

**ESTUDIO GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL DEL
BASAMENTO METAMÓRFICO-ÍGNEO EN EL
CAÑADÓN CHACAY HUARRUCA, MACIZO
NORDPATAGÓNICO OCCIDENTAL, RÍO NEGRO**

ESTEBAN EMANUEL COLIPÁN EDUARDS

Licenciatura en Geología

Universidad Nacional de Río Negro – Sede Alto Valle y Valle Medio

ESTUDIO GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL DEL BASAMENTO METAMÓRFICO-ÍGNEO
EN EL CAÑADÓN CHACAY HUARRUCA, MACIZO NORDPATAGÓNICO
OCCIDENTAL, RÍO NEGRO

Autor: Esteban Emanuel Colipán Eduards

Director: Dr. Pablo Diego González

Co-directora: Lic. María Cecilia Cábana

General Roca, Río Negro, julio de 2023

INDICE GENERAL	
AGRADECIMIENTOS	4
RESUMEN	5
ABSTRACT	6
1.- INTRODUCCIÓN	7
1.1 Objetivos e hipótesis	8
2.- ANTECEDENTES	8
3.- MARCO GEOLÓGICO	9
4.- MATERIALES Y MÉTODOS	13
4.1. Trabajos de gabinete previos al campo	13
4.2. Trabajos de campo	13
4.3. Trabajos de gabinete-laboratorio posteriores al campo	14
5.- RESULTADOS	15
5.1. Geología y estratigrafía del basamento	15
5.1.1. <i>Complejo Metamórfico Comallo</i>	15
5.1.2. <i>Complejo Plutónico Mamil Choique</i>	17
5.2. Estructuras de deformación	19
5.2.1. <i>Estructuras DE₁</i>	19
5.2.2. <i>Estructuras DE₂</i>	19
5.2.3. <i>Estructuras DE₃</i>	20
5.2.4. <i>Estructuras DE₄</i>	22
5.3. Metamorfismo	22
5.3.1. <i>Complejo Metamórfico Comallo</i>	22
5.3.2. <i>Complejo Plutónico Mamil Choique</i>	25
6.- DISCUSIÓN	27
6.1. Historia y evolución geológica	27
6.1.1. <i>Sedimentación del protolito del Complejo Metamórfico Comallo</i>	27
6.1.2. <i>Orogénesis Gondwánica, etapa principal</i>	28
6.1.3. <i>Intrusión del Complejo Plutónico Mamil Choique</i>	28
6.1.4. <i>Orogénesis Gondwánica, etapa tardía a post-orogénica</i>	29
6.1.5. <i>Exhumación del basamento</i>	29
6.1.6. <i>Orogénesis Andina</i>	29
6.2. Ambiente tectónico y correlación regional	31
7.- CONCLUSIONES	35
LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO	37
APÉNDICE 1	42
1.- CHACAY HUARRUCA	42
1.1. <i>Complejo Metamórfico Comallo</i>	42

1.2. Complejo Plutónico Mamil Choique	42
2.- LA ANGOSTURA	43
2.1. Complejo Metamórfico Comallo	43
2.2. Complejo Plutónico Mamil Choique	44

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

1. Ubicación del área de estudio.
 2. Ubicación de los cañadones Chacay Huarruca y La Angostura, y muestras con datos petrográficos y geocronológicos.
 3. Mapa geológico y estructural de la zona de estudio basado en estudios propios.
 4. Esquistos micáceo y meta arenisca cuarzosa aguas arribas del cañadón Chacay Huarruca.
 5. Fotos de campo de los diques asociados a las estromatitas.
 6. Afloramiento de la Tonalita Túnel sobre las vías de ferrocarril y muestra de mano.
 7. Corte geológico – estructural SO-NE de los afloramientos en el cañadón Chacay Huarruca.
 8. Esquistosidad S₂ penetrativa y bandas Kink en el Complejo Metamórfico Comallo.
 9. Fotos en afloramiento y muestra de mano de bandas de cizalla dúctil con milonitas.
 10. Fotomicrografías de un paragneis del Complejo Metamórfico Comallo.
 11. Fotomicrografías del Complejo Metamórfico Comallo en cañadón La Angostura.
 12. Fotomicrografías del Complejo Plutónico Mamil Choique.
 13. Configuración tectónica del borde suroeste de Gondwana en el Paleozoico medio-superior de la zona de estudio.
- Tabla 1. Dataciones radiométricas disponibles para el Complejo Metamórfico Comallo y el Complejo Plutónico Mamil Choique.
- Tabla 2. Síntesis de los diferentes estadios de desarrollo de estructuras.
- Tabla 3. Secuencia de fases de deformación y metamorfismo del basamento metamórfico e ígneo.

ABREVIACION DE MINERALES según Whitney y Evans (2010).

Aln: allanita	Grt: granate	Prh: prehnita	Ttn: titanita
Amp: anfíbol	Kfs: feldespato potásico	Px: piroxeno	Zrn: circón
Ap: apatito	Mc: microclino	Qz: cuarzo	
Bt: biotita	Mnz: monacita	Rt: rutilo	
Chl: clorita	Ms: muscovita	Ser: sericita	
Ep: epidoto	Pl: plagioclasa	Sil: sillimanita	

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres, por el esfuerzo que han realizado durante estos años que me permitió estudiar esta carrera que tanto me gusta y a incentivarme a nunca bajar los brazos. Sin ellos no hubiera sido posible.

A mis hermanos, familia y amigos que han estado acompañando a pesar de la distancia siempre se mantuvieron cercanos. Mención especial para Micaela que desinteresadamente acompañó mi campaña de tesis con sus tomas fotográficas de suma importancia.

A Vane, mi compañera, por todo su cariño y acompañamiento durante todos estos años.

A Pablo y Cecilia, por el soporte académico y guías para la elaboración del presente trabajo final de grado.

A los jurados de la tesis, cuyos comentarios y sugerencias han sido fundamentales para mejorar el manuscrito final del presente estudio.

A la Universidad Nacional de Río Negro y todo su personal que lucha por la educación pública. Los trabajos de campo y gabinete-laboratorio estuvieron vinculados al proyecto acreditado por dicha institución cuyo código es PI-UNRN-2017-40-A-622.

RESUMEN

El objetivo del presente Trabajo Final de Grado (TFG) es el análisis geológico-estructural de las rocas metamórficas e ígneas de basamento, que afloran en el cañadón Chacay Huarruca situado al oeste de la localidad de Río Chico, en la Precordillera Nordpatagónica de la provincia de Río Negro (41°42'12" S - 70°29'55" O). El basamento está compuesto por el Complejo Metamórfico Comallo y el Complejo Plutónico Mamil Choique.

El Complejo Metamórfico Comallo consiste de intercalaciones de esquistos de alto grado, paragneises y migmatitas (estromatitas), con meta-areniscas cuarzosas. La foliación regional es de rumbo NO-SE y el metamorfismo regional de alto grado alcanzó la facies anfibolita. El leucosoma granítico de las migmatitas está asociado con diques de similar composición, intruidos en la caja metamórfica en forma concordante con la fábrica planar.

El Complejo Plutónico Mamil Choique está representado por el plutón de la Tonalita Túnel y por cuerpos menores de otros granitoides. El plutón corta la fábrica de las rocas ya deformadas y metamorizadas del Complejo Metamórfico Comallo. Tiene una composición cuarzo diorítica a tonalítica con biotita y hornblenda-biotita, que tiene dos fábricas principales. Una magmática que es poco foliada a masiva y granosa equigranular, y otra tectónica representada por milonitas con una foliación milonítica.

La evolución geológica del basamento comprende eventos de deformación, metamorfismo y magmatismo asociados al ciclo orogénico Gondwánico, que tuvo lugar en todo el borde SO de Gondwana durante el Paleozoico superior. Luego de la sedimentación del protolito de las rocas metamórficas, ocurrida en el Llandoveryano (Silúrico), el Complejo Metamórfico Comallo fue afectado por tres episodios de deformación, reconocidos desde D₁ hasta D₃, y asociados a metamorfismos M₁-M₃. Además, fue intruido por cuerpos del Complejo Plutónico Mamil Choique. D₁-D₂ son episodios de deformación dúctil compresiva y co-axial. El metamorfismo regional es dinamotérmico, prógrado entre facies esquistos verdes M₁ y anfibolita M₂. La fábrica penetrativa de rumbo NO-SE se formó durante el clímax tectono-térmico D₂-M₂ a comienzos del período Carbonífero, previo a la intrusión de la Tonalita Túnel ocurrida en el Pérmico. Le siguió D₃-M₃ localizado en fajas de cizalla dúctil que afectaron al plutón tonalítico y su caja metamórfica, causando la formación de milonitas y la retrogradación a facies metamórficas. Luego de la exhumación del basamento, el evento D₄-M₄ es Andino y tuvo carácter regional por la reactivación de las estructuras gondwánicas.

Palabras claves. Deformación, Metamorfismo, Patagonia, Ciclo Gondwánico.

ABSTRACT

The aim of this final degree project is the geological-structural analysis of the basement igneous and metamorphic rocks that outcrop in the Chacay Huarruca Creek located west of the locality of Rio Chico, in the Nordpatagonian Precordillera of the Rio Negro province (41°42'12" S - 70°29'55" W). The basement is composed of the Comallo Metamorphic Complex and Mamil Choique Plutonic Complex.

The Comallo Metamorphic Complex comprises intercalations of high-grade schists, paragneisses, and migmatites (stromatolites) with quartzose meta-sandstones. The regional foliation is NW-SE trending and high-grade regional metamorphism reached the amphibolite facies. The granitic leucosome of the migmatites is associated with dikes of similar composition, intruded into the metamorphic host rock which is concordant with the planar fabric.

The Mamil Choique Plutonic Complex is represented by the Tunel Tonalite pluton and minor bodies of other granitoides. The pluton cuts the fabric of the rocks deformed and metamorphosed of the Comallo Metamorphic Complex. It has a quartz dioritic to tonalitic composition with biotite and hornblende-biotite bearing, which exhibits two main fabrics. One magmatic that is massive, equigranular to weakly foliated, and another is tectonic represented by mylonites that exhibit a mylonitic foliation.

The geological evolution of the basement comprises deformation, metamorphism, and magmatism events associated with the Gondwanan orogenic cycle, which took place along the SW Gondwana margin during the Late Paleozoic. After the sedimentation of the metamorphic protolith during the Llandoveryan (Silurian), the Comallo Metamorphic Complex was affected by three deformation episodes recognized from D₁ to D₃ and associated with metamorphisms M₁ to M₃. It was also intruded on by intrusive bodies from the Mamil Choique Plutonic Complex. D₁-D₂ are episodes of ductile compressive and coaxial deformation. The regional metamorphism is dynamothermal, with a prograde evolution from M₁ greenschist facies to M₂ amphibolite facies. The NW-SE trending penetrative fabric was formed during the tectonic-thermal climax D₂-M₂ in the Lower Carboniferous before the intrusion of the Tunel Tonalite that occurred in the Lower Permian. It was followed by D₃-M₃ which is developed in ductile shear belts that affected the tonalitic pluton and its host rock, causing the formation of mylonites and the retrogradation of the metamorphic host rocks. After the exhumation of the basement, the D₄-M₄ event is Andean and had a regional character due to the reactivation of the Gondwanan structures.

Keywords. Deformation, Metamorphism, Patagonia, Gondwanide cycle.

1.- INTRODUCCIÓN

El área de estudio se encuentra en el sector suroccidental de la Provincia de Río Negro, al oeste de la localidad de Río Chico y aproximadamente a unos 110 km al sudoeste de Ingeniero Jacobacci; se tiene acceso por las rutas provinciales números 6 y 80. El trabajo se enfocó en los afloramientos de basamento ígneo-metamórfico ubicados a lo largo del cañadón Chacay Huarruca, cuyas coordenadas geográficas centrales aproximadas son $41^{\circ}42'12''$ S y $70^{\circ}29'55''$ O (Fig. 1). El basamento cristalino del área de estudio se encuentra en un sector transicional, desde el punto de vista morfo-estructural, entre el Macizo Nordpatagónico Occidental, al este, y la Precordillera Nordpatagónica rionegrina, al oeste.

En la región de Río Chico, se han llevado a cabo diversas investigaciones, especialmente en el cañadón La Angostura, ubicado aproximadamente a unos 6 km al sur de Chacay Huarruca. Estos estudios se han centrado en el protolito, edad y estructura del Complejo Metamórfico Comallo (Duhart *et al.* 2002, Garcia-Sansegundo *et al.* 2008, Serravarela *et al.* 2022). Sin embargo, los afloramientos ubicados en Chacay Huarruca han pasado desapercibidos a pesar de la excelente calidad de sus afloramientos.

La importancia del estudio de esta zona de basamento cristalino radica en que tiene pocos estudios, mapeos geológico-estructurales y escasa información petrográfica detallada de sus rocas, las cuales han sido incluidas en esquemas tectono-magmáticos regionales, únicamente. La investigación ayudará a conocer mejor el basamento desde el punto de vista científico, y a obtener datos geológicos de base para trabajos aplicados.

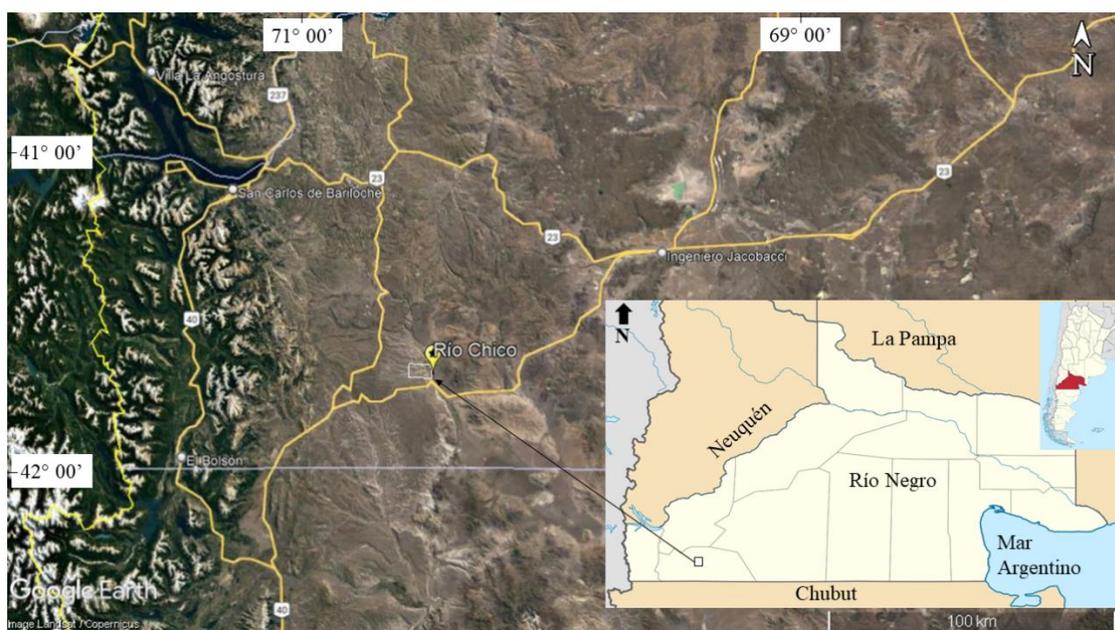


Figura 1. Ubicación del área de estudio en la provincia de Río Negro, al sudoeste de Ingeniero Jacobacci.

1.1 Objetivos e hipótesis

La presente contribución forma parte de mi Trabajo Final de Grado (TFG) en Geología, el cual fue realizado en la Universidad Nacional de Río Negro. El objetivo general de este TFG es llevar a cabo un análisis geológico-estructural de las rocas metamórficas del Complejo Metamórfico Comallo, previamente reconocido como Formación Cushamen (véase abajo en antecedentes), y de los granitoides asociados pertenecientes al Complejo Plutónico Mamil Choique (Formación Mamil Choique y Tonalita Túnel), que se encuentran expuestos en el cañadón Chacay Huarruca ([Fig. 1](#)).

Los objetivos específicos son:

- ** Obtener un mapa geológico y separar los intrusivos de granitoides de sus rocas de caja metamórficas, mediante la utilización de imágenes satelitales y fotografías aéreas.
- ** Identificar los minerales y analizar las asociaciones metamórficas, las texturas y microestructuras de las rocas de basamento, mediante técnicas petrográficas de uso corriente.
- ** Caracterizar el metamorfismo regional, en forma cualitativa, y las estructuras de deformación que están asociadas.
- ** Proponer un esquema de evolución geológico integral para el conjunto de rocas de basamento.

La hipótesis de trabajo es: el basamento ígneo-metamórfico del cañadón Chacay Huarruca comparte caracteres mineralógico-texturales, composicionales, estructurales y de metamorfismo, con aquel expuesto en el cañadón de La Angostura que está ubicado inmediatamente al sur de Chacay Huarruca.

2.- ANTECEDENTES

Los antecedentes geológicos sobre el basamento ígneo-metamórfico en el cañadón Chacay Huarruca son escasos. Existen mapeos litológicos previos realizados a escala regional que corresponden a [Ravazzoli y Sesana \(1977\)](#) y [González et al. \(2023\)](#). Diversos trabajos en los que se han realizado dataciones radiométricas U-Pb en circones, en rocas de basamento de los alrededores del cañadón ([Varela et al. 2005](#), [Pankhurst et al. 2006](#)), estiman una edad prepérmica para el Complejo Metamórfico Comallo y pérmica para los granitoides que lo intruyen. [Hervé et al. \(2018\)](#) determinaron una edad máxima de depositación de 440 Ma. (Llando-veriano, Silúrico), basados en el método U-Pb en circones detríticos. Por lo tanto, el metamorfismo y deformación que afectan a estas rocas queda comprendido entre 440 Ma y

289 Ma, esta última edad pertenece a la cristalización magmática del plutón más antiguo que intruyó a las rocas ya deformadas y metamorizadas del complejo (González *et al.* 2023). Así la evolución tectono-metamórfica del Complejo Metamórfico Comallo queda comprendida entre el Devónico-Carbonífero y parte basal del Pérmico, anterior al magmatismo asociado (p. ej., von Gosen 2009).

3.- MARCO GEOLÓGICO

En un contexto regional, el basamento ígneo – metamórfico, objeto de estudio de esta tesis, forma parte del antepaís fragmentado patagónico también denominado broken foreland patagonian. Este basamento se encuentra en la Patagonia Central extra-andina, una región que se caracteriza morfoestructuralmente por una serie de estructuras regionales con tendencia ~NO-SE. Estas estructuras han desempeñado un papel fundamental en la estructuración del antepaís, afectando la arquitectura actual de los bloques del basamento, los bordes de las cuencas y la depositación de secuencias sedimentarias y volcánicas mesozoicas-cenozoicas. Es importante destacar que estas estructuras tienen implicancias significativas en relación con la tectónica y la paleogeografía en el contexto del arco magmático Gondwánico del Paleozoico tardío (Renda *et al.* 2019)

Tradicionalmente se ha reunido dentro de la Formación Cushamen a todas las rocas metamórficas del basamento ubicadas en el sector centro-norte de Patagonia, al sur de los 39°S, con una disposición areal en las provincias de Río Negro y Chubut (Serra-Varela *et al.* 2022). De norte a sur abarca un amplio cinturón desde Paso Flores, en Río Negro, hasta Colonia Cushamen, en Chubut (localidad tipo), y aún más al sur de ésta última. Sin embargo, en la actualización de la Hoja Geológica 4169-III, Ingeniero Jacobacci, y teniendo en cuenta criterios estratigráficos, geológico-estructurales, petrológicos y geocronológicos, se separó el basamento de los cañadones Chacay Huarruca y La Angostura de la Formación Cushamen, utilizando este último nombre sólo para la localidad tipo. Para las rocas metamórficas que afloran en éstos cañadones se utiliza el nombre de Complejo Metamórfico Comallo (González *et al.* 2023).

El Complejo Metamórfico Comallo está constituido por esquistos cuarzo-muscovítico-granatíferos, esquistos biotítico-granatíferos, paragneises cuarzo-muscovíticos bandeados y foliados y en menor proporción por migmatitas, esquistos cuarzosos y metavolcanitas. En la zona de Rio Chico se han publicado diversas investigaciones, particularmente en el cañadón La Angostura ubicado ~6 km al sur de Chacay Huarruca, que hacen énfasis en el protolito,

edad y estructura del Complejo Metamórfico Comallo (Duhart *et al.* 2002, García-Sansegundo *et al.* 2008, Serra-Varela *et al.* 2022). En el cañadón Chacay Huarruca se han descrito intercalaciones de metavolcanitas ácidas y básicas, que evidencian la sincronidad entre la sedimentación silicoclástica y volcanismo del protolito. Además, los esquistos contienen turmalina magnesiana (dravita) que indica procesos exhalativos relacionados al volcanismo sinsedimentario. El ambiente depositacional de esta unidad se asocia a un arco magmatico continental, donde habría sido emplazado el volcanismo bimodal (Cerredo y López de Luchi 1999).



Figura 2. Ubicación de los cañadones Chacay Huarruca y La Angostura, al oeste del poblado de Río Chico. Se exhiben las muestras que tienen datos petrográficos y geocronológicos. Las muestras AB pertenecen a Varela *et al.* (2005), CUS-130 a Pankhurst *et al.* (2006) y CUS-131 a Hervé *et al.* (2018).

En el Complejo Metamórfico Comallo también se ha descrito un protolito sedimentario compuesto por metaconglomerados y metabrechas con clastos graníticos, que ha sido interpretado como una diamictita por Duhart *et al.* (2002) y Hervé *et al.* (2005). En un trabajo más actual, Marcos *et al.* (2018) analizó secuencias de litofacies al norte de Río Chico del Complejo Metamórfico Comallo, asociándolas a un ambiente glacial y sosteniendo las ideas formuladas por Duhart *et al.* (2002), en relación al protolito sedimentario de origen glacial.

La evolución térmica y tectónica de las rocas metamórficas es compleja y se ha producido en distintas fases de deformación y metamorfismo con su magmatismo asociado (Dalla Salda *et al.* 1994, Cerredo y López de Luchi 1998, López de Luchi *et al.* 2006, López de Luchi y Cerredo 2008). Según von Gosen (2009) la evolución polifásica incluye, al menos, 4 fases de deformación. La primera fase D₁, es relíctica y ha sido reconocida solo microscópicamente en inclusiones plegadas dentro de porfiroblastos de granate en García-Sansegundo *et al.* (2008). La fase D₂, relacionada al pico de metamorfismo regional M₂, formó pliegues D₂ y tiene asociada una foliación de plano axial penetrativa S₂ de rumbo NNO. El metamorfismo regional es prógrado y varía entre facies esquistos verdes y anfibolita, indicado en el pico metamórfico M₂ por la asociación con estauroлита en la paragénesis mineral (Duhart *et al.* 2002).

En el cañadón La Angostura, el Complejo Metamórfico Comallo presenta pliegues de escala hectométrica con dirección N-S y vergencia hacia el este. Los pliegues están afectados por fallas inversas gondwánicas, que han sido reactivadas durante la deformación del ciclo Andino (García-Sansegundo *et al.* 2008). Estos autores identificaron una foliación relíctica S₁ y la foliación principal S₂.

La tercera deformación D₃ originó pliegues con ejes también de rumbo N-S y zonas de cizalla dúctil compresivas, con la misma orientación y formación de milonitas. El metamorfismo regional dinamotérmico M₃ es retrógrado en el conjunto de rocas y también dinámico y localizado en el entorno de las fallas. La cuarta y última fase de deformación D₄, resultó en pliegues abiertos con plano axial de rumbo NE (Cerredo y López de Luchi 1998).

El Complejo Metamórfico Comallo ha sido asignado a un rango amplio de edades entre el Precámbrico y el Jurásico, sobre la base de dataciones radiométricas K-Ar y Rb-Sr, que no definen una edad precisa para los procesos geológicos (Tabla 1). Por otro lado, los análisis U-Pb de los circones detríticos más jóvenes de un esquistos del complejo son de c. 440 Ma (Hervé *et al.* 2018). Por lo tanto, la edad máxima de sedimentación de los protolitos psamo-pelíticos del Complejo Metamórfico Comallo queda comprendida al Llandoveryano, Silúrico, para los afloramientos del cañadón La Angostura. Además, la edad U-Pb en circones de cristalización magmática del leucosoma granítico de una estromatita es de 302 ± 39 Ma (Varela *et al.* 2005, Tabla 1). El esquistos forma parte del paleosoma asociado en la migmatita.

El Complejo Plutónico Mamil Choique (González *et al.* 2023) se compone de granodioritas con biotita, hornblenda-biotita, granitos con biotita, muscovita y granate, y

tonalitas con anfíbol-biotita. En la desembocadura del cañadón Chacay Huarruca en el río Chico, zona del túnel, y a lo largo del corte de las vías del ferrocarril, aflora la Tonalita Túnel (Ravazzoli y Sesana 1977, López de Luchi y Cerredo 2008). Este cuerpo intruye a las rocas ya deformadas y metamorfizadas del Complejo Metamórfico Comallo, con un contacto neto cortando la fábrica D₁-M₁ / D₂-M₂ (González *et al.* 2023). Luego, el cuerpo y su caja fueron deformados por cizallamiento dúctil (D₃) y sus rocas transformadas en milonitas ubicadas en fajas de varios centímetros de espesor. Los datos U-Pb en circones de la Tonalita Túnel indican edades de cristalización magmática de 295 y 286 Ma (Varela *et al.* 2005, Pankhurst *et al.* 2006) y edades K-Ar de enfriamiento más jóvenes (Tabla 1). Dado que este cuerpo trunca la fábrica D₁-M₁ / D₂-M₂ de la caja, el cizallamiento dúctil que la afecta es posterior a 286 Ma o sea más joven que la edad de cristalización magmática.

Tabla 1. Dataciones radiométricas (Ma) disponibles para el Complejo Metamórfico Comallo y el Complejo Plutónico Mamil Choique. Referencias: 1: Linares *et al.* (1997). 2: Duhart *et al.* (2002). 3: López de Luchi *et al.* (2005). 4: Varela *et al.* (2005). 5: López de Luchi *et al.* (2006). 6: Hervé *et al.* (2018). 7: Pankhurst *et al.* (2006).

Unidad	Tipo de Roca	Método radiométrico			Referencia
		U-Pb	K-Ar	Rb-Sr	
Complejo Metamórfico Comallo	esquisto-metagrauvaca			707 ± 18	1
	micacita			343 ± 6	1
	gneis bt-ms-grt		261 ± 6		2
	gneis		262,5 ± 6		3
	esquisto		169 ± 5		4
	esquisto		187 ± 6		4
	esquisto bt-ms		262 ± 6		5
	esquisto micáceo	~440			6
	leucosoma en migmatita	302 ± 39			4
Complejo Plutónico Mamil Choique	Tonalita Túnel (diorita)		250 ± 16		4
	Tonalita Túnel	295 ± 2			7
	Tonalita Túnel (diorita)	286 ± 13			4
	granodiorita		174 ± 5		4

Las rocas de basamento ígneo-metamórfico de los complejos Comallo y Mamil Choique se encuentran cubiertas en discordancia por unidades sedimentarias del Mesozoico y Cenozoico (Ravazzoli y Sesana 1977, González *et al.* 2023).

4.- MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología utilizada para el desarrollo del presente TFG incluyó tareas de gabinete y laboratorio y trabajos de campo (limitados en tiempo, dadas las restricciones de circulación por la pandemia mundial), que se detallan a continuación.

4.1. Trabajos de gabinete previos al campo

Previo a los trabajos de campo se realizó una recopilación de antecedentes bibliográficos y cartográficos de la zona de estudio, y el análisis de temas generales de petrología y metamorfismo en bibliografía específica. Además, se obtuvo acceso a datos cartográficos y geológico-estructurales inéditos, y de láminas delgadas de rocas ígneas y metamórficas, de mis directores de TFG, que fueron útiles para complementar el mapa y las descripciones de las unidades de basamento.

Posteriormente, se llevó a cabo la búsqueda y obtención de imágenes satelitales y fotografías aéreas en Google Earth Pro y en la plataforma Earthexplorer del Servicio Geológico de USA (<https://earthexplorer.usgs.gov/>, imágenes ASTER y Landsat 7). Las mismas se han interpretado y analizado en forma visual para dar inicio con los trabajos de mapeo de las unidades del basamento ígneo-metamórfico en el cañadón Chacay Huarruca. Se utilizó el *software* ENVI Classic 5.3 donde se pudo visualizar y analizar las imágenes satelitales mediante diferentes bandas espectrales, que permitieron discriminar distintas unidades litológicas aflorantes en la zona de estudio. La preparación de un SIG, donde se dibujó el mapa geológico-estructural, fue realizada a través de los *softwares* Global Mapper 17 y ArcMap 10.3.

4.2. Trabajos de campo

Debido a las condiciones de Aislamiento Social Preventivo y Obligatorio (ASPO) y Distanciamiento Social Preventivo y obligatorio (DISPO), dispuestas por el Proyecto Educativo Nacional (PEN) a nivel nacional, por la pandemia mundial, se llevaron a cabo sólo dos días de trabajos de campo, respetando en forma estricta todas las condiciones sanitarias. El viaje fue costado por el estudiante de TFG con fondos propios y se usó el vehículo particular. Cabe destacar que mi lugar de residencia habitual es la localidad de Ingeniero Jacobacci, Río Negro, el cual está ubicado cerca del área de estudio.

En el campo se controló y corrigió el mapa base y se obtuvieron muestras representativas de rocas ígneas y metamórficas. También se tomaron datos estructurales en ubicaciones GPS que resultaban de interés para la realización del trabajo y que fueron

previamente elegidas, para que coincidan con las muestras AB de [Varela et al. \(2005\)](#). También se tomaron fotografías de afloramientos y de detalles de la fábrica.

De acuerdo con [Fossen et al. \(2019\)](#), hemos adoptado la terminología de las estructuras de deformación tectónica basada en la caracterización morfológica. Utilizamos un índice numérico para representar las etapas de desarrollo de las estructuras, basándonos en la relación de superposición estructural observada en afloramientos y láminas delgadas. Sin embargo, resulta difícil distinguir si la fábrica estructural de la roca metamórfica evolucionó a través de una deformación progresiva (una única fase de deformación) o mediante una deformación multifásica (dos o más fases de deformación). Por lo tanto, en la sección de Resultados evitamos el uso del término “fase de deformación” (D) y lo abordamos posteriormente en la sección de Discusión, empleando el término “estadio de desarrollo estructural” (DE).

4.3. Trabajos de gabinete-laboratorio posteriores al campo

Estos trabajos incluyeron la corrección y dibujo del mapa definitivo cargando en el SIG los datos obtenidos, el ploteo de los datos estructurales en el *software* Stereonet 11 y la preparación de un corte geológico. Las muestras de mano obtenidas en el campo se describieron con una lupa binocular en el Laboratorio de Microscopía Óptica del Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología (IIPG, UNRN-CONICET). Además, se analizaron láminas delgadas bajo el microscopio petrográfico de rocas ígneas y metamórficas de los cañadones Chacay Huarruca y La Angostura. Las muestras corresponden a la colección de la serie AB de [Varela et al. \(2005\)](#) y otras de la Hoja Geológica Ingeniero Jacobacci del SEGEMAR, cedidas por los directores del TFG. El estudio petrográfico (análisis mineralógico, textural y micro-tectónico) de las mismas, y de sus tacos pulidos, se realizó con un microscopio petrográfico del mismo laboratorio y en la misma institución. Cabe destacar que las muestras colectadas en el campo pertenecen a los mismos sitios de muestreo AB, y por lo tanto son equivalentes a sus láminas delgadas. Por último, se procedió al análisis e interpretación integral de todos los datos, elaboración de las conclusiones y la redacción del manuscrito del TFG.

5.- RESULTADOS

5.1. Geología y estratigrafía del basamento

En base al mapeo geológico-estructural del basamento ígneo-metamórfico realizado a lo largo del cañadón Chacay Huarruca, entre la localidad de Río Chico y sus cabeceras, se han distinguido dos unidades litoestratigráficas que son el Complejo Metamórfico Comallo y el Complejo Plutónico Mamil Choique (Fig. 3). A continuación, se describen las características de campo de estas unidades.

5.1.1. Complejo Metamórfico Comallo. Está compuesto por una alternancia de esquistos cuarzo-micáceos, paragneises y migmatitas, con algunas intercalaciones de meta-areniscas cuarzosas (Fig. 4 A-B). Los esquistos predominan aguas arriba del cañadón Chacay Huarruca, mientras que en su desembocadura con el río Chico y la localidad homónima, predominan los paragneises y migmatitas.

Los esquistos cuarzo-micáceos son grises a castaños grisáceo. La esquistosidad penetrativa tiene rumbo N290° con inclinación de 31° al NE. La muscovita predomina sobre la biotita y confieren la textura lepidoblástica. Algunos niveles porfiroblásticos tienen porfiroblastos de granate. Los paragneises son gris oscuro y de grano medio a grueso. Tienen un bandeo gnéisico que es concordante con la foliación penetrativa de los sectores esquistosos. Las intercalaciones de meta-arenisca cuarzosa se disponen paralelas a la esquistosidad y marcan la alternancia composicional S_0 del protolito sedimentario (Fig. 4 A).

En el cañadón La Angostura, los esquistos y paragneises cuarzo-muscovíticos tienen una esquistosidad penetrativa de rumbo N145° con un buzamiento de 54° hacia el SO. Se identificaron intercalaciones de meta-areniscas cuarzosas que son concordantes con la esquistosidad o el bandeamiento gnéisico.

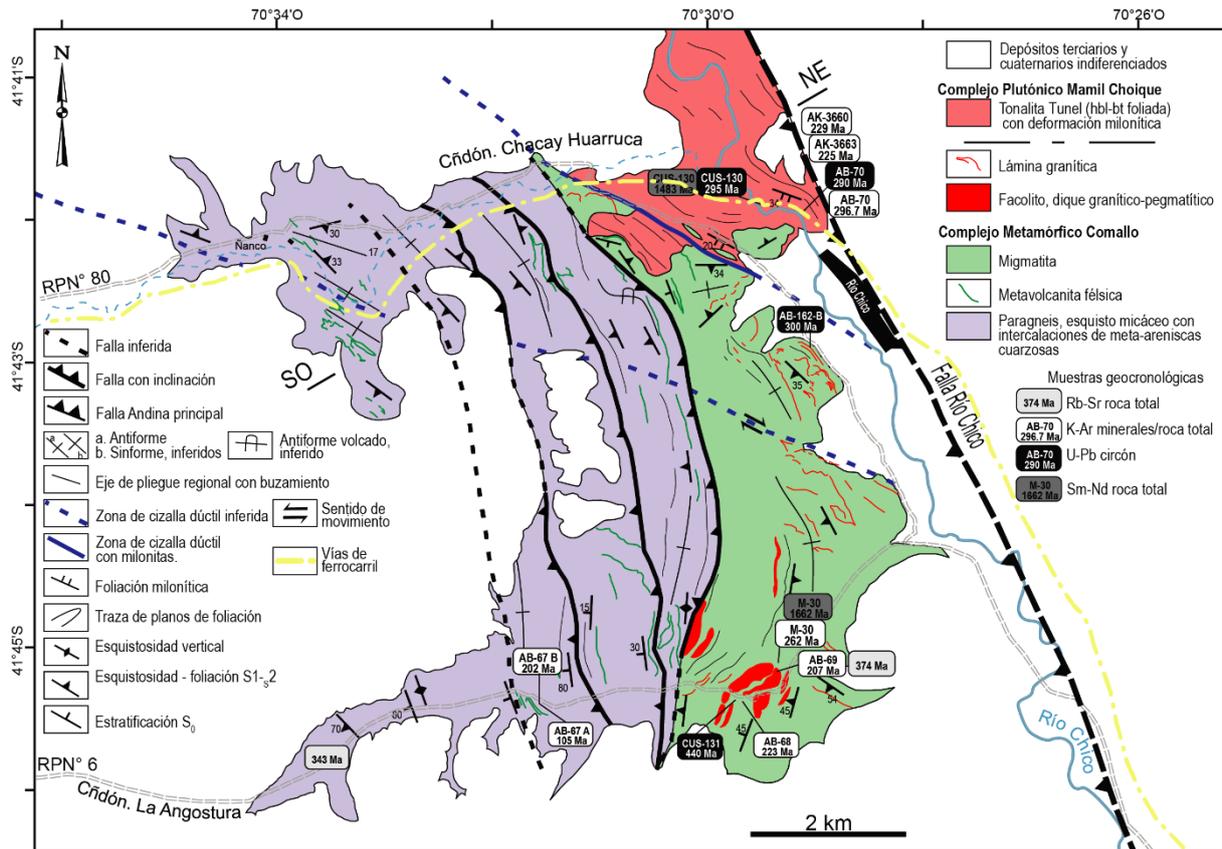


Figura 3. Mapa geológico y estructural de la zona de estudio basado en estudios propios. Los datos en el cañadón La Angostura fueron tomados de las referencias citadas en la [Tabla 1](#) y de [García-Sansegundo et al. \(2008\)](#).

Las migmatitas son de tipo estromatitas y se componen de un paleosoma comprendido por un paragneis cuarzo-muscovítico y un neosoma granítico cuarzo-feldespático (**Fig. 5 A-B**). Diques de composición granítica junto con pegmatitas granatíferas, de rumbo NNO-SSE e inclinación moderada hacia el SO y afloran de manera continua entre la zona del túnel y el pueblo de Río Chico. Estos cuerpos ígneos intruyen de forma concordante con la esquistosidad de los esquistos y paragneises de la caja metamórfica (**Fig. 5 C-D**).



Figura 4. **A.** Contacto entre esquisto micáceo y meta-arenisca cuarzosa. **B.** Foliación de los esquistos de rumbo N290°/31°NE. **C.** Muestra de mano de los esquistos aflorantes aguas arribas del cañadón Chacay Huarruca. Diámetro de la moneda: 2.5 cm.

5.1.2. *Complejo Plutónico Mamil Choique.* Está compuesto por la Tonalita Túnel (Fig. 3) y también por cuerpos menores de granito con biotita, muscovita y granate. Se compone por cuarzo anhedral, plagioclasa y abundante biotita y hornblenda. En las cercanías del puente sobre el río Chico, a lo largo de las vías del ferrocarril, la Tonalita Túnel tiene una composición cuarzo diorítica a tonalítica con biotita y hornblenda-biotita. La intrusión, intruyó discordantemente las rocas del Complejo Metamórfico Comallo ya metamorfizadas y deformadas dúctilmente. A su vez, la tonalita en conjunto con la roca de caja presenta deformación milonítica sobrepuesta. La tonalita milonitizada exhibe foliación milonítica de rumbo N256° y buzamiento 38° SO. La tonalita, poco o no foliada, es maciza, de grano medio-grueso y de textura granosa equigranular (Fig. 6 A-B).

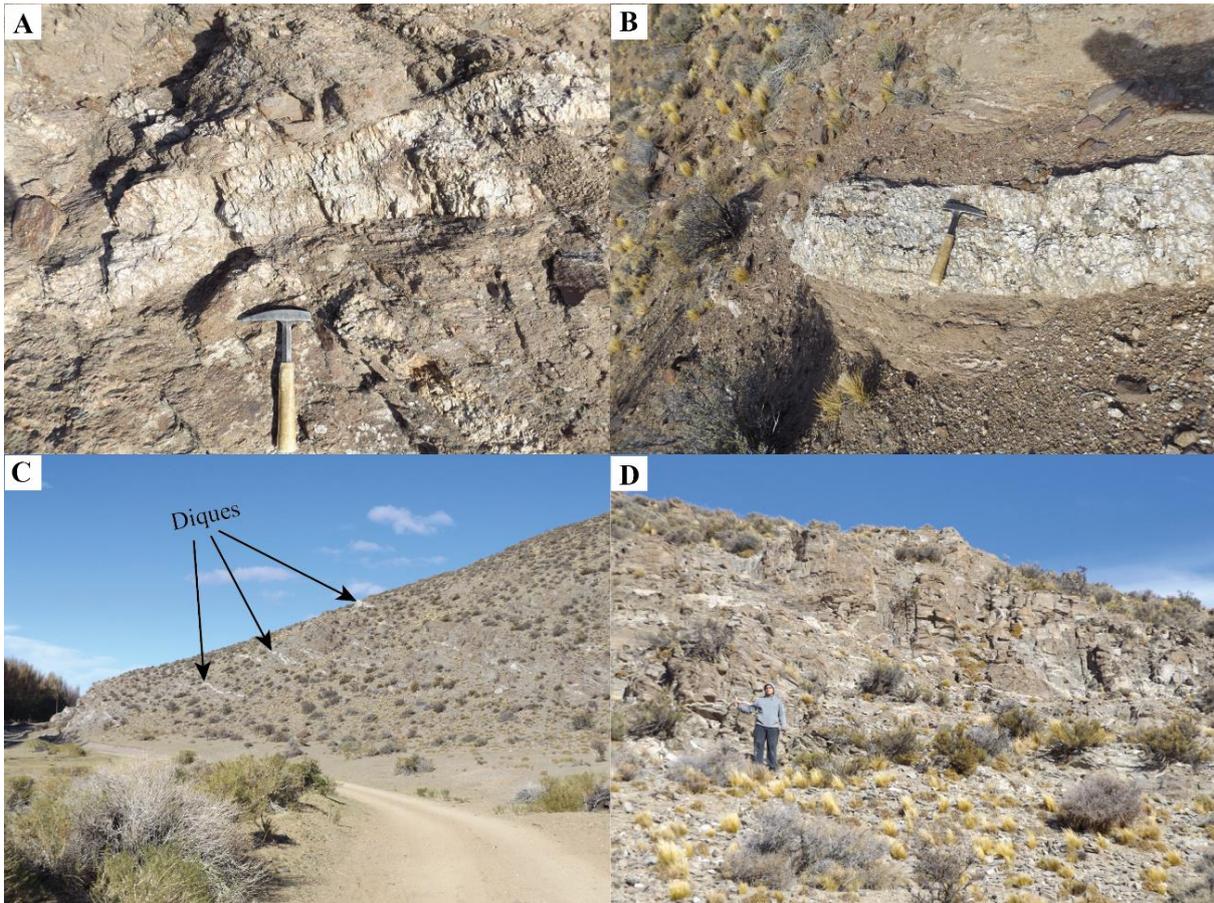


Figura 5. Fotos de campo de los diques asociados a las estromatitas. **A-B.** Los diques son concordantes con la foliación regional de los paragneises. Espesor del dique: 50 cm. **C-D.** Vista local hacia el SSO de los diques intercalados con esquistos y paragneises sobre la ruta provincial N° 80.

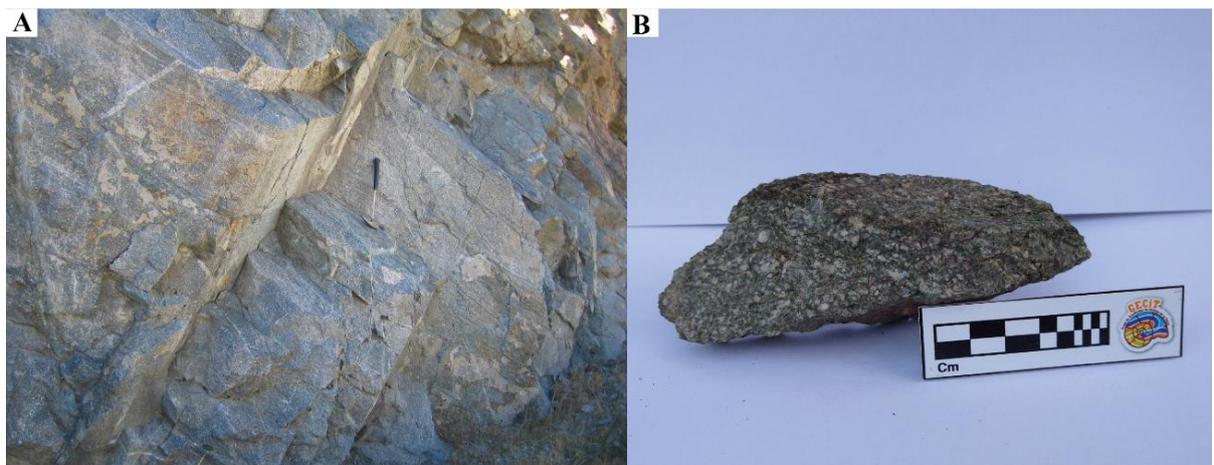


Figura 6. **A.** Vista de los afloramientos de la Tonalita Túnel en la zona del túnel y las vías del ferrocarril. **B.** Fotografía de una muestra de mano representativa de una cuarzo diorita con escasa foliación milonítica.

5.2. Estructuras de deformación

Como resultado del relevamiento geológico y estructural de los elementos de deformación tectónica reconocidos en las rocas a lo largo de los cañadones, y teniendo en cuenta datos inéditos de los directores y también publicados, se ha podido reconstruir la estructura interna del basamento caracterizada por, al menos, cuatro estadios de desarrollo estructural identificados desde DE_1 hasta DE_4 , que se describen a continuación. La síntesis de la secuencia de las estructuras de deformación tectónica se exhibe en la **Tabla 2**. Además, se ha preparado un corte geológico-estructural a lo largo del cañadón Chacay Huarruca exhibido en la **Fig. 7**.

Tabla 2. Síntesis de los diferentes estadios de desarrollo de estructuras.

		Estructuras de deformación tectónica	Asociación mineral metamórfica
Estadios de desarrollo de estructuras (DE)	<i>DE4</i>	Pliegues abiertos a apretados (F_4)	Clorita
	<i>DE3</i>	Fajas de cizalla dúctil de rumbo NO	Clorita
	<i>DE2</i>	Esquistosidad de plano axial (S_2) de rumbo ONO-ESE a NO-SE asociada a pliegues apretados (F_2)	Granate - Sillimanita
	<i>DE1</i>	Pliegues isoclinales (F_1) y esquistosidad relíctica (S_1)	Biotita

5.2.1. Estructuras DE_1 : es la estructura interna más antigua de las rocas metamórficas del Complejo Metamórfico Comallo. Está caracterizada por pliegues isoclinales F_1 y esquistosidad relíctica. El metamorfismo M_1 asociado es facies de esquistos verdes, grado biotita (**Tabla 2**). En el campo no se han identificado estas estructuras DE_1 ; se encuentran preservadas como microestructuras en el interior de porfiroblastos de granate en la quebrada de La Angostura, como se menciona en [García-Sanseguendo et al. \(2008\)](#). *Ver en sección 5.3.1*

5.2.2. Estructuras DE_2 : la fábrica D_1 - M_1 está re-plegada regionalmente en pliegues abiertos a apretados F_2 de escala decamétrica a hectométrica. Están relacionados a una esquistosidad penetrativa de plano axial S_2 de rumbo ONO-ESE a NO-SE e inclinación variable entre 37° al SO y 31° al NE, en la desembocadura y cabeceras del cañadón Chacay Huarruca, respectivamente (**Figs. 7 y 8A**). El metamorfismo M_2 asociado, que representa el clímax regional de P-T, es en facies anfibolita grado granate. Hacia el final de la etapa D_2 se registra

la anatexis de los esquistos y gneises y la formación de migmatitas (Tabla 2). Luego, post-DE₁/DE₂ y pre-DE₃ se intruyó la Tonalita Túnel, que contiene tabiques de la caja metamórfica con fábrica DE₁-DE₂ (González *et al.* 2023).

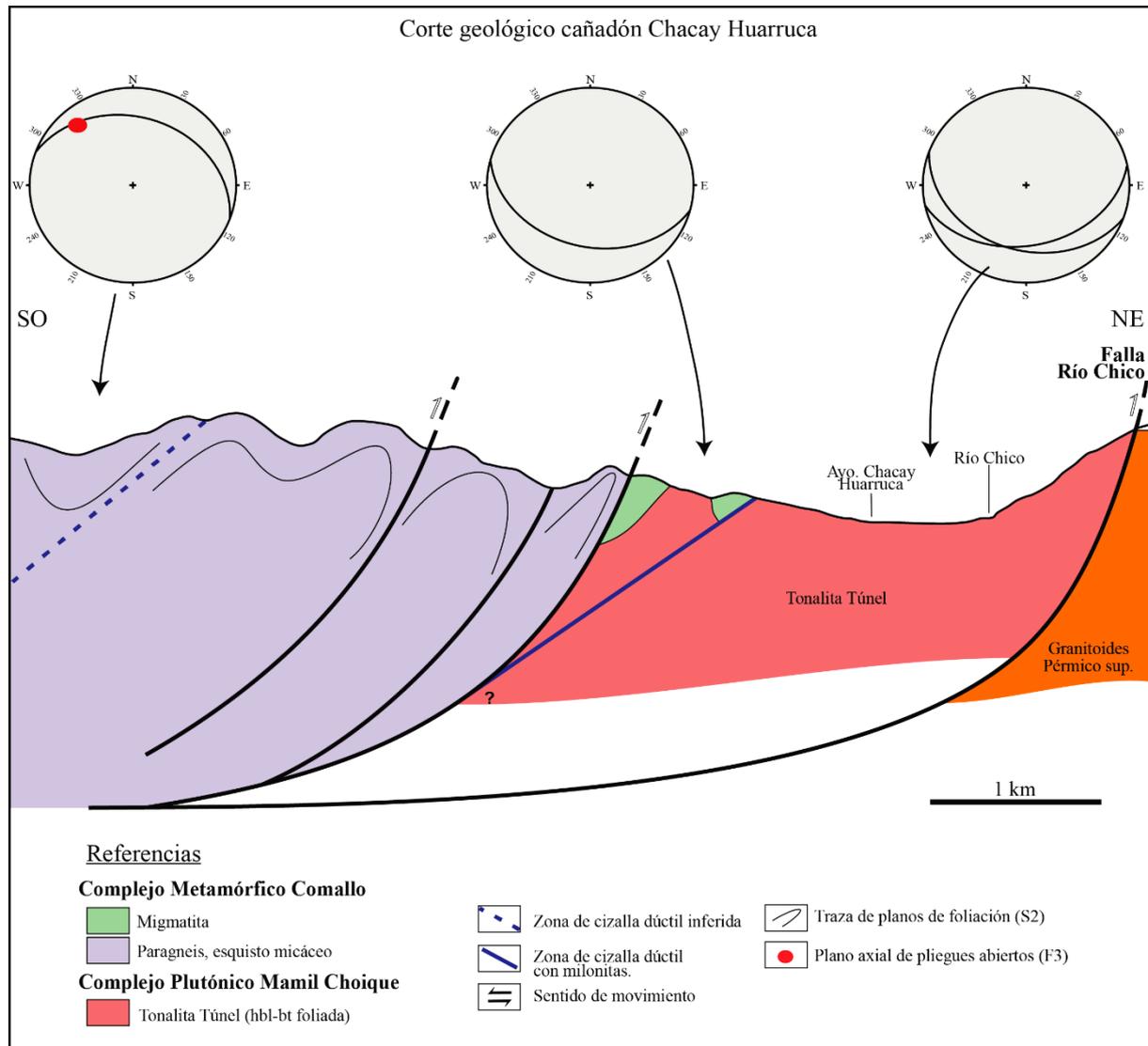


Figura 7. Corte geológico-estructural SO-NE de los afloramientos de rocas ígneo-metamórficas de basamento estudiados en el cañadón Chacay Huarruca. Ubicación de la traza del corte en la Fig. 3.

5.2.3. *Estructuras DE₃*: la fábrica que resulta de DE₃ está asociada a fajas de cizalla dúctil discretas de algunos metros de ancho y que afectan tanto a las rocas de caja metamórficas como a la Tonalita Túnel, transformando sus rocas en milonitas tonalíticas (Fig. 9 A-C). La foliación milonítica (S₁ para la tonalita y S₃ para las rocas metamórficas de caja) tiene rumbo general NO 256° e inclinación moderada de ~38° al SO (Fig. 7). En el cuerpo ígneo está acompañado por metamorfismo local dinámico de bajo grado, en facies de esquistos verdes. La foliación de la tonalita es coincidente o paralela con el tramo del río Chico y su curso

fluvial por lo que se determinó como zona de cizalla dúctil inferida, que fue reactivada con posterioridad (Fig. 3, ver abajo en este mismo ítem).

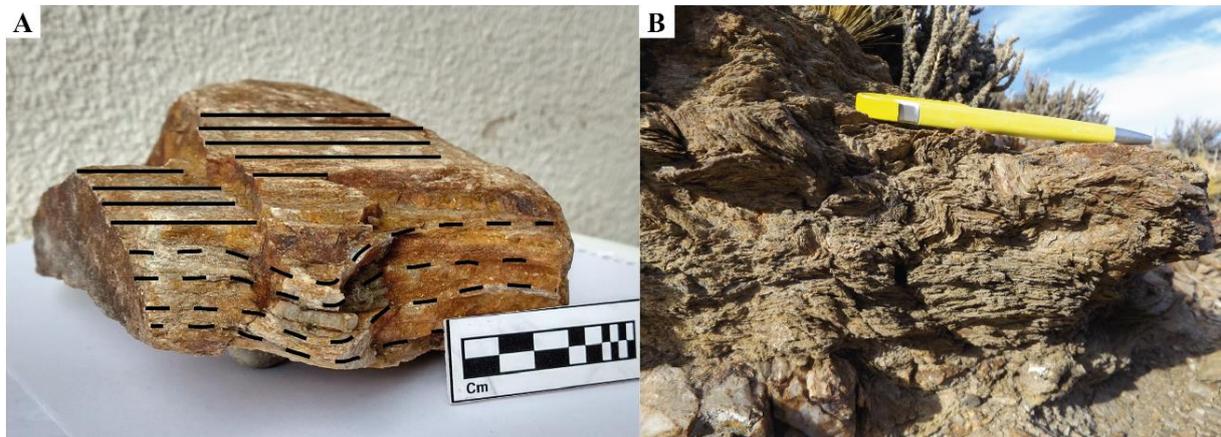


Figura 8. **A.** Esquistosidad S_2 penetrativa (líneas punteadas) en esquistos del Complejo Metamórfico Comallo. Las bandas superiores señalan la lineación observada en los esquistos. **B.** Bandas kink centimétricas de crenulación de la esquistosidad S_2 . El lápiz indica la inclinación del plano axial de los pliegues kink.

En forma localizada en los flancos de los pliegues mayores, las superficies S_2 en las rocas del complejo metamórfico están afectadas por una crenulación caracterizada por bandas *kink* de 1 a 2 cm de ancho y, en ocasiones, tiene desarrollo de un clivaje de crenulación S_3 . Las bandas *kink* presentan un eje promedio con un rumbo de $N60^\circ$ y buzamiento de bajo ángulo hacia el NE (Fig. 8B). No se ha podido identificar en el campo la relación estructural que existe entre la esquistosidad de crenulación S_3 y las fajas de cizalla dúctil que afectan a todo el basamento. Podrían ser contemporáneas y vincularse como equivalentes laterales de DE_3 , aunque en rocas de distinta reología.

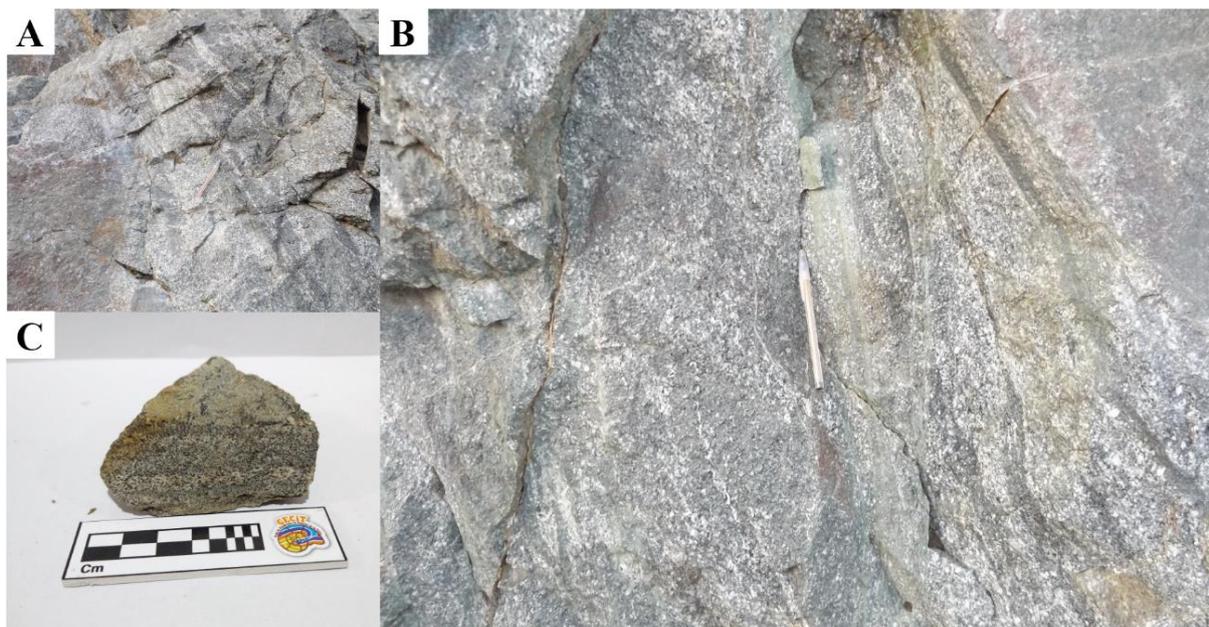


Figura 9. A-B. Fotos de los afloramientos de las bandas de cizalla con milonitas cuyo protolito es la Tonalita Túnel. **C.** Muestra de mano de una milonita tonalítica con foliación milonítica S_1 .

5.2.4. *Estructuras DE_4* : la falla Río Chico afecta a todas las rocas del basamento ígneo metamórfico y las coloca en contacto tectónico con unidades más jóvenes. Está vinculada a pliegues abiertos a apretados F_4 de escala kilométrica y a fallas inversas de alto ángulo, todos con vergencia al NE y E (Figs. 3 y 7, Tabla 2). Produjo una retrogradación generalizada en las rocas del basamento, acompañada por cataclasis, que está localizada al entorno de la falla principal y de sus subsidiarias.

5.3. Metamorfismo

Las descripciones mineralógico-texturales, composicionales y de micro-tectónica de las rocas en láminas delgadas bajo el microscopio petrográfico se detallan en el Apéndice 1. A continuación, se refieren los caracteres petrográficos sobresalientes y el análisis cualitativo del metamorfismo de las rocas (Tabla 2 y 3).

5.3.1. *Complejo Metamórfico Comallo*: Hacia el sur del poblado de Río Chico, las texturas de los esquistos de grano grueso y de los paragneises son lepidoblástica y grano-lepidoblástica, respectivamente. Están definidas por la asociación de cuarzo + plagioclasa + biotita + granate \pm muscovita. El cuarzo se ubica en bandas de deformación formadas por granos individuales con extinción ondulante y la plagioclasa tiene las maclas polisintéticas combadas y se

encuentra reemplazada parcialmente por sericita. El pleocroísmo de la biotita es fuerte en tonos rojizos, quizá por su mayor contenido en titanio que indica alta temperatura. Está vinculada a trenes de minerales opacos y sus bordes están reemplazados por clorita retrógrada. La muscovita es escasa, a veces como reemplazo de la biotita (Fig. 10 A-C).

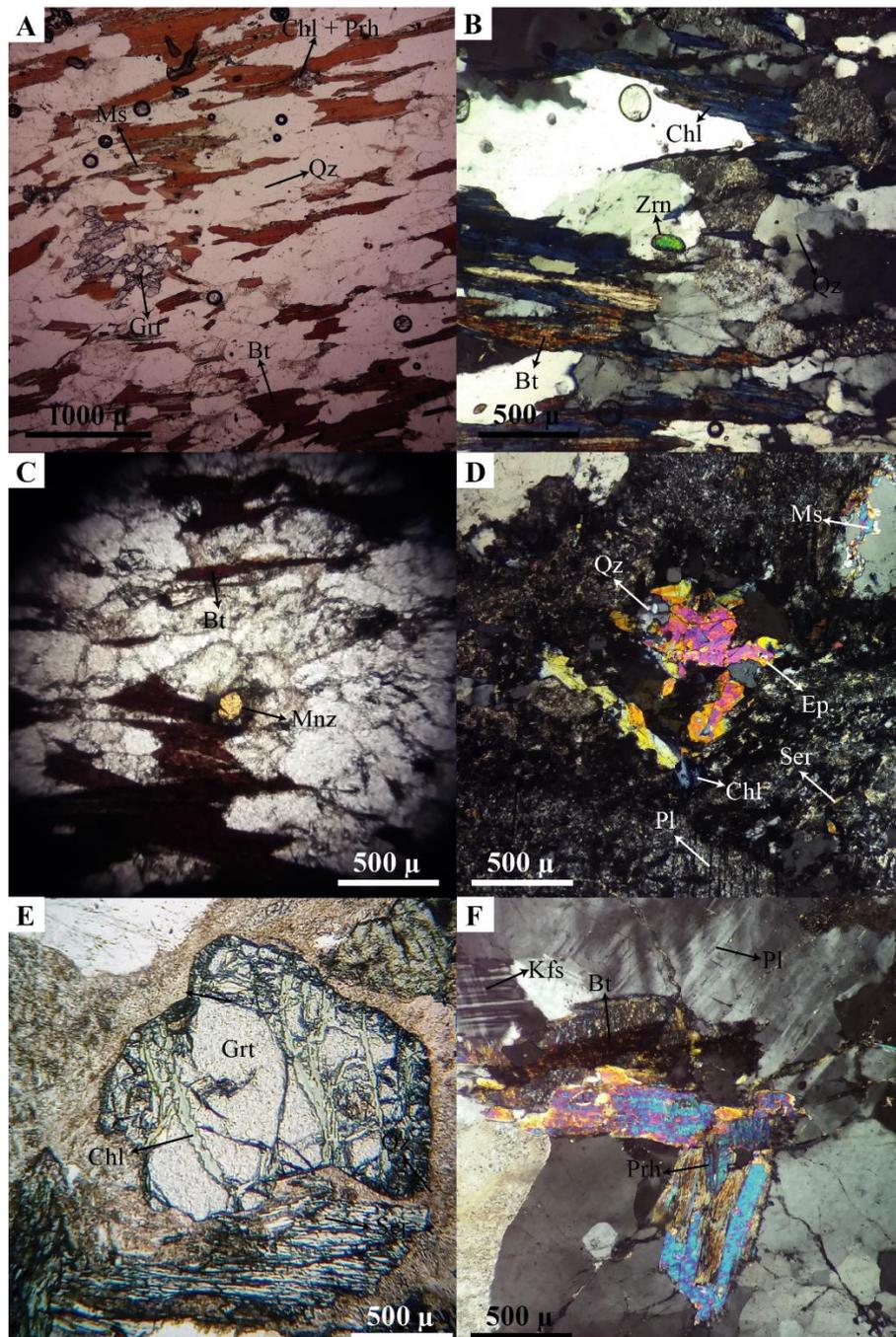


Figura 10. A, B y C. Fotomicrografías de la sección delgada de un paragneis, nicoles paralelos (NP) y cruzados (NX). A. Textura granolepidoblástica a interesquistosa, con porfiroblasto de Grt. B-C. Chl reemplazando (retrogradación) a Bt. Zrn y Mnz como minerales accesorios. D. Pl del leucosoma reemplazada por argilominerales + Ep + Chl. E. Grt atravesado por microfracturas de clorita verde. F. Pl + Ms + Bt con quistes de Prh.

La blastesis de porfiroblastos de granate sub-idiomorfo fue a expensas de la biotita. Tiene inclusiones no orientadas de cuarzo-plagioclasas. La planaridad S_1 previa es relíctica y concordante con la esquistosidad S_2 penetrativa de la matriz que rodea a los porfiroblastos. S_1 aparece en charnelas desmembradas de micro-pliegues F_2 isoclinales que son paralelos con S_2 . Como minerales accesorios contienen monacita y circón. (Fig. 10 B y C)

El leucosoma en las migmatitas estromatíticas está compuesto por un leucogranito de composición granítica, el cual presenta un color blanco a gris claro, que es concordante con el bandeamiento/foliación del paleosoma gneísico/esquistoso. La textura es granoblástica y se compone de cuarzo + plagioclasa + feldespato potásico + muscovita + biotita + granate. Los tres primeros tienen extinción ondulante. El cuarzo exhibe textura intracristalina en tablero de ajedrez y los feldespatos tienen sus maclas aplastadas y están argilizados y sercitizados. También tienen reemplazo por minerales del grupo del epidoto. La biotita y muscovita están reemplazadas por clorita + prehnita fibrosa. Las fracturas en el granate también están rellenas con clorita (Fig. 10 D-F).

En el cañadón La Angostura, la petrografía de los esquistos y paragneises en muestra de mano y al microscopio es semejante a los afloramientos del área de estudio (Fig. 11-A). Estas rocas tienen textura lepidoblástica gruesa y grano-lepidoblástica definida por la asociación de cuarzo + plagioclasa + feldespato potásico + biotita + muscovita + granate. Hay variedades que además tienen microclino + sillimanita + rutilo. La biotita también es fuertemente pleocroica en tonos rojizos por su mayor contenido en titanio. Está reemplazada por la asociación granate (porfiroblastos) + sillimanita fibrolítica que marca el paso a un grado metamórfico mayor. La fibrolita se ubica en los bordes de la biotita y también en los de muscovita o aparece interesquistosa en la matriz y de grano muy fino. La biotita y granate exhiben clorita retrógrada y biotita + muscovita presentan retrogradación a minerales de epidoto + clorita o prehnita + clorita. El cuarzo y los feldespatos están estirados y con extinción ondulosa. Como minerales accesorios, además del rutilo que es característico de las asociaciones metamórficas de alto grado, tienen circón y apatito (Fig. 11 B-D).

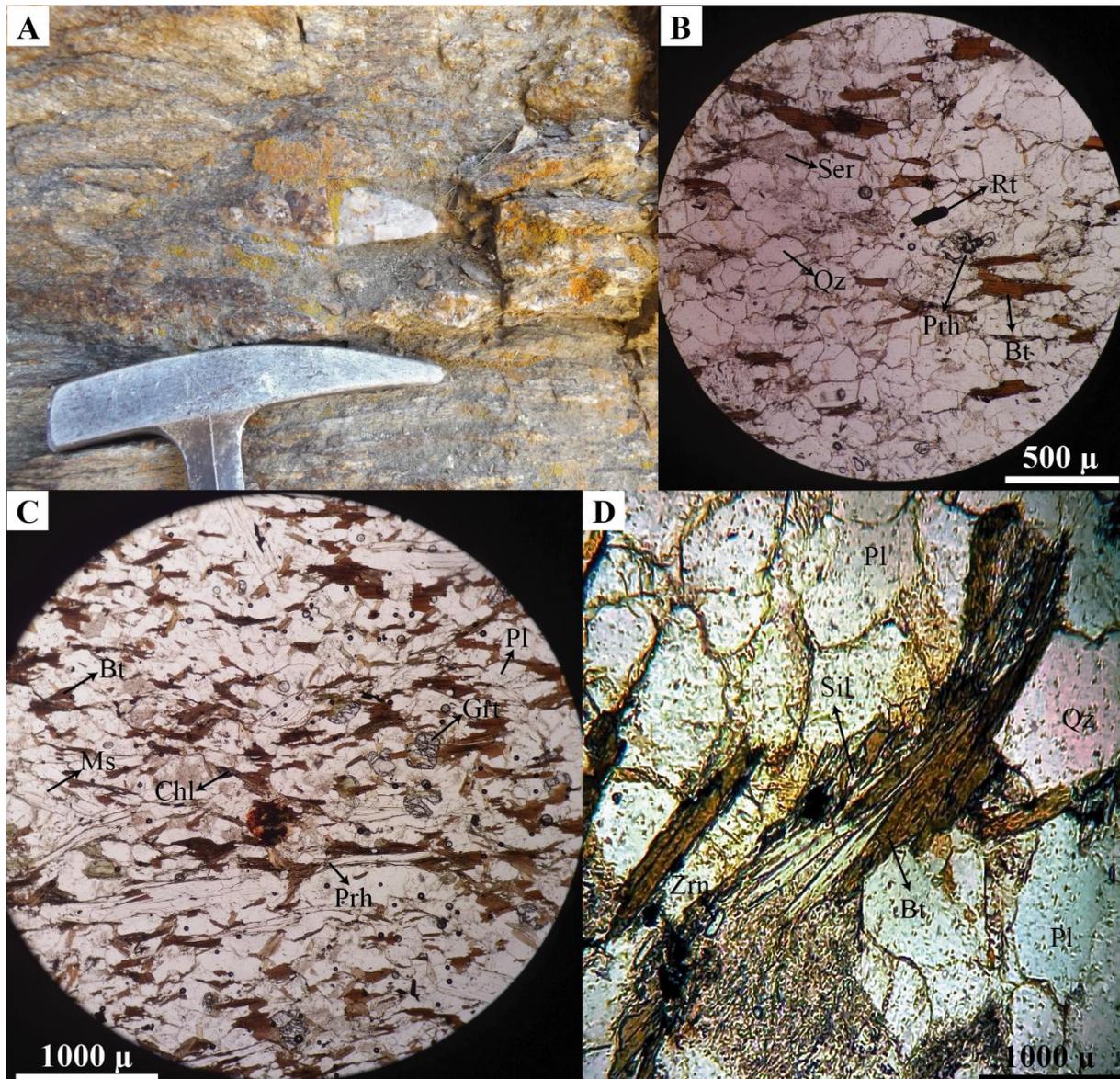


Figura 11. Cañadón La Angostura. **A.** Foto de afloramiento de un esquistos de grano grueso con una intercalación de meta-arenisca cuarzosa. **B, C y D.** Fotomicrografías de esquistos con nicols paralelos (NP). **B.** Textura grano-lepidoblástica a interesquistosa compuesta de Qz + Pl + Kfs + Bt + Rt. **C.** Textura lepidoblástica interesquistosa de Qz + Pl + Ms + Bt y porfiroblastos de Grt. **D.** Detalle de fibras de Sil intercrecidas entre los clivajes de la Bt castaño rojiza.

5.3.2. Complejo Plutónico Mamil Choique: se encuentra conformado por una diorita no foliada de la Tonalita Túnel y una protomilonita tonalítica, se encuentran expuestas sobre las vías del ferrocarril al norte de la localidad de Río Chico. La diorita no foliada es gris verdosa y equigranular media. Tiene escasa a nula deformación por cizalla. Está compuesta por cuarzo + plagioclasa + biotita + anfíbol ± titanita. El cuarzo tiene extinción ondulante y la plagioclasa

está argilizada. La biotita exhibe fuerte reemplazo de clorita + prehnita fibrosa radial. Como minerales accesorios tiene allanita asociada a epidoto pistacítico y titanita (Fig. 12 A-C).

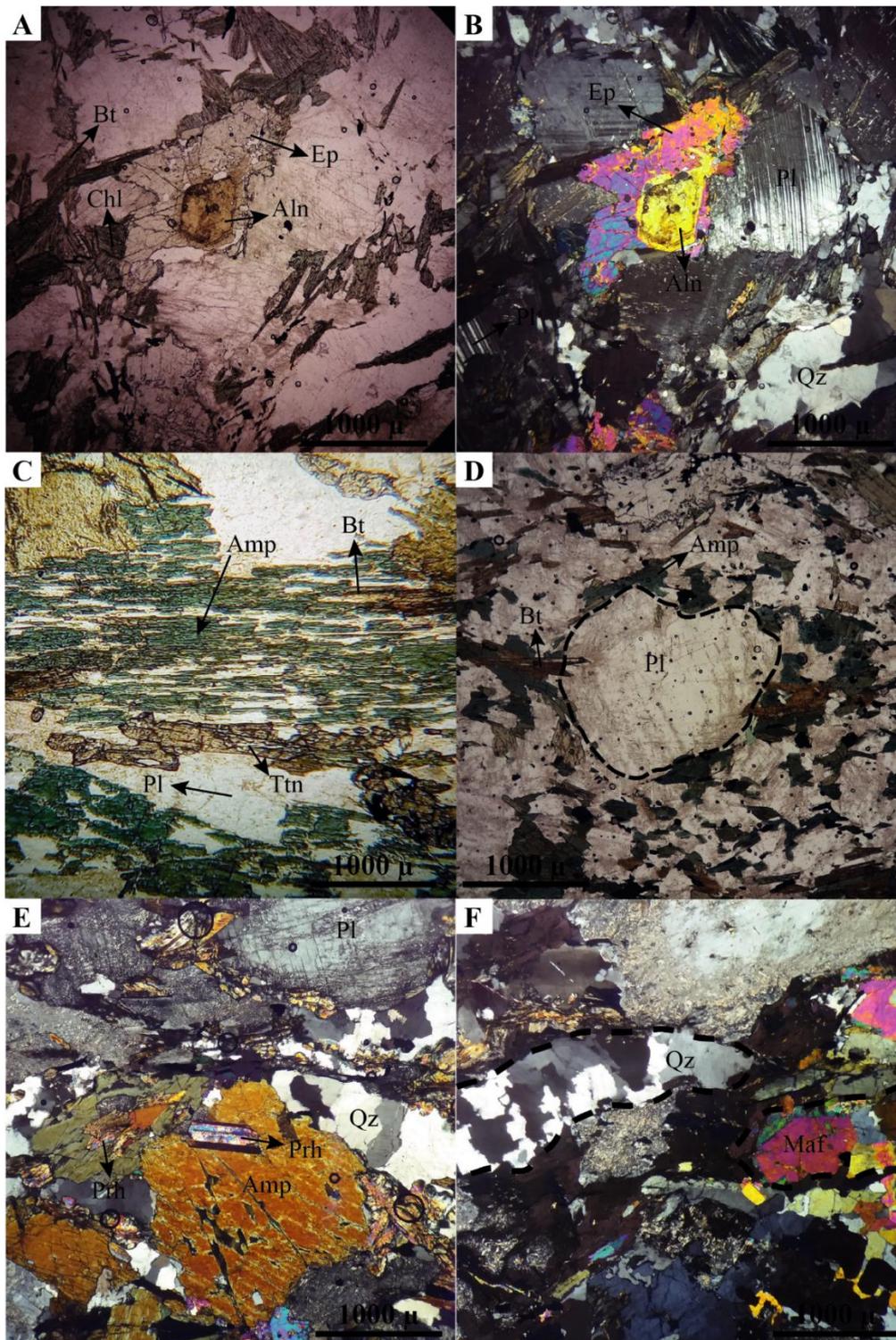


Figura 12. A.-B. Misma fotomicrografía en NP y NX, respectivamente. Chl + Ep + Aln reemplazan a los minerales máficos del protolito. C. Minerales ígneos con Pl + Amp + Ttn, la Pl presenta alteración argílica. D. Porfiroclasto de Pl rodeado de la matriz milonítica. E.-F. Sub-granos de Qz, mafitos reemplazados por Prh y Pl con maclas combadas.

En las variedades con deformación por cizalla dúctil, las rocas milonitizadas tienen foliación milonítica, con porfiroclastos y matriz o bandeamiento composicional de bandas claras y oscuras, que son concordantes con la foliación. Una protomilonita tonalítica es gris verdosa y de grano medio. Las bandas claras son cuarzo-feldespáticas y las oscuras se componen de anfíbol y piroxeno. La asociación mineral del protolito ígneo tonalítico se compone de cuarzo + plagioclasa + biotita + anfíbol + titanita \pm piroxeno. Por efecto del cizallamiento, las micro-texturas más comunes en el cuarzo son bandas de deformación con sub-granos, además de granos con evidencias de recristalización por *bulging* y migración de sus bordes entre individuos contiguos. Los porfiroclastos de plagioclasa son pocos y están fracturados en forma de repisa. Los de anfíbol tienen forma irregular y se encuentran alterados a clorita o epidoto, con texturas en parches. Además, la plagioclasa tiene las maclas combadas y acuñadas hacia los bordes de grano. La biotita está reemplazada por clorita + prehnita + epidoto + allanita que definen la foliación milonítica de la matriz. La textura es porfiroclástica (Fig. 12 D-F).

6.- DISCUSIÓN

6.1. Historia y evolución geológica

Sobre la base de las edades radiométricas disponibles, la evolución geológica principal de los complejos Comallo y Mamil Choique está relacionada con el ciclo orogénico Gondwánico, que tuvo lugar a lo largo de todo el borde suroeste de Gondwana en el Paleozoico medio-superior. La evolución puede dividirse en seis etapas: (1) Sedimentación, (2) Orogénesis Gondwánica, etapa principal, (3) Intrusión de granitoides, (4) Orogénesis Gondwánica, etapa tardía a post-orogénica, (5) Exhumación del basamento, y (6) Orogénesis Andina (Tabla 3). A continuación, se describe la interpretación tectono-metamórfica y magmática de los datos relevados en la zona de estudio en relación a la evolución, además de vincularlos al contexto geológico regional de la Precordillera Nordpatagónica y el borde occidental del Macizo Nordpatagónico.

6.1.1. Sedimentación del protolito del Complejo Metamórfico Comallo: la depositación de la sucesión alternante de grauvacas y pelitas con rocas volcánicas intermedias-ácidas, que definen el bandeamiento composicional S_0 , habría ocurrido en una cuenca sedimentaria silicoclástica del Llandoveryano, Silúrico, con una edad máxima de sedimentación U-Pb en circones detríticos de ~440 Ma (Hervé *et al.* 2018, Tablas 1 y 3). La sincronidad entre la

sedimentación silicoclástica y el volcanismo tuvo lugar en una cuenca relacionada a un margen continental activo con un arco magmático continental (López de Luchi *et al.* 2002, 2010). Según estos autores, las características geoquímicas de las pelitas y grauvacas indican una procedencia sedimentaria desde rocas plutónicas félsicas y detritos volcánicos, además de circulación de fluidos exhalativos relacionado a hidrotermalismo volcánico.

6.1.2. Orogénesis Gondwánica, etapa principal: hacia la finalización de la deformación dúctil compresiva y co-axial D₁-D₂ y el metamorfismo regional dinamo-térmico M₁-M₂ asociado (Tabla 3), se produjo la fusión parcial de protolitos y formación de las migmatitas del Complejo Metamórfico Comallo. Un dato U-Pb TIMS en circones de 302 ± 39 Ma en un leucosoma permite acotar la edad de la anatexis al Carbonífero (Pennsylvaniano Superior) (p. ej., Varela *et al.* 2005). Según las asociaciones minerales identificadas en la Sección 5.3., el metamorfismo M₁-M₂ fue prógrado desde facies esquistos verdes, al menos desde grado biotita, hasta facies anfíbolita en grado granate en Chacay Huarruca-Río Chico, y grado sillimanita en La Angostura. M₁-M₂ parece aumentar el grado en forma progresiva desde el norte, en Chacay Huarruca, hacia el sur en La Angostura, alcanzando el clímax termobárico durante M₂. Este aumento del grado metamórfico tiene carácter regional en Río Chico y alrededores, y se registra por alrededor de 7 km de afloramiento de rocas de basamento. El emplazamiento de los leucosomas en las migmatitas podría ser contemporáneo a posterior respecto de la fábrica D₂-M₂.

D₁-M₁ es relíctico y durante D₂-M₂ se formó la fábrica penetrativa principal de las rocas metamórficas, con la foliación de plano axial S₂ de rumbo NNO-SSE y que tiene distribución regional en la Patagonia. Su vergencia estructural no es clara, aunque predomina hacia el NE-E. En síntesis, la evolución tectono-metamórfica D₁-M₁/D₂-M₂ del Complejo Metamórfico Comallo está acotada entre 440 y 302 Ma, o sea al Silúrico-Carbonífero (p. ej., Cerredo y López de Luchi 1998, Garcia-Sanseguno *et al.* 2008, González y Giacosa 2022). Un dato Rb-Sr roca total de 343 ± 6 Ma (Linares *et al.* 1997, Tabla 1) da indicios sobre que dicha evolución podría ser tan joven como del Missisippiano Medio.

6.1.3. Intrusión del Complejo Plutónico Mamil Choique: la intrusión del plutón tonalítico Túnel cortó la fábrica NNO-SSE y las migmatitas del Complejo Metamórfico Comallo. Dos edades U-Pb en circones de 295 Ma (Pankhurst *et al.* 2006) y 286 Ma (Varela *et al.* 2005) permiten acotar su cristalización magmática al Pérmico. Se trata de un cuerpo post-orogénico, porque se intruyó en las rocas previamente deformadas y metamorfozadas, pero está

deformado con posterioridad junto con su roca de caja por el cizallamiento dúctil D₃ (es post-D₂ y pre-D₃). En un contexto regional más amplio, existen cuerpos ígneos más jóvenes que se encuentran alojados en la sierra de Mamil Choique, ubicada al este y sudeste de la zona de estudio, que no están deformados y que pertenecen al mismo evento magmático (Varela *et al.* 2005, 2015; Pankhurst *et al.* 2006).

6.1.4. Orogénesis Gondwánica, etapa tardía a post-orogénica: datos K-Ar variables entre 262 y 250 Ma (Duhart *et al.* 2002, López de Luchi *et al.* 2005, Varela *et al.* 2005, **Tabla 1**) permiten acotar la edad del cizallamiento dúctil D₃ y el metamorfismo dinámico M₃ asociado al intervalo, Pérmico-Triásico Inferior (**Tabla 3**). Esta deformación es el primer evento (D₁) registrado en la Tonalita Túnel y corresponde al tercero (D₃) del Complejo Metamórfico Comallo. La deformación tardía a post-orogénica canalizada a través de fajas de cizalla dúctil Gondwánicas tiene distribución regional entre el Macizo Nordpatagónico y la Precordillera Nordpatagónica rionegrina (p. ej., González y Giacosa 2022). Según datos micro-tectónicos de la **Sección 5.3.**, el metamorfismo dinámico asociado al cizallamiento (M₁ en la tonalita=M₃ en la caja) es de bajo grado en facies esquistos verdes, grado clorita. En la caja alejada del cizallamiento dúctil, M₃ se registra como una retrogradación generalizada de la fábrica D₂-M₂ de alto grado, y también en facies esquistos verdes, grado clorita (**Tabla 3**).

6.1.5. Exhumación del basamento: con posterioridad a ~250 Ma se registra la exhumación generalizada del basamento ígneo-metamórfico y el colapso del orógeno Gondwánico a escala continental (p. ej., véase González y Giacosa 2022). Hacia el este de la zona de estudio, entre Río Chico, Manuel Choique e Ingeniero Jacobacci, las rocas sedimentarias y volcánicas más antiguas que se apoyan en discordancia angular o no concordancia sobre el basamento de los complejos Comallo y Mamil Choique, son del Triásico Superior-Jurásico Inferior (González *et al.* 2023). Por consiguiente, el basamento habría comenzado su exhumación entre el Triásico Inferior y Medio. Datos K-Ar variables entre 187 y 169 Ma (Varela *et al.* 2005, **Tabla 1**), son de enfriamiento de las rocas ígneas y metamórficas, además coherentes con un basamento que ya estaría exhumado, por lo menos, para el Jurásico Inferior.

6.1.6. Orogénesis Andina: la Falla Río Chico es la estructura frontal principal de la faja plegada y corrida Andina de la Precordillera Nordpatagónica rionegrina (Giacosa *et al.* 2022). Esta falla y las estructuras menores asociadas afectan a todas las estructuras previas y pertenecen al evento tectono-metamórfico D₄-M₄ (**Tabla 3**). Se habría formado por reactivación de estructuras de cizalla dúctil Gondwánicas (García-Sansegundo *et al.* 2008). La

falla Río Chico es la responsable de la elevación de su bloque occidental, entre los cañadones Chacay Huarruca y La Angostura, y del afloramiento del basamento durante el Terciario. Según [Giacosa y Heredia \(2004\)](#), la falla está vinculada en su bloque occidental con un antiforme pasivo (pliegue abierto F₄, [Tabla 3](#)) del basamento, que está en contacto tectónico por el este con la sucesión sin-orogénica de la Formación Collón Curá del Mioceno.

La actividad tectónica de la falla Río Chico se puede acotar temporalmente de manera relativa mediante la edad de las estructuras de rumbo “NO-SE”, las cuales estuvieron activas durante el Mesozoico y al menos se habrían iniciado en el Jurásico. Estas fallas son las que configuran el antepaís fragmentado patagónico ([Echaurren et al. 2016](#)). Además, la falla está cubierta por los flujos lávicos de basaltos de la meseta de Chenqueniyeu, pertenecientes a la Formación Campana ([González et al. 2023](#)) y tienen una edad aproximadamente 5-6 Ma ([Haller et al. 2009](#)). Las rocas más antiguas afectadas por esta falla pertenecen a la Formación Collón Curá con edad de ~10,7 Ma ([González et al. 2023](#), y sus referencias). Por lo tanto, la actividad de la falla y su cataclasis asociada (M₄), queda comprendida entre c. 11-5 Ma, lo que corresponde al Mioceno superior o cerca del límite Mioceno-Plioceno ([Giacosa y Heredia 2004](#)).

Tabla 3. Secuencia de fases de deformación y metamorfismo del basamento metamórfico e ígneo entre los cañadones de Chacay Huarruca y La Angostura, al oeste de Río Chico, basado en antecedentes y datos propios.

ESTRUCTURA		METAMORFISMO		EDAD (Ma)	
OROGÉNESIS ANDINA ~NO-SE	Falla Río Chico, pliegues F ₄ y fallas inversas de alto ángulo asociadas (D ₄).	M ₄ : metamorfismo dinámico asociado a cataclasis		165-150	
Exhumación regional del basamento				¿187±6 – 169±5?	
OROGÉNESIS GONDWÁNICA	cizalla dúctil NO-SE	S ₁ foliación y L ₁ lineación miloníticas en Tonalita Túnel (D ₁). Pliegues F ₃ en la caja metamórfica y esquistosidad de crenulación S ₃ (D ₃).	M ₁ Tonalita Túnel: metamorfismo local dinámico, f. esquistos verdes (clorita). M ₃ caja: metamorfismo regional, facies esquistos verdes (clorita).	262±6 - 250±16	
	magmatismo	Intrusión Tonalita Túnel, post-S ₁ -S ₂		295±2, 286±13	
	fábrica penetrativa NNO-SSE	Inyección sin-S ₂ de láminas graníticas; formación de migmatitas.			302±39
		S ₂ esquistosidad de plano axial, lineación de estiramiento L ₂ y pliegues apretados F ₂ (D ₂).	M ₂ : clímax P-T del metamorfismo prógrado, facies anfibolita de P intermedia (granate-sillimanita).		entre 440 y 302±39
		Emplazamiento de diques granítico-pegmatíticos			
S ₁ esquistosidad de plano axial y pliegues isoclinales F ₁ (D ₁).	M ₁ : metamorfismo regional prógrado en facies esquistos verdes (biotita).				
Sucesión alternante de grauvacas, pelitas y rocas volcánicas intermedias-ácidas: bandeamiento composicional S ₀ relíctico				máxima de sedimentación c. 440	

6.2. Ambiente tectónico y correlación regional

Desde el punto de vista tectónico para el Paleozoico superior, la construcción del orógeno Gondwánico en Patagonia ha sido tema de debate en la última década, sin alcanzarse aún un consenso general. Del análisis bibliográfico surge que los procesos geológicos de la orogénesis Gondwánica estarían relacionados a dos esquemas tectónicos contrastantes, uno colisional (Ramos 2008, Pankhurst *et al.* 2006) y otro acrecional (Oriolo *et al.* 2019, 2021, Marcos *et al.* 2020, González y Giacosa 2022). Si bien cada propuesta tiene sus particularidades, en líneas generales en el primero, el orógeno se formó por la colisión continental del terreno Patagonia contra el margen sudoeste de Gondwana. En el otro, la formación del orógeno se debería a la acreción de cuencas periféricas (ante-arco, retro-arco) o pequeños terrenos para-autóctonos contra dicho margen. En este TFG se prefiere explorar la propuesta acrecional porque involucra, como se verá a continuación, la incorporación al margen continental Gondwánico de la cuenca donde se depositaron los protolitos del Complejo Metamórfico Comallo. La subducción involucrada habría sido continua y prolongada en el tiempo, con fluctuaciones recurrentes del ángulo de la placa oceánica subductada y sin involucrar el cierre de un océano entre dos masas continentales, ni la colisión final de tipo continente-continente (p. ej., González y Giacosa 2022). Para ello se tuvo en cuenta el contexto tectónico y la evolución geodinámica del Orógeno Terra Australis (Cawood 2005), desarrollado a lo largo del borde oeste de Gondwana durante el Paleozoico.

Sobre la base de la historia y evolución geológica de los complejos Comallo y Mamil Choique descritas en la *Sección 6.1.*, se puede interpretar un esquema tectónico para el basamento de la zona de estudio, que está relacionado con la formación del Orógeno Gondwánico durante el Paleozoico medio-superior, a la latitud de 41-42°S (Fig. 13).

En la Precordillera Nordpatagónica y región centro-sur del Macizo Nordpatagónico, la sedimentación silúrica de los protolitos del Complejo Metamórfico Comallo, y de otros complejos de bajo a alto grado siluro-devónicos asociados (El Maitén, La Potranca, Lagunita Salada y Cáceres; formaciones Cushamen, Esquel y Arroyo Pescado), se habría producido en el lapso 440-390 Ma (Llando-veriano-Eifeliano), según los análisis U-Pb de los circones detríticos (ver González *et al.* 2023 y las referencias allí citadas). Por tener intercalaciones de rocas volcánicas, la cuenca del Complejo Metamórfico Comallo es de tipo periférica a un arco magmático y relacionada a subducción en un margen continental activo (p. ej., López de Luchi *et al.* 2002). La zona de subducción estuvo sometida a extensión en el trasarco, y la

formación del espacio de acomodación de la cuenca volcano-sedimentaria es de inter-arco o bien de retro-arco (Fig. 13 A). En esta etapa hay desacople entre las placas cabalgante y subductada y el orógeno está en modo “retroceso” o *retreating* (p. ej., Collins 2002, Cawood *et al.* 2009, Oriolo *et al.* 2021).

Luego, a partir del Devónico superior-Carbonífero inferior, por efecto de la disminución del ángulo de subducción o de *roll-back* positivo de la placa oceánica subductada, comienza una etapa compresiva que produce el cierre de la cuenca, la deformación dúctil y el metamorfismo regional de los protolitos del Complejo Metamórfico Comallo. Se produce el clímax tectono-térmico con formación de la fábrica penetrativa NO-SE en las rocas metamórficas de alto grado, y la anatexis en etapas tardías (c. 302 Ma, Fig. 13 B). El arco magmático fue quiescente en la zona axial y pudo haber migrado hacia el interior continental, cambiando a una posición más alejada de la trinchera (p. ej., Yoya *et al.* 2023). Esta es la etapa principal de la orogénesis Gondwánica en Patagonia, donde hubo mayor acople entre las placas cabalgante y subductada y el orógeno funcionó en modo “avance” o *advancing* (Cawood *et al.* 2009, Oriolo *et al.* 2021).

A partir del Pérmico y debido posiblemente a otro *roll-back* pero negativo de la placa oceánica subductada, se produce una nueva etapa de extensión que abrió paso al emplazamiento del magmatismo del Complejo Plutónico Mamil Choique. El arco magmático pudo cambiar el eje y desplazarse hacia el este, más alejado de la nueva trinchera, y superimponerse a las rocas ya deformadas y metamorfizadas del Complejo Metamórfico Comallo (Fig. 13 B). El magmatismo asociado a la Tonalita Túnel (295-286 Ma) fue caracterizado como calcoalcalino normal, preferentemente per-aluminoso y de tipo I, relacionado con un arco magmático desarrollado sobre el margen continental proto-Andino de Gondwana (Cerredo y López de Luchi 1998, Varela *et al.* 2015).

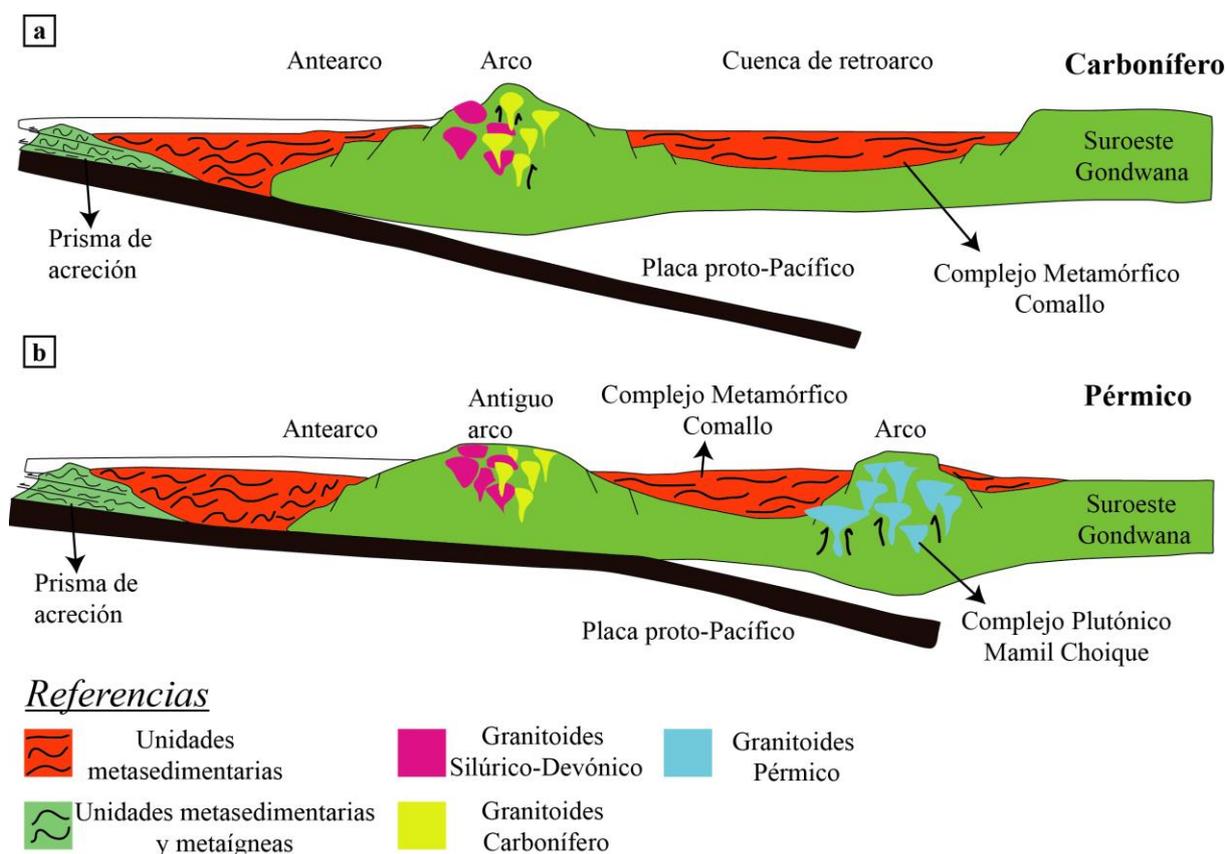


Figura 13. Esquema de la configuración tectónica del borde suroeste de Gondwana en el Paleozoico superior de la zona de estudio. **A.** Subducción durante el ciclo Gondwánico en el Carbonífero Temprano. **B.** Esquema de acreción del Complejo Metamórfico Comallo durante el Pérmico.

El Complejo Plutónico Mamil Choique de la zona de estudio y alrededores, fue incluido dentro de los afloramientos de rocas ígneas del Ciclo Eruptivo Gondwánico (Neopaleozoico-Triásico Medio), distribuidos entre el Macizo Nordpatagónico centro-sur y la Precordillera Nordpatagónica de Río Negro y Chubut (González y Giacosa 2022, González *et al.* 2023). A este grupo corresponden la Granodiorita Laguna del Toro, la Formación Mamil Choique, el Complejo Plutónico Sierra de Taquetrén y varios cuerpos menores. Los contactos netos con las rocas de caja indican que son cuerpos tardío- a post-orogénicos que intruyen en forma discordante la fábrica de las rocas metamórficas. O sea, los cuerpos se emplazaron con posterioridad a la etapa principal de deformación y metamorfismo regional. El rango de edades de estas rocas está comprendido dentro del magmatismo Choiyoi (p. ej., Sato *et al.* 2015), si bien las edades de cristalización magmática en Patagonia son ligeramente anteriores a los cuerpos más antiguos de la Cordillera Frontal (González y Giacosa 2022).

Así implantado, el Orógeno Gondwánico tuvo continuidad a lo largo del margen sudoeste de Gondwana desde la Patagonia hasta la región centro-oeste de Argentina, donde sus rocas están bien representadas en la Cordillera Frontal (Varela *et al.* 2005, 2015). Durante el ciclo Gondwánico, el borde continental proto-Andino de Patagonia registra el engrosamiento cortical vertical, causado por el apilamiento tectónico de escamas de basamento ígneo-metamórfico del Paleozoico inferior-medio, sumado a la acreción lateral de cuencas sedimentarias periféricas/terrenos para-autóctonos, y la adición del profuso magmatismo del Ciclo Eruptivo Gondwánico (González y Giacosa 2022, Oriolo *et al.* 2021).

Como continuación de la etapa principal, se registra una post-orogénica de deformación y metamorfismo que es diacrónica regionalmente y afectó a algunos plutones y su caja metamórfica. Además, fueron disímiles los niveles corticales-estructurales involucrados. De norte a sur, en la Cordillera Frontal y Bloque de San Rafael, se encuentra la Fase Orogénica San Rafael (Caminos y Azcuy 1996), cuya deformación es predominantemente frágil y sin metamorfismo. Sus cuencas sedimentarias interrumpieron su evolución al ser deformadas por dicha fase, con formación de pliegues y corrimientos. Como consecuencia de ello se produjo el ascenso de esta región que culminó con una superficie de erosión que abarcó casi toda la Cordillera Frontal (Llambías *et al.* 1993). Hacia el este y sur, la mayor parte de la deformación Neopaleozoica en La Pampa y Patagonia es frágil-dúctil o dúctil y con metamorfismo prógrado que alcanzó la facies anfibolita baja (p. ej., Llambías *et al.* 2002). Esta etapa tardía a post-orogénica en Patagonia es de desaceleración de la deformación y es el germen para la relajación subsecuente del orógeno Gondwánico, que concluirá en su colapso térmico extensional, llevará a la exhumación cortical episódica y diacrónica de los bloques de basamento y el afloramiento definitivo en superficie.

Ya a partir del Triásico Superior-Jurásico Inferior, la migración del arco magmático hacia el oeste, trajo aparejado la formación de la cuenca Neuquina en el retro-arco, mientras que en la región del antepaís, el basamento ígneo-metamórfico Gondwánico se vio involucrado en su exhumación en la región de la Precordillera Nordpatagónica, y fue cubierto en discordancia angular por secuencias sedimentarias y volcánicas meso-cenozoicas. Finalmente, ya hacia el Jurásico Medio-Superior comenzó a funcionar a pleno la geodinámica Andina, con el eje de su arco magmático más o menos en la posición actual y los sistemas de faja plegada y corrida comprensiva en el tras-arco. Esta configuración tectónica perdura hasta el presente y ha sido la responsable de retrabajar las rocas ígneo-metamórficas y estructuras formadas durante el ciclo Gondwánico en la zona de estudio.

7.- CONCLUSIONES

De acuerdo a los trabajos de campo y gabinete-laboratorio realizados en el basamento ígneo-metamórfico a lo largo del cañadón Chacay Huarruca, al oeste de la localidad de Rio Chico, se determinaron las características geológicas de las unidades y los procesos de metamorfismo, deformación y magmatismo, asignados al ciclo Gondwánico.

El Complejo Metamórfico Comallo está compuesto por esquistos cuarzo micáceos, paragneises y migmatitas. Los esquistos predominan aguas arribas del cañadón, mientras que los paragneises y migmatitas predominan sobre su desembocadura con el rio Chico y localidad homónima. Por su parte, el Complejo Plutónico Mamil Choique está representado por la Tonalita Túnel, tiene una composición cuarzo diorítica a tonalítica con biotita y hornblenda-biotita, aflorando sobre el corte de las vías del ferrocarril.

El relevamiento geológico-estructural permitió reconstruir la estructura interna del basamento, caracterizada por cuatro episodios de deformacionales (DE₁ a DE₄). DE₁ fue reconocida microscópicamente en el interior de porfiroblastos de granate en el cañadón La Angostura, y está asociada pliegues isoclinales a apretados y a metamorfismo regional (M₁) en facies esquistos verdes. DE₂ repliega la fábrica DE₁-M₁ con pliegues apretados y se relaciona a un metamorfismo regional (M₂), prógrado desde M₁, que representó el clímax de P-T en la zona de estudio. Se asocia un aumento progresivo entre M₁ y M₂ desde el norte (Chacay Huarruca), en facies anfíbolita grado granate, hacia el sur (La Angostura) en grado sillimanita, determinado en las asociaciones minerales metamórficas de los esquistos y paragneises. Hacia el final del episodio DE₂ se registra la anatexis de estas rocas meta-pelíticas y la formación de migmatitas. Luego ocurrió la intrusión de la Tonalita Túnel con carácter post-orogénico (post DE₂-M₂). A continuación, todo el basamento, la tonalita y sus rocas de caja metamórfica, fue afectado por fajas de cizalla dúctil DE₃ relacionadas a metamorfismo dinamo térmico M₃ en facies esquistos verdes grado clorita. Por último, el episodio de deformación DE₄ y su cataclasis, está asociado a la falla Rio Chico que colocó al basamento ígneo-metamórfico en contacto tectónico con unidades más jóvenes del Cenozoico.

Sobre la base de la historia y evolución geológica de los complejos Comallo y Mamil Choique de la zona de estudio, además teniendo en cuenta las edades radiométricas aportadas por los antecedentes, el esquema geodinámico para el basamento estaría relacionado con la formación del Orógeno Gondwánico durante el Paleozoico medio-superior. La formación del

orógeno, a la latitud de 41-42°S, se debería a la acreción contra el margen continental de Gondwana, de la cuenca periférica (ante-arco, retro-arco) donde se depositaron los protolitos sedimentario y volcánico del Complejo Metamórfico Comallo. La subducción involucrada habría sido continua y prolongada en el tiempo y sin involucrar el cierre de un océano entre dos masas continentales de grandes proporciones. Finalmente, como continuación de etapas previas, las rocas neopaleozoicas fueron retrabajadas por el ciclo orogénico Andino.

LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Caminos, R y Azuy, C. 1996. Fases diacrónicas neopaleozoicas. En: El Sistema Permico en la República Argentina y en la República Oriental del Uruguay, Archangelsky, S (ed). Academia nacional de Ciencias, Córdoba. p. 255-265.
- Cawood, P. 2005. Terra Australis Orogen: Rodinia breakup and development of the Pacific and Iapetus margins of Gondwana during the Neoproterozoic and Paleozoic. *Earth-Science Reviews* 69: 249-279.
- Cawood, P. Kröner, A. Collins, W. Kusky, T. Mooney, W y Windley, B. 2009. Accretionary orogens through Earth history. Geological Society of London, Special Publication 318: 1-36.
- Cerrodo, M. y López de Luchi, M. 1998. Mamil Choique Granitoids, southwestern North Patagonian Massif, Argentina: magmatism and metamorphism associated with a polyphasic evolution. *Journal of South American Earth Sciences* 11: 499-515.
- Cerrodo, M. y López de Luchi, M. 1999. Metavolcanics rocks within the metamorphic series of Cushamen Formation, North Patagonian Massif. XV Congreso Geológico Argentino, Actas (2): 137- 139.
- Collins, W. 2002. Nature of extensional accretionary orogens. *Tectonics* 21 (4), 1024: 1-12.
- Dalla Salda, L. Varela, R. Cingolani, C. y Aragón, E. 1994. The Rio Chico Paleozoic crystalline complex and the evolution of Northern Patagonia. *Journal of South American Earth Sciences*, 7(3-4), 377-386.
- Duhart, P. Haller, M. y Hervé, F. 2002. Diamictitas como parte del protolito de las metamorfitas de la Formación Cushamen en Río Chico, Provincias de Río Negro y Chubut, Argentina: XV Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 97–100.
- Echaurren, A. Folguera A. Gianni, M. Orts, D. Tassara, A. Encinas, A. Gimenez, M. y Valencia, V. 2016. Tectonic evolution of the North Patagonian Andes (41°-44° S) through recognition of syntentonic strata. *Tectonophysics* 677-678: 99-114.
- Fossen, H. Cavalcante, G. Pinheiro, R. y Archanjo, C. 2019. Deformation – Progressive or multiphase?. *Journal of Structural Geology*, 125, 82-99.

- García-Sansegundo, J. Cuesta, A. Farias, P. Gallastegui, G. Heredia, N. y Giacosa, R. 2008. La estructura de la región de Rio Chico (Macizo Norpatagónico, Argentina) en: Actas del XVII Congreso Geológico Argentino: Buenos Aires 67-68.
- Giacosa, R. y Heredia, N. 2004. Structure of the North Patagonian thick-skinned fold-and-thrust belt, southern central Andes, Argentina. (41° - 42° S). *Journal of South American Earth Sciences* 18:61-72.
- Giacosa, R. 2022. Relatorio de la Geología y Recursos Naturales de la provincia del Chubut. XXI Congreso Geológico Argentino. Puerto Madryn, Chubut, Argentina. p. 1701.
- González, P. Coluccia, A. y Franchi, M. 2023. Hoja Geológica 4169-III Ingeniero Jacobacci, provincia de Rio Negro. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina.
- González, P. y Giacosa, R. 2022. Rocas metamórficas e ígneas del Paleozoico. En: Giacosa, R. (ed), Relatorio de la Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Chubut, 47-104. XXI Congreso Geológico Argentino, Puerto Madryn, Chubut.
- Hervé, F. Haller, M. Duhart, P. y Fanning, M. 2005. SHRIMP U-Pb ages of detrital zircons from Cushamen and Esquel Formations, North Patagonian Massif, Argentina: geological implications. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 309-314. La Plata.
- Hervé, F. Calderón, M. Fanning, C. Pankhurst, R. Rapela, C. y Quezada, P. 2018. The country rocks of Devonian magmatism in the North Patagonian Massif and Chaitenia: *Andean Geology*, v. 45, p. 301–317.
- Linares, E. Haller, M. Osters, H. Cagnoni, M. y Galante, G. 1997. Radiometric ages of the crystalline basement of the Rio Chico region, Ñorquinco departamento, Rio Negro province, Argentina. *South American Symposium on Isotope Geology – Brazil*. June 1997.
- Llambías, E. Kleiman, L y Salvarredi, J. 1993. El magmatismo Gondwánico. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos. En: *Geología y Recursos Naturales de Mendoza*. Ramos, V (ed), Relatorio I 6: 53-64.
- Llambías, E. Varela, R. Basei, M. y Sato, A. 2002. Deformación y metamorfismo neopaleozoico en Yaminué, Macizo Norpatagónico (40° 50' S, 67° 40' O): su relación con la fase orogénica San Rafael y el arco de los Gondwánides. XV Congreso Geológico Argentino. (El Calafate, Santa Cruz). Actas 3: 117-122.

- López de Luchi, M. Oстера, H. Cagnoni, M. Cerredo, M. y Linares, E. 2002. Geodynamic setting for the western border of the North Patagonian Massif: Cushamen Formation at Río Chico, Río Negro. 15° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 210-216. Buenos Aires.
- López de Luchi, M. Cerredo, M. Wemmer, K. y Pawling, S. 2005. Cooling and Nd model ages of the Devonian to Late Paleozoic-Triassic units of the SW corner of the North Patagonian Massif. XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata, Actas 1:273-278.
- López de Luchi, M. Cerredo, M. y Wemmer, K. 2006. Time constraints for the tectonic evolution of the SW corner of the North Patagonian Massif. 5° South America Symposium Isotope Geology, Actas: 114-118, Punta del Este.
- López de Luchi, M. y Cerredo, M. 2008. Geochemistry of the Mamil Choique granitoids at Río Chico, Río Negro, Argentina: Late Paleozoic crustal melting in the North Patagonian Massif. *Journal of South American Earth Sciences* 25: 526-546.
- López de Luchi, M. Cerredo, M. y Martínez Dopico, C. 2010. Lithology and age of the Cushamen Formation. Devonian magmatism in the western North Patagonian Massif, Argentina. *Bolletino di Geofisica teorica ed applicata An: International Journal of Earth Sciences*, v. 51, p. 71-74.
- Marcos, P. Gregori, D. Benedini, L. Barros, M. Strazzere, L. y Pavón Pivetta, C. 2018. Pennsylvanian glacial marine sedimentation in the Cushamen Formation, western North Patagonian Massif. *Geoscience Frontiers*, v. 9, p. 485–504.
- Marcos, P. Pavón Pivetta, C. Benedini, L. Gregori, D. Gerales, M. Scivetti, N. Barros, M. Varela, M y Costa dos Santos, A. 2020. Late Paleozoic geodynamic evolution of the western North Patagonian Massif and its tectonic context along the southwestern Gondwana margin. *Lithos*. 376-377.
- Oriolo, S. Schulz, B. González, P. Bechis, F. Olaizola, E. Krause, J. Renda, E y Vizán, H. 2019. The late Paleozoic tectonometamorphic evolution of Patagonia revisited: insights from the pressure-temperature-deformation-time (P-T-D-t) path of the Gondwanide basement of the north Patagonian Cordillera (Argentina). *Tectonics* 38: 2378-2400.
- Oriolo, S. Schulz, B. Geuna, S. González, P. Otamendi, J. Slama, S. Druguet, E y Siegesmund, S. 2021. Early Paleozoic accretionary orogens along the Western Gondwana margin. *Geoscience Frontiers* 12: 109-130.

- Pankhurst, R. Rapela, C. Fanning, C. y Márquez, M. 2006. Gondwanide continental collision and the origin of Patagonia. *Earth Science Reviews* 76: 235-257.
- Ramos, V. 2008. Patagonia: a Paleozoic continent adrift? *Journal of South American Earth Sciences*. 26: 235-251.
- Ravazzoli, I. y Sesana, F. 1977. Descripción geológica de la Hoja 41 c, Río Chico. Provincia de Río Negro. Carta geológica – económica de la República Argentina. Escala 1:200.000. Servicio Geológico Nacional. Buenos Aires. Boletín 148, p. 82.
- Renda, E. Alvarez, D. Prezzi, C. Oriolo, S. y Vizán, H. 2019. Inherited basement structures and their influence in foreland evolution: A case study in Central Patagonia, Argentina. *Tectonophysics*. 772, p. 228-232.
- Sato, A. Llambias, E. Basei, M y Castro, C. 2015. Three stages in the Late Paleozoic to Triassic magmatism of southwestern Gondwana and the relationships with the volcanogenic events in coeval basins. *Journal of South American Earth Sciences* 63: 48-69.
- Serra-Varela, S. Heredia, N. Giacosa, R. García-Sanseguendo, J. y Farías, P. 2022. Review of the polyorogenic Palaeozoic basement of the Argentinean North Patagonian Andes: age, correlations, tectonostratigraphic interpretation and geodynamic evolution. *International Geology Review*. 64 (1), 72-95 pp.
- Varela, R. Basei, M. Cingolani, C. y Passarelli, C. 2005. El basamento cristalino de los Andes Norpatagónicos en Argentina: geocronología e interpretación tectónica. *Revista Geológica de Chile* 32 (2), 167-187.
- Varela, R. Gregori, D. González, P. y Basei, M. 2015. Caracterización geoquímica del magmatismo de arco devónico y carbonífero-pérmico en el noroeste de Patagonia, Argentina: *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, v. 72, p. 419–432.
- von Gosen, W. 2009. Stages of Late Palaeozoic deformation and intrusive activity in the western part of the North Patagonian Massif (southern Argentina) and their geotectonic implications: *Geological Magazine*, v. 146, p. 48–71.
- Whitney, D. y Evans, B. 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, v. 95, p. 185 – 187.

Yoya, M. Oriolo, S. Gonzalez, P. Restelli, F. Renda, E. Bechis, F. Newbery, J. Marcos, P y Olaizola, E. 2023. The birth of the Gondwanide arc: Insights into Carboniferous magmatism of the North Patagonian Andes (Argentina). *Journal of South American Earth Sciences*. Volume 123, 104225.

APÉNDICE 1

Descripción mineralógica-textural y micro-tectónica de secciones delgadas

1.- CHACAY HUARRUCA

1.1. Complejo Metamórfico Comallo

AB-162-A: la muestra tiene una composición mineralógica que incluye cuarzo con extinción ondulosa, plagioclasas con maclas polisintéticas, biotita y muscovita reemplazadas por alteraciones a clorita + prehnita. Los cristales de granate presentan una alta cantidad de fracturas. La biotita exhibe una tonalidad más rojiza que AB 70-2. Además, se identifican minerales accesorios como monacita y circones detríticos de hábito ovoide con aristas redondeadas. La descripción corresponde a un paragneis extraído de los alrededores del poblado de Río Chico

AB-162-B (41°42'58" S – 70°29'01" O): en la sección delgada se observan cristales de cuarzo con extinción ondulosa, plagioclasas y feldespatos potásicos, representados por las maclas polisintéticas y de tartán, respectivamente. También se identifican cristales de muscovita y biotita, este último alterado a clorita. Se identifica una argilización de grano fino que, por lo general, afecta a las plagioclasas y como relleno de fracturas en los granates, como mineral accesorio se observa la presencia de circón. La muestra pertenece a un ortogneis (leucogranito), contiene datación U-Pb en circones de 302 Ma ([Varela et al. 2005](#)).

AB-162-C: la muestra presenta cuarzo, un mayor porcentaje de feldespatos en comparación con AB-162-B, exhiben maclas polisintéticas y de tartán. Se observan cristales de muscovita y biotita con cloritización. Presencia de cristales de prehnita que contienen colores de interferencia altos, Los cristales de granate muestran fracturas. Los cristales de feldespatos tienen fracturas que están rellenas por un material muy fino, posiblemente sericita. La muestra pertenece a un ortogneis (leucogranito).

1.2. Complejo Plutónico Mamil Choique

AB-70 (41°42'02" S – 70°29'07" O): en la sección delgada se observa cuarzo con extinción ondulante, plagioclasas con maclas de Carlsbad y polisintéticas. Piroxenos (posiblemente diópsido), biotita y anfíbol que se encuentran alterados a clorita. Contiene cristales de allanita que se encuentran rodeados de epidoto pistacítico. Como mineral accesorio se encuentra la titanita. Los cristales de prehnita y clorita fibrosa radial se asocian como reemplazo de los mafitos. La muestra pertenece a una diorita, contiene datación K-Ar en anfíbol de 250 ± 16 Ma ([Varela et al. 2005](#)).

AB-70-2: la petrografía de la muestra es similar a la de AB-70. El cuarzo con extinción ondulante, plagioclasas con maclas polisintéticas, biotita, piroxenos y anfíboles (hornblenda reconocida por su doble exfoliación que comúnmente presentan estos minerales). También se observan minerales como titanita, allanita, epidoto. Este último se encuentra junto con la biotita reemplazada por clorita. Contiene una venilla rellena por sericita de grano fino.

AB-163-A: en la sección delgada se observan cristales de cuarzo con extinción ondulante, plagioclasas con maclas polisintéticas, cristales micáceos de alta birrefringencia alterados a clorita y prehnita, piroxeno, cristales de epidoto de color verdoso en NP, cristal de titanita con tonalidades marrones tanto con NP y NX. Además, se identifica un cristal de allanita rodeado por epidoto y minerales opacos de formas subhedrales y alargados. La muestra pertenece a una tonalita milonitizada con foliación milonítica.

AB-163-B: la sección contiene cristales de cuarzo, plagioclasas con maclas polisintéticas y de Carlsbad, piroxeno/anfíbol, biotita y epidoto (mayor porcentaje que en AB-163-A). La biotita y epidoto se encuentran alineados definiendo la foliación de la roca. Se identifica un cristal euedral prismático con alto relieve y colores de interferencia altos, corresponde a una prehnita que reemplaza a la biotita ígnea. Cristales de titanita se disponen alrededor de los mafitos ígneos primarios. También se observan minerales opacos con formas anhedrales. La roca se clasifica como una tonalita milonitizada.

2.- LA ANGOSTURA

2.1. Complejo Metamórfico Comallo

AB-67-A: la sección delgada muestra un esquisto con cristales deformados de cuarzo, plagioclasas y feldespatos potásicos definidos por las maclas polisintéticas y en tartán, respectivamente. Además, se observan cristales de biotita-muscovita que definen la esquistosidad de la roca.

AB-67-B (41°45'28" S – 70°31'44" O): la sección delgada muestra un esquisto con la misma composición mineralógica y textural similar a AB-67-A con presencia de Qz, Plg, Bt, Ms, Grt, Prh y Chl, con un mayor contenido en cristales de muscovita. Hay reemplazo de biotita y granate por clorita retrógrada. La prehnita también reemplaza a las biotitas como parte del metamorfismo retrógrado. Los minerales opacos muestran una forma estirada. La muestra posee edad K-Ar en biotita de 169 ± 5 Ma (Varela *et al.* 2005).

AB-68 (41°45'28" S – 70°29'46" O): la sección delgada muestra un esquistos con similar composición que AB-67-A y B con presencia de cristales de cuarzo con extinción ondulosa, plagioclasas con maclas polisintéticas y feldespatos potásicos con maclas en tartán. Se observan cristales de biotita y muscovita marcando dos esquistosidades distintas. Clorita y prehnita como reemplazo en los bordes de los cristales de biotita. La muestra contiene circones subredondeados posiblemente de origen detrítico. Posee datación K-Ar en una biotita de 187 ± 6 Ma (Varela *et al.* 2005).

2.2. Complejo Plutónico Mamil Choique

AB-69 (41°45'16" S – 70°29'26" O): la sección delgada presenta cristales de cuarzo fracturados en gran cantidad, cristales de plagioclasas con maclas polisintéticas, cristales de biotita y muscovita. Se observan epidotos de forma tabular con colores de interferencia altos y alto relieve. Contiene minerales opacos tabulares y con micro-boudinage. La muestra pertenece a una granodiorita con datación K-Ar en biotita 174 ± 5 Ma (Varela *et al.* 2005).

AB-69-2: la sección delgada contiene cristales de cuarzo con extinción ondulante, las plagioclasas se caracterizan por maclas polisintéticas, mientras que los cristales micáceos (biotita, muscovita) muestran una leve orientación. Se observa prehnita como reemplazo de la biotita. Además, se identifican cristales de un mafito con forma escamosa, alto relieve y color de interferencia azul, que indican la presencia de clorita. Estos minerales están presentes en la muestra AB-69. También se observan epidotos con formas alargadas prismáticas. La muestra pertenece a una granodiorita.