla asimétrico, con un limbo trasero alargado que mientea 25° NW y un limbo frontal que mientea 30° SE, en el flanco trasero afloran rocas de la Formación Baños del Flaco, mientras que en el frontal lo hacen los estratos de la Formación Río Damas debido a la erosión de las capas superiores.

La Falla pellejo presenta una traza curva en su vista de planta (anexo 1) y pone en contacto en su sector de máximo desplazamiento rocas de la misma formación Río Damas. De acuerdo con la geometría del bloque colgante (pliegue por propagación), esta falla se ha interpretado con un ángulo de 30° W aproximadamente.

Este anticlinal se encuentra afectado en su limbo trasero por las fallas inversas Tierras Bayas y Maitenes (Foto 9), que lo seccionan (figura 12).



Foto 7: Terminación sur de la Falla Pellejo (indicada con una línea segmentada roja) en el río homónimo, vista hacia el norte

Sobre el limbo trasero del anticlinal Pellejo se desarrollaron los anticlinales de Maitenes. Estos corresponden a dos pliegues por despegue que se desarrollaron por sobre el techo de la Formación Baños del Flaco y deforman las rocas clásticas rojas de las Areniscas de Pichuante. Las dimensiones de estas antclinales son aproximadamente 3 km. de longitud de onda y 10 Km. de largo, La orientación de los ejes de estos pliegues es aproximadamente N-S y se extienden hacia el norte hasta la rivera del Río Tinguiririca pasando bajo el volcán Altos del Padre. La deformación de estas estructuras es única y difiere del estilo presente en las otras estructuras del dominio, siendo esta de “piel delgada” (Foto 8). Cabe destacar que es en estos pliegues donde se presenta la mayor cantidad de acortamiento para la zona de estudio.



Foto 8: Deformación de piel delgada en las Areniscas de Pichuante.

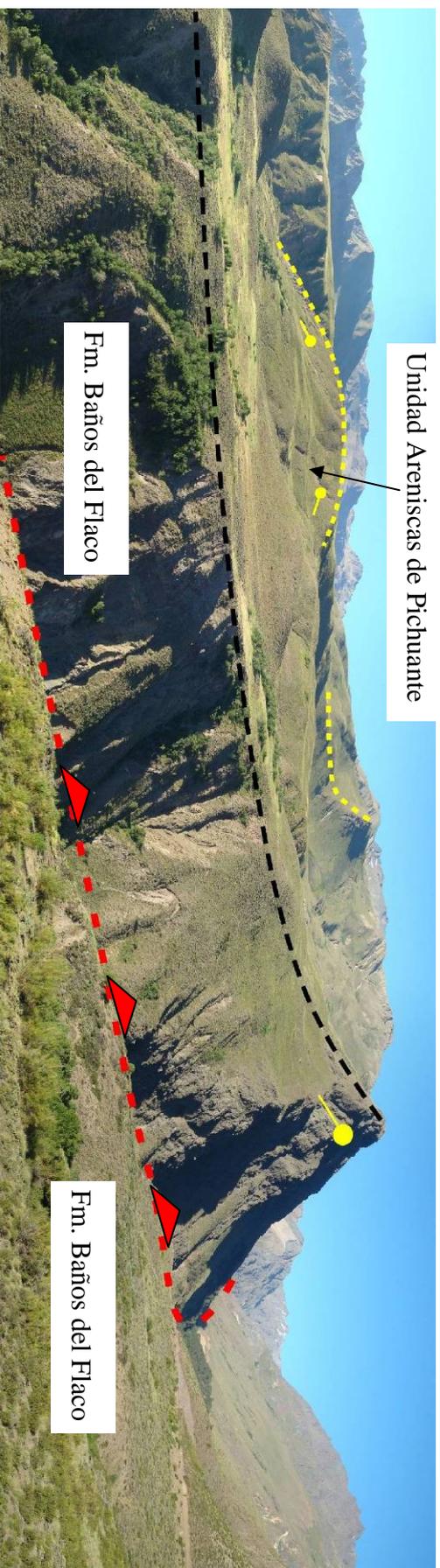


Foto 9: Falla Maitenes (indicada en línea segmentada roja). Línea amarilla indica uno de los anticlinales de Maitenes, Foto vista noroeste.

4.3.2 Dominio Occidental

El dominio occidental se encuentra limitado hacia el este por el estero La Gloria y se extiende hacia el oeste al resto de la zona de estudio (figura 13). Este encuentra dividido en tres bloques limitados por fallas (su descripción e interpretación se encuentra referido el punto 3.3.4), caracterizados por suaves pliegues de orientación NE-SW (figura 14) que afectan a las rocas de la Formación Abanico.

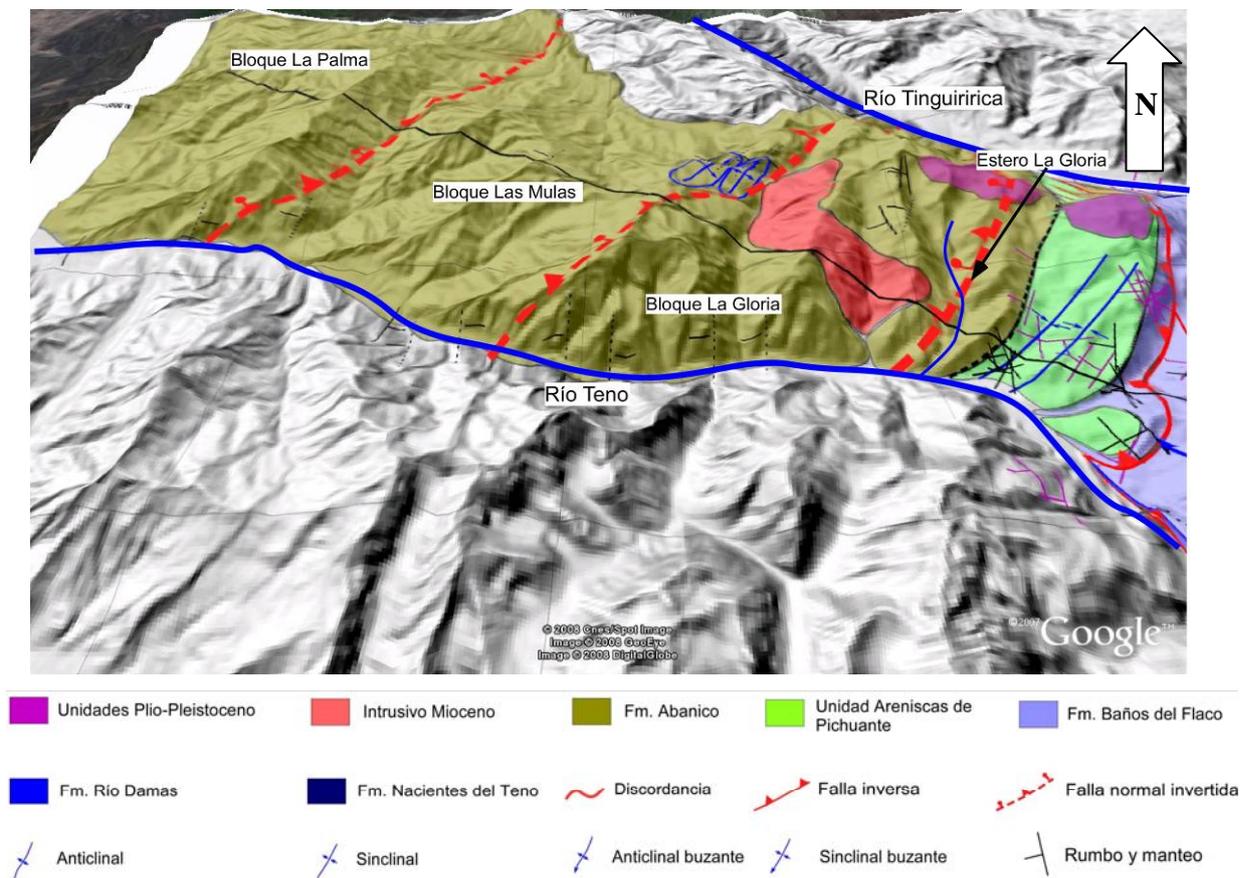


Figura 13: Principales elementos estructurales del Dominio Estructural Occidental de la zona de estudio.

El bloque más oriental corresponde al denominado La Gloria y esta limitado hacia el este por la falla homónima y por la falla Huemulina al oeste. Las dimensiones del bloque son cercanas a 16 km. de largo y a 14 km. de ancho. La falla La Gloria marca el límite donde se desarrollan los máximos espesores de la Formación Abanico, inmediatamente al este de la falla los depósitos tienen una potencia de 300 m., mientras al oeste tienen 2500 m. de espesor. Además existe una diferencia de la topografía a ambos lados de la falla donde la zona occidental presenta una altura media superior que la zona oriental. La arquitectura del bloque se caracteriza por un par sinclinal anticlinal que afectan a las rocas de la Formación Abanico. El sinclinal se ubica en el sector occidental del bloque con limbos que mantean entre 5° y 10° , mientras que el anticlinal denominado Pellejito esta ubicado en la parte oriental y sus limbos mantean en torno a los 30° (Foto 10). Al interior de este bloque existe un intrusivo que se ubica entre el estero Chacarilla y el estero Huemulina.

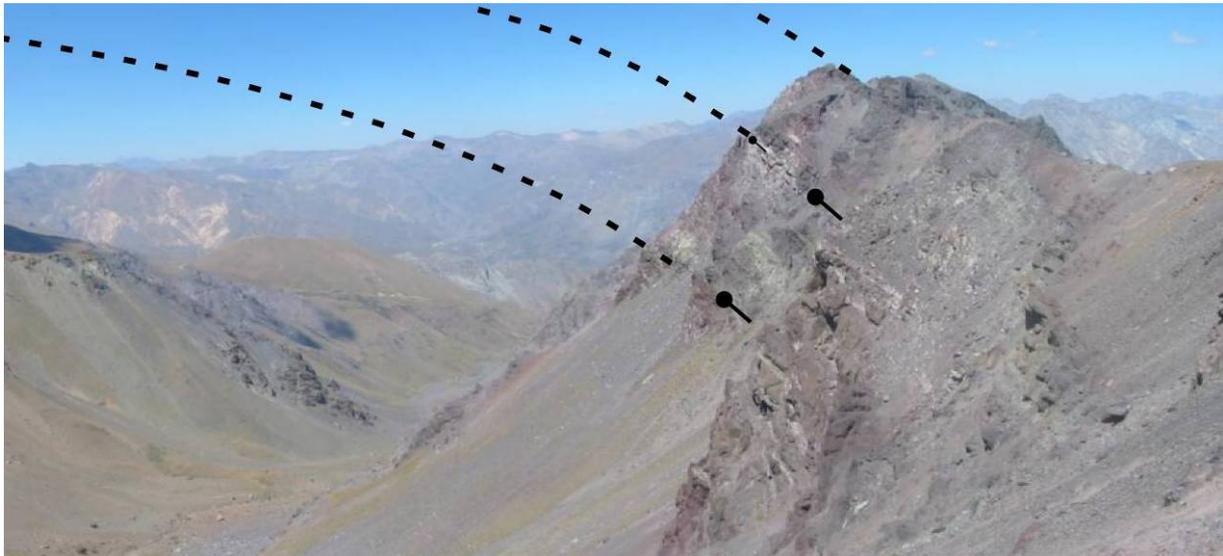


Foto 10: Limbo trasero anticlinal Pellejito desarrollado en la Formación Abanico, vista al sur desde estero La Gloria (figura 2).

El siguiente bloque hacia el este corresponde al Bloque Las Mulas, se encuentra limitado al este por la Falla Huemulina y por el oeste por la falla La Palma, con dimensiones aproximadas de 16 Km. de eje y 14 Km. de largo. La proyección de la falla Huemulina hacia el norte coincide con el sector de la fauna del tapado, en donde se ha reconocido la secuencia más antigua de la Formación Abanico en base a fósiles (Zapatta, 1995, Charrier, 2002). La deformación interna del bloque esta caracterizada por un sinclinal muy suave en su parte oeste cuyos limbos mantean entre 3° y 18° , y en su parte este por un anticlinal con limbos con manteos cercanos a los 20° . Además superpuestos a este anticlinal oriental se disponen dos anticlinales de menor escala (Foto 11) ubicados en la cercanía de la falla Huemulina en el sector de Cordillera homónima (figura 2).

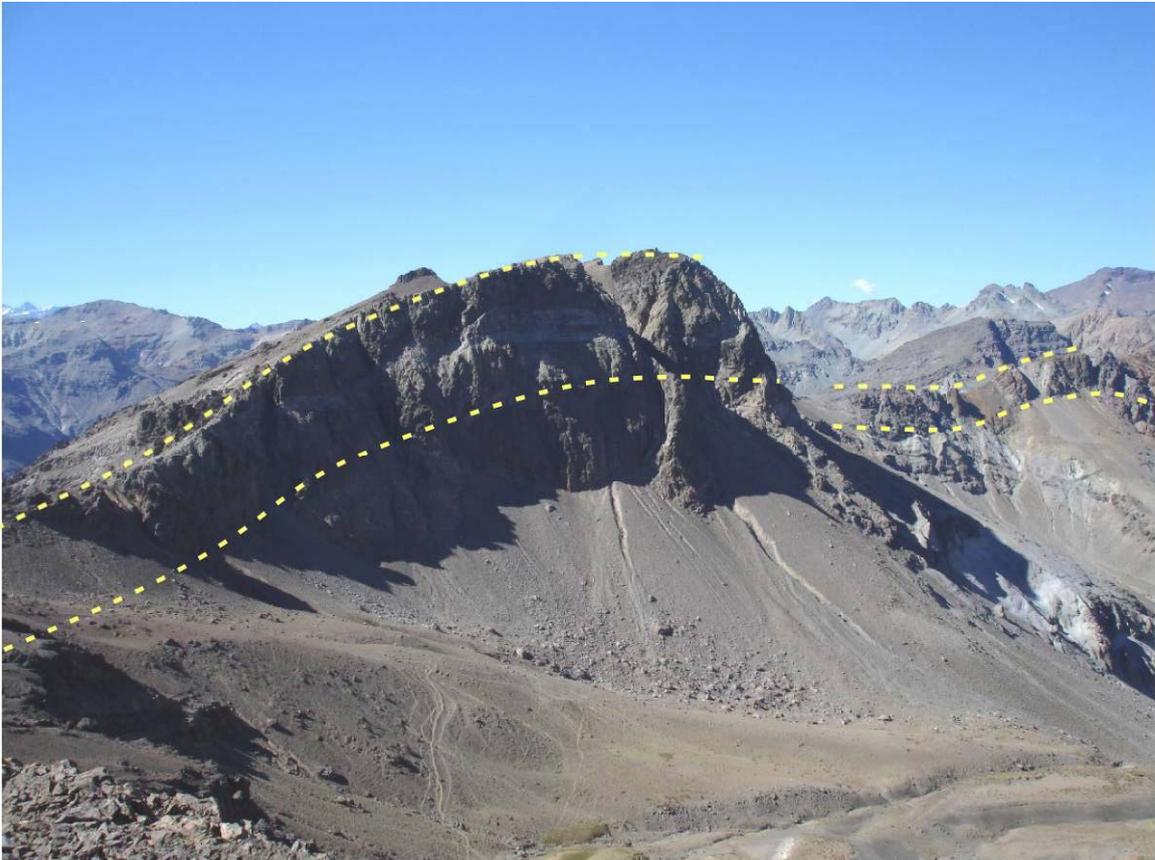


Foto 11: Anticlinales en rocas de la Formación Abanico en la cordillera Huemulina, vista hacia el noreste.

La estructura más occidental de este dominio es el bloque La Palma, se encuentra limitado al este por la falla homónima y se extiende al oeste hasta el borde de la zona de trabajo. Sus dimensiones aproximadas son 23 Km. de eje y 12 Km. de largo. La arquitectura interna del bloque esta caracterizada por dos anticlinas y un sinclinal. Los anticlinas se disponen hacia los costados del bloque y se encuentran conectados por un sinclinal en el centro cuyos limbos mantean entre 15° y 20°.

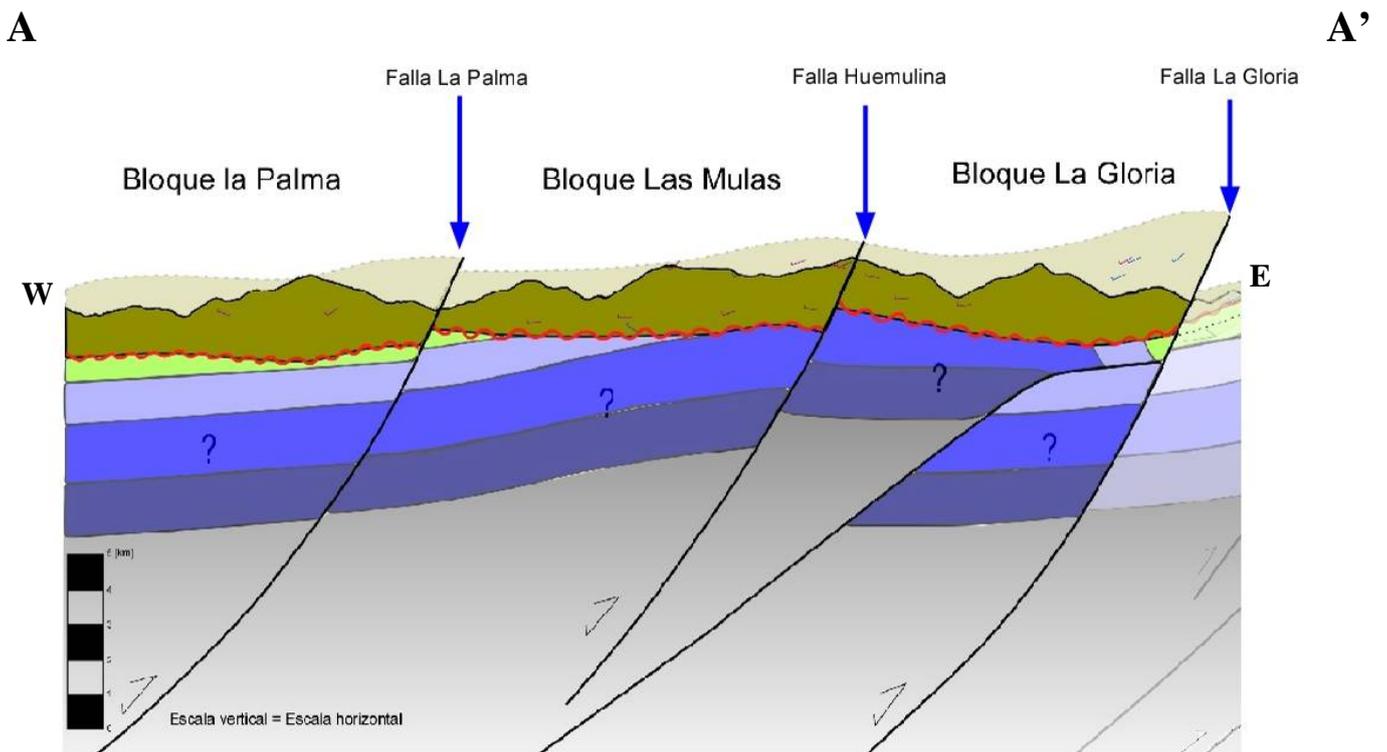


Figura 14: Dominio occidental en perfil A-A'

4.3.3 Sección B-B'

La sección B-B' (figura 16) corresponde a un complemento del perfil regional A-A' y se presenta con objeto de ilustrar en mejor forma la proyección norte de las estructuras. Esta sección (figura 16) mantiene el estilo descrito para la sección regional del Río Teno, donde resalta la consistencia entre el tipo de deformación de basamento a través de fallas de alto ángulo para las unidades jurásicas y de estructuras despegadas asociadas a fallas de bajo ángulo con respecto a la estratificación para las cretácicas.

En la parte oeste de la sección se aprecia la falla La Gloria, que en esta zona también limita dos sectores de máxima potencia de la Formación Abanico. Los anticlinales de Maitenes se extienden desde el Río Teno hasta el Río Tinguiririca y se observan en la parte central de la sección de detalle. Al este de estos anticlinales aparecen nuevamente depósitos de la Formación Abanico dispuestos en forma discordante sobre las unidades cretácicas. Es en este sector donde aflora la falla el Fierro (Davidson, 1971), correspondiente a una falla con rumbo aproximado N-S y un manteo de 40° W., que corta con un bajo ángulo a la estratificación de las Areniscas de Pichuante y que esta asociada a un pliegue por flexión de falla (detalle en figura 16). Las características de la falla el Fierro son propias de la deformación de cobertura descrita anteriormente para la unidad cretácica. Esta se relaciona con el nivel de despegue por sobre la Formación Baños del Flaco, necesario para explicar el estilo de deformación que la caracteriza y ha sido cortada posteriormente por la falla Maitenes, permitiendo el afloramiento de Areniscas de Pichuante en la zona de Termas del Flaco.

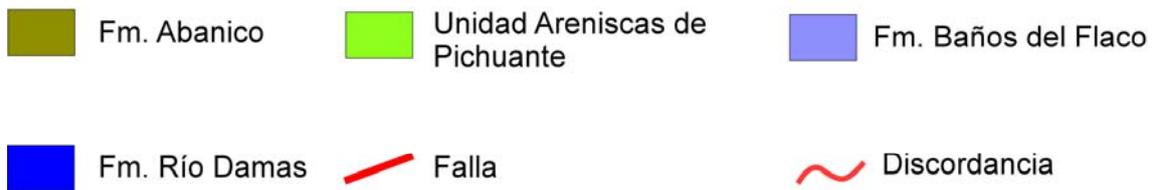
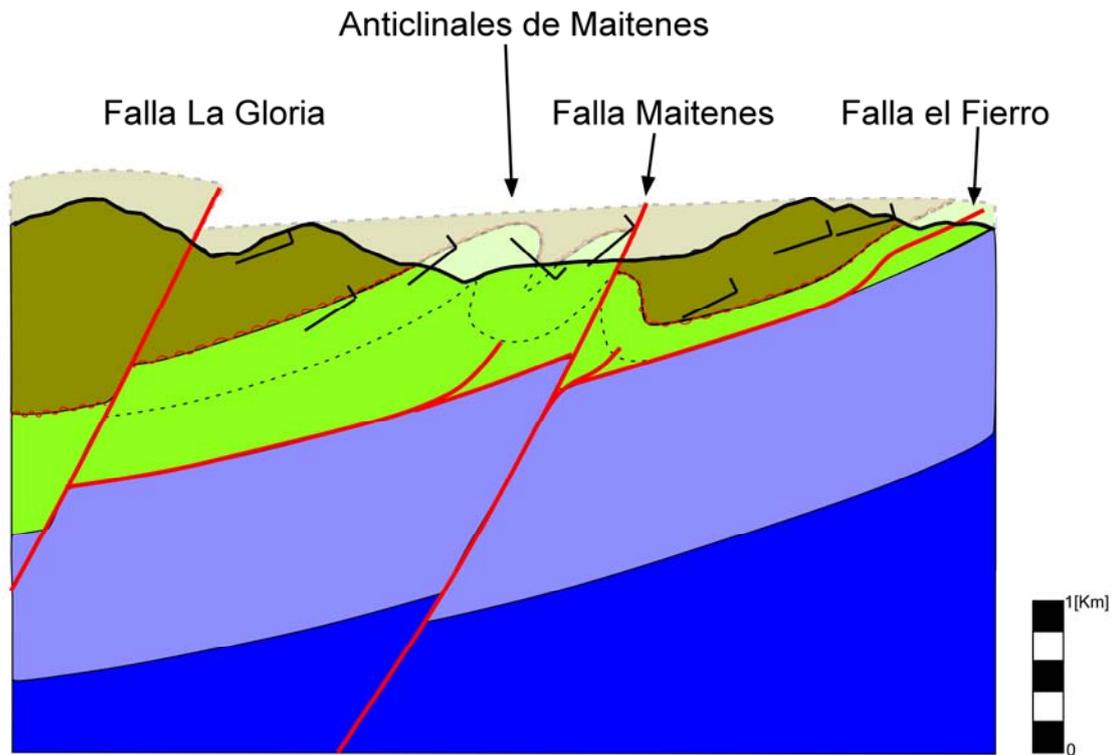


Figura 15: Sección estructural B-B'

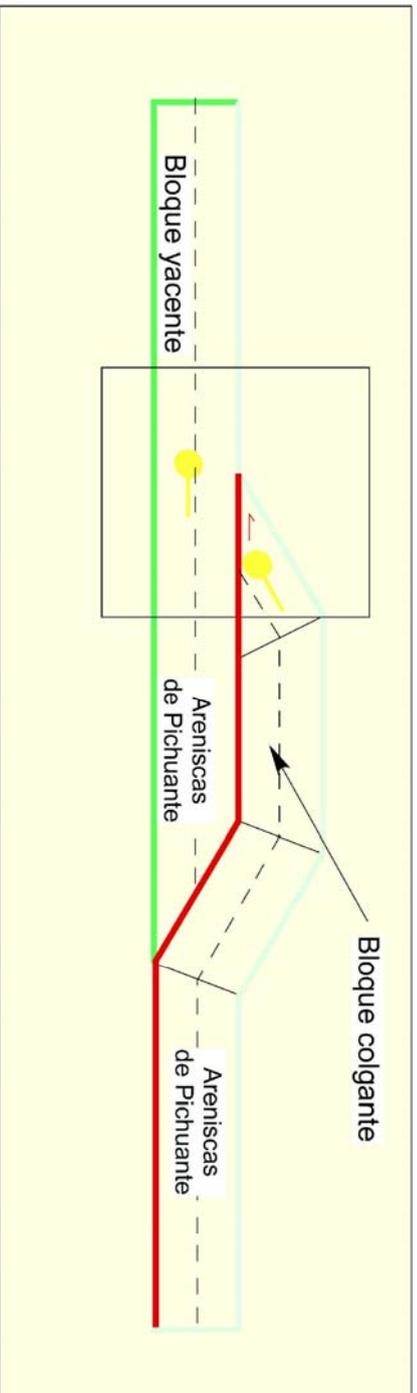
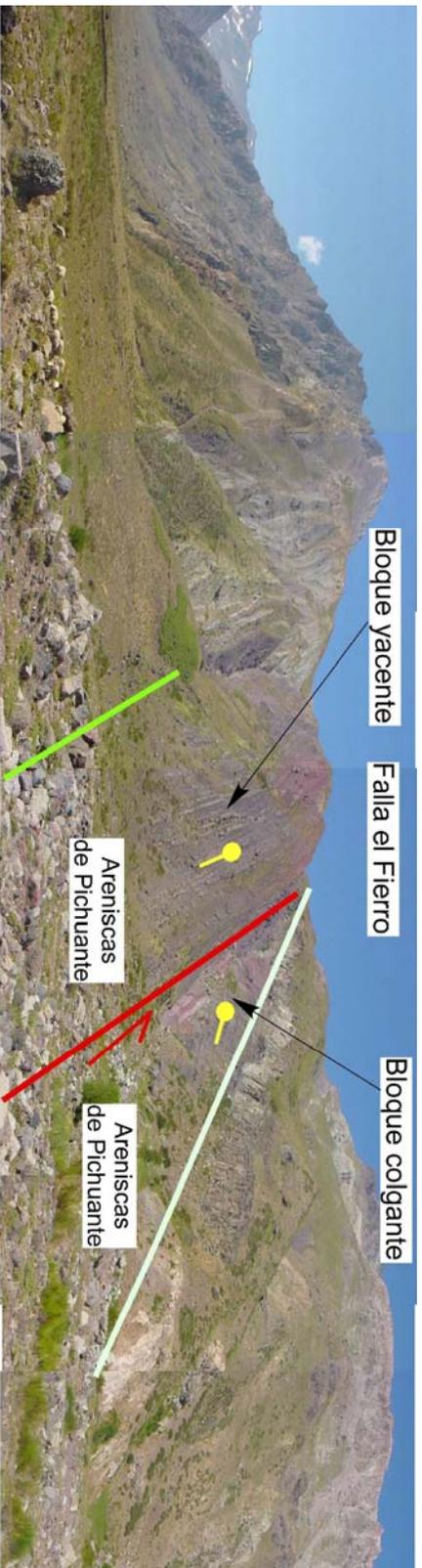


Figura 16: Foto interpretada de la falla el Fierro y su pliegue por flexión de falla asociado en la rivera sur del Río

4.3.4 Interpretación de las estructuras del dominio occidental

El dominio occidental ha sido separado en tres bloques limitados por falla, lo cual es una característica geométrica reconocida en muchas cuencas extensionales. Si bien su estructura básica esta representada por hemigraben con dimensiones de 80-160 Km. de largo por 40-80 km. de ancho, existe una subdivisión interna en bloques menores de dimensión aproximada de 5 a 10 km. de ancho (Rosendhal, 1987).

Las fallas que limitan los bloques del dominio occidental no tienen una representación clara en superficie, sin embargo su existencia se infiere a partir de las discontinuidades estructurales en sus cercanías, así como una serie de evidencias que a continuación se detallan.

Además de la discontinuidad de datos de rumbo y manteo en superficie se tiene la coexistencia de anticlinales asociados a las fallas para cada una de los bloques. Para el caso del bloque la Gloria se tiene además que marca un importante cambio en el espesor de las rocas de la Formación Abanico hacia el este. Por ultimo la presencia de anticlinales de menor escala en las cercanías del borde de los bloques evidencian la concentración de la deformación hacia las fallas que lo limitan.

Las fallas de borde de los bloques han sido interpretadas como de alto ángulo, debido a la geometría de los pliegues asociados con manteos suaves en ambos flancos ($<20^\circ$) y sumado a la potencia de las capas de la Formación Abanico observadas en superficie evidencian mayor alzamiento que acortamiento.

Todas estas características descritas permiten interpretar que los ambientes tectónicos que afectaron al dominio y generaron su arquitectura actual corresponden a un ambiente extensional controlado por fallas normales que generaron el espacio para contener los depósitos, proseguido por una inversión tectónica que reutilizo las fallas extruyéndolos y plegándolos en las geometrías descritas.

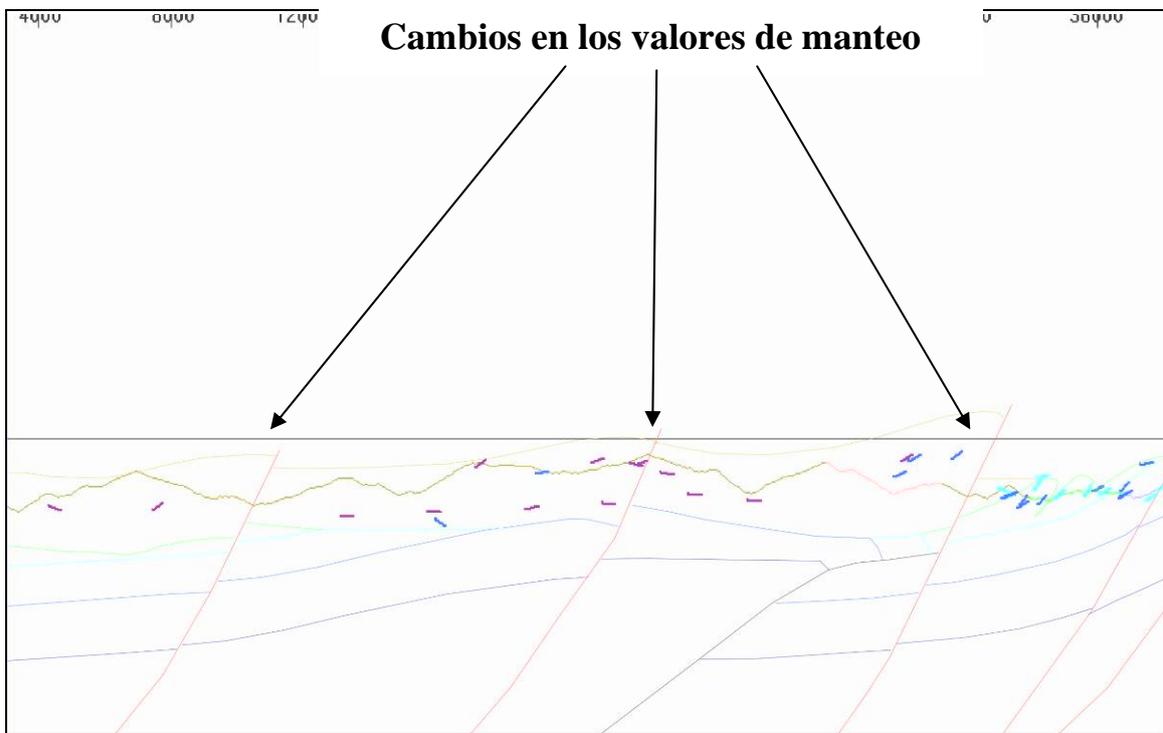


Figura 17: Detalle de las proyecciones de los datos de rumbo y manto en 2DMove, se aprecian los cambios en los mantos que sugieren pliegues asociados a fallas.

4.4 Secuencia de la deformación

La sección, estructural A-A'' fue restaurada para distintos horizontes, con el fin de validar la posible secuencia de deformación en la zona de estudio. La restauración se realizó en 2DMove con el método de deslizamiento flexural.

El resultado de la restauración permitió reconocer al menos 4 eventos de deformación claves en la evolución estructural de esta zona los cuales se describen a continuación (para la edad de estos eventos ver capítulo de discusión y conclusiones).

Estado inicial:

Como punto de partida se consideró un estado inicial no deformado horizontal (figura 18) para las secuencia jurásicas, debido a que no se ha reconocido ningún evento de deformación compresivo anterior al cretácico para este sector de la Cuenca Neuquina (Maceda y Figueroa, 1995, Vergani et al., 1995).

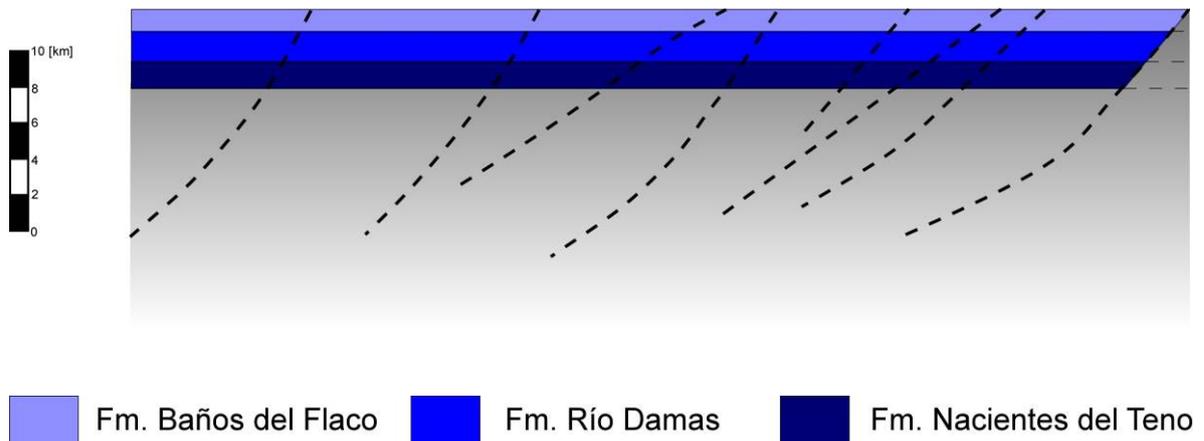


Figura 18: Estado inicial de la secuencia de deformación.

Evento Compresión 1:

Al restaurar la sección A-A” al techo de cretácico es posible observar que la deformación registrada por los Anticlinales de Maitenes representa un acortamiento cercano al 50 % y una posterior rotación antihoraria provocada una estructura que se ubicaría inmediatamente al este. Además en la figura 19 (estado restaurado) se observa que existe un déficit de área entre los bloques colgante y yacente definidos por la falla la Gloria.

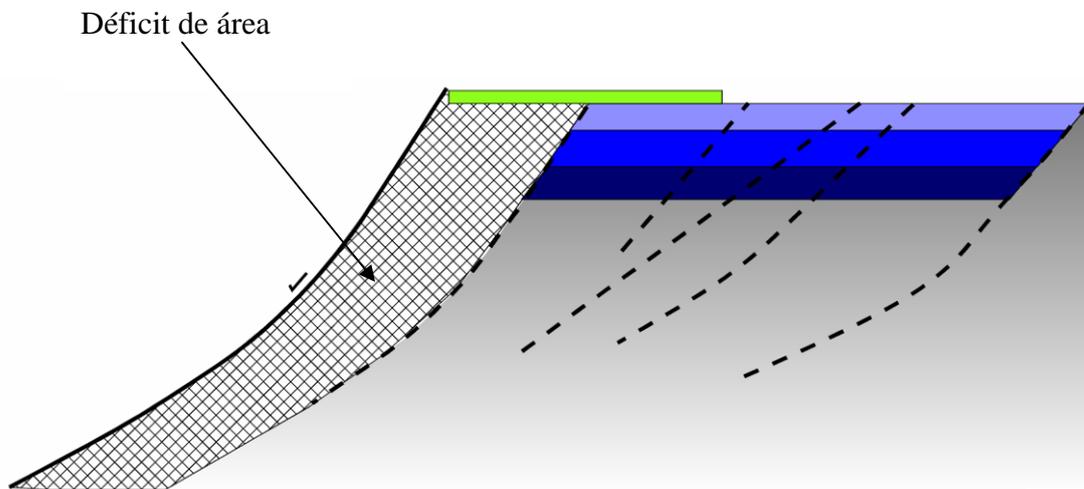


Figura 19: Restauración al techo del Cretácico par a bloques definidos por la Falla La Gloria

Para este problema existen dos posibles soluciones, una es que la interpretación de la geometría de la falla La Gloria esté incorrecta siendo necesario modificarla para explicar el acortamiento registrado en los Anticlinales de Maitenes, y otra en la cual la falla la Gloria sea posterior a la falla que deforma al cretácico. La deformación asociada a la falla la Gloria, principalmente alzamiento, es distinta la deformación en los pliegues despegados donde prima el acortamiento. es por esta razón que se propone la existencia de otra estructura inmediatamente al oeste de los Anticlinales de Maitenes responsable de su acortamiento, la cual habría sido cortada posteriormente por la falla la Gloria.

La solución geométrica más simple para esto corresponde a una estructura teórica de basamento, la cual actualmente estaría cubierta por los depósitos de la Formación Abanico y que habría transferido deformación a la cobertura para generar los Anticlinales de Maitenes. Si bien esta estructura no se observa en terreno, su existencia se hace necesaria para explicar la deformación generada en las rocas cretácicas. La estructura interpretada es un pliegue por flexión de falla denominado anticlinal Chacarillas (figura 20) y esta asociada al movimiento inverso de la falla homónima que afecta al basamento y a las formaciones jurasicas.

Considerando el contexto de deformación es posible considerar que el crecimiento de del Anticlinal Chacarillas habría generado el relieve necesario para su erosión y el depósito de las Areniscas de Pichuante en su frente, debido a lo cual estas podrían ser consideradas como depósitos sintectónicos del primer evento de deformación registrado en la zona. Al progresar la deformación, las Areniscas de Pichuante fueron deformadas para originar los Anticlinales de Maitenes, por transferencia de la deformación desde el basamento hacia la cobertura en el frente del Anticlinal Chacarillas.

Este evento de deformación ocurrió, posiblemente en el lapso comprendido entre el edad Cretácico Superior y el Eoceno considerando la edad de las rocas involucradas en la deformación y la edad de la Formación Abanico que cubre discordantemente a las rocas deformadas correspondientes a las Areniscas de Pichuante.

Anticlinal Chacarillas

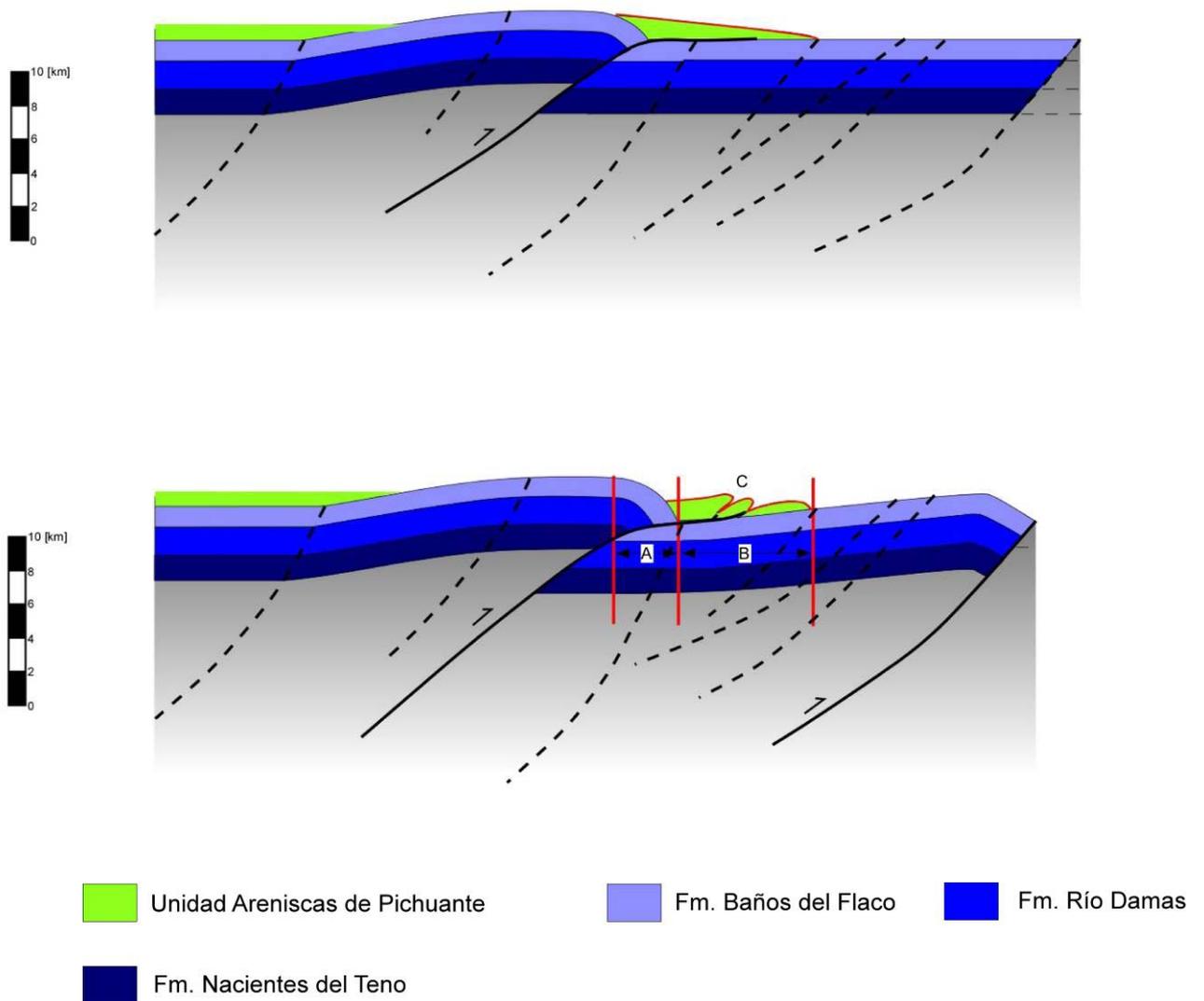


Figura 20: Secuencia de deformación para el Anticlinal Chacarillas y transferencia de la deformación a los estratos sintectónicos. El largo de línea C del estrato Areniscas de Pichuante es igual a la suma del desplazamiento A con el largo del estrato deformado B.

Evento Compresión 2:

El segundo evento de deformación para la zona se infiere a partir del análisis del anticlinal Nacimiento-Las Zorras. El desarrollo del limbo trasero de este anticlinal produjo una rotación antihoraria de las Areniscas de Pichuante. La geometría de este anticlinal corresponde a un pliegue por propagación de falla producido por una falla de basamento de ángulo cercano a los 30° , el cual se habría formado “en secuencia” con respecto al desarrollo del hipotético Anticlinal Chacarillas (figura 21). La edad de este evento es incierta, aunque en todo caso anterior a la depositación de la Formación Abanico.

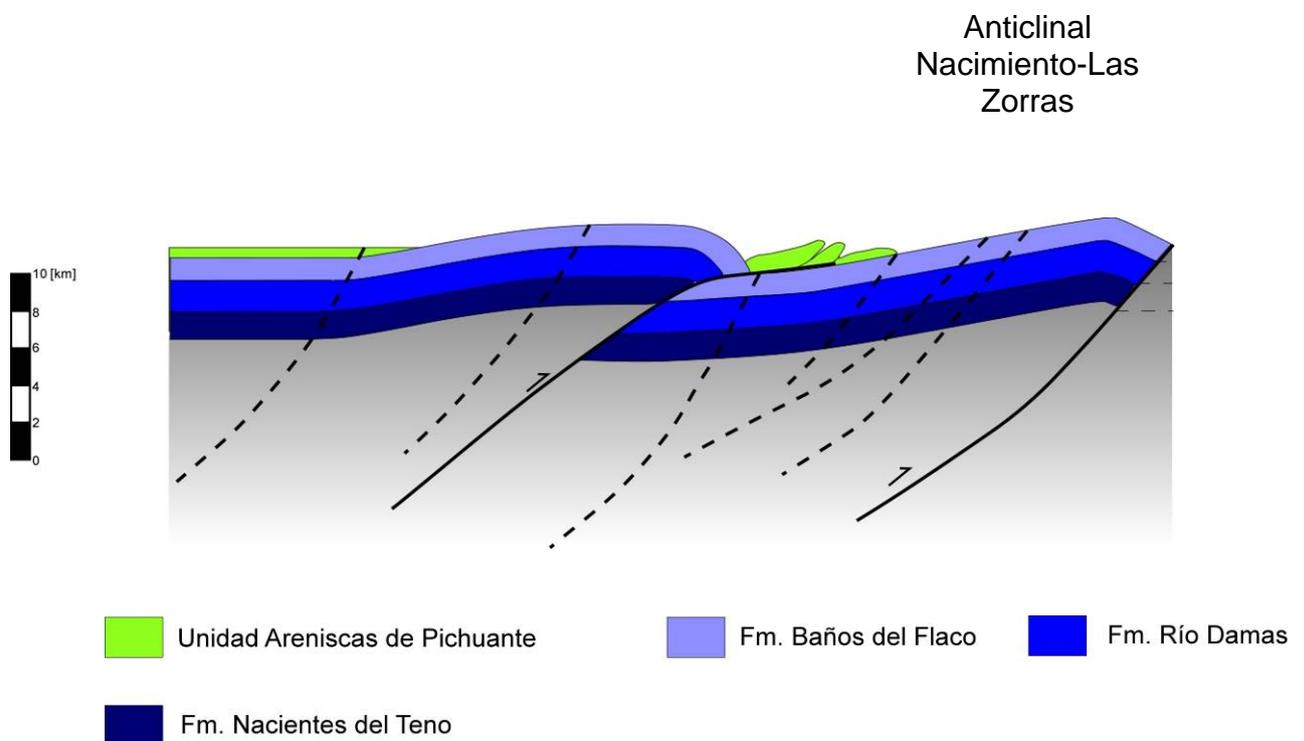


Figura 21: Segundo evento compresivo que generó el Anticlinal Nacimiento-Las Zorras.

Evento Extensional del Eoceno?-Oligoceno:

La interpretación de las estructuras del dominio occidental indicada en el párrafo 3.3.4 indica que la Formación Abanico se habría depositado en un sistema de hemigraben. Durante este episodio se habrían formado las fallas normales (figura 22) del Dominio Estructural Occidental. Estas fallas afectarían tanto a las formaciones mesozoicas como al basamento y se han interpretado con un manteo cercano a los 60° W. Estas fallas se superponen y cortan la estructuras compresionales previas constituyendo el borde de tres hemigraben dentro de los cuales se habría depositado la Formación Abanico. A pesar que la geometría asimétrica de los hemigraben no fue observada en terreno su existencia se infiere considerando que este tipo de estructuras es típica de sistemas extensionales. Este episodio de extensión fue reconocido previamente por Zapatta (1995) y Charrier (1996, 2002) asignándole una edad oligocena.

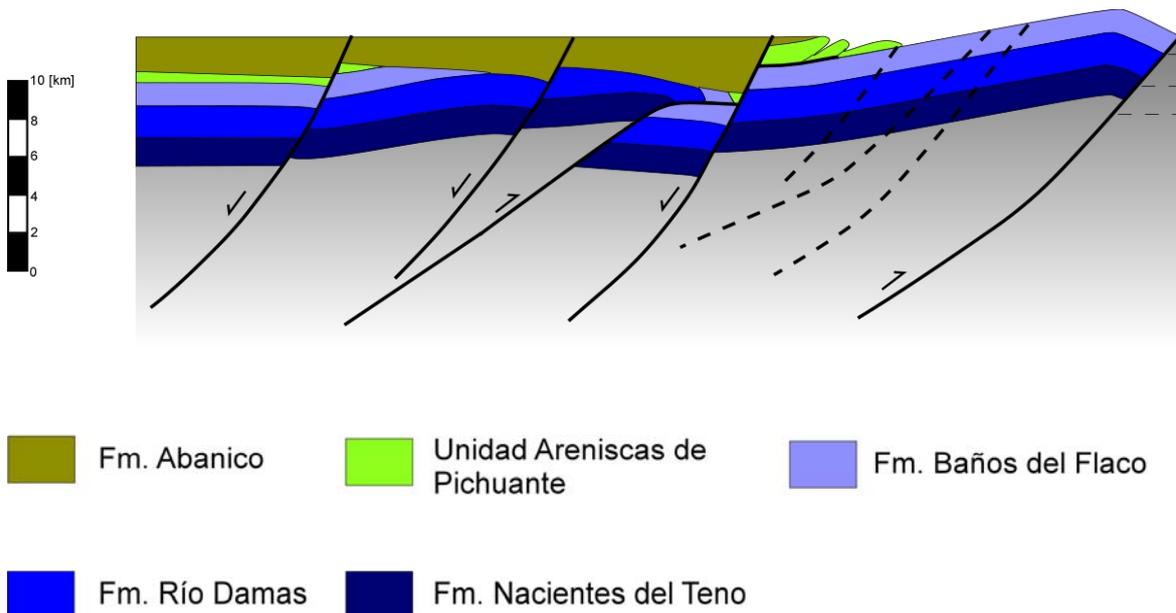


Figura 22: Evento extensional que produce la formación de tres hemigraben controlados por fallas normales.

Evento de Inversión y reactivación de la faja

El cuarto evento para la zona de estudio comparte su fundamentación con la proporcionada para el evento extensión, es decir también está basado en la interpretación de las estructuras del dominio occidental (punto 3.3.4).

En este evento se produce la inversión de las fallas normales que controlaron inicialmente el depósito de los depósitos terciarios. A pesar de que no es posible observar en terreno la geometría completa que adquirieron los depósitos terciarios al ser extruidos, es posible interpretar que deberían tener forma de “arpones”, la cual es una geometría típica de inversión.

Además de la inversión en el sector oeste, se produce también la reactivación de la faja en el sector oriental de la zona de estudio generando nuevas estructuras asociadas a fallas inversas que involucran al basamento, propagándose al este del borde de la cuenca de Abanico. Hacia el este se desarrolla el anticlinal Pellejo, el cual corresponde a un pliegue por propagación de falla. El anticlinal Pellejo a su vez es cortado en su limbo trasero por las fallas inversas Maitenes y Tierras Bayas. Las tres fallas ocurridas en este evento producen una nueva rotación de los manteos de las Areniscas de Maitenes hacia el oeste (figura 23). El anticlinal Pellejo en conjunto con las fallas Maitenes y Tierras Bayas, representan el avance de la deformación desde el borde de la cuenca terciaria hacia la FPFM.

Este episodio de inversión de la cuenca y el avance de la deformación hacia la faja fue asignada una edad Miocena (21-16 M.a.) por Charrier (2002) en base a sedimentos sintectónicos ubicados en el lado este de la Cordillera Principal en segmento andino de subducción plana. Esta edad difiere de las edades propuestas para la inversión de la cuenca al sur de la zona de estudio (37-39° L.S.) donde se estima en 10-8 (Jordan et al., 2002).

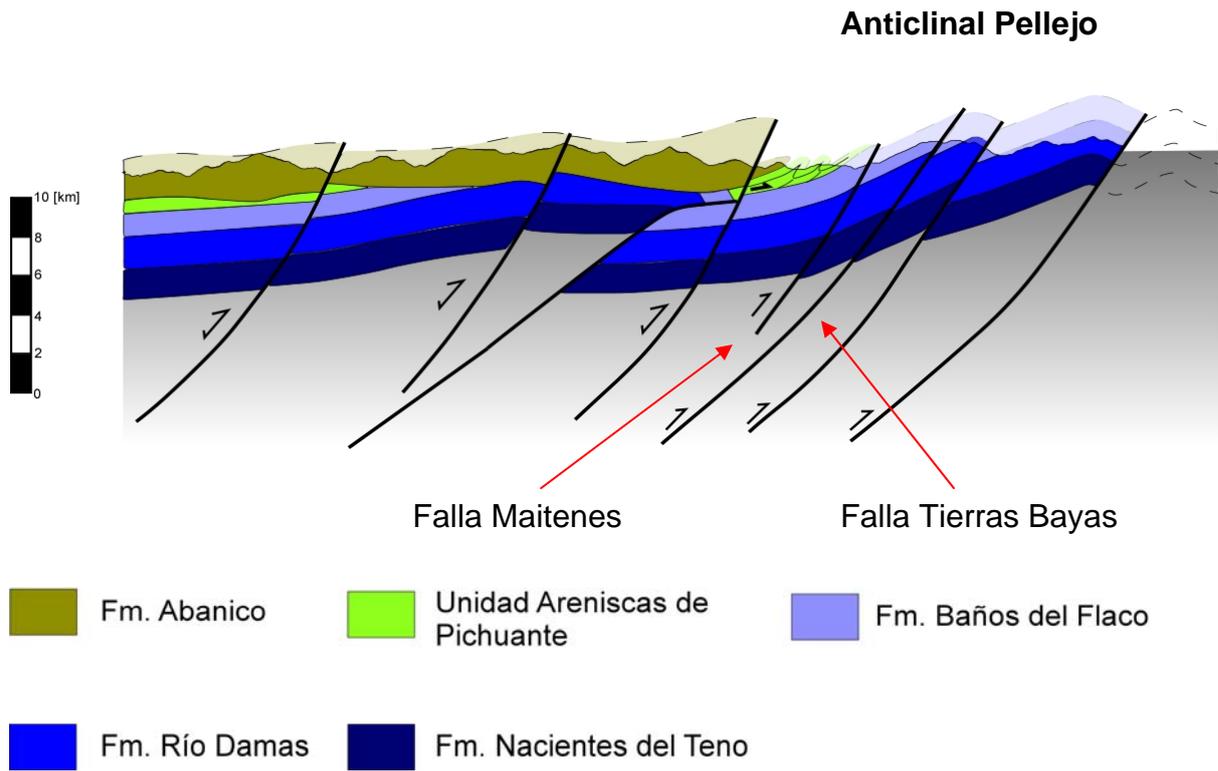


Figura 23: Inversión del dominio occidental y reactivación de la faja plegada del dominio oriental.

5 DISCUSIONES

5.1 Estilos de la deformación en un contexto regional

En la zona de estudio reobservan dos claros dominios estructurales (figura 25), oriental y occidental. El primero de ellos corresponde al sector oriental dominado por una tectónica mixta donde existen anticlinales que corresponden a pliegues por propagación de falla que involucran tanto al basamento como a la cobertura mesozoica. Estas estructuras están relacionadas a fallas de vergencia oriental. Además de estos, existen otros dos anticlinales, menores en tamaño y que responden a una mecánica distinta de deformación, son pliegues por despegue desarrollados en arenas rojas clásticas del cretácico despegados por sobre la formación subyacente (Baños del Flaco).

La arquitectura del dominio oriental es comparable a la descrita en trabajos anteriores para sectores hacia el oriente de la zona de estudio en la FPFM (e.g. Manceda y Figueroa, 1995; Rojas, 2001), en los cuales es reconocido que existen bloques de basamento permo-triásico de la cuenca que han sido alzados verticalmente a través de grandes fallas invertidas y que han transferido su deformación generando estructuras compresivas despegadas en la cobertura sedimentaria mesozoica (figuras 24).

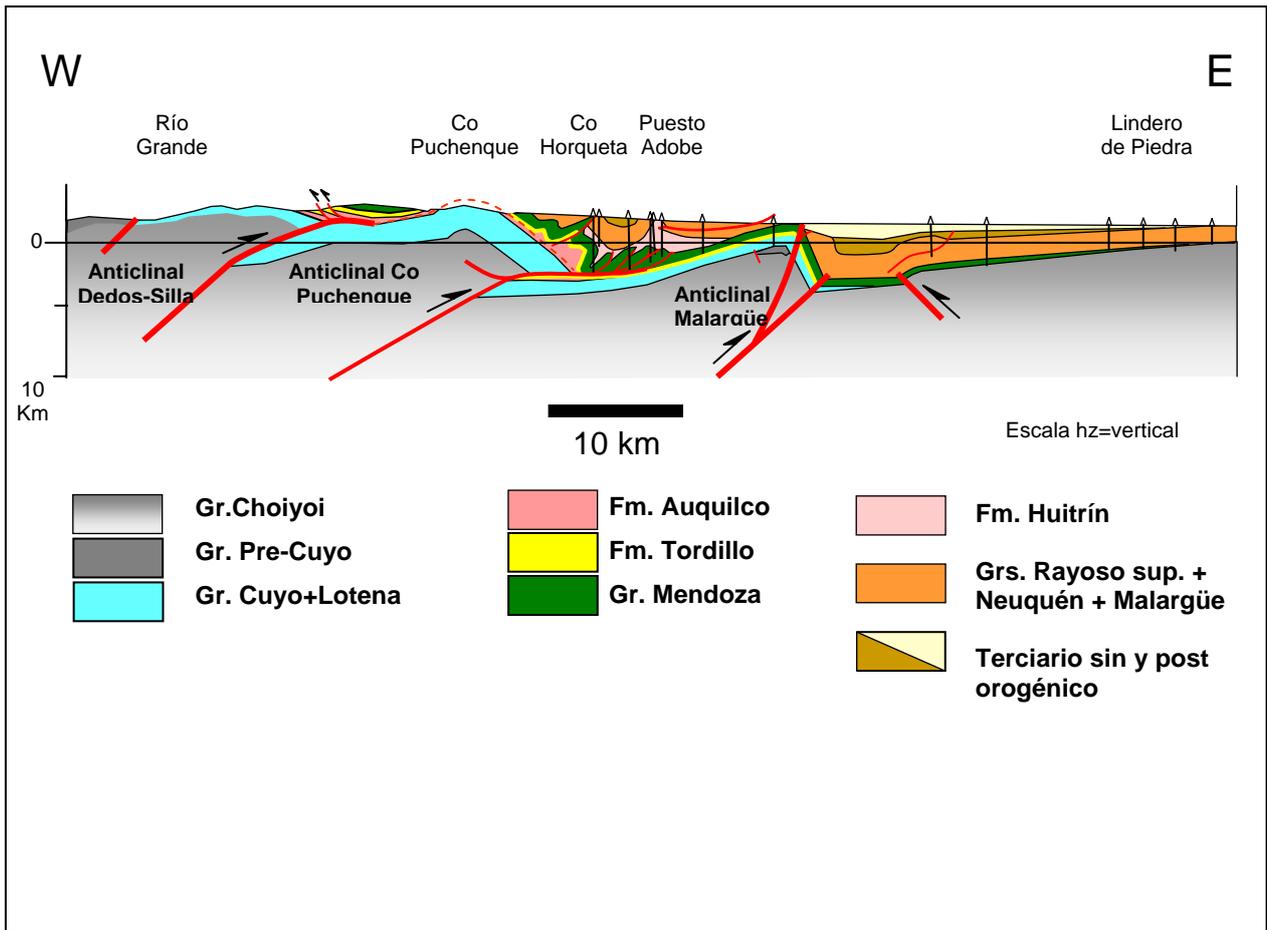


Figura 24: Sección estructural regional Río Grande-Lindero de Piedra, mostrando el estilo estructural típico de la Faja Fallada y Plegada de Malargüe ubicación en figura 8, tomada de Rojas, 2001

El Dominio Occidental está caracterizado por tres bloques limitados por fallas de alto ángulo, con rumbo aproximado NE-SW. Este sector se encuentra deformado en suaves pliegues que afectan a la Formación Abanico, indicando que las fallas que controlan esta deformación poseen un mayor grado de desplazamiento vertical que horizontal. La Formación Abanico se habría depositado desarrollando una geometría de cuñas conteida en hemigrabens limitados por fallas normales de alto ángulo, inclinadas al oeste. Estos depósitos fueron alzados y exhumados posteriormente debido al evento compresivo que produjo la inversión de la cuenca durante el Mioceno. El desarrollo extensional y su posterior inversión, de la cuenca de Abanico ya había sido descrita por Charrier, (2002) para la zona del Tinguiririca-Teno así como también para sectores ubicados hacia el norte (e.g. Fock, 2005) y hacia el sur (Radic et al., 2002). Aunque atribuyen distintas edades para los eventos, de extensión e inversión estos trabajos reconocen que las formaciones Abanico y sus equivalentes, se habrían depositado en hemigrabens posteriormente invertidos.

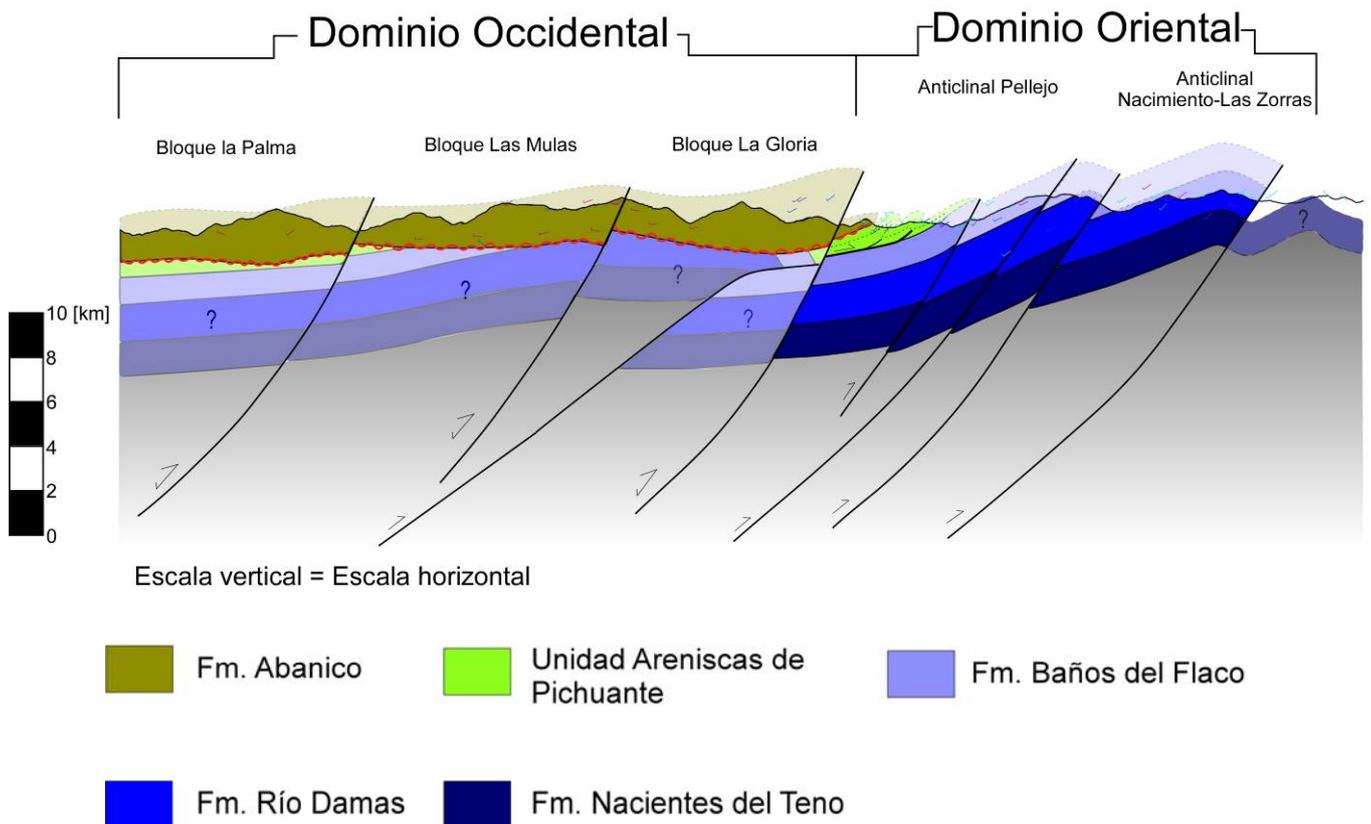


Figura 25: Dominios en la sección regional A-A''

5.2 El corrimiento el Fierro

En trabajos anteriores realizados para la zona comprendida entre el Río Teno y el Río Tinguiririca se ha interpretado que la principal estructura corresponde a la falla o corrimiento el Fierro. Esta ha sido descrita como una falla con rumbo N-S de carácter regional, de alto ángulo y que constituyó el borde de la cuenca y controlando su desarrollo inicial. (Charrier, 1996, 2002, Zapatta, 1995)

Sin embargo, esta interpretación presenta una serie de problemas, los cuales se desprenden principalmente del análisis geométrico. El primero de ellos es el bajo ángulo que presenta respecto de las capas de rocas terciarias, lo que se contradice con una asignación de “falla de alto ángulo” otorgada a esta estructura.

Otra complicación que surge debido al bajo ángulo de la falla es la cantidad de desplazamiento que se debió generar en ella para poder desarrollar un espacio suficiente para acomodar los potentes espesores de secuencia terciaria. Usando valores aproximados obtenidos de una sección esquemática propuesta por Charrier (2002), se tiene una potencia de la Formación Abanico de 2500 m., un ángulo de la falla respecto a las rocas terciarias de 20°, con esto al restaurar al techo de la Formación Abanico, para obtener el espacio necesario para colocar los 2500 m. de secuencia, la falla debería tener un desplazamiento de 7600 m. lo cual generaría un transporte aproximado de 7200 m. para llegar a la configuración actual (figura 26).

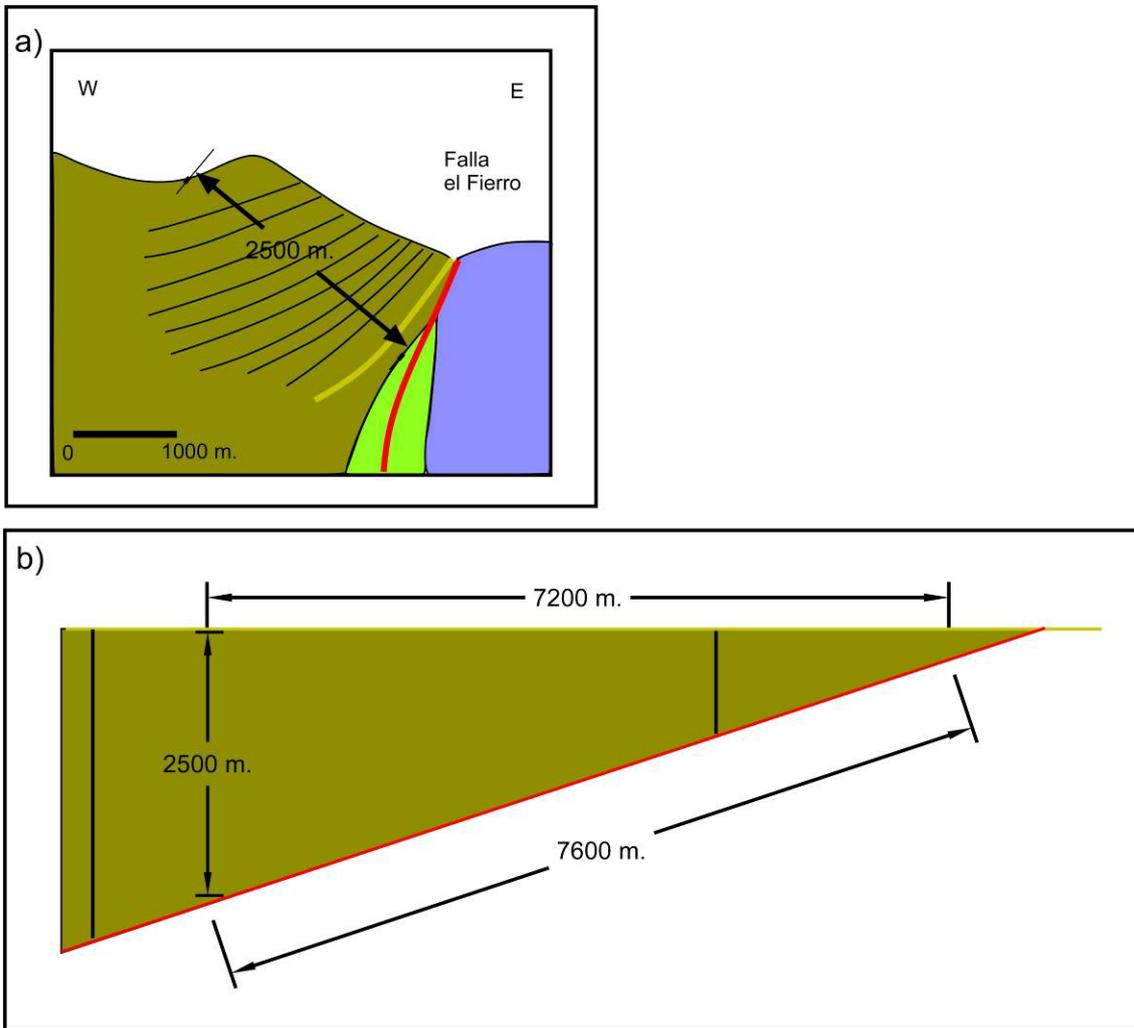
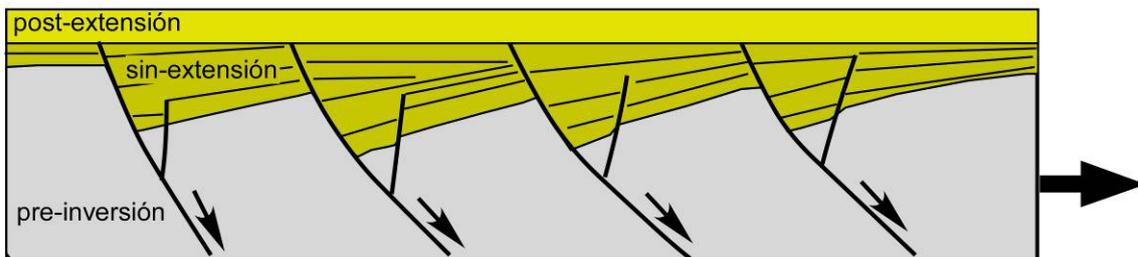


Figura 26: Restauración esquemática del corrimiento el Fierro como posible borde de la cuenca terciaria de Abanico (tomada de Charrier, 2002). a) Restauración esquemática para generar el espacio de acomodación necesario para la depositación de la formación Abanico considerando el manteo de la falla observado en terreno.

Estas consideraciones indican que la Falla el Fierro no presenta las características necesarias para corresponder al borde de la Cuenca de Abanico, sin que su geometría se asemeje a los modelos típicos (figura 27) reconocidos para cuencas extensionales (Figura 27, Mitra 1993, McClay, 1995).

Inversión de bloques de falla domino

Fin de la extensión



Fin de la inversión

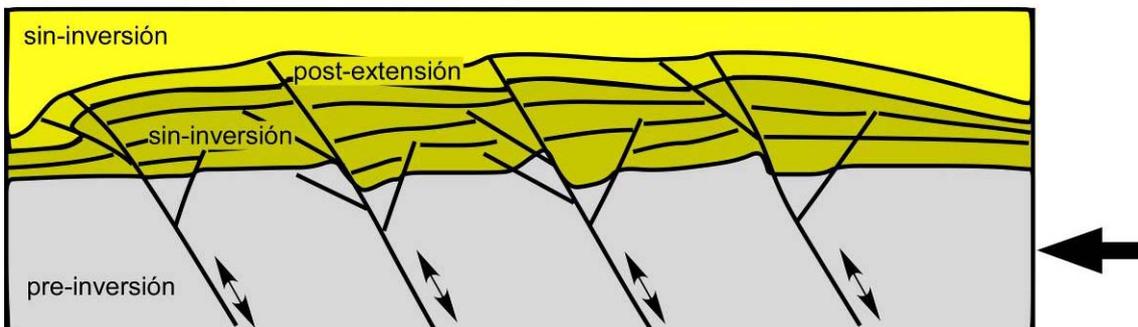


Figura 27: Modelo de Inversión de cuencas extensionales limitadas por fallas normales en estilo “dominó” tomada de McClay, 1995

Como modelo alternativo en el sur del río Tinguiririca en la localidad de Termas del Flaco, se presenta una interpretación estructural que mantiene el estilo descrito para la sección regional del río Teno, destacándose la consistencia entre el tipo de deformación de basamento a través de fallas de alto ángulo para las unidades jurásicas y de estructuras despegadas asociadas a fallas de bajo ángulo para las cretácicas. Dentro de este contexto la falla el Fierro se encuentra ubicada en el sector caracterizado por estructuras de cobertura. Esta corta a la unidad cretácica (BRCU) con un bajo ángulo y produciendo plegamiento dentro de ella. Esta falla es parte de las estructuras despegadas que generan los Anticlinales de Maitenes y se conecta con el nivel de despegue en la base de las unidades cretácicas. No existen registros de que esta estructura genere plegamiento en las rocas terciarias, lo que indicaría que se habría originado con anterioridad a la Formación Abanico.

Esta interpretación implica que la falla el Fierro corresponde falla inversa fósil que generó un pliegue por flexión de falla (figura 16 y 28), formada, probablemente en el Cretácico superior durante el “Evento compresión 1”, debido a lo cual no ella no correspondería a una de las fallas normales (invertidas) de borde de la Cuenca Abanico.

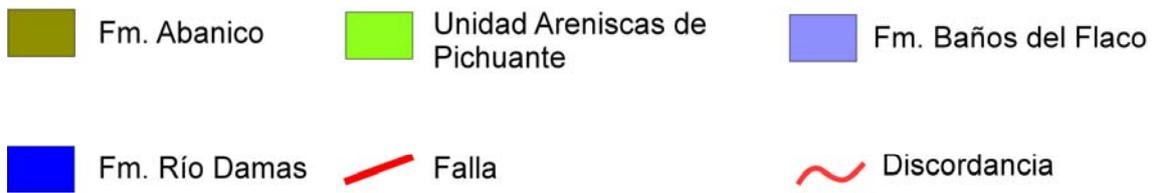
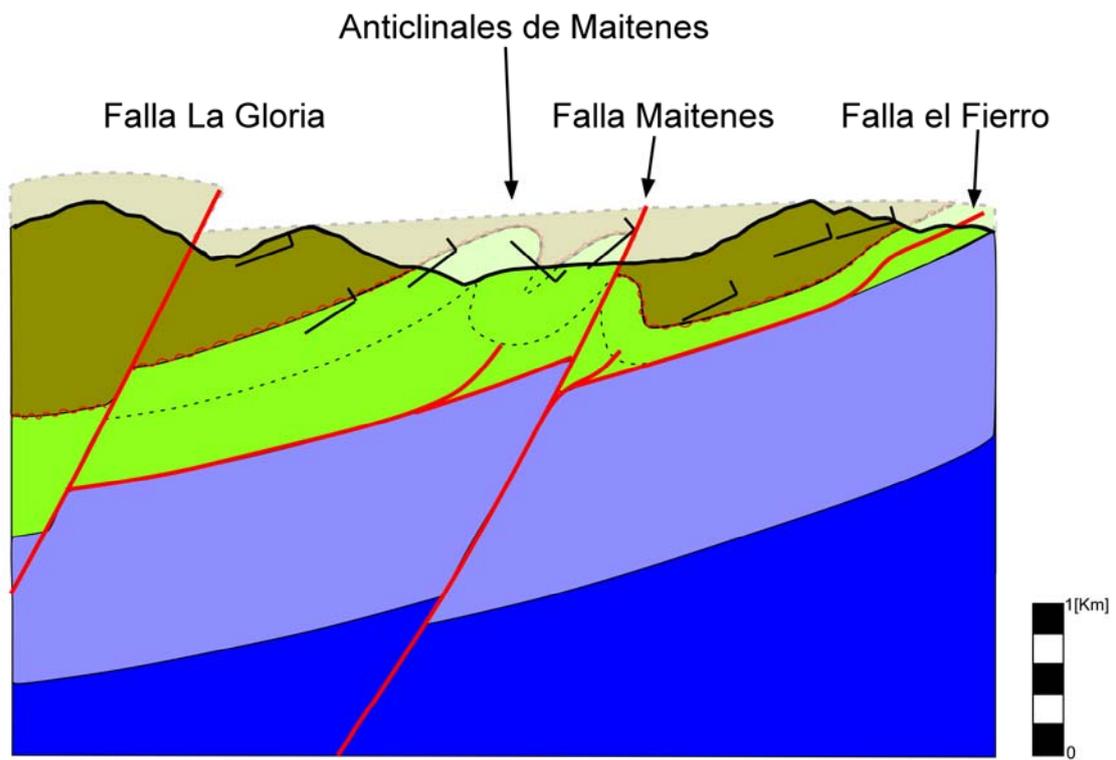


Figura 28: Sección estructural B-B'

5.3 Consideraciones regionales en cuanto a la edad de la deformación

Las edades de los eventos de deformación que han afectado a la Cordillera Principal y la Cuenca Neuquina, a la latitud de la zona estudiada, desde el Jurásico han sido discutidas en distintos trabajos tales como los de Giambiagi et al (2008) Ramos y Kay (2006) y Vergani et al (1995). Algunos de estos trabajos, tales como el de Giambiagi, 2008, basado en la datación $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de depósitos sintectónicos (Formación Agua de la Piedra) argumentan que el primer episodio de deformación compresivo registrado en la vertiente oriental de la Cordillera habría ocurrido entre 15 y 11 M.a. Sin embargo, otros autores indican que la deformación habría comenzado ya en el Cretácico superior como lo evidencia la observación que secuencias volcánicas andesíticas al este de la Cordillera del Viento con edades K/Ar de 71.5 M.a. que posdatan depósitos cretácicos deformados (Llambias et al., 1979). Esta evidencia es apoyada por Burns (2002) y quien señala que la edad del alzamiento de la Cordillera del Viento habría comenzado hace 70 M.a. y posiblemente antes de 80 M.a. basado en datos de trazas de fisión en zircones y también por Kay et al (2001b) quien indica que la edad de 69 M.a. ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en biotita) del plutón Varvarco puede ser interpretada como una edad de alzamiento de la Cordillera del Viento.

Estos antecedentes son consistentes con la interpretación estructural para la zona de los ríos Tinguiririca y Teno presentada en este trabajo que indica que el evento compresión 1 permitió la deformación asociada al Anticlinal Chacarillas y los Anticlinales de Maitenes, el cual habría ocurrido en el intervalo comprendido entre el Cretácico superior-Eoceno (?), este episodio no ha sido reportado previamente en Chile. La relación observada entre la deformación del basamento y las estructuras despegadas en la cobertura sedimentaria es similar a lo descrito para la FPFM en Argentina durante episodios de deformación terciaria (Maceda y Figueroa, 1995, Rojas, 2001).

6 Conclusiones

La caracterización geométrica del borde de la Cuenca de Abanico esta dada por la estructura más oriental que permitió su desarrollo y depósito la cual fue la falla La Gloria (figura 14 y 22). Esta estructura se caracteriza por limitar dos sectores donde existe un importante cambio de espesor de la Formación Abanico. Además, se aprecia que esta estructura separa sectores de topografía distinta, donde la altura media del sector oeste donde se encuentran los bloques es notoriamente superior al sector este de la zona de estudio. Esta falla posee un alto ángulo con respecto a las capas de rocas terciarias, a las cuales exhuma y deforma evidenciando un último movimiento inverso. A pesar que los depósitos terciarios continúan hacia el este de la falla, el límite de estos no coincide con el límite estructural de la cuenca, ya que su potencia como ya se ha mencionado, es bastante menor que la del sector al oeste de la falla. Estos afloramientos no corresponden a sedimentos cuyo depósito haya estado controlado por fallas normales, sino que estos corresponden a sedimentos locales ubicados más al este de las fallas de borde.

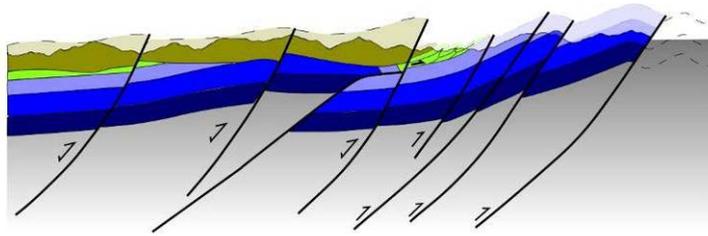
Por lo tanto la falla que representa el borde oriental para este sector de la cuenca de Abanico es la falla La Gloria y el límite de los depósitos terciarios se encuentra ubicado al este de esta estructura.

El reconocimiento a partir del análisis estructural de al menos 4 eventos (figura 29) que afectaron a la zona de estudio, muestra una evolución polifásica de la deformación. El primer episodio comprende la formación del anticlinal Chacarillas, el depósito de las Areniscas de Pichuante, el mismo anticlinal en un segundo pulso transfiere la deformación necesaria a la cobertura cretácica para generar los anticlinales de Maitenes y la falla el Fierro. Este evento tendría una edad Cretácico Superior-Eoceno debido a que permite el depósito y posterior deformación de las anteriores unidades. El segundo evento de carácter compresivo desarrollado “en secuencia” habría generado el Anticlinal Nacimiento-Las Zorras, episodio que por correlación con los eventos de deformación conocidos en la Cuenca Neuquina (Vergani, et al. 1995) puede haber ocurrido durante el Eoceno. Con posterioridad a estos eventos habría ocurrido un episodio extensional durante el cual se habría formado tres hemigrabenes donde se depositarían las rocas de la Formación Abanico. Este episodio fue reconocido previamente por Zapatta (1995) y Charrier (1996, 2002) quienes le atribuyen una edad esencialmente oligocena. Finalmente un cuarto episodio de deformación compresivo, el cual invirtió los hemigrabens donde se depositó la formación Abanico reutilizando las anteriores fallas normales en forma inversa, exhumando y plegando en amplios anticlinales y sinclinales las potentes secuencias de las Formación Abanico. La inversión de la Cuenca Abanico habría

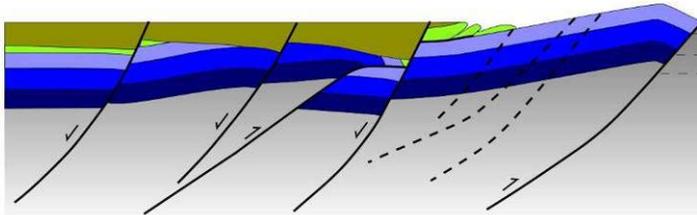
ocurrido según Charrier (2002) durante el Mioceno (21-16 M.a.) considerando la edad de sedimentos sintectónicos acumulados en el borde oriental de la Cordillera Principal.

Además hacia el sector oriental se desarrolla un avance de la deformación desde el borde extensional hacia el antepaís de la FPFM. Este episodio de inversión de la cuenca y el avance de la deformación hacia la faja fue asignada una edad Miocena (21-16 M.a.) por Charrier (2002) en base a sedimentos sintectónicos ubicados en el lado este de la Cordillera Principal en segmento andino de subducción plana. Esta edad difiere de las edades propuestas para la inversión de la cuenca al sur de la zona de estudio (37-39° L.S.) donde se estima en 10-8 (Jordan et al., 2002).

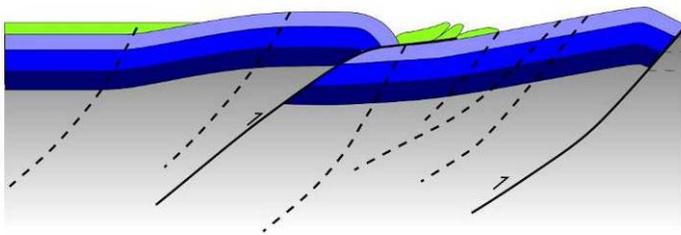
Inversión y reactivación de la faja (Mioceno)



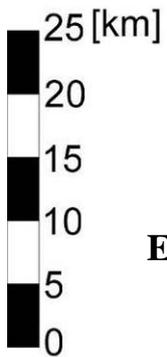
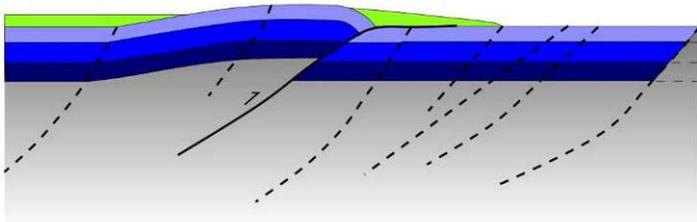
Extensión y depositación de la Formación Abanico (Eoceno?-Oligoceno)



Compresión 2



Compresión 1 (Cretácico Superior-Eoceno)



Estado inicial (Jurásico)

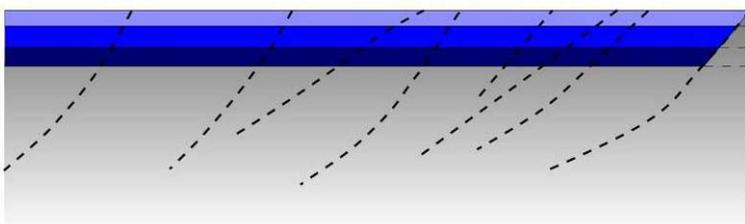


Figura 29: Evolución estructural de la zona de estudio en 4 eventos

7 Referencias

Aguirre, L., 1960. Geología de los Andes de Chile Central, provincia de Aconcagua. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, Chile, Boletín N° 9, 70 p.

Álvarez, P.P., Aguirre-Urreta, M.B., Godoy, E., Ramos, V.A., 1997. Estratigrafía del Jurásico de la Cordillera Principal de Argentina y Chile (33°45'-34°00'LS). VIII Congreso Geológico Chileno, Actas 1, pp. 425-429.

Arcos, R., 1987, Geología del Cuadrángulo Termas del Flaco, provincia de Colchagua, VI Región, Chile. Memoria, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, 279 p.

Biro-Bagoczky, L., 1964. El límite Titoniano-Neocomiano de Lo Valdés. Memoria, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, 259 p.

Biro-Bagoczky, L., 1984. Nuevos antecedentes paleontológicos y estratigráficos de algunos afloramientos Titono-Neocomianos en la Cordillera Chilena entre 10s 33" 45' y 35" lat.: Sur. International Geological Programme, Project 17 I; Circum-Pacific Jurassic, Report 2, Special Paper 3.

Burns, W.M., 2002. Tectonic and depositional evolution of the Tertiary Cura Mallín Basin in the Southern Andes (36.5 to 38°S lat.) Ph. D. Thesis, Cornell University, Ithaca, New York, 218 p.

Burns, W.M. and Jordan, T.E., 1999. Extension in the Southern Andes as evidenced by an Oligo-Miocene age intra-arc basin. Proc. 4th International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG), Göttingen, Germany, Editions IRD, p. 115-118.

Charrier, R., Wyss, A.R., Flynn, J.J., Swisher, C.C. III, Norell, M.A., Zapatta, F., McKenna, M. C. and Novacek, M.J., 1996. New evidence for late Mesozoic - early Cenozoic evolution of the Chilean Andes in the upper Tinguiririca valley (35° S), Central Chile. Journal of South American Earth Sciences, Vol. 9, N° 2, p. 1-30.

Charrier, R., Baeza, O., Elgueta, S., Flynn, J.J., Gans, P., Kay, S.M., Muñoz, N., Wyss, A.R. and Zurita, E., 2002a. Evidence for Cenozoic extensional basin development and tectonic

inversion south of the flat-slab segment, southern Central Andes, Chile (33°-36° S.L.). *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 15, p. 117-139.

Davidson, J., 1971. *Tectónica y paleogeografía de la Cordillera Principal en el área de la Nacientes del Teno Curicó, Chile: Memoria, Depto. de Geología. Univ. de Chile, Santiago, 160 p.*

De La Cruz, R. y Suárez, M. 1997. El Jurásico de la cuenca de Neuquén en Lonquimay, Chile; Formación Nacientes del Bío Bío (38°-39°). *Revista Geológica de Chile* 24(1): 3-24, Santiago.

Elgueta, S., Baeza, O., Aguirre, R., Charrier, R. Muñoz, N. and Gans, P., 2000. Mecanismos de la depositación volcanoclástica oligo-miocena en el Cajón del Maipo, Chile Central. *Proc. 9th Congreso Geológico Chileno, Puerto Varas, Vol. 2, p. 21-25.*

Flynn, J.J., Wyss, A.R., Croft, D.A. and Charrier, R., 2003. The Tinguiririca Fauna, Chile: Biochronology, biogeography, paleoecology, and a new South American Land Mammal "Age". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 195, p. 229-259.

Fock, A., 2005. *Cronología y tectónica de la exhumación en el Neógeno de los Andes de Chile Central entre los 33° y los 34° S. Tesis para optar al grado de magíster en ciencias, mención geología, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, 235 p.*

Fuentes, F., 2004. *Petrología y metamorfismo de muy bajo grado de unidades volcánicas oligoceno-miocenas en la ladera occidental de los Andes de Chile central (33°S). Memoria, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, 401p.*

Gana, P. and Wall, R., 1997. Evidencias geocronológicas $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ y K-Ar de un hiatus Cretácico Superior-Eoceno en Chile Central (33°-33° 30' S). *Revista Geológica de Chile*, Vol. 24, N° 2, p. 145-163.

Giambiagi, L., Ramos, V.A., 2002a. Structural Evolution of the Andes in a transitional zone between flat and normal subduction (33°30'-33°45'S), Argentina and Chile. *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 15., 101-116.

Giambiagi, L., 2003. Deformación cenozoica de la faja plegada y corrida del Aconcagua y Cordillera Frontal, entre los 33°30' y 33°45' S. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, Vol. 58, N° 1, p. 85-96.

Giambiagi, L., Álvarez, P.P., Godoy, E., Ramos, V.A., 2003a. The Control of pre-existing extensional structures on the evolution of the southern sector of the Aconcagua Fold and thrust belt, southern Andes. *Tectonophysics*, Vol. 369. p. 1-19.

Giambiagi, L., Ramos, V.A, Godoy, E., Álvarez, P.P., Orts, S., 2003b. Cenozoic deformation and tectonic style of the Andes, between 33° and 34° south latitude. *Tectonics*, Vol. 22, N° 4, 1041

Giambiagi, L., Bechis, F., Garcia, V., Clark, A., 2008. Temporal and spatial relationships of thick- and thin-skinned deformation: A case study from the Malargüe fold-and-thrust belt, southern Central Andes, *Tectonophysics*

Godoy, E. and Lara, L., 1994. Segmentación estructural andina a los 33°-34°: nuevos datos en la Cordillera Principal. *Proc. 7th Congreso Geológico Chileno*, Concepción, Vol. 2, p. 1344-1348.

Godoy, E., Yáñez, G. and Vera, E., 1999. Inversion of an Oligocene volcano-tectonic basin and uplifting of its superimposed Miocene magmatic arc in the Central Chilean Andes: first seismic and gravity evidences. *Tectonophysics*, Vol. 306, N° 2, p. 217-236.

González, O., and Vergara, M., 1962. Reconocimiento geológico de la Cordillera de los Andes entre los paralelos 35° y 38° latitud S.: Instituto de Geología, Universidad de Chile, Santiago, Publicación N° 24, 121 p.

Hurtado, A. 2003 Geología de la Cordillera de los Andes entre los ríos Teno y Colorado, provincia de Curicó: una contribución a la estratigrafía del Cenozoico. Memoria, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago.

Jordan, T.E., Burns, W.M., Veiga, R., Pángaro, F., Copeland, P., Kelley, S. and Mpodozis, C., 2001. Extension and basin formation in the Southern Andes caused by increased convergence rate: A mid-Cenozoic trigger for the Andes. *Tectonics*, Vol. 20, p. 308-324.

Kay, S.M., 2001b, Tertiary to Recent magmatism and tectonics of the Neuquén Basin between 36°05' and 38°S latitude: Buenos Aires, Internal report to Repsol YPF, 125 p.

Klohn, C., 1954. "Informe geológico minero regional sobre la Cordillera de los Andes de las provincias de O'Higgins, Colchagua, y Curicó". Santiago, Corp. Fom. Prod. (inf. inéd.).

Klohn, C., 1960. Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central, Provs. de Santiago, Colchagua y Curicó. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, Boletín N° 8, 95 p.

Leanza, A. F., y Zöllner, W., 1949. Acerca de la edad del Yeso Principal y su composición litológica. Buenos Aires, Rev. Asoc. Geol. Arg., t. 4, N° 1.

Llambías, E., Dandefér, J., Palacios, M., and Broggioni, N., 1979. Las rocas ígneas cenozoicas del volcán Domuyo y áreas adyacentes: 7th Congreso Geológico Argentino (Neuquén, 1978) Actas, v.2, p. 569-584.

Legarreta, L., Gulisano, C. y Uliana M.A., 1993a, Las secuencias sedimentarias jurásico-cretácicas. in Ramos, V. A., ed., Geología y Recursos Naturales de Mendoza, XIIO Congreso Geológico Argentino Relatorio, p. 87-114.

Manceda, R. y D. Figueroa, 1995: "Inversion of the Mesozoic Neuquén Rift in the Malargüe Fold and Thrust Belt, Mendoza, Argentina". In A.J.Tankard, R.Suárez y H.J.Welsink (eds.), "Petroleum Basins of South America", AAPG Memoir 62, p. 369-382.

Marshak, S., and Woodward, N. B. 1988. Introduction to cross section balancing, in S. Marshak and G. Mitra, eds., Basic methods of structural geology: Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, 446 p.

Martínez, R. y Osorio, R. 1963. "Consideraciones preliminares sobre la presencia de carófitas fósiles en la Formación Colimapu". Revista Minerale, v. 82, p. 27-43.

McClay, K.R., 1989. Physical models of structural styles during extension. In: Tankard, A.J., Balkwill, H.R. (Eds.), Extensional Tectonics and Stratigraphy of the North Atlantic Margins. Mem. Am. Ass. Petrol. Geol., vol. 46, pp. 95– 110.

McClay, K.R., Buchanan, P.G., 1992. Thrust faults in inverted extensional basins. In: McClay, K.R. (Ed.), Thrust Tectonics. Chapman & Hall, London, pp. 93– 104.

McClay, K., 1995: "The geometries and kinematics of inverted fault systems: a review of analogue model studies", In Buchanan, J.G. and Buchanan, P.G. (eds): "Basin Inversion", Geological Society Special Publication N° 88, p. 97-118.

Mitra, S. 1993. Geometry and kinematics Evolution of Inversion Structures. AAPG Bulletin, v. 77, no. 7, pp.1159-1191.

Mitra, S. & Mount, V.S., 1998 Foreland-involved basement structures. AAPG Bulletin, v. 82, pp.70-109.

Piquer, J. 2004. Ambiente geológico del Prospecto infernillo, cordillera de Curicó, VII Región. Memoria, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago.

Radic, J.P., Rojas, L., Carpinelli, A. and Zurita, E., 2002. Evolución tectónica de la Cuenca terciaria de Cura-Mallín, región cordillerana chileno-argentina (36°30'-39°00' S). Proc. 15th Congreso Geológico Argentino, El Calafate, Vol. 3, p. 233-237.

Ramos, V.A., and Kay, S.M., 2006, Overview of the tectonic evolution of the southern Central Andes of Mendoza and Neuquén (35°-39°S latitude), in Kay, S.M., Ramos, V.A., eds., Evolution of an Andean margin: A tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén Basin (35°-39°S latitude): Geological Society of America Special Paper 407, p.1-17.

Rojas, L. 2001. Geología estructural y estilos de deformación de la faja plegada y fallada de Malargüe en el área de puesto Rojas, Mendoza, Argentina. Memoria, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago.

Rosendahl, B.R., 1987. Architecture of continental rifts with special reference to East Africa. Ann. Rev. earth Planet. Sci. 15: 445-503.

Sellés, D., 2000. La relación discordante entre las Formaciones Abanico y Las Chilcas en la localidad de Angostura: implicancias regionales. Proc. 9th Congreso Geológico Chileno, Puerto Varas, Vol. 1, p. 555-558.

Schiller, W. 1912. La Alta Cordillera de San Juan y Mendoza y parte de la Provincia de San Juan. Anales Ministerio de Agricultura, Sección Geología y Minería, 7(5): 5-68, Buenos Aires.

Spichiger, S., Geología y estilo estructural de un perfil de los Andes chilenos a 35° de L.S., con énfasis en la Cordillera de la Costa, VII Región. Memoria, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, 112 p.

Suppe, J. 1983. Geometry and kinematics of fault-bend folding. *American Journal of Science*, 283, 684-721.

Suppe, J. & Medwedeff, D.A. 1990. Geometry and kinematics of fault-propagation folding. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 83 (Laubscher volume).

Tavera, J.. 1956. Fauna del Cretáceo inferior de Copiapó. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Instituto de Geología 9: 205-216, Santiago.

Vergani, G., A.J.Tankard, H. Bellotti y H.Welsink, 1995: "Tectonic evolution and paleogeography of the Neuquén Basin, Argentina". In A.J.Tankard, R.Suárez y H.J.Welsink, "Petroleum Basins of South America", AAPG Memoir 62, p. 383-402.

Vergara, M., López-Escobar, L., Palma, J.L., Hickey-Vargas, R., Roeschmann, C., 2004. Late tertiary volcanic episodes in the area of the city of Santiago de Chile: new geochronological and geochemical data. *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 17, N° 3, p. 227-238.

Weaver, C.E., 1931. Paleontology of the Jurassic and Cretaceous of West Central Argentina. *Mem. Univ. Washington* 1, 1-469

Wilkerson, M. S. & Dicken, C. 2001. Quick look techniques for evaluating two-dimensional cross sections in detached contractional settings. *AAPG Bulletin*, v. 85, no. 10, pp.1759-1770.

Wyss, A.R., Charrier, R. and Flynn, J.J., 1996. Fossil mammals as a tool in Andean stratigraphy: Dwindling evidence of late Cretaceous volcanism in the South central Main Range. *Paleobios*, Vol. 17, N° 2-4, p. 13-27.

Zapatta, F., 1995. Nuevos antecedentes estratigráficos y estructura del área de Termas del Flaco, valle del río Tinguiririca, VI Región, Chile. *Memoria*, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, 122 p.