



*Facultad de Ingeniería
Departamento de Geología y Petróleo
Licenciatura en Ciencias Geológicas*

Trabajo Final de Licenciatura presentado en la Universidad Nacional del Comahue
como parte de los requisitos para obtener el título de Licenciado en Ciencias Geológicas

**GEOLOGÍA DE LA CANTERA DE PIROFILITA “AZUL AUQUÉN”-
VARVARCÓ-PROVINCIA DEL NEUQUÉN**

Autor: Carlos Ariel Marticorena
Director: Lic. Juan C. Danieli
Co-Directora: Dra. G. Susana de la Puente

Neuquén
Año 2020



Resumen

El presente trabajo final de licenciatura está centrado en el estudio y caracterización geológica de los afloramientos de la cantera de pirofilita “Azul Auquén”, ubicada en el curso medio del arroyo El Auque, en los alrededores de Varvarcó, noroeste de Neuquén. En la actualidad la pirofilita, un silicato de aluminio hidratado, se explota en forma local para diversos usos industriales principalmente como roca ornamental y de revestimiento pero además como material refractario y aditivo en la elaboración de pinturas látex y antióxidos. Los análisis realizados, incluyendo los petrológicos y estructurales, permitieron profundizar en la caracterización geológica, mineralógica y la estimación de reservas mineras de los depósitos de pirofilita dentro del ámbito de la pertenencia minera. Se realizaron y correlacionaron dos perfiles estratigráficos para identificar la litología presente, la que consiste en diez litotipos compuestos principalmente por depósitos ignimbríticos y vulcanitas andesíticas con diversos grados de alteración hidrotermal y variable concentración de pirofilita e influencia de metamorfismo. Tres de los litotipos descriptos constituyen niveles explotables de interés (Nivel Azul Auquén I, Nivel Azul Auquén II y Pirofilita verde manzana). Los esfuerzos principales que condicionaron la deformación estructural tienen un sentido NE-SO. Los factores que controlan a la mineralización de pirofilita formando vías de acceso para el fluido mineralizante son del tipo estructural, vinculados a fracturas asociadas a plegamiento, así como estratigráficos constituyendo los contactos interestratales y planos de debilidad. Además, se elaboró un mapa geológico de los afloramientos en el sector de explotación de la cantera y sectores aledaños dentro de la pertenencia minera para definir el potencial del recurso geológico disponible. Como resultado se agruparon los litotipos en tres bancos (A, B y C) que se clasifican según su contenido de pirofilita. De acuerdo a los resultados obtenidos en los análisis de campo, laboratorio y gabinete, se infiere un incremento de las reservas de mineral disponible en el área de explotación que podrían extender la vida útil de la cantera. El cálculo de reservas mineras obtenido según el método clásico de bloques da como resultado 7.751,25 toneladas para las Reservas Probadas y 23.253,75 toneladas para las Reservas Probables.

Palabras clave: pirofilita, litología, estructura, reservas minerales, Varvarcó, Cordillera del Viento.

Abstract

This work focuses on the geological study and characterization of the pyrophyllite outcrop of the “Azul Auquén” Quarry, which is located in the middle part of the El Auque Creek near the Varvarcó locality in northwestern Neuquén. The pyrophyllite is a hydrated aluminosilicate that is used mainly as ornamental rock and construction cladding as well as refractories and as an additive for the manufacture of latex paints and antioxidants. These

petrologic and structural analyses improve the characterization of the geology, mineralogy and mineral resource estimates of the pyrophyllite deposits in the mining area. Two stratigraphic sections have been made and correlated to identify the lithology. Ten lithotypes have been described. They are mainly composed of andesitic ignimbrites and volcanic rocks with different degrees of hydrothermal alteration, and pyrophyllite variable content, as well as metamorphic influence. Three of these lithotypes are at recommended levels for exploitation (*Azul Auquén I, Azul Auquén II y Pirofilita verde manzana*). The main stress that controlled the deformation in the area has a NE-SW trend. The factors that controlled the pyrophyllite mineralization, generating access paths to fluids, are structural which are related to faults associated to folding, and stratigraphic which are related to the layer contacts. A geological map has been created with outcrops of the exploitation plus surrounding sectors of the mining area defining the potential geological resource. The lithotypes have been grouped in three banks (A, B and C) according to their pyrophyllite content. Based on results from the field, laboratory and analyses, an increase of the available mineral reserves in the exploitation area is inferred, extending the useful life of the quarry. The mining reserve calculation obtained by the classic method of blocks is 7,751.25 tons in the Proved Reserves and 23,253.75 tons in the Probable Reserves.

Keywords: pyrophyllite, lithology, structure, mineral reserves, Varvarcó, Cordillera del Viento.

Agradecimientos y dedicatorias

En primer lugar, a mis padres y hermanos, que me acompañaron incondicionalmente durante toda la carrera universitaria, en los buenos momentos y en los no tan buenos. Me ayudaron económicamente durante este tiempo y me brindaron los mejores consejos para nunca bajar los brazos.

Al resto de mi familia, abuelos y tíos que se interesaron en mí durante toda esta etapa deseándome siempre lo mejor, en especial a mi abuelo Carlos que no está físicamente hoy, pero siempre me acompañó en estos años.

A mis directores, Juan Carlos Danieli y Susana de la Puente, por la dirección y desarrollo de este trabajo, por brindarme todos sus conocimientos, paciencia y apoyo incondicional, fueron personas esenciales y sobre todo de una gran humanidad.

A mis amigos de la infancia que siempre me empujaron a seguir adelante con mis estudios universitarios y me ayudaron en cada momento complicado de esta etapa.

A mis amigos de la universidad quienes me acompañaron a lo largo de todo este recorrido, personas con las cuales me llevo increíbles anécdotas, momentos de lucha y apoyo mutuo.

A todos y cada uno de los profesores por formarme no solo como profesional, sino también como persona. Particularmente, a Juan Carlos Danieli y Susana de la Puente, con quienes compartí y disfruté años de continuo aprendizaje en las cátedras de Geología Minera y Geología Argentina respectivamente.

A Ana María Casé, esposa de mi director Juan Carlos Danieli que junto a este último me brindaron enorme hospitalidad, me hospedaron en su casa y me trataron de un modo increíble.

A la empresa minera Azul Auquén S.A., por permitirme el ingreso a sus instalaciones, por brindarme alojamiento en la localidad de Varvarcó y por facilitarme la información preexistente, permitiendo así la realización del trabajo final en su pertenencia.

Al personal del Asentamiento Universitario Zapala (AUZa), en especial a Eduardo Canales, técnico a cargo del laboratorio, quien me explicó el correcto uso del equipamiento de trabajo y me brindó toda su ayuda.

A la Universidad Nacional del Comahue por permitirme a mí y a tantos otros soñadores llegar a ser profesionales con el mejor de los conocimientos y de manera gratuita.

Al Estado Nacional por brindarme el funcionamiento de instituciones como esta.

Gracias UNCo.

Índice

RESUMEN Y ABSTRACT	i
AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS	iii
CAPÍTULO I	6
I.1. Fundamentación del plan y objetivos.....	6
I.2. Metodología de trabajo.....	7
I.3. Ubicación de la zona de estudio	8
CAPÍTULO II	10
II.1. Marco geológico regional	10
II.2. Estratigrafía.....	11
II.3. Estructura	14
CAPÍTULO III	16
III.1. Mineralogía y clasificación	16
III.2. Génesis y yacimiento	18
III.3. Distribución temporal y geográfica. Características de los yacimientos	19
CAPÍTULO IV	21
IV.1. Principales usos de la pirofilita extraída en la cantera Azul Auquén S.A.....	21
IV.2. Litología y estratigrafía	23
IV.2.1. Ladera norte del arroyo El Auque.....	25
IV.2.2. Ladera sur del arroyo El Auque	30
IV.3. Distribución de las unidades observadas	34
CAPÍTULO V	36
V.1. Petrografía.....	36
V.1.1. Descripciones petrográficas	37
V.1.1.1. Muestra M1	37
V.1.1.2. Muestra M2	39
V.1.1.3. Muestra M3	40
V.1.1.4. Muestra M4	42
V.1.1.5. Muestra M5	43
V.1.1.6. Muestra M6:	44
V.1.1.7. Muestra M7	46

V.1.1.8. Muestra M8	48
CAPÍTULO VI	50
VI.1. Espectroscopía de Fluorescencia de Rayos X	50
VI.1.1. Resultados del análisis	51
VI.1.2. Interpretación de los resultados obtenidos	55
VI.2. Difracción de Rayos X	56
VI.2.1. Resultados del análisis	57
VI.2.2. Interpretación de los resultados	61
CAPÍTULO VII	62
VII.1. Controles estructurales	62
VII.2. Controles litológicos	70
VII.3. Interpretación de los datos obtenidos - Discusión	70
VII.4. Geología de la cantera	73
CAPÍTULO VIII	75
VIII.1. Cálculo de Reservas	75
VIII.1.1. Resultados obtenidos	78
VIII.1.1.1. Interpretación de los resultados obtenidos	82
CAPÍTULO IX	83
IX.1. Conclusiones	83
Bibliografía	85

CAPÍTULO I

I.1. Fundamentación del plan y objetivos

La pirofilita es un mineral de uso industrial que actualmente se presenta muy atractivo para la industria minera debido a la diversidad de aplicaciones que posee. En el noroeste de la provincia de Neuquén, en la parte occidental de la Cordillera del Viento, fueron descriptas las características geológicas y mineralógicas de los afloramientos de pirofilita del arroyo El Auque (Danieli *et al.*, 2002), cuya presencia es el resultado de la alteración hidrotermal (Zanettini, 2001; Casé *et al.*, 2004; Danieli *et al.*, 2011) que afectó a vulcanitas y rocas asociadas actualmente asignadas a la Formación Colomichicó (Zappettini y Dalponte, 2009; Zappettini *et al.*, 2018). El afloramiento se puede observar en ambas márgenes, en el curso medio del valle labrado por el mencionado arroyo.

La zona de estudio del presente trabajo y donde se encuentran estos depósitos, corresponde puntualmente a la cantera Azul Auquén S.A. donde se explota hace más de diez años esta roca con diferentes concentraciones del mineral para distintos usos. Hasta el momento los depósitos de pirofilita han sido mencionados y mapeados a lo largo del arroyo El Auque (JICA, 2001; Danieli *et al.*, 2002; Casé *et al.*, 2004; Herrador, 2005; Zappettini y Dalponte, 2009). Sin embargo, hasta el momento no han sido realizados estudios geológicos de detalle que caractericen al yacimiento en base a su explotación minera. Así, el objetivo general de este trabajo consistió en la caracterización litológica y estructural del yacimiento de pirofilita mediante la confección de mapas geológicos, uno de escala 1:5.000 para el área de explotación de la cantera y otro de escala 1:20.000 para el entorno que cubre la pertenencia minera (50 Ha), para definir el potencial del recurso geológico disponible. Como resultados de los objetivos específicos que incluyó el plan de trabajo, se elaboraron dos perfiles estratigráficos en los cortes naturales existentes con la correlación estratigráfica de los mismos; la descripción petrográfica, que incluye el estudio de secciones delgadas, para la caracterización de rocas aflorantes; y la caracterización química mediante técnicas de Rayos X (Espectroscopía de Fluorescencia de Rayos X y Difracción de Rayos X) con el objeto de definir en el área de explotación el tipo de mineralización y arcillas presentes; se interpretaron litologías y discontinuidades (plegamiento, fallas, diaclasas y planos de esquistosidad) que controlan la alteración y distribución de rocas y minerales de interés comercial.

Las tareas realizadas involucraron trabajos geológicos de gabinete, campo y laboratorio que se enmarcan en los requerimientos establecidos para constituir el presente trabajo final de la licenciatura.

I.2. Metodología de trabajo

El mapeo geológico del área de estudio se realizó en base al relevamiento geológico de campo, imágenes satelitales y cartografía disponible. Para el relevamiento geológico se tomaron mediciones con uso de brújula geológica, GPS y escala métrica. La elaboración de mapas digitales y columnas estratigráficas se realizaron con programas específicos de uso en geología (SedLog) y de modelado y diseño (CorelDRAW y AutoCAD). Las columnas estratigráficas exhiben, además del espesor de las capas (eje y), la granulometría correspondiente a cada litología (eje x). En cuanto al análisis de controles estructurales se utilizó el programa *Stereonet* para la elaboración de proyecciones estereográficas y diagramas de rosa que resumen de forma gráfica los datos obtenidos. Las herramientas e instrumentos necesarios para el desarrollo del trabajo de campo (brújula, GPS, etc.), bibliografía de base, imágenes satelitales y cartografía geológica fueron aportados por los directores del presente trabajo, así también como el financiamiento para realizar las distintas actividades propuestas.

La preparación de las secciones delgadas para estudios petrográficos se llevó a cabo en el Laboratorio de Petrocalcografía del Asentamiento Universitario Zapala (AUZA). Dichos estudios se realizaron con uso de microscopio petrocalcográfico (LEICA DM750P) del mismo laboratorio y con microscopio estereográfico binocular y microscopio petrográfico (BIOTRAZA XP-607 LPT) del aula de microscopía del Departamento de Geología y Petróleo de la Universidad Nacional del Comahue.

Los análisis de Espectroscopía por Fluorescencia de Rayos X (XRF) se realizaron en los Laboratorios de Análisis Químicos del AUZA. Para llevar a cabo estos últimos, se empleó un equipo dispersivo en energía (EDXRF) (Shimadzu EDX-800HS), con un rango de lectura del C (6) hasta el U (92). La pérdida por calcinación (PPC) fue realizada en horno mufla a 1000 °C durante 1 hora sobre el material molido y pasante tamiz A.S.T.M. N° 200.

Los datos utilizados de análisis de Difractometría de Rayos X (DRX) de las muestras evaluadas fueron realizados oportunamente en los laboratorios Centro de Tecnología de Minerales y Cerámica (CETMIC) de la ciudad de La Plata, empleando un difractómetro equipado con goniómetro (Phillips PW 3020), tubo de ánodo de cobre y filtro de níquel (Herrador, 2005). Los ensayos de trabajo se realizaron con una tensión de trabajo de 40 KV y una corriente de 20 mA de intensidad (Herrador, 2005).

Para la cuantificación de reservas mineras, se realizó el cálculo según el método clásico de bloques (Bustillo y López, 1997) elaborando secciones longitudinales y transversales, dividiendo al yacimiento en figuras geométricas (bloques) para luego calcular la mineralización dentro de éstas.

Las tareas de gabinete se realizaron en la Cátedra de Geología Minera de la Universidad Nacional del Comahue donde se dispuso de material para el diseño geológico.

I.3. Ubicación de la zona de estudio

Los afloramientos de pirofilita del arroyo El Auque en estudio se localizan en el noroeste de la Provincia de Neuquén (Fig. 1-A). Estos afloramientos se encuentran en las márgenes de un valle labrado por el mencionado arroyo, el cual está ubicado sobre la vertiente occidental de la Cordillera del Viento (Fig. 1-B). El área de estudio se encuentra distante a 10 km al norte de la localidad de Varvarcó (Fig. 1-B), en el Departamento Minas ($36^{\circ} 47' 18'' - 36^{\circ} 48' 14''$ Latitud Sur y $70^{\circ} 37' 23'' - 70^{\circ} 34' 30''$ Longitud Oeste).

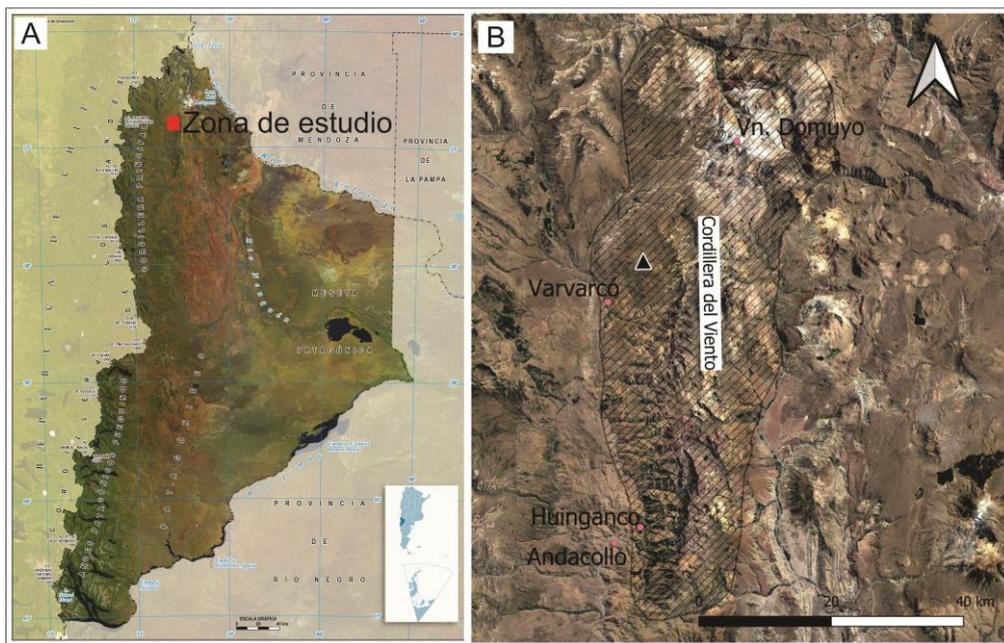


Figura 1: A: Ubicación de la provincia de Neuquén en la República Argentina detallando el área de estudio. B: Detalle de la Cordillera del Viento con las localidades geográficas principales de la zona (Imagen Google Earth, 2020).

Se accede al afloramiento, partiendo de la localidad de Varvarcó, transitando la Ruta Provincial N° 43 con dirección al Volcán Domuyo hasta alcanzar una huella minera que recorriendo la margen izquierda del arroyo El Auque permite arribar a la cantera Azul Auquén S.A. (Figs. 2 A-B) (Danieli *et al.*, 2011).

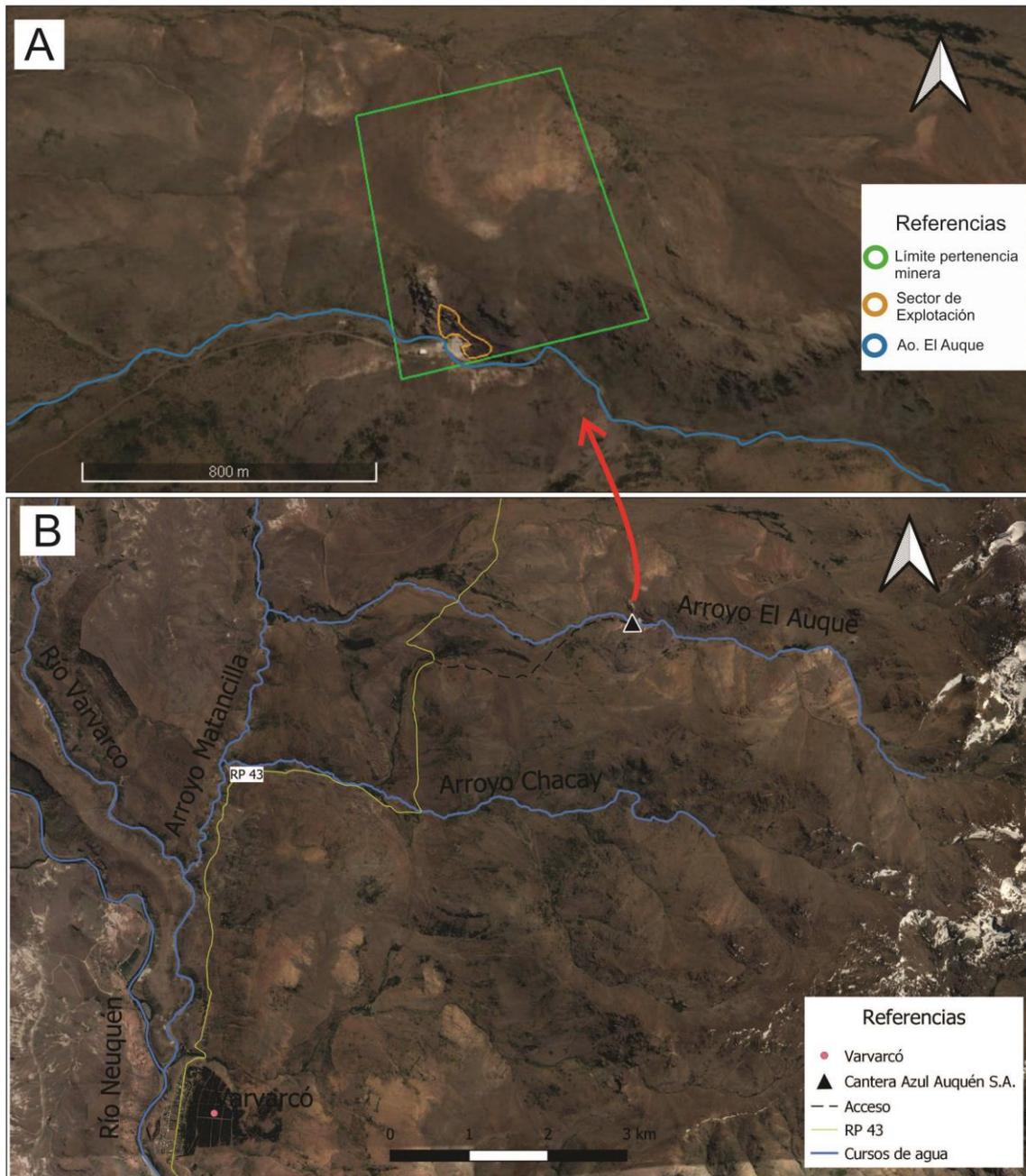


Figura 2: Imágenes satelitales (Google Earth, 2020). A: Imagen de detalle correspondiente a la cantera Azul Auquén S.A. mostrando límite de la pertenencia minera. B: Ubicación del área de estudio en el contexto local.

CAPÍTULO II

II.1. Marco geológico regional

El noroeste de la provincia de Neuquén, en las proximidades de la localidad de Varvarcó, expone parte del basamento de la Cuenca Neuquina así como depósitos que constituyen su relleno inicial. El marco geológico de esta última es complejo, el mismo involucra procesos de vulcanismo, sedimentación y diferentes eventos y tipos de subsidencia.

La zona de estudio de la presente contribución, se encuentra en el flanco occidental de la Cordillera del Viento, unidad morfoestructural producto de la Orogenia Andina que forma parte de la Faja Plegada y Corrida de Chos Malal, constituyendo un sector de deformación de tipo piel gruesa. La Cordillera del Viento es un cordón montañoso de orientación longitudinal que incluye en su extremo norte al Volcán Domuyo, el cerro más alto de la Patagonia (4.707 m de altura) (Ramos *et al.*, 2011).

Las rocas presentes a lo largo de la Cordillera del Viento han sido motivo de estudio desde hace mucho tiempo por su interés minero. Se ha identificado en la zona la presencia de mineralizaciones de tipo hidrotermal con sistemas de vetas de oro y plata y alteraciones del tipo pórfidos de cobre (Zöllner y Amos, 1955; Stoll, 1957; Danieli *et al.*, 2011; Zanettini, 2011), incluyendo enriquecimientos pirofílicos y jaspilíticos (Casé *et al.*, 2004; Herrador, 2005; Zappettini y Dalponte, 2009; Danieli *et al.*, 2011; Zappettini *et al.*, 2018; Quintana, 2018), en algunos casos controladas por estructuras paleozoicas (Giacosa *et al.*, 2014).

Las primeras menciones referidas a depósitos pirofílicos en la zona fueron realizadas por la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA, 2001) complementados luego por el estado provincial del Neuquén con la realización de diversos estudios en áreas de interés geológico minero en esta región del territorio.

Estudios posteriores confirmaron la existencia de alteración hidrotermal (Danieli *et al.*, 2002; Casé *et al.*, 2004) con la presencia de pirofilita en riolitas, brechas volcánicas e ignimbritas, rocas que fueron asignadas en su momento al Grupo Choiyoi y que actualmente se incluyen en la Formación Colomichicó (Zappettini y Dalponte, 2009; Zappettini *et al.*, 2018).

Más tarde se describieron los afloramientos del arroyo El Auque en los diferentes tramos del mismo (Herrador, 2005). En el tramo NE – SO de su curso superior predominan tobas y brechas de coloraciones rosadas a bayas, variando en composición a términos más silíceos. En su curso medio la secuencia de vulcanitas expuesta es de 300 m de espesor y hacia el curso inferior desde su margen derecha hacia el norte se presenta un cuerpo circular de aproximadamente 200 m de diámetro que corresponde a

la Granodiorita Varvarcó (Cretácico Superior – $64,7 \pm 3,2$ Ma) (JICA, 2000; Kay *et al.*, 2006), intruyendo a las vulcanitas con contactos netos (Herrador, 2005).

Sobre las vulcanitas y en discordancia erosiva se encuentra una colada de basalto de color pardo oscuro, con débil disyunción columnar e inclinada ligeramente hacia el noreste de afloramientos aislados del Basalto Coyochó. Esta unidad se ubica en el área sobre la margen norte del arroyo y, por lo general, en la comarca se presenta entre los 1.500 y 1.600 m en cercanías a la Cordillera de Viento, próximo a los lineamientos de los ríos Neuquén y Varvarcó. Finalmente en las partes altas de los valles transversales, los depósitos morrénicos de la última glaciación pleistocena forman terrazas colgadas y en las posiciones topográficas más bajas se ubican los depósitos glacifluviales holocenos y derrubios aluviales recientes, que configuran la sucesión de lomadas aterrazadas que descienden hacia el valle del Río Varvarcó (Danieli *et al.*, 2002).

A continuación se presentan los antecedentes correspondientes al área de estudio de la cantera Azul Auquén S.A. y zonas aledañas. Se brinda información de la estratigrafía y estructura donde se desarrollaron los depósitos pirofílicos de interés.

II.2. Estratigrafía

Uno de los autores pioneros en relevar la geología en el noroeste neuquino fue Groeber (1929, 1946, 1947), quien realizó detallados estudios en el área del Domuyo contribuyendo de manera fundamental al conocimiento de la geología regional del área al describir las principales unidades litoestratigráficas presentes. Otros trabajos geológicos regionales relacionados al área de estudio son los realizados por Zöllner y Amos (1955, 1973) y Rovere *et al.* (2004), entre otros, en el extremo austral de la Cordillera del Viento y Zanettini (1987, 2001), en el área de Las Ovejas-Varvarcó-Domuyo.

En los alrededores de Varvarcó, en el curso medio del arroyo El Auque, las vulcanitas han sido tradicionalmente asignadas al Grupo Choiyoi (Zanettini, 2001; Danieli *et al.*, 2002; Casé *et al.*, 2004). Con posterioridad, el estudio de las secuencias triásicas medias a superiores en el extremo sur de la Cordillera del Viento permitió establecer una nueva unidad formacional denominada Formación Cordillera del Viento (Leanza *et al.*, 2005), para rocas mayormente ácidas y mesosilícicas que previamente habían sido agrupadas en el “Choiyoilitense” definido por Groeber (1946). Esta formación se deposita cubriendo una superficie erosiva que se encuentra sobre el Complejo Volcánico-Plutónico Huigancó, pérmico-triásico inferior (Llambías *et al.*, 2007), equivalente temporal del Grupo Choiyoi (*sensu* Roller y Criado Roqué, 1970). La superficie erosiva y la Formación Cordillera del Viento, estarían relacionadas al régimen tectónico extensional generador de rifts y precursor del desmembramiento de Gondwana (Leanza *et al.*, 2005; Llambías *et al.*, 2007).

En los alrededores de Varvarcó, Zappettini y Dalponte (2009) definieron a la Formación Arroyo El Auque en un área de 1 km², describiéndola como constituida principalmente por esquistos pirofiliticos (Fig. 3). En la unidad describieron pirofilita, asociada localmente a cianita, escasa diáspora y muy escaso cuarzo, con corindón azul en sectores y minerales opacos. Estos últimos concentrados en los planos de esquistosidad de orientación N10°E y plegamiento de tipo isoclinal, en su mayor parte enmascarado por la pirofilitización de la secuencia (Zappettini y Dalponte, 2009). En la definición de la unidad, los autores observaron un pasaje gradacional con las metamorfitas ubicadas hacia el oeste y correspondientes a la Formación Guaraco Norte de edad devónica (Zappettini *et al.*, 1987, 2012). Además, interpretaron un metamorfismo en facies de esquistos verdes de una sección probablemente volcánica muy rica en alúmina (Zappettini y Dalponte, 2009). Por ello y en razón de su disposición estructural y similar grado metamórfico, Zappettini y Dalponte (2009) correlacionaron primeramente a la Formación Arroyo El Auque con la Formación Guaraco Norte asignándola tentativamente al Devónico. Sin embargo, esta terminología y su correlación no es actualmente adoptada por los mismos autores quienes redefinen la estratigrafía del área (Zappettini *et al.*, 2018). Zappettini *et al.* (2018) indicaron que en esta comarca, los afloramientos de vulcanitas han sido afectados por metamorfismo de contacto con circulación de fluidos que estarían vinculados con la intrusión de la Granodiorita Varvarcó, responsable de la intensa pirofilitización. Los autores finalmente incorporaron esta sección volcánica a la Formación Colomichicó (Fig. 4), de edad pliensbaquiana según dataciones U-Pb en circones (Zappettini y Dalponte, 2010; Zappettini *et al.*, 2018).

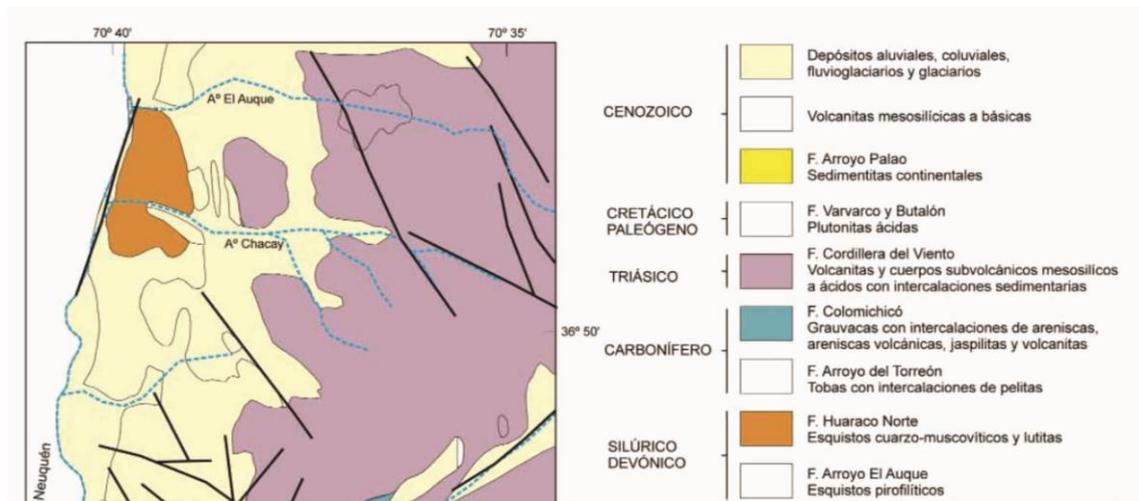


Figura 3: Detalle geológico del área de estudio que incluye a la Formación El Auque (Zappettini y Dalponte, 2009).

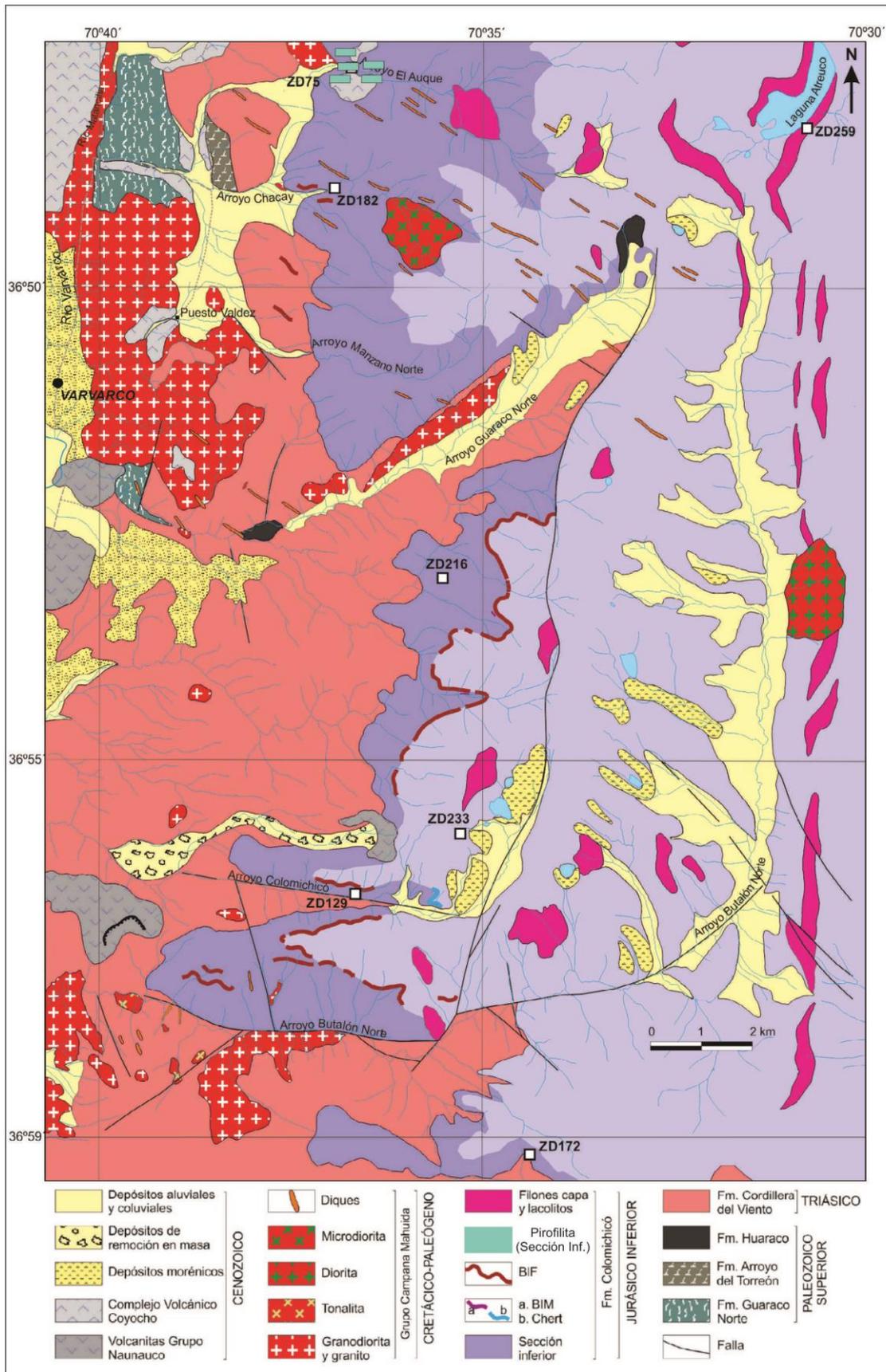


Figura 4: Geología del sector noroeste de la Cordillera del Viento mostrando la estratigrafía actualizada en el área de estudio (adaptado y modificado de Zappettini *et al.*, 2018).

La Formación Colomichicó (Zappettini *et al.*, 2018) consiste principalmente en mantos de ignimbritas, brechas y tobas de composición andesítica, con coloraciones que varían en tonalidades violáceas a rojizas gradando a tonos más claros en las rocas de los niveles superiores. También es posible encontrar en el área mineralizaciones de hierro bandeado (*Banded Iron Formation*, BIF) del tipo Algoma atribuidas a plumas hidrotermales relacionadas a vulcanismo submarino, estos últimos se extienden desde el Arroyo Butalón Norte (al sur), en su sección más espesa, hasta el arroyo Chacay (al norte) (Zappettini y Dalponte 2009; Zappettini *et al.*, 2018; Quintana, 2018) no observándose en el arroyo El Auque (Fig. 4).

II.3. Estructura

La Cordillera del Viento es la estructura más prominente de la Faja Plegada y Corrida de Chos Malal, tanto por su desarrollo areal como por su nivel de exhumación que llega al Paleozoico inferior. El ala occidental de la Cordillera del Viento ha sido totalmente erodada durante el Cretácico Superior-Paleoceno (Zanettini, 2001) y la formación de este braquianticlinal estaría relacionada a un esfuerzo vertical que fracturó el núcleo paleozoico y plegó a la sucesión sedimentaria mesozoica adosada al flanco oriental, al este de la región. Los lineamientos regionales N-S no son abundantes, destacándose un sistema de fracturas NO y NE. Se ha descrito además, aunque de importancia local, un sistema E-O. Los sistemas NO y NE son interpretados como líneas de debilidad del basamento pre-Jurásico Inferior, debidas a esfuerzos compresivos provenientes del oeste, que fueron reactivadas durante el paleógeno-neógeno como fracturas de desplazamiento horizontal (Zanettini, 2001). Estudios más recientes como los de Fabiano *et al.* (2012) infieren estructuras relacionadas a la inversión de hemigrábenes asociados a fallas normales que inclinan hacia el oeste. Estos autores describen el conjunto de estructuras menores de orientación NO y NE como segmentando las principales láminas de corrimientos con vergencia este. También observan estructuras a lo largo de una dirección NO provocando el quiebre en la traza del frente de levantamiento y un cambio de polaridad, a través de más de 15 km, en el sector septentrional de la Cordillera del Viento (Fig. 5). La inversión tectónica es inferida en el Cretácico Superior-Mioceno superior, dando una estructura resultante de doble vergencia representando una serie de pliegues y corrimientos que construyen la ladera occidental de la Cordillera del Viento (Fabiano *et al.*, 2012).

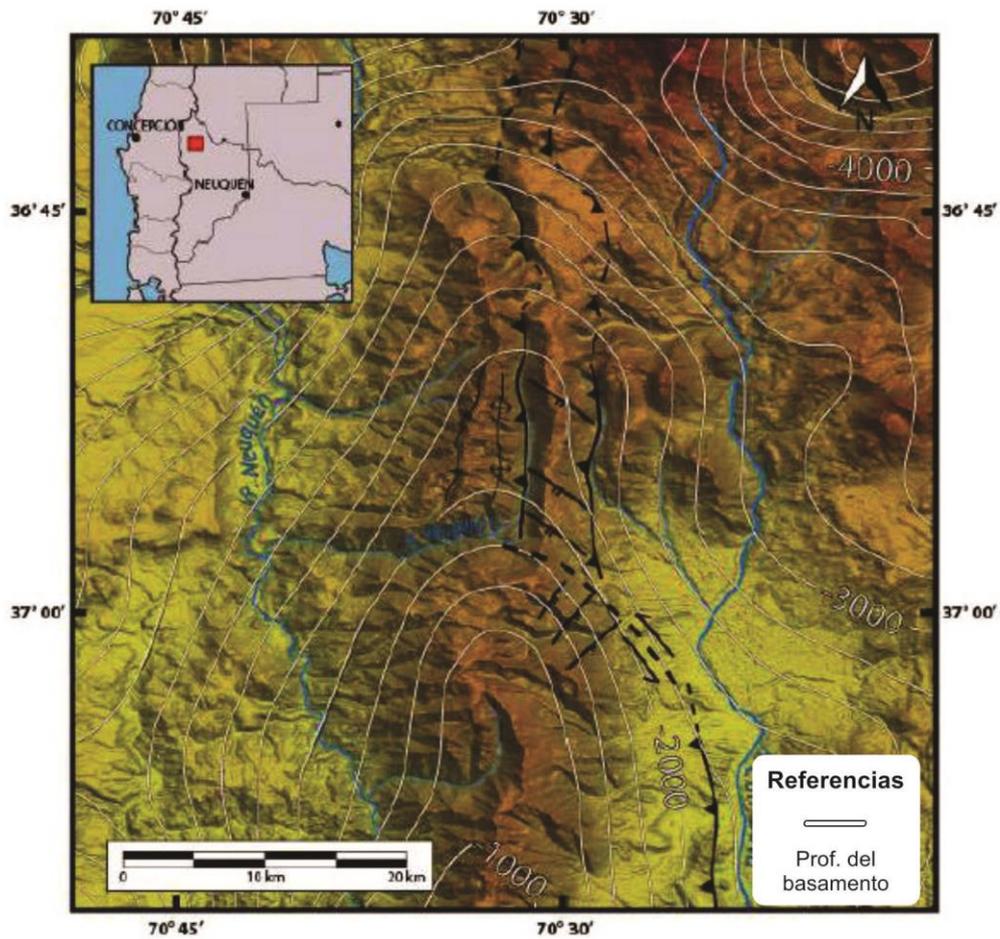


Figura 5: Cordillera del Viento, cambio de polaridad en la zona septentrional con estructuras de orientación NO a lo largo de más de 15 km (modificado de Fabiano *et al.*, 2012).

CAPÍTULO III

III.1. Mineralogía y clasificación

Etimológicamente, pirofilita deriva de dos palabras griegas que significan *piro* “fuego” y *phyllon* “abanico” y adquiere esta denominación por su capacidad de exfoliarse en forma de abanico al calentarse (Soto y Rodríguez, 1998a). La pirofilita corresponde a un filosilicato hidratado, es un mineral arcilloso de composición ideal $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ (Bergaya *et al.*, 2006). En la Tabla I se sintetizan sus características físicas y ópticas.

Propiedades Físicas	Cristalografía
Color: blanco, amarillento, verdoso, gris a pardo y a veces translúcido (Fig. 6). Raya: blanca Brillo: perlado a graso Dureza: 1,5 Densidad: 2,6 g/cm ³ a 2,9 g/cm ³ Figura óptica: uniáxico negativo	Sistema y Clase: monoclinico, 2/m Grupo espacial: C2/c a = 5,15 Å b = 8,92 Å c = 18,59 Å β = 99° 55' Z = 4

Tabla I: Propiedades físicas y cristalográficas de la pirofilita (Klein *et al.*, 1996).

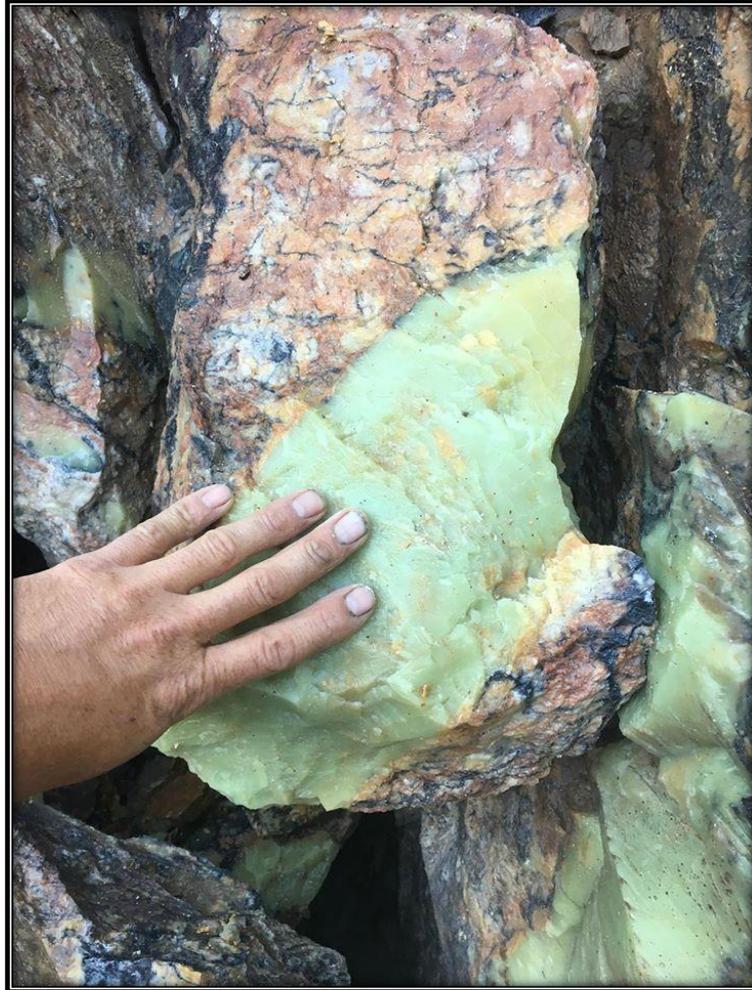


Figura 6: Pirofilita de color verdoso extraída del frente de explotación principal de la cantera Azul Auquén S.A.

La pirofilita pura tiene una composición de 28,35% de Al_2O_3 , 66,65% de SiO_2 y 5% de H_2O , aunque rara vez ocurre en su forma pura (Soto y Rodríguez, 1998a). Es el miembro dioctaédrico del grupo talco-pirofilita (Bergaya *et al.*, 2006) y existen tres formas comunes de menas de pirofilita: como láminas foliadas de granos finos que exhiben un clivaje plano, como agregados masivos esféricos de cristales pequeños y también de forma granular a compacta. Su estructura cristalina consta de dos capas de tetraedros Si-O y una capa octaédrica Al-O formando capas TOT (tetraédrica-octaédrica-tetraédrica), esencialmente neutras que se mantienen unidas por enlaces débiles (Fig. 7) (Fraser Española S.A., 1973; Soto y Rodríguez, 1998a).

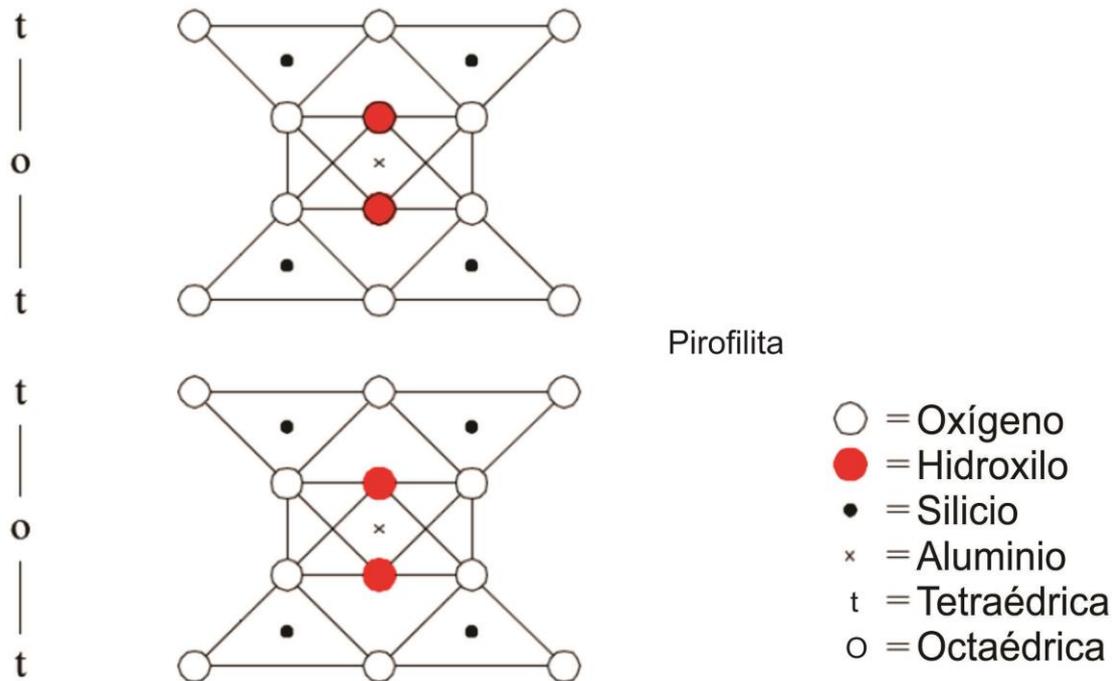


Figura 7: Estructura TOT de la pirofilita (Herrador, 2005).

III.2. Génesis y yacimiento

La génesis de la pirofilita está relacionada predominantemente a alteración hidrotermal de rocas feldespáticas como riolitas y dacitas atacadas por soluciones ácidas (Fraser Española S.A., 1973). La alteración hidrotermal es un término general que incluye la respuesta mineralógica, textural y química de las rocas a un cambio ambiental, en términos químicos y termales, en presencia de agua caliente, vapor o gas. Ocurre a través de la transformación de fases minerales, neoformación, disolución y/o precipitación de minerales y reacción de intercambio iónico entre los minerales constituyentes de una roca y el fluido caliente que circula por la misma. Los factores que condicionan la alteración hidrotermal son: la temperatura del fluido, química del fluido (pH y Eh), permeabilidad de la roca, concentraciones de los elementos en el fluido y roca, composición de la roca de caja, cinética química y duración de la actividad hidrotermal (Corbett y Leach, 1998).

Existen muchos tipos de alteración hidrotermal y el método más simple para su clasificación es usar el mineral más abundante en la roca alterada. Dentro de los diferentes tipos de alteración hidrotermal la pirofilita es común en dos tipos, fílica y argílica. En la alteración tipo fílica o sericítica que en general se produce a pH= 5-6 y a temperaturas elevadas, mayores a 250°C, es común. Se caracteriza tanto porque la plagioclasa como el feldespato-K son transformados a sericita y cuarzo con cantidades menores de pirofilita, clorita y piritita (aunque este último es accesorio). A altas

temperaturas la alteración puede incluir andalucita. En la alteración tipo argílica avanzada, donde la roca pierde casi totalmente la textura original, la pirofilita puede desarrollarse formando una pasta de mineral de alteración. Se produce en un amplio rango de temperatura pero con $\text{pH} = 1-3,5$. Gran parte de los minerales de las rocas son transformados además a dickita, caolinita, diásporo, alunita y cuarzo. Representa un ataque hidrolítico extremo de las rocas donde incluso se rompen los fuertes enlaces de Al^{+3} en los silicatos originando alunita y diásporo. En casos extremos la roca puede ser transformada a una masa de sílice oquerosa residual (“*vuggy silica*”).

Análogamente, se asocia a este mineral con yacimientos epitermales (Simmons *et al.*, 2005) donde la mineralización ocurre dentro de 1 a 2 km de profundidad desde la superficie terrestre y se genera a partir de fluidos hidrotermales calientes. Específicamente está relacionado a depósitos epitermales de alta sulfuración con interacción de fluidos oxidados y ácidos.

La pirofilita también es un mineral que se forma por metasomatismo (metamorfismo de cambio químico), en esquistos con sericita y caolinita. En este proceso se produce un complejo intercambio de iones entre dos sistemas geológicos en fuerte desequilibrio composicional y comunicados por un fluido que sirve para transportar a los componentes químicos en movimiento (Fraser Española, S.A., 1973; Soto y Rodríguez, 1998b).

Además este mineral se produce en metapelitas ricas en Al, incluidas las metabauxitas y las metacuarcitas (Bergaya *et al.*, 2006).

III.3. Distribución temporal y geográfica. Características de los yacimientos

Hasta hace relativamente pocos años, los datos de producción de pirofilita y talco se presentaban conjuntos (Fraser Española, S.A., 1973), puesto que al ser ambos minerales tan similares en propiedades, algunos yacimientos supuestamente explotados como talco, en realidad eran de pirofilita. Sin embargo, actualmente se contempla a la pirofilita como un mineral con una importancia propia, sobre todo por sus aplicaciones en la industria cerámica al poseer mayor refractariedad que el talco. Este hecho hace que en la actualidad se considere por separado a estos dos silicatos.

La pirofilita es un mineral que abunda mucho más de lo que se pensaba hace décadas atrás, existiendo varios yacimientos de importancia distribuidos por todo el planeta. De ellos, los más importantes se encuentran en Japón, Corea del Sur y EE.UU., con más del 90 % de la producción mundial (Soto y Rodríguez, 1998b).

En Japón, la producción minera de este grupo de materias primas se reúne bajo la denominación “*Roseki*”. En dicho grupo puede encontrarse la pirofilita en un 73 % y caolinita y sericita en un 26 %, existiendo también yacimientos de pirofilita denominados “*Toseki*”. Los yacimientos de pirofilita de Japón se continúan en Corea del Sur, otro importante productor del mineral. Este último es un notable productor de pirofilita, pero generalmente este silicato aparece en forma masiva denominada “*agalmatolito*”.

En EE.UU. son conocidos los extensos yacimientos de Carolina del Norte comercializándose también pirofilita con alto contenido en sericita. Otros yacimientos se encuentran en California y Pensilvania.

En Canadá son importantes los yacimientos de Terranova.

En América del Sur destacan países como Brasil, Argentina y Perú. Concretamente, en Brasil existen depósitos de “*agalmatolitos*” y los importantes yacimientos de pirofilita de diamantina en Minas Gerais y en Ibitiara (Bahia), denominándose “*ibitiarita*” a ciertos materiales de mayor contenido en hierro y “*agalmatolito*”.

Países como Australia (yacimiento de Pambula), Nueva Zelanda (Coromandel) y la India (Hamirpur, Bundelkhand), suministran también pirofilita con diversos grados de pureza para el consumo de numerosas industrias y la exportación.

En Sudáfrica se encuentran materiales conteniendo un 90 % de pirofilita y de elevada dureza (8 en la escala de Mohs), denominados genéricamente “*wonderstone*”, una pirofilita compacta criptocristalina conteniendo rutilo e impurezas carbonáceas.

En general, según los procesos geológicos que conducen a la formación de pirofilita, se pueden encontrar en estos yacimientos los siguientes minerales:

- Pirofilita de elevada pureza.
- Pirofilita conteniendo cuarzo.
- Pirofilita con alto contenido en alúmina, procedente de diásporo que la acompaña, corindón, caolinita, dickita y nesosilicatos de aluminio (cianita, andalucita, silimanita), además de topacio.
- Pirofilita conteniendo mica muscovita, interestratificados de diversa naturaleza, feldespatos, óxidos de hierro, rutilo, carbonatos y otras impurezas.

En el caso de existir cuarzo, lo cual es frecuente, el material se usa como abrasivo. Si se encuentran presentes otros silicatos de aluminio como caolinita y cianita, al aumentar el contenido en alúmina, en consecuencia, la refractariedad es mayor. La presencia de micas y feldespatos eleva el contenido en álcalis, repercutiendo de manera desfavorable principalmente en la refractariedad.

CAPÍTULO IV

Los afloramientos de pirofilita en el área de estudio (Fig. 8) forman parte de una zona de alteración hidrotermal que afectó a las ignimbritas de la Formación Colomichicó (Zappettini *et al.*, 2018), con halos de alteración que se presentan similares a los halos de alteración arcillosa de depósitos epitermales de alta sulfuración (Danieli *et al.*, 2002; Casé *et al.*, 2004). Se reconocen sobre los afloramientos diferentes bancos de pirofilita y en general el mineral se presenta en masas de grano fino y compacto. Además, la secuencia presenta esquistosidad evidenciando un cierto grado de metamorfismo.



Figura 8: Vista hacia el N del frente de extracción ($36^{\circ}47'40,63''S$, $70^{\circ}36'39,93''O$).

A lo largo de su curso medio, el arroyo El Auque ha labrado un valle a través de las rocas ignimbríticas dejando al descubierto la zona de alteración hidrotermal que aflora en ambas márgenes. Los afloramientos de pirofilita se encuentran reemplazando pervasivamente a las piroclastitas y vulcanitas formando bancos espesos. Se diferencia un núcleo de vulcanitas con silicificación pervasiva que sobresale en el relieve formando un gran crestón constituyendo la parte más elevada y una zona de alteración sericítica que rodea a la zona de pirofilita en cuyos bordes las piroclastitas presentan alteración arcillosa moderada con pirofilita subordinada (Casé *et al.*, 2004).

IV.1. Principales usos de la pirofilita extraída en la cantera Azul Auquén S.A.

La pirofilita se utiliza en diversos ámbitos según sus requerimientos. Si bien los usos son muy diversos, sobre todo dependiendo de las calidades del mineral, en este trabajo solo se mencionan sus principales aplicaciones en mercados locales y de exportación.

Dentro de los más importantes, se destaca principalmente su uso para ornamentación, debido a que es una roca que se puede manipular y trabajar muy fácilmente por su baja dureza (Tabla I-Capítulo III). Se utiliza específicamente en el tallado a mano de esculturas que van desde centímetros hasta unos pocos metros de altura (Fig. 9).

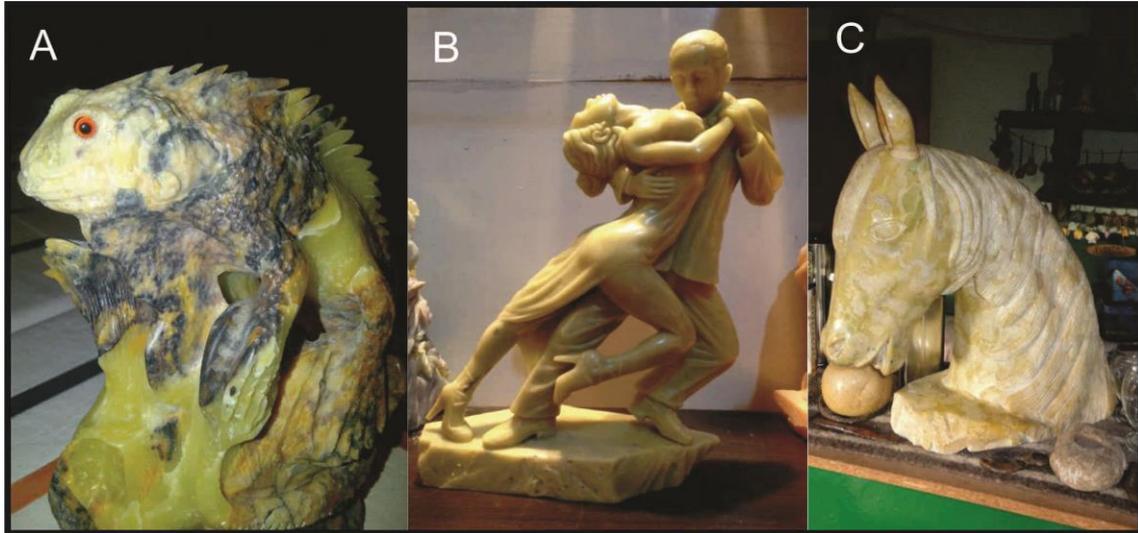


Figura 9: Ornamentos realizados con pirofilita extraída de la cantera Azul Auquén; A: Pirofilita con motas azules de corindón; B y C: Esculturas de pirofilita.

Además, la roca presenta un uso importante en la elaboración de revestimientos de exteriores/interiores, principalmente con aquellos bancos de pirofilita que tienen presencia de corindón ya que el color azul que le imprime este último (Fig. 10-A) embellece a las superficies cortadas y pulidas.

Como se detalló en el Capítulo III, la pirofilita por su alto contenido en alúmina, tiene un elevado poder de refractariedad por lo que se la utiliza revistiendo superficies como fogones y estufas (Fig. 10-B).

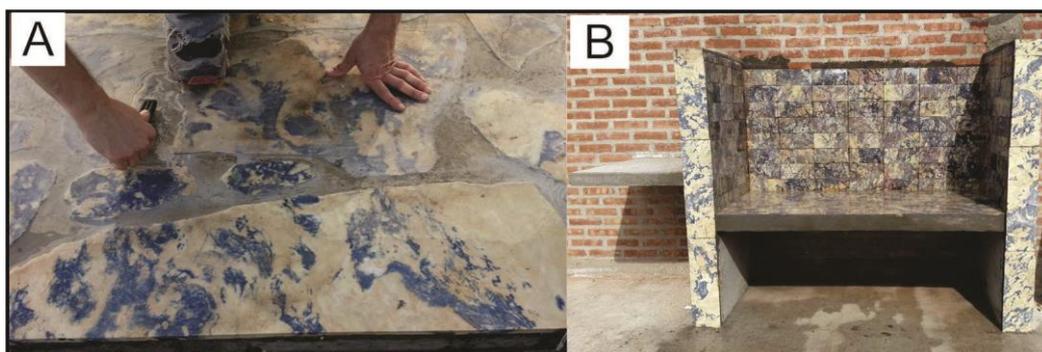


Figura 10: A: Pirofilita con motas de corindón como revestimiento; B: Pirofilita como uso refractario.

En Argentina, una de las aplicaciones más importantes que tienen los minerales industriales como la pirofilita es en la industria de las pinturas, donde se utiliza este material como *filler* de fondos y antióxidos. Sin embargo su uso principal es como

pigmento extendedor en pinturas al látex ya que en su fracción molida exhiben color blanco, característica importante para la industria de las pinturas (Herrador, 2005).

IV.2. Litología y estratigrafía

En este apartado se presenta la información litológica y estratigráfica obtenida del estudio de las unidades que afloran en el área correspondiente a la cantera de pirofilita Azul Auquén S.A.

En el área de estudio se realizaron dos perfiles estratigráficos, el primero correspondiente a la sección A-A' en sentido NE-SO y que se encuentra en la ladera norte del arroyo El Auque y un segundo perfil estratigráfico correspondiente a la sección B-B' con sentido NO-SE ubicado en la ladera sur del arroyo (Fig. 11).



Figura 11: Ubicación de los perfiles estratigráficos realizados. Se observa la sección A-A' ubicada en la ladera norte del arroyo y la sección B-B' en la ladera sur del mismo (imagen satelital Google Earth, 2020).

Durante el trabajo de campo y relevamiento geológico, se determinó que las rocas aflorantes corresponden mayormente a depósitos ignimbríticos de composición andesítica hasta riolítica afectadas por metamorfismo (esquistosidad). Los colores del afloramiento varían desde violáceos a rojizos en los niveles más bajos hasta tonalidades más claras en los crestones que sobresalen en el relieve definiendo así diferentes litotipos.

Los afloramientos al norte del arroyo El Auque presentan un buzamiento general de 35° hacia el NE mientras que las unidades aflorantes al sur presentan buzamientos de 25° a 30° al SO. Las estructuras mayores definen un suave anticlinal cuyo plano axial inclina levemente hacia el NE coincidiendo la ubicación del mismo con el curso actual del arroyo El Auque (Fig. 21).

En la zona de estudio se identificaron también estructuras interestratales replegadas y deformadas desarrolladas dentro de los cuerpos ignimbríticos alterados y ubicadas en las zonas próximas al arroyo (Fig. 12). Se presume en principio que las mismas estarían relacionadas a movimientos de flujos internos en las zonas que forman parte del núcleo de alteración pirofilitica.



Figura 12: Estructura replegada ubicada en la ladera sur del arroyo El Auque.

El núcleo del anticlinal expuesto por erosión, ubicado sobre ambas márgenes del cauce, es el que exhibe estas estructuras replegadas y deformadas.

En el extremo noroeste del área de estudio aflora la Granodiorita Varvarcó con una forma circular de aproximadamente 200 m de diámetro intruyendo a las piroclastitas y vulcanitas (Fig. 13).

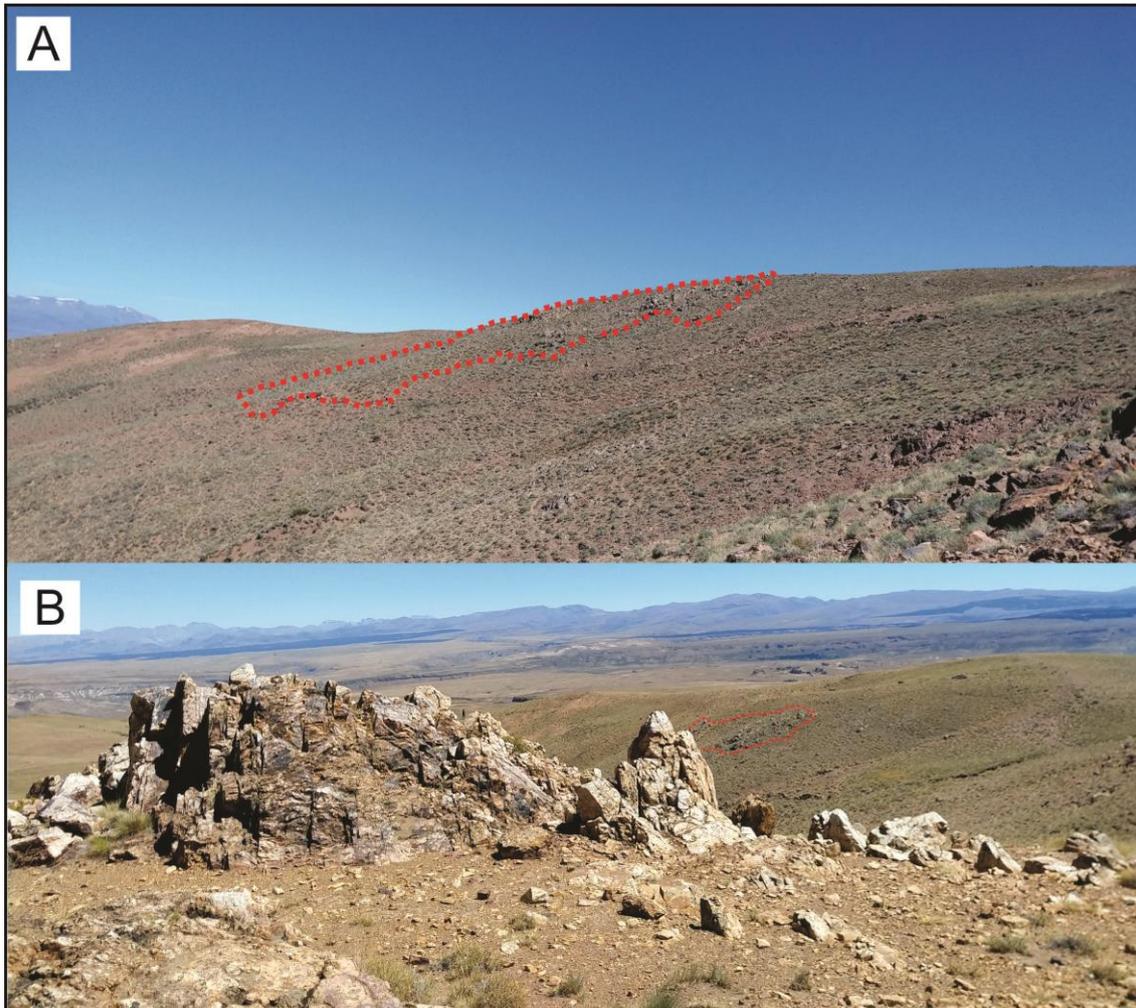


Figura 13: A: Vista hacia el NO donde se observa el cuerpo ígneo intruyendo a las piroclástitas y vulcanitas. B: Vista hacia el O donde se observa el cuerpo intrusivo desde otra perspectiva.

Para mayor ilustración, se detalla a continuación la información y los perfiles estratigráficos realizados en las dos zonas diferenciadas, se muestran las unidades aflorantes en la ladera norte del arroyo El Auque y las unidades aflorantes en la ladera sur del mismo.

IV.2.1. Ladera norte del arroyo El Auque

Se describen las relaciones estratigráficas y continuidad de los bancos correspondientes a las unidades aflorantes en la ladera norte del arroyo El Auque. El perfil estratigráfico A-A' (Figs. 11 y 14) abarca parte del frente de explotación de la cantera, sector que a causa de la continua extracción deja al descubierto las heterogeneidades de los niveles que afloran.

Describiendo de piso a techo, en la parte basal se desarrolla una secuencia de flujos piroclásticos alterados. Dada su esquistosidad se caracterizan aquí como esquistos

pirofilíticos (Fig. 15-A) de 13 m de espesor que muestran planos de esquistosidad hacia el NE y exhiben colores que varían de tonos marrones a violáceos-verdosos debidos mayormente al contenido de pirofilita.

En contacto irregular sigue un banco de piroclastitas blanquecinas, masivas (Fig. 15-B) de 10 a 12 m de espesor con motas y nódulos azulados compuestos de corindón. A este nivel se lo denomina informalmente “Nivel Azul Auquén I” y es el que se ha explotado desde los inicios de la cantera para la elaboración de revestimientos y refractarios.

Estratigráficamente le sigue una secuencia de vulcanitas de 8 m de espesor de color blanco a grisáceo con motas azules de corindón (Fig. 15-C), estas últimas de aproximadamente 10 cm de diámetro. Este nivel es denominado “Nivel Azul Auquén II” y se explota de igual manera, diferenciándose del banco anterior por el desarrollo de una textura esferulítica con cuerpos esferoidales de 1-3 cm. Las esferulitas están compuestas principalmente por cuarzo y corresponden a masas radiales formadas por material cristalino que crece rápidamente hacia afuera en todas direcciones a partir de un foco de nucleación. Esto se produce por la búsqueda de la dirección de crecimiento más rápida siendo el camino más eficiente la cristalización radial o acicular (López y Bellos, 2006). Los focos de nucleación de las esferulitas descriptas aquí son fenocristales preexistentes, en algunos casos, y cavidades, en otros.

Hacia arriba, la secuencia cambia gradualmente a pirofilita, siendo en la actualidad el nivel de mayor interés comercial (Fig. 15-D) del cual se seleccionan y reservan los bloques que se destinan exclusivamente para la elaboración de piezas de ornamentación. Forma un intervalo de 10 m de espesor que se desarrolla de forma masiva y exhibe un color verde manzana intenso característico por lo que se lo denomina nivel de “pirofilita verde manzana”. Corresponde al frente activo de explotación donde se extraen bloques de roca al igual que los niveles Azul Auquén I y II.

Sobre el banco de pirofilita verde manzana se desarrolla, en contacto difuso y probablemente debido a la alteración hidrotermal, una brecha volcánica de color gris y aspecto macizo (Fig. 16-A) de 13 m de espesor. Se caracteriza por la presencia de clastos angulosos a sub-redondeados de diferente tamaño (10-20 cm) en su base desarrollados en una matriz silicificada. El banco muestra parches dispersos de pirofilita de difícil extracción para su aprovechamiento.

En contacto neto sobre la brecha volcánica, se desarrolla un nivel de ignimbritas de color negro con esquistosidad marcada en dirección hacia el NE y de un espesor de 12 m (Fig. 16-B). Este muestra una leve coloración naranja y un fuerte diaclasamiento producto de meteorización.

Sobre el nivel de ignimbritas negras, en contacto neto, se encuentra un intervalo de 5 m de espesor de un depósito ignimbrítico violáceo muy fino y cuarzoso que exhibe laminaciones paralelas (Fig. 16-C) con clastos (<1cm) y estructuras elongadas que siguen una orientación preferencial en sentido NO-SE.

La secuencia culmina con un espeso nivel de flujos piroclásticos andesíticos (Fig. 16-D) con una matriz compuesta de cristales de cuarzo y plagioclasa de tamaño de grano fino a medio. Este nivel se desarrolla con un espesor de 25 m, colores violáceos y un aspecto macizo resistente a la meteorización, mostrando débil disyunción columnar, esta última inclinada ligeramente hacia el NE.

Referencias

-  Ignimbrita andesítica
-  Ignimbrita fina con laminación paralela
-  Ignimbrita esquistosa
-  Brecha volcánica
-  Pirofilita
-  Nivel Azul Auquén II
-  Nivel Azul Auquén I
-  Esquisto pirofilitico

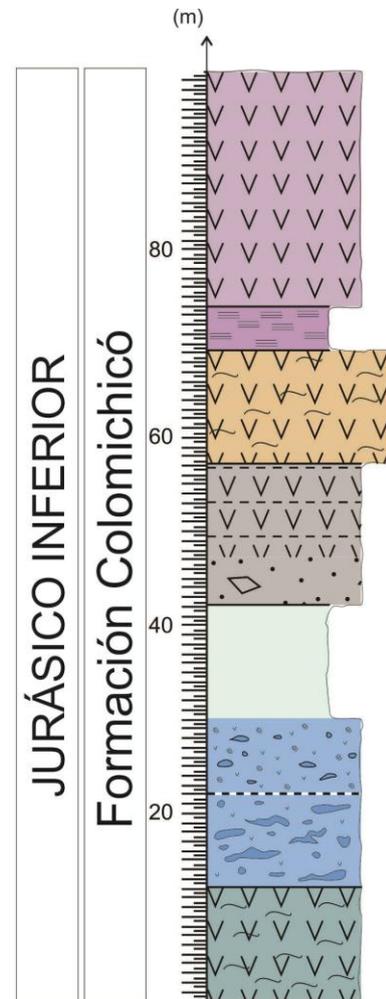


Figura 14: Perfil estratigráfico A-A' (Fig. 11) de la ladera norte del arroyo El Auque.

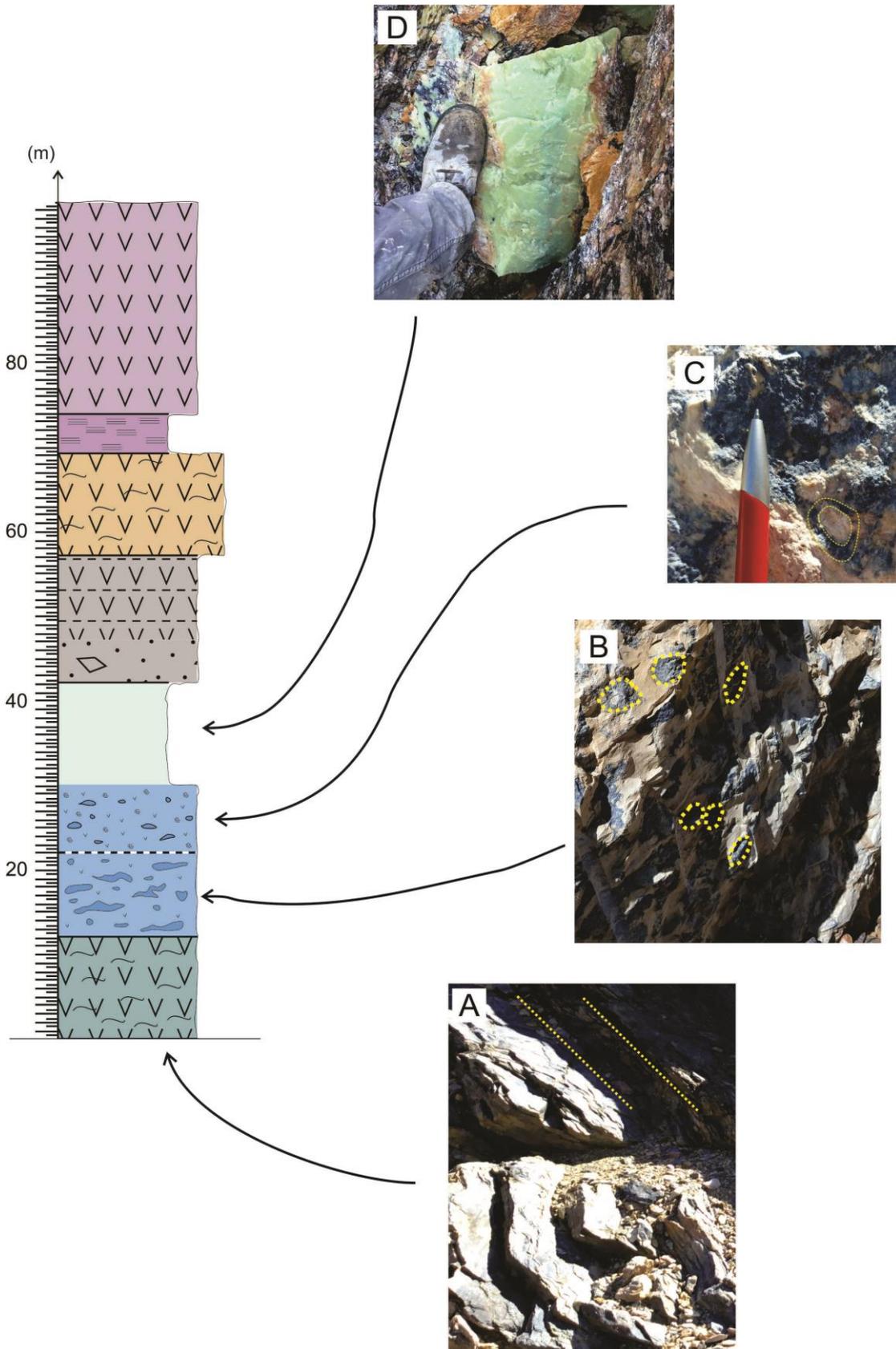


Figura 15: Perfil estratigráfico A-A' (Fig. 11) mostrando detalles de las unidades inferiores aflorantes. A: Esquistos pirofilíticos con planos de esquistosidad; B: Nivel Azul Auquén I con estructuras globulares de corindón; C: Nivel Azul Auquén II con motas de corindón y esferulitas; D: Pirofilita verde manzana.

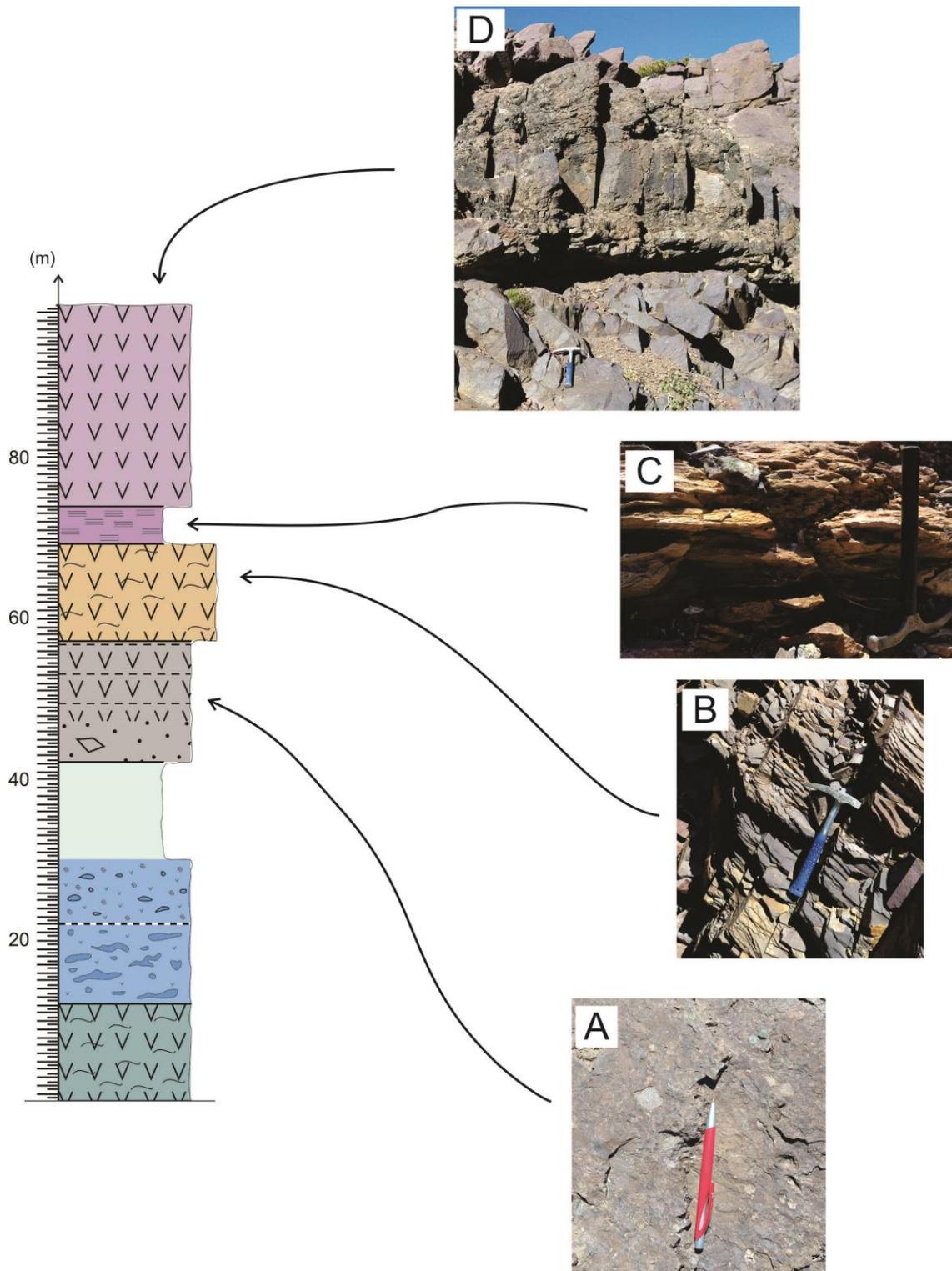


Figura 16: Perfil estratigráfico A-A' (Fig. 11) mostrando detalles de las unidades superiores. A: Brecha volcánica; B: Ignimbritas con planos de esquistosidad; C: Ignimbritas con laminaciones finas paralelas; D: Ignimbritas de composición andesítica.

En los niveles superiores de la ladera norte, aproximadamente a los 1.860 m, por encima del perfil A-A', coronan el relieve afloramientos tabulares de vulcanitas silicificadas, formando crestones dentados resistentes a la erosión (Fig. 17). Estos son de carácter macizo y compacto con tonalidades blanco anaranjadas, en superficies meteorizadas.



Figura 17: Vista hacia el N donde se observa el frente de explotación de la cantera mostrando en el detalle los crestones cuarzosos que conforman las unidades superiores.

IV.2.2. Ladera sur del arroyo El Auque

El levantamiento del perfil B-B' (Figs. 11 y 18) se realizó comenzando en las proximidades del arroyo. La litología basal en esta zona corresponde a piroclastitas de aspecto macizo de 13 m de espesor, las que exhiben un color gris azulado y muestran en partes motas azules de corindón y desarrollo de cuerpos esferoidales de aproximadamente 5-7 cm de diámetro (Fig. 19-A). Este nivel se correspondería con el “Nivel Azul Auquén II” expuesto en el flanco norte.

Estratigráficamente por encima se desarrolla un banco de limitada extensión de pirofilita de 8 m de espesor, la roca presenta una concentración mucho menor del mineral siendo de color verde opaco, lo cual indicaría su baja pureza (Fig. 19-B).

Al techo de este último intervalo y en pasaje gradual, suprayace una secuencia de 18 m de espesor de brechas volcánicas grisáceas, macizas y con fragmentos subredondeados a subangulosos cuyos tamaños varían entre 3 o 4 cm a 30 cm (Fig. 19-C).

En contacto neto apoya una secuencia ignimbrítica grisácea a morada con planos de esquistosidad marcados, de buzamiento general S-SE, y afectados por meteorización y fracturación (Fig. 20-A).

Culmina la sección con una espesa secuencia de aproximadamente 25 m de espesor de ignimbritas con fragmentos de pómez de formas redondeadas a elongadas. Se observa en la Fig. 20-B que en este intervalo se diferencian dos unidades. La unidad inferior está caracterizada por una coloración violácea, muy meteorizada con planos de diaclasamiento en forma enrejada y con presencia de fragmentos redondeados en la base que posiblemente hayan sido incorporados durante el flujo. La unidad superior presenta mayor espesor, un aspecto macizo y una coloración negra donde el contenido de pómez disminuye respecto de la capa subyacente.

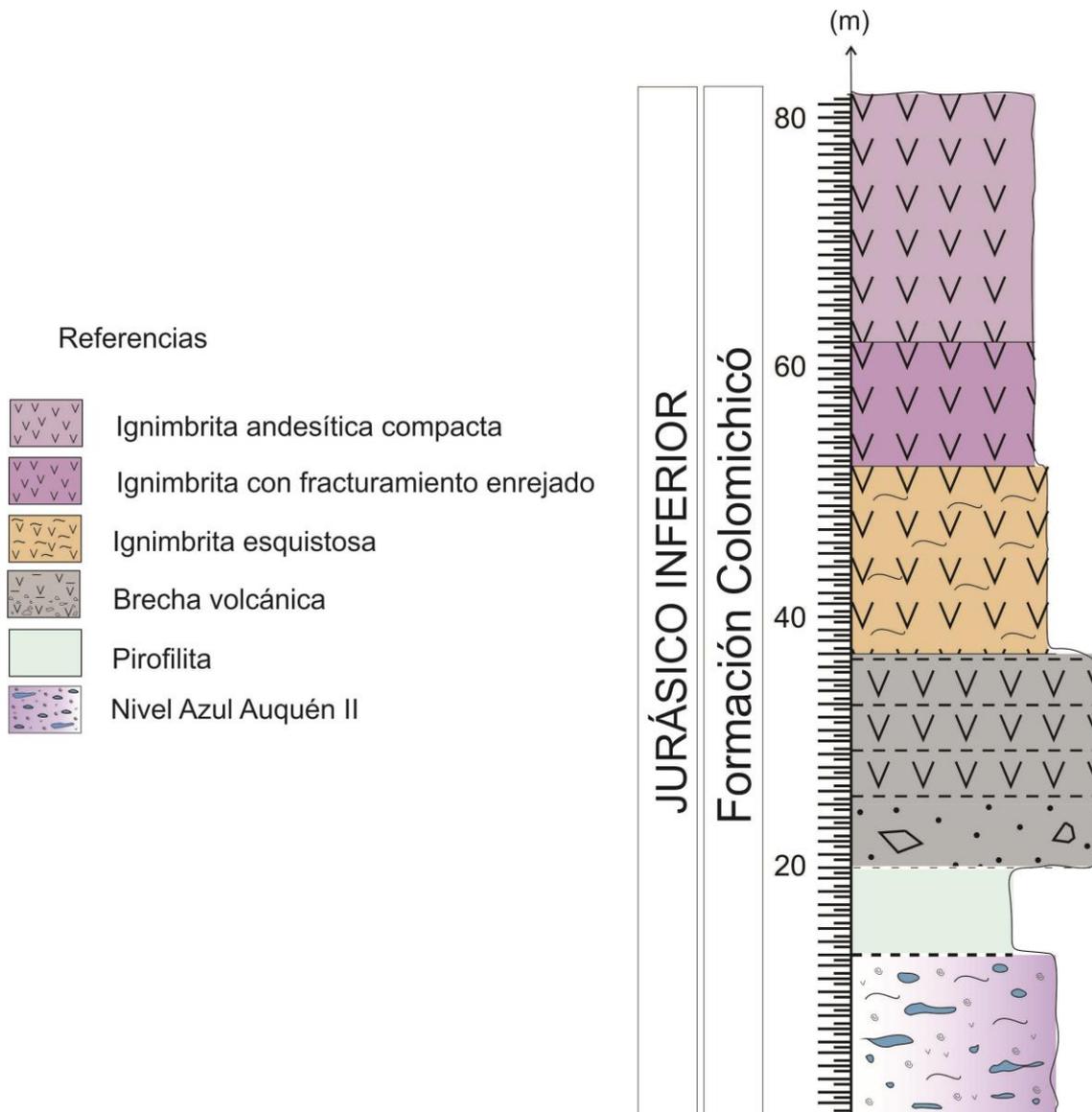


Figura 18: Perfil estratigráfico B-B' (Fig. 11) correspondiente a la ladera sur del Arroyo El Auque.

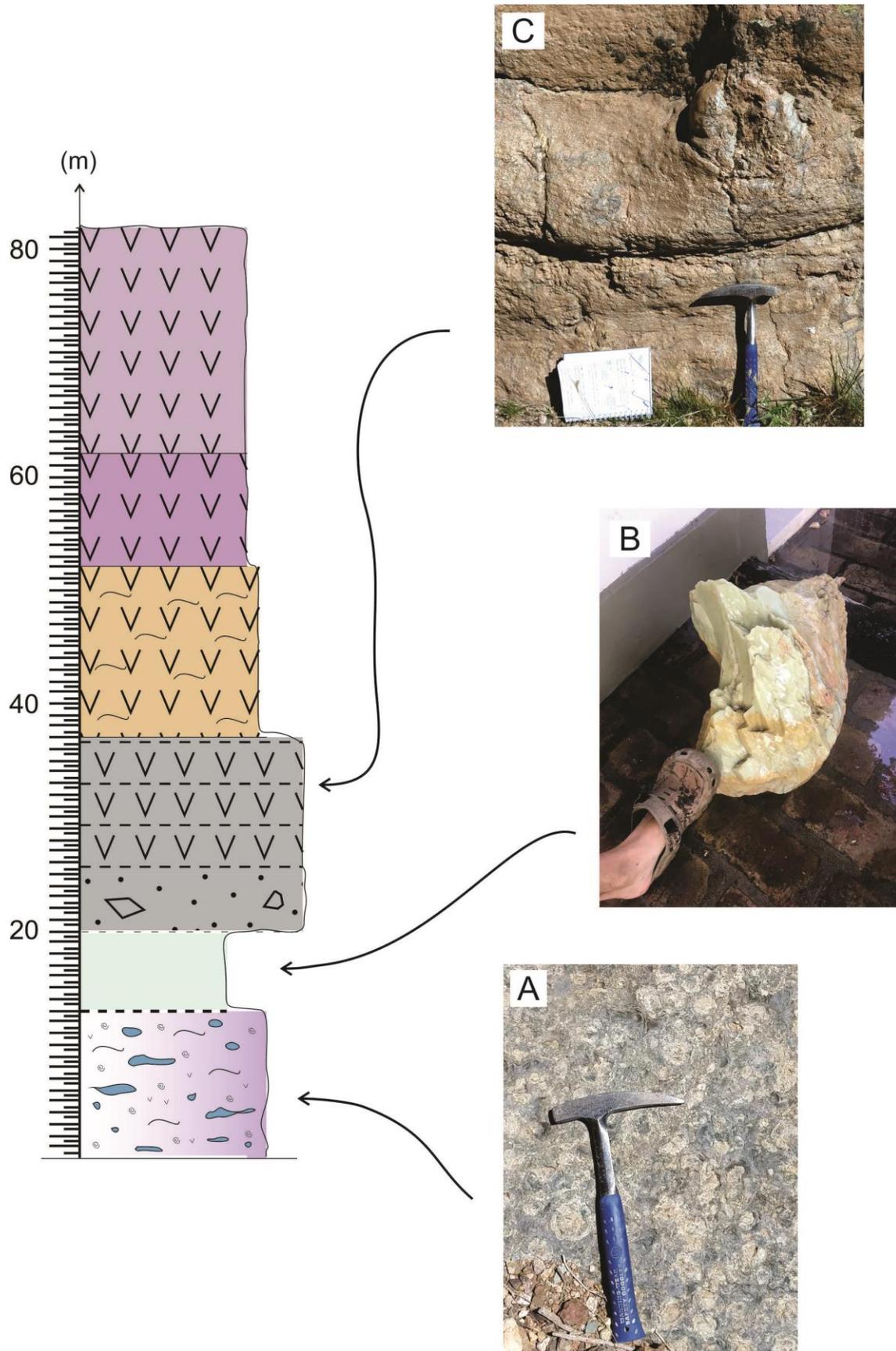


Figura 19: Perfil estratigráfico B-B' (Fig. 11) mostrando detalles de las unidades inferiores. A: Nivel Azul Auquén II; B: Pirofilita de baja pureza; C: Brecha volcánica.

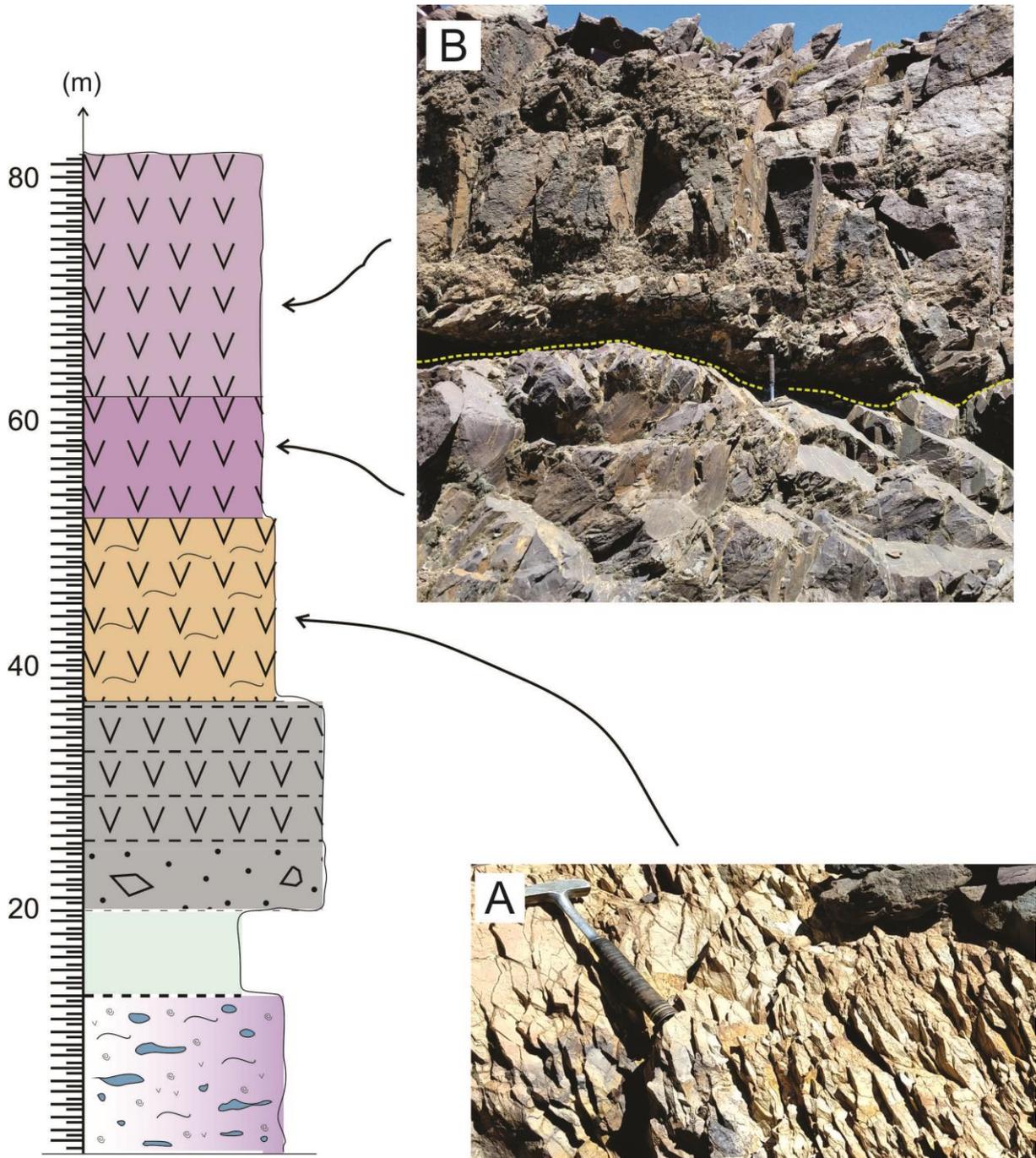


Figura 20: Perfil estratigráfico B-B' (Fig. 11) mostrando detalles de las unidades superiores. A: Ignimbrita fracturada; B: Ignimbrita violácea con diaclasas en enrejado en la parte inferior e ignimbritas negras macizas en la parte superior.

IV.3. Distribución de las unidades observadas

Con el relevamiento de campo y la delimitación de las unidades aflorantes se elaboró el mapa geológico preliminar del entorno de la pertenencia minera, de escala 1:20.000 correspondiente a la Fig. 21 donde se muestran los principales grupos de rocas aflorantes y las principales estructuras identificadas en el campo.

Se sintetizan a continuación los diez litotipos diferenciados, nueve de ellos representados en los perfiles estratigráficos realizados:

- Pirofilita verde manzana
 - Nivel Azul Auquén I
 - Nivel Azul Auquén II
 - Esquisto pirofilítico
 - Brecha volcánica
 - Ignimbrita esquistosa
 - Ignimbrita con laminación paralela
 - Ignimbrita andesítica
 - Ignimbrita con fracturamiento en enrejado
 - Vulcanita silicificada, fuera de los perfiles estratigráficos realizados.
- } Litotipos de interés económico

A fin de evaluar el potencial del recurso geológico y facilitar los cálculos en la cuantificación de las reservas disponibles de los tres litotipos de interés, “pirofilita verde manzana”, “Azul Auquén I” y “Azul Auquén II”, y teniendo en cuenta los diferentes usos a los que se destinan, se agrupan las unidades observadas en el campo en diferentes bancos, A, B y C. Estos bancos se caracterizan por agrupar litotipos distintivos con contenidos variables de pirofilita.

Puede apreciarse además y como se mencionó anteriormente que predominan las fallas con orientación NE-SO destacándose también un segundo juego de fallas de orientación NO-SE afectando en menor medida a la deformación de las piroclastitas y vulcanitas.

- El **Banco A** agrupa a los niveles Azul Auquén I y Azul Auquén II, involucra las unidades aflorantes con contenido elevado de corindón (10 a 20%) encontrándose los depósitos con textura esferulítica y motas de corindón de hasta varios centímetros (5 a 20 cm).

- El **Banco B** corresponde a aquellas rocas con contenido de pirofilita de variable distribución a lo largo de sus afloramientos. En el sector de la cantera, hacia el norte del arroyo y en las proximidades del mismo, se presentan zonas de elevada pureza que corresponden al nivel pirofilítico verde manzana, mientras que hacia la parte alta de la secuencia volcánica predominan sericita y cuarzo en detrimento de pirofilita. Los afloramientos al sur del arroyo corresponden a depósitos masivos de aspecto ceroso, que a pesar de tener una pureza comparativamente menor al del nivel pirofilítico verde manzana ubicado al norte, presentan una concentración importante de pirofilita constituyendo recursos potenciales aprovechables a futuro.
- El **Banco C** involucra vulcanitas y piroclastitas con escaso a nulo contenido de pirofilita y que en general corresponden a depósitos ignimbríticos alterados y meteorizados que coronan la secuencia.

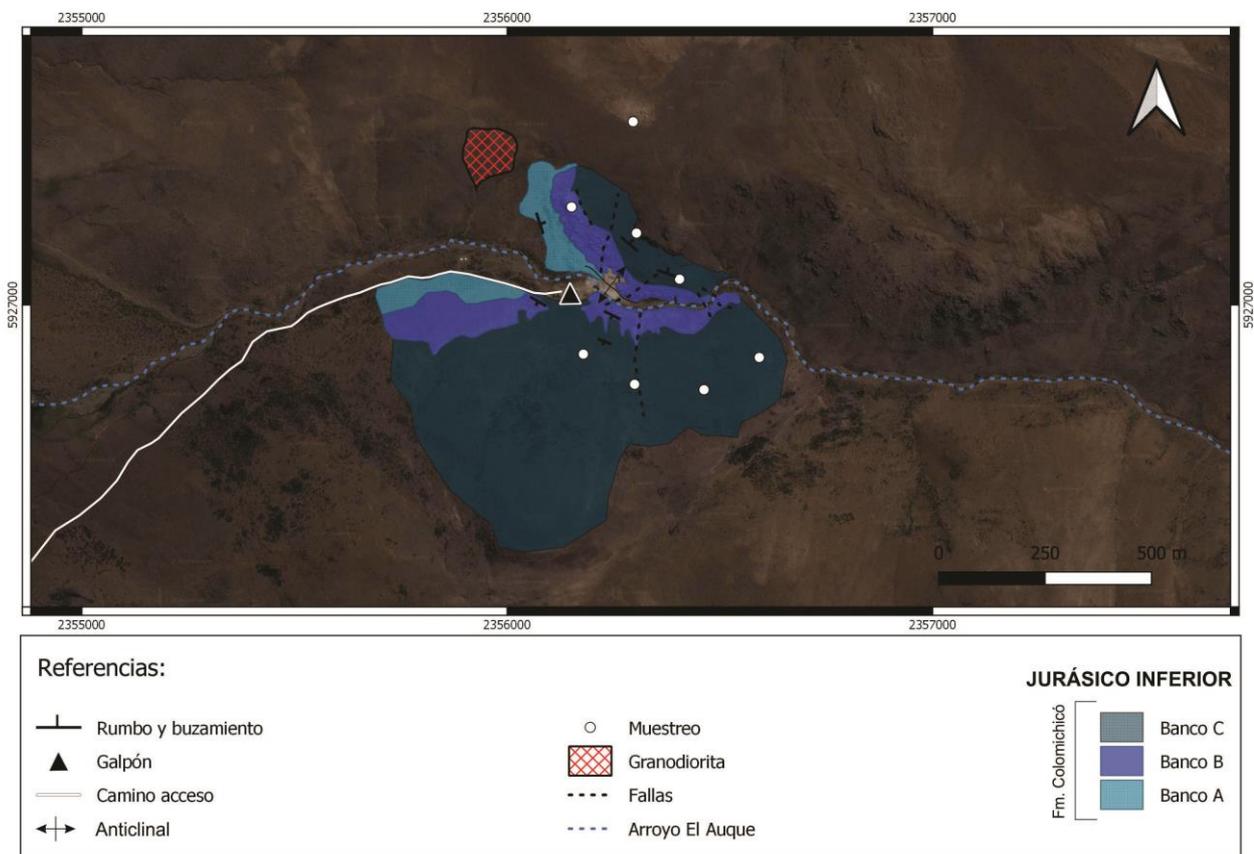


Figura 21: Mapa geológico del área de estudio mostrando delimitación de bancos rocosos diferenciados para su explotación según los diferentes requerimientos.

CAPÍTULO V

V.1. Petrografía

Las descripciones petrográficas de las muestras recolectadas en el área de la cantera de pirofilita Azul Auquén S.A., permiten complementar la información de campo para definir las litologías presentes en el ámbito de la pertenencia minera. La extracción de las muestras en el área de estudio se realizó en los niveles estratigráficos correspondientes a los bancos B y C diferenciados por sus características litológicas y de alteración hidrotermal y en vulcanitas ubicadas a mayor distancia. El objetivo ha sido definir las variaciones petrográficas en la secuencia de rocas aflorantes y sobre todo observar la variación en el contenido de pirofilita y extensión de la misma complementando la información de cada perfil expuesto.

La ubicación de las muestras tomadas *in situ* puede verse en la Fig. 22 y el estudio bajo microscopio petrográfico de las mismas permite la clasificación de las rocas y el análisis del tipo de alteración presente en cada una.

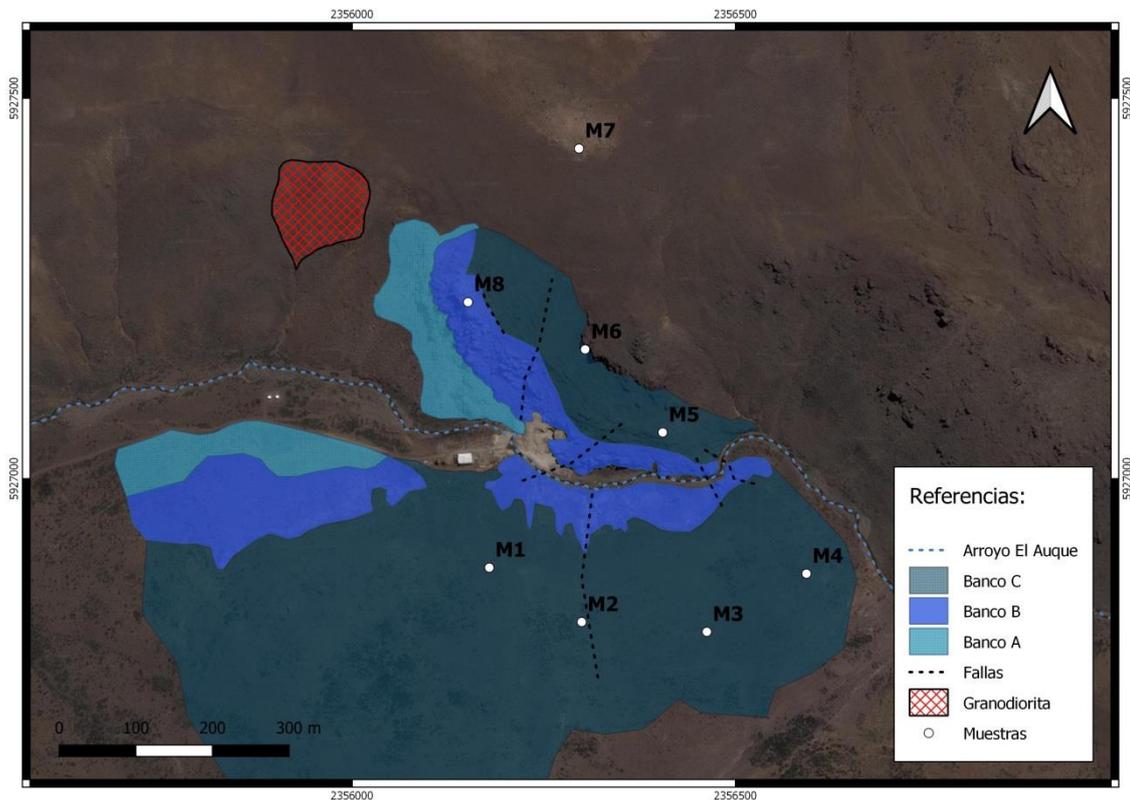


Figura 22: Ubicación en el campo de las muestras recolectadas para análisis petrográfico.

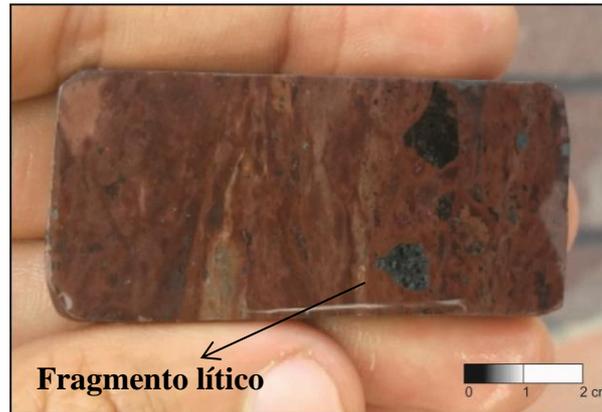
Las muestras (ocho en total) fueron identificadas con la letra M (muestra) y su descripción se detalla a continuación indicando con un número el orden en el que fueron tomadas.

V.1.1. Descripciones petrográficas

Cabe destacar que las rocas estudiadas presentan un elevado grado de alteración mineralógica donde el vidrio volcánico es muy inestable en diferentes condiciones ambientales y la nomenclatura utilizada para describir a las rocas puede diferir ante clasificaciones de análisis químicos totales.

V.1.1.1. Muestra M1: Ignimbrita andesítica (Autobrecha soldada)

1



2

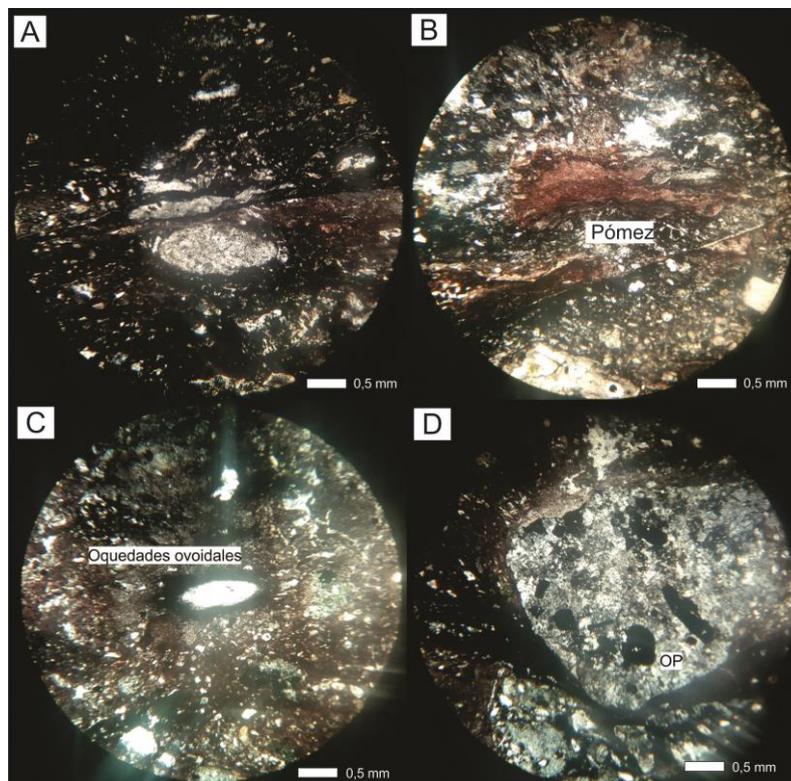


Figura 23: M1. 1) Muestra de mano. 2) Fotomicrografía a luz transmitida. A: Cuerpos elongados rodeados por óxidos, nicoles cruzados; B: *Fiammes*; C: Oquedades ovoidales, nicoles paralelos; D: Minerales opacos (OP) en cristal de cuarzo (Qz).

Roca pardo-violácea compuesta por bandas o “filetes” elongados y fragmentos alargados (Fig. 23-A) con presencia de líticos en los filetes y microcristales de minerales opacos que muestran hábito cúbico en ocasiones oxidados. El conjunto define así una textura fluidal en la que se reconoce la presencia de fragmentos de *fiammes* (Fig. 23-B) y abundante material desvitrificado con cristales de cuarzo fracturados, en su mayoría anhedrales. Los filetes elongados, de similar composición, presentan en sus bordes óxidos de hierro dispuestos en bandas paralelas y ocasionalmente se reconocen cristales subhedrales de cuarzo y plagioclasa en los bordes.

En cuanto a la alteración, las bandas oxidadas muestran coloración rojiza a pardo clara y corresponden mayormente a goethita y limonita, estas últimas de aspecto terroso. La roca presenta oquedades ovoidales (Fig. 23-C) rodeadas por óxidos de hierro asociados a sericita y pirofilita de coloración verdosa con hábito fibroso a acicular.

Se observa autobrechamiento con arrastre de fragmentos líticos y cristales de cuarzo fracturados, cementados por los mismos componentes de la lava. Se reconocen además restos de anfíbol y piroxenos alterados a minerales posiblemente del grupo de la serpentina; éstos están acompañados de clorita pero dentro de los fragmentos líticos.

Con luz reflejada (microscopio petrocalcográfico), se identifican abundantes cristales idiomorfos de especularita, a veces dispuestos como venillas o siguiendo orientaciones preferenciales. Acompañando a estos últimos se reconocen cristales de hematita, magnetita (Fig. 24) y escasa pirita.

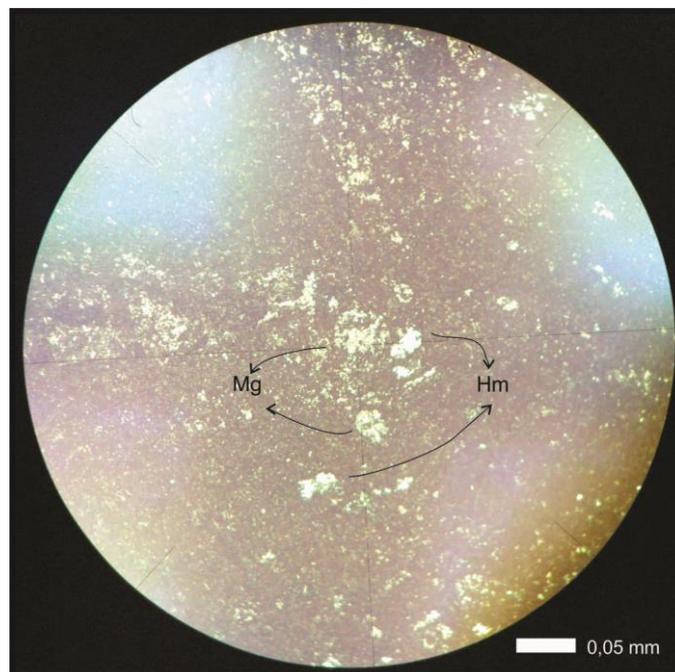


Figura 24: M1. Fotomicrografía a luz reflejada. Hematita (Hm) de color blanco y magnetita (Mg) de color más grisáceo, puede que esta última haya pasado a hematita por alteración.

V.1.1.2. Muestra M2: Ignimbrita andesítico-dacítica

1



2

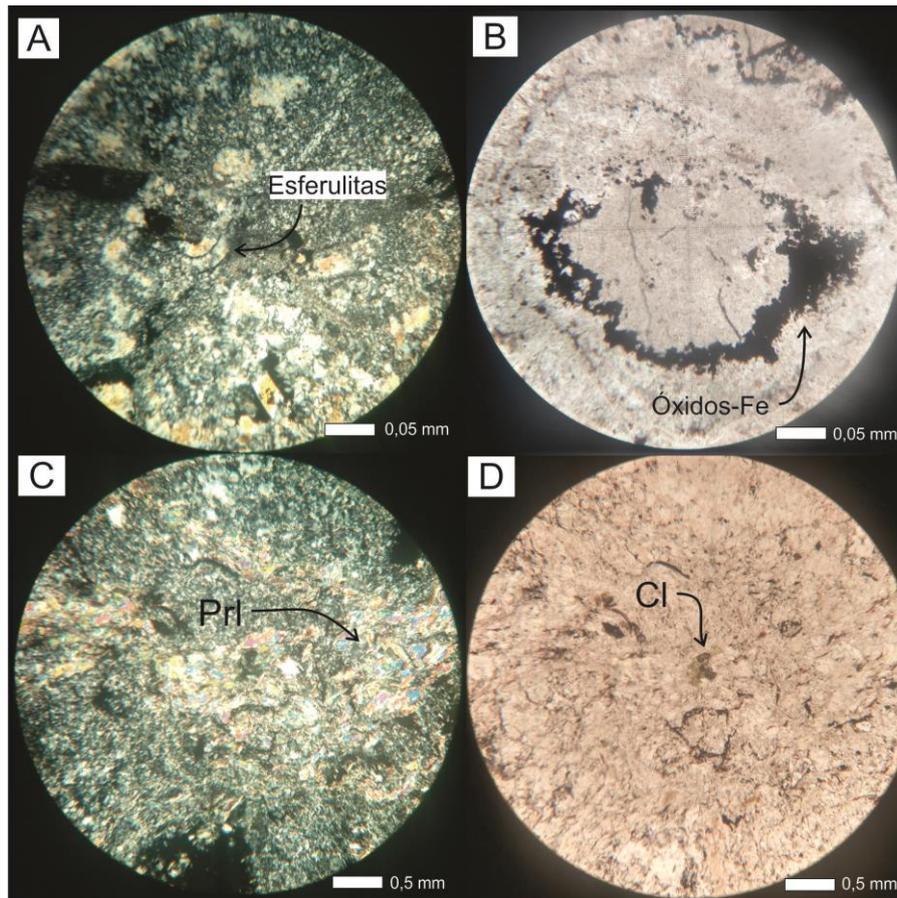


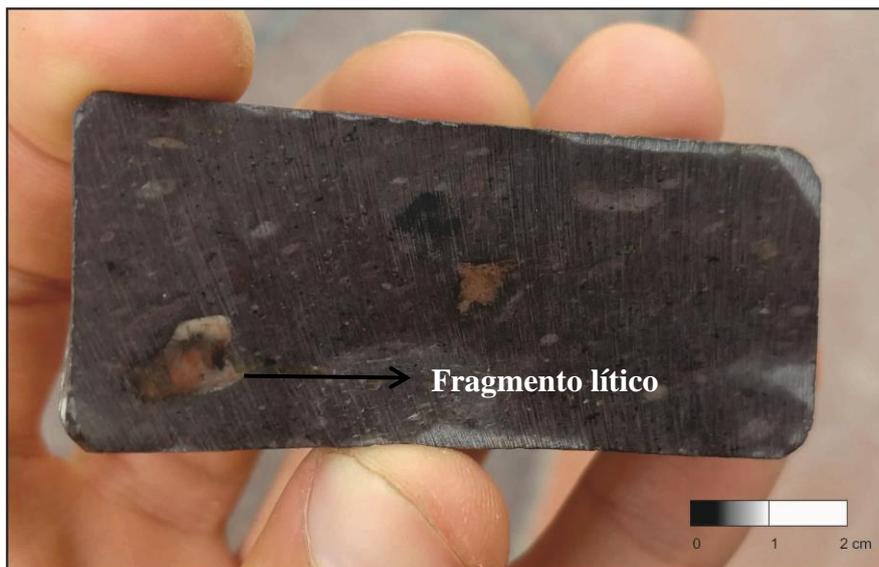
Figura 25: M2. 1) Muestra de mano. 2) Fotomicrografía a luz transmitida. A: Esferulita incompleta, nicoles cruzados; B: Óxidos de hierro con hábito fibroso rodeando cristal de cuarzo a nicoles paralelos; C: Alteración pirofilitica (Prl) a nicoles cruzados; D: Presencia de clorita (Cl) a nicoles paralelos.

Roca de color gris rosada con presencia de cristales de cuarzo y feldespatos que forman una textura granosa. Presenta estructuras vítreas como trizas, *fiammes* y esferulitas desvitrificadas (Fig. 25-A) en cristales de cuarzo. Ocasionalmente se observa la presencia de minerales opacos de forma tabular y también precipitados de minerales de hierro de color rojo (Fig. 25-B) rodeando a las estructuras desvitrificadas; estos últimos se disponen como agregados de hábito fibroso (posiblemente hematita/especularita).

En cuanto a la alteración, se reconocen zonas con bandas de pirofilita (Fig. 25-C) ocupando la matriz a veces acompañadas por cristales de clorita (Fig. 25-D). La pirofilita presenta hábito fibroso a acicular y es secundaria producto de la alteración hidrotermal de los feldespatos. Algunos minerales muestran alteración incipiente a minerales de la familia de la sericita en los filetes y en algunos núcleos de las esferulitas.

V.1.1.3. Muestra M3: Ignimbrita andesítica

1



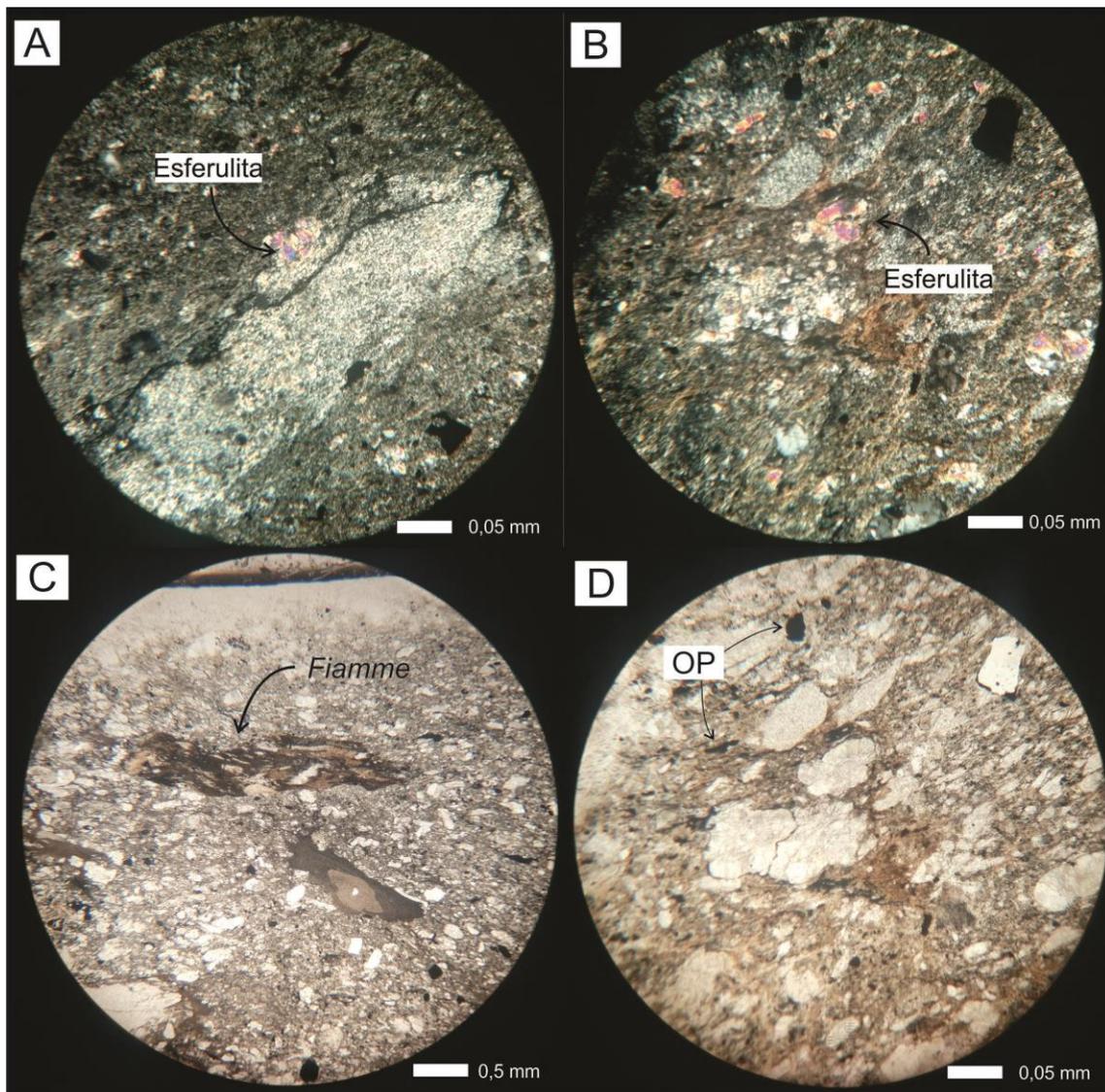


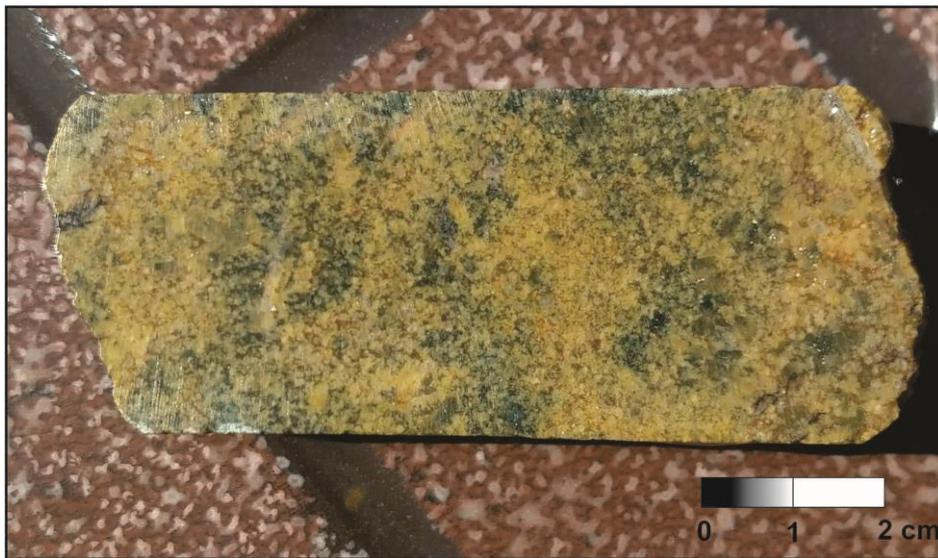
Figura 26: M3. 1) Muestra de mano. 2) Fotomicrografía a luz transmitida. A: Esferulita completa con alto color de interferencia; B: Esferulita incompleta, nicoles cruzados; C: *Fiamme*, nicoles paralelos; D: Minerales opacos (OP) dispersos en forma aislada, nicoles paralelos.

Roca violácea de aspecto macizo compuesta por fragmentos líticos, microcristales de cuarzo y feldespato en una matriz fina cristalina que se encuentra parcialmente alterada, con aspecto terroso. La muestra presenta bandas estiradas y con alteración de óxidos color pardo oscuro. Se reconocen esferulitas con diversos grados de desarrollo (Fig. 26-A y B) que exhiben alto color de interferencia. También se reconocen venillas largas ocupadas por minerales opacos en algunas zonas y se identifican niveles de *fiammes* (Fig. 26-C). Se observan además abundantes minerales opacos (Fig. 26-D) mayormente cúbicos, de gran tamaño y distribuidos en toda la muestra. Todos estos rasgos definen una textura de tipo eutaxítica, característica de este tipo de flujos piroclásticos.

En cuanto a la alteración, la muestra está compuesta por óxidos secundarios de aspecto terroso. Hay desarrollo de biotita alterándose a clorita. Se reconoce la presencia de pirofilita de hábito fibroso acicular ocupando la matriz y desarrollo de estructuras ovoidales con relieve alto producto de la oxidación; estos suelen encontrarse rodeados de cúmulos de óxidos de hierro de color rojo, posiblemente hematita y especularita como agregados.

V.1.1.4. Muestra M4: Ignimbrita andesítico-riolítica

1



2

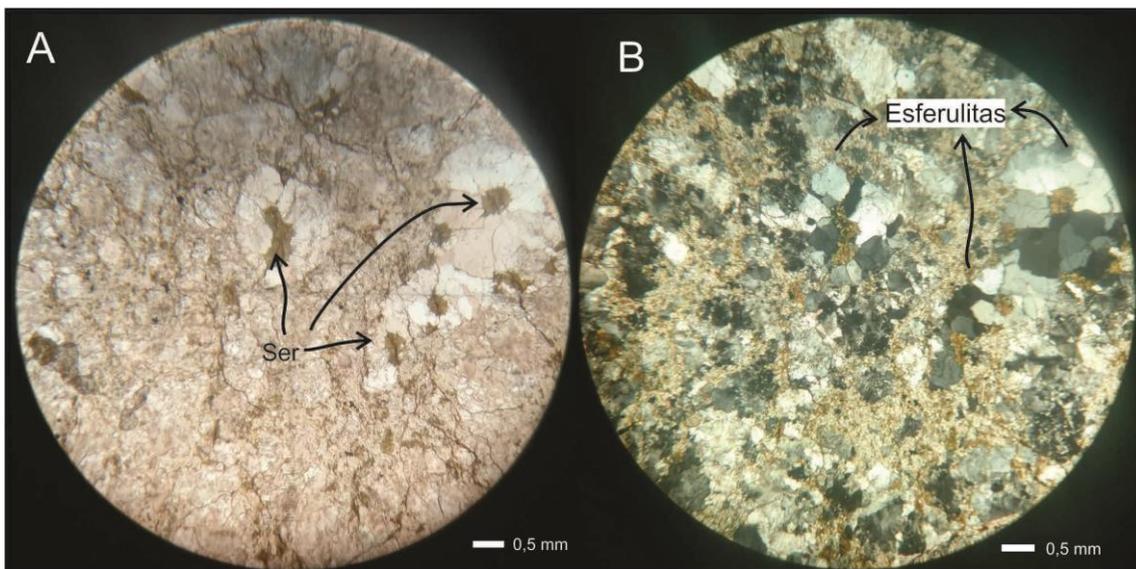


Figura 27: M4. 1) Muestra de mano. 2) Fotomicrografía a luz transmitida. A: Esferulitas mostrando núcleo alterado a sericita (Ser), nicoles paralelos; B: Esferulitas, nicoles cruzados.

Roca parda amarillenta con abundantes cristales euhedrales de cuarzo y plagioclasa inmersos en una matriz afanítica amarilla de aspecto terroso que conforman una textura microgranular. Se identifican esferulitas producto de desvitrificación, acompañadas por óxidos de hierro. Los cristales de cuarzo presentan dominios continuos que incluyen en partes a cristales de menor tamaño de feldespatos y se identifican minerales opacos aislados en toda la muestra.

La alteración está presente en la muestra con desarrollo de clorita y sericita. La primera suele aparecer de forma radial o concéntrica dentro de cristales de feldespatos de mayor tamaño, mientras que la segunda se desarrolla sobre todo en los núcleos de esferulitas. Los bordes de las esferulitas en ocasiones no son claros producto de la invasión de la alteración (Fig. 27) y se destaca presencia de óxidos de hierro secundarios (goethita-limonita). Dentro de la matriz afanítica se identifican zonas con cristales fibrosos irregulares que exhiben coloración verdosa, posiblemente pirofilita.

V.1.1.5. Muestra M5: Andesita

1



2

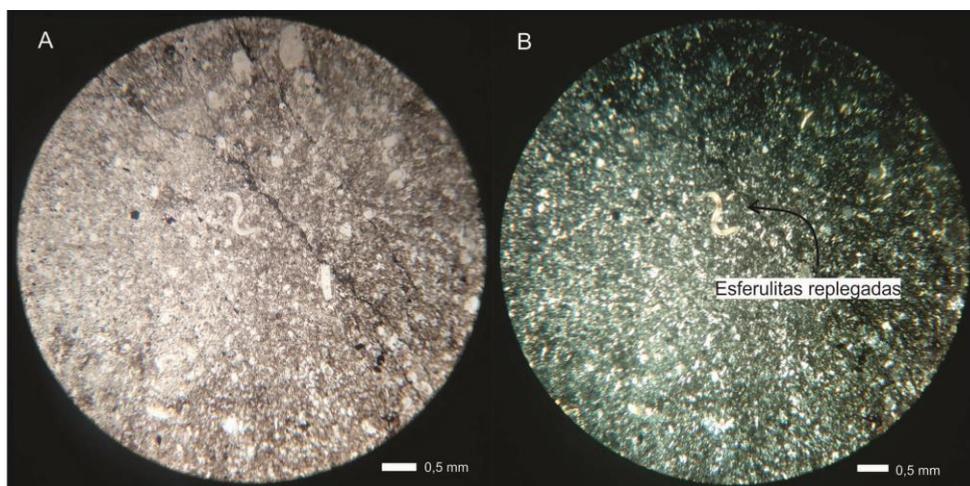


Figura 28: M5. 1) Muestra de mano. 2) Fotomicrografía a luz transmitida: Esferulitas replegadas en matriz afanítica. A: Nicoles paralelos; B: Nicoles cruzados.

Roca violácea de textura porfírica con laminaciones paralelas. Está compuesta por microcristales de cuarzo y cristales de plagioclasas subhedrales inmersos en una matriz afanítica de aspecto terroso; acompañan a los cristales esferulitas (similares a la muestra M3) mayormente incompletas, con alto color de interferencia, de formas curvas y replegadas (Fig. 28). Los fragmentos de esferulitas son de distinto tamaño y abundan en un 40% de la muestra. Los fragmentos de cristales completos e incompletos presentan desvitrificación y/o recristalización mineral acompañados de trizas vítreas.

En cuanto a la alteración, se observa abundante oxidación donde los óxidos secundarios tienen aspecto terroso. También hay minerales opacos mayormente cúbicos en toda la muestra. Se reconoce alteración pirofílica de hábito fibroso a acicular rodeando los cristales.

V.1.1.6. Muestra M6: Ignimbrita andesítico-riolítica

1



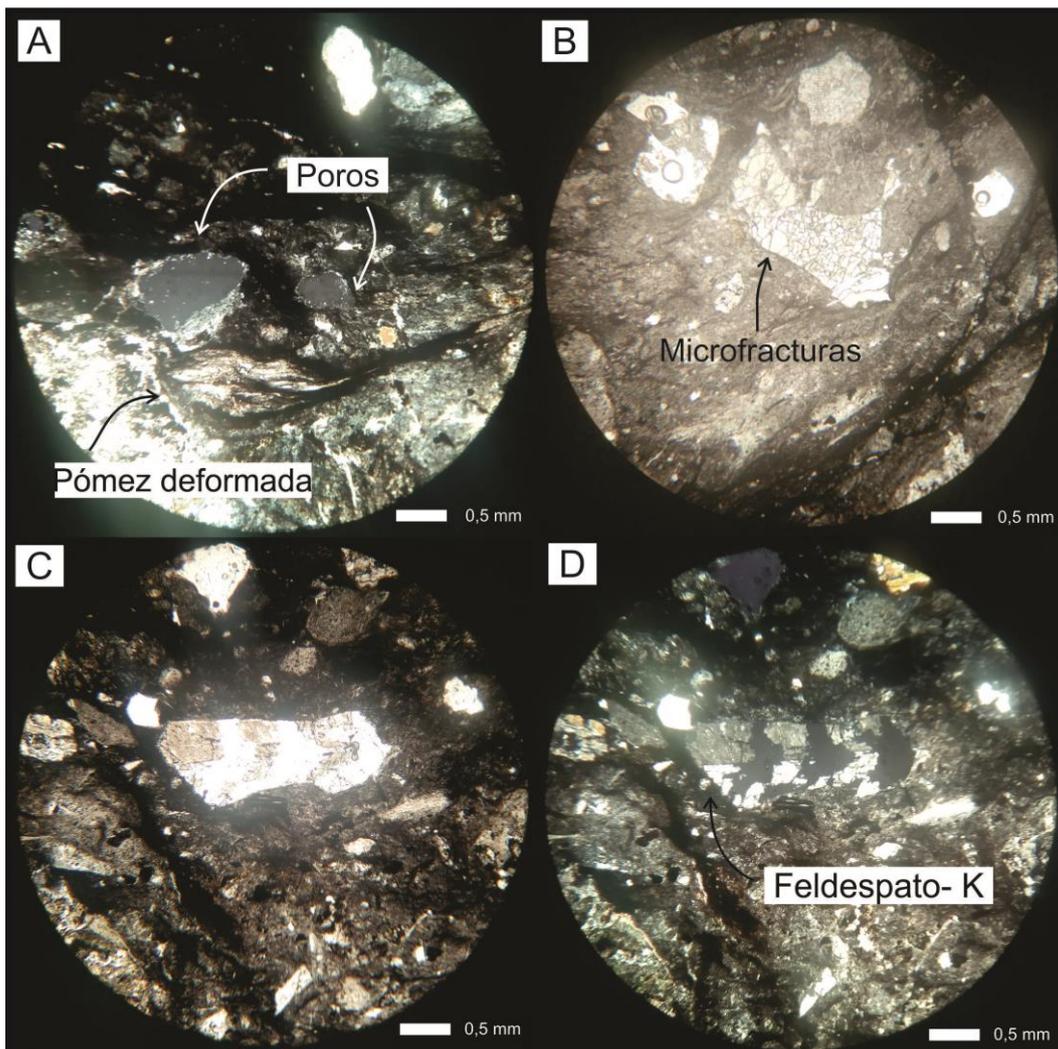


Figura 29: M6. 1) Muestra de mano. 2) Fotomicrografía a luz transmitida. A: *Fiamme*, nicoles cruzados; B: Microfracturas en cristales de cuarzo, nicoles paralelos; C y D: Cristal de feldespato potásico mostrando macla de Carlsbad, nicoles cruzados y paralelos respectivamente.

Roca de color violáceo compuesta por *fiammes* (Fig. 29-A) parcialmente aplastados o colapsados formando cuerpos lenticulares elongados y discontinuos que definen una textura eutaxítica. El resto de los componentes corresponden a fragmentos de cristales de feldespato potásico, minerales opacos y matriz cinerítica. Alguno de los cristales de cuarzo y feldespato presentan fracturamiento intenso (Fig. 29-B).

La muestra en general está muy alterada pudiéndose reconocer algunos relictos de fragmentos con cuarzos euhedrales y cristales de feldespato potásico donde se identificaron maclas de Carlsbad (Fig. 29-C y D). En algunas zonas hay cúmulos de cristales de cuarzo poligonales como mosaicos, producto de recrystalización y en otras la matriz aparece muy fina con un color verdoso de posible alteración pirofilitica a sericitica. Hay presencia de minerales opacos en toda la muestra con hábitos cúbicos a

tabulares y se reconocen también esferulitas mayormente incompletas producto de desvitrificación.

Hay notable desarrollo de óxidos de coloración naranja que cementan los fragmentos, en parte bandeados con cierta orientación preferencial y presencia de poros, posiblemente producto de la pérdida de ceniza o pómez.

V.1.1.7. Muestra M7: Vulcanita silicificada

1



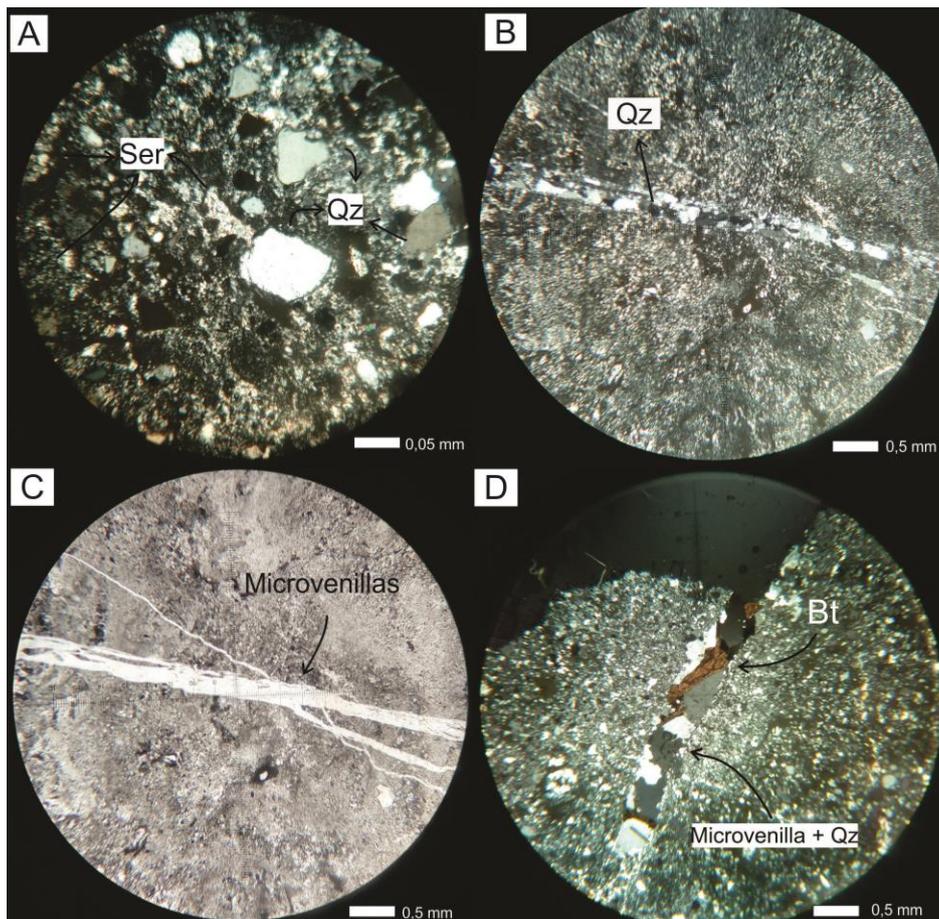


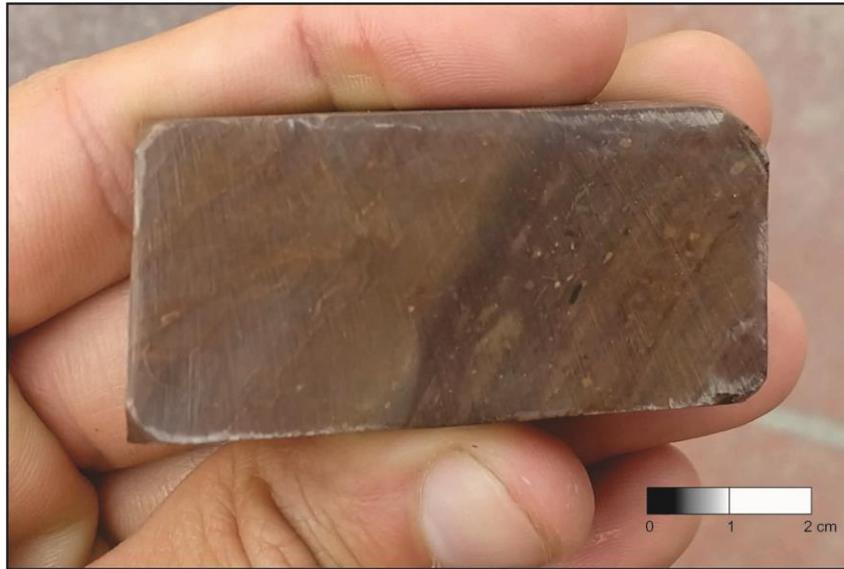
Figura 30: M7. 1) Muestra de mano. 2) Fotomicrografía a luz transmitida. A: Cristales anhedrales de cuarzo (Qz) en matriz sericítica, nicoles cruzados; B y C: Microvenillas de cuarzo (Qz), nicoles cruzados y paralelos respectivamente; D: Cristales de biotita (Bt) ocupando los espacios vacíos en venillas de cuarzo (Qz), nicoles cruzados.

Roca de color general gris claro a blanca compuesta mayormente por cristales euhedrales de cuarzo y de textura porfírica. Está compuesta por una matriz de grano fino de color amarillo (Fig. 30-A) que cambia a color verdoso en partes (posiblemente sericita o clorita). La muestra se caracteriza por presentar intensa silicificación y crecimiento secundario de cuarzo. Se observan minerales opacos ocupando la matriz y raramente como cristales aislados; cuando se presentan, éstos son cúbicos a tabulares.

La roca presenta microvenillas de cuarzo con diferentes orientaciones (Fig. 30-B y C), comúnmente contienen cristales de micas que muestran colores de interferencia pardos (Fig. 30-D). Se observan bandas de pirofilita y cuarzo deformados.

V.1.1.8. Muestra M8: Ignimbrita andesítica

1



2

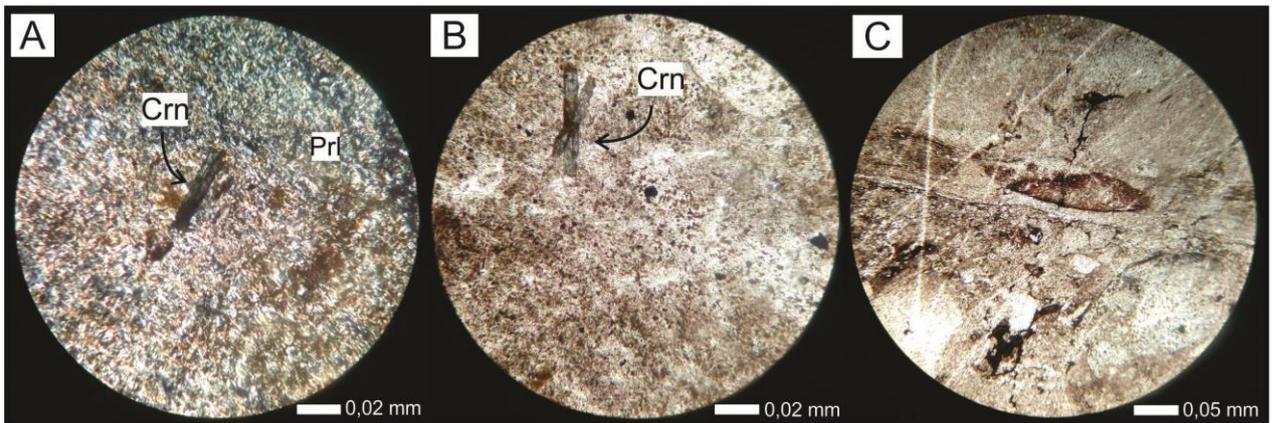


Figura 31: M8. 1) Muestra de mano. 2) Fotomicrografía a luz transmitida. A: Cristales alargados de corindón rodeados por alteración pirofilitica, nicoles cruzados; B: Cristales de corindón (Crn), nicoles paralelos; C: Formas esféricas producto de recrystalización, nicoles paralelos.

Roca de color pardo claro compuesta por bandas donde se desarrollan óxidos secundarios. Presenta un grano muy fino. La alteración está evidenciada mayormente por la presencia de pirofilita de hábito fibroso a acicular y color verdoso (Fig. 31-A).

Acompañando a la pirofilita se desarrolla sericita de grano fino. Esta se presenta tanto dentro como fuera de los fenocristales y se observan relictos de cristales de cuarzo y plagioclasa.

Se verificó (mediante la identificación del signo óptico) que la abundancia de pirofilita es mayor que la de illita y sericita. Se observan cristales de corindón de hábito prismático (Fig. 31-B) con un relieve medio a alto, color ligeramente azulado a

transparente y pleocroísmo ligeramente azulado. Hay abundantes minerales opacos distribuidos en toda la roca.

Enmascarada por alteración, la muestra presenta un aspecto terroso y no se reconocen prácticamente individuos cristalinos. Se destaca la presencia de esferulitas, algunas completas y otras incompletas, con alto color de interferencia producto de desvitrificación. Las formas esféricas correspondientes a esferulitas, aparecen recristalizadas en agregados equigranulares de cuarzo (Fig. 31-C).

Las bandas de óxidos con orientaciones preferenciales, son de coloración naranja, posiblemente óxidos de hierro (goethita). Hay fragmentos grandes de *fiammes*, como filetes alargados y trizas vítreas con microcavidades irregulares. La pirofilita se desarrolla en estas zonas probablemente por ser las más inestables.

CAPÍTULO VI

Las técnicas de análisis utilizadas en este trabajo corresponden a Espectroscopía de Fluorescencia de Rayos X y Difracción de Rayos X, ambas realizadas a fin de obtener la composición elemental de cada muestra y complementar así los análisis de campo y petrográficos para definir las zonas óptimas de explotación en el ámbito de la cantera. A continuación se brinda una breve descripción de los métodos analíticos utilizados con sus respectivos resultados.

VI.1. Espectroscopía de Fluorescencia de Rayos X

La Espectroscopía de Fluorescencia de Rayos X (XRF) es una técnica que permite la identificación de elementos en una muestra a partir de la lectura de la emisión de rayos X secundarios o fluorescentes desde la muestra luego de que ésta es expuesta a la irradiación de rayos X primarios. Cuando los rayos X primarios provenientes de un tubo de rayos X o de una fuente radiactiva golpean una muestra, los rayos X pueden absorberse por el átomo o pueden esparcirse a través del material. Si, durante este proceso, los rayos X primarios tienen suficiente energía, los electrones son expulsados de los niveles internos. De esta manera, los electrones de capas más externas ocupan los lugares vacantes. En el proceso, emiten rayos X característicos cuya energía es la diferencia entre los niveles de energía transferidos. Dado que cada elemento tiene niveles de energía característicos, cada elemento produce rayos X característicos, permitiendo así medir la composición elemental de una muestra sin destruirla. Si bien la XRF presenta limitaciones para una caracterización química integral (se pueden registrar alrededor de 80 elementos), puede revelar la existencia y abundancia singular de determinados elementos permitiendo diferenciar la composición. Con esta técnica, es posible determinar la concentración de elementos que están comprendidos entre el sodio ($Z = 11$) y el uranio ($Z = 92$), no se pueden determinar elementos livianos como hidrógeno, oxígeno, carbono, nitrógeno debido a la baja energía de sus rayos X característicos y a su bajo rendimiento de fluorescencia. Se aplica a muestras sólidas o líquidas y los límites de detección en materiales sólidos son generalmente de partes por millón (ppm), aunque la obtención de estos resultados depende de algunos factores como del elemento de análisis y la composición de la matriz de átomos (De la Cruz Echaccaya, 2018).

Existen diferentes tipos de equipamientos empleados en Fluorescencia de Rayos X, siendo los principales los espectrómetros dispersivos en longitud de onda (WDXRF), *wavelength dispersive X-ray fluorescence*, los espectrómetros dispersivos en energía (EDXRF), *energy dispersive X-ray fluorescence*, espectrómetros de microfluorescencia (μ -EDXRF) y espectrómetros por reflexión total (TXRF).

VI.1.1. Resultados del análisis

Estos análisis se realizaron sobre las mismas muestras tomadas para la elaboración de cortes petrográficos (ocho en total) y la preparación de las mismas consiste en la elaboración de pastillas (briquetas) con el mineral pulverizado en mortero de porcelana. La elaboración de estas pastillas se realizó con la ayuda de un aglomerante, para lo que se utilizó ácido bórico (H_3BO_3), y posteriormente fueron prensadas. Preparadas las pastillas se procedió a su lectura en el equipo de XRF.

De los ensayos de fluorescencia realizados, se obtuvieron los siguientes resultados que se exponen a continuación (Tablas II a IX):

Determinación (g %) ²	MUESTRA
	M1
PPC ³	5,100
SiO ₂	69,467
Al ₂ O ₃	16,072
CaO	3,741
K ₂ O	1,742
TiO ₂	0,045
SO ₃	1,245
MgO	1,013
BaO	0,349
Fe ₂ O ₃	1,030
Rb ₂ O	0,005
SrO	0,192

Tabla II: Resultado del análisis químico de la muestra M1.

Determinación (g %) ²	MUESTRA
	M2
PPC ³	3,830
SiO ₂	56,061
Al ₂ O ₃	24,937
Fe ₂ O ₃	7,685
K ₂ O	5,119
TiO ₂	0,896
CaO	0,707
MgO	0,682
MnO	0,040
ZrO ₂	0,019
RbO ₂	0,018
SrO	0,006

Tabla III: Resultado del análisis químico de la muestra M2.

Determinación (g %) ²	MUESTRA
	M3
PPC ³	4,045
SiO ₂	58,285
Al ₂ O ₃	24,159
K ₂ O	5,360
Fe ₂ O ₃	3,827
CaO	1,670
TiO ₂	0,687
MgO	0,605
SO ₃	0,597
Na ₂ O	0,349
BaO	0,243
V ₂ O ₅	0,060
ZrO ₂	0,040
SrO	0,035
Rb ₂ O	0,023
CuO	0,011
Y ₂ O ₃	0,005

Tabla IV: Resultado del análisis químico de la muestra M3.

Determinación (g %) ²	MUESTRA
	M4
PPC ³	4,375
SiO ₂	65,082
Al ₂ O ₃	19,618
Fe ₂ O ₃	3,792
K ₂ O	3,733
CaO	2,242
SO ₃	1,411
MgO	1,182
BaO	0,215
TiO ₂	0,135
MnO	0,079
SrO	0,040
ZrO ₂	0,025
V ₂ O ₅	0,024
Rb ₂ O	0,018
CuO	0,014
ZnO	0,009
Y ₂ O ₃	0,005

Tabla V: Resultado del análisis químico de la muestra M4.

Determinación (g %) ²	MUESTRA
	M5
PPC ³	3,160
SiO ₂	61,381
Al ₂ O ₃	24,425
K ₂ O	5,018
Fe ₂ O ₃	4,021
TiO ₂	0,932
Na ₂ O	0,411
MgO	0,303
CaO	0,143
SO ₃	0,075
V ₂ O ₅	0,058
ZrO ₂	0,032
Rb ₂ O	0,023
CuO	0,011
Y ₂ O ₃	0,004
SrO	0,004

Tabla VI: Resultado del análisis químico de la muestra M5.

Determinación (g %) ²	MUESTRA
	M6
PPC ³	3,475
SiO ₂	66,629
Al ₂ O ₃	18,812
Fe ₂ O ₃	5,258
K ₂ O	3,332
MgO	1,379
TiO ₂	0,584
CaO	0,208
MnO	0,108
SO ₃	0,091
V ₂ O ₅	0,038
ZrO ₂	0,031
Rb ₂ O	0,019
ZnO	0,013
CuO	0,012
Y ₂ O ₃	0,008
SrO	0,004

Tabla VII: Resultado del análisis químico de la muestra M6.

Determinación (g %) ²	MUESTRA
	M7
PPC ³	1,800
SiO ₂	85,233
Al ₂ O ₃	6,708
TiO ₂	1,757
CaO	1,267
K ₂ O	0,996
SO ₃	0,748
BaO	0,461
MgO	0,353
Fe ₂ O ₃	0,237
ZrO ₂	0,155
V ₂ O ₅	0,152
SrO	0,134

Tabla VIII: Resultado del análisis químico de la muestra M7.

Determinación (g %) ²	MUESTRA
	M8
PPC ³	5,935
SiO ₂	52,134
Al ₂ O ₃	31,431
Fe ₂ O ₃	6,316
K ₂ O	2,103
TiO ₂	0,751
CaO	0,330
MgO	0,301
Na ₂ O	0,213
BaO	0,187
SO ₃	0,138
SrO	0,072
ZrO ₂	0,034
V ₂ O ₅	0,029
MnO	0,014
Rb ₂ O	0,010

Tabla IX: Resultado del análisis químico de la muestra M8.

VI.1.2. Interpretación de los resultados obtenidos

De los resultados de Espectroscopía de Fluorescencia de Rayos X obtenidos y considerando que las muestras estudiadas corresponden a piroclastitas y vulcanitas con variado grado de alteración, se utiliza en este apartado un cuadro comparativo (Tabla X) que muestra la composición química de pirofilitas ubicadas en diferentes yacimientos del mundo clasificadas según diversas aptitudes. El mismo permite comparar los resultados obtenidos y así determinar las zonas que presentan calidades óptimas para su explotación.

Cuadro comparativo - Composición química de las pirofilitas explotadas en varios yacimientos del mundo									
(%)	Carolina EE.UU.				Japón Okayama	Terranova (Alta calidad)	India Hamirpur	Corea del Sur (Alta calidad)	Australia NSW
	Alta Calidad	Calidad P/esmalte	Calidad p/ Cerámica	Calidad p/ Refractarios					
SiO₂	57,78	71,70	76,40	78,05	54,09	63,36	64,50	66,07	73,10
Fe₂O₃	0,33	-	-	-	0,20	0,64	0,23	0,53	0,30
Al₂O₃	33,31	24,10	20,05	17,56	36,09	30,16	28,30	27,09	21,95
CaO	Trazas	0,10	Trazas	0,16	-	-	0,43	0,36	Trazas
MgO	Trazas	-	Trazas	0,04	-	Trazas	Trazas	0,07	Trazas
Na₂O	0,06	0,20	0,21	0,26	-	-	-	0,60	-
K₂O	3,90	-	0,05	1,39	-	-	Trazas	0,10	-
PPC	5,56	3,80	3,33	2,35	8,70	5,07	6,07	5,43	3,16

Tabla X: Cuadro comparativo con la composición química de pirofilitas en diferentes yacimientos del mundo (Fraser Española, S.A., 1973).

De esta manera, se observa que las muestras M2 (Tabla III) y M3 (Tabla IV), ubicadas en el margen sur del arroyo, presentan porcentajes en óxidos de SiO₂ y Al₂O₃ que se aproximan a la norma para una pirofilita químicamente pura (28,35% de Al₂O₃, 66,65% de SiO₂; Soto y Rodríguez, 1998a), siendo esas muestras las más representativas de este mineral. Las muestras ubicadas en el margen sur del arroyo, presentan porcentajes similares de alúmina con respecto a los yacimientos de Carolina (EE.UU.) y Australia, con rangos que son aptos para usos como esmalte en pinturas y cerámica.

Además, los resultados arrojan que las muestras M1 (Tabla II), M6 (Tabla VII) y M7 (Tabla VIII) tienen un contenido de SiO₂ significativo, corroborando lo observado durante el análisis petrográfico, donde se identificó abundante cuarzo de desvitrificación.

Se confirmó también la presencia de hierro, observándose valores importantes de Fe₂O₃, indicando posiblemente que estos corresponden a las fracciones oscuras y rojizas de las muestras.

En conclusión, comparando los valores obtenidos de la composición, en concentración de los elementos SiO₂ y Al₂O₃, puede afirmarse que existen zonas del Banco C (como las correspondientes a las muestras M2 y M3) que presentan calidades óptimas para explotar pirofilita destinada a uso ornamental. Teniendo en cuenta las concentraciones

de sílice y alúmina presentes en cada banco, se aconseja explotar aquellos que se aproximen a la norma de una pirofilita pura (Soto y Rodríguez, 1998a), siendo estos últimos los ubicados en el margen sur del arroyo.

VI.2. Difracción de Rayos X

La Difracción de Rayos X (DRX) constituye la técnica más utilizada para la identificación de minerales y es asimismo de gran utilidad en la caracterización de los constituyentes de una roca. Este método instrumental de análisis permite reconocer minerales en todos los materiales que presentan estructura cristalina es decir, que tengan un ordenamiento interno. Los rayos X se obtienen en un tubo donde los electrones, que provienen de un cátodo, bombardean un anticátodo de metal que actúa como blanco. Los electrones alcanzan una alta energía tras someter al sistema a una elevada diferencia de potencial y la radiación resultante emerge a través de una ventana de berilio. A fin de lograr una radiación de rayos X más pura, esto significa con una longitud de onda única, la radiación proveniente del tubo de rayos X atraviesa un filtro o un cristal monocromador consiguiéndose así reducir las líneas espectrales innecesarias. La interacción entre la radiación X y la materia cristalina causa una dispersión y en la misma surgen interferencias tanto constructivas como destructivas. Cuando los rayos están desfasados media longitud de onda, producirán interferencia destructiva sin embargo, si los rayos están exactamente desfasados una longitud de onda en la interferencia se refuerzan originándose la difracción. Un haz difractado está compuesto de rayos coherentemente dispersados. En la Fig. 32 se muestra el esquema comúnmente utilizado para describir el fenómeno de interferencia constructiva que da origen a la Ley de Bragg (Rueda, 2015).

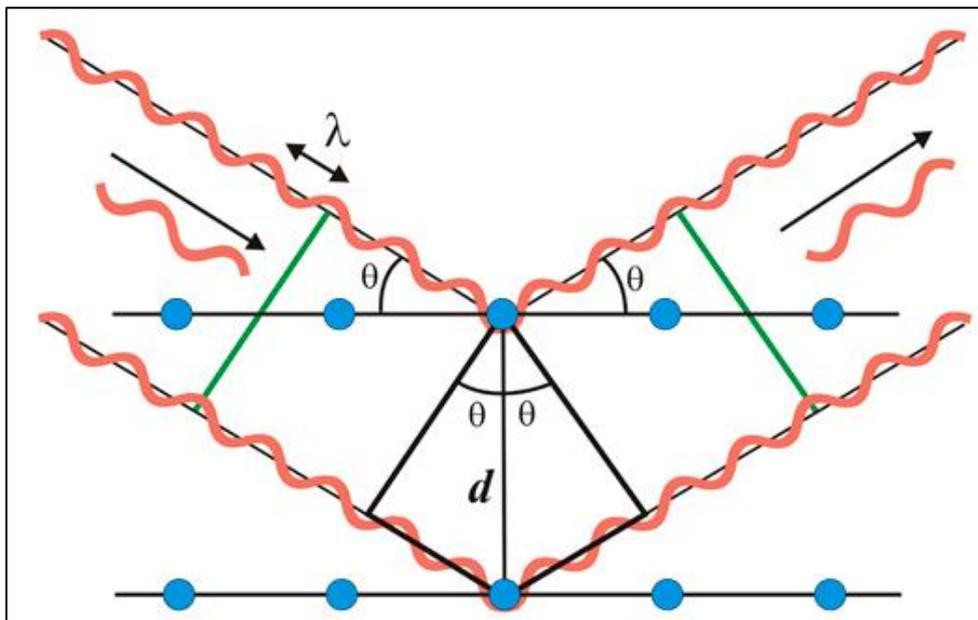


Figura 32: Representación esquemática de la Ley de Bragg.

La ley de Bragg se expresa mediante la siguiente ecuación: $n \lambda = 2d \cdot \sin \theta$. Donde **n** es un número entero (1, 2, 3,...n) que indica el orden de la reflexión, la longitud de onda de los rayos X (generalmente $\text{CuK}\alpha = 1,5418 \text{ \AA}$), **d** la distancia entre planos paralelos y **θ** el ángulo de incidencia. Los rayos X son difractados por el cristal solo si se cumple que el ángulo de incidencia $\sin \theta$ es igual a $2d/n$. Para todos los demás ángulos tienen lugar interferencias destructivas.

En el estudio de los minerales, los rayos X se pueden hacer incidir sobre un cristal o sobre una muestra pulverizada. El segundo caso, denominado método de polvo, permite disponer de un gran número de familias de planos que pueden difractar dado que la muestra esta desorientada.

En el método de polvo, la muestra se encuentra finamente pulverizada por lo cual existen partículas cristalinas con sus planos reticulares en todas las direcciones posibles. El material colocado en un portamuestras se introduce en el difractor de rayos X para ser sometido a la acción de la radiación X que incide en forma continua en distintos ángulos. En el estudio de sólidos en polvo los resultados se exhiben en difractogramas y los mismos revelan una serie de picos. El eje de abscisas corresponde el ángulo 2θ y el eje de ordenada muestra la intensidad del pico difractado. Además de identificar las fases cristalinas presentes, los difractogramas también son útiles para determinar su proporción a través de diversos procedimientos. En el caso de que el material no presente un ordenamiento interno en su estructura (por ejemplo vidrio volcánico), se obtiene una banda de difracción que informa respecto al carácter amorfo del sólido (Rueda, 2015).

VI.2.1. Resultados del análisis

Inicialmente, se tomaron muestras en diferentes zonas del área de explotación de la cantera Azul Auquén S.A. para realizar los correspondientes análisis por Difracción de Rayos X en el laboratorio del CIMAR (Centro de Investigación de Minerales Arcillosos) de la Universidad Nacional del Comahue, ciudad de Neuquén. En espera de los resultados correspondientes surge lamentablemente el acontecimiento conocido como COVID-19, declarado pandemia por la Organización Mundial de la Salud (OMS), por lo que la obtención de los resultados no fue posible y en virtud del aislamiento, se optó para este apartado tener en cuenta los resultados de DRX obtenidos por Herrador (2005) para el mismo sitio. Dichos análisis se llevaron a cabo solo sobre muestras del margen sur del arroyo El Auque (Fig. 33).

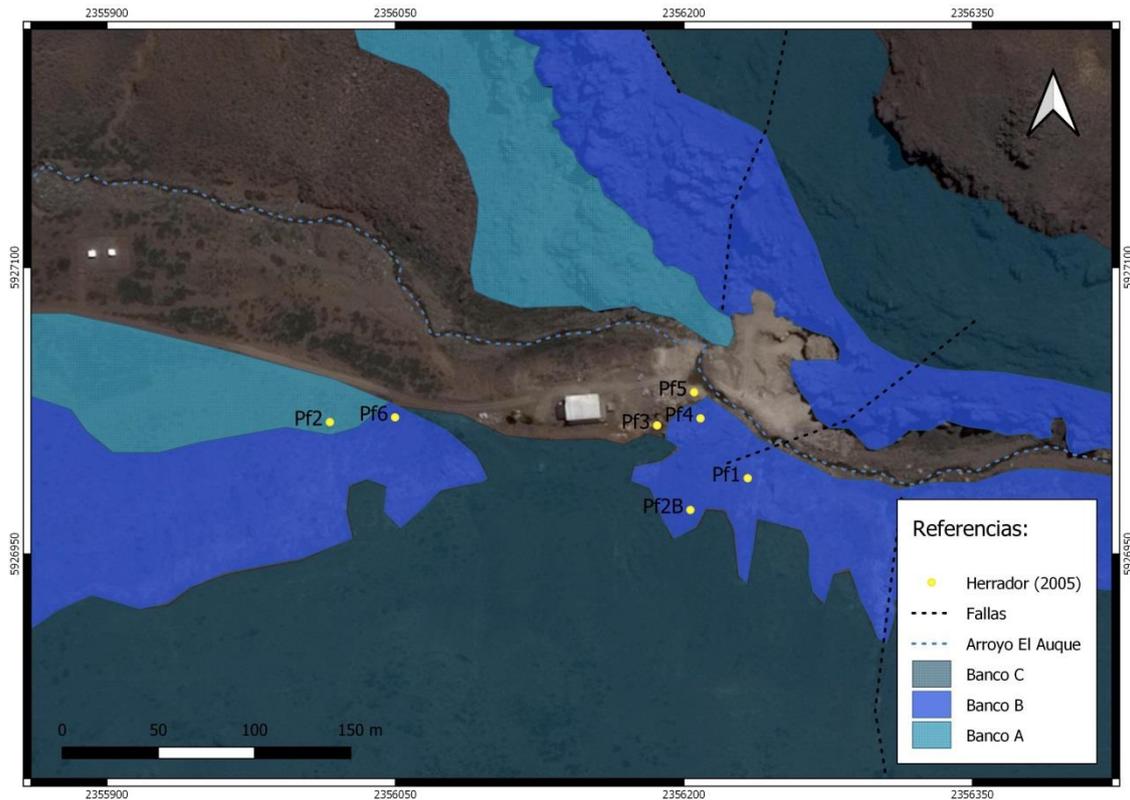


Figura 33: Mapa del área de estudio, se detalla el muestreo realizado por Herrador (2005) para Difracción de Rayos X.

A continuación se muestran las equivalencias en cuanto a la nomenclatura utilizada para clasificar a las rocas observadas en campo:

Herrador (2005)	Este trabajo	
Pf3	Azul Auquén I	Banco A
Pf2 (Pf2oc y Pf2oo)		
Pf5	Azul Auquén II	
Pf1	Banco B	
Pf6		
Pf2B		
Pf4		

Tabla XI: Nomenclatura utilizada en Herrador (2005). Se muestran las equivalencias de los bancos rocosos correspondientes al presente trabajo.

Los datos obtenidos se procesaron con los *softwares* PC – APD (PW 1877) y PC – IDENTIFY (PW 1876), con los que se obtuvieron los siguientes difractogramas (Figs. 34 a 36) (Herrador, 2005):

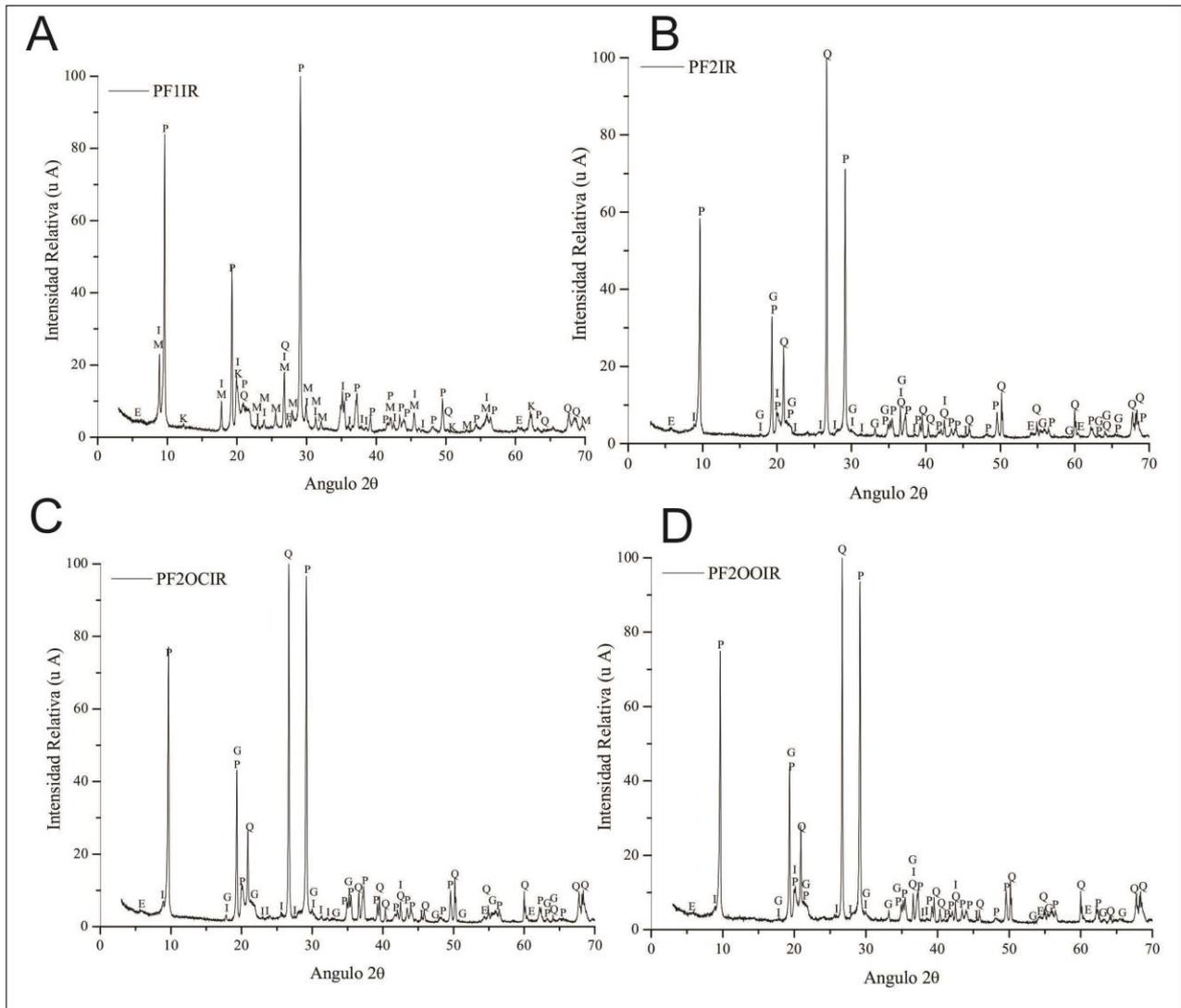


Figura 34: Difractogramas. Muestras A = Pf1; B= Pf2; C= Pf2oc; y D= Pf2oo. P: Pirofilita, Q: Cuarzo, M: Muscovita, I: Illita, K: Caolinita, E: Esmeclitas, G: Goethita (extraído de Herrador, 2005).

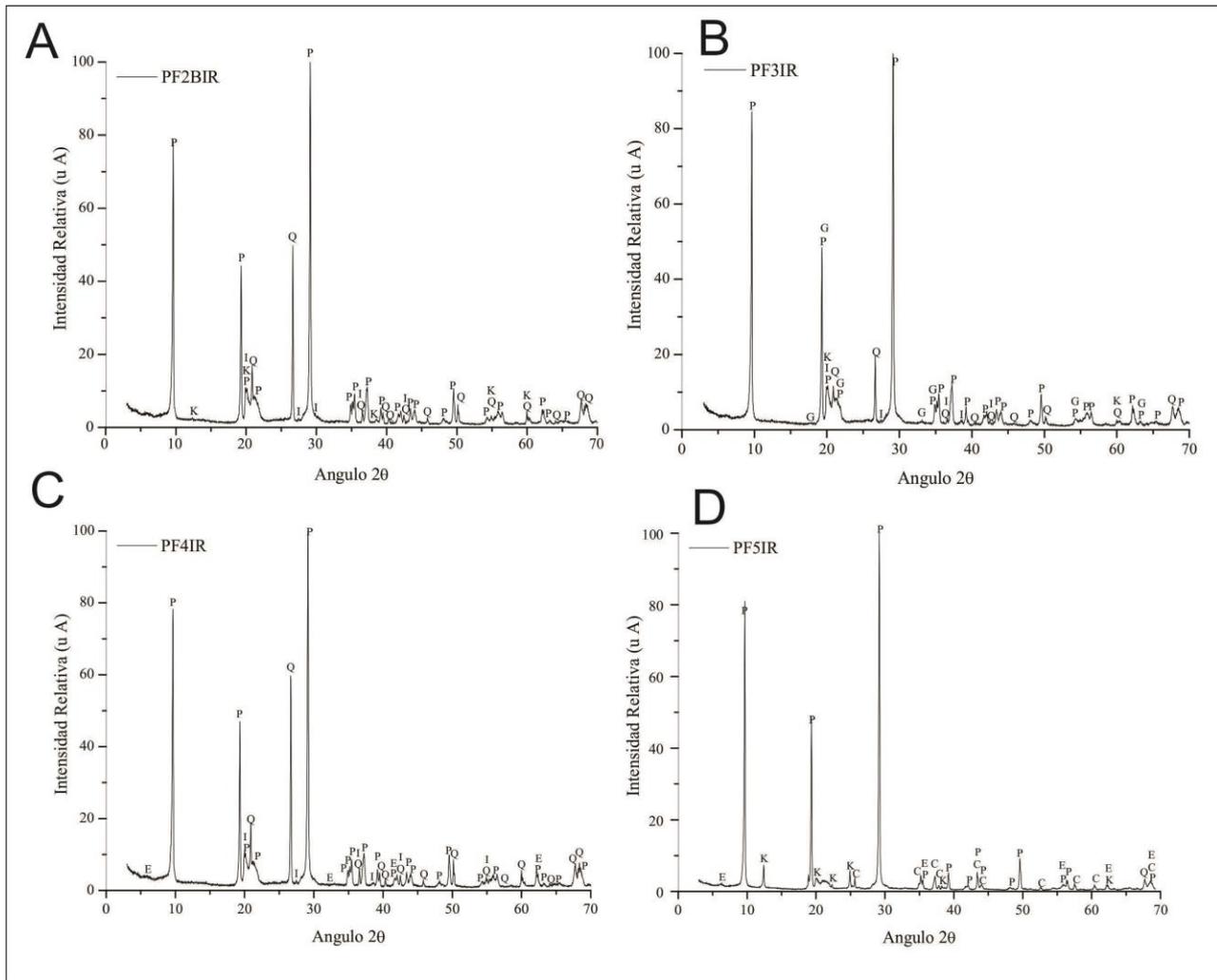


Figura 35: Difractogramas. Muestras A = Pf2B; B = Pf3; C = Pf4; y D = Pf5. P: Pirofilita, Q: Cuarzo, M: Muscovita, I: Illita, K: Caolinita, E: Esmectitas, C: Corindón, G: Goethita (extraído de Herrador, 2005).

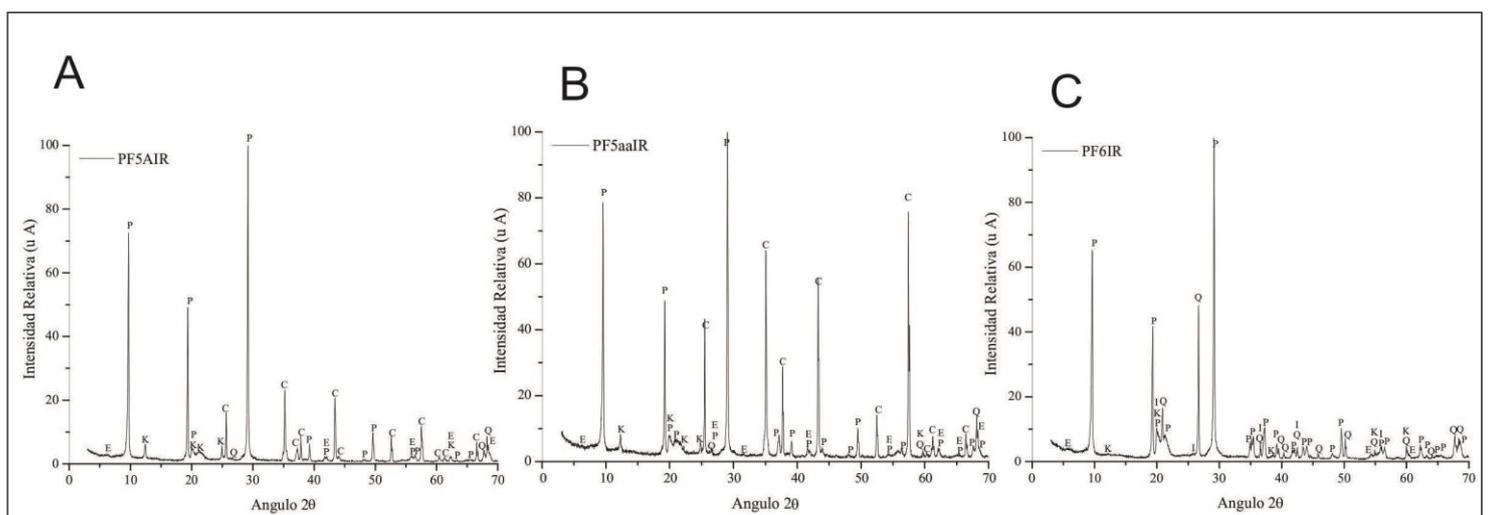


Figura 36: Difractogramas. Muestras A = Pf5a; B = Pf5aa y C = Pf6. P: Pirofilita, Q: Cuarzo, M: Muscovita, I: Illita, K: Caolinita, E: Esmectitas, C: Corindón, G: Goethita (extraído de Herrador, 2005).

VI.2.2. Interpretación de los resultados

Los resultados obtenidos por Herrador (2005) indican que la muestra Pf2 correspondiente para este trabajo al litotipo “Azul Auquén I” del Banco A, contiene concentraciones de minerales de hierro como goethita y relictos de pirita además de concentraciones importantes de cuarzo libre. Sin embargo, la muestra Pf3 correspondiente al mismo litotipo, contiene mayor concentración de pirofilita y en menor medida cuarzo, evidenciando la variable concentración de pirofilita en este litotipo. De los minerales arcillosos presentes en esta muestra se observan caolinita e illita y también minerales de hierro como goethita.

La muestra Pf5 correspondiente al litotipo “Azul Auquén II” del Banco A, presenta importantes concentraciones de pirofilita y Al_2O_3 , comprobándose la presencia de corindón, lo que se confirmó por medio del estudio petrográfico de las muestras (Capítulo V). Se identificó variable contenido de cuarzo y, dentro de los minerales arcillosos, se identificaron illita, caolinita y presencia de minerales del grupo de las esmectitas.

El resto de las muestras equivalentes a los afloramientos asignados en este trabajo al Banco B, mostraron resultados con picos elevados de pirofilita. Esto permitiría tener en cuenta a la prolongación hacia el sur de este banco como potencial recurso geológico a futuro.

CAPÍTULO VII

Durante el estudio de la mineralización de pirofilita y su distribución espacial, se ha observado que las discontinuidades estructurales (fallas, diaclasas y pliegues) así como las estructuras de deformación interna y las variaciones litológicas, habrían condicionado el desarrollo e intensidad de las alteraciones presentes.

Las fracturas suelen ser los canales de circulación de los fluidos y los espacios en los que se produce la precipitación, ya sea por pérdida de presión o por algún otro proceso que facilite el cambio de fase. Otro factor importante es el tipo de litología presente, que va a responder de diferente manera ante los cambios impuestos en el sistema hidrotermal y de alteración.

En tal sentido, se brinda una síntesis de la información estructural y litológica relevada en el sector de estudio, describiendo en cada caso las evidencias reconocidas.

VII.1. Controles estructurales

Como se mencionó anteriormente, se han identificado y mapeado fallas predominantemente con orientación NE-SO y en menor medida fallas menores con orientación NO-SE.

En el sector de la cantera, se observa en el margen sur del arroyo una falla inversa de rumbo NO-SE (Fig. 37) que se proyecta hacia los niveles inferiores de la secuencia volcánica mostrando en su entorno una marcada concentración de cuarzo-sericita del sistema hidrotermal y la presencia de pirofilita de alteración (zona más clara). Sobre el mismo margen y frente al nivel de explotación principal se identifica una falla de rumbo en sentido NE-SO con prolongación hacia el NE involucrando a los afloramientos del margen norte. Se observan en el plano de falla estrías de desplazamiento diagonal en sentido NE (Fig. 38).

De acuerdo a los análisis de Espectroscopía de Fluorescencia de Rayos X y estudios petrográficos de detalle, se ha establecido que las muestras ubicadas en cercanías a estas estructuras principales, contienen mayor concentración de pirofilita que las ubicadas en posiciones distales (como es el caso de las muestras M2 y M3 – Capítulos V y VI).

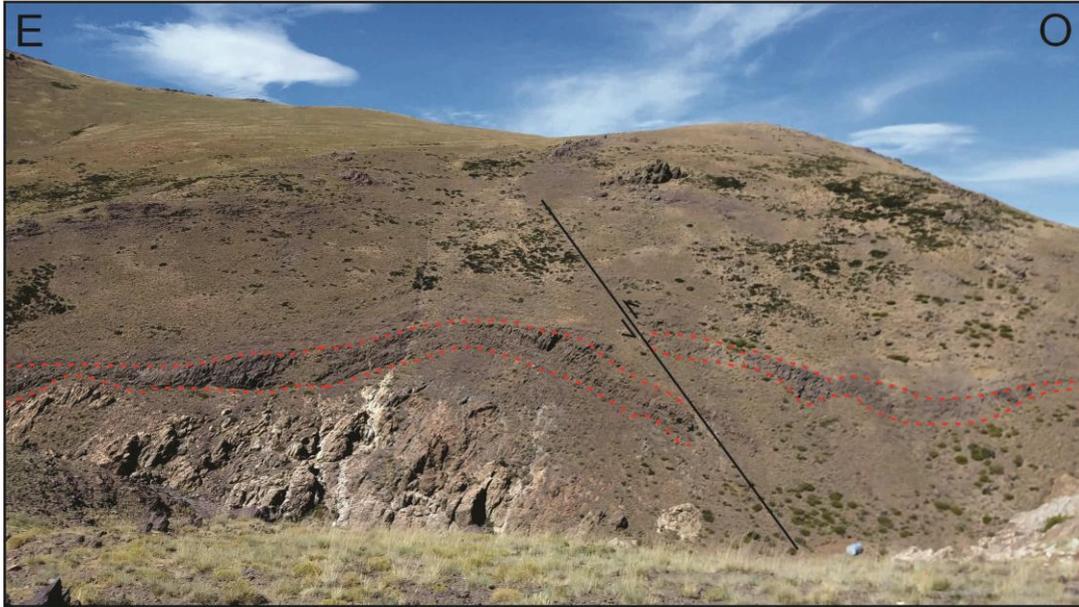


Figura 37: Falla de naturaleza inversa con orientación NO-SE afectando a las ignimbritas de los niveles superiores.

Adicionalmente se observa una relación espacial importante entre las trazas de las fallas mapeadas y la distribución de mineralización de pirofilita, observando que la alteración se propaga hacia ambos lados de las fallas y la pirofilita es reemplazada progresivamente por silicificación intensa en algunas zonas. Esto sugiere que las fallas principales (Fig. 21-Capítulo IV) habrían actuado en principio como canales de los fluidos hidrotermales mineralizantes para el desarrollo de las alteraciones presentes.



Figura 38: Falla de rumbo con orientación NE-SO con estrías de desplazamiento en sentido NE, ladera sur del arroyo El Auque.

Sumado a esta información de campo, se tomaron medidas de rumbo y buzamiento de los planos de diaclasas en diferentes zonas de interés (Fig. 44).

Como se mencionó en capítulos previos, se observó que estas estructuras mayores definen un suave anticlinal (Fig. 21-Capítulo IV). El plano axial de este último tiene orientación E-O a NO-SE con una leve inclinación hacia el NE y está ubicado en el curso actual del arroyo. Se estudian entonces dichas estructuras con el fin de determinar si el fallamiento está relacionado o no al plegamiento y mineralización.

Se elaboró la proyección estereográfica de los datos obtenidos y el respectivo diagrama de rosetas para cada zona de estudio. Este último permite visualizar de forma sencilla, las direcciones de los rumbos generales de las estructuras presentes en el área de estudio y obtener de esta manera una visión del control que ejercen las estructuras en la mineralización.

A continuación se muestra una lista de las medidas tomadas en las fallas principales y planos de diaclasamiento de diferentes zonas específicas ubicadas en el área de estudio (Tablas XII a XVI) y sus respectivos diagramas de distribución (Figs. 39 a 43).

FALLAS PRINCIPALES QUE AFECTAN AL PLIEGUE		
RUMBO	BUZAMIENTO	OBSERVACIONES
N60°E	40°NO	Falla Inversa
N60°O	80°NE	Falla Normal
N40°O	80°NE	Falla Normal
N60°E	90°	Falla de Rumbo (margen sur)

Tabla XII: Rumbo y buzamiento de las fallas principales que afectan al pliegue.

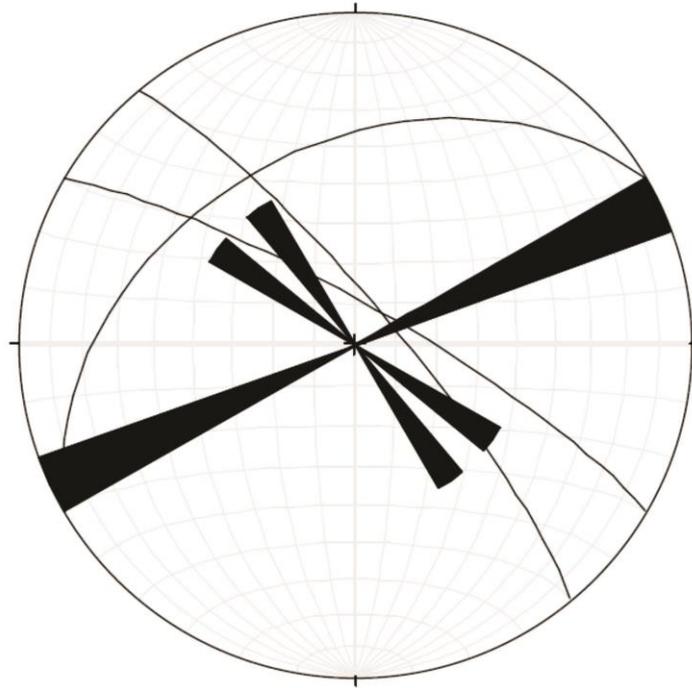


Figura 39: Proyección estereográfica y diagrama de rosa de los datos de la Tabla XII.

DIACLASAS UBICADAS EN EL FRENTE DE EXPLOTACIÓN (MARGEN NORTE)	
RUMBO	BUZAMIENTO
N40°E	45° NO
N180°	35°O
N150°	85°NE
N340°	55°NE
N200°	30°SE
N50°E	80°NO
N70°E	70°SE
N45°E	55°NO
N120°	55°NE
N210°	45°SE
N80°	35°NO

Tabla XIII: Rumbo y buzamiento medidos en el frente de explotación.

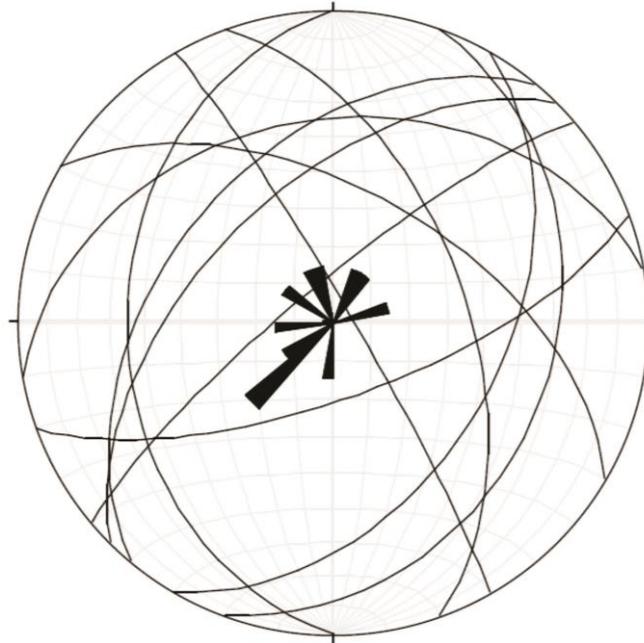


Figura 40: Proyección estereográfica y diagrama de rosa de los datos de la Tabla XIII.

DIACLASAS EN LA ZONA ESTE DEL MARGEN NORTE	
RUMBO	BUZAMIENTO
N20°O	10°NE
N60°O	50°NE
N40°O	65°NE
N50°O	30°NE
N50°O	70°NE
N30°O	35°NE
N10°O	60°NE

Tabla XIV: Rumbo y buzamiento en la zona este del margen norte.

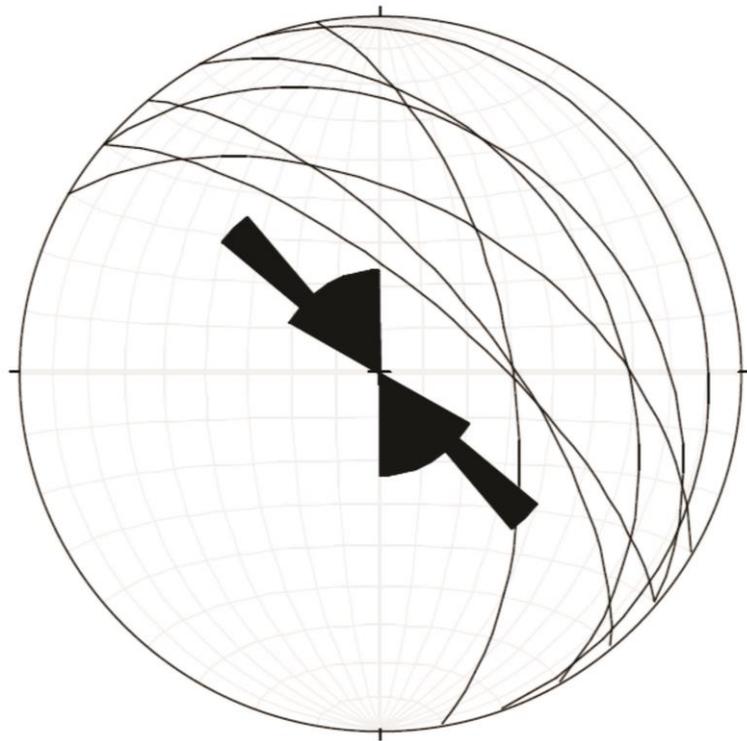


Figura 41: Proyección estereográfica y diagrama de rosa de los datos de la Tabla XIV.

DIACLASAS EN LA ZONA ESTE DEL MARGEN SUR	
RUMBO	BUZAMIENTO
N90°E	45°N
N145°E	35°NE
N130°E	40°NE
N180°	30°E
N145°E	35°NE
N130°E	45°NE
N140°E	45°NE
N140°E	25°NE
N145°E	25°NE

Tabla XV: Rumbo y buzamiento en la zona este del margen sur.

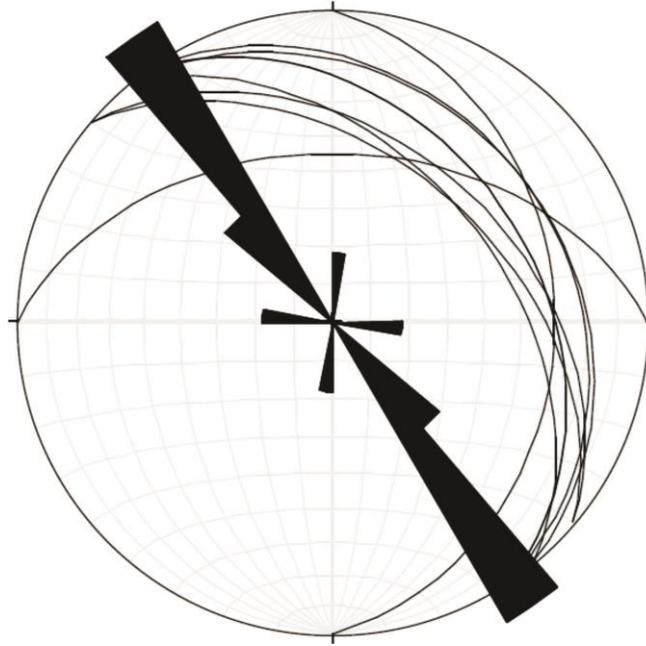


Figura 42: Proyección estereográfica y diagrama de rosa de los datos de la Tabla XV.

DIACLASAS UBICADAS EN EL MARGEN SUR (Próximo al galpón)	
RUMBO	BUZAMIENTO
N30°O	40°NE
N43°O	34°NE
N180°	65°E

Tabla XVI: Rumbo y buzamiento en la zona próxima al galpón ubicado en el margen sur.

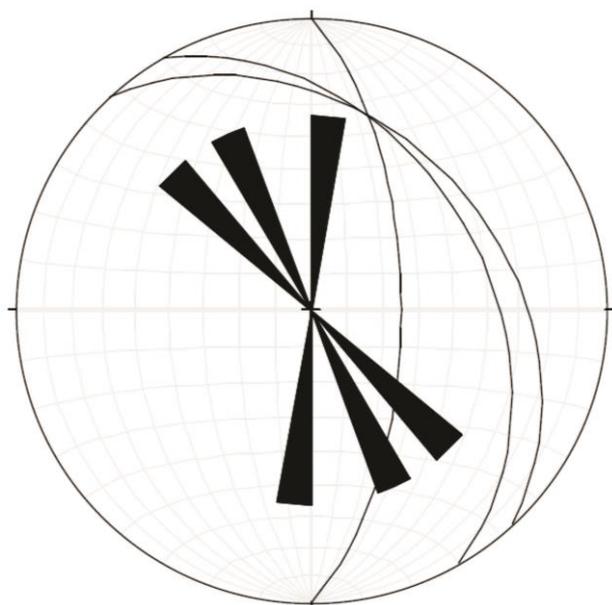


Figura 43: Proyección estereográfica y diagrama de rosa para los datos de la Tabla XVI.

Interpretación de los datos obtenidos

De los resultados obtenidos en las proyecciones estereográficas y los diagramas de rosas se visualiza en forma práctica la distribución de los rumbos generales de las estructuras, conociéndose de este modo los campos de esfuerzos principales.

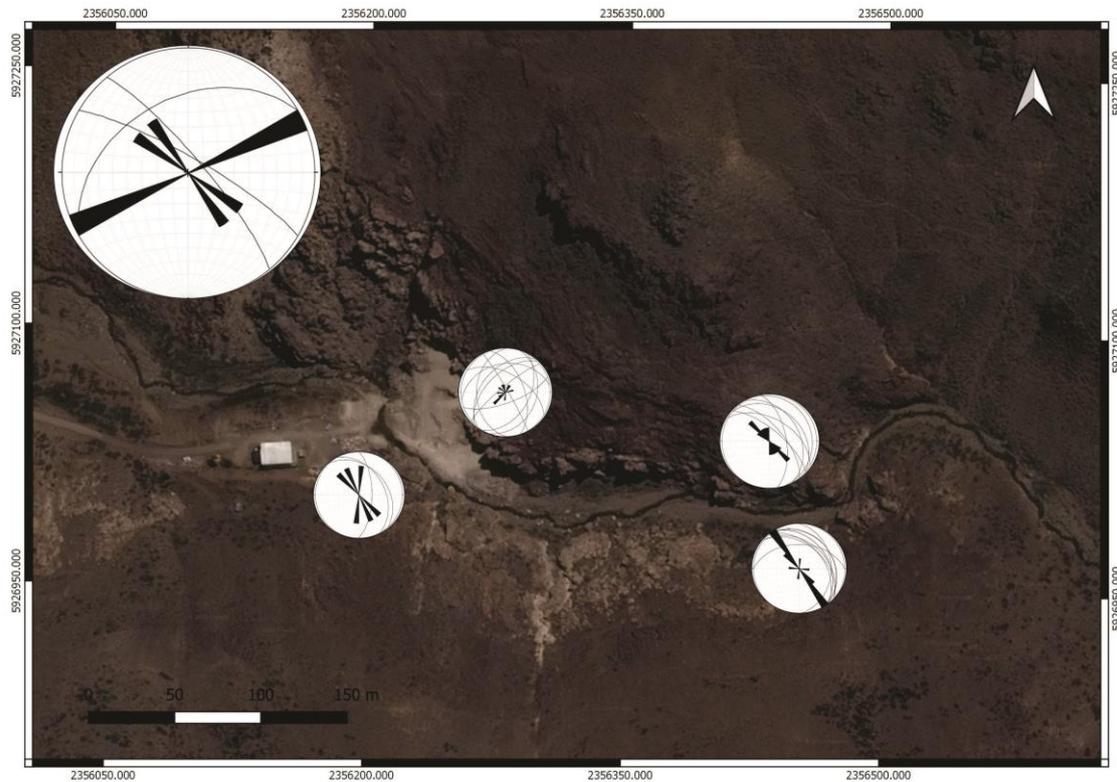


Figura 44: Imagen satelital del área de estudio mostrando las zonas donde se tomaron las mediciones en diaclasas.

Se asume que las estructuras mayores se originaron por esfuerzos compresivos con orientaciones preferenciales en sentido NE-SO principalmente y esfuerzos menores en sentido NO-SE. Esto correspondería con la disposición de las rocas observadas en el campo, posiblemente acomodadas producto de dichos esfuerzos, los mismos que habrían originado el plegamiento y formación del anticlinal con eje ubicado en el arroyo.

De esta manera, gracias al mapeo de las fallas presentes en el área de explotación y el reconocimiento de zonas con concentraciones favorables de pirofilita, se infiere que las mismas están relacionadas al plegamiento de las rocas y que al mismo tiempo actúan como un control de tipo estructural favoreciendo en ciertos sectores a la mineralización de interés.

VII.2. Controles litológicos

Además del control estructural sobre la mineralización de interés, se ha identificado una relación importante entre la mineralización y la litología.

De acuerdo al estudio de detalle, caracterizando los diferentes litotipos presentes en el área de estudio, se ha observado que en general la mineralización de pirofilita se encuentra entre los contactos de diferentes unidades, aprovechando los planos de debilidad o discontinuidades de las rocas.

La pirofilita se desarrolla preferentemente en los contactos o zonas de transición entre las diferentes piroclastitas alteradas como así también en los planos de diaclasamiento de éstas. Sin embargo, en las zonas donde predominan rocas más competentes como las vulcanitas de los niveles superiores, con colores violáceos y que se encuentran menos diaclasadas, la pirofilita no es abundante.

Los cambios de colores que se observan en las rocas, con alternancias de tonalidades verdosas, azules y violáceas corresponden a variaciones de la alteración hidrotermal como respuesta de la heterogeneidad litológica.

VII.3. Interpretación de los datos obtenidos - Discusión

En la Fig. 45 se observa la ubicación y correlación de los perfiles estratigráficos A-A' y B-B' (Fig. 11-Capítulo IV) realizados. Los litotipos inferiores ubicados en la ladera norte, más precisamente el **esquisto pirofilítico** y nivel **Azul Auquén I**, no fueron encontrados en la ladera sur del arroyo por lo que se infiere que por el cambio de buzamiento medido y la disposición de las rocas en la zona del núcleo del pliegue, estos presentan continuidad en subsuelo. De los litotipos suprayacentes, el litotipo **Azul Auquén II** presenta desarrollo en ambos márgenes con un color gris más azulado en el margen sur y con un desarrollo de cuerpos esferoidales y motas de corindón de mayor tamaño. La **pirofilita verde manzana** se encuentra en ambas zonas, con alta pureza en el margen norte y poca continuidad lateral debido a su explotación continua, mientras que en el margen sur el grado de pureza es menor presentando mayor contenido de sericita y cuarzo. El litotipo correspondiente a la **brecha volcánica**, aflora en ambos márgenes del arroyo siendo más espeso en el margen sur y presentando en esta zona clastos más redondeados con tamaños que llegan a los 30 cm; mientras que en el margen norte los clastos van de angulosos a subredondeados con tamaños entre 10-12 cm. El litotipo definido como **ignimbrita esquistosa** se encuentra aflorando en ambos márgenes del arroyo mostrando diaclasamiento en ambas zonas y una esquistosidad marcada en dirección al NE. La secuencia en ambos márgenes corona con los litotipos de **ignimbrita andesítica** de colores violáceos, mostrando niveles con fracturamiento en el margen sur (**ignimbrita con fracturamiento en enrejado**), y niveles macizos

(**ignimbrita compacta**), interpretando en este caso que estas dos unidades diferenciadas corresponden a diferentes pulsos eruptivos. Posiblemente esto sea debido a una reactivación del sistema volcánico, quedando evidenciado por el gran espesor de los depósitos piroclásticos que coronan la secuencia. No se observó, además, un contacto erosivo entre las dos unidades diferenciadas por lo que se infiere fueron depositadas probablemente durante un mismo evento eruptivo; si bien corresponderían a diferentes pulsos, estos pueden haber estado separados por un corto periodo de tiempo.

A lo largo de toda la secuencia, la **unidad ignimbrítica violácea, fina y cuarzosa con laminaciones paralelas** orientadas en dirección NO-SE (Fig. 16-C, Capítulo IV) ubicada en el margen norte del arroyo, no se ha identificado en el margen sur del mismo por lo que no ha sido posible establecer la correlación de esta unidad.

El litotipo correspondiente a las **vulcanitas silicificadas** no se encuentra en los perfiles A-A' y B-B' (Fig. 11-Capítulo IV) realizados.

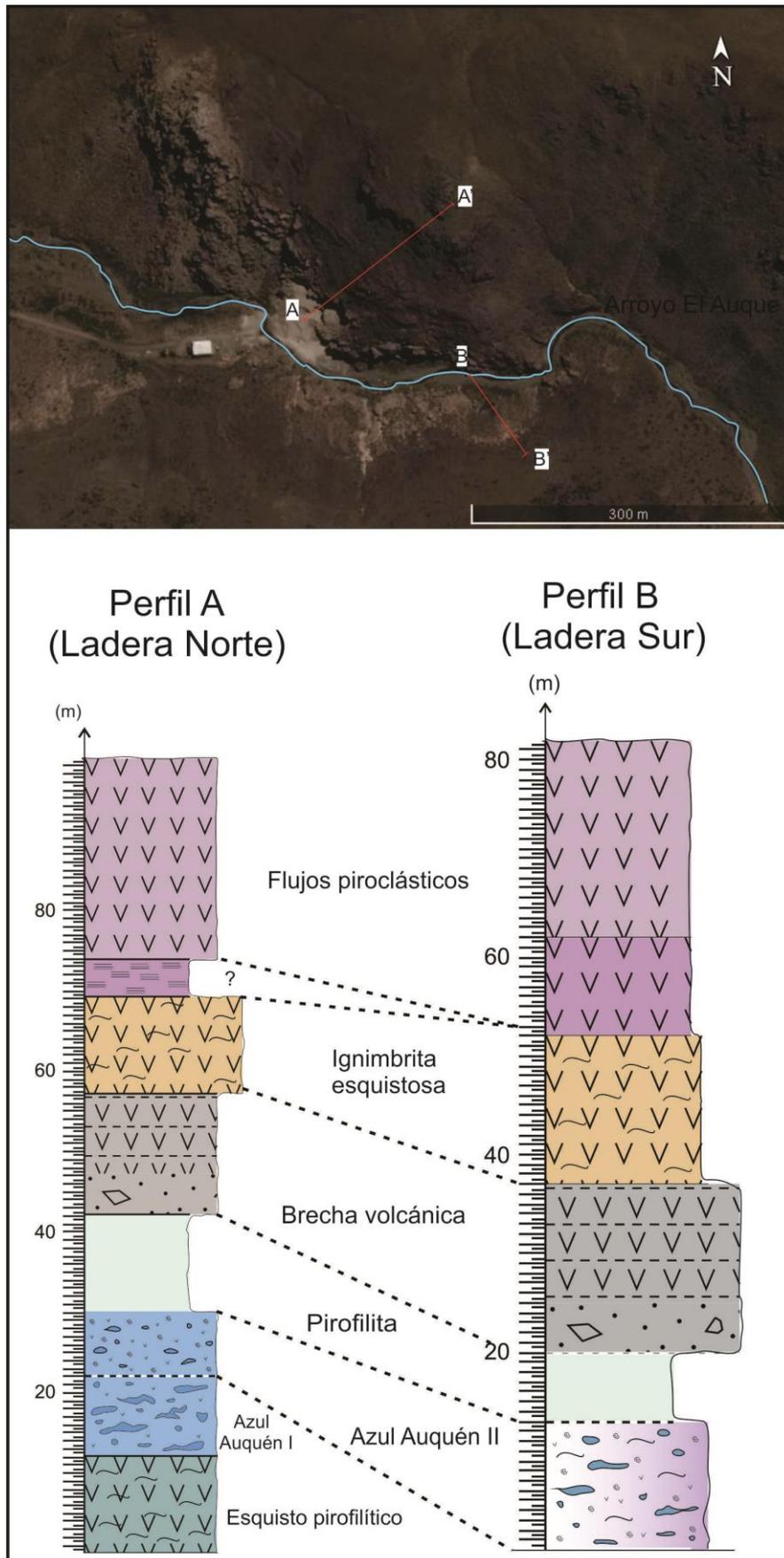


Figura 45: Ubicación en planta y correlación de los perfiles estratigráficos A-A' y B-B' (Fig. 12-Capítulo IV) realizados.

VII.4. Geología de la cantera

A continuación se detalla la información litológica y estratigráfica obtenida en el área de la cantera. Los resultados se presentan en un mapa geológico en escala 1:5.000 (Fig. 46) elaborado sobre base topográfica preexistente. En él pueden verse los diferentes litotipos asignados a cada unidad geológica diferenciada por las características macroscópicas y microscópicas reconocibles.

De los diez litotipos discriminados solo tres corresponden a niveles explotables de interés; estos son los niveles Azul Auquén I, Azul Auquén II y pirofilita verde manzana.

Los restantes litotipos pueden presentar variable contenido de pirofilita (sobre todo aquellos próximos al arroyo El Auque) a nulo contenido de la misma en los niveles topográficamente más altos.

Los niveles ignimbríticos de composición andesítica y los niveles ignimbríticos fracturados ubicados en las zonas más elevadas, presentan escaso a nulo contenido de pirofilita en su mineralogía por lo que constituyen niveles no aprovechables del recurso de interés.

El litotipo referenciado como esquisto pirofilítico (Figs. 14 y 15-A Capítulo IV) constituye un nivel con pirofilita subordinada ubicado en áreas poco explotables. Se sugiere, de explotarse este nivel, el diseño de un plan geológico-geotécnico con desarrollo de una nueva rampa de acceso para explotación.

Las vulcanitas silicificadas forman un litotipo que agrupa rocas con silicificación pervasiva y una dureza muy elevada. Están ubicados en zonas lejanas al frente de explotación principal y con un contenido de cuarzo muy elevado como para constituir bancos explotables.

Mapa geológico de la Cantera de Pirofilita Azul Auquén S.A.

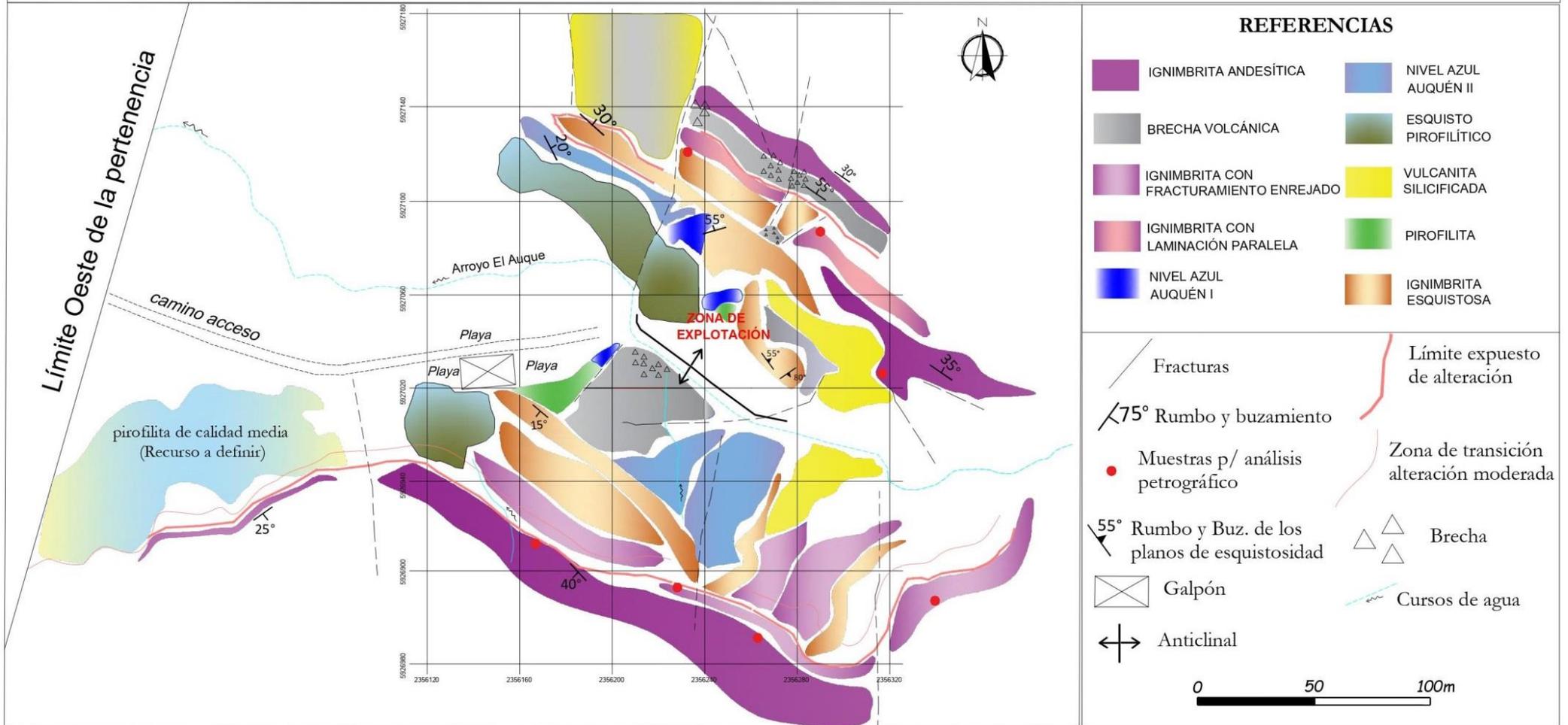


Figura 46: Síntesis de la geología del área de estudio obtenida en este trabajo (Escala 1:5.000).

CAPÍTULO VIII

VIII.1. Cálculo de Reservas

La estimación de las reservas del yacimiento en estudio permite definir las toneladas útiles de los bancos rocosos A y B (Capítulo IV) que agrupan a los litotipos de interés, así como también la morfología del depósito, lo que posteriormente facilitará la elección de un método de explotación adecuado.

En este trabajo, el cálculo de reservas mineras se realizó a través del método clásico de los bloques, mediante perfiles y secciones transversales y longitudinales. En este método, se divide al cuerpo mineralizado en cuerpos tridimensionales (bloques) mediante la construcción de secciones geológicas. Se forman intervalos que cruzan al cuerpo mineralizado, dándole a cada uno la proyección en profundidad correspondiente a la altura de cada banco (sobre base topográfica) y asumiendo que las características mineralógicas y químicas de los litotipos diferenciados se mantienen constantes tanto en la proyección vertical como en la horizontal.

Se adoptó el método clásico de los bloques en función de los datos disponibles y la geometría del yacimiento en cuestión. El método se basa en la construcción de una o varias figuras geométricas en las que se estima el volumen de mineralización de interés comercial que podría albergar cada bloque delimitado entre secciones. La exactitud de este método depende en gran medida de la distancia entre cortes, puesto que secciones muy separadas pueden generar importantes errores, debido a la existencia de cambios en la mineralización no controlados por los sucesivos perfiles. Estos bloques pueden ser todos iguales o mantener solo la altura del banco e ir variando anchura y longitud según convenga a efectos de cálculo (Bustillo y López, 1997).

Una vez determinado el volumen mineral que es posible extraer, a fines técnicos, se categorizan las reservas (Fig. 47) con códigos mineros en orden creciente de confianza, según el código JORC (1999) (Código Australiano de Información de Recursos Minerales y Reservas). Según este código, una Reserva Mineral es la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral medido o indicado. Incluye dilución de materiales y tolerancias por pérdidas que se pueden producir cuando se extraiga el material. El término “económico” implica que ha sido establecido o ha sido demostrado analíticamente que la extracción de la reserva mineral es viable y justificable bajo suposiciones razonables de inversión.

De esta manera es posible categorizar a las reservas como:

-Reservas probables: es la parte económicamente explotable de un recurso mineral indicado y en algunas circunstancias de un recurso mineral medido. Incluye los materiales de dilución y tolerancias por pérdidas que puedan producirse cuando se explota el material. Una reserva probable tiene un nivel más bajo de confianza que una

reserva probada. Tanto la geometría, como el volumen de mineral y la ley han sido inferidos a partir de estudios preliminares, por lo que se indica que existe riesgo de discontinuidad en la zona a ser estimada.

-Reservas probadas: es la parte económicamente explotable de un recurso mineral medido. Incluye los materiales de dilución y tolerancias por pérdidas que puedan producirse cuando se explota el material. Una reserva probada implica el más alto grado de confianza en la estimación, se define como la cantidad de mineral que se obtiene a partir de resultados de muestreo y sondajes. Los estudios permiten establecer la geometría de la reserva, su volumen y la ley del mineral, por lo que se indica que se tiene certeza de su continuidad en el área de estimación.

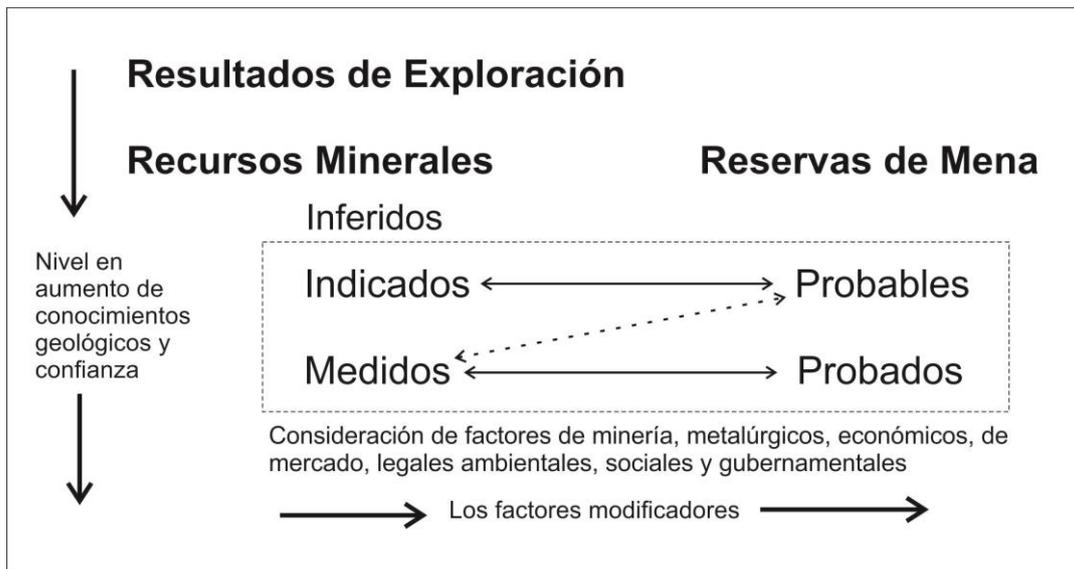


Figura 47: Categorización de las Reservas Mineras según el Código JORC (1999).

En el diseño del bloque tipo, se sigue el criterio práctico adoptado por García Molero (2016) que explica que las empresas mineras suelen dimensionar los bloques de la siguiente manera para:

→Reservas Probadas, se dimensiona la planta de cada bloque de manera que sus medidas equivalgan a la cuarta parte de la distancia entre los perfiles o puntos de control (Fig. 48) (la experiencia demuestra que un tamaño menor solo crea una falsa idea de precisión).

→Reservas Probables, se dimensiona la planta de cada bloque de manera que sus medidas equivalgan a tres cuartas partes de la distancia entre los perfiles o puntos de control (Fig. 48).

La metodología a emplear es la siguiente:

- Se realiza el cálculo del área mineralizada de cada sección.
- Se determinan los volúmenes de los bloques individualizados.
- Se obtienen las reservas por bloques.
- Se determinan las Reservas Totales.

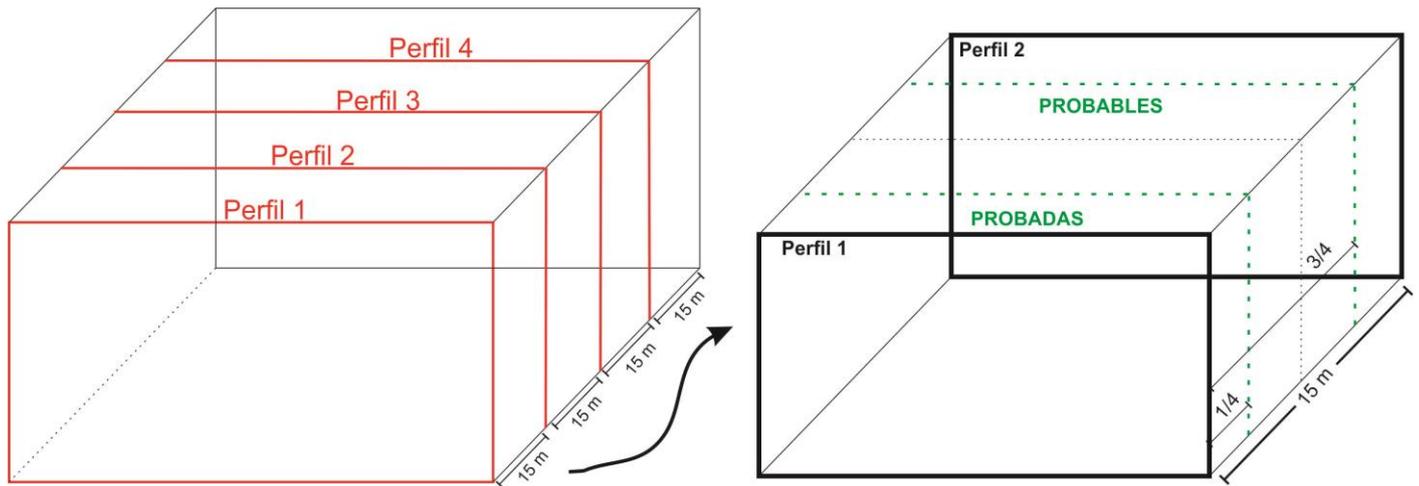


Figura 48: Representación esquemática del criterio utilizado para estimación de reservas por el método de bloques.

Así, para obtener las Reservas Probadas y Probables se realizan los siguientes cálculos:

$$\text{Reservas Probadas (t)} = \text{Dist. Perfiles (m)} \times \frac{1}{4} \text{ Dist. Perfiles (m)} \times \text{Espesor Promedio (m)} \times \text{Densidad (g/cm}^3\text{)}$$

$$\text{Reservas Probables (t)} = \text{Dist. Perfiles (m)} \times \frac{3}{4} \text{ Dist. Perfiles (m)} \times \text{Espesor Promedio (m)} \times \text{Densidad (g/cm}^3\text{)}$$

El procedimiento para realizar el cálculo de reservas consiste en obtener los datos de los espesores de los bancos rocosos de interés, medidos en los perfiles.

A partir de la toma de puntos GPS y con uso de imágenes satelitales (Google Earth) se miden las distancias (horizontales) en planta entre los perfiles realizados.

Para efectuar la cubicación de cada nivel de interés, se aísla cada nivel horizontal, de acuerdo a los bancos rocosos definidos para tratar los datos de forma individual. Luego se calcula el volumen mineral y el tonelaje final. En este caso, se utiliza como densidad el valor $2,6 \text{ g/cm}^3$ correspondiente a la densidad de la pirofilita para calcular reservas correspondientes al Banco A y Banco B que agrupan a los litotipos de interés.

VIII.1.1. Resultados obtenidos

Teniendo en cuenta los bancos diferenciados en el Capítulo IV que agrupan a los distintos litotipos estudiados, se realiza el cálculo de reservas según el método clásico de bloques, a través de secciones longitudinales y transversales. Los resultados obtenidos de las reservas en el área de estudio pueden verse en la tabla XVII.

Banco	Reservas Probadas (t)	Reservas Probables (t)
A (Nivel Azul Auquén)	4.095	12.285
B (Litotipos con variable contenido de pirofilita)	3.656,25	10.968,75
Total (t) :	7.751,25	23.253,75

Tabla XVII: Resultados finales de la estimación de reservas en el área de estudio.

Para este apartado, se realizaron cuatro perfiles transversales en sentido E-O equidistantes 15 m y un perfil longitudinal en sentido N-S (Fig. 49), todos con sus respectivas secciones para esquematizar la morfología de los depósitos que afloran en el área de la estudio.

En las tablas que se muestran a continuación (Tabla XVIII a XXI), se detalla el cálculo individual de Reservas Probadas y Probables de acuerdo a cada banco diferenciado teniendo en cuenta los perfiles realizados (Figs. 49 a 53).

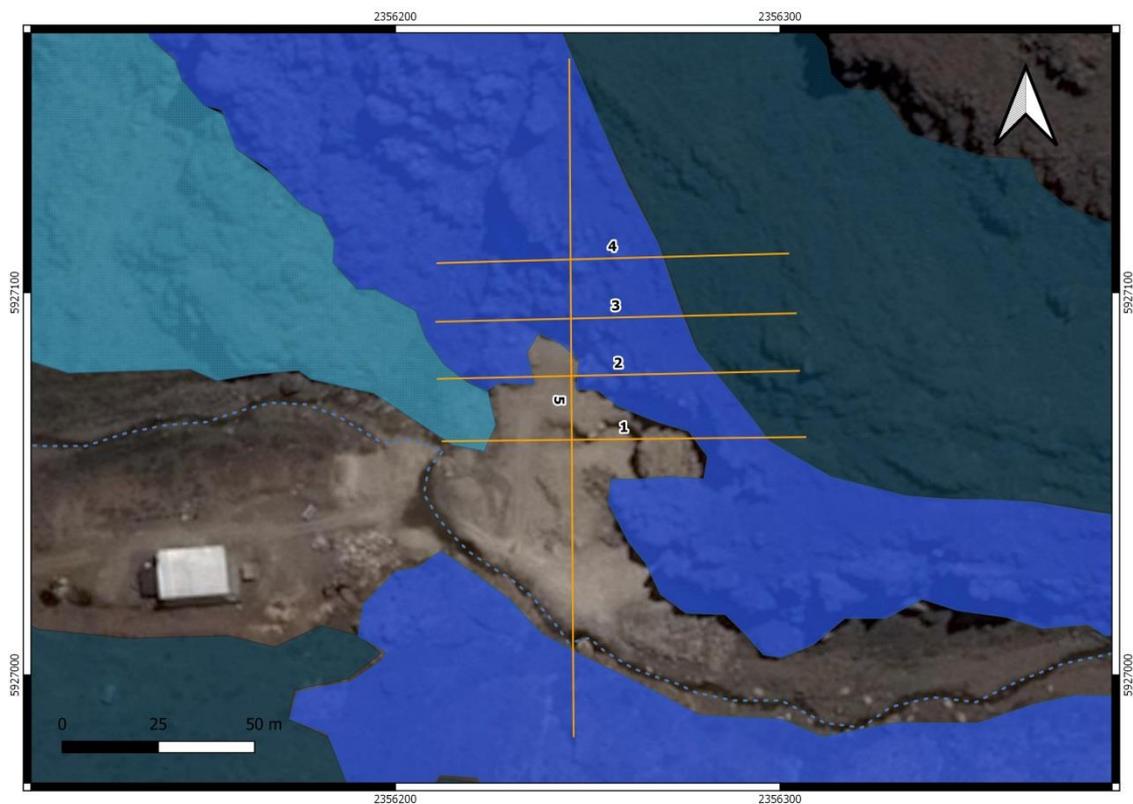


Figura 49: Perfiles transversales en sentido E-O y perfil longitudinal en sentido N-S.

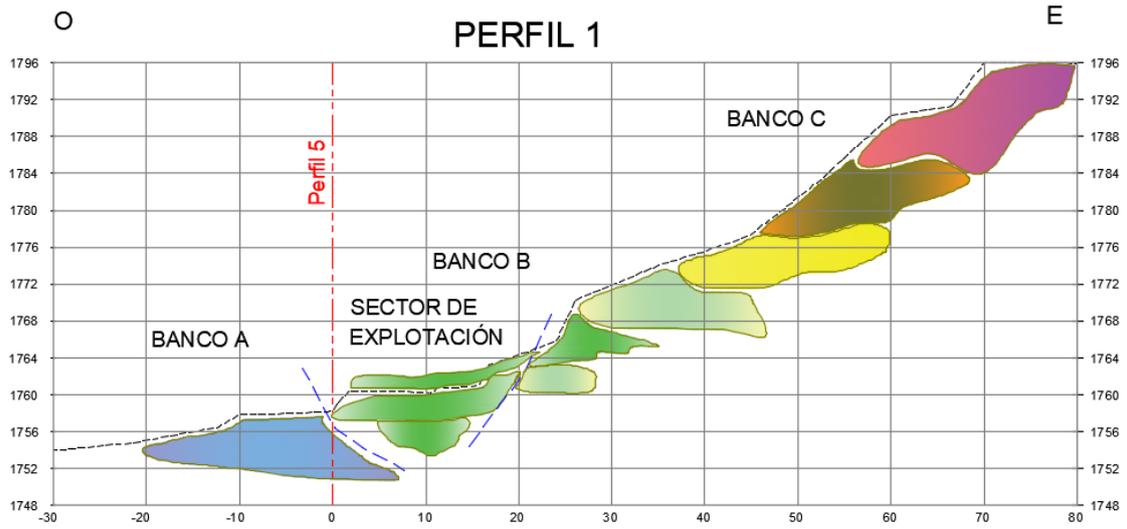


Figura 50: Sección O-E correspondiente al Perfil 1 (Fig. 49).

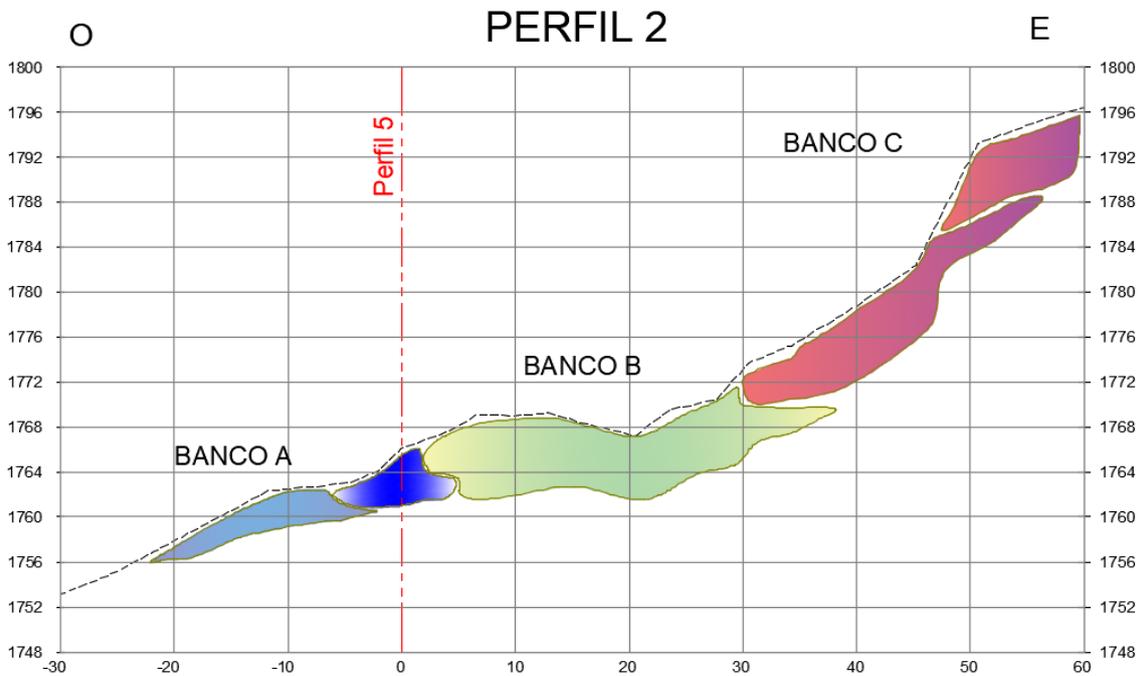


Figura 51: Sección O-E correspondiente al Perfil 2 (Fig. 49).

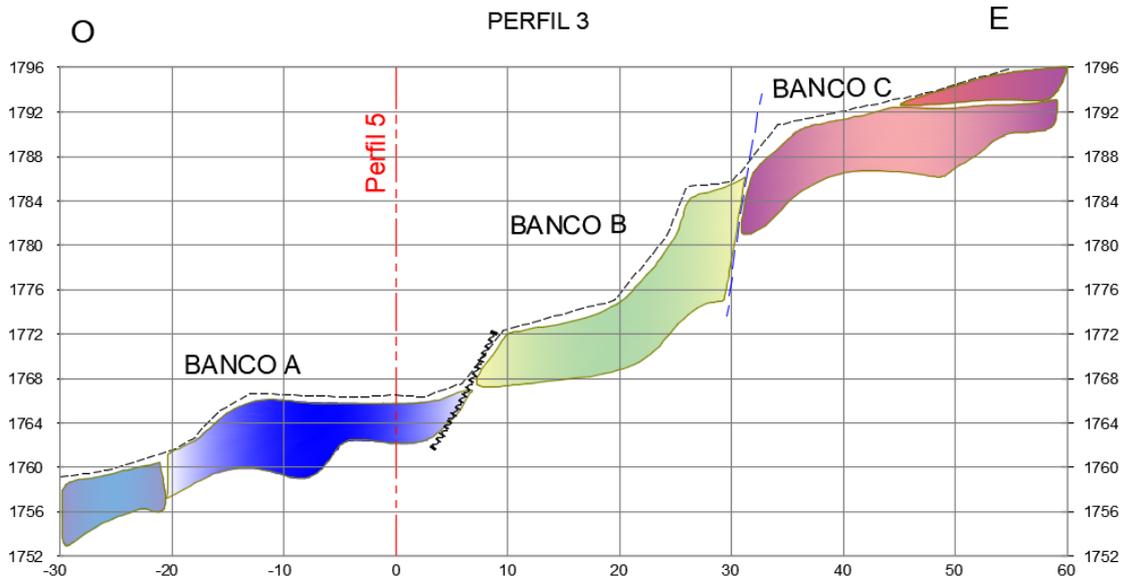


Figura 52: Sección O-E correspondiente al Perfil 3 (Fig. 49).

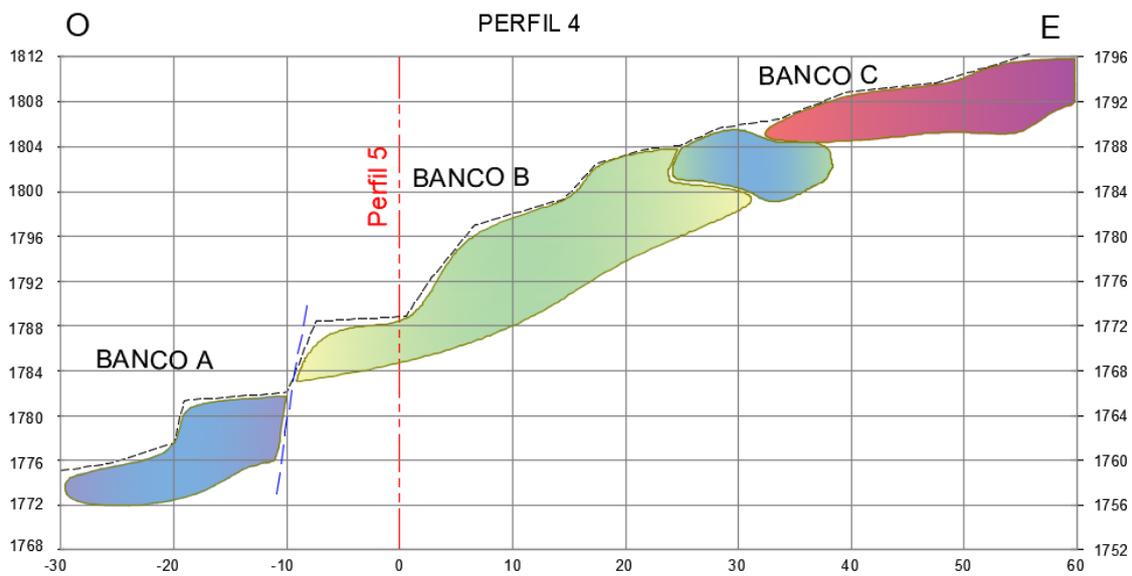


Figura 53: Sección O-E correspondiente al Perfil 4 (Fig. 49).

Reservas Probadas – Banco A (Nivel Azul Auquén)					
Perfiles	Distancia (m)	Espesor Prom. (m)	¼ Distancia	Densidad (g/cm ³)	Total (t)
1-2	15	12	3,75	2,6 g/cm ³	1.755
2-3	15	10	3,75	2,6 g/cm ³	1.462,5
3-4	15	6	3,75	2,6 g/cm ³	877,5
Total					4.095

Tabla XVIII: Resultados obtenidos de Reservas Probadas para el Banco A.

Reservas Probables – Banco A (Nivel Azul Auquén)					
Perfiles	Distancia (m)	Espesor Prom. (m)	$\frac{3}{4}$ Distancia	Densidad (g/cm^3)	Total (t)
1-2	15	12	11,25	2,6 g/cm^3	5.265
2-3	15	10	11,25	2,6 g/cm^3	4.387,5
3-4	15	6	11,25	2,6 g/cm^3	2.632,5
Total					12.285

Tabla XIX: Resultados obtenidos de Reservas Probables para el Banco A.

Reservas Probadas – Banco B (Pirofilita)					
Perfiles	Distancia (m)	Espesor Prom. (m)	$\frac{1}{4}$ Distancia	Densidad (g/cm^3)	Total (t)
1-2	15	7	3,75	2,6 g/cm^3	1.023,75
2-3	15	10	3,75	2,6 g/cm^3	1.462,5
3-4	15	8	3,75	2,6 g/cm^3	1.170
Total					3.656,25

Tabla XX: Resultados obtenidos de Reservas Probadas para el Banco B.

Reservas Probables – Banco B (Pirofilita)					
Perfiles	Distancia (m)	Espesor Prom. (m)	$\frac{3}{4}$ Distancia	Densidad (g/cm^3)	Total (t)
1-2	15	7	11,25	2,6 g/cm^3	3.071,25
2-3	15	10	11,25	2,6 g/cm^3	4.387,5
3-4	15	8	11,25	2,6 g/cm^3	3.510
Total					10.968,75

Tabla XXI: Resultados obtenidos de Reservas Probables para el Banco B.

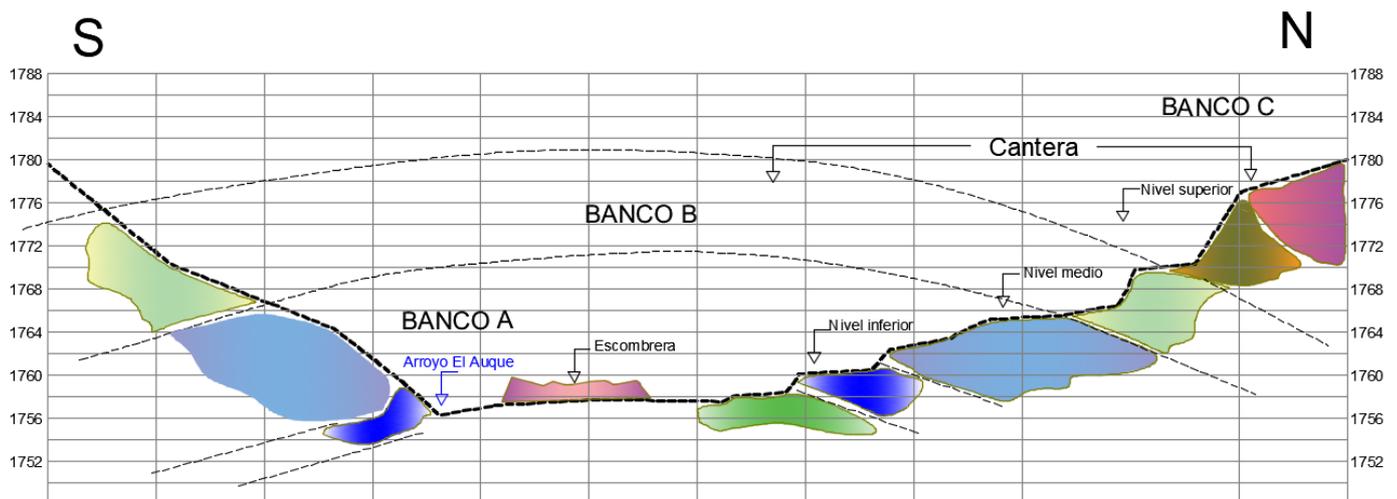


Figura 54: Sección O-E correspondiente al Perfil 5 (Fig. 49).

VIII.1.1.1. Interpretación de los resultados obtenidos

Con los resultados obtenidos, se ha establecido que las reservas del Banco B correspondientes a los niveles pirofílicos de mayor pureza, son menores en relación al Banco A. Esto se explica debido a que el nivel pirofílico ha sido mayormente extraído, por lo que actualmente la mayor cantidad de reservas corresponde a los niveles Azul Auquén I y II.

Por otra parte, los Bancos A y B presentan gran extensión sobre todo en el margen sur del arroyo El Auque, constituyendo las mayores reservas aprovechables a futuro en el extremo SO de la pertenencia minera.

Además, teniendo en cuenta las diferentes aptitudes que tienen estas rocas para usos correspondientes, se propone en el caso de continuar la explotación, hacer hincapié en la explotación del Banco B en el margen norte del arroyo El Auque, mientras que en el margen sur del mismo se propone explotar el Banco A correspondiente al nivel Azul Auquén II debido a la gran extensión del mismo y teniendo en cuenta que la pirofilita aquí es de menor pureza; además desde el punto de vista geológico-geotécnico, puede realizarse un nuevo frente de explotación en esta zona para continuar la extracción. Cabe destacar que aunque el Banco C contiene la menor proporción de pirofilita el control estructural permite la concentración del mineral, por lo que es recomendable también su explotación en determinados sectores.

De los valores obtenidos para Reservas Probadas y Probables, se recomienda verificar a través de controles de laboratorio previos, la variabilidad de los parámetros físicos en los bancos expuestos en el presente trabajo.

CAPÍTULO IX

IX.1. Conclusiones

El estudio de la naturaleza y petrografía de los afloramientos del área de la cantera Azul Auquén S.A., pertenecientes a la sección inferior de la Formación Colomichicó (Jurásico Inferior) (Zappettini *et al.*, 2018), determina que corresponden a ignimbritas y, en menor medida, a vulcanitas. Éstas se caracterizan por una composición andesítica y texturas desde eutaxíticas a fluidales y esferulíticas. La secuencia está afectada por alteración hidrotermal y metamorfismo, con variaciones cromáticas importantes.

Se diferencian además diez litotipos, representados en un mapa geológico de escala 1:5.000 (Fig. 46) para el área de explotación de la cantera, denominados: Esquisto pirofilitico, Nivel Azul Auquén I, Nivel Azul Auquén II, Pirofilita verde manzana, Brecha volcánica, Ignimbrita esquistosa, Ignimbrita con laminación paralela, Ignimbrita andesítica, Ignimbrita con fracturamiento en enrejado y Vulcanita silicificada. La correlación estratigráfica de estos litotipos en las márgenes del arroyo permite reconocer la correspondencia de cinco de ellos, con variaciones de espesor y cambios texturales. Los correspondientes a niveles explotables de interés son: Nivel Azul Auquén I, Nivel Azul Auquén II y Pirofilita verde manzana.

El análisis estructural de la zona permite definir una estructura anticlinal cuyo plano axial tiene una orientación E-O a NO-SE, con una leve inclinación hacia el NE, coincidiendo con el curso actual del arroyo. Se identifican también estructuras interstratales en el núcleo del pliegue expuesto por erosión, las que reflejan movimientos de flujos internos que constituyen el núcleo de alteración pirofilitica. El estudio de frecuencia de las diaclasas indica una orientación NE-SO para los esfuerzos principales que condicionaron la deformación en el área. Las fallas relevadas determinan dos sistemas de fracturas principales, de orientación NE-SO y NO-SE respectivamente, interpretados éstos, como relacionados al plegamiento. Estos sistemas actúan como controles estructurales constituyendo las vías de ascenso para el fluido mineralizante. Por otro lado, la zona de contacto entre diferentes unidades constituye planos de debilidad o discontinuidades que actúan como control estratigráfico. Este último condiciona el desarrollo de mineralización de pirofilita, siendo poco probable en las rocas más competentes y menos diaclasadas.

La pirofilita se encuentra en forma diseminada, con hábito fibroso a acicular y suele estar acompañada de sericita de grano fino. En el área de estudio, el margen norte del arroyo y las zonas circundantes a fallas principales presentan los recursos pirofiliticos de mayor pureza. De acuerdo a su calidad, se determina que es apta para su utilización como aditivo en pinturas y cerámica, además de sus actuales usos como roca ornamental y de revestimiento.

Del estudio de la distribución de la mineralización en los diferentes litotipos, considerando el análisis de los controles estructurales y estratigráficos, y sus respectivos efectos, sumado a la cuantificación de reservas minerales, surge como resultado la delimitación de diferentes bancos en función del contenido de pirofilita. Estos bancos, representados en un mapa geológico de escala 1:20.000 (Fig. 21), son el **Banco A**, de elevado contenido de corindón y constituido por el nivel Azul Auquén I y el nivel Azul Auquén II; el **Banco B** con contenido de pirofilita de variable distribución y compuesto por el nivel de pirofilita verde manzana y niveles de menor pureza; y el **Banco C**, que incluye vulcanitas y piroclastitas con menor contenido de pirofilita. Las mayores reservas aprovechables a futuro se encuentran en el margen sur del arroyo, en el extremo SO de la pertenencia minera y corresponden a los bancos A y B. El Banco C, pese a tener el menor contenido relativo de mineralización, presenta zonas de enriquecimiento mineral relacionadas a las estructuras principales. Contrariamente, las zonas alejadas a estas estructuras pueden llegar a tener concentraciones muy bajas de pirofilita. Bajo estas condiciones, los objetivos de explotación sugeridos son: el Banco B en el margen norte, el Banco A en el margen sur y el Banco C en las zonas cercanas a estructuras principales, donde se podrán extraer bloques con calidades óptimas para uso ornamental.

Las reservas minerales, calculadas por el método de bloques, dan un valor de 7.751,25 toneladas para las Reservas Probadas y 23.253,75 toneladas para Reservas Probables.

Bibliografía

- Bergaya, F., Theng, B.K.G. y Lagaly, G., 2006. Handbook of clay science. En: Bergaya, F., Theng, B.K.G. y Lagaly, G. (Eds.). *Developments in Clay Science*, Elsevier 1: 1-18.
- Bustillo, M., y López, J.C., 1997. *Manual de Evaluación y Diseño de Explotaciones Mineras* (Primera ed.). Madrid, Gráfica Arias Montano S.A., 708 pp.
- Casé, A.M., Impiccini, A., Franchini, M.B., Danieli, J.C. y Schalamuk, I., 2004. La alteración hidrotermal del arroyo Auquén, NO de Neuquén: ¿Un estilo similar a la alteración del depósito epitermal de alta sulfuración? VII Congreso de Mineralogía y Metalogenia: 161-188.
- Corbett, G.J., y Leach, T.M., 1998. Southwest Pacific Rim gold-copper systems: structure, alteration, and mineralization. Society of Economic Geologists. Special Publication 6: 69-82.
- Danieli, J.C., Casé, A., Leanza, H. y Bruna, M., 2011. Minerales y rocas industriales. En: Leanza, H., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C. y Vallés, J.M. (Eds.). XVIII Congreso Geológico Argentino, Neuquén. Relatorio: 725-744.
- Danieli, J.C., Franchini, M.B., Impiccini, A., Casé, A.M., Schalamuk, I. y Deza, M., 2002. Presencia de pirofilita del arroyo Auquén, Varvarco, Neuquén. XV Congreso Geológico Argentino, El Calafate, Actas 1: 406-411.
- De la Cruz Echaccaya, E.F., 2018. Fluorescencia de rayos X y su aplicación en la determinación de elementos químicos en determinadas muestras. Monografía técnica. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Lima, Perú (inédito), 53 pp.
- Fabiano, J., Molnar, N., Sagripanti, L., Rojas Vera, E., Ruiz, F., Giménez, M. y Folguera, A., 2012. El rol de la inversión tectónica en la formación de la faja de Chos Malal: El levantamiento de la Cordillera del Viento sobre la vertiente andina argentina. XIII Congreso Geológico de Chile. Actas: 135-137.
- Fraser Española, S.A., 1973. Estudio económico y tecnológico para explotación y aprovechamiento de las rocas industriales. Especificaciones y Clasificación de las Rocas Industriales. Tomo III: Talco y Pirofilita. Instituto Geológico y Minero de España, 54 pp.
- García Molero, A., 2016. Evaluación de un yacimiento de sulfuros complejos, mediante el paquete informático Recmin. Escuela de Ingeniería de Caminos y Minas. Universidad Politécnica de Cartagena (inédito), 132 pp.

- Giacosa, R., Allard, J., Foix, F. y Heredia, N., 2014. Stratigraphy, structure and geodynamic evolution of the Paleozoic rocks in the Cordillera del Viento (37° S latitude, Andes of Neuquén, Argentina). *Journal of Iberian Geology*, 40: 331-348.
- Groeber, P., 1929. Líneas fundamentales de la geología del Neuquén, sur de Mendoza y regiones adyacentes. Dirección Nacional de Geología y Minería, Publicación 58: 1- 109.
- Groeber, P., 1946. Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70°. 1. Hoja Chos Malal. *Revista de la Sociedad Geológica Argentina*, 1: 177-208.
- Groeber, P., 1947. Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70°. 3. Hojas Domuyo, Mari Mahuida, Huarhuarcho y parte de Epulauken 4. Hojas Bardas Blancas y Los Molles. *Revista de la Sociedad Geológica Argentina*, 2: 347-433.
- Herrador, M.G., 2005. Caracterización de las aptitudes industriales de la pirofilita del arroyo Auquén, Departamento Minas, Neuquén. Trabajo Final de Licenciatura en Tecnología. Minera, Universidad Nacional del Comahue, Facultad de Ingeniería, Asentamiento Universitario Zapala (inédito), 92 pp.
- J.I.C.A./M.M.A.J., 2000. Report on regional survey for mineral resources in the southern Andes of the Argentine Republic. Phase 1 (inédito).
- JICA, 2001. Report on Regional Survey for Mineral Resources in the Southern Andes Area. Argentine Republic. Final Report. Informe MPN-JR-01-077, Tokio - Buenos Aires (inédito), 378 p. y 16 apéndices.
- Kay, S.M., Burns, M. y Copeland, P., 2006. Upper Cretaceous to Holocene magmatism and evidence for transient Miocene shallowing of the Andean subduction zone under the northern Neuquén Basin. En: Kay, S.M. y Ramos, V.A. (Eds.), *Evolution of an Andean Margin: A tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén Basin (35-39°S)*. Geological Society of America, Special Paper, 407: 19-60.
- Klein, C. y Hurlbut, C.S., Jr., 1996. Manual de Mineralogía. Basado en la obra de J. D. Dana. Barcelona, Reverté S.A., 392 pp.
- Leanza, H.A., Llambías, E.J. y Carbone, O.C., 2005. Unidades estratigráficas limitadas por discordancias en los depocentros de la cordillera del Viento y la sierra de Chacaicó durante los inicios de la Cuenca Neuquina. V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata. Trabajos Técnicos, Versión CD ROM.

- Llambías, E.J., Leanza, H. A. y Carbone, O.C., 2007., Evolución tectono-magmática durante el Pérmico al Jurásico temprano en la Cordillera del Viento (37°05'S-37°15'S): nuevas evidencias geológicas y geoquímicas del inicio de la Cuenca Neuquina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 62 (2): 217-235.
- Lopez, J.P. y Bellos, L.I., 2006. Texturas y estructuras de las rocas ígneas: Significado petrológico e implicancias en las condiciones de formación de las rocas. *INSUGEO. Miscelánea*, 15: 7-57.
- Quintana, J.M., 2018. Nuevas observaciones geológicas sobre los depósitos de Jaspilita (Formación Colomichicó) en el área de Varvarco, Cordillera del Viento, Provincia del Neuquén. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue, Trabajo Final de Licenciatura (inédito), 108 pp.
- Ramos, V.A., Folguera, A. y García Morabito, E., 2011. Las provincias geológicas del Neuquén. En: Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C. y Vallés, J.M. (Eds.), *Geología y Recursos Naturales de la provincia del Neuquén*, Relatorio: 317- 326.
- Rolleri, E.O. y Criado Roqué, P., 1970. Geología de la provincia de Mendoza. IV Jornadas Geológicas Argentinas, 2: 1-60.
- Rovere, E., Caselli, A., Tourn, S., Leanza, H.A., Hugo, C. A., Folguera, A., Escosteguy, L. y Geuna, S., 2004. Hoja Geológica 3772-IV, Andacollo, provincia del Neuquén. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina a escala 1: 250.000. Servicio Geológico Minero Argentino, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Boletín 298: 1-104.
- Rueda, M., 2015. Retención de Zn, Cd y Pb por sólidos arcillosos. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata (inédito), 222 pp.
- Simmons, S., White, N.C. y John, D.A., 2005. Geological Characteristics of Epithermal Precious and Base Metal Deposits. Society of Economic Geologists. J.W. Hedenquist, J.F.H. Thompson, R.J. Goldfarb y J.P. Richards (Eds.), *Economic Geology 100th Anniversary. Society of Economic Geologists. (1905-2005)*: 485-522.
- Soto, P.J., y Pérez Rodríguez, J.L., 1998a. Características generales, propiedades, yacimientos y aplicaciones de pirofilita - I. Estructura, síntesis y características térmicas. *Sociedad Española de Cerámica y Vidrio (Eds.)*, 37 (4): 279-290.
- Soto, P.J., y Pérez Rodríguez, J.L., 1998b. Características generales, propiedades, yacimientos y aplicaciones de pirofilita - II. Yacimientos, aplicaciones y utilización como materia prima cerámica. *Sociedad Española de Cerámica y Vidrio (Eds.)*, 37 (5): 359-368.

- Stoll, W.C., 1957. Geología y Depósitos Minerales de Andacollo, provincia de Neuquén. Ministerio de Comercio e Industria de la Nación. Dirección Nacional de Minería, Buenos Aires, Anales VI: 1-35.
- Zanettini, J.C.M., 1987. Esquema estratigráfico y alteración hidrotermal en el cajón de los Chenques, provincia del Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 42 (1-2): 24-31.
- Zanettini, J.C.M., 2001. Hoja Geológica 3772-II Las Ovejas, provincia del Neuquén. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 263: 1-44.
- Zanettini, J.C.M., 2011. Recursos de Minerales Metalíferos. En: Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C. y Vallés, J.M. (Eds.), *Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén. XVIII Congreso Geológico Argentino*, Neuquén, Relatorio: 709-724.
- Zappettini, E.O. y Dalponte, M., 2009. Hallazgo de hierro bandeado en el basamento del sector noroccidental de la Cordillera del Viento, provincia del Neuquén: aspectos estratigráficos y metalogenéticos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 64: 550-554.
- Zappettini, E.O. y Dalponte, M., 2010. Geoquímica y Mineralogía de ETR de los Depósitos Tipo BIF de la Cordillera del Viento, Provincia del Neuquén X Congreso de Mineralogía y Metalogenia, 1: 251-256.
- Zappettini, E.O., Méndez, V. y Zanettini J.C.M., 1987. Metasedimentitas mesopaleozoicas en el noroeste de la Provincia del Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 42: 206–207.
- Zappettini, E.O., Chernicoff, C., Santos, S., Dalponte. M., Belousova, E. y McNaughton, N., 2012. Retrowedge-related Carboniferous units and coeval magmatism in the northwestern Neuquén province, Argentina. *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)*, 101: 2083–2104.
- Zappettini, E.O., Lagorio, S.L., Dalponte. M., Santos, J.O. y Belousova, E., 2018. Evidencias de magmatismo precuyano (Pliensbachiano - Toarciano) en el norte de la Cordillera del Viento, provincia del Neuquén: geoquímica, caracterización isotópica e implicancias tectónicas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 75: 533-558.
- Zöllner, W. y Amos, A.J., 1955. Acerca del Paleozoico superior y Triásico del cerro La Premia, Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 10: 127-135.
- Zöllner, W. y Amos, A.J., 1973. Descripción geológica de la Hoja 32b, Chos Malal, provincia del Neuquén. Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 143: 1-91.