



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

Facultad de Ciencias Químicas

Departamento Ciencias de la Tierra



**ESTRATIGRAFÍA DE DETALLE DE LAS
VOLCANITAS LOS TEBOS Y RECONOCIMIENTO DE
MANTOS FAVORABLES – MINA EL SAUCE, CABILDO,
REGIÓN DE VALPARAÍSO, CHILE**

Memoria para optar al Título de Geólogo

Francisca Isabel Riffo Fuentes

Profesor Patrocinante: Dra. Fernanda Carolina Álvarez Amado
Profesionales Guía: Sr. Francisco Javier Rojas Lucchini
Sr. Julio Ignacio Carrasco Muñoz
Profesores Comisión: Dr. Joaquín Alejandro Cortes Aranda
Dr. Mauricio Esteban Espinoza Vargas

Concepción, 2023

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVO	1
1.1.1. Objetivo General	1
1.1.2. Objetivos Específicos	1
1.2. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	2
1.3. AGRADECIMIENTOS	3
2. TRABAJO REALIZADO	4
2.1. TRABAJO PRE-TERRENO	4
2.2. TRABAJO TERRENO	4
2.3. TRABAJO DE GABINETE	4
3. MARCO GEOLÓGICO DISTRITAL	6
3.1. FORMACIÓN LO PRADO	6
3.2. FORMACIÓN VETA NEGRA	7
3.3. FORMACIÓN LAS CHILCAS	8
3.4. ROCAS INTRUSIVAS	9
3.4.1. Complejo Plutónico Illapel	9
4. MARCO TECTÓNICO	11
5. MARCO TEÓRICO	13
5.1. DEPÓSITOS ESTRATOLIGADOS DE Cu-(Ag)	14
6. RESULTADOS	16
6.1. ESTRATIGRAFÍA DE LAS VOLCANITAS LOS TEBOS	16
6.1.1. Columnas Resultantes del Perfil Norte	19
6.1.2. Columnas Resultantes del Perfil Central	26
6.1.3. Columnas Resultantes del Perfil Sur	37
6.2. GEOQUÍMICA	44

6.2.1. Diagrama TAS (Le Bas y otros, 1986)	44
6.2.2. Diagrama Zr/Ti vs. Nb/Y (Pearce, 1996)	45
6.2.3. Diagrama AFM (Irvine y Baragar, 1971).....	46
6.2.4. Diagrama Th-Hf/3-Ta (wood y otros, 1980)	47
6.2.5. Diagrama de Tierras Raras normalizado al Condrito	48
6.3. LITOLOGIAS DE LAS VOLCANITAS LOS TEBOS	50
6.3.1. Litologías miembro Inferior:	50
6.3.1.1. Lavas:.....	50
6.3.1.2. Rocas volcanoclásticas:	50
6.3.1.3. Areniscas volcánicas:.....	51
6.3.2. Litologías miembro Superior	54
6.3.2.1. Lavas:.....	54
6.3.2.2. Aglomerado	54
6.3.2.3. Arenisca Volcánica	55
6.4. MINERALOGÍA DE ALTERACIÓN.....	56
6.4.1. Albita	56
6.4.2. Anfíbol secundario	56
6.4.3. Epidota	56
6.4.4. Clorita	56
6.4.5. Actinolita.....	56
6.4.6. Biotita secundaria	57
6.4.7. Feldespato K.....	57
6.4.8. Cuarzo secundario	57
6.4.9. Sericita.....	57
6.4.10. Minerales de arcilla	57
6.4.11. Calcita	58
6.4.12. Zeolita.....	58
6.4.13. Hematita.....	58
6.4.14. Sulfuros de cobre.....	58

6.4.15. Oxidados de cobre.....	59
6.4.16. Esfalerita	59
6.4.17. Limonita.....	59
6.5. DISTRIBUCIÓN DE LOS MINERALES DE COBRE EN LA ZONA DE ESTUDIO Y ESTRUCTURAS ASOCIADAS.....	61
6.5.1. Sector Norte del Perfil Central.....	63
6.5.2. Sector Sur del Perfil Central.....	63
7. DISCUSIÓN.....	66
7.1. COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS.....	66
7.2. RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS Y NIVELES GUÍA	67
7.3. GEOQUÍMICA	70
7.4. EVENTOS DE MINERALIZACIÓN	71
7.4.1. Metamorfismo regional de bajo grado	71
7.4.2. Evento de alteración hidrotermal.....	71
7.4.3. Alteración Supérgena	72
7.5. MANTOS FAVORABLES.....	74
7.5.1. Perfil Norte	76
7.5.2. Perfil Central	77
7.5.3. Perfil Sur	80
8. CONCLUSIÓN.....	82
9. BIBLIOGRAFÍA.....	84
10. ANEXOS	88
TABLA 1: Puntos de terreno con sus muestras correspondientes.....	88
TABLA 2: Datos del análisis geoquímico	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1.1: Mapa de ubicación y acceso al área de estudio.	2
5.1: Depósitos de Cu-(Ag) pertenecientes a la Franja del Cretácico Inferior, Cordillera de la Costa de Chile Central (Boric y otros, 2002).	13
6.1: Mapa perfiles área de estudio y simbología.	17
6.2: Leyenda de las columnas estratigráficas del Perfil Norte, Centro y Sur.	18
6.3: Mapa Perfil Norte.	19
6.4: Litologías de los tramos N1 y N3.	20
6.5: Litologías de los tramos N6 y N8.	22
6.6: Litologías del tramo N9.	23
6.7: Columnas estratigráficas 4-N y 3-N del Perfil Norte.	24
6.8: Columnas estratigráficas 2-N y 1-N del Perfil Norte.	25
6.9: Mapa Perfil Central.	26
6.10: Litología tramo C2.	27
6.11: Litología tramo C3.	28
6.12: Litología tramo C4.	28
6.13: Litología tramo C5.	29
6.14: Litología tramo C7.	30
6.15: Litologías tramo C13.	31
6.16: Litologías de los tramos C15, C16 y C17.	33
6.17: Columnas estratigráficas 6-N y 5-N del Perfil Central.	34
6.18: Columnas estratigráficas 4-N y 3-N del Perfil Central.	35
6.19: Columnas estratigráficas 2-N y 1-N del Perfil Central.	36
6.20: Mapa perfil Sur.	37
6.21: Litologías de los tramos S1 y S2.	38
6.22: Litología tramo S4.	39
6.23: Litología tramo S4.	40
6.24: Litología de los tramos S5, S14 y S16.	41
6.25: Columnas estratigráficas 4-S y 3-S del Perfil Sur.	42
6.26: Columnas estratigráficas 2-S y 1-S del Perfil Sur.	43
6.27: Diagrama TAS.	44
6.28: Diagrama Zr/Ti vs. Nb/Y.	45
6.29: Diagrama AFM.	46
6.30: Diagrama Th-Hf/3-Ta.	47
6.31: Diagramas de REE normalizados al Condrito Tomado de White (2005).	48
6.32: Diagrama de REE normalizado al Condrito (Sun y McDonough, 1989).	49
6.34: Afloramiento en miembro Inferior.	52
6.33: Coladas de lavas andesíticas basálticas.	52
6.36: Litarenita feldespática.	53
6.35: Afloramiento de arcosas líticas laminadas.	53
6.37: Afloramientos andesitas.	54
6.38: Afloramiento de aglomerado.	55

6.39: Minerales de alteración de mena y ganga.....	59
6.40: Minerales de alteración de mena y ganga.....	60
6.41: Tabla con puntos de terreno y sus muestras con y sin minerales de Cu visibles.	61
6.42: Mapa del área de estudio con 20 puntos de terreno con o sin minerales de Cu visibles y su simbología.....	62
6.43: Labores mineras artesanales, y ejemplos de mineralización.	65
7.1: Esquema de distribución de facies volcanoclásticas en ambientes subaéreos, para composiciones andesíticas a dacíticas.	67
7.2: simbología utilizada en la Figura 7.3.	68
7.3: Correlación de las columnas estratigráficas.	69
7.4 Diagrama de REE normalizado al N-MORB.	70
7.5: Cuadro paragenético.....	73
7.6: Leyenda de los perfiles de secciones pertenecientes al Perfil Norte, Perfil Central y Perfil Sur.....	75
7.7: Sección entre los 717E y 1017E del Perfil Norte.....	76
7.8: Tabla de mantos favorables y potencialmente favorables y sus datos.	76
7.9: Sección entre los 417E y 917E del Perfil Central.	77
7.10: Sección entre los 1117E y 1617E del Perfil Central.	78
7.11: Sección entre los 1617E y 2117E del Perfil Central.	79
7.12: Tabla de mantos favorables y potencialmente favorables y sus datos.	80
7.13: Sección entre 647E y 954E del Perfil Central.	81
7.14: Tabla de mantos favorables y potencialmente favorables y sus datos.	81

RESUMEN

A lo largo de la Cordillera de la Costa, entre los 22° y 34° de latitud sur, se encuentra la franja del Cretácico Inferior. Esta alberga diferentes depósitos metalíferos, como lo son los depósitos estratoligados de Cu. Estos depósitos en la región se hospedan en las Formaciones Lo Prado, Veta Negra y las Chilcas, secuencias estratigráficas intruidas por el Complejo Plutónico Illapel.

Al sur de la comuna de Cabildo, dentro de la franja metalogénica del Cretácico Inferior, se encuentra la mina El Sauce perteneciente a la compañía minera Las Cenizas. Esta mina, actualmente en explotación, es un depósito estratoligado de Cobre-Plata emplazado en rocas volcano-sedimentarias marinas y volcánicas, cuya mineralogía de mena es principalmente calcosina, bornita y calcopirita.

En la mina se denomina unidad Basal al conjunto de rocas volcano-sedimentarias marinas, mientras que las volcánicas se nombran Volcanitas Los Tebos. La unidad Basal se encuentra bien detallada y estudiada mientras que las Volcanitas Los Tebos requiere una mayor caracterización que permita generar un modelo útil para su explotación, para ello se requiere identificar sus litologías, alteración de ganga y mena, química y estructuras asociadas.

Se realiza un estudio petrográfico a través del mapeo y extracción de muestras en superficie a lo largo de tres transectas definidas y visitas puntuales a la mina El Sauce, además, se realizan cortes transparentes y pulidos de algunas muestras, obteniéndose un informe con el análisis de estas que permite extraer información para clasificar las rocas, caracterizar la mineralogía y determinar eventos de mineralización. Lo anterior permite realizar columnas estratigráficas detalladas para las tres transectas realizadas. También se obtiene información del análisis química de las rocas, la cual es utilizada para clasificar las rocas, determinar el ambiente tectónico de origen, y calcular leyes de cobre. Lo anterior se realiza con la finalidad de comparar los resultados obtenidos con informes previos realizados en el sector y principalmente para determinar los matos favorables de mineralización en Las Volcanitas Los Tebos, lo cual se plasma en perfiles geológicos.

Las Volcanitas Los Tebos se dividen en dos miembros, miembro Inferior y miembro Superior, con lavas más diferenciadas (principalmente andesita) en el miembro Superior. Se identifican 7 mantos favorables de mineralización y 24 mantos potencialmente favorables de mineralización. Los mantos favorables y potencialmente favorables se encuentran en zonas vesiculares/amigdaloidales, de autobrecha, pervasivamente alteradas y de contacto.

La identificación de los mantos favorables y potencialmente favorables a partir del estudio realizado permite generar un guía para la exploración de *targets* en las futuras campañas de sondaje tanto en el interior como exterior de la mina El Sauce y ser una herramienta guía para identificar nuevos mantos a partir de las características litológicas identificadas como favorables en rocas de origen volcánico.

1. INTRODUCCIÓN

La compañía Minera Las Cenizas en Cabildo se encuentra explotando el yacimiento estratoligado de Cobre-Plata El Sauce, emplazado en rocas volcano-sedimentarias marinas y volcánicas denominadas unidad Basal y Volcanitas Los Tebos respectivamente en este trabajo, con el fin de mantener los nombres reales confidenciales. La secuencia estratigráfica de la unidad Basal en el yacimiento se encuentra bien detallada, siendo dividida en: secuencia inferior, subdividida en los mantos mineralizados 0, 1, 2 y 3; secuencia intermedia; secuencia superior, con los mantos 4, 5 y Farellones. La división en mantos de esta unidad, en conjunto con estructuras identificadas como alimentadoras en el depósito, permiten generar un modelo geológico del depósito con fines de exploración. Comparativamente, las Volcanitas Los Tebos se encuentran pobremente caracterizadas como una secuencia andesítica. Es debido a la expansión de la explotación en la Mina El Sauce a estas volcanitas que es necesario detallar su estratigrafía y definir niveles favorables para la depositación de mena, y con ello generar *targets* de exploración. Para ello, el estudio se concentra en un sector donde aflora una secuencia volcánica, la cual se caracteriza a través de la identificación de sus litologías, alteración de ganga y mena, y química.

1.1. OBJETIVO

1.1.1. Objetivo General

El principal objetivo del trabajo realizado consiste en establecer la relación entre la estratigrafía de las Volcanitas Los Tebos y los mantos favorables de mineralización en el sector de la mina El Sauce.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar las litologías de las Volcanitas Los Tebos de forma macroscópica y microscópica.
- Caracterizar la mineralización de alteración en las Volcanitas Los Tebos de forma macroscópica y microscópica.
- Determinar los principales controles de mineralización en las Volcanitas Los Tebos.
- Determinar la distribución de mantos favorables en las Volcanitas Los Tebos.

1.2. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Se sitúa en la Cordillera de la Costa de Chile central (Figura 1.1), a unos 4 km de la comuna de Cabildo, provincia de Petorca, región de Valparaíso, entre los 10.000 y 12.100 norte y los 300 y 2100 este, en la mina El Sauce. Estas coordenadas son definidas específicamente para el presente informe. Para ingresar desde Cabildo se accede por la entrada de la planta de concentración del grupo minero en avenida Humeres y se utiliza la vía que conecta con el sector Las Guías, lugar donde se encuentra la entrada principal de la Mina. Es a través de caminos secundarios de la minera que se accede al área de trabajo, situado al sur de Las Guías.

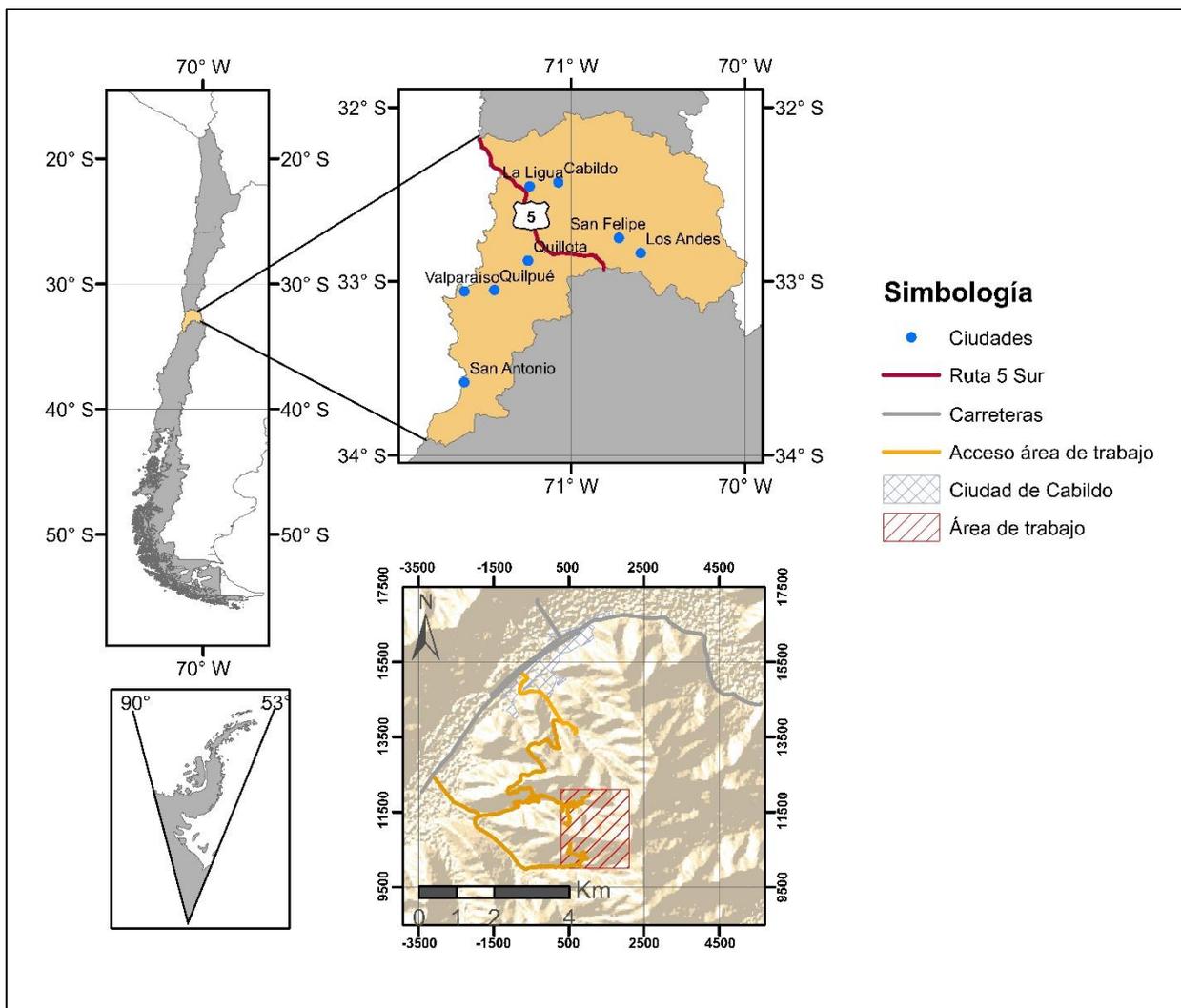


Figura 1.1: Mapa de ubicación y acceso al área de estudio.

1.3. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer a Grupo Minero Las Cenizas por brindarme la oportunidad de realizar mi memoria bajo la guía del gran equipo de geología de producción de la faena de Cabildo; a Felipe, Mirella y especialmente a mis tutores Francisco y Julio, quienes me apoyaron y acompañaron en todo el desarrollo de este trabajo. También agradezco a Don Víctor, Don Marcelo y Ani por la acogida y cariño recibido.

Agradezco a la profesora Fernanda Álvarez por ser mi profesora patrocinante y la oportunidad de desarrollar este tema de memoria. También agradecer a los demás profesores y funcionarios del Departamento de Ciencias de la Tierra por estos años de formación profesional y el grato ambiente de compañerismo y respeto que siempre generan en el departamento.

Agradezco a mis compañeros y amigos con quienes cruce camino en la universidad y espero que podamos seguir encontrándonos, especialmente a quienes las vivencias y el trabajo nos unieron más.

Agradezco a quienes han sido parte de esencial en mi vida y me han formado como persona, mi querida familia; mis padres, María Isabel y Héctor Hugo, por siempre apoyarme y creer en mí; a mi hermana Martina y mis primitos por su compañía y alegrías compartidas; a mi abuelo y abuela por enseñarme que todo es posible en la vida; mis tíos y tías por siempre estar al pendiente y nutrirme con sus experiencias y conocimientos; a mi tía Joselyn por acogerme en su hogar y darme fuerzas durante todos estos años universitarios. Por último, a quien me ha acompañado en todo este proceso, Gabriel, gracias por el apoyo y afecto, por ser mi amigo, compañero de aventuras y de vida.

2. TRABAJO REALIZADO

2.1. TRABAJO PRE-TERRENO

Entre los meses de octubre de 2021 y enero de 2022 se recopila y revisa información bibliográfica, de sondajes diamantinos, archivos de software AutoCAD y Leapfrog, relacionados a depósitos tipo estratoligados, específicamente de la mina El Sauce.

Se definen tres perfiles de trabajo (Figura 6.1), Perfil Norte (dirección SW-NE), Perfil Central (dirección W-E) y Perfil Sur (dirección SW-NE), abarcando gran parte del área de estudio.

2.2. TRABAJO TERRENO

Se realizan 16 días de terreno en exterior mina entre el 25 de octubre y el 5 de enero, en los cuales se recopilan datos litológicos, estructurales, de mineralización y muestras de mano en 178 puntos en las áreas aledañas a los perfiles (puntos celestes en Figura 6.1). Se ingresa a interior mina para recopilar información relacionada a la alteración y mineralización en las Volcanitas Los Tebos en zonas ya explotadas.

2.3. TRABAJO DE GABINETE

Con la información de terreno y la obtenida a partir de la revisión de sondaje se confeccionan los perfiles estratigráficos durante el mes de enero de 2022. Posteriormente entre el mes de febrero y marzo se realizan las columnas estratigráficas con las potencias reales a partir de los perfiles y se correlacionan.

De las muestras recolectadas de terreno (Tabla 1 del capítulo de anexos) se seleccionan 35 muestras para la realización de cortes transparentes y pulido-transparente, 18 muestras para análisis químico de CuT (Cu total), CuIns (Cu insoluble), Ag, Au y XRF (Fluorescencia de Rayos X) en el Laboratorio de Las Cenizas, y 9 muestras para análisis de DRX (Difracción de Rayos X) y ICP (*Inductively Coupled Plasma*) UT6 en el laboratorio AGS.

Entre los meses de mayo y octubre de 2022 se obtienen los informes de las 35 muestras con cortes. Con los datos obtenidos se realiza un análisis de los minerales de alteración, y sus paragénesis.

En el mes de junio se recibe la información de los análisis químicos de laboratorio, con la que se procede a realizar diagramas geoquímicos, y posteriormente se interpreta la relación de los puntos con leyes de Cu con las litologías y fallas medidas.

Todos los datos obtenidos se utilizan para definir mantos favorables y potencialmente favorables, esquematizándolos en perfiles.

3. MARCO GEOLÓGICO DISTRITAL

3.1. FORMACIÓN LO PRADO

Definida inicialmente por Thomas (1958) como una secuencia transgresiva de edad Neocomiense que aflora al sur de la cuesta de Lo Prado (Rivano, 1996). Esta Formación ha sido redefinida por Piracés y Makseav (1977 en Piracés, 1977) en tres Miembros: Miembro Inferior, correspondiente a la formación Patagua definida por Aliste y otros (1960); Miembro Medio, equivalente a la formación Pachacama definido por Thomas (1958); Miembro Superior, que se correlaciona con la unidad definida por Thomas (1958) como Formación Lo Prado.

La Formación Lo Prado sobreyace a la Formación Horqueta en concordancia según Piracés y Maksaev (1977 en Piracés, 1977), mientras que Carter y Alister (1962) y Rivano (1996) sugieren un contacto en discordancia angular. En el techo se encuentra concordantemente bajo la Formación Veta Negra, siendo el contacto gradual y transicional (Rivano, 1996).

La Formación está compuesta principalmente por rocas sedimentarias, tales como calcilitas negras fétidas fosilíferas intercaladas con niveles de calcarenitas grises, además, se encuentran niveles de brechas y/o conglomerados. También presenta intercalaciones de niveles de andesitas afaníticas y porfídicas, volcanitas que hacia el techo presentan intercalaciones de tobas rojas. Algunos niveles volcánicos entre La Ligua y El Carretón han sido descritos como traquitas (Rivano, 1996).

Miembro Inferior: está conformada por areniscas y areniscas calcáreas, calizas y lutitas calcáreas con intercalaciones de brechas y conglomerados. También se intercalan escasas rocas andesíticas y queratofíricas. Las rocas sedimentarias tienen una laminación fina y colores predominantemente grises (Piracés y Makseav, 1977 en Piracés, 1977).

Miembro Medio: presenta rocas efusivas de origen continental con gran variación litológica lateral que incluyen brechas, lavas y tobas de composición andesítica y queratofíricas de color predominantemente gris verdoso (Piracés y Makseav, 1977 en Piracés, 1977).

Miembro Superior: está conformado por una serie de lentes de calizas, areniscas, andesitas, tobas, brechas, conglomerados y traquitas (Piracés y Makseav, 1977 en Piracés, 1977).

Rivano (1996) utiliza la proposición de unidades realizada por Piracés y Maksaev (1977), pero no considera la división por miembros ya que considera que a escala regional esta división es relevante localmente.

El espesor de esta Formación es muy variable, al norte es intruida por la Superunidad Illapel, mientras que, al sur, su techo no es claro debido a la similitud y el contacto gradual con la Formación Veta Negra. Rivano (1996) establece el contacto superior con la aparición de las primeras volcanitas de colores púrpura a rojo sobre los sedimentos marinos y volcanitas superiores de la Formación Lo Prado, estimando una potencia aproximada de 3000 m.

Nasi y Thiele (1982) asigna el rango de edad Berriasiense superior a Hauteriviense por el hallazgo de los ammonites *Spiticeras (Kilianiceras)* sp. y *Cuyaniceras* sp. en la base de la Formación y de criocerátidos del Hauteriviense en el techo según Covacevich (com. Verbal en Nasi y Thiele, 1982). Posteriormente Rivano (1996) acota el rango de edad a Berriasiense a Valanginiense debido a la presencia del ammonite *Olcoctephanus* sp. No obstante, Boric y otros (2002) confirman el rango de edad de 138 a 126 Ma (Valanginiense a Barremiense) para la Formación, datos obtenidos a partir de dataciones radiométricas U/Pb en zircones de un dique riodacítico hospedante.

3.2. FORMACIÓN VETA NEGRA

Definida por Thomas (1958) quien deriva su nombre de la mina Veta Negra, lugar donde se aprecia su origen continental, y la subdivide en 2 Miembros, uno inferior denominado Miembro Purehue y otro superior llamado Ocoa.

Según Piracés y Maksaev (1977 en Aguila, 2019) la Formación sobreyace concordante a la Formación Lo Prado y Subyace en discordancia por erosión a la Formación Las Chilcas. Por el contrario, Rivano (1996) indica que, según lo observado en terreno, la Formación sobreyace en concordancia a la Formación Lo Prado y subyace de igual manera a la Formación Las Chilcas, siendo en ambos casos un contacto gradual.

La Formación es un apilamiento de potentes flujos de lava de composición básica a intermedia provenientes de erupciones continentales las cuales pueden presentar delgadas intercalaciones sedimentarias (Vergara y otros, 1995).

Miembro Purehue: Conformado principalmente por lavas andesíticas, brechosas y/o vesiculares de colores purpura a gris pardo, con intercalaciones sedimentarias de color rojo correspondientes a areniscas, conglomerados y brechas. Este Miembro presenta variaciones laterales de color y textura en lavas, de litologías y de facies volcánicas a sedimentarias. Su espesor varía de norte a sur, en Cabildo – Pedegua alcanza los 350 m y en la localidad de Purehue los 2.000 m (Rivano, 1996).

Miembro Ocoa: Constituido mayoritariamente por lavas andesíticas, de textura porfídica gruesa definida por fenocristales de plagioclasas que pueden superar los 2 cm de largo y una masa fundamental microcristalina gris negruzca. Debido a la particularidad textural de estas lavas y por tener una buena exposición en las cercanías de Ocoa se les asigna el nombre de “Ocoítas” (Thomas, 1958; Rivano, 1996). Intercaladas con las Ocoítas se encuentran andesitas porfídicas finas y asociadas a estas escasas intercalaciones sedimentarias. La potencia de este Miembro tiene valores entre los 2.500 a 3.000 m (Rivano, 1996).

La edad de la Formación Veta Negra ha sido asignada al Aptiense-Albiense por Thomas (1958) basándose en su correlación con la Formación Colimapu. Nasi y Thiele (1982) le dan el rango Barremiense y Albiense tras una recopilación de antecedentes de diferentes autores, los cuales se fundamentan en correlaciones litoestratigráficas. En cuanto a Rivano (1996), tras realizar dataciones radiométricas K/Ar en roca total y plagioclasas del Miembro Ocoa, obtiene edades entre los 115 Ma y 94 Ma, acotando la edad al “Hauteriviense superior-Barremiense” (Aptiense superior-Cenomaniense superior en la actualidad), sin embargo, el autor considera que esta es la edad mínima, debido a que podrían corresponder al efecto de calentamiento producido por la Superunidad Illapel, por lo tanto, la Formación sería “pre-Barremiense” (pre-Cenomaniense). Utilizando dataciones radiométricas Ar/Ar en plagioclasas del Miembro Ocoa Aguirre y otros (1999), y Fuentes y otros (2005) obtienen las edades $119\pm 1,2$ Ma y $118,7\pm 0,6$ Ma (Aptiense) respectivamente.

3.3. FORMACIÓN LAS CHILCAS

Thomas (1958) define como Formación Las Chilcas a una secuencia volcánica y sedimentaria con marcadas variaciones laterales de facies, siendo en Las Chilcas donde se observan todas las diferentes litologías que la caracterizan, razón por la que le atribuye a la Formación el nombre de este sector.

Está constituida por lavas basálticas y andesíticas, brechas, tobas y lutitas rojas, areniscas y conglomerados, con algunas intercalaciones de niveles calcáreos (Thomas, 1958; Arévalo, 1992 en Rivano, 1996) que consisten en areniscas calcáreas y calcilutitas con estructuras estromatolíticas (Rivano, 1996). La potencia de la Formación Las Chilcas es de 7000 m es su localidad tipo.

El contacto inferior de la Formación Las Chilcas es concordante con la Formación Veta Negra (Thomas, 1958; Wall y otros, 1999) mientras que su contacto superior con la Formación Lo

Valle ha sido descrito como discordante (Thomas, 1958; Piracés y Maksae, 1977 en Godoy, 1982; Wall y otros, 1999) y concordante (Godoy, 1982).

La edad de la Formación Las Chilcas es asignada al Cretácico Superior por Thomas (1958), quien se basa en el hallazgo de las algas de agua dulce del género *Pucalitus*, las cuales se encuentran en estratos de edad Turoniense. Rivano y otros (1985) y Rivano y otros (1986) realizan dataciones radiométricas K/Ar en intrusivos de la Superunidad Illapel, la cual corta la Formación Las Chilcas en todo su espesor y ha dado edades de 118 a 80 Ma (Rivano, 1996), por lo que parte de la Formación Las Chilcas tendría una edad mayor a 118 Ma (Aptiense). Wall y otros (1999) datan lavas y flujos piroclásticos, cercanas a la base de la Formación, por U-Pb en circones obteniendo 109,6±0,1 Ma y 106,5±0,2 Ma (Albiense). Posteriormente Sellés y Gana (2001) datan riolitas por U-Pb en circones obteniendo 116,1±0,3 y 110 ±0,2 Ma confirmando el rango de edad Aptiense-Albiense.

3.4. ROCAS INTRUSIVAS

Las franjas de intrusivos Mesozoicos-Cenozoicos orientados submeridionalmente y que afloran entre los 31° y 33°S, decrecen en edad progresivamente de oeste a este, las cuales son: la franja del Jurásico, Cretácico Inferior a Superior, Cretácico Superior a Paleógeno y la franja del Neógeno (Rivano y otros, 1985; Rivano, 1996). Las primeras dos franjas afloran en la Cordillera de la Costa, mientras que las dos últimas en la Cordillera Principal (Ferrando, 2014).

En el distrito de Cabildo, lugar en que se sitúa el área de estudio, aflora la franja del Cretácico Inferior a Superior, definida como la Superunidad Illapel por Rivano y otros (1985), siendo esta una franja de rocas plutónicas irregular de 20 a 25 km de ancho, ubicada al oriente de la Superunidad Mincha, con una orientación N20° a 30°W y cuyos intrusivos se agrupan en un conjunto de cuerpos con dimensiones desde batolito a stock (Rivano, 1996). Esta Superunidad fue dividida en la Unidad La Campana, Unidad Chalinga, Unidad Quebrada Herrera y Unidad Changres (Rivano, 1996). Posteriormente Parada y otros (1999), redefinen esta franja, denominándola Complejo Plutónico Illapel.

3.4.1. Complejo Plutónico Illapel

El Complejo Plutónico Illapel es un elemento distintivo de la geología entre los 31°25' y los 32°30'', aflora en un área mayor a los 3.200 km² y se emplaza en menor medida en rocas intrusivas y volcánicas del Jurásico, y principalmente en rocas volcánicas y sedimentarias del Cretácico

Inferior (Ferrando, 2014). Morata y otros (2010) han identificado cuatro pulsos volcánicos los cuales denominan: Unidad Máfica, Unidad Trondhjémítica, Unidad Tonalítica Principal y Unidad Granodiorítica

Unidad Máfica: Compuesta fundamentalmente de gabros y dioritas que afloran en la parte noreste del Complejo Plutónico Illapel. Se emplaza entre los $118\pm 1,9$ y 113 Ma, edades obtenidas por dataciones U-Pb en circones (Morata y otros, 2010) y Ar-Ar en anfíbola respectivamente (Ferrando, 2014).

Unidad Trondhjémítica: Conformada por trondhjemitas y leucogranitos que se presentan como una franja central NS en la parte norte del Complejo Plutónico Illapel. Se emplaza entre los $110,4\pm 1,8$ y $109,7\pm 1,5$ Ma, edades obtenidas por dataciones U-Pb en circones (Morata y otros, 2010; Ferrando, 2014))

Unidad Tonalítica Principal: Compuesta principalmente por tonalitas con distintas proporciones de enclaves máficos (varas y otros, 2009 en Morata y otros, 2010) con granodioritas subordinadas (Morata y otros, 2010). Aflora como una franja central NS entre las localidades de Caimanes y Cabildo. Tienen edades entre los $102,4\pm 1,5$ y $98,8\pm 1,3$ Ma, las cuales fueron obtenidas por dataciones U-Pb en circones (Morata y otros, 2010).

Unidad Granodiorítica: Conformada principalmente por granodioritas leucocráticas a mesocráticas, que se encuentran en el borde este del Complejo Plutónico Illapel. La edad de esta Unidad es de $86,9\pm 1,2$ Ma, obtenida por dataciones U-Pb en circones (Morata y otros, 2010).

4. MARCO TECTÓNICO

Según Charrier y otros (2007) el ciclo tectónico Andino tuvo su inicio durante el Jurásico temprano al reiniciarse la subducción en el borde occidental de Gondwana, por otra parte, Oliveros y otros (2020) postulan que la subducción nunca cesó, pero que sí hubo cambios en la dinámica de esta.

El ciclo Andino se puede dividir en dos etapas, una inicial de carácter extensivo dado por una subducción del tipo Mariana, que se extiende hasta el Cretácico Inferior; y una etapa final de tipo compresivo que se extiende desde el Cretácico Superior al presente y que es asociada a una subducción del tipo Chilena (Charrier y otros, 2007). La etapa extensiva se caracteriza por un bajo acople entre las placas oceánica y continental, y el desarrollo de un arco magmático paralelo al margen occidental de Gondwana (Charrier y otros, 2007) y con una clara señal mantélica (Oliveros y otros, 2020). En este periodo, el arco habría migrado hacia el este en dos subfases diferenciadas; la primera correspondiente al Jurásico Inferior – Kimmeridgiense, caracterizada por una intensa actividad volcánica en el arco y el desarrollo de un ciclo de transgresión y regresión marina en la cuenca de trasarco; y la segunda comprendiendo el período entre el Kimmeridgiense y el Aptiense–Albiense, caracterizada por una menor actividad volcánica en algunas regiones y por un segundo ciclo de transgresión y regresión marina, y donde además se depositan las Formaciones Lo Prado, Veta Negra y Las Chilcas en un contexto de cuenca de antearco (Charrier y otros, 2007). Los arcos magmáticos se han situado en diferentes posiciones a lo largo del tiempo geológico, dando origen a franjas de yacimientos metálicos, cada una con su respectiva edad geológica, conocidas como Franjas Metalogénicas (COCHILCO, 2016) en este contexto, sobre los arcos formados en la primera y segunda subetapa Andina se desarrollarían las llamadas franjas metalogénicas del Jurásico y Cretácico. La actividad plutónica de este periodo está representada por el Complejo Plutónico Illapel.

La etapa compresiva del ciclo Andino está asociada la fase tectónica Sub-hercínica o Peruana, la cual inicia probablemente por la suma de diferentes condiciones, como la subducción bajo Sudamérica del rift que separaba las placas de Farallón y Aluk (Scheuber y otros, 1994), y las altas tasas de expansión de las dorsales oceánicas del Atlántico Sur y del Pacífico (Larson y Pitman, 1972). Lo anterior pudo haber generado un aumento en la tasa de convergencia lo que provocaría una disminución en el ángulo de subducción ocurriendo así una subducción del tipo Chilena que se mantiene hasta el presente. El plegamiento de las unidades mesozoicas habría sido originado por

la actividad tectónica del Cretácico Superior representada por la Fase Compresiva Peruana en el margen andino (Boyce, 2015).

5. MARCO TEÓRICO

La mina el Sauce se encuentra localizada en la franja metalogénica del Cretácico Inferior, caracterizada por los depósitos del tipo estratoligado Cu-(Ag) (Figura 5.1). Por lo anterior es necesario tener una visión generalizada de este tipo de depósito para tener una mejor comprensión del área de estudio.

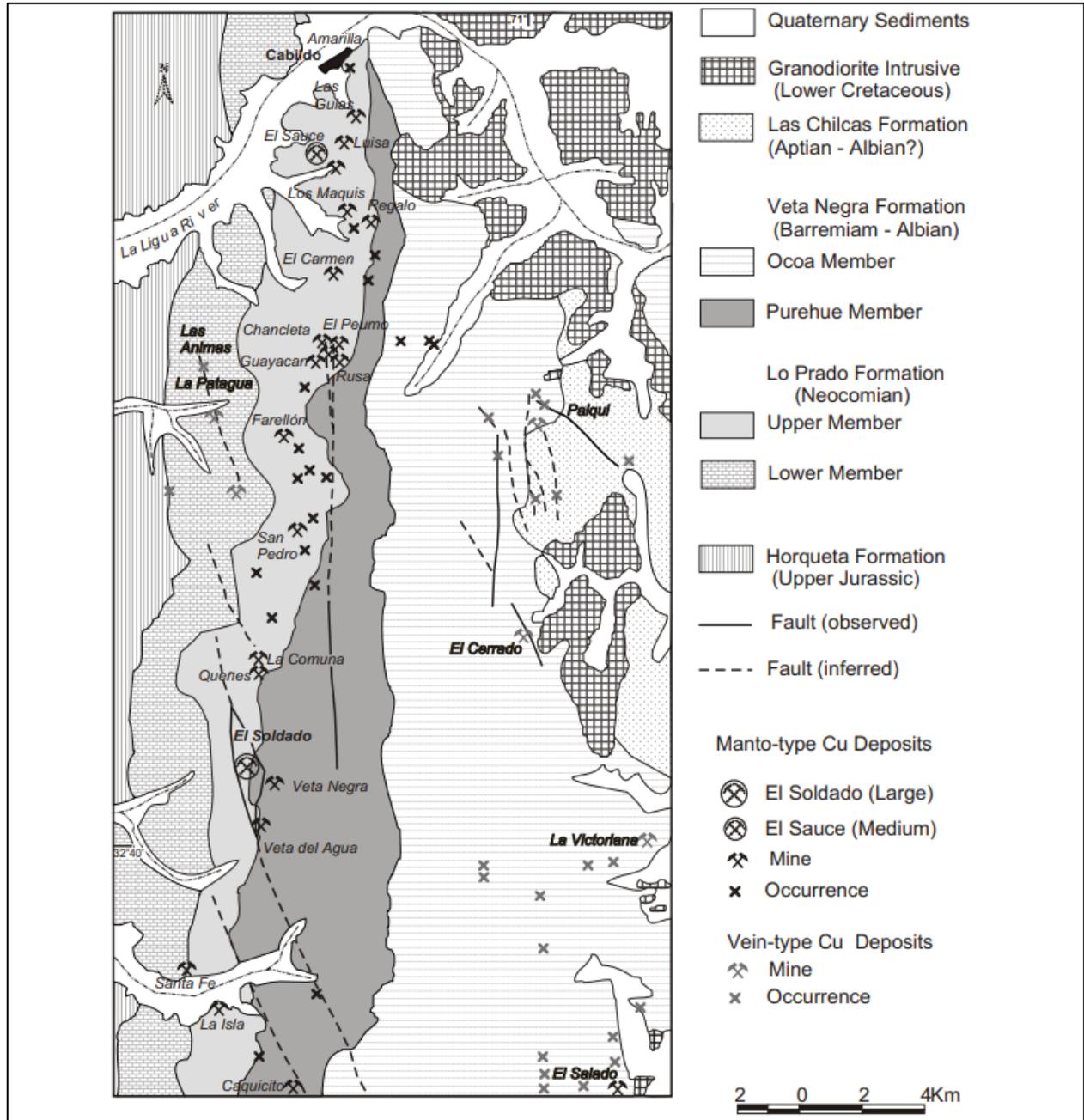


Figura 5.1: Depósitos de Cu-(Ag) pertenecientes a la Franja del Cretácico Inferior, Cordillera de la Costa de Chile Central (Boric y otros, 2002).

5.1. DEPÓSITOS ESTRATOLIGADOS DE Cu-(Ag)

A lo largo de la cordillera de la Costa del Norte de Chile, entre los 21°S y 34°S y hospedados en rocas volcánicas y volcano-sedimentarias del Jurásico y Cretácico Inferior, se encuentra los depósitos estratoligados de Cu-(Ag). Típicos de la primera etapa de la evolución Andina caracterizada por condiciones extensionales del arco magmático en el margen activo de Sudamérica, se formaron durante dos épocas metalogénicas; Jurásico Superior y Cretácico Inferior (Boric y otros, 2002; Makshev y Zentilli, 2002).

El término “estratoligado”, se refiere al origen epigenético del depósito y a que el mineral de este se encuentra restringido a ciertas unidades estratigráficas. Los cuerpos mineralizados están estructuralmente controlados y condicionados por los estratos más permeables (Boric y otros, 2002). La geometría de estos cuerpos puede ser estratiforme, lenticular, de chimenea e irregulares, pudiendo ser concordantes o discordantes al buzamiento de las capas (Makshev y Zentilli, 2002).

Los sulfuros de Cu hipógenos corresponden a bornita y calcosina, menor calcopirita y ocasionalmente covelina y digenita, mientras que los minerales de ganga hipógena son cuarzo, hematita, pirita, clorita, albita y calcita. Menores cantidades de magnetita ocurren de forma diseminada dentro de las rocas mineralizadas, pero es frecuentemente reemplazada por hematita (Makshev y Zentilli, 2002).

Los cuerpos minerales muestran una zonación mineralógica, formando un núcleo de calcosina, covelina y hematita, o calcosina, covelina, bornita y hematita, mientras que en la periferia se forman zonas aproximadamente concéntricas de bornita-calcopirita, calcopirita, calcopirita-pirita y pirita en la periferia (Boric y otros, 2002).

Los minerales de alteración hidrotermal asociados a las menas de este tipo de depósito consisten en albita, clorita, hematita, cuarzo, calcita, epidota, esfeno, escapolita, anatasa y menor sericita, y debido a la incipiente alteración, se conserva la textura primaria de la roca hospedante (Losert, 1973; Chavez, 1984, 1985; Palacios, 1986, 1990 en Makshev y Zentilli, 2002). La alteración hidrotermal se sobrepone a la mineralización asociada al metamorfismo regional de bajo grado, la cual consiste en clorita, calcita, epidota, zeolita, prehnita y pumpellyita y, además, son difíciles de distinguir (Boric y otros, 2002; Makshev y Zentilli, 2002).

Se han propuesto diversos orígenes para este tipo de depósitos, por ejemplo, un origen metamórfico hidrotermal (Sato, 1984; Sillitoe, 1990 en Makshev y Zentilli, 2002) donde el cobre provendría de las rocas volcánicas lixiviadas por fluidos metamórficos, concentrándose

posteriormente en zonas favorables; o un origen singenético (Ruiz y otros, 1965 en Makshev y Zentilli, 2002) asociado a contenidos anómalos de cobre en las lavas hospedantes. Sin embargo, la hipótesis más aceptada es un origen hidrotermal (Espinoza, 1981, 1982; Chavez, 1985; Palacios, 1990; Espinoza y otros, 1996 en Makshev y Zentilli, 2002) donde los fluidos provienen de cuerpos intrusivos subvolcánicos que se alojan en los niveles favorables de las rocas volcánicas (Makshev y Zentilli, 2002).

6. RESULTADOS

Las Volcanitas Los Tebos corresponde a una secuencia de carácter principalmente volcánico. Estructuralmente se dispone como monoclinial, con rumbos entre N5°W y N27°W y manteos entre los 25° y 65° E. Son varias las estructuras que afectan a esta, siendo del tipo falla, falla-veta o falla-dique. Las tendencias de estas estructuras en terreno son NNE, NNW, NE con manteos desde los 45°W a 70°W. Excepcionalmente se encuentra una falla NNW con manteo 75°E.

Por geoquímica las lavas del miembro Inferior son mayoritariamente andesitas basálticas, mientras que en Superior son andesitas, dacitas y basaltos. Las lavas son las litologías predominantes en ambos miembros, sin embargo, el Inferior presenta un mayor número de litologías volcanoclásticas y sedimentarias en comparación con el Superior.

Las Volcanitas Los Tebos desde su base a techo presentan mineralización de alteración, reconociéndose macroscópicamente y de forma generalizada en los afloramientos: epidota, clorita y albita. Por otra parte, de forma macroscópica y puntual los minerales: feldespato K, cuarzo, arcillas, zeolitas, oxidados de Cu y Fe, y sulfuros de Cu.

En este capítulo se abordará detalladamente los resultados obtenidos tras la integración de los diferentes datos obtenidos de terreno, análisis químico y de cortes transparentes-pulidos.

6.1. ESTRATIGRAFÍA DE LAS VOLCANITAS LOS TEBOS

En el área de estudio se definen 3 transectas a seguir para la recopilación de información geológica, lo que da como resultado 3 perfiles geológicos, Perfil Norte, Perfil Central y Perfil Sur (Figura 6.1). En estos perfiles se plasma la información litológica y espesores aparentes, posteriormente se recalculan los espesores para realizar las columnas estratigráficas correspondientes: Columna Norte, Columna Central, Columna Sur. La Figura 6.2 es la leyenda utilizada en las columnas estratigráficas 1-N a 4-N, 1-C a 6-C y 1-S a 4-S.

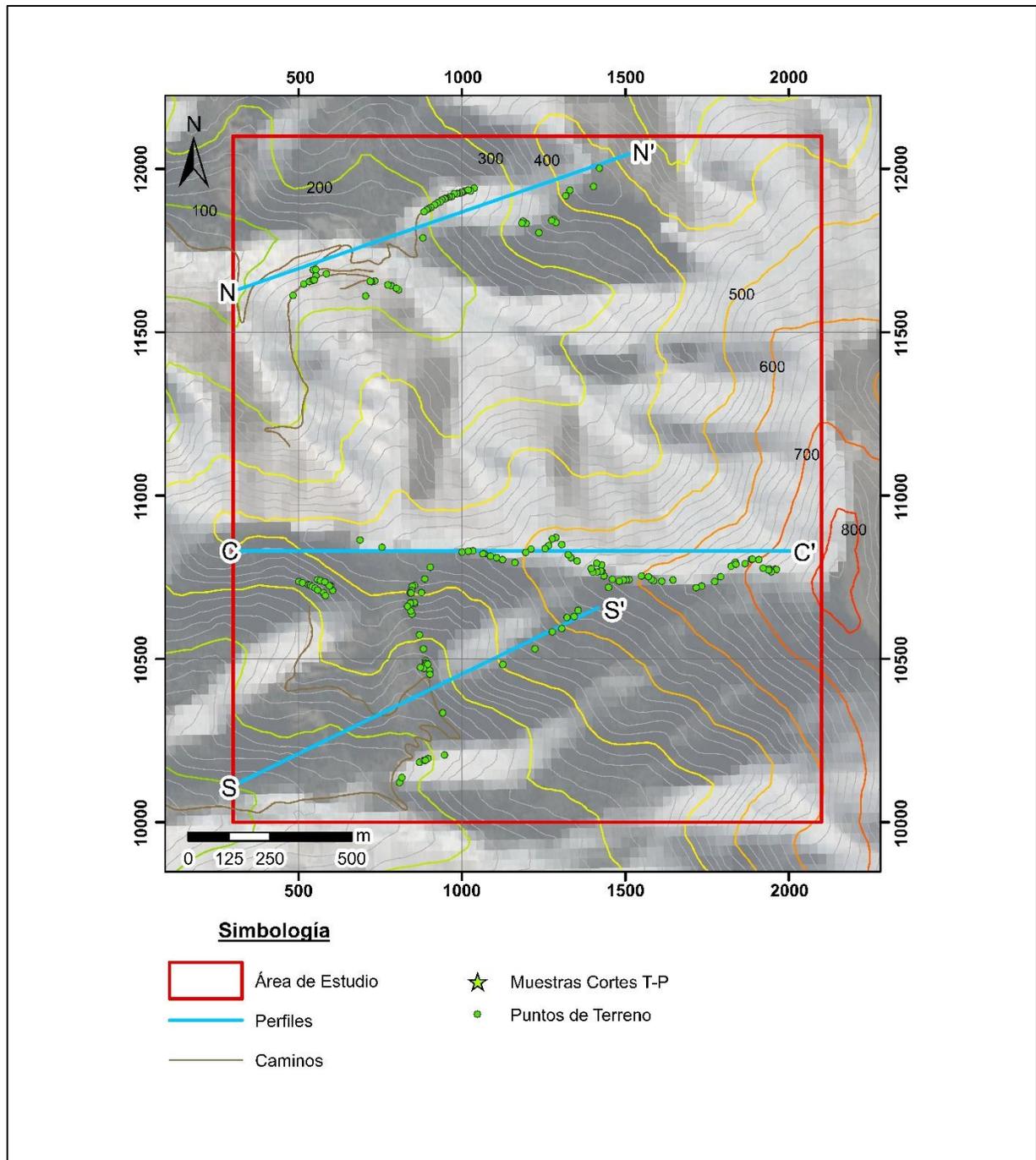


Figura 6.1: Mapa perfiles área de estudio y simbología. Perfil Norte es N-N', Perfil Central es C-C' y Perfil Sur es S-S'. Esta misma simbología se utiliza para los mapas individuales de los perfiles.

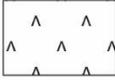
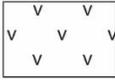
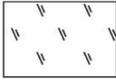
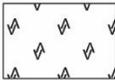
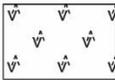
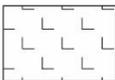
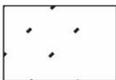
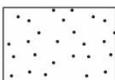
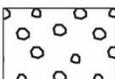
Litología		Simbología		Abreviaturas	
	Lava Afanítica		Textura Porfídica	A:	Amigdala
	Lava miembro Inferior		Textura Porfídica Seriada	V:	Vetilla
	Lava miembro Superior, Fenocristales >20%		Textura Glomeroporfídica	bo:	bornita
	Lava miembro Superior, Fenocristales <20%		Textura Amigdaloidal	chl:	clorita
	Toba/Lapillita		Anfíbol	cpy:	calcopirita
	Arenisca		Minerales de Alteración: Mena	ep:	epidota
	Aglomerado		Minerales de Alteración: Ganga	hem:	hematita
	Brecha			K-feld:	feldespato K
Tamaño de grano					
			Roca Clástica		Roca Volcanoclástica
MF:	Muy Fino	Arena Muy Fina	0,063-0,125 mm	Ceniza Fina	<0,06 mm
F:	Fino	Arena Fina	0,125-0,25 mm	Ceniza	0,06-2 mm
M:	Medio	Arena Media	0,25-0,5 mm	Lapilli	2-64 mm
G:	Grueso	Arena Gruesa	0,5-1 mm	Bloque o Bomba	> 64 mm

Figura 6.2: Leyenda de las columnas estratigráficas del Perfil Norte, Centro y Sur.

6.1.1. Columnas Resultantes del Perfil Norte

Las columnas resultantes del Perfil Norte (N-N', Figura 6.3), de base a techo son: 1-N, 2-N (Figura 6.8), 3-N y 4-N (Figura 6.7). Se reconocen dos unidades, un miembro Inferior y uno Superior, los que corresponden principalmente a coladas de lavas andesíticas basálticas y andesíticas, con un notorio cambio textural entre ambas unidades. En la base de la columna 1-N, el primer tramo tiene un rumbo y manteo N5°W/25°E, mientras que en las secuencias restantes son N10°W/30°E. Las columnas suman 730 m de potencia, de los cuales 390 m son tramos cubiertos y 340 m con información litológica. Las descripciones de los 9 tramos asignados, de base a techo son las siguientes:

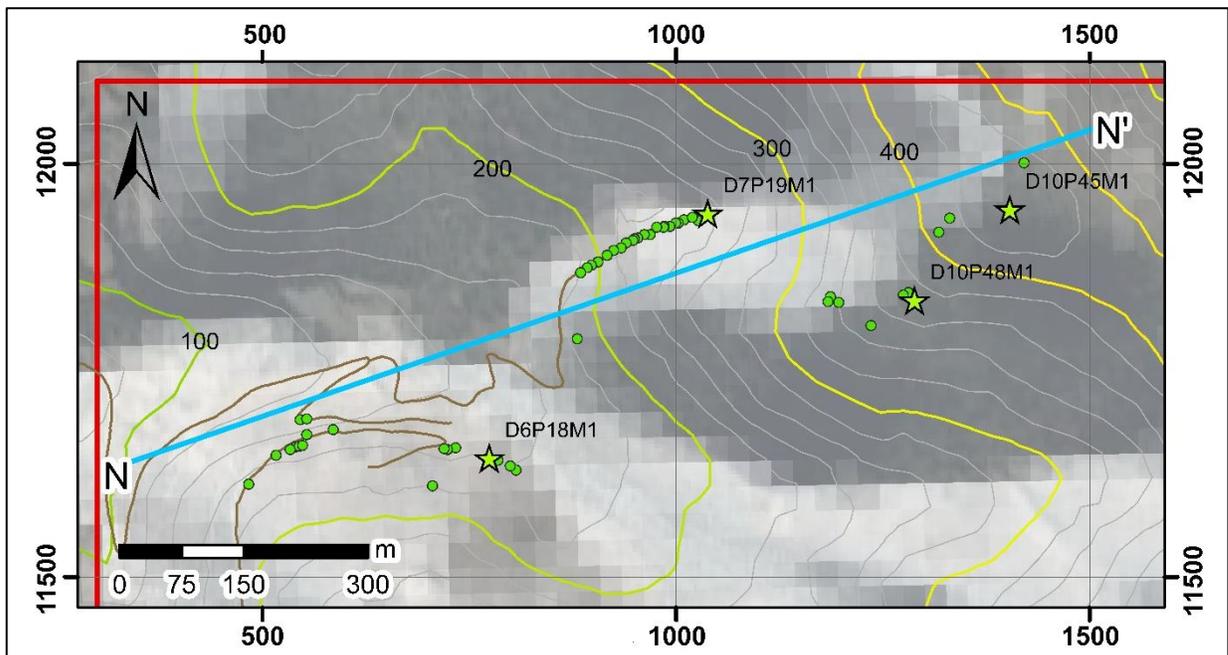


Figura 6.3: Mapa Perfil Norte.

- N1: Coladas de lavas andesíticas basálticas de textura porfídica, seriada, amigdaloidal y afanítica en el techo, de color gris verdoso en superficie fresca y pardo anaranjado en alterada. Se observan fenocristales de plagioclasa y anfíboles de hasta 1 mm. Cercano al techo se encuentran amígdalas de hasta 2 cm (Figura 6.4, A) rellenas de clorita, cuarzo, epidota y óxidos de Fe. Magnetismo moderado y 33,32 m de espesor.
- N2: Andesita basáltica de textura porfídica y amigdaloidal, color gris en superficie fresca y pardo anaranjado en alterada. Tiene fenocristales de plagioclasa de hasta 2 mm y amígdalas rellenas con oxidados de Cu, Fe y clorita. Magnetismo moderado y 8,3 m de espesor.

- N3: Andesitas basáltica color gris verdoso a gris en superficie fresca y pardo anaranjado en alterada, de textura porfídica y seriada. Macroscópicamente se observan fenocristales de plagioclasa (25%) de hasta 2 mm y moderadamente albitizados, con la masa fundamental alterada incipientemente a epidota (Figura 6.4, B). Microscópicamente se observan fenocristales de plagioclasa (20%), anfíbol (3%) y piroxeno (2%), y una masa fundamental constituida por microlitos de plagioclasa suborientados, máficos cloritizados y opacos (Figura 6.4, C y D), además, presenta amígdalas rellenas de epidota. Magnetismo moderado y 11,9 m de espesor.

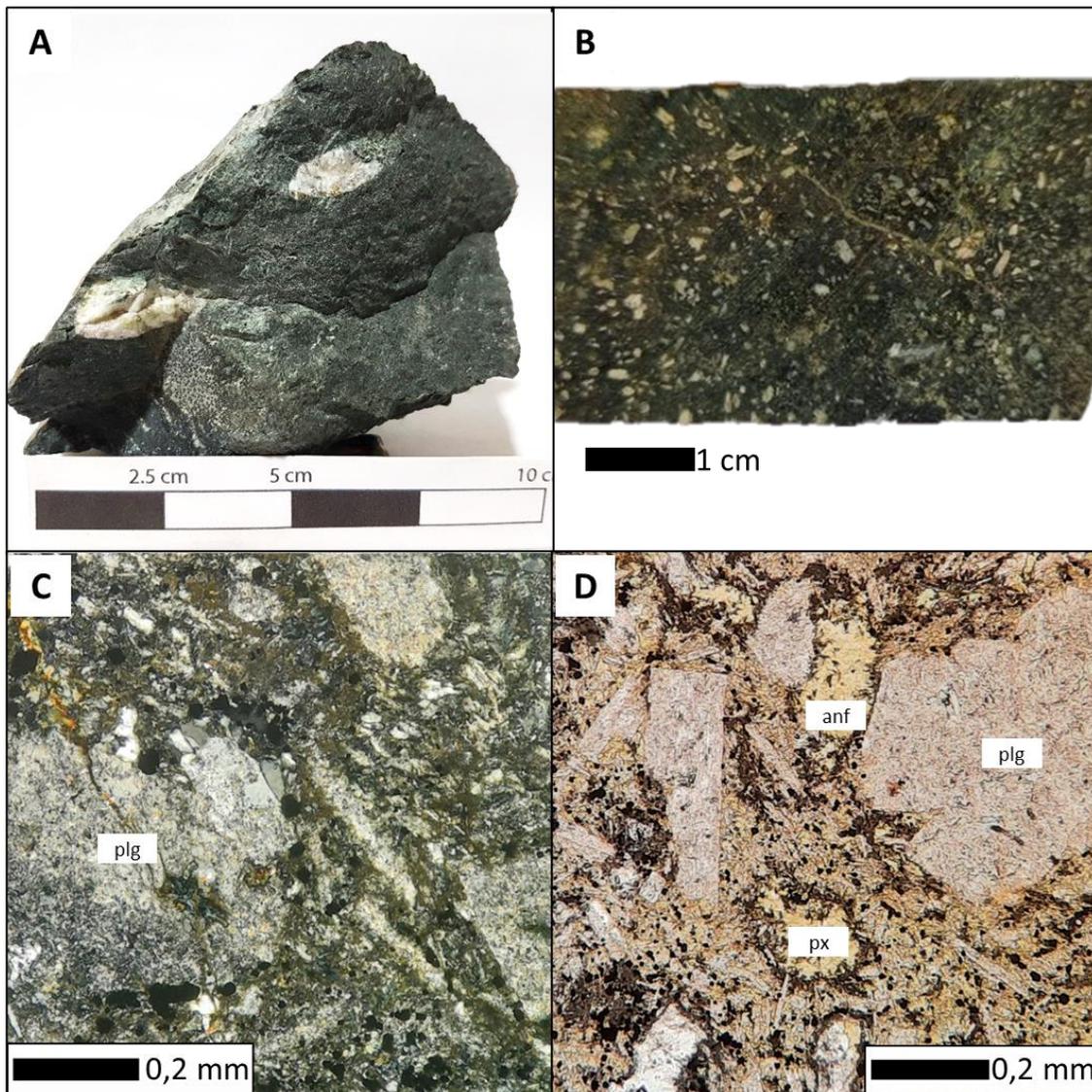


Figura 6.4: Litologías de los tramos N1 y N3. (A) Muestra de mano D5P10M1 del tramo N1, andesita basáltica amigdaloidal. (B) Muestra de mano D6P18M1 del tramo N3, andesita basáltica. (C) Nícoles cruzados corte D6P18M1, fenocristales de plagioclasa alterados a albita, cuarzo y caolinita diseminada. (D) Nícoles paralelos corte D6P18M1, fenocristales de anfíbol y piroxeno cloritizados, y opacos en masa fundamental.

- N4: Andesitas basálticas de color gris a gris oscuro en superficie fresca y pardo anaranjado en superficie alterada, de textura porfídica y seriada. Se observan fenocristales de plagioclasa de hasta 2 mm y moderadamente albitizadas. La masa fundamental se encuentra incipientemente epidotizada. Algunos sectores de las coladas presentan vesículas y amígdalas rellenas con zeolitas radiales. Magnetismo moderado y 34,1 m de espesor.
- N5: Colada afanítica y masiva de color gris verdoso en superficie fresca y parda anaranjado en superficie alterada, posiblemente una andesita basáltica. Moderado magnetismo y 10,3 m de espesor.
- N6: Coladas de andesitas basálticas de color gris a gris verdoso en superficie fresca y pardo anaranjado en alterada, y textura porfídica, seriada y afanítica. Macroscópicamente se observa que las lavas porfídicas y seriadas presentan una masa fundamental cristalina y fenocristales de plagioclasa incipientemente albitizadas, midiendo hasta 1 mm, y anfíboles de hasta 2 mm (Figura 6.5, A). Las amígdalas miden máximo 3 cm y están rellenas de clorita, cuarzo, epidota, magnetita y zeolitas. En la base del nivel amigdaloidal se observan pátinas de oxidados de Cu. Moderado a fuerte magnetismo y 58,4 m de espesor.
- N7: Andesita basáltica gris en superficie fresca y pardo anaranjado en alterada, de textura seriada. Los fenocristales de plagioclasa miden hasta 1 mm. La base del tramo está pervasivamente alterada a feldespato K, clorita, epidota, arcilla y limonita. En el techo del tramo se observa piritita diseminada. Este tramo es el techo del miembro Inferior y mide 10,9 m de espesor.
- N8: Coladas de lavas de color gris en superficie fresca y anaranjado claro en alterada, de textura glomeroporfídica y porfídica. Macroscópicamente la masa fundamental es afanítica y gris, con un 20 a 30% de fenocristales de plagioclasas de tamaños entre los 0,5 y 1,1 cm, y hasta un 5% de anfíboles que alcanzan los 2,5 cm (Figura 6.5, B). Microscópicamente la masa fundamental es de textura microfésica, constituida por feldespato, máficos biotitizados y cuarzo primario (Figura 6.5, C), y presenta fenocristales de plagioclasa, biotita y anfíbol (Figura 6.5, D), clasificándose como dacita. Moderado magnetismo y 98,7 m de espesor. Este tramo es la base del miembro Superior.

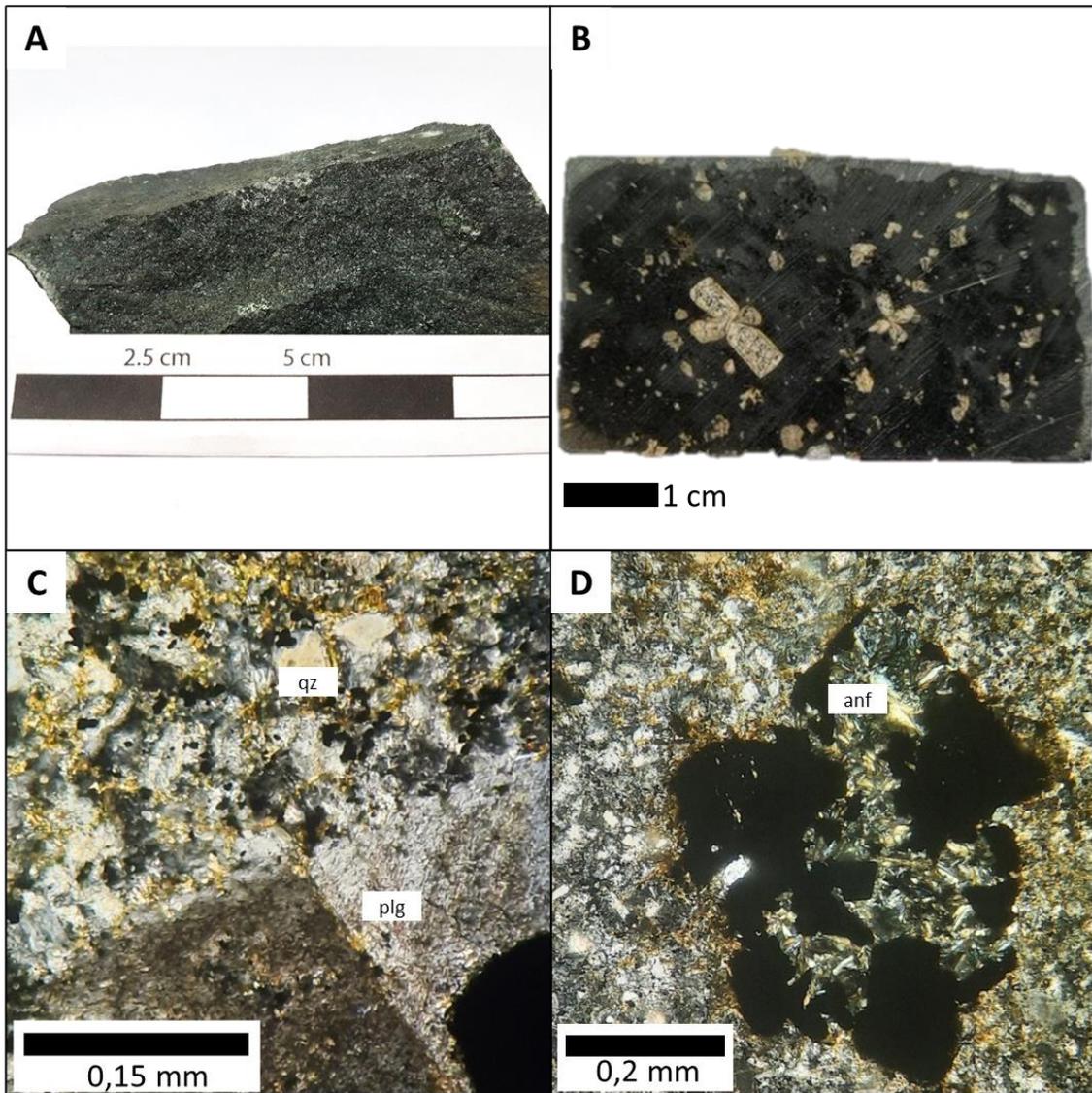


Figura 6.5: Litologías de los tramos N6 y N8. (A) Muestra de mano D9P31M1 del tramo N6, andesita basáltica de textura seriada. (B) Muestra de mano D10P48M1 del tramo N8, Dacita de textura glomeroporfídica y porfídica. (C) Nícoles cruzados corte D10P48M1, masa fundamental constituida por feldespato, cuarzo y biotita secundaria, y fenocristal de plagioclasa. (D) Nícoles cruzados corte D10P48M1, fenocristal de anfíbol reemplazado por opacos, clorita, actinolita y biotita secundaria.

- N9: Coladas de lavas de color gris en superficie fresca y anaranjado claro en alterada, de textura glomeroporfídica y porfídica. Macroscópicamente la masa fundamental es afanítica y gris, con un 10 a 30% fenocristales de plagioclasas de tamaños entre los 0,5 y 1 cm, y hasta un 5% de anfíboles que alcanzan los 3,8 mm (Figura 6.6, A). En el Techo, microscópicamente se define una andesita de anfíbol y piroxeno (Figura 6.6, B), con una masa fundamental traquíutica (Figura 6.6, C) constituida por plagioclasas alteradas a albita, máficos y opacos diseminados, y fenocristales de plagioclasa (25% y de hasta 8 mm), anfíbol (3% y de hasta 3,8 mm, Figura 6.6, D) y piroxeno (3% y de hasta 1,6 mm).

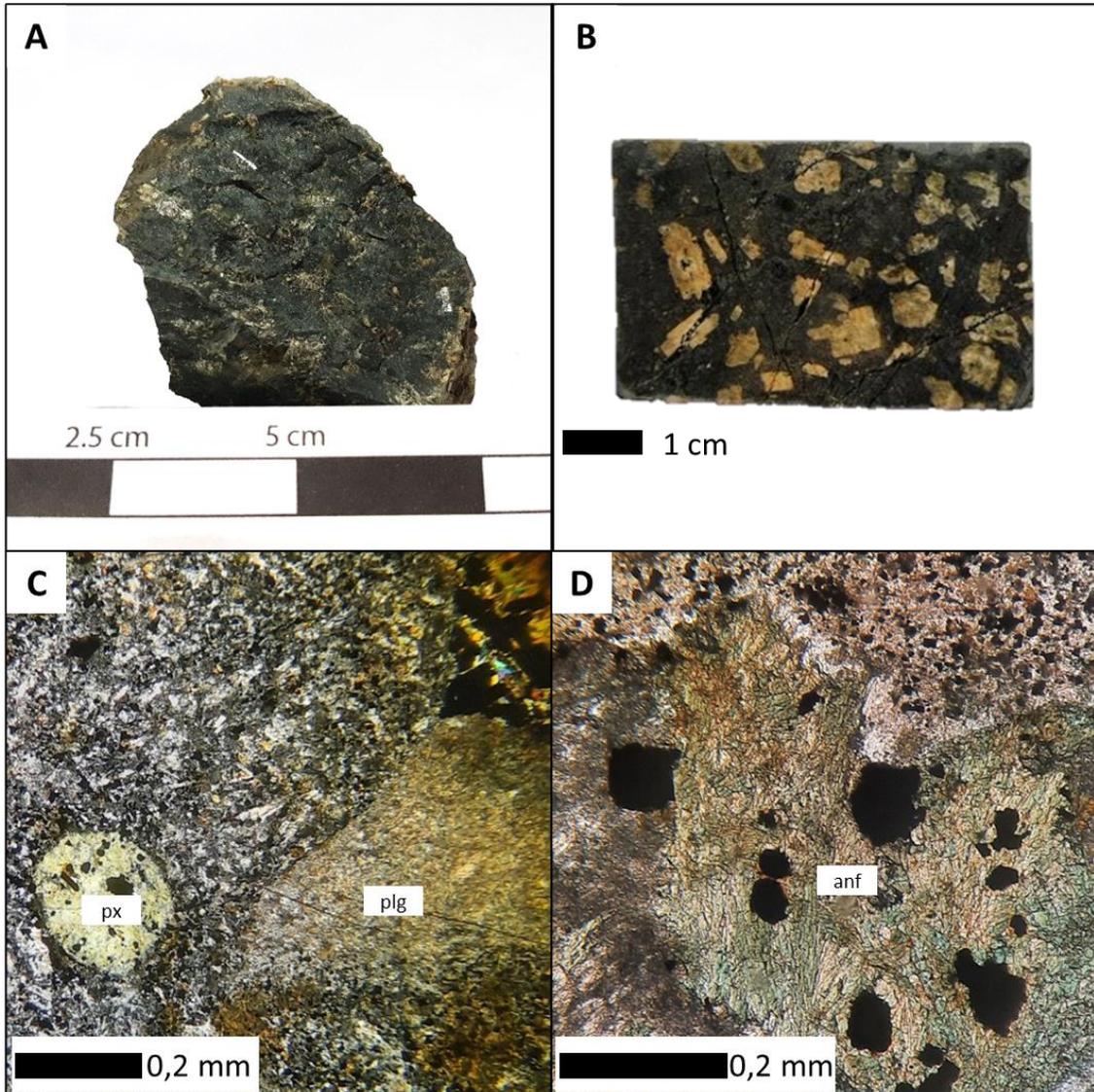


Figura 6.6: Litologías del tramo N9. (A) Muestra de mano D10P44M1 del tramo N9, andesita de anfíbol. (B) Muestra de mano D10P45M1 del tramo N9, andesita de anfíbol y piroxeno. (C) Nícoles cruzados corte D10P45M1, masa fundamental traquítica a intergranular y fenocristales de piroxeno y plagioclasa albitizada. (D) Nícoles paralelos corte D10P45M1, fenocristal de anfíbol alterado a arfvedsonita.

6.1.2. Columnas Resultantes del Perfil Central

Las columnas resultantes del Perfil Central (C-C') (Figura 6.9), de base a techo son: 1-C, 2-C (Figura 6.19), 3-C, 4-C (Figura 6.18), 5C y 6C (Figura 6.17). Se reconocen un miembro Inferior y Superior. El Inferior está compuesto principalmente por coladas de andesitas basálticas mientras que el Superior por andesitas, con un notorio cambio textural entre ambas unidades. Entre el tramo C1 y la base de C4, el rumbo y manteo de las capas es $N9^{\circ}W/38^{\circ}E$, mientras que las del techo de C4, es $N19^{\circ}W/51^{\circ}E$. El rumbo y manteo del tramo C5 es $N27^{\circ}W/65^{\circ}E$, y entre los tramos C6 y C19 es $N10^{\circ}W/41^{\circ}E$. Las columnas suman 1214 m de potencia, de los cuales 355 m son tramos cubiertos y 859 m con información litológica. Las descripciones de los 19 tramos asignados, de base a techo son las siguientes:

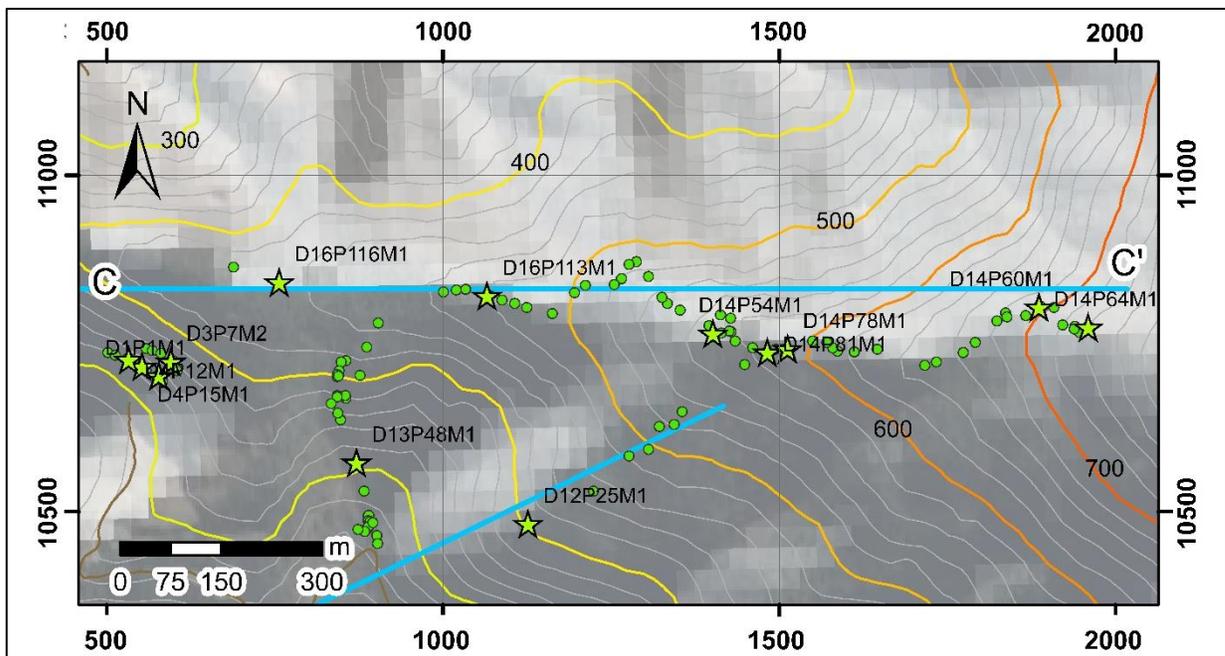


Figura 6.9: Mapa Perfil Central.

- C1: Cornea parda, su protolito en una arenisca, composicionalmente litarenita parda la cual es descrita en el tramo S1 de la Columna Sur. Tramo de 2,7 m de espesor.
- C2: Coladas de andesitas basálticas de textura seriada, color gris en superficie fresca y pardo anaranjado en alterada. La base del tramo, por clasificación química es una andesita basáltica, mientras que en el centro del tramo se clasifica microscópicamente como una andesita de anfíbol, la cual se encuentra con brechización hidrotermal (Figura 6.10, A). Esta última, su protolito presenta una masa fundamental pilotaxítica constituida por microlitos de plagioclasas y máficos cloritizados. Los fenocristales (0,2 a 1,6 mm) que presenta son

plagioclasa (18%), anfíbol (5%) y biotita (1%) (Figura 6.10, B). Debido a la brechización tiene cemento de epidota entrecrecida con cuarzo, actinolita, limonita y de sulfuros de Cu. Magnetismo moderado y 27,9 m de espesor.

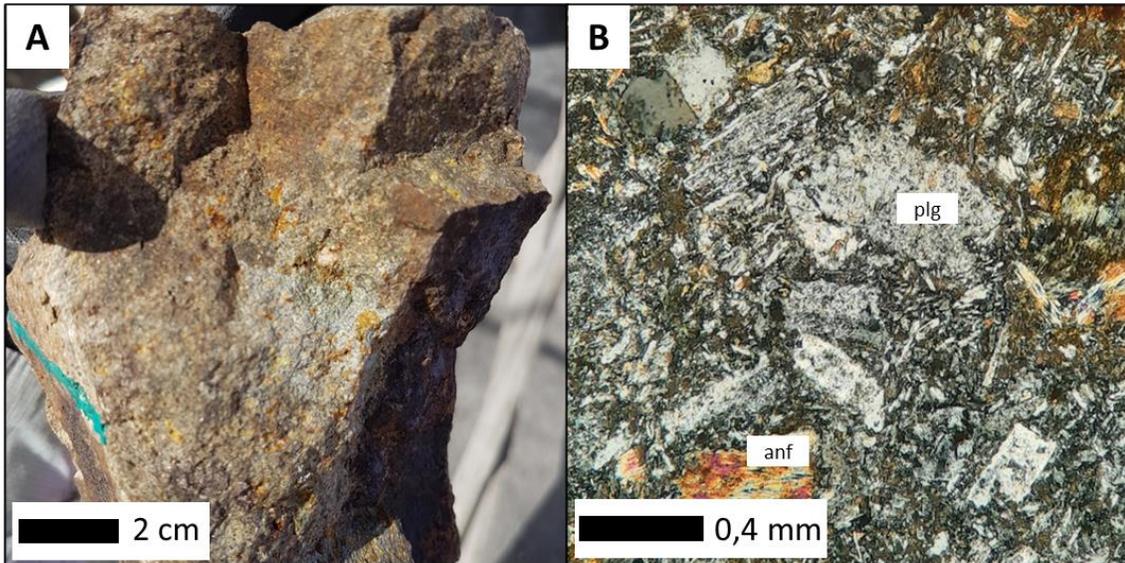


Figura 6.10: Litología tramo C2. (A) Muestra de mano de D4P12M1 del tramo C2, protolito de andesita basáltica con brechización hidrotermal. (B) Nícoles cruzados corte D4P12M1, fenocristales de plagioclasa incipientemente alterados a albita y anfíbol alterado a clorita y actinolita.

- C3: Brecha piroclástica de color gris verdosa en superficie fresca, compuesta por fragmentos subredondeados de hasta 2,5 cm de andesita, escoria y minoritariamente diorita (Figura 6.11, A). Microscópicamente se observa una matriz tobácea cristalina, compuesta por plagioclasa, máficos y líticos de andesita, y cemento de clorita y epidota (Figura 6.11, B). Además, está débilmente brechizada, con relleno de zeolitas tabulares de hasta 1mm y presenta vetillas rellenas de epidota. Tramo de 3 m de espesor.
- C4: Coladas de lavas andesíticas basálticas de texturas seriadas, porfídica, afaníticas y amigdaloidales y de color gris en superficie fresca. La base del tramo, por clasificación química es una andesita basáltica (al igual que la colada afanítica del techo), mientras que la misma microscópicamente se clasifica como andesita de anfíbol (Figura 6.12, A). La masa fundamental está constituida por microlitos de plagioclasa suborientados y máficos alterados a actinolita y clorita (Figura 6.12, B). Presenta fenocristales de plagioclasa (20% y de hasta 4,3 mm), anfíbol (5% y de hasta 4 mm) y piroxeno (2% y de hasta 2,2 mm). Magnetismo moderado y 88,9 m de espesor.

- C5: Coladas de lavas andesíticas basálticas de anfíbol de textura seriada, afanítica, amigdaloidal y autobrecha, y color gris en superficie fresca. Una muestra cercana al techo del tramo microscópicamente se clasifica como una andesita de anfíbol y piroxeno (Figura 6.13, A), con una masa fundamental seriada compuesta por microlitos de plagioclasa y gránulos de piroxeno (Figura 6.13, B). Se observan fenocristales de plagioclasa (25% y de 0,3 a 1,3 mm), anfíbol (5% y de 0,5 a 2,2 mm) y piroxeno (4% y de 0,3 a 1,6 mm). Macroscópicamente las zonas de autobrecha se encuentran moderada a pervasivamente epidotizada, y con vetillas de cuarzo. Magnetismo moderado y 71,7 m de espesor.

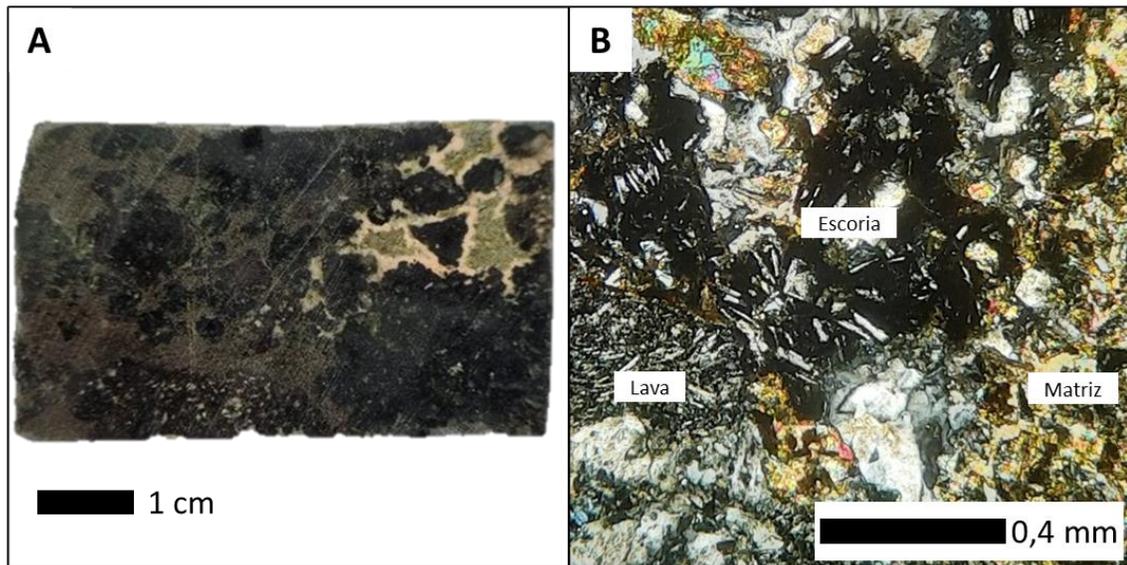


Figura 6.11: Litología tramo C3. (A) Muestra de mano D4P15M1 del tramo C3, brecha piroclástica. (B) Nícoles cruzados corte D4P15M1, fragmentos de escoria, lava y matriz tobácea cristalina.

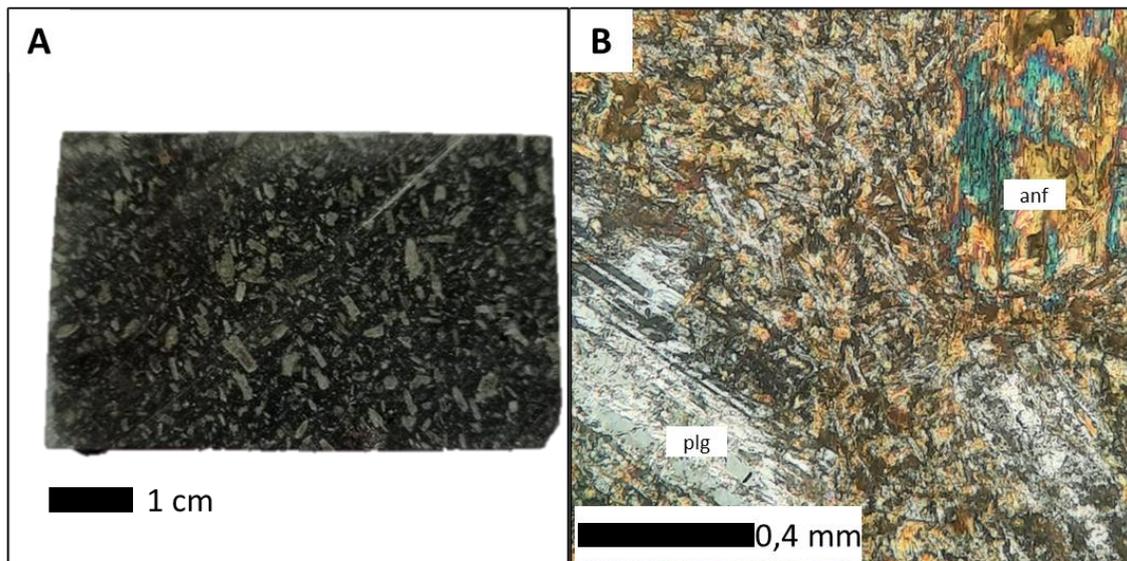


Figura 6.12: Litología tramo C4. (A) Muestra de mano D1P1M1, andesita basáltica de textura porfídica. (B) Nícoles cruzados corte D1P1M1, masa fundamental pilotaxítica y fenocristales de plagioclasas y anfíbol.

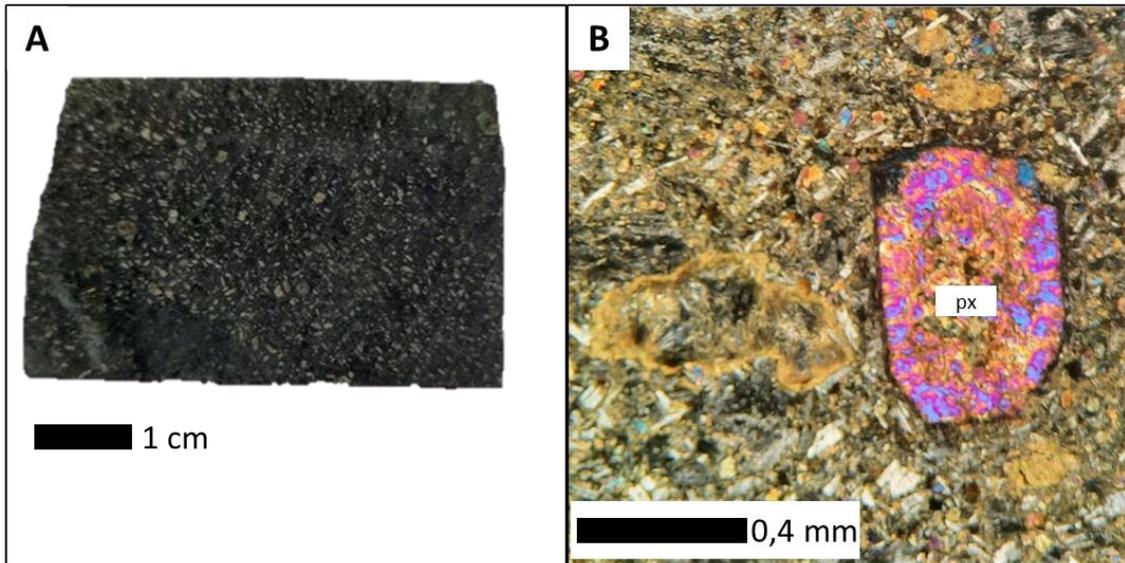


Figura 6.13: Litología tramo C5. (A) Muestra de mano D16P116M1, andesita basáltica de anfíbol y piroxeno. (B) Nícoles cruzados corte D16P116M1, masa fundamental intergranular y seriada, y fenocristal de piroxeno.

- C6: Coladas de lavas andesíticas basálticas de textura seriada y afanítica, color verde oscuro y gris. Macroscópicamente la andesita basáltica seriada presenta una masa fundamental cristalina cloritizada y con vetillas de epidota y hematita, y fenocristales de plagioclasa (20% y de 0,5 a 1 mm) moderadamente albitizadas. Espesor de 22,6 m.
- C7: Arenisca, composicionalmente litarenita feldespática (Figura 6.14, A), color pardo en superficie fresca y pardo anaranjado en superficie alterada. Roca de aspecto masivo, compacta, madura y grano soportado. Microscópicamente se observan fragmentos líticos (60%) vítreos angulosos, lávicos y limolíticos subredondeados, y escasos líticos intrusivos; fragmentos de cristales (30%), plagioclasas tabulares mayoritariamente, sanidina y ortoclasa subangulosos a subredondeados (Figura 6.14, B), cuarzo subredondeados, opacos, y minoritariamente máficos alterados. Presenta un 5% de cemento, compuesto por cuarzo, clorita, limonita y montmorillonita. Magnetismo moderado y 28,5 m de espesor.
- C8: Lava andesítica basáltica afanítica color gris oscuro en superficie fresca. Tramo de 4,3 m de espesor. Este tramo es el techo del miembro Inferior.
- C9: Coladas de lavas andesíticas grises de textura porfídica y amigdaloidal. Macroscópicamente la masa fundamental de estas lavas es afanítica y presentan fenocristales de plagioclasa (menos del 20% en la base y mayor a un 20% en el techo) y anfíbol en el techo. Magnetismo débil y 70,5 m de espesor. Este tramo es la base del miembro Superior.

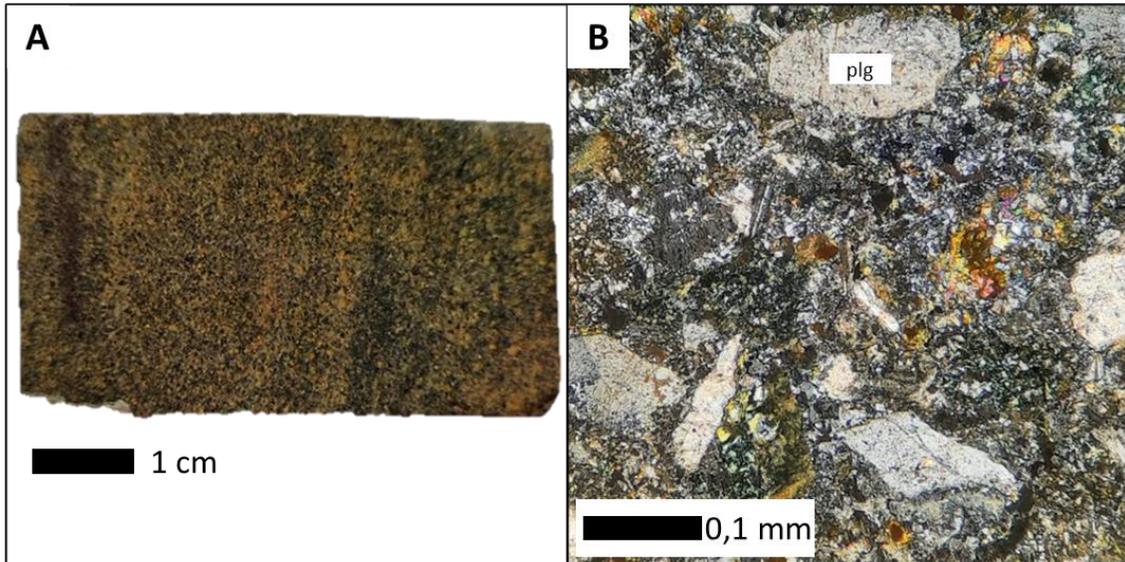


Figura 6.14: Litología tramo C7. (A) Muestra de mano D16P113M1, arenisca composicionalmente litarenita feldespática. (B) Nicoles cruzados corte D16P113M1, fragmentos cristalinos de plagioclasa subangulosos a subredondeados.

- C10: Colada andesítica de textura porfídica y amigdaloidal color gris claro en superficie fresca y anaranjado en alterada. Macroscópicamente la masa fundamental es afanítica y presenta fenocristales de plagioclasa (20% de 2 a 4 mm) y está moderadamente silicificada en el techo. Las amígdalas (hasta un 30% y de 4 mm) se encuentran rellenas de clorita y hematita. Magnetismo débil a moderado y 25,1 m de espesor.
- C11: Coladas andesíticas de textura porfídica, glomeroporfídica y amigdaloidal, y de color gris a gris oscuro. Macroscópicamente la masa fundamental es afanítica y presenta fenocristales de plagioclasa (20% y más, de 2 a 4mm). Las amígdalas (5% y de 1 mm) se encuentran rellenas de cuarzo. En su sección media hay 3,1 m de roca pervasivamente alterada a feldespato K, con fenocristales de plagioclasa (10% y de 2 a 8 mm) alterados a arcilla. Magnetismo débil a fuerte y 65,1 m de espesor.
- C12: Zona fuertemente argilizada, con protolito indeterminado. Tramo de 2,1 m de espesor.
- C13: Coladas de lavas andesítica de textura porfídica, amigdaloidal y de color gris en la base y sección media, y basáltica porfídica y glomeroporfídica en el techo. Macroscópicamente las andesitas porfídicas y amigdaloidales de la base y sección media tienen una masa fundamental afanítica y no superan el 10% de fenocristales de plagioclasa (de 0,5 a 4 mm). Una muestra de la sección brechosas (por alteración hidrotermal y autobrecha, Figura 6.15, A) al microscopio se observa su masa fundamental pilotaxítica; fenocristales de plagioclasa alterada moderadamente a feldespato K y máficos totalmente

reemplazados por epidota, clorita, calcedonia y cuarzo; y una matriz de biotita secundaria, óxidos de Fe y Cu, y calcopirita (Figura 6.15, B). La colada del techo microscópicamente es un basalto de piroxeno (Figura 6.15, C) con una masa fundamental intergranular constituida por microlitos de plagioclasa y abundantes gránulos máficos y opacos, y fenocristales de labradorita (20% y de 0,6 a 6,5 mm), piroxeno (5% y de 0,2 a 1,8 mm) y olivino (3% y de 0,3 a 1,9 mm) fuertemente alterados a bowlingita (Figura 6.15, D). Magnetismo moderado y 114 m de espesor.

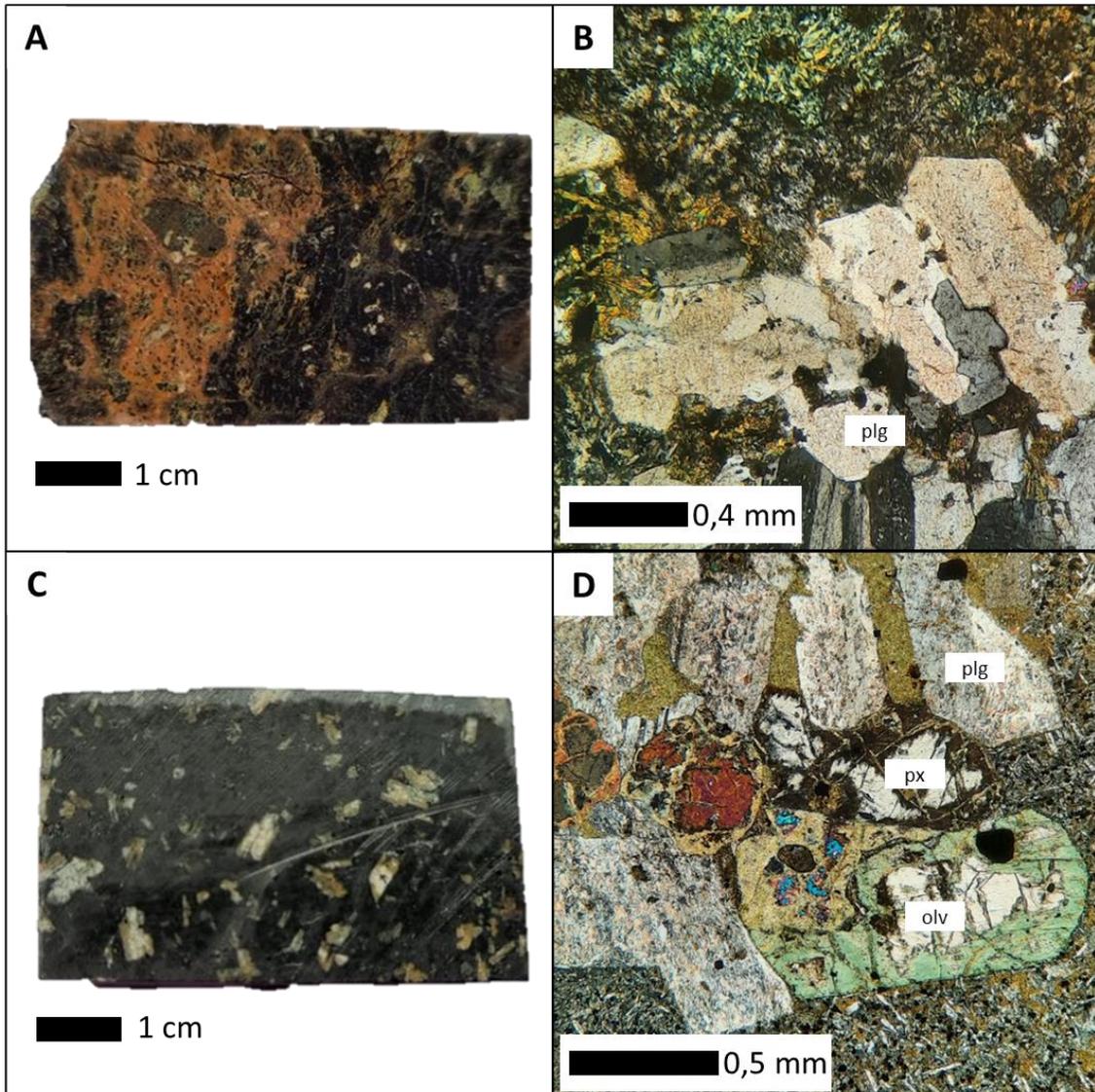


Figura 6.15: Litologías tramo C13. (A) Muestra de mano D14P54M1, autobrecha andesítica con brechización hidrotermal sobreimpuesta. (B) Nícoles cruzados corte D14P54M1, masa fundamental pilotaxítica y fenocristales de plagioclasa en glomerocristales. (C) Muestra de mano D14P81M, basalto de piroxeno. (D) Nícoles cruzados corte D14P81M1, glomerocristal de plagioclasa, piroxeno alterado a anfíbol y olivino alterado a bowlingita.

- C14: Andesitas de textura porfídica y glomeroporfídica de color gris. Macroscópicamente la masa fundamental es afanítica y presentan desde un 10% a un 35% de fenocristales de plagioclasa (de 2 mm a 1 cm) y anfíboles (hasta 7% y de 1 mm) en el techo. En la sección media se encuentran 6,3 m de roca alterada fuertemente a cuarzo y epidota, con fenocristales de plagioclasa totalmente reemplazados por feldespato K. Magnetismo débil a moderado y 73,1 m de espesor.
- C15: Andesitas de textura porfídica, afanítica, amigdaloidal y autobrecha. Macroscópicamente se aprecia fenocristales de anfíbol (5 % y de 0,5 a 1 mm) en la base del tramo y entre un 5 a 35% de fenocristales de plagioclasa de hasta 1 cm en las coladas con más de un 20% de estas (Figura 6.16, A). Tramo de 148 m de espesor.
- C16: Aglomerado color rojo grisáceo claro en superficie fresca y anaranjado claro en superficie fresca. Conformado por líticos de bombas andesíticas de tamaño de 1 cm hasta 7 cm (Figura 6.16, B), subredondeados a redondeados y por una matriz compuesta por un 85% de fragmentos líticos de tipo escoria (35% y de 0,1 a 9 mm) y andesíticos porfídicos (50% y de 0,2 a 7 mm) de bordes subredondeados y compuesto por fenocristales de plagioclasa, anfíbol y piroxeno (Figura 6.16, C y D). El 15% restante corresponde a cemento de cuarzo microcristalino y escaso gránulos de epidota. Tramos de 4,9 m de espesor.
- C17: Coladas andesíticas de textura porfídica, afanítica y amigdaloidal de color gris en superficie fresca y anaranjado claro en superficie alterada. Macroscópicamente las andesitas porfídicas presentan una masa fundamental afanítica y fenocristales de plagioclasa de hasta 1 cm (0% a 35%), las vesículas y amígdalas pueden medir 1 cm y estas últimas se encuentran rellenas de epidota, cuarzo y feldespato K. Microscópicamente la colada afanítica en una andesita (Figura 6.16, E) con una masa fundamental constituida por microlitos de plagioclasa suborientados, abundantes opacos y máficos alterados a clorita y biotita secundaria. Se observan fenocristales (Figura 6.16, F) de plagioclasa (5% desde los 0,2 a 1,2 mm) fuertemente sericitizadas, anfíbol (2% desde los 0,2 a 1,2 mm) y piroxeno (1% y entre 0,2 a 0,3 mm). Tramo de 77,3 m de espesor.
- C18: Aglomerado de las mismas características que el tramo C16. Tramo de 8,1 m de espesor.

- C19: Colada andesítica porfídica de color gris en superficie fresca y anaranjado claro en alterada. De masa fundamental afanítica, presenta 10% de fenocristales de plagioclasa de hasta 1 cm.

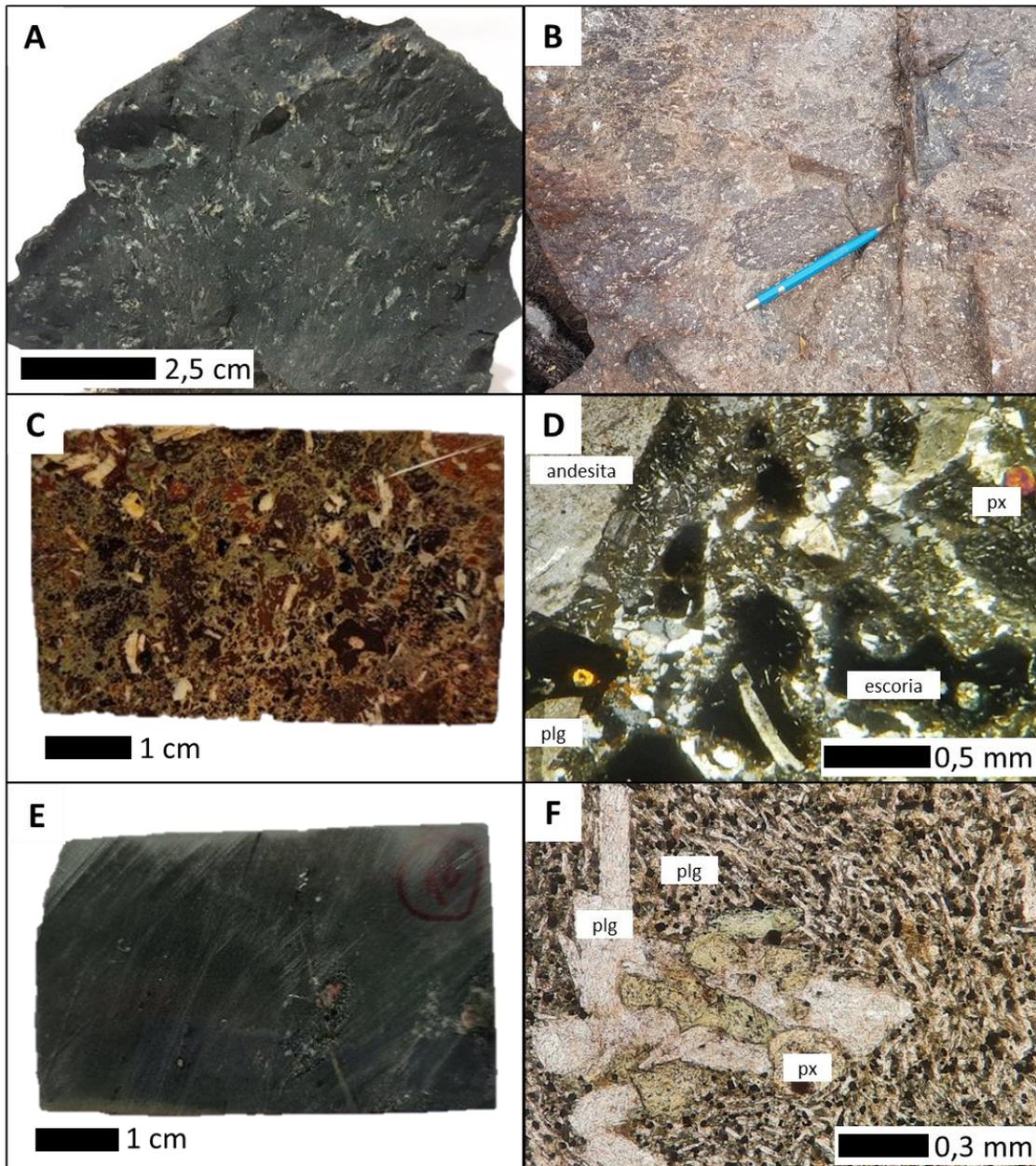


Figura 6.16: Litologías de los tramos C15, C16 y C17. (A) Muestra de mano D14P60M2 del tramo C15, andesita de anfíbol. (B) Afloramiento del tramo C16, aglomerado andesítico. (C) Muestra de mano D14P60M1 del tramo C16, matriz de aglomerado. (D) Nícoles cruzados corte D14P60M1, matriz de aglomerado constituido por fragmentos de escoria, andesita porfídica, cristales de plagioclasa y piroxeno. (E) Muestra de mano D14P64M1 del tramo C17, andesita afanítica. (F) Nícoles paralelos corte D14P64M1, glomerocristal de plagioclasa, anfíbol y piroxeno en masa fundamental con microlitos de plagioclasa suborientados.

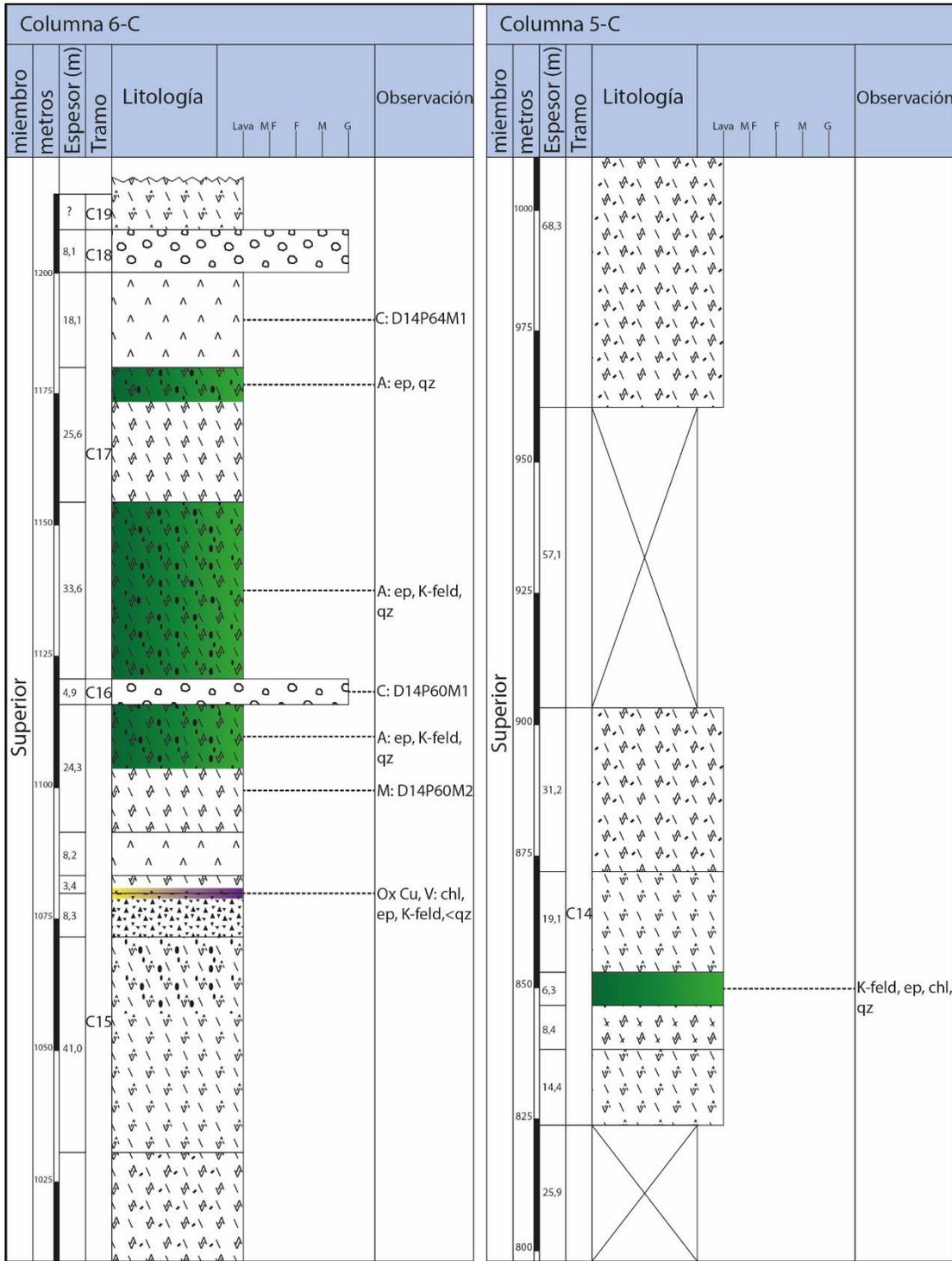


Figura 6.17: Columnas estratigráficas 6-N y 5-N del Perfil Central.

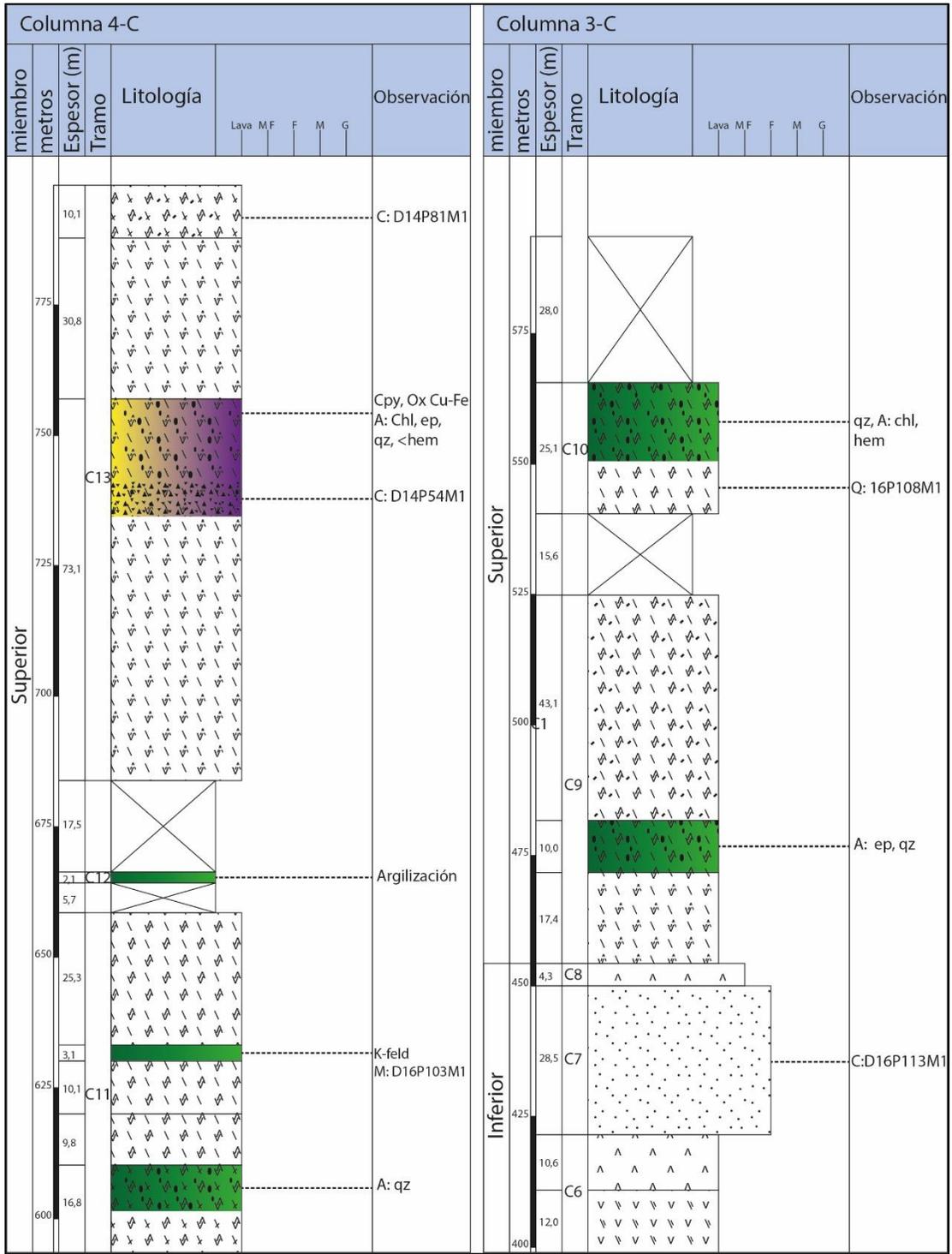


Figura 6.18: Columnas estratigráficas 4-N y 3-N del Perfil Central.

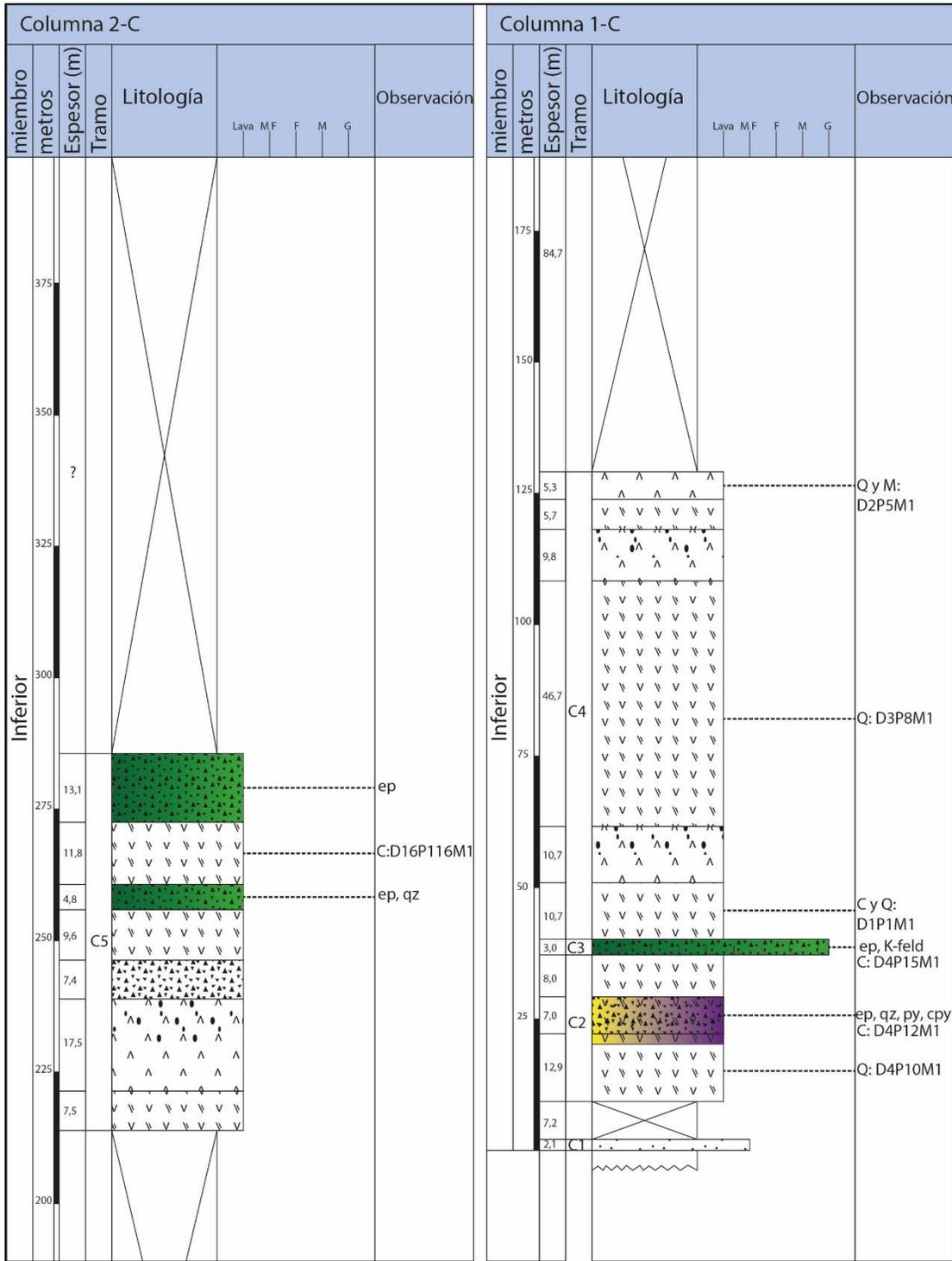


Figura 6.19: Columnas estratigráficas 2-N y 1-N del Perfil Central.

6.1.3. Columnas Resultantes del Perfil Sur

Las columnas resultantes del Perfil Sur (S-S') (Figura 6.20), de base a techo son: 1-S, 2-S (Figura 6.26), 3-S y 4-S (Figura 6.25). Se reconocen un miembro Inferior y uno Superior. El Inferior está compuesto principalmente por coladas de andesitas basálticas mientras que el Superior por andesitas, con un notorio cambio textural entre ambas unidades. Los tramos tienen un rumbo N10°W y un manteo de 40°E. Las columnas suman 683 m de potencia, de los cuales 341 m son tramos cubiertos y 342 m con información litológica. Las descripciones de los 16 tramos asignados, de base a techo son las siguientes:

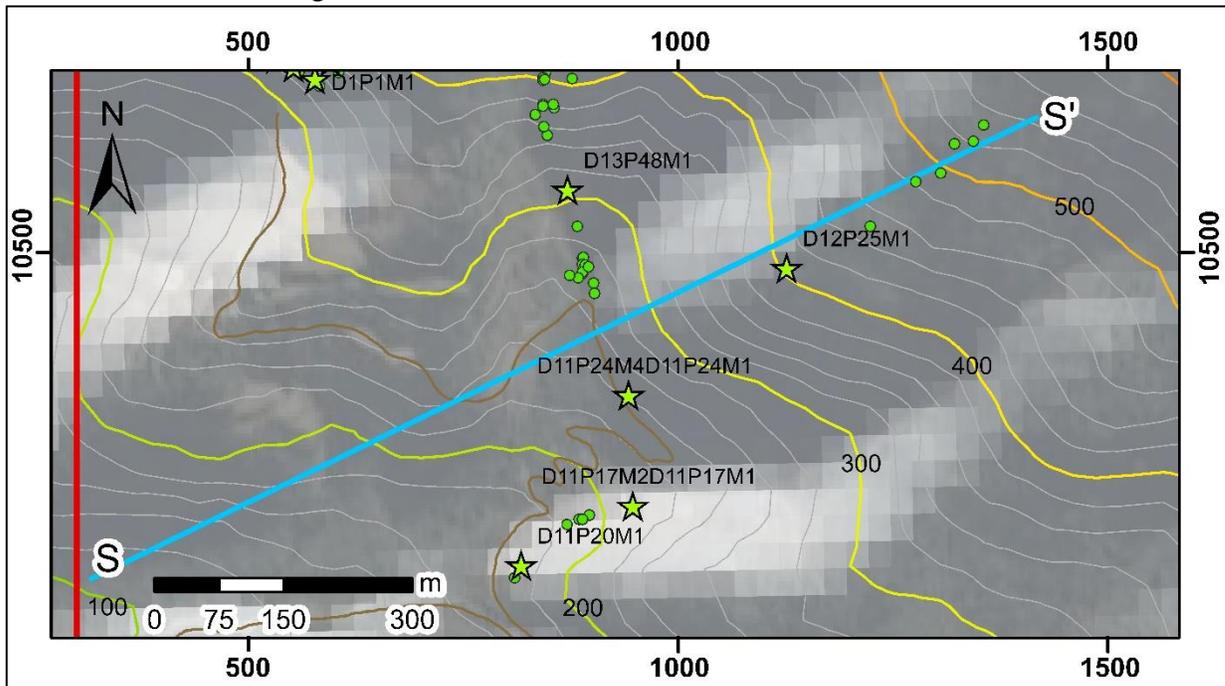


Figura 6.20: Mapa perfil Sur.

- S1: Arenisca, composicionalmente litarenita laminada de color pardo y en parte cornificada (Figura 6.21, A). Microscópicamente es clasto soportada, compuesta por un 90% de líticos andesíticos porfídicos (de 0,8 a 2,5 mm de tamaño de grano) elongados y subredondeados con alto grado de compactación, y cristales de cuarzo anguloso de 0,1 a 0,2 mm (5%) y plagioclasas de 0,1 a 0,3 mm (1%) (Figura 6.21, B). Tramo de 1,7 m de espesor.
- S2: Andesita de anfíbol y piroxeno de textura porfídica y amigdaloidal (Figura 6.21, A), de color gris verdosa en superficie fresca y pardo anaranjado en superficie fresca. Macroscópicamente los fenocristales de plagioclasa (30 a 40%) miden entre 1 a 4 mm, los anfíboles (5%) miden hasta 2 mm. Microscópicamente la masa fundamental es de textura pilotaxítica constituida por microlitos de plagioclasa (Figura 6.21, C). Además de los

fenocristales de plagioclasa y anfíbol, presenta piroxeno (5%). Se observan abundantes amígdalas ameboideas de 0,5 a 6 mm, rellenas de clorita, epidota, cuarzo, actinolita, y sulfuros de Fe y Cu (Figura 6.21, D). Magnetismo fuerte a débil y 10 m de espesor.

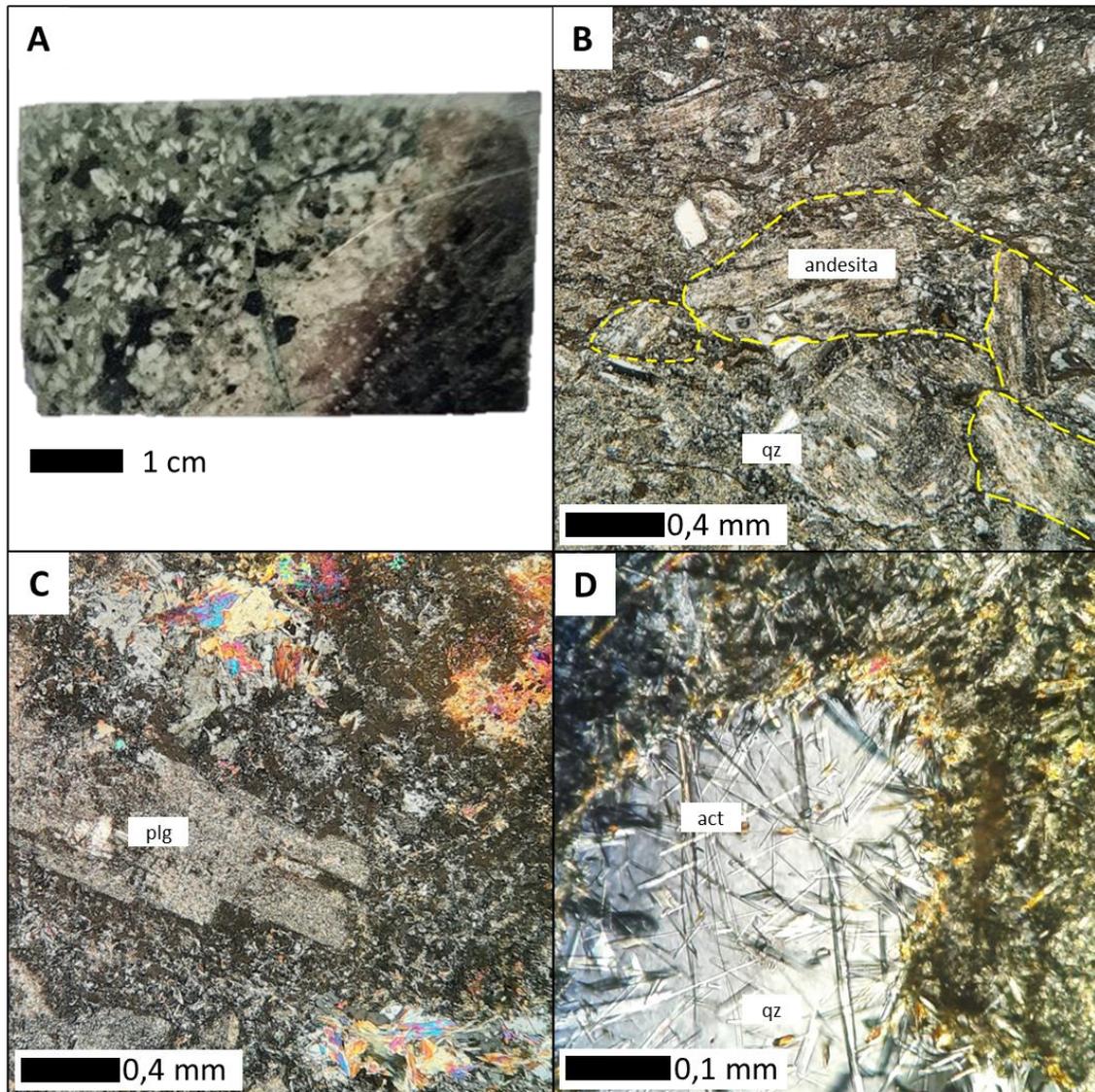


Figura 6.21: Litologías de los tramos S1 y S2. (A) Muestra de mano DDH26M3, contacto entre toba lítica del tramo S1 (derecha) y andesita amigdaloidal de S2 (izquierda). (B) Nícoles cruzados corte DDH26M3, fragmentos andesíticos y cuarzo anguloso de la toba lítica. (C) Nícoles cruzados corte DDH26M3, fenocristal de plagioclasa de la andesita amigdaloidal. (D) amígdala rellena de cuarzo y actinolita de la andesita amigdaloidal.

- S3: Andesitas basálticas de textura seriada, afanítica y de autobrecha de color gris oscuro verdoso en superficie fresca. Se observa epidotización en zonas con textura de autobrecha. Tramo de 74,6 m de espesor.
- S4: Tramo de 26,8 m de espesor conformado por rocas tobáceas de composición vítrea y por una colada basáltica, de base a techo:

-Toba vítrea, color rojo oscuro en superficie fresca. De textura fragmental, contiene cristales de plagioclasa subredondeados de hasta 2 mm.

-Basalto de piroxeno color verde grisáceo oscuro en superficie fresca. Microscópicamente la masa fundamental (90%) es de textura pilotaxítica constituida por microlitos de plagioclasa, máficos y opacos. Presenta fenocristales de plagioclasa (2%) de 1,4 a 2,1 mm, piroxeno (5%) y olivino (3%) (Figura 6.22, A y B).

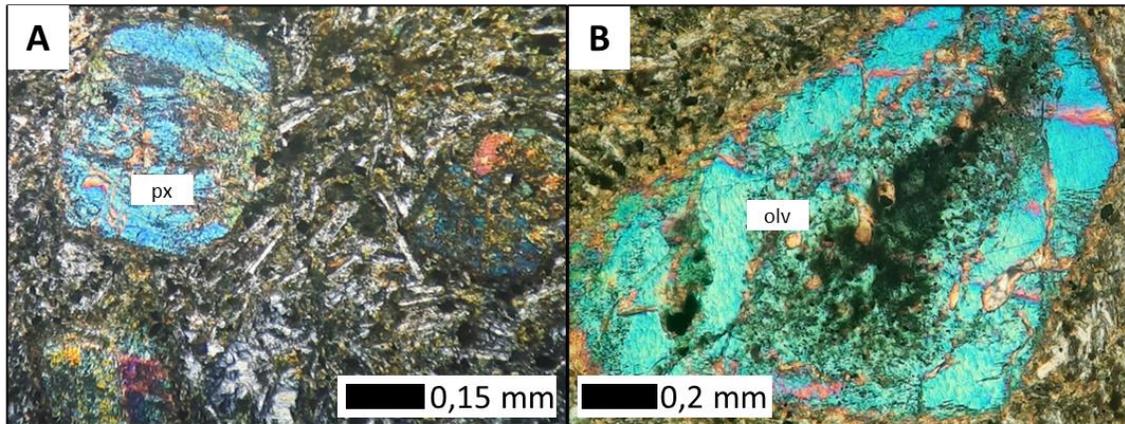


Figura 6.22: Litología tramo S4. (A y B) Nícoles cruzados corte DDH23M1, basalto de piroxeno con fenocristales de piroxeno y olivino.

-Lapillita tobácea a toba de composición vítrea y soldada, color rojo oscuro en superficie fresca con interdigitaciones de areniscas volcánicas. Microscópicamente su composición es vítrea y es soldada, presenta textura fragmental, y contiene fragmentos angulosos a subredondeados de vidrio (fiam y escoria de 0,1 a 12 mm), cristales de plagioclasa y líticos de andesita porfídica (Figura 6.23, A y B).

-Arenisca volcánica, Litarenita laminada de color rojo oscuro interdigitada con la lapillita tobácea. Roca matriz soportada, moderada selección y madura. Microscópicamente se observan los fragmentos subredondeados a subangulosos con tamaños entre los 0,06 a 0,8

mm, siendo un 70% de origen volcánico, como escoria, lavas y un 20% de cristales de plagioclasa y cuarzo. Presenta un 10% de cemento de carbonato y hematita.

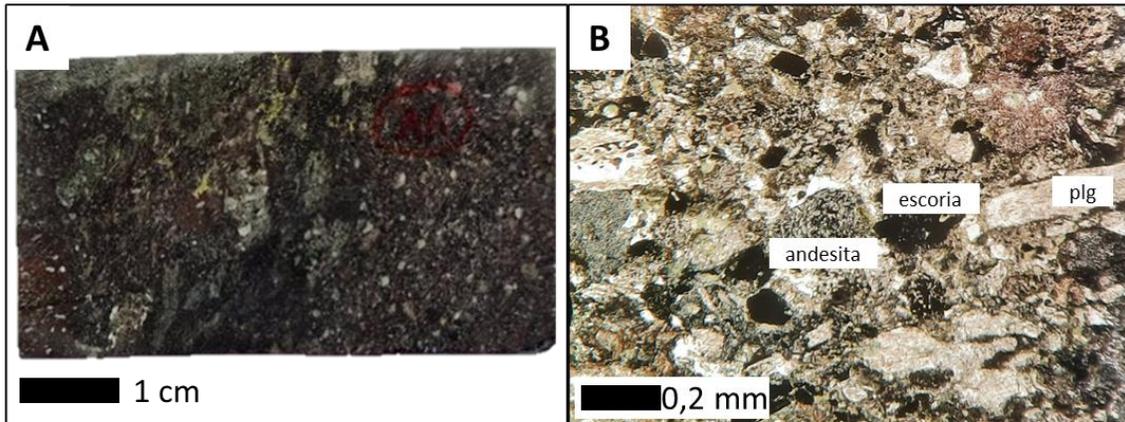


Figura 6.23: Litología tramo S4. (A) Muestra de mano DDH08M3, Lapillita tobácea vítrea y soldada. (B) Nícoles paralelos corte DDH08M3, matriz compuesta por fragmentos subangulosos de piroclastos, líticos andesíticos y cristales.

- S5: Coladas de lava andesítica basáltica de textura seriada, porfídica, afanítica, amigdaloidal y autobrecha, de color gris verdoso a gris oscuro en superficie fresca. Microscópicamente las lavas porfídicas son andesitas de anfíbol (5%) y piroxeno (%5). Además de los fenocristales mencionados (0,5 a 1,8 mm), presenta plagioclasa (20%), y una masa fundamental de textura traquítica, pervasivamente biotitizada, con relictos de microlitos de plagioclasa. Una muestra correspondiente a la andesita de textura amigdaloidal y autobrechizada (Figura 6.24, A), presenta amígdalas y cemento de cuarzo, zeolitas, actinolita y la ocurrencia de sulfuros de Cu. Magnetismo moderado a nulo en rocas alteradas y 128,8 m de espesor.
- S6: Toba vítrea, color gris rojizo en superficie fresca y de textura fragmental. Tramo de 3,6 m de espesor.
- S7: Andesitas basálticas de textura seriada color gris oscuro en superficie fresca. Tramo de 37,6 m de espesor.
- S8: Andesita basáltica seriada gris, masiva en la base y amigdaloidal en el techo. Tramo de 25,9 m de espesor.
- S9: Andesita basáltica afanítica de color gris. Tramo de 15,1 m de espesor.
- S10: Toba vítrea laminada. Tramo de 8,9 m de espesor.

- S11: Andesita basáltica seriada de color gris. Se observan fenocristales de plagioclasa de hasta 3 mm e incipientemente albitizados. La masa fundamental está alterada incipientemente a epidota y clorita. Magnetismo moderado y 17,5 m de espesor.
- S12: Andesita basáltica con textura de autobrecha y color gris. Tramo de 6,2 m de espesor.
- S13: Andesita basáltica seriada de color gris oscuro, con fenocristales de hasta 1 mm. Tramo de 12,1 m de espesor. Este tramo es el techo del miembro Inferior.
- S14: Coladas de lavas Andesíticas de color gris y de textura porfídica, glomeroporfídica y amigdaloidal. Macroscópicamente la masa fundamental es afanítica y está moderadamente silicificada (Figura 6.24, B), presenta fenocristales de plagioclasa (menos del 20% en la base y mayor en el techo) y anfíbol en el techo. Tramo de 16 m de espesor. Este tramo es la base del miembro Superior.
- S15: Arenisca, composicionalmente litarenita, matriz soportada y color rojizo en superficie fresca. Tramo de 3,3 m de espesor.
- S16: Andesita de color gris oscuro y de textura porfídica y autobrechizada (Figura 6.24, C). Macroscópicamente la masa fundamental es afanítica y presenta fenocristales de plagioclasa (10%) de 2 a 3 mm. Magnetismo fuerte y espesor superior a los 15 m.

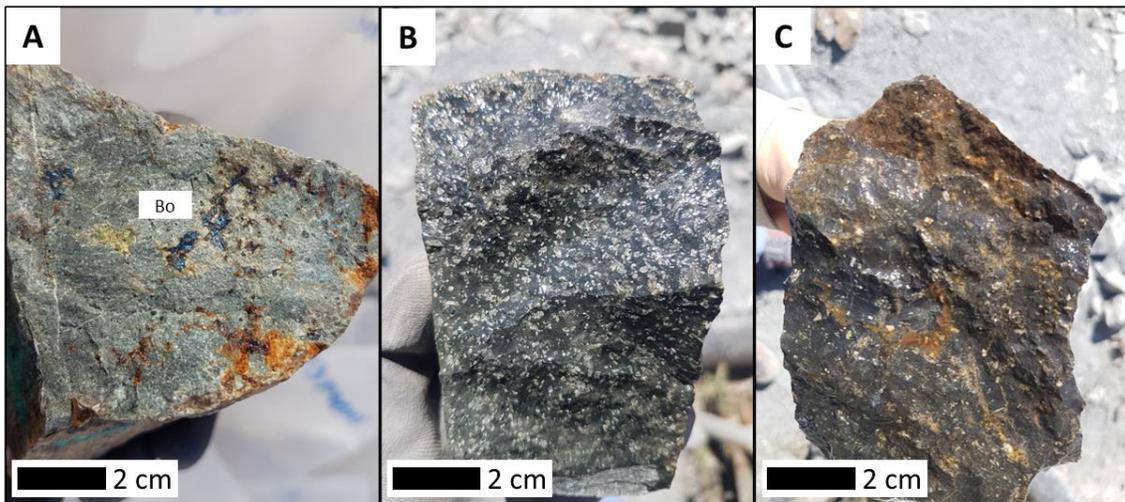


Figura 6.24: Litología de los tramos S5, S14 y S16. (A) Muestra de mano D11P24M1, andesita basáltica amigdaloidal y de zona de autobrecha con mineralización de bornita. (B) Muestra de mano D12P31M2, andesita glomeroporfídica. (C) Muestra de mano D12P32M1, andesita porfídica y autobrechizada.

6.2. GEOQUÍMICA

Se realiza el análisis químico de roca total para elementos mayores, traza y tierras raras de 9 muestras de roca, 4 de lavas correspondientes al miembro Inferior, 3 de lavas del miembro Superior y 2 de intrusivos.

6.2.1. Diagrama TAS (Le Bas y otros, 1986)

Se utiliza el diagrama TAS (*Total Alkali Silica*) debido a que se utiliza para clasificar rocas volcánicas según su contenido de sílice y álcalis. Además, se puede determinar si las muestras corresponden a la serie alcalina o subalcalina con la línea de clasificación de Irvine y Baragar (1993).

Las 4 muestras correspondientes al miembro Inferior se encuentran clasificadas como andesitas basálticas, mientras que 2 del miembro Superior se clasifican como andesitas y 1 como traquiandesita, sin embargo, tanto las lavas del miembro Inferior como las del Superior se encuentran en la serie subalcalina. En cuanto a los intrusivos, la muestra D15P91M1, de apariencia macroscópica similar a las lavas del miembro Superior, es clasificada como andesita. Por otro lado, la muestra D14P78M1, se clasifica como traquiandesita basáltica y de la serie alcalina.

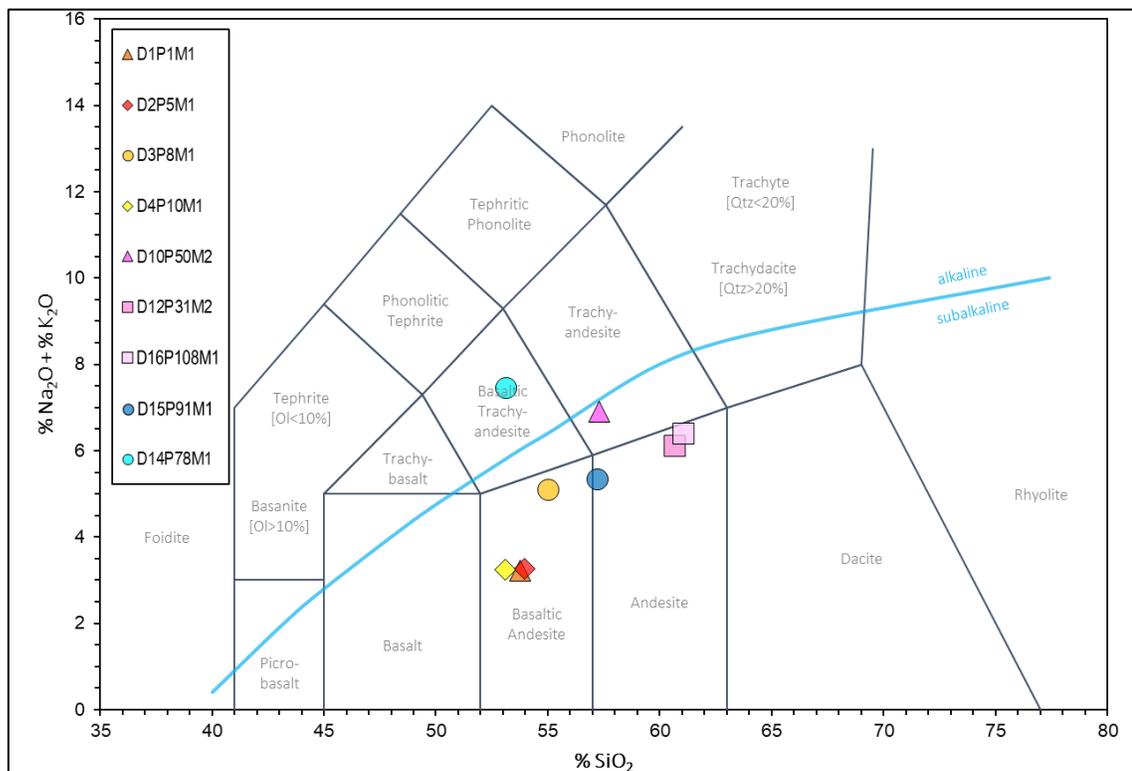


Figura 6.27: Diagrama TAS. Lavas del miembro Inferior entre los colores amarillo y rojo, lavas del miembro Superior en colores rosado, e intrusivos en color celeste y azul. La línea celeste corresponde al límite entre serie alcalina y subalcalina.

6.2.2. Diagrama Zr/Ti vs. Nb/Y (Pearce, 1996)

Este diagrama es el resultado de la modificación del diagrama propuesto por Winchester y Floyds (1977), el cual clasificaba rocas volcánicas según las razones Zr/TiO_2 como índice de diferenciación y Nb/Y como índice de alcalinidad, debido a que estos elementos son inmóviles durante los procesos de alteración y metamorfismo, no como lo que ocurre con el Na y K (elementos utilizados en el diagrama de TAS). El cambio realizado por Pearce (1996) consiste en el ajuste de los campos de clasificación en función del Ti y no TiO_2 .

A diferencia de los resultados obtenidos en el diagrama de TAS, la muestra D14P78M1, tiene menor alcalinidad (Nb/Y), encontrándose en el campo de clasificación de las andesitas y andesitas basálticas. Sin embargo, la muestra D3P8M1 muestra un anómalo enriquecimiento de álcalis en comparación a las demás muestras, clasificándose como traquiandesita. Las demás muestras se encuentran cercanas al límite de los campos de andesita-andesita basáltica, y riolita-dacita.

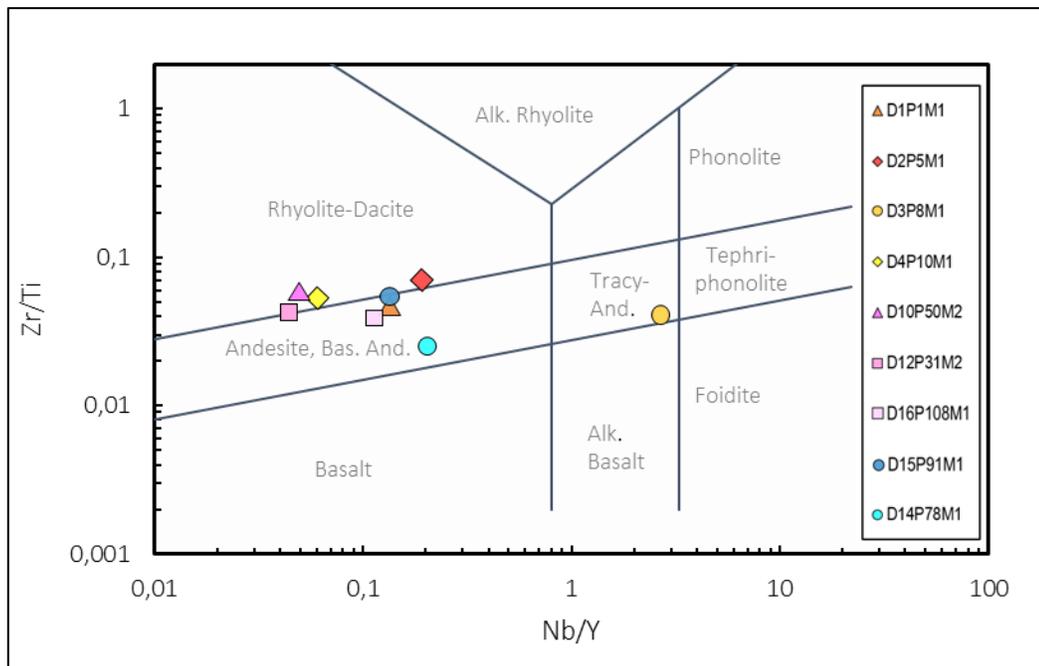


Figura 6.28: Diagrama Zr/Ti vs. Nb/Y. Lavas del miembro Inferior entre los colores amarillo y rojo, lavas del miembro Superior en colores rosado, e intrusivos en color celeste y azul.

6.2.3. Diagrama AFM (Irvine y Baragar, 1971)

El diagrama AFM se utiliza para diferenciar la serie subalcalina entre calcoalcalina y toleítica, tanto para rocas volcánicas como plutónicas, esto a través de los parámetros álcalis (A), FeO^* (F) y MgO (M).

Las rocas del miembro Inferior se encuentran tanto en el campo toleítico como calcoalcalino, en cambio las del miembro Superior se encuentran solo en el toleítico. Los intrusivos, por su parte, son calcoalcalinos.

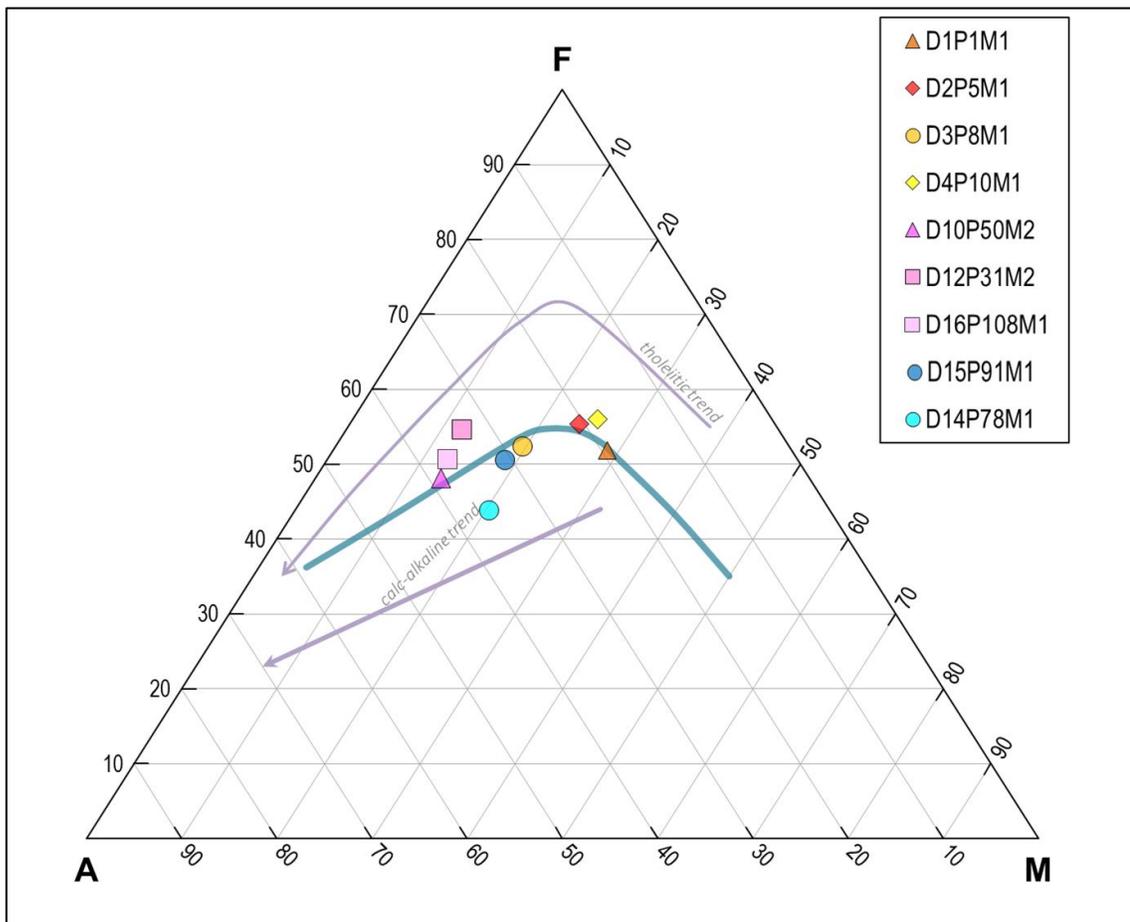


Figura 6.29: Diagrama AFM. La línea azul corresponde al límite entre la serie toleítica y calcoalcalina.

6.2.4. Diagrama Th-Hf/3-Ta (wood y otros, 1980)

Este diagrama se utiliza para determinar en qué ambiente tectónico se formaron las rocas basálticas, a través de los datos en ppm de Th, Hf y Ta, debido a la sensibilidad de estos elementos a la contaminación cortical. Además, este diagrama puede ser utilizado con rocas intermedias y félsicas, según lo señalado por Wood y otros (1979) y Wood (1980), por lo que las nueve muestras analizadas pueden ser discriminadas según este diagrama.

Las muestras del miembro Superior, 2 del Inferior y 1 intrusivo se encuentran en el campo calcoalcalino de arco volcánico, indicando de este modo que el magma que dio origen a las rocas estudiadas se desarrolló en un contexto de margen de placa destructivo de carácter calcoalcalino a causa de un proceso de subducción.

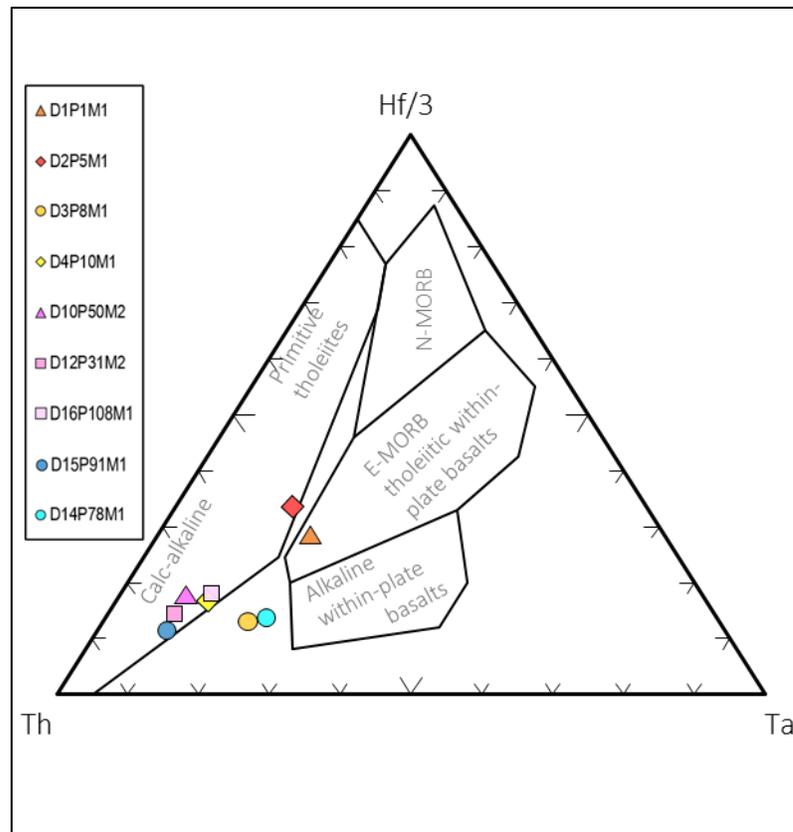


Figura 6.30: Diagrama Th-Hf/3-Ta.

6.2.5. Diagrama de Tierras Raras normalizado al Condrito

Para caracterizar procesos petrológicos se pueden utilizar las Tierras Raras (REE) debido a que son elementos incompatibles e inmóviles en fases fluidas, por lo que no se ven afectados en rocas que han sufrido procesos de metamorfismo de bajo grado y alteración hidrotermal. Las rocas de la corteza continental tienen un patrón de REE enriquecido en Tierras Raras Livianas (LREE) en comparación con las Tierras Raras pesadas (HREE), siendo las LREE las REE más incompatibles. Además, pueden presentar una anomalía negativa de Eu. En cuanto a las rocas provenientes del manto como son los MORB, presentan un patrón de REE opuesto, empobrecido en LREE en comparación a las HREE (Figura 6.31, A). Por su parte las rocas de la corteza terrestre, ya sea de la corteza inferior, media o superior, son levemente diferentes, pero tienden a seguir el mismo patrón entre las LREE y HREE (Figura 6.31, B).

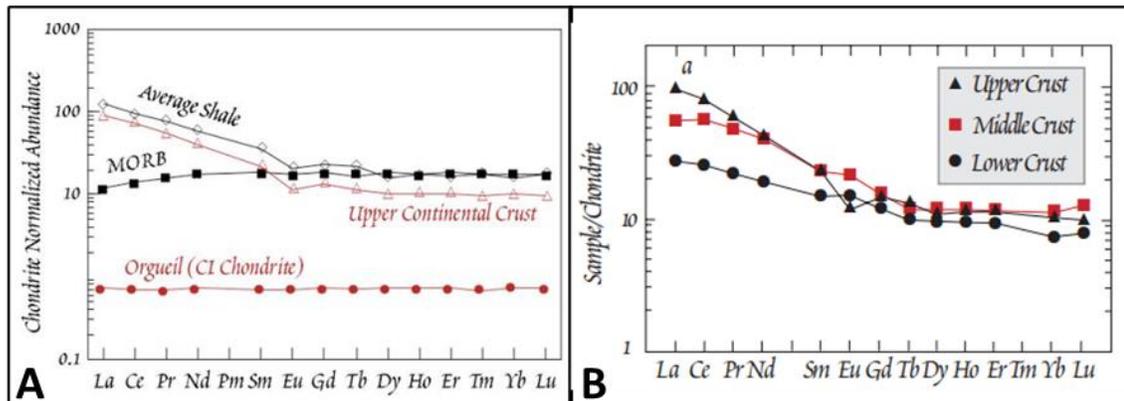


Figura 6.31: Diagramas de REE normalizados al Condrito Tomado de White (2005). (A) diagrama para composiciones promedio de rocas corticales y MORB. (B) diagrama para diferentes reservorios corticales.

En la Figura 6.32 se observan los patrones de REE de las muestras de lavas del miembro Inferior (color rojo a amarillo), del Superior (colores rosados) y de los diques porfídicos (azul y celeste). A excepción de la muestra D3P8M1 del miembro Inferior. Todas las muestras siguen el patrón correspondiente a una corteza continental, con una anomalía no muy deprimida de Eu para la muestra D15P91M1. Por otra parte, la muestra D3P8M1 presenta un patrón anómalo, deprimido en las HREE, especialmente de Tb, Ho, Tm y Lu.

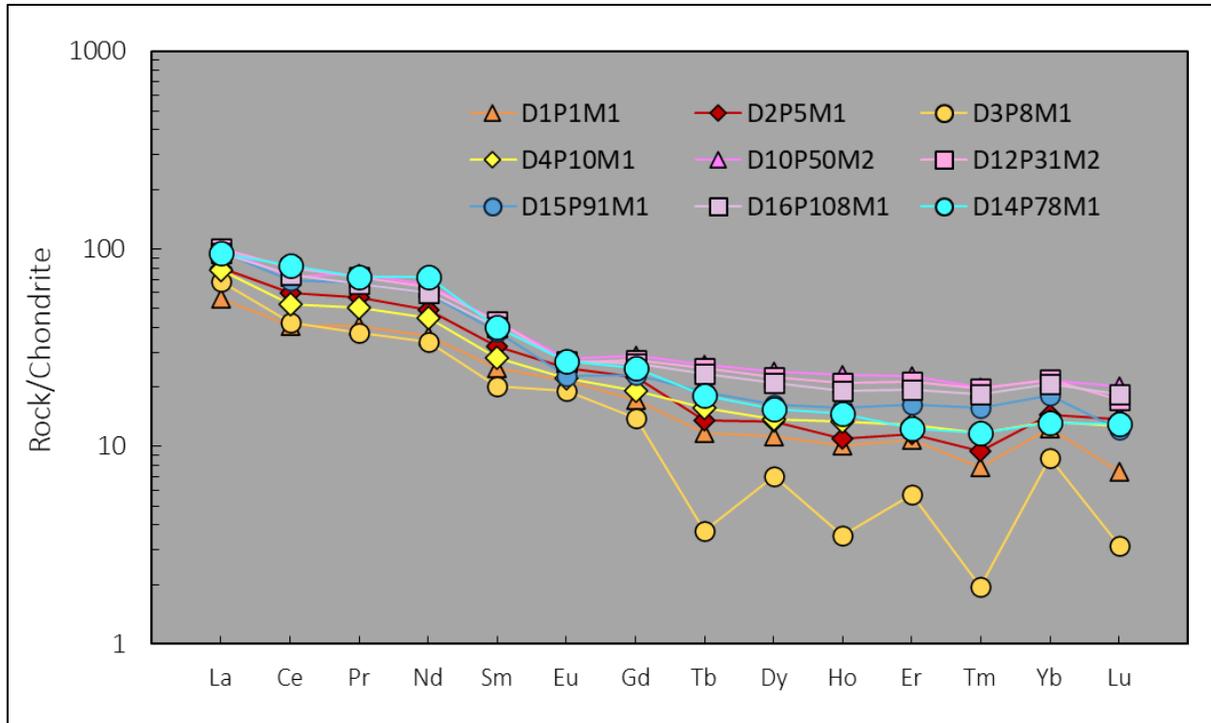


Figura 6.32: Diagrama de REE normalizado al Condrito (Sun y McDonough, 1989). Los patrones corresponden a los de las muestras de mano extraídas en terreno del miembro Inferior y Superior, y de diques porfídicos que cortan estas unidades.

6.3. LITOLOGIAS DE LAS VOLCANITAS LOS TEBOS

Tras las salidas a terreno en superficie e interior mina y la revisión de sondajes disponibles, se obtienen 113 muestras litológicas (Tabla 1 del capítulo de Anexos), 100 obtenidas en superficie, 2 en la mina y 11 de sondajes. De estas se seleccionan las más representativas de las diferentes litologías que conforman a las Volcanitas Los Tebos y a los cuerpos que la intruyen, realizándose el análisis químico a 9 de estas y cortes transparentes y/o pulido a 35 muestras.

De los 35 cortes transparentes realizados, 26 pertenecen a litologías del miembro Inferior y 6 del Superior. El análisis petrográfico de estos cortes es complementado con las descripciones macroscópicas de las rocas y sus afloramientos, y los datos geoquímicos, los cuales ayudan a determinar más exactamente la clasificación de las lavas.

6.3.1. Litologías miembro Inferior:

6.3.1.1. Lavas:

El miembro Inferior se encuentra conformado mayoritariamente por coladas de lavas de textura seriada, porfídica y afanítica, de tonos grises y verdosos. En terreno se observan coladas de hasta aproximadamente 20 m de espesor, siendo el límite las zonas de autobrecha (Figura 6.33, A), conformadas por fragmentos monomícticos centimétricos y subangulares en una escaza matriz de la misma composición. Estas zonas pueden estar pervasivamente alteradas al estar próximas a diques y estructuras mineralizantes. La zona media de las coladas es masiva (Figura 6.33, C), observándose en ocasiones fenocristales orientados a suborientados de plagioclasa en las coladas porfídicas, y en el techo la ocurrencia de vesículas (Figura 6.33, B), las cuales se encuentran mayoritariamente rellenas por minerales de alteración de mena y ganga.

Por clasificación petrográfica las lavas son mayoritariamente andesitas, de anfíbol y/o piroxeno, y minoritariamente basaltos de piroxeno. En cambio, por geoquímica, las andesitas se clasifican como andesitas basálticas.

6.3.1.2. Rocas volcanoclásticas:

Las rocas volcanoclásticas del miembro Inferior cuentan con afloramientos escasos debido a la meteorización de las rocas y la cobertura vegetal, encontrándose afloramientos acotados y rodados que permiten inferir una mayor ocurrencia que la plasmada en las columnas. Se clasifican como toba vítrea, lapillita tobácea y brecha piroclástica.

Las tobas vítreas y lapillitas tobáceas vítreas son de color rojo, compuestas por fragmentos de fiam y escoria, además de cristales de plagioclasa, cuarzo y líticos andesíticos porfídicos. Intercaladas a estas rocas se encuentran niveles de areniscas (litarenitas) laminadas, originadas por el transporte de los componentes de las rocas volcanoclásticas.

La brecha piroclástica (Figura 6.34, A) se encuentra en contacto con niveles lávicos, es color gris verdosa y presenta fragmentos líticos de hasta 2,5 cm y una matriz tobácea.

6.3.1.3. Areniscas volcánicas:

Los niveles de areniscas volcánicas se encuentran entre niveles de lavas y rocas volcanoclásticas. A nivel de afloramiento se aprecian mayoritariamente laminadas, de color pardo y gris verdoso en afloramientos de superficie y rojo oscuro en sondajes diamantinos interdigitadas en niveles volcanoclástica, resultando ser producto de la removilización de estos últimos. Se clasifican composicionalmente como litarenita, litarenita feldespática y arcosa lítica.

La litarenita parda basal (tramo C1 y S1) se halla moderada a fuertemente cornificada y está compuesta por un 90% de líticos de andesita porfídica. Se encuentra en contacto con una andesita de anfíbol y piroxeno amigdaloidal. Este contacto ha evidenciado una preferente mineralización de mena y ganga en las amígdalas y fenocristales lixiviados de la lava que en la arenisca.

Las litarenitas de color rojo oscuro (tramo S4) se interdigitan con los niveles volcanoclásticos del mismo color, y presentan un mayor porcentaje de clastos de cristales (20%) y componentes vítreos en comparación a la litarenita parda basal.

Al sur del Perfil Sur y se encuentra un afloramiento de 15 m de arcosa lítica laminada de color gris verdoso (Figura 6.35, A y B). Este afloramiento cuenta con mineralización de óxidos de Cu en cúmulos, diseminado y en vetillas (diaclasas rellenas) y piritita diseminada. Al microscopio se aprecian cúmulos ameboidales de hasta 5,5 mm de diámetro y vetillas sinuosas de malaquita y crisocola. Esa facie parece tener una continuidad lateral al sur del Perfil Sur, por lo que no se influye en las columnas de este.

El Tramo C7, correspondiente al penúltimo tramo del techo del miembro Inferior corresponde a una litarenita feldespática parda (Figura 6.36, A y B). Está, a diferencia de las demás areniscas volcánicas, tienen un aspecto masivo y se encuentra compuesta por fragmentos líticos, principalmente vítreos (escoria).

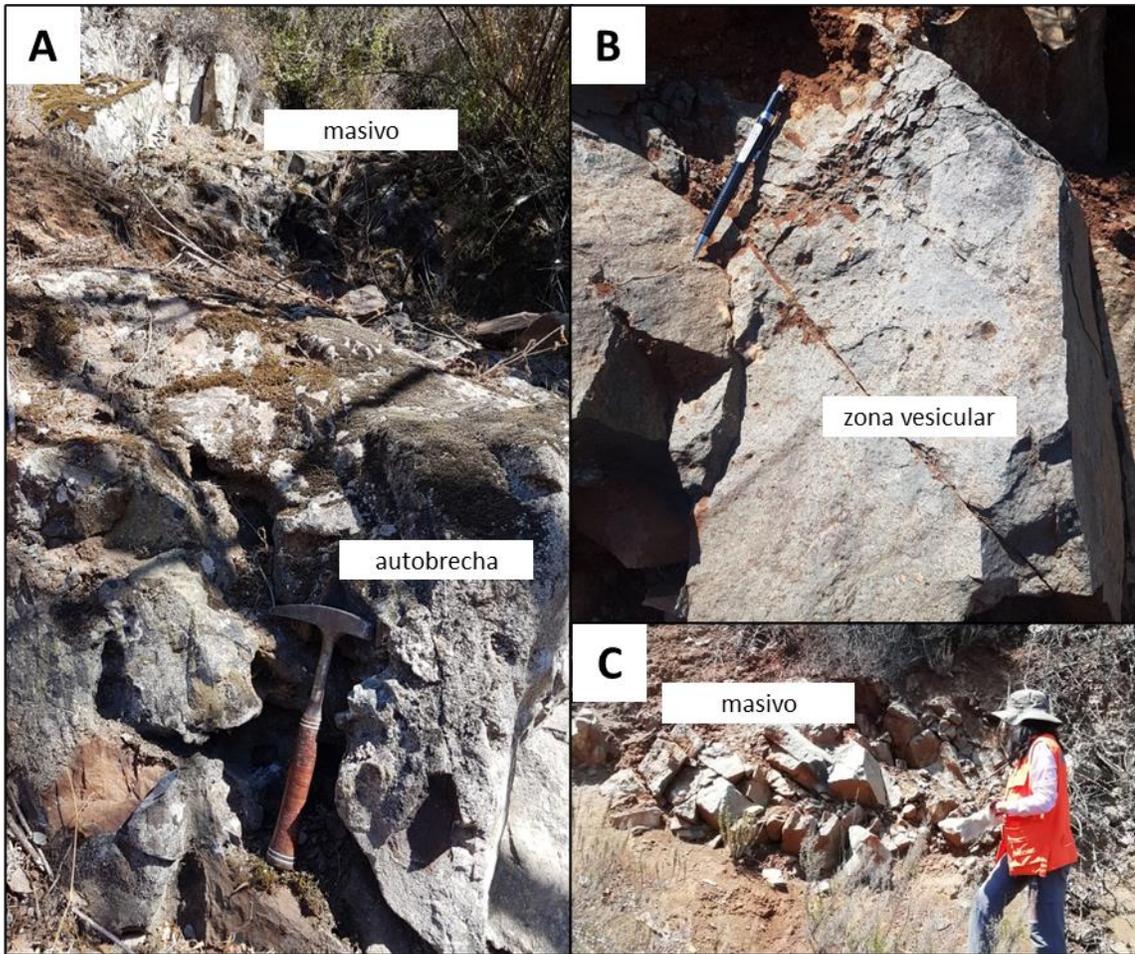


Figura 6.33: Coladas de lavas andesíticas basálticas. (A) Zona de autobrecha de una colada en la parte inferior y masiva en la superior. (B) zona vesicular de una colada. (C) zona masiva de una colada.

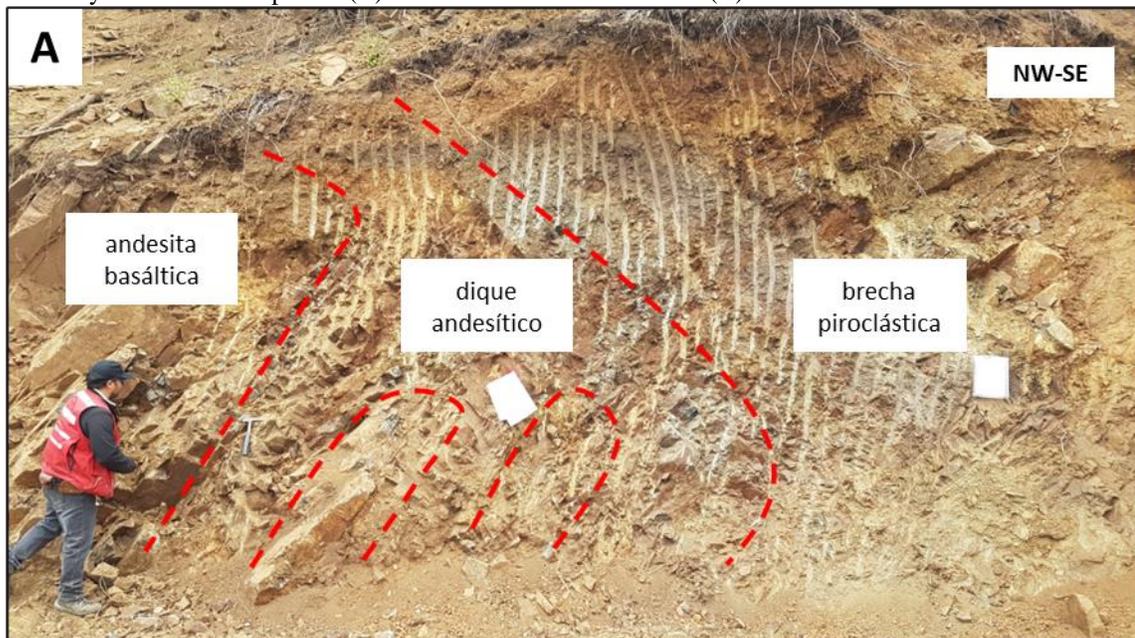


Figura 6.34: Afloramiento en miembro Inferior. (A) andesita basáltica en la base y una brecha piroclástica en el techo, intruidos por un dique andesítico en el contacto entre ambas litologías.

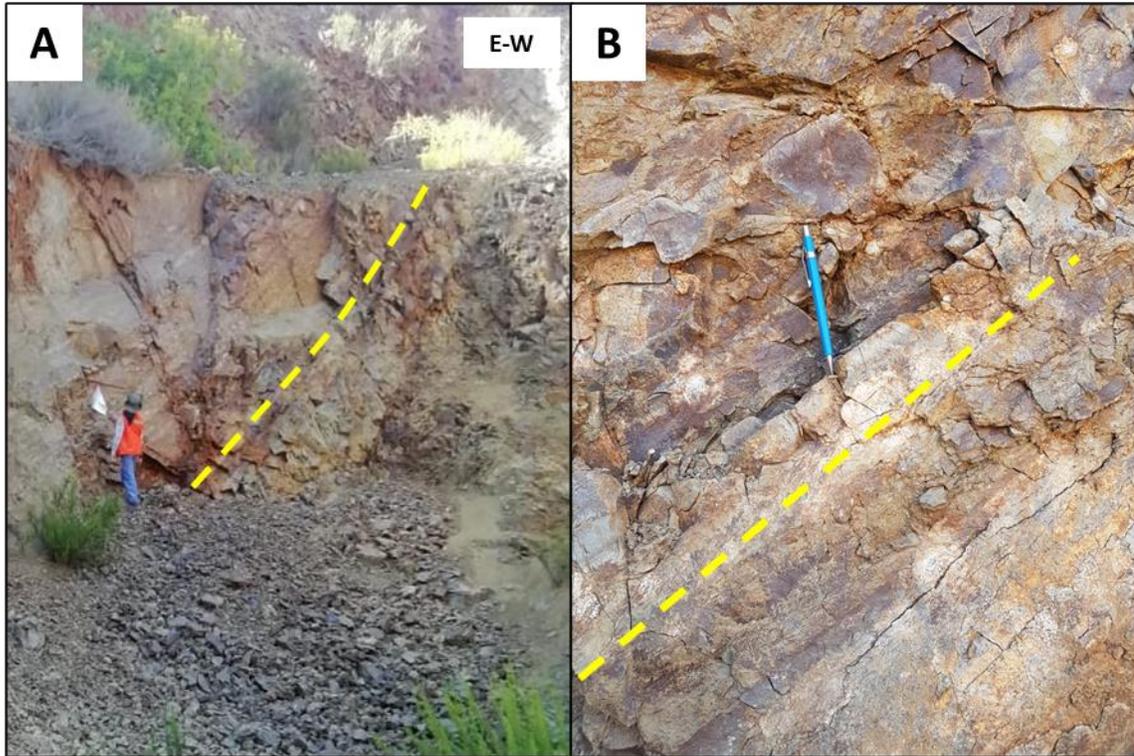


Figura 6.35: Afloramiento de arcosas líticas laminadas. (A) areniscas de 15 m de potencia. (B) La laminación de las areniscas sigue la tendencia de la línea amarilla.

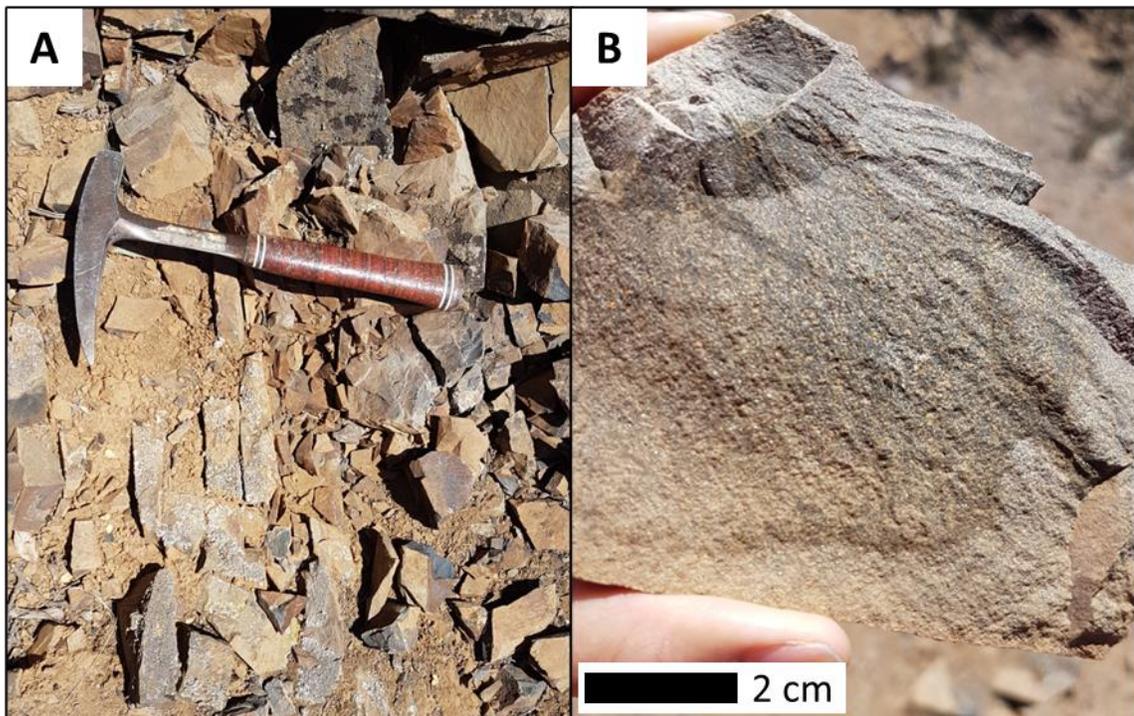


Figura 6.36: Litarenita feldespática. (A) Afloramiento. (B) Muestra de mano, aspecto masivo.

6.3.2. Litologías miembro Superior

6.3.2.1. Lavas:

El miembro Superior se encuentra formado en su mayoría por coladas de lavas de textura porfídica, glomeroporfídicas (Figura 6.37, A) y afaníticas. Se reconocen pocas zonas de autobrecha debido a la meteorización de los afloramientos y su poca visibilidad, pudiendo ser más potentes y recurrentes que lo representado en las columnas. Macroscópicamente presentan una masa fundamental afanítica gris a negra y fenocristales de plagioclasa desde proporciones mínimas hasta alcanzar un 35%, y longitudes milimétricas a máximo 1,5 cm. Las vesículas y/o amígdalas observadas pueden alcanzar los 15 cm de largo, circulares y ovaladas (Figura 6.37, B).

Petrográficamente las lavas se clasifican como basalto (de piroxeno y olivino), dacita y mayoritariamente andesita de anfíbol y/o piroxeno. Macroscópicamente no se puede observar una diferencia entre las tres clasificaciones. Geoquímicamente, las muestras de lava del miembro Superior se clasifican como andesitas.

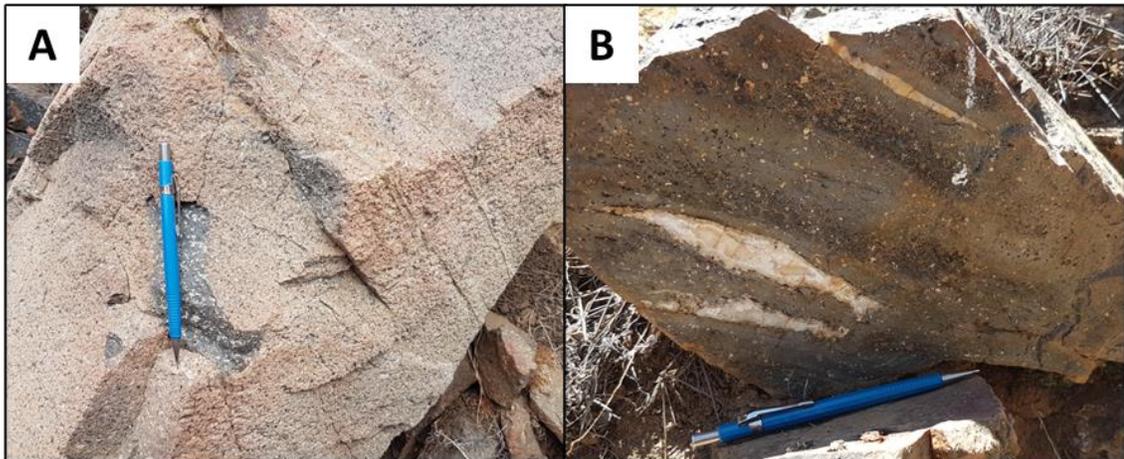


Figura 6.37: Afloramientos andesitas. (A) andesita de anfíbol porfídica, con 20% de fenocristales de plagioclasa y 7% de anfíbol. (B) andesita vesicular y amigdaloidal, rellenas por sílice.

6.3.2.2. Aglomerado

Los niveles de aglomerado (Figura 6.38) se encuentran entre las coladas de andesita del miembro Superior. Son masivos, de moderada a pobre selección y de color rojo grisáceo claro en superficie fresca y anaranjado claro en alterada, con afloramientos más sobresalientes que las coladas de lava. Los fragmentos que la componen, de hasta 7 cm de diámetro, son mayoritariamente bombas volcánicas andesíticas de las mismas características que las lavas del miembro Superior, son redondeados a subredondeados, mientras que los líticos andesíticos y escoriáceos de la matriz

pueden llegar a ser subangulosos. La matriz es de tipo lapillita tobácea, mientras que el cemento es cuarzo microcristalino.



Figura 6.38: Afloramiento de aglomerado.

6.3.2.3. Arenisca Volcánica

El único nivel de arenisca encontrado en el miembro Superior es en el recorrido del perfil Sur (tramo S15), una litarenita matriz soportada de color rojizo, con algunos líticos centimétricos de andesita.

6.4. MINERALOGÍA DE ALTERACIÓN

6.4.1. Albita

La albita se encuentra en las lavas reemplazando selectivamente las plagioclasas pertenecientes a la masa fundamental y los fenocristales. Macroscópicamente se aprecia una coloración blanca en los fenocristales afectados. Se asocia a minerales como epidota, clorita y en menor medida anfíbol secundario (arfvedsonita) y zeolitas.

6.4.2. Anfíbol secundario

El anfíbol secundario, mayoritariamente arfvedsonita, se encuentra escasa e incipientemente alterando a anfíbol primario y piroxeno en las lavas, y a actinolita de alteración en las mismas rocas, reemplazando estos minerales en cúmulos. Se asocia a albita, epidota y clorita.

6.4.3. Epidota

La epidota altera incipiente a moderadamente las rocas de la zona de estudio, principalmente reemplazando en cúmulos o diseminada a los minerales primarios anfíbol, piroxeno y en menor medida plagioclasa. Puede encontrarse rellenando vetillas, amígdalas y la matriz de las brechas, en hábito prismático o radial. Está asociada a dos diferentes eventos, una de carácter regional junto a la albita, clorita, anfíbol secundario y zeolitas, y otro que relaciona al cuarzo secundario, feldespato K, actinolita, piritita, bornita, calcopiritita y esfalerita.

6.4.4. Clorita

La clorita altera incipiente a pervasivamente, pero de forma selectiva y en bajas proporciones a los minerales de las rocas de la zona de estudio. Reemplaza a los minerales primarios anfíbol, biotita, piroxeno y olivino, y en ocasiones los minerales de alteración actinolita y biotita. También se encuentra rellenando vetillas, amígdalas y como cemento. Se asocia a minerales como la albita, epidota, y en menor medida anfíbol secundario (arfvedsonita) y zeolita.

6.4.5. Actinolita

La actinolita altera incipiente a pervasivamente las litologías de la zona de estudio. Reemplaza a los minerales primarios anfíbol y piroxeno, y rellena vetillas, amígdalas, además, se encuentra como cemento de las brechas. Se observa con hábito acicular y fibroso. Está asociada a biotita secundaria, feldespato K y cuarzo, encontrándose en mayor proporción cuando está en paragénesis con la biotita, mientras que con la presencia de feldespato K baja en proporción. También está en la asociación feldespato K, epidota, piritita, bornita, calcopiritita y esfalerita.

6.4.6. Biotita secundaria

La biotita secundaria se encuentra alterando incipiente a pervasivamente las rocas de las Volcanitas Los Tebos, reemplazando a los minerales primarios anfíbol y piroxeno, y a la masa fundamental de las lavas en cúmulos o diseminada. También rellena espacios, siendo parte del cemento de brechas hidrotermales, amígdalas y vetillas. Se puede encontrar asociada a feldespatos K, cuarzo secundario y actinolita.

6.4.7. Feldespato K

El feldespato K reemplaza parcial o totalmente a las plagioclasas de la masa fundamental y fenocristales de las lavas, y rellena vetillas, en ocasiones mineralizadas con mena. Se identifica en dos eventos de alteración, el primero asociado a la biotita, actinolita y cuarzo secundario, y el segundo a epidota, actinolita, cuarzo secundario, pirita, bornita, calcopirita y esfalerita. Macroscópicamente se identifica por su coloración rosada, con hábito prismático y masivo.

6.4.8. Cuarzo secundario

El cuarzo secundario en general es poco abundante, reemplazando en cúmulos la masa fundamental de las lavas, relleno espacio de fenocristales lixiviados, amígdalas, vetillas y como cemento de las brechas. Se identifica en dos eventos de alteración, el primero asociado a la biotita, actinolita y feldespato K, y el segundo a epidota, actinolita, feldespato K, pirita, calcopirita, esfalerita y bornita.

6.4.9. Sericita

La sericita es poco abundante, alterando incipiente a pervasivamente las plagioclasas tanto de la masa fundamental como los fenocristales de forma selectiva. Solo se observa de forma microscópica.

6.4.10. Minerales de arcilla

Los minerales de arcilla que se identifican son la caolinita, smectita e illita. Están en muy poca abundancia y alteran incipiente a moderadamente las plagioclasas de forma selectiva. Estos minerales se asocian a los oxidados de Fe y Cu.

6.4.11. Calcita

La calcita es escasa en la zona de estudio, donde principalmente se encuentra relleno de amígdalas y vetillas, en algunos casos se asocia con sulfuros de Cu.

6.4.12. Zeolita

Las zeolitas son muy escasas, se identifican macro y microscópicamente con un hábito radial y fibroso, relleno de fracturas y amígdalas. Macroscópicamente son traslúcidas con una coloración amarillenta. Se asocian a clorita, albita y epidota.

6.4.13. Hematita

La hematita es muy escasa, se encuentra relleno de vetillas y amígdalas o reemplazando magnetita, asociada a la biotización de las lavas. También se encuentra como cemento en las litologías volcanoclásticas.

6.4.14. Sulfuros de cobre

Los sulfuros de cobre presentes en la zona de estudio corresponden a la calcopirita, bornita, calcosina y minoritariamente digenita y covelina. En las rocas lávicas estos minerales rellenan espacios dejados por fenocristales lixiviados y vesículas, y también pueden ser parte del cemento de brechas hidrotermales y autobrechas. Cuando las lavas no presentan vesículas y se encuentran cercanas a una zona de falla alimentadora se encuentran diseminados, en cúmulos y en vetillas.

La bornita se observa entrecrecida con calcopirita o calcosina, y siendo reemplazada por calcosina en los bordes o como exsolución. La calcopirita en menor medida está entrecrecida con esfalerita. En los cúmulos la calcopirita y bornita se encuentran en la parte central, mientras que la calcosina en la marginal. La digenita se observa reemplazando a la bornita en fracturas que esta presenta y en los bordes de la calcopirita junto a la digenita.

Estos minerales se encuentran en cúmulos o diseminados en el cemento de las brechas asociados mayoritariamente a actinolita, además, se observa cemento de principalmente biotita con calcopirita y pirita diseminada.

En amígdalas, la calcopirita puede estar asociada con actinolita, cuarzo y carbonato. En vetillas, se encuentra asociada a epidota, actinolita, feldespato K, carbonato y pirita.

6.4.15. Oxidados de cobre

Los oxidados de cobre observados corresponden a atacamita, malaquita y crisocola. Estos minerales en los afloramientos se encuentran como pátina entre las diaclasas, relleno de vetillas y en cúmulos. En zonas de falla asociadas a mineralización de Cu se observa a los oxidados de cobre junto a la limonita alojados en la roca triturada, dando un aspecto concordante al plano de falla. Microscópicamente la malaquita es de textura botroidal y la crisocola semi-radial. Se asocian con la limonita y las arcillas.

6.4.16. Esfalerita

La esfalerita es un mineral poco abundante, encontrándose diseminada individualmente, como exsolución en la calcopirita o entrecrecidas, tanto cuando esta última se encuentra diseminada o en vetilla. También se encuentra entrecrecida con bornita y calcosina.

6.4.17. Limonita

La limonita se encuentra diseminada, en vetillas y cúmulos, producto de la alteración de pirita, encontrándose esta última como relicto en los centros de los cúmulos de limonita. Se encuentra asociada a los oxidados de cobre y a las arcillas.

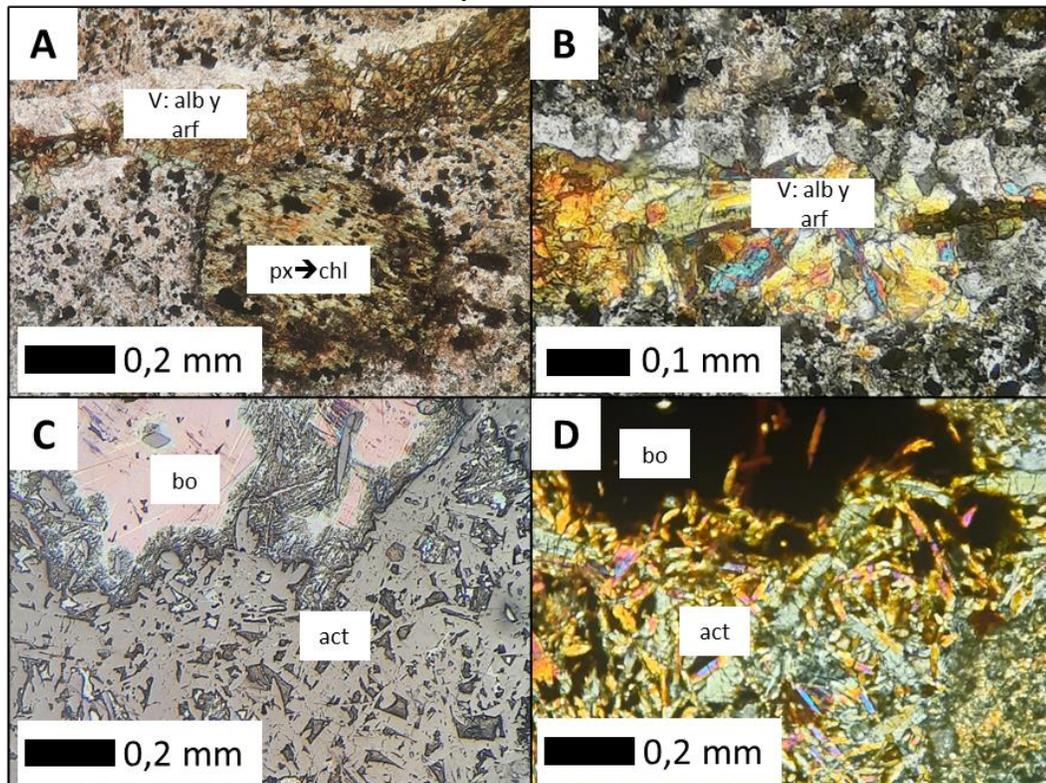


Figura 6.39: Minerales de alteración de mena y ganga. (A) Nicoles paralelos, vetilla de albita y arfvedsonita y piroxeno alterado a clorita. (B) Nicoles cruzados, detalle vetilla de albita y arfvedsonita. (C) y (D) Luz reflejada y nicoles cruzados, bornita y actinolita.

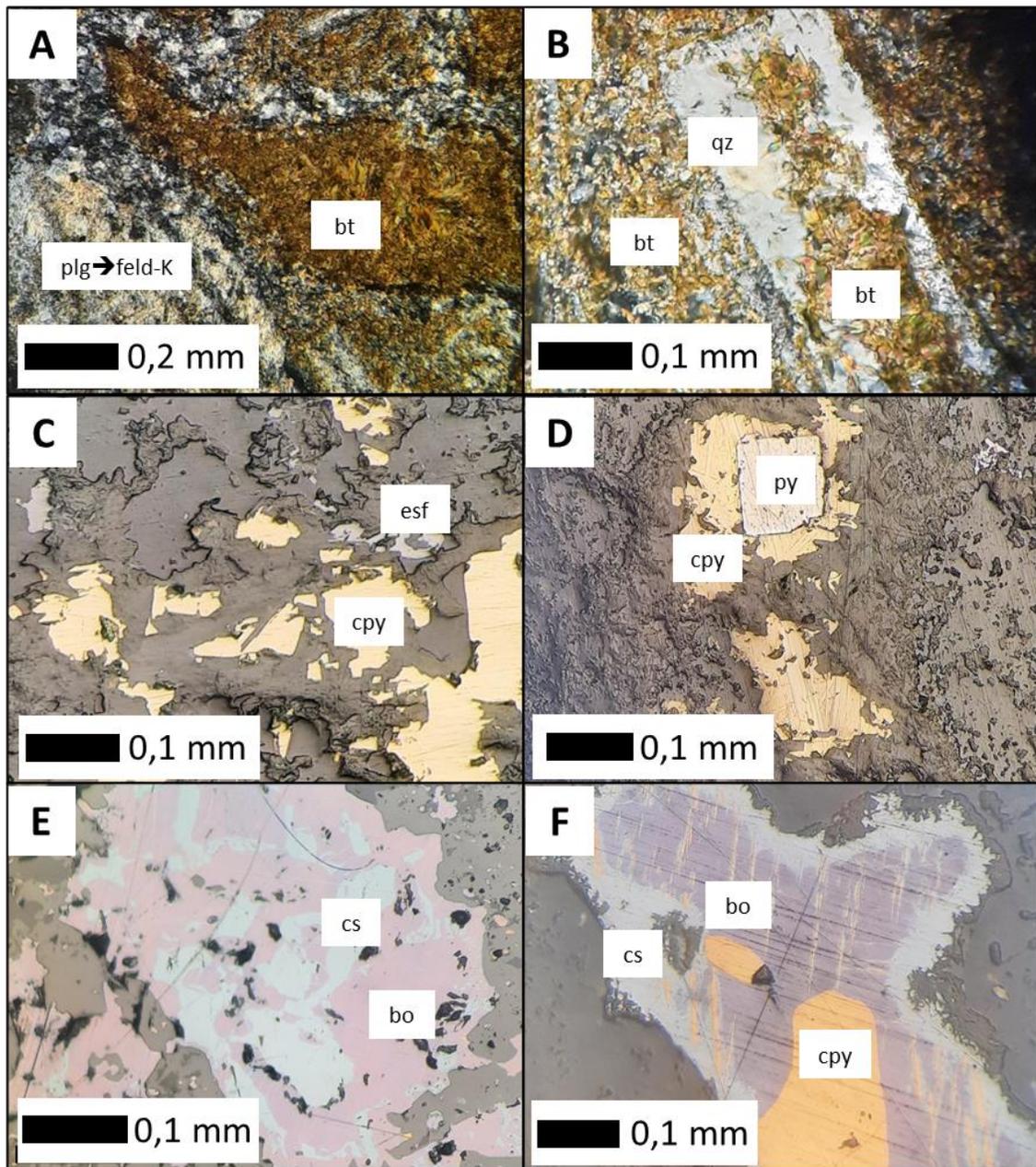


Figura 6.40: Minerales de alteración de mena y ganga. (A) Nícoles cruzado, biotitización pervasiva y alteración de plagioclasa a feldespato K. (B) Nícoles cruzados, plagioclasa lixiviada y rellena por cuarzo y biotita. (C) Luz reflejada, calcopirita y esfalerita diseminadas. (D) Luz reflejada, calcopirita y pirita diseminadas. (E) Luz reflejada, bornita y calcosina en exsolución. (F) calcopirita y bornita en entrecrecimiento y calcosina reemplazando los bordes de la bornita.

6.5. DISTRIBUCIÓN DE LOS MINERALES DE COBRE EN LA ZONA DE ESTUDIO Y ESTRUCTURAS ASOCIADAS

En 20 puntos del área de estudio (Figura 6.42) se observan minerales de Cu y/o se recolectan muestras de mano para determinar el porcentaje de Cu total (CuT%) y, además, el porcentaje de Cu insoluble (CuIns %), y gramos de Au y Ag por tonelada (Figura 6.41). Son 18 muestras de mano las analizadas químicamente, de las cuales 11 presentaban minerales de cobre visibles, mientras que en las restantes no se observan, considerándose estas últimas muestras por su cercanía a estructuras y/o a zonas visiblemente alteradas. Las 2 muestras restantes, se les realizó corte transparente-pulido.

Los puntos con minerales de Cu se agrupan en dos grandes zonas, sector norte del Perfil Central y sector sur del Perfil Central, los que serán descritos individualmente.

Pto terreno	Muestra	CuT %	CuIns %	Ag g/t	Au g/T	Minerales de Cu observados	Minerales de Cu no observados
D4P11	D4P11M1	0,04	0,02	1	0,01		
D5P2	D5P2M1	0,14	0,04	1	0,01		
D5P11	D5P11M1	0,75	0,05	1	0,1		
D7P22	D7P22M1	0,08	0,07	1	0,01		
D7P23	D7P23M1	0,14	0,01	1	0,13		
D8P30	D8P30M1	0,05	0,04	5	0,01		
D10P53	D10P53M2	0,03	0,02	1	0,01		
D11P17	D11P17M1	0,25	0,01	1	0,24		
D11P24	D11P24M2	1,26	0,42	1	0,84		
D12P34	D12P34M1	0,22	0,01	1	0,22		
	D12P34M2	0,24	0,02	1	0,22		
	D12P34M3	0,15	0,02	1	0,13		
D13P35	D13P35M1	0,1	0,03	1	0,07		
D13P41	D13P41M1	0,06	0,01	1	0,05		
D13P48	D13P48M1	0,28	0,09	1	0,19		
D14P56	D14P56M1	0,05	0,01	1	0,01		
D14P58	D14P58M1	0,25	0,01	1	0,11		
D15P89	D15P89M1	0,7	0,15	3	0,05		
D4P12	D4P12M1	---	---	---	---		
D14P54	D14P54M1	---	---	---	---		
D6P12		---	---	---	---		
D6P13		---	---	---	---		
D8P28		---	---	---	---		

Figura 6.41: Tabla con puntos de terreno y sus muestras con y sin minerales de Cu visibles. CuT%: porcentaje de cobre total. CuIns%: porcentaje de Cu insoluble. Ag g/t: gramos de Ag por tonelada. Au g/t: gramos de Au por tonelada. Línea segmentada para datos no determinados.

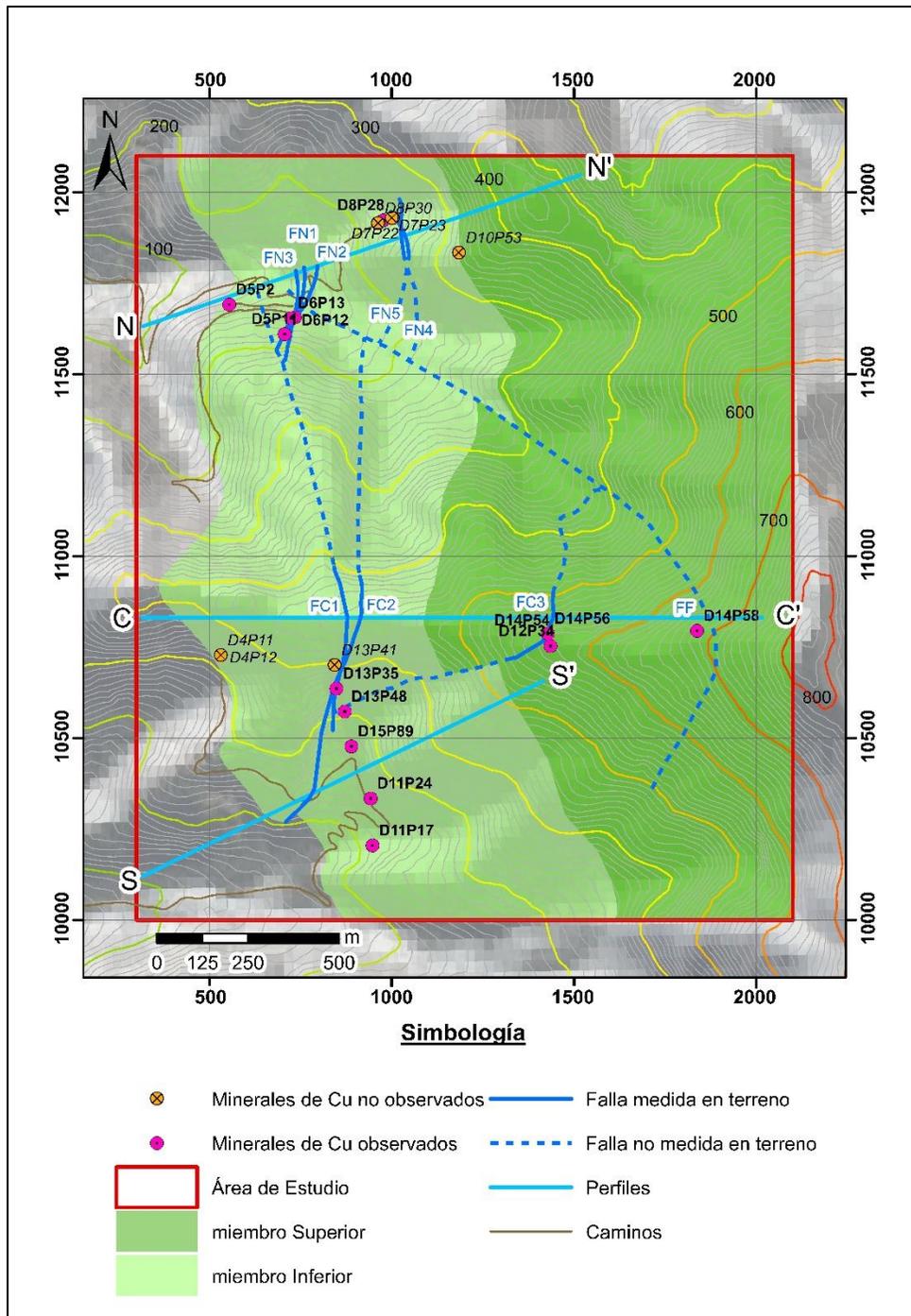


Figura 6.42: Mapa del área de estudio con 20 puntos de terreno con o sin minerales de Cu visibles y su simbología.

6.5.1. Sector Norte del Perfil Central

En este sector, son 5 los puntos de terreno donde se observan minerales de Cu y 4 en los que no, pero se les realiza análisis de muestras.

El punto más al oeste es D5P2 (en el tramo N1), cercano al contacto entre la unidad Basal y las Volcanitas Los Tebos. En este punto se encuentran andesitas basálticas seriadas amigdaloidal, rellenas de cuarzo, óxidos de Fe, y escasa presencia de calcopirita y piritita. Además, se observan pátinas de crisocola-malaquita. Se determina un 0,14% de CuT para la muestra D5P2M1 obtenida en este punto.

Al este del punto anterior se encuentran los puntos D5P11, D6P12 y D6P13 (pertenecientes al tramo N2) donde afloran andesitas basálticas porfídicas amigdaloidales. Los tres puntos se ubican en una zona afectada por 3 fallas de orientación N6°E/50°W (falla FN1), N15°E/47°W (falla FN2) y N14°W/48°W (falla FN3). FN1 se encuentra en la entrada de una labor minera artesanal mineralizada con atacamita y óxidos de Fe (Figura 6.43, A), de esta zona se extrae D5P11M1, la cual presenta 0,75% de CuT. En D6P12 y D6P13 se observan pátinas de oxidados de Cu y limonita, y amígdalas rellenas de cuarzo.

Al este del sector se encuentran 2 fallas de orientación N9°W/75°E (falla FN4) y N8°W/60°W (falla FN5). Al este de estas fallas esta D8P28 y D8P30 (ambos del tramo N6), donde se observa oxidados de Cu como pátina en las andesitas basálticas solo en el primero y un 0,05% de CuT en el segundo, que es una zona muy meteorizada y con vetillas de cuarzo. En la zona entre FN4 y FN5 están los puntos D7P22, D7P23 (pertenecientes al tramo N6), cuyas muestras sin minerales de Cu visibles presentan un 0,08% y 0,14% de CuT respectivamente.

El punto más al este es D10P53, el cual tiene una roca de caja pervasivamente alterada a feldespato K, epidota, actinolita, limonita, arcillas y sin minerales de Cu visibles, lo que concuerda con el 0,03% de Cu obtenido de su muestra.

6.5.2. Sector Sur del Perfil Central

En este sector, son 9 los puntos de terreno donde se observan minerales de Cu y 3 en los que no, pero se les realiza análisis de muestras.

El punto más al oeste es D4P11 (en el tramo C2), donde no se observan minerales de Cu, pero si la alteración pervasiva de epidota, sílice y clorita, obteniéndose un 0,04% de CuT de la

muestra de este punto. Le sigue D4P12, punto del que se extrae una muestra de mano para corte pulido-transparente, observándose escasa calcopirita y piritita diseminada.

Al Este del punto anterior se encuentran 2 fallas de orientación N10°E/70°W (FC1) y N5°W/65°W (FC2). Asociado a la FC1 está el punto D13P35, donde se observa una labor minera artesanal siguiendo la estructura (Figura 6.43, B). El sector está mineralizado por crisocola, óxidos de Fe y dendritas de manganeso en la entrada del túnel, mientras que en su interior se aprecian vetillas de calcopirita (Figura 6.43, C). Solo se obtiene muestra del exterior de la labor, la cual arroja un 0,1% de CuT.

Al oeste de las dos fallas está D13P41(en el tramo C5), lugar con andesitas basálticas alteradas pervasivamente por epidota y cuarzo, observándose vetillas de esta última. Se obtiene solo un 0,06% de CuT de la muestra de este último punto.

Al este de las dos fallas está el punto D13P48 y D15P89. En el primero se encuentran andesitas basálticas con amígdalas rellenas de clorita y calcopirita, obteniendo un 0,28% de CuT de la muestra recolectada. Para el segundo punto se determina un 0,7% de CuT, siendo la muestra un dique andesítico, con pátinas de crisocola en las fracturas, y bornita y calcopirita relleno de espacios de plagioclasas lixiviadas (Figura 6.43, D). Este dique se encuentra intruyendo la sección masiva de una andesita basáltica.

El punto D11P24 (en el tramo S5), donde se aprecia calcopirita y bornita con bordes de calcosina. La muestra D11P24M2 presenta un 1,26% de CuT. Al sur de este punto está D11P17, afloramiento de arcosa lítica laminada, con moderada mineralización de malaquita y crisocola, principalmente relleno de diaclasas. La muestra D11P17M1 contiene un 0,25% de CuT.

Al este del Perfil Central, se encuentra una falla de orientación N45°E/45°W (FC3). Al este de esta estructura están los puntos D12P34, D14P54 y D14P56 (ambos en el tramo C13). La mineralización presente en estos puntos consiste en cuarzo, epidota, óxidos de Fe y oxidados de Cu. Del primer punto se obtienen las muestras D12P34M1, D12P34M2 y D12P34M3, con un 0,22%, 0,24% y 0,15% de CuT respectivamente, y sin cobre visible en la última muestra. En el tercer punto solo se obtienen 0,05% de CuT. Al segundo punto se le realiza corte transparente-pulido, observándose calcopirita y hematita diseminada.

El punto más al este es D14P58 (en el tramo C15), un afloramiento de andesita con vetillas de epidota, feldespatos K y cuarzo, y pátina de crisocola en fracturas. Se obtiene un 0,25% de CuT de la muestra analizada.

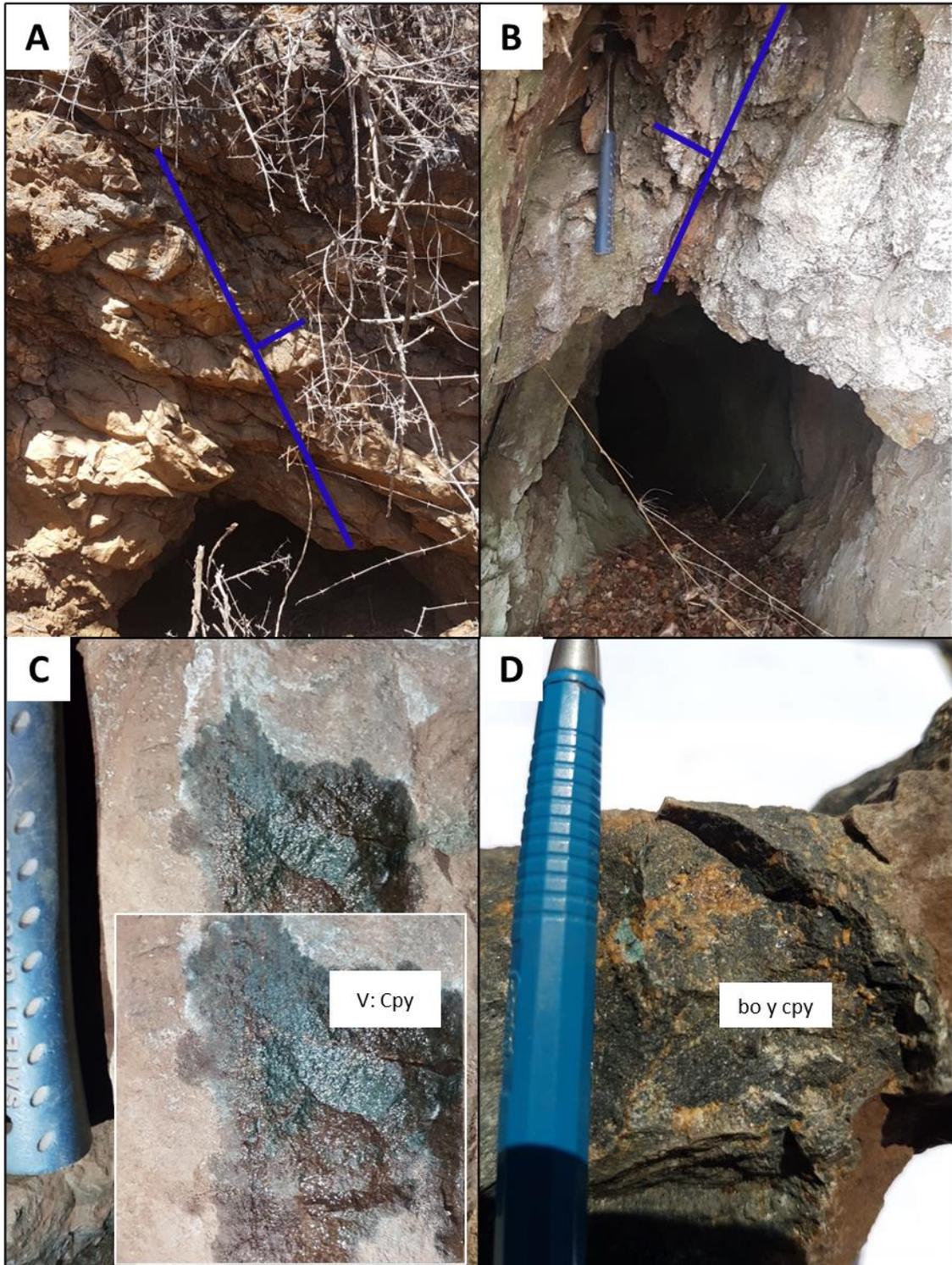


Figura 6.43: Labores mineras artesanales, y ejemplos de mineralización. (A) Labor minera artesanal al norte del Perfil Central y Falla FN1. (B) Labor minera artesanal al sur del Perfil Central y Falla FC1. (C) Vetilla vertical y subhorizontal de calcopirita. (D) Mineralización de bornita y calcopirita en punto D15P89.

7. DISCUSIÓN

7.1. COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS

Las litologías de las Volcanitas Los Tebos muestran varias familias de diaclasas (hasta 3 en terreno) lo que produce matrices rocosas centimétricas, esto aumenta la roca expuesta a agentes físicos, químicos y biológicos, favoreciendo la meteorización y formación de suelo, lo que dificulta el reconocimiento continuo de litologías en terreno. Esto explica los extensos tramos cubiertos de las columnas estratigráficas.

La potencia real de las columnas puede verse sobrestimada, debido a la existencia de zonas de fallas en tramos cubiertos y su difícil identificación al afectar a coladas de lavas.

En área de estudio, el miembro Inferior tiene una potencia real máxima de 630 m según la Columna Perfil Sur, mientras que el Superior una mínima de 750 según la Columna Perfil Central.

El miembro Inferior está conformado de base a techo por: areniscas pardas basales, lavas amigdaloidales porfídicas, seguido por diferentes coladas andesíticas basálticas seriadas, porfídicas y afaníticas delimitadas por autobrechas volcánicas y vesículas/amígdalas que aumentan su tamaño hacia el techo de sus respectivas coladas. Intercaladas a estas existen niveles volcanoclásticas rojos, en ocasiones con interdigitaciones de areniscas volcánicas. En el techo puede estar en contacto andesitas basálticas seriadas, areniscas pardas y lavas afaníticas con lavas perteneciente al miembro Superior.

En el miembro Superior de base a techo se encuentran: un paquete de sucesiones de lavas mayoritariamente andesíticas y en menor medida dacitas y basaltos. Sus texturas pueden ser seriadas, porfídicas y glomeroporfídicas. Se reconocen como coladas debido a que se encuentran autobrechas volcánicas y amígdalas de hasta 15 cm. No se descarta que algunas puedan ser filones mantos, ya que se ha encontrado un nivel más resistente a la meteorización con abundantes fenocristales de apariencia ocoítica, el cual no ha sido considerado en la columna. En la base se puede encontrar un nivel de areniscas y en el techo aglomerados.

El miembro Inferior comparativamente tiene más niveles de facies volcanoclásticas proximales en comparación del miembro Superior, el cual en su mayoría corresponden a facies de núcleo volcánico (Figura 7.1).

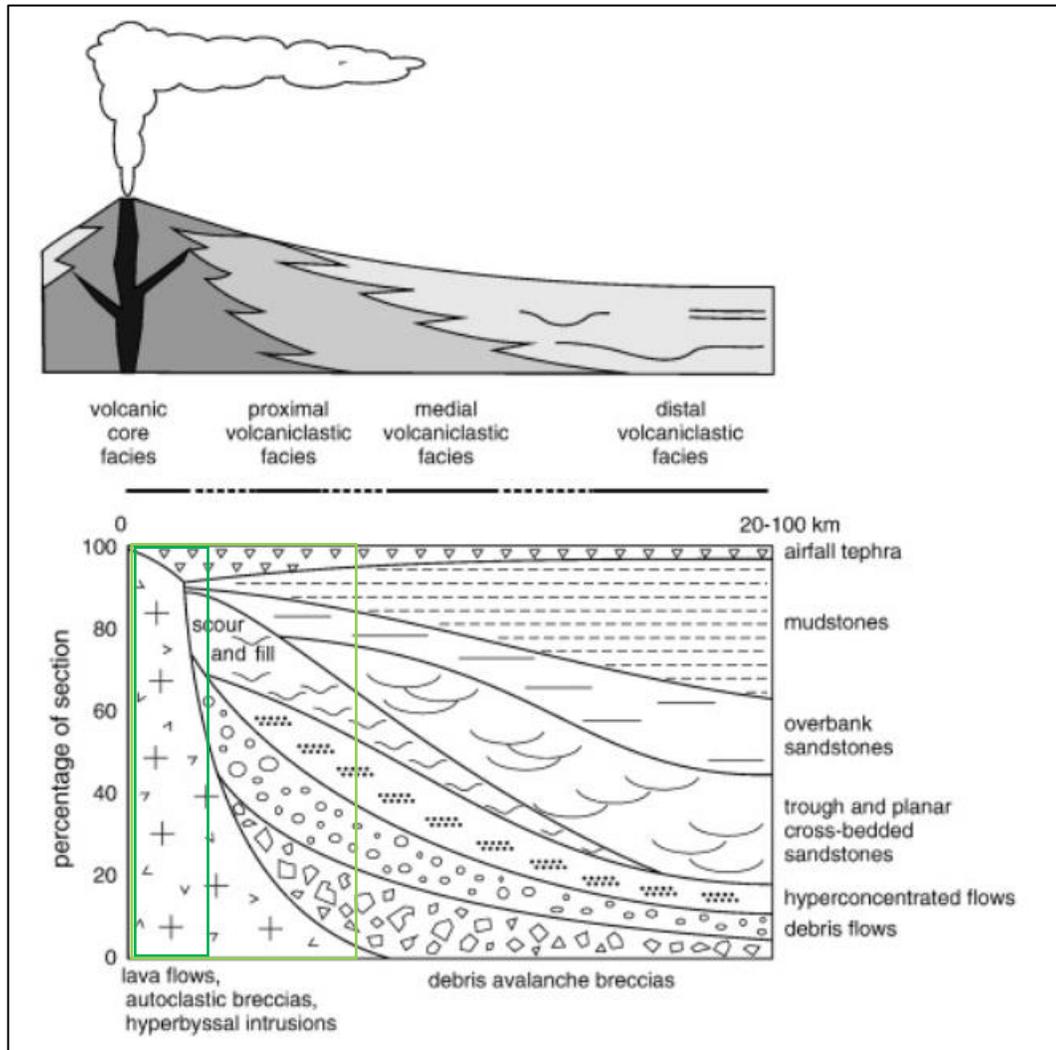


Figura 7.1: Esquema de distribución de facies volcánoclasticas en ambientes subaéreos, para composiciones andesíticas a dacíticas. Tomado de Manville y otros (2009), facies del miembro Superior en el recuadro verde oscuro y facies del Inferior en el verde claro.

7.2. RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS Y NIVELES GUÍA

La unificación de las columnas 1-N a la 4-N, 1-C a la 6-C y 1-S a la 4-S según corresponde, da como resultado la Columna Perfil Norte (CPN), Columna Perfil Central (CPC) y Columna Perfil Sur (CPS), en una escala 1:4000 (Figura 7.3). Para una mejor visualización solo se incluyen las litologías, mientras que las autobrechas y niveles amigdaloidales son consideradas como parte de las coladas por lo que no se representan.

Todas las columnas comienzan con el contacto de la unidad Basal y las Volcanitas Los Tebos, por lo que en la base todas se correlacionan. CPC con CPS, además, presentan areniscas pardas

correlacionables que son un buen nivel guía del inicio de las Volcanitas Los Tebos. En CPS, la primera colada de lava, andesita porfídica amigdaloidal, además de estar presente en el sondaje DDH202323, es observada en afloramientos en el cerro “Redondo” como primer flujo lávico, por lo que al sur del Perfil Sur es esperable que sea la primera colada del miembro Inferior. Al norte del perfil, debido a la meteorización de los afloramientos no fue observado, pero no es descartable su presencia.

Otra correlación es el contacto entre el miembro Inferior y Superior, este se define en CPN y CPC con las lavas porfídicas con masa fundamental afanítica, siendo su primera visualización indicativo de la base del miembro Superior, mientras que el techo y final del Inferior pueden ser lavas andesíticas basálticas porfídicas (N7) o los niveles de arenisca y lava afanítica (tramo C7 y C8) encontrados en la CPC. La CPS se correlaciona aproximadamente con los contactos de los miembros de las Volcanitas Los Tebos de los otros dos perfiles, debido a que no se encuentra el contacto entre ambos miembros, pero la cercanía entre las últimas lavas del miembro Inferior (S13) y las primeras del Superior permiten acotar bastante la zona de contacto.

Los niveles volcanoclasticos rojos de CPS, si bien no permiten realizar otra correlación entre las columnas, no se puede descartar como un posible nivel guía en el sector sur del área de estudio, esto se debe a que su color lo hace fácilmente reconocible y por lo tanto su seguimiento es posible. Sin embargo, se dificulta correlacionar estos niveles debido a la dificultad de su reconocimiento en terreno por la susceptibilidad de estos a la meteorización y por su gradación lateral.

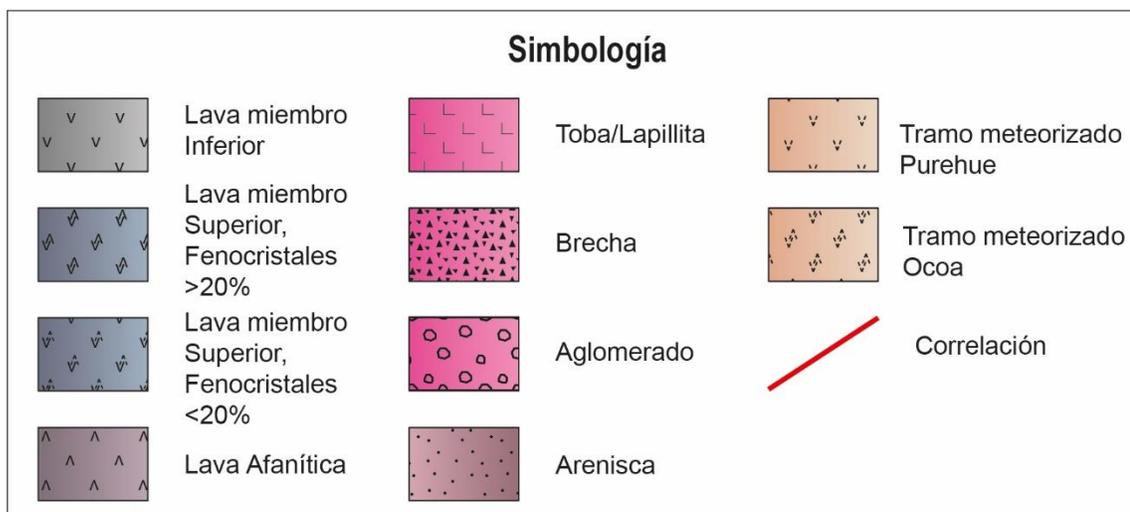


Figura 7.2: simbología utilizada en la Figura 7.3.

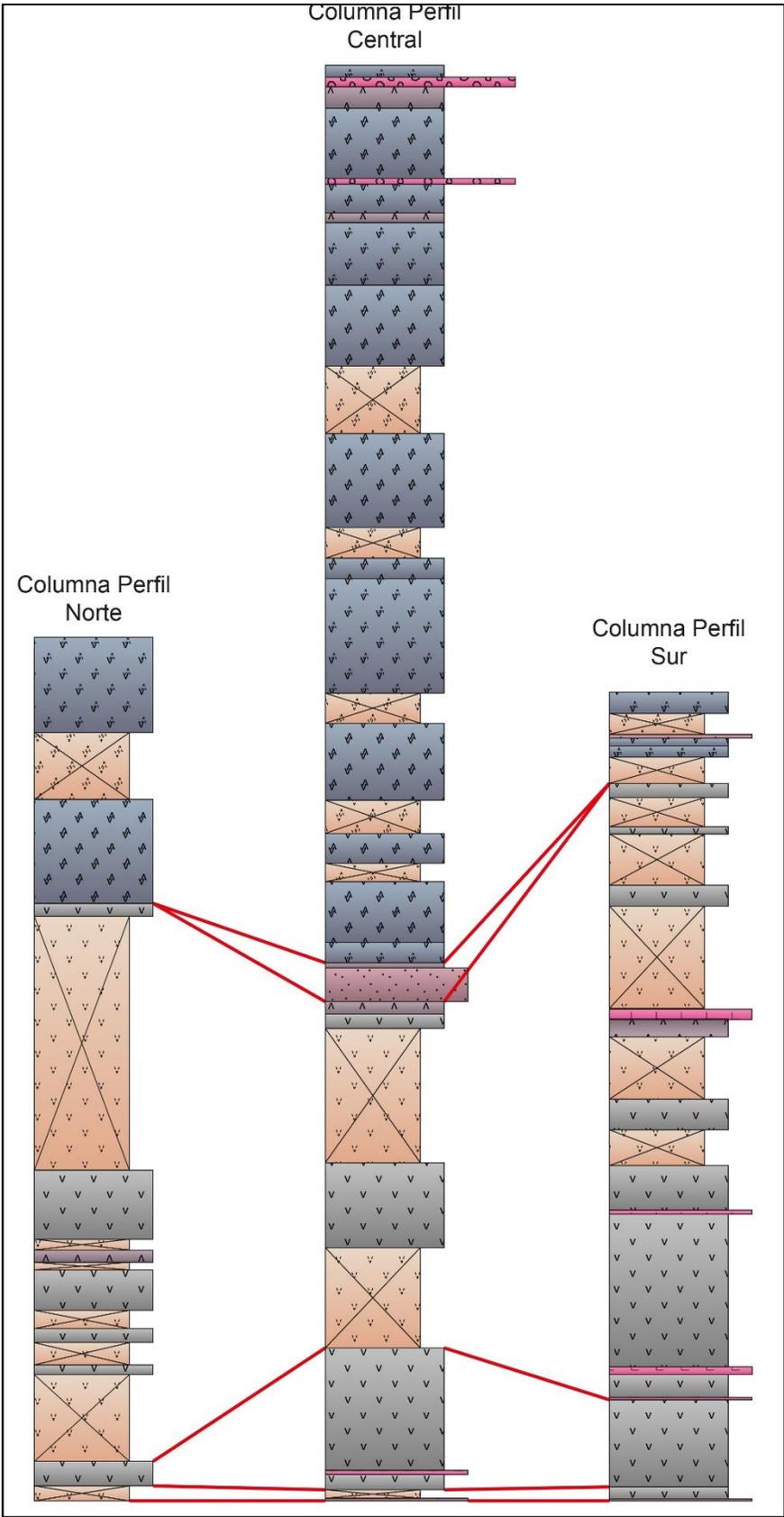


Figura 7.3: Correlación de las columnas estratigráficas.

7.3. GEOQUÍMICA

Al utilizar los diagramas de clasificación de rocas y comparar los resultados se puede determinar que las muestras analizadas son bajas en álcalis y que la muestra D14P78M1 clasificada como alcalina en el diagrama TAS puede resultar debido a la alteración a biotita, feldespatos K y albita que pueden tener las rocas del área de estudio. Lo anterior se ha observado en el diagrama Zr/Ti vs Nb/Y , pues a excepción de la muestra D3P8M1 todas las demás rocas muestran un bajo contenido de álcalis, por lo que al realizar este tipo de análisis se recomienda la utilización del diagrama Zr/Ti vs Nb/Y por sobre el diagrama TAS.

Al utilizar los diagramas que utilizan elementos mayores, la muestra D3P8M1 no muestra mayores anomalías con respecto a las demás rocas, en especial si se compara con las del miembro Inferior, sin embargo, cuando se utilizan diagramas que requieren datos de elementos traza y REE, se obtienen resultados muy diferentes a las demás rocas. Este aspecto se observa notoriamente en el diagrama de Tierras Raras normalizado al N-MORB, donde se observa un patrón anómalo, deprimido en las HREE (Figura 7.4, A). Esto puede ser resultado de un error en las técnicas analíticas o de la base de datos, por lo que se recomienda analizar nuevamente la muestra.

De AURUM Consultores (2011) se extrae un diagrama de Tierras Raras normalizado al N-MORB (Figura 7.4, B), donde se incluyen rocas de las Volcanitas Los Tebos. Al comparar este diagrama con los resultados obtenidos en este trabajo, se observa que en ambos casos se obtienen patrones de corteza continental, siendo congruentes.

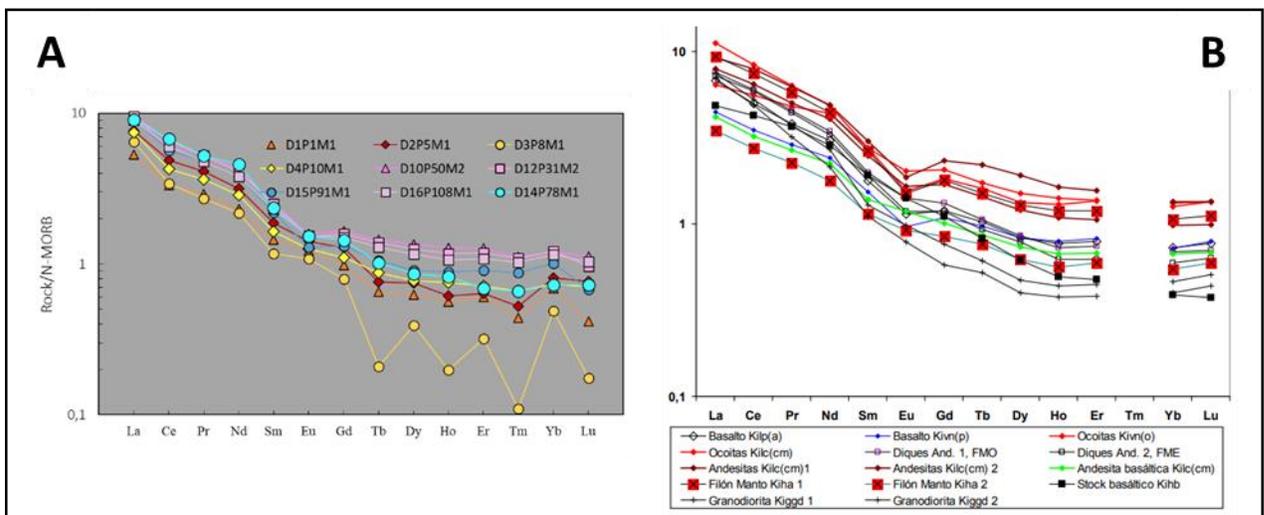


Figura 7.4 Diagrama de REE normalizado al N-MORB. (A) Patrón obtenido en este trabajo. (B) Patrón obtenido en AURUM, Consultores (2011).

7.4. EVENTOS DE MINERALIZACIÓN

A partir de las descripciones de terreno, muestras de mano y cortes pulido-transparentes, se puede establecer las asociaciones minerales de diferentes eventos de alteración y mineralización de mena. Esta información se utiliza para confeccionar un cuadro paragenético (Figura 7.5) donde se visualiza las asociaciones minerales de la roca original y los eventos de alteración, los cuales son: metamorfismo regional de bajo grado, evento hidrotermal principal, dividido en etapa temprana y tardía, y por último alteración supérgena.

7.4.1. Metamorfismo regional de bajo grado

Las rocas del área de estudio ya sean del miembro Inferior o Superior, presentan un incipiente a moderado grado de alteración, el cual es independiente del evento hidrotermal principal responsable de la mineralización de Cu. Esta alteración es producto de un metamorfismo regional de bajo grado reconocido por la asociación mineral zeolita, albita, clorita, epidota, \pm anfíbol, \pm calcita.

El metamorfismo descrito, cronológicamente en el miembro Inferior parece ser anterior al evento hidrotermal principal en las zonas alejadas de los cuerpos diorítico de mayor envergadura vistos en interior mina, mientras que, cercano a estos cuerpos, se observa que el evento hidrotermal principal es anterior al metamórfico, evidenciado en la alteración de los mineralización del evento hidrotermal, actinolita y biotita a clorita, y la ocurrencia de vetillas de zeolitas y calcita que cortan la mineralización del evento hidrotermal principal. En el miembro Superior, de igual forma se observa vetillas de albita y arfvedsonita afectando al evento hidrotermal principal, por lo que el metamorfismo afecta al miembro Superior a más tardíamente que al Inferior.

7.4.2. Evento de alteración hidrotermal

Se identifica al evento hidrotermal principal con la mineralización de los sulfuros de Cu, dividiéndose en una etapa temprana y una tardía. La etapa temprana se distingue por la precipitación de calcopirita, pirita y \pm esfalerita en paragénesis con biotita, feldespato K, actinolita y cuarzo como minerales de ganga principales y \pm calcita, \pm sericita y \pm hematita. La asociación de minerales de ganga principales es igual a la alteración potásica propuesta por Corbett y Leach (1998).

La ocurrencia de la etapa temprana se asocia al emplazamiento de intrusivos en las Volcanitas Los Tebos, evidenciado en el nivel 380 en la mina el Sauce, en el cual un cuerpo diorítico intruye

rocas lávicas del miembro Inferior, observándose la coloración marrón en las andesitas basálticas producto de la biotitización de la caja. Las lavas del miembro Superior de igual forma presentan esta alteración, pudiendo asociarse al emplazamiento de sills porfídicos, no lográndose afirmar esta procedencia por la poca información del efecto de estos sills en las coladas.

En la etapa tardía se distingue por la precipitación de sulfuros con mayor concentración de Cu. Se distingue por la mineralización de bornita, calcosina, calcopirita, pirita y esfalerita en paragénesis con epidota, actinolita, feldespato K y cuarzo como minerales de ganga principales, y \pm calcita, \pm sericita y \pm hematita. La asociación de minerales de ganga principales es similar a la alteración propilítica propuesta por Corbett y Leach (1998).

La etapa tardía se asocia a la intrusión de diques y a fallas. Tras la revisión del sondaje IDDH6770.06 se corroboró su posterior ocurrencia tras la etapa temprana, debido a las vetillas de epidota, actinolita, feldespato K, calcopirita y pirita. Estas cortan andesitas basálticas afectadas primeramente por la alteración de la etapa temprana.

7.4.3. Alteración Supérgena

Sobreimpuesto al metamorfismo de bajo grado y a la alteración hidrotermal, está la mineralización producto de alteración supérgena, ya que se observa en superficie desde el miembro Inferior al Superior. Se asocia a la mineralización de los oxidados de Cu: crisocola, malaquita y atacamita junto a limonita, hematita y arcillas. Además de estos minerales, se encuentran calcosina y digenita producto de enriquecimiento secundario, reemplazando bornita y calcopirita en sus bordes y fracturas.

Minerales	Roca original	Metamorfismo regional de bajo grado	Evento hidrotermal principal		Alteración Supérgena
			Etapa temprana	Etapa tardía	
Plagioclasa	=====				
Magnetita	=====				
Piroxeno	=====				
Anfibol	=====	- - - - -			
Albita		=====			
Zeolita		- - - - -			
Clorita		=====			
Epidota		=====		=====	
Calcita		- - - - -	- - - - -	- - - - -	
Cuarzo			=====	=====	
Actinolita			=====	=====	
Sericita			- - - - -	- - - - -	
Feldespato K			=====	=====	
Biotita			=====		
Hematita			- - - - -	- - - - -	- - - - -
Esfalerita			- - - - -	- - - - -	
Pirita			=====	=====	
Calcopirita			=====	=====	
Bornita				=====	
Calcosina				=====	- - - - -
Digenita					=====
Arcillas					- - - - -
Limonita					- - - - -
Atacamita					=====
Crisocola					=====
Malaquita					=====

Figura 7.5: Cuadro paragenético.

7.5. MANTOS FAVORABLES

Por lo visto en terreno y lo revisado en sondajes diamantinos, los sulfuros de Cu pueden darse en vetillas, cúmulos y disseminados, reemplazando minerales o rellenando espacio. Al existir un ducto mineralizador es posible encontrar menas de Cu en todas las litologías de las Volcanitas Los Tebos, mientras estas presentan porosidad primaria y/o secundaria, concentrando la mineralización preferentemente en vesículas de lavas, que al rellenarse forman amígdalas mineralizadas, en brechas y autobrechas volcánicas, donde su matriz puede ser reemplazada o tener espacios que pueden ser rellenados, y en diaclasas, las cuales generan el espacio suficiente para la formación de vetillas con metal.

Las zonas de autobrecha observadas, que delimitan las coladas de lava, frecuentemente se encuentran hospedando minerales producto de alteración hidrotermal y se han encontrado con potencias de hasta 13 m en el miembro Inferior (Figura 6.19, tramo C5). Estas dos características indican la posibilidad de encontrar niveles mineralizados de más de 10 m de potencia entre las coladas. Al igual que las zonas autobrechas, las vesiculares/amigdaloidales reconocidas en terreno alcanzan potencias considerables, de hasta 30 m en el miembro Superior y diámetros centimétricos, por lo que la identificación de estos niveles y su relación con los ductos mineralizadores también pueden derivar al hallazgo de mantos significativos. Con la muestra D11P24M2 se puede demostrar la importancia de identificar las zonas de autobrecha y vesiculares/amigdaloidales, debido a la ley superior al 1% de CuT producto de la mineralización en estos espacios.

Para identificar los diferentes mantos favorables con mineralización de mena y potencialmente favorables en la zona de estudio se integra la información recopilada en 5 perfiles geológicos de zonas acotadas, donde se plasman las fallas identificadas en terreno, y las litologías con presencia de minerales de Cu, con el propósito de determinar la relación entre las estructuras identificadas y la mineralización, y de esta forma deducir el potencial de las fallas como ducto mineralizador y los posibles mantos. Los mantos favorables son aquellos que en terreno se les identificó minerales de Cu, por lo tanto, son los más certeros, mientras que los potencialmente favorables, son los que presentan una porosidad adecuada para hospedar mineralización por alteración y que además se encuentran afectados por fallas que puedan ser canalizadores de fluidos hidrotermales.

En terreno no se logra apreciar el desplazamiento generado por las Fallas, por lo que se esquematizan bajo el supuesto de que en la zona de estudio dominan las estructuras de comportamiento normal y los metros de desplazamientos son en lo posible determinados con cambios litológicos. Solo para las fallas medidas FC1 y FC2 se logra determinar el movimiento debido a que se logran identificar con estructuras ya conocidas, Falla Eduviges Sur y Torre Sur.

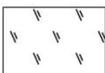
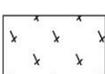
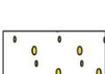
Litología	Simbología	Fallas
 Lava Afanítica	 Textura Porfídica	FN1 FN2 FN3 FN5 FT FC1 FC2 FC3 FCI FF
 Lava miembro Inferior	 Textura Porfídica Seriada	
 Lava miembro Superior, Fenocristales >20%	 Textura Glomeroporfídica	
 Lava miembro Superior, Fenocristales <20%	 Anfibol	
 Toba/Lapillita	 Textura amigdaloidal, potencialmente favorable	
 Aglomerado	 Autobrecha, potencialmente favorable	Mantos favorables (2-3)-NF (1-3)-CF 1-SF
 Brecha	 Minerales de Alteración: Mena	
 Arenisca	 Minerales de Alteración: Ganga	Mantos potencialmente favorables
 Tramo meteorizado miembro Inferior	 Contacto potencialmente favorable	(2-3)-NP (1-15)-CP (1-6)-SF
 Tramo meteorizado miembro Superior	 Falla medida en terreno	
 Unidad Basal	 Falla no medida en terreno	
	 Falla mineralizadora	

Figura 7.6: Leyenda de los perfiles de secciones pertenecientes al Perfil Norte, Perfil Central y Perfil Sur.

7.5.1. Perfil Norte

Entre los 717E y 1017E del Perfil Norte (Figura 7.7), en el miembro Inferior, se identifican los mantos favorables 2-NF Y 3-NF, los cuales desde la base de las Volcanitas Los Tebos al inicio de los mantos hay una distancia de 109 y 257 m según corresponde. Ambos mantos presentan mineralización de Cu en andesitas basálticas amigdaloidales. 2-NF se encuentra entre una zona afectadas por las fallas FN1, FN2 y FN3, pudiendo ser estas tres estructuras posibles ductos mineralizadores. 3-NF en terreno se encuentra en el bloque sobreyacente de la falla FN5, siendo atribuible su mineralización a esta estructura. De igual manera el bloque subyacente puede presentar mineralización de Cu. Además, se identifica 1-NF a 15 m de la base de las Volcanitas Los Tebos, siendo parte del tramo N1 del Perfil Norte. Los mantos potencialmente favorables son sectores vesiculares/amigdaloidales y pervasivamente mineralizados, estos son 1-NP, 2-NP y 3-NP, a 25, 236 y 244 m de la base. 1-NP al igual que 1-NF podrían estar relacionadas a la canalización de fluidos hidrotermales producto de FC1, si es que se extiende esta falla al norte.

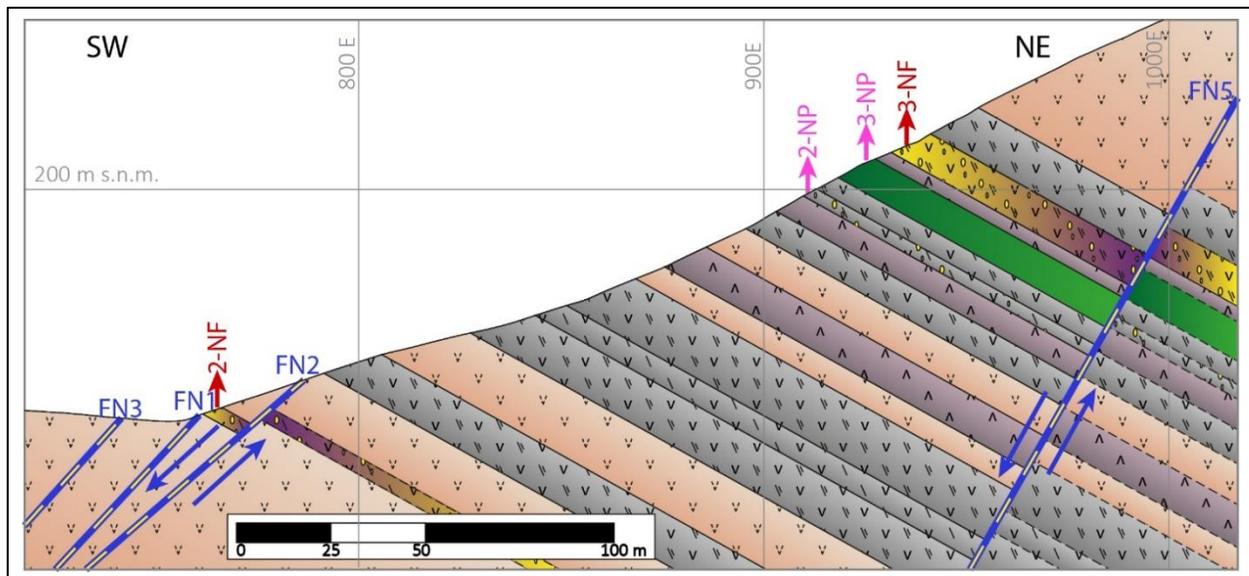


Figura 7.7: Sección entre los 717E y 1017E del Perfil Norte.

Manto mineralizado	Distancia (m) desde la base del miembro Inferior	Roca hospedante	Falla Relacionada
1-NF	15	andesita basáltica seriada amigdaloidal	FC1
2-NF	109	andesita basáltica porfídica amigdaloidal	FN1, FN2, FN3
3-NF	257	andesita basáltica seriada amigdaloidal	FN5
1-NP	25	andesita basáltica porfídica amigdaloidal	FC1
2-NP	236	andesita basáltica porfídica amigdaloidal	FN5
3-NP	244	indeterminada por alteración pervasiva	FN5

Figura 7.8: Tabla de mantos favorables y potencialmente favorables y sus datos.

7.5.2. Perfil Central

La Figura 7.9 correspondiente a la zona acotada entre los 417E y 917E del Perfil Central, donde afloran los tramos C1 al C5. Se identifica el manto favorable 1-CF, a 23 m de la base en la zona de autobrecha de una andesita basáltica seriada. Los mantos potencialmente favorables son 1-CP a 7-CP (datos en la Figura 7.12), que comprenden el contacto entre la unidad Basal y las Volcanitas Los Tebos (preferentemente mineralizado en la unidad Basal, debido a la baja permeabilidad de la litarenita parda basal), brecha volcánica, sectores de autobrecha y vesiculares/amigdaloidales.

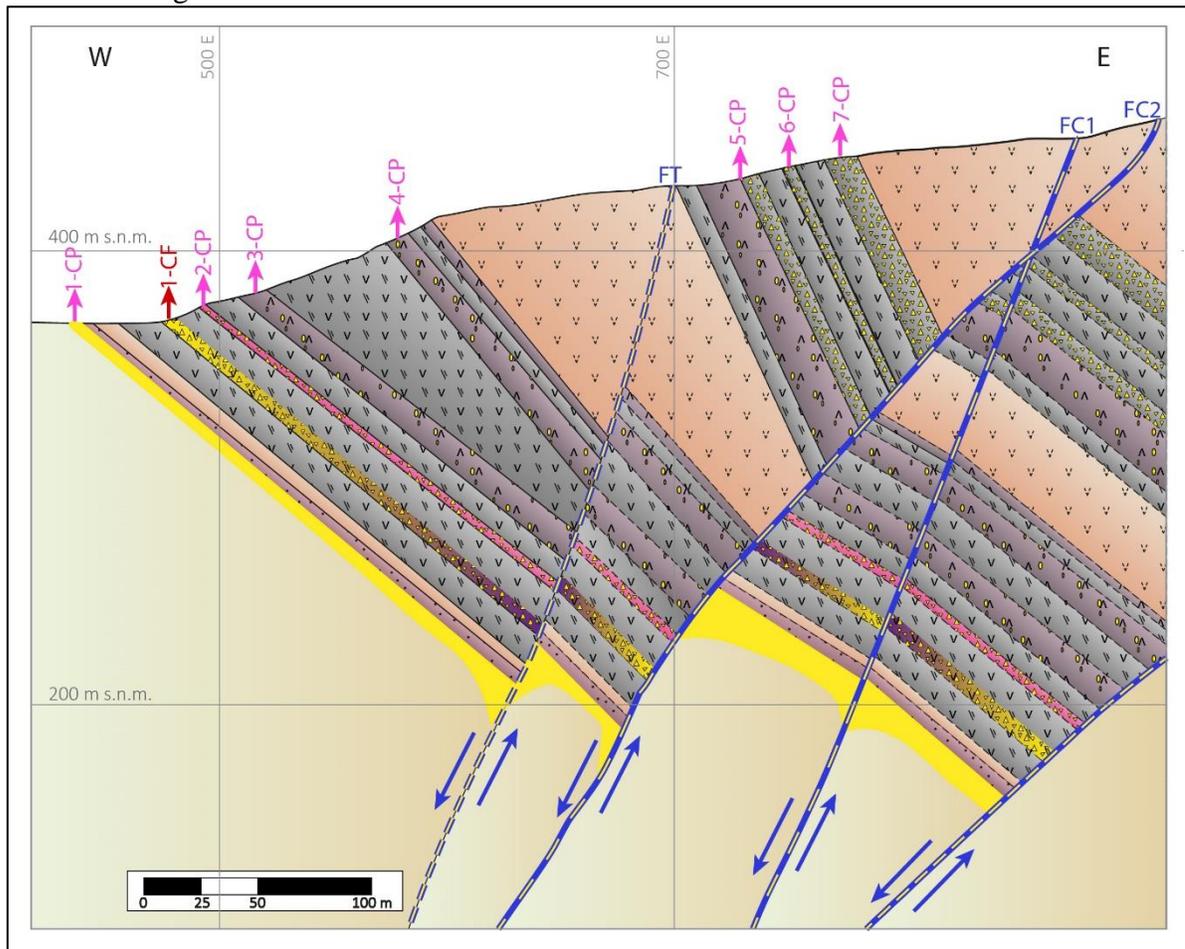


Figura 7.9: Sección entre los 417E y 917E del Perfil Central.

Estos mantos se les puede relacionar con las fallas FC1 y FC2, estructuras que se identifican como conductos de mineralización de Cu, ya que, es sus correspondientes bloques subyacentes, se identifican sulfuros y oxidados de Cu alojados en las coladas de lavas. Debido a que los tramos C1 al C5 se definen con la información de litologías pertenecientes a los bloques sobyacentes de

estas fallas, ya que no se pudieron relacionar las litologías con las del bloque subyacente, no se logra determinar la ubicación de más mantos favorables.

La falla FT, Falla Torre, la cual no se identifica en terreno, pero si se cuenta con información de puntos en las que se encuentra y su orientación (N10°E/65°W), también se determina como mineralizadora dado que se halla cercana al punto D4P12, del cual se extrajo una muestra con calcopirita y piritita diseminada y se identifica en el perfil como 1-CF.

La Figura 7.10 correspondiente a la zona acotada entre los 1117E y 1617E del Perfil Central, donde afloran desde tramos C6 hasta la base de C14, correspondientes al techo del miembro Inferior y los tramos basales del Superior. La falla FC3 afecta a estos tramos y se le atribuye la mineralización de Cu del manto favorable 2-CF, a 602 m de la base, y en andesitas con textura amigdaloidal y autobrecha. FCI es una falla deducida por repetición de capas, no cuenta con datos reales. Los mantos potencialmente favorables relacionados a la misma estructura son desde 8-CP a 11-CP (datos en la Figura 7.12), los cuales corresponden a zonas vesiculares/amigdaloidales y a una pervasivamente altera. En el caso de 12-CP, podría estar relacionado a FF, falla que se observa en la Figura 7.11.

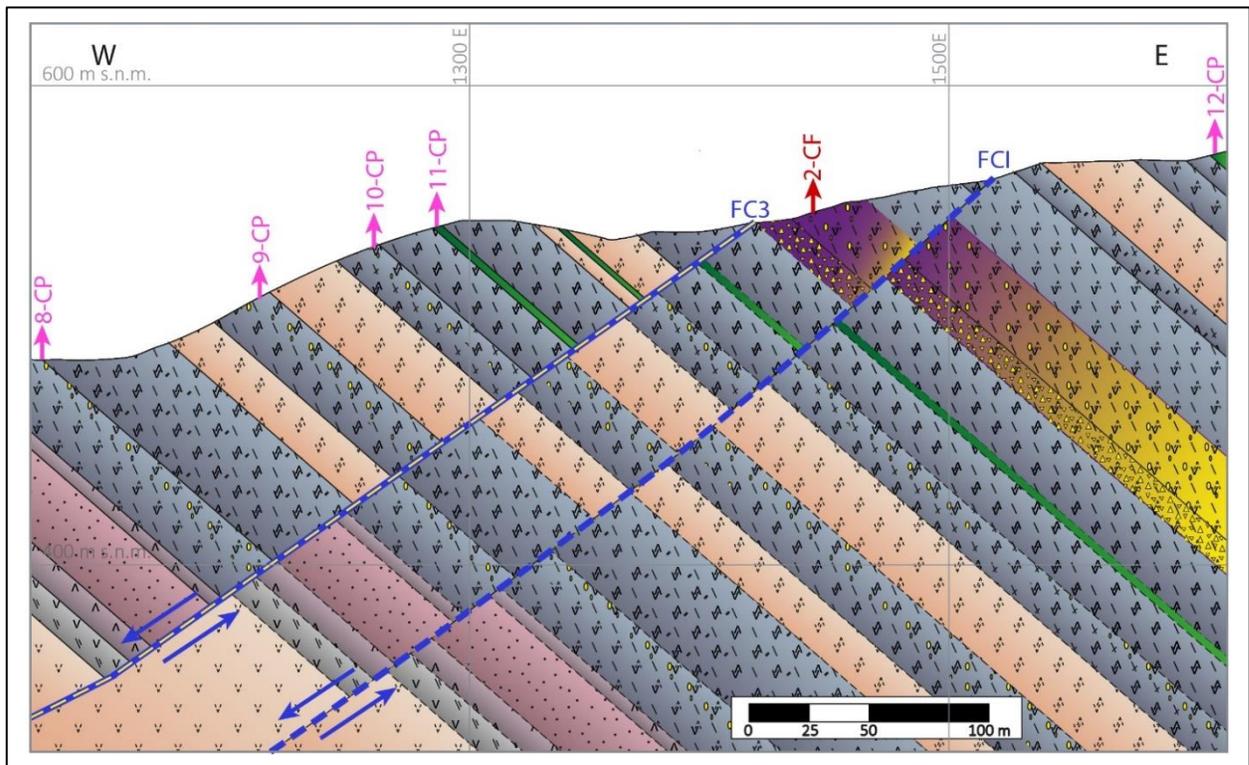


Figura 7.10: Sección entre los 1117E y 1617E del Perfil Central.

La Figura 7.11 corresponde a la zona acotada entre los 1617E y 2117E del Perfil Central, donde afloran desde el techo de C14 a C19. En terreno no se identifican fallas en este sector, pero por datos recopilados cercanos a la zona recorrida, se representa a la falla Frontera (FF) de rumbo aproximado NS y 54° W de manteo. Cercano a esta estructura está el manto favorable 3-CF, a 934 m de la base, entre una zona de autobrecha y la sección masiva de una colada andesítica, por lo que se puede inferir que FF podría ser un conducto mineralizante. Los mantos potencialmente favorables y cercanos a FF son 13-CP, 14-CP y 15 CP (datos en la Figura 7.12), a los que se les identificó en terreno amígdalas rellenas de minerales de ganga.

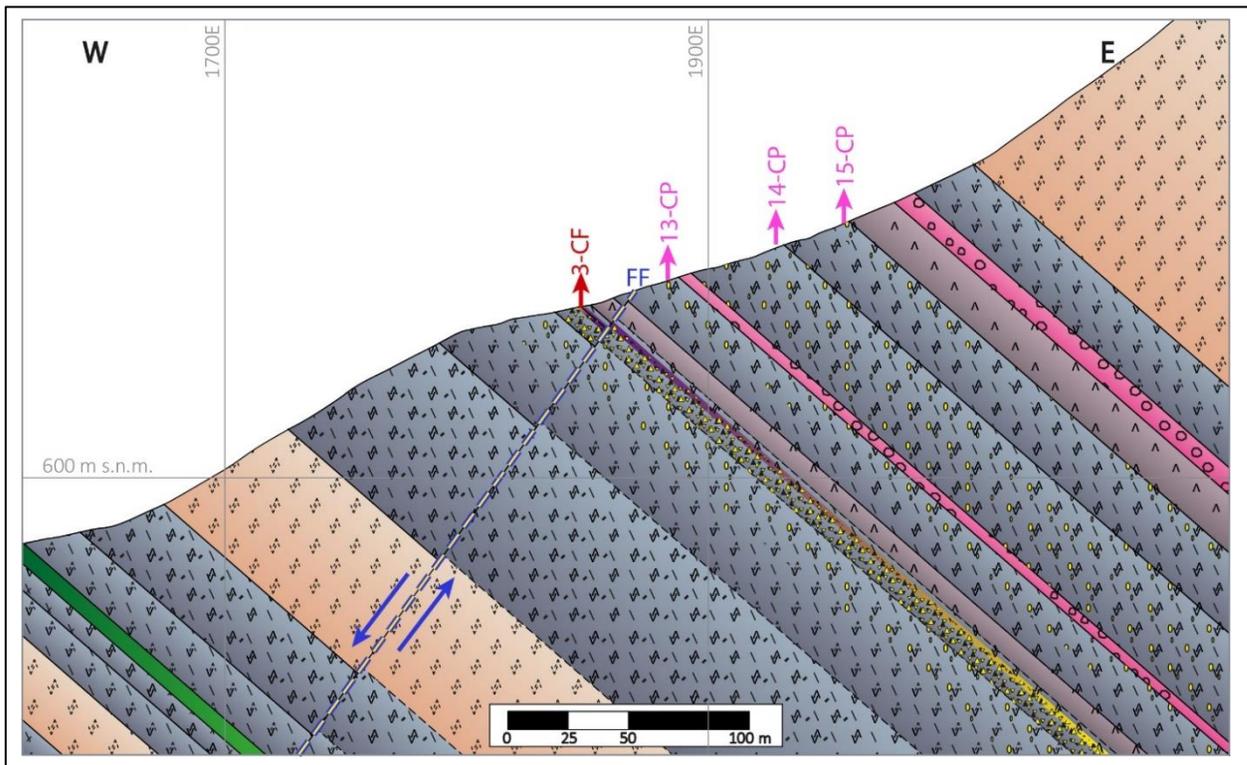


Figura 7.11: Sección entre los 1617E y 2117E del Perfil Central.

Manto mineralizado	Distancia (m) desde la base del miembro Inferior	Roca hospedante	Falla Relacionada
1-CF	23	autobrecha	FT, FC1, FC2
2-CF	602	autobrecha y andesita porfídica amigdaloidal	FC3
3-CF	934	contacto zona de autobrecha y masiva	FF
1-CP	0	contacto unidad Basal y miembro Inferior	FT, FC1, FC2
2-CP	41	Brecha volcánica	FT, FC1, FC2
3-CP	54	lava afanítica amigdaloidal	FT, FC1, FC2
4-CP	88-110	lava afanítica amigdaloidal	FT, FC1, FC2
5-CP	147-205	lava afanítica amigdaloidal y autobrecha	FT, FC1, FC2
6-CP	190-234	autobrecha	FT, FC1, FC2
7-CP	208-149	autobrecha	FT, FC1, FC2
8-CP	416	andesita porfídica amigdaloidal	FC3
9-CP	495	andesita porfídica amigdaloidal	FC3
10-CP	547	andesita glomeroporfídica amigdaloidal	FC3
11-CP	574	indeterminada por alteración pervasiva	FC3
12-CP	731	indeterminada por alteración pervasiva	FC3
13-CP	980	andesita porfídica amigdaloidal	FF
14-CP	994	andesita porfídica amigdaloidal	FF
15-CP	1044	andesita porfídica amigdaloidal	FF

Figura 7.12: Tabla de mantos favorables y potencialmente favorables y sus datos.

7.5.3. Perfil Sur

Entre los 647E y 954E del Perfil Sur (Figura 7.13), en el miembro Inferior, afloran los tramos S1 hasta la parte media de S5. La falla FC2 afecta este sector generando un desplazamiento aproximado de 85 m. Esta estructura ha sido considerada como un ducto mineralizante y relacionada a ella están los mantos potencialmente favorables 1-SP a 6-SP (datos en la Figura 7.14), que corresponden al contacto entre la unidad Basal y las Volcanitas Los Tebos (preferentemente mineralizado en la unidad Basal, debido a la baja permeabilidad de la litarenita parda basal), sectores de autobrecha y vesiculares/amigdaloidales. Se identifica el manto favorable 1-SF, a 130 m de la base, en una andesita basáltica amigdaloidal y a la vez zona de autobrecha. La mineralización de este manto no se pudo relacionar con las estructuras observadas en terreno, al igual que la muestra D11P17, extraída al sur del perfil y próxima a D11P24 (muestra mineralizada de Cu extraída de 1-SF). Ambas muestras podrían estar asociadas a un mismo ducto mineralizante de Cu que requiere ser identificado.

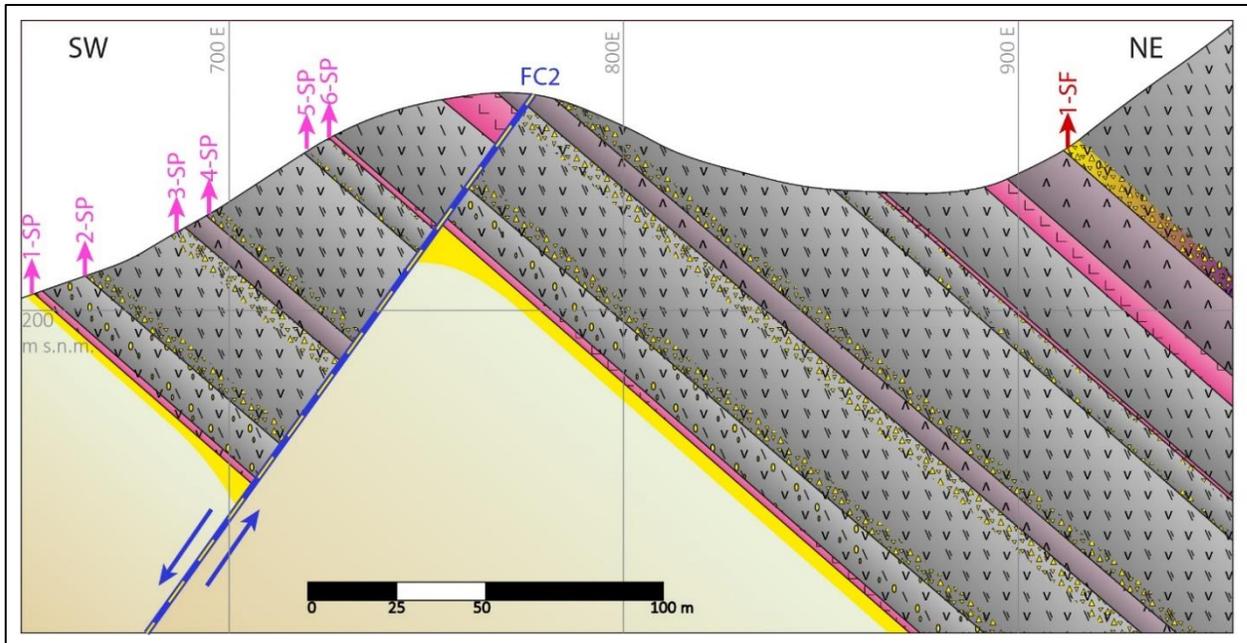


Figura 7.13: Sección entre 647E y 954E del Perfil Central.

Manto mineralizado	Distancia (m) desde la base del miembro Inferior	Roca hospedante	Falla Relacionada
1-SF	130	andesita basáltica amigdaloidal y autobrecha	
1-SP	0	contacto unidad Basal y miembro Inferior	FC2
2-SP	1,7	andesita basáltica amigdaloidal y autobrecha	FC2
3-SP	37	autobrecha	FC2
4-SP	48	autobrecha	FC2
5-SP	79	autobrecha	FC2
6-SP	86	autobrecha	FC2

Figura 7.14: Tabla de mantos favorables y potencialmente favorables y sus datos.

8. CONCLUSIÓN

- Las Volcanitas Los Tebos en el área de estudio puede dividirse en sus miembros Inferior y Superior, con una potencia de 630 m para el primero y 750 m para el segundo, pudiendo este último ser de mayor espesor.
- El miembro Inferior se caracteriza por tener facies de núcleo volcánico y volcanoclásticas proximales, mientras que en el Superior predominan las de núcleo volcánico.
- En el miembro Inferior se encuentran principalmente coladas de composición andesítica basáltica y minoritariamente basáltica. Estas lavas son las litologías más recurrentes, seguida por las rocas volcanoclásticas (tobas, lapillitas tobaceas y brecha volcánica) y por último rocas sedimentarias (areniscas).
- En el miembro Superior las lavas son composicionalmente andesitas, dacitas y basaltos, siendo las primeras las más recurrentes. Son solo 3 los tramos no volcánicos los reconocidos en terreno, 2 aglomerados y una arenisca. No se descarta que algunas lavas sean filones, para establecer la diferencia se debe hacer un trabajo más detallado.
- Los sulfuros de Cu identificados son calcopirita, bornita y calcosina, las tres de origen hipógeno. La calcosina también puede ser de origen supérgeno por enriquecimiento secundario. Se encuentran como relleno de amígdalas, siendo parte de la matriz de brechas y rellenando fracturas (vetillas) en las coladas de lavas y en algunas rocas volcanoclásticas.
- En el miembro Inferior se reconocen en total 5 mantos favorables, 3 en el Perfil Norte, 1 en el Central y 1 en el sur. En cuanto a los mantos potencialmente favorables, estos son 16 en total, 3 en el Perfil Norte, 7 en el Central y 6 en el sur.
- En el miembro Superior se reconocen en total 2 mantos favorables y 8 mantos potencialmente favorables, ambos tipos de mantos se identifican en el Perfil Central.
- Los mantos favorables y potencialmente favorables, resultan ser sectores acotados dentro de los tramos establecidos en las columnas estratigráficas, coincidiendo con las zonas vesiculares/amigdaloidales, de autobrecha, rocas pervasivamente alteradas y en contactos.
- Los mantos favorables del miembro Inferior se encuentran en zonas vesiculares/amigdaloidales y de autobrecha, al igual que en el Superior. Adicionalmente en el miembro Superior, entre una zona de autobrecha y la parte masiva de una colada se identifica un manto favorable.

- Los mantos potencialmente favorables son zonas vesiculares/amigdaloidales y de autobrecha, niveles alterados pervasivamente y contactos entre unidades.

9. BIBLIOGRAFÍA

- AGUILA, B. 2019. Alteración y mineralización distrito minero Quitalcura, región de Valparaíso, Chile: Implicancias en la génesis de depósitos estratoligados Cu-(Ag). Memoria para optar al Título de Geólogo, Universidad de Concepción (Inédito): 149 pp. Concepción.
- AGUIRRE, L.; FÉRAUD, G.; MORATA, D.; VERGARA, M. & ROBINSON, D. 1999. Time interval between volcanism and burial metamorphism and rate of basin subsidence in a Cretaceous Andean extensional setting. *Tectonophysics*, Vol. **313**: 433- 447. Santiago.
- ALISTE, N.; PÉREZ, E. & CARTER, W. 1960. Definición y edad de la Formación Patagua, Provincia de Aconcagua, minerales. *Revista Geológica Minerales*, Vol. **71**: 40-51. Santiago.
- AURUM CONSULTORES. 2011. Estudio geológico-metalogénico sector Cabildo, zona 1 región de Valparaíso, Chile. 160 pp.
- BORIC, R.; HOLMGREN, C.; WILSON, N.S.F. & ZENTILLI, M. 2002. The Geology of El Soldado Manto Type Cu (Ag) Deposit, Central Chile. In Hidrotermal Iron Oxide Copper-Gold and related deposits: a global perspective. *PGC Publishing*, Vol. **2**: 163-184. Adelaide.
- CARTER, W. & ALISTE, N. 1962. Geology and ore deposits of the Ñilhue quadrangle, Aconcagua province. *Boletín Instituto Investigaciones Geológicas*: 189 pp. Santiago.
- CORBETT, G. J. & LEACH, T. M. 1998. Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization. Society of Economic Geologist, Special Publication Number 6. Littleton.
- FERRANDO, R. 2014. Estudio paleomagnético del Complejo Plutónico Illapel 31°25'- 32°30'S: Implicancias acerca de sus mecanismos de emplazamiento y su relación con la evolución tectónica regional. Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias mención Geología, Universidad de Chile (Inédito): 150 pp. Santiago.
- FUENTES, F.; FÉRAUD, G.; AGUIRRE, L. & MORATA, D. 2005. ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of volcanism and subsequent very low-grade metamorphism in a subsiding basin: example of the Cretaceous lava series from central Chile. *Chemical Geology*, Vol. **214**: 157– 177. Santiago.

- GODOY, E. 1981. Sobre la discordancia intrasenoniana y el origen de los depósitos de caolín de Montenegro, Región Metropolitana, Chile. Congreso Geológico Argentino N° 8. Actas **3**: 733-741. San Luis.
- IRVINE, T. N. & BARAGAR, W. R. A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, Vol. **8**: 523-548.
- LARSON, R. & PITMAN, W. 1972. World-wide correlation of Mesozoic magnetic anomalies, and its implications. *Geological Society of America Bulletin*. Vol. **83** (12): 3645-3662.
- LE BAS, M. J.; LE MAITRE, R. W.; STRECKEISEN, A. & ZANETTIN, B. 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the Total Alkali-Silica Diagram. *Journal of Petrology*, Vol. **27**, part 3: 745-750.
- MAKSAEV, V. y ZENTILLI, M., 2002. Chilean strata-bound Cu- (Ag) deposits: An Overview. In: Porter, T.M. (Editor). Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective. *PGC Publishing*. Vol. **2**: 185- 205. Adelaida.
- MANVILLE, V.; NÉMETH, K. & KANO, K. 2009. Source to sink: a review of three decades of progress in the understanding of volcanoclastic processes, deposits, and hazards. *Sedimentary Geology*, Vol. **220**: 136-161.
- MORATA, D.; VARAS, M.I.; HIGGINS, M.; VALENCIA, V. & VERHOORT, J. 2010. Episodic emplacement of the Illapel Plutonic Complex (Coastal Cordillera, central Chile): Sr and Nd isotopic, and zircon U-Pb geochronological constraints. In: South American Symposium on Isotope Geology, N° 7. Brasilia.
- NASI, C. & THIELE, R. 1982. Estratigrafía del Jurásico y Cretácico de la Cordillera de la Costa, al sur de Río Maipo, entre Melipilla y Laguna de Aculeo (Chile Central). *Revista Geológica de Chile*, N° 16: 81-99.
- OLIVEROS, V.; VÁSQUEZ, P.; CREIXELL, C.; LUCASSEN, F.; DUCEA, N.; CIOCCA, I.; GONZÁLEZ, J.; ESPINOZA, M.; SALAZAR, E.; COLOMA, F. & KASEMANN, S. 2020. Lithospheric evolution of the Pre-and Early Andean convergent margin, Chile. *Gondwana Research*. Vol. **80**: 202-227. Concepción.

- PARADA, M.A.; NYSTRÖM, J.O.; LEVI, B. 1999. Multiple sources for the Coastal Batholith of central Chile (31–34°S): geochemical and Sr– Nd isotopic evidence and tectonic implications. *Lithos*, Vol. **46**: 505– 521.
- PEARCE, J. A. 1996. A user's guide to basalt discrimination diagrams. In Trace element geochemistry of volcanic rocks: applications for massive sulphide exploration. Geological Association of Canada, Short Course Notes, Vol. **12**: 79-113.
- PIRACÉS, F. & MAKSAEV, V. 1977. Geología de la Hoja Quillota, IV y V Región. Instituto de Investigaciones Geológicas: 135 pp. Santiago.
- RIVANO, S. 1996. Geología de las hojas Quillota y Portillo. Servicio Nacional de Geología y Minería: 202 pp. Santiago.
- RIVANO, S.; SEPULVEDA, P.; HERVE, M. & PUIG, A., 1985. Geocronología K-Ar de las rocas intrusivas entre los 31°-32° latitud sur, Chile. *Revista Geológica de Chile*, Vol. **24**: 63- 74. Santiago.
- RIVANO, S.; SEPULVEDA, P.; BORIC, R.; HERVE, M. & PUIG, A. 1986. Antecedentes radiométricos para una edad cretácica inferior de la Formación Las Chilcas. *Revista Geológica de Chile*, Vol. **24**: 27-32. Santiago.
- SCHEUBER, E.; BOGDANIC T.; JENSEN A. & REUTTER K. 1994. Tectonic development of the north Chilean Andes in relation to plate convergence and magmatism since the Jurassic. Tectonics of the southern central Andes (Reutter K.; Scheuber E. y Wigge P. editores). Springer-Verlag: 121-139. Heidelberg.
- SELLÉS, D. & GANA, P. 2001. Mapa Geológico del área de Talagante San Francisco de Mostazal, Regiones Metropolitana de Santiago y del Libertador General Bernardo O'Higgins. Servicio Nacional de Geología y Minería: 33pp. Santiago.
- SUN, S. S. & MCDONOUGH, W. F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society, London, Special Publications*, Vol. **42**: 313-345.
- THOMÁS, H. 1958. Geología de la Cordillera de la Costa entre el Valle de la Ligua y la Cuesta Barriga. Instituto de Investigaciones Geológicas de Chile, Vol. **2**: 86 pp. Santiago.

- VERGARA, M.; LEVI, B.; NYSTRÖM, J. & CANCINO, A. 1995. Jurassic and early Cretaceous island arc volcanism, extension, and subsidence in the Coast Range of central Chile. *Geological Society of America Bulletin*, Vol. **107**: 1427– 1440.
- WALL, R.; SELLÉS, D. & GANA, P. 1999. Área Tilttil-Santiago, Región Metropolitana. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos: 46 pp. Santiago.
- WHITE, W. M. 2005. *Geochemistry*. John Wiley & Sons, Inc. 701 pp.
- WOOD, D. A. 1980. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary Volcanic Province. *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. **50**, Nº 1: 11-30. Amsterdam.

10. ANEXOS

TABLA 1: Puntos de terreno con sus muestras correspondientes. T: transparente; P: pulido; ep: epidota.

Fecha	Nombre Punto	Punto GPS	Coordenada E	Coordenada N	m s.n.m	Litología	Muestra	Observación
25-10-2021	D1P1	1944	577	10702	326	andesita basáltica seriada	D1P1M1	Laboratorio AGS/ Corte T
26-10-2021	D2P5	1949	605	10709	309	andesita basáltica afanítica	D2P5M1	Laboratorio AGS
26-10-2021	D2P5	1949	605	10709	309	andesita basáltica seriada amigdaloidal	D2P5M2	
27-10-2021	D3P7	P6	595	10723	–	andesita basáltica afanítica amigdaloidal	D3P7M1	
27-10-2021	D3P7	P6	595	10723	–	andesita basáltica seriada	D3P7M2	Corte T
27-10-2021	D3P8	P7	581	10735	–	andesita basáltica seriada	D3P8M1	Laboratorio AGS
09-11-2021	D4P9	1951	502	10736	306	arenisca parda cornificada	D4P9M1	
09-11-2021	D4P10	1952	513	10732	305	andesita basáltica seriada	D4P10M1	Laboratorio AGS
09-11-2021	D4P11	1954	531	10727	306	Indeterminado (alteración pervasiva a ep)	D4P11M1	Laboratorio Las Cenizas
09-11-2021	D4P12	1955	532	10726	305	andesita basáltica seriada con brechización	D4P12M1	Corte P-T
09-11-2021	D4P15	1958	552	10716	308	Brecha volcánica andesítica	D4P15M1	Corte T
09-11-2021	D4P16	1959	559	10710	309	andesita basáltica seriada	D4P16M1	
09-11-2021	D4P16	1959	559	10710	309	andesita basáltica seriada	D4P16M2	
11-11-2021	D5P2	1966	554	11691	146	andesita basáltica seriada	D5P2M1	Laboratorio Las Cenizas
11-11-2021	D5P10	1974	549	11659	164	andesita basáltica porfídica amigdaloidal	D5P10M1	
11-11-2021	D5P11	1975	706	11610	197	Indeterminado (alteración pervasiva)	D5P11M1	Laboratorio Las Cenizas
17-11-2021	D6P15	1979	785	11641	179	andesita basáltica porfídica	D6P15M1	
17-11-2021	D6P18	1982	774	11644	182	andesita basáltica porfídica	D6P18M1	Corte P-T
23-11-2021	D7P19	1984	1038	11940	221	Brecha de falla	D7P19M1	Corte P-T
23-11-2021	D7P22	1987	1003	11928	219	andesita basáltica seriada	D7P22M1	Laboratorio Las Cenizas
23-11-2021	D7P23	1988	1000	11928	219	andesita basáltica seriada	D7P23M1	Laboratorio Las Cenizas
24-11-2021	D8P25	1990	993	11924	166	andesita basáltica seriada amigdaloidal	D8P25M1	

24-11-2021	D8P30	1995	962	11914	215	indeterminado (alteración pervasiva)	D8P30M1	Laboratorio Las Cenizas
25-11-2021	D9P31	1996	954	11910	214	andesita basáltica seriada	D9P31M1	
25-11-2021	D9P40	5	893	11874	195	andesita basáltica porfídica	D9P40M1	
25-11-2021	D9P41	6	885	11868	194	andesita basáltica porfídica	D9P41M1	
01-12-2021	D10P44	14	1421	12001	444	andesita glomeroporfídica de anfíbol	D10P44M1	
01-12-2021	D10P44	14	1421	12001	444	andesita glomeroporfídica de anfíbol	D10P44M2	
01-12-2021	D10P45	15	1403	11945	441	andesita glomeroporfídica de anfíbol	D10P45M1	Corte T
01-12-2021	D10P46	16	1331	11934	419	andesita glomeroporfídica	D10P46M1	
01-12-2021	D10P48	18	1288	11835	380	dacita porfídica	D10P48M1	Corte T
01-12-2021	D10P50	20	1236	11804	362	andesita glomeroporfídica	D10P50M1	
01-12-2021	D10P50	20	1236	11804	362	andesita glomeroporfídica	D10P50M2	
01-12-2021	D10P51	21	1197	11832	347	andesita glomeroporfídica de anfíbol	D10P51M1	
01-12-2021	D10P52	22	1187	11839	344	andesita basáltica seriada	D10P52M1	
01-12-2021	D10P53	23	1184	11833	341	andesita basáltica seriada	D10P53M1	Laboratorio AGS
01-12-2021	D10P53	23	1184	11833	341	indeterminado (alteración pervasiva)	D10P53M2	Laboratorio Las Cenizas
13-12-2021	D11P17	25	947	10205	200	arenisca laminada	D11P17M1	Laboratorio Las Cenizas /Corte P-T
13-12-2021	D11P17	25	947	10205	200	Hornfels protolito epiclástico	D11P17M2	Corte T
13-12-2021	D11P17	25	947	10205	200	andesita basáltica seriada	D11P17M3	
13-12-2021	D11P18	26	897	10194	197	Dique fanerítico	D11P18M1	
13-12-2021	D11P20	28	817	10136	177	andesita basáltica porfídica	D11P20M1	Corte T
13-12-2021	D11P20	28	817	10136	177	andesita basáltica porfídica	D11P20M2	
13-12-2021	D11P22	30	885	10189	199	dique porfídico	D11P22M1	
13-12-2021	D11P23	31	889	10189	200	andesita basáltica seriada	D11P23M1	
13-12-2021	D11P24	32	942	10334	239	andesita basáltica amigdaloidal y con brecha	D11P24M1	Corte P-T
13-12-2021	D11P24	32	942	10334	239	andesita basáltica amigdaloidal y con brecha	D11P24M2	Laboratorio Las Cenizas
13-12-2021	D11P24	32	942	10334	239	andesita basáltica seriada	D11P24M3	
13-12-2021	D11P24	32	942	10334	239	andesita basáltica afanítica	D11P24M4	Corte T
13-12-2021	D11P24	32	942	10334	239	andesita basáltica afanítica	D11P24M5	
14-12-2021	D12P25	38	1126	10482	404	andesita de anfíbol y piroxeno	D12P25M1	Corte T

14-12-2021	D12P29	42	1322	10626	518	andesita basáltica seriada	D12P29M1	
14-12-2021	D12P30	44	1344	10629	524	rodado andesita porfídica amigdaloidal	D12P30M1	
14-12-2021	D12P30	44	1344	10629	524	arenisca	D12P30M2	
14-12-2021	D12P31	45	1335	10631	524	arenisca	D12P31M1	
14-12-2021	D12P31	45	1335	10631	524	andesita glomeroporfídica	D12P31M2	Laboratorio AGS
14-12-2021	D12P32	46	1356	10648	531	andesita porfídica	D12P32M1	
14-12-2021	D12P34	48	1435	10753	589	andesita porfídica	D12P34M1	Laboratorio Las Cenizas
14-12-2021	D12P34	48	1435	10753	589	indeterminado (alteración pervasiva)	D12P34M2	Laboratorio Las Cenizas
14-12-2021	D12P34	48	1435	10753	589	indeterminado (alteración pervasiva)	D12P34M3	Laboratorio Las Cenizas
21-12-2021	D13P35	52	848	10636	354	indeterminado (alteración pervasiva)	D13P35M1	Laboratorio Las Cenizas
24-12-2021	D13P38	55	849	10722	408	andesita basáltica en autobrecha	D13P38M1	
28-12-2021	D13P41	61	843	10700	392	indeterminado (alteración pervasiva)	D13P41M1	Laboratorio Las Cenizas
30-12-2021	D13P43	63	845	10696	378	andesita basáltica seriada silicificada	D13P43M1	
31-12-2021	D13P44	64	847	10684	375	andesita basáltica en autobrecha	D13P44M1	
01-01-2022	D13P45	65	855	10672	375	andesita basáltica seriada	D13P45M1	
01-01-2022	D13P45	65	855	10672	375	indeterminado (alteración pervasiva)	D13P45M2	
02-01-2022	D13P46	66	843	10672	365	andesita basáltica afanítica	D13P46M1	
03-01-2022	D13P47	67	844	10646	348	andesita basáltica seriada	D13P47M1	
04-01-2022	D13P48	68	871	10573	313	andesita basáltica amigdaloidal	D13P48M1	Laboratorio Las Cenizas/ Corte P-T
29-12-2021	D14P54	81	1401	10765	571	andesita porfídica en autobrecha	D14P54M1	Corte P-T
29-12-2021	D14P56	83	1428	10787	573	andesita porfídica amigdaloidal	D14P56M1	Laboratorio Las Cenizas
29-12-2021	D14P58	86	1837	10795	676	andesita porfídica amigdaloidal	D14P58M1	Laboratorio Las Cenizas
29-12-2021	D14P59	87	1867	10791	692	andesita porfídica amigdaloidal	D14P59M1	
29-12-2021	D14P60	88	1886	10804	701	Brecha volcánica aglomerádica	D14P60M1	Corte T
29-12-2021	D14P60	88	1886	10804	701	Brecha volcánica aglomerádica	D14P60M2	
29-12-2021	D14P64	93	1959	10774	738	andesita afanítica	D14P64M1	Corte T
29-12-2021	D14P65	94	1963	10773	741	Brecha volcánica aglomerádica	D14P65M1	
29-12-2021	D14P69	98	1839	10789	684	andesita afanítica	D14P69M1	
29-12-2021	D14P70	99	1792	10751	668	andesita porfídica	D14P70M1	
29-12-2021	D14P72	102	1717	10717	653	andesita de anfíbol porfídica	D14P72M2	

29-12-2021	D14P78	109	1512	10742	594	dique diabásico	D14P78M1	Laboratorio AGS/ Corte T
29-12-2021	D14P81	112	1482	10737	592	basalto de piroxeno y olivino glomeroporfídico	D14P81M1	Corte T
04-01-2022	D15P89	122	889	10477	267	Dique porfídico	D15P89M1	Laboratorio Las Cenizas
04-01-2022	D15P91	124	874	10473	267	Dique porfídico	D15P91M1	Laboratorio AGS
04-01-2022	D15P91	124	874	10473	267	Dique porfídico	D15P91M2	
05-01-2021	D16P94	129	1426	10768	584	andesita porfídica amigdaloidal	D16P94M1	
05-01-2021	D16P103	139	1288	10871	539	indeterminado (alteración pervasiva)	D16P103M1	
05-01-2021	D16P104	140	1277	10867	537	andesita porfídica	D16P104M1	
05-01-2021	D16P107	143	1212	10836	515	andesita porfídica amigdaloidal	D16P107M1	
05-01-2021	D16P108	144	1196	10825	512	andesita porfídica	D16P108M1	Laboratorio AGS
05-01-2021	D16P109	145	1163	10794	510	dique porfídico	D16P109M1	
05-01-2021	D16P110	146	1125	10803	504	andesita porfídica	D16P110M1	
05-01-2021	D16P112b	149	1069	10821	499	andesita basáltica afanítica	D16P112M1	
05-01-2021	D16P113a	150	1065	10821	499	arenisca	D16P113M1	Corte T
05-01-2021	D16P114	153	1020	10829	489	andesita basáltica afanítica	D16P114M1	
05-01-2021	D16P115	154	1001	10826	486	andesita basáltica seriada	D16P115M1	
05-01-2021	D16P116	155	756	10841	445	andesita basáltica seriada	D16P116M1	Corte T
05-01-2021	D16P117	156	689	10863	437	andesita basáltica seriada	D16P117M1	
	DDH212426(14.34)					andesita basáltica de anfíbol y piroxeno	DDH26M1	Corte P-T
	DDH212426(171.01)					andesita basáltica brechizada	DDH26M2	Corte P-T
	DDH212426(192.8)					Toba arenosa andesítica en contacto con andesita basáltica porfídica amigdaloidal	DDH26M3	Corte P-T
	DDH212508(47.37-47.55)					diorita porfídica	DDH8M1	Corte T

	DDH212508(82.43-82.60)							Toba de lapilli y volcarenita tobacea	DDH8M2	Corte T
	DDH212508(90.55-90.67)							Toba de lapilli	DDH8M3	Corte T
	IDDH6760.06(54.43-54.56)							andesita basáltica con stockwork	IDDH6M3	Corte P-T
	IDDH6760.06(49.65-49.76)							andesita porfídica	IDDH6M2	Corte P-T
	IDDH6760.06(63.94-64.14)							pórfido diorítico	IDDH6M4	Corte P-T
	IDDH6760.06(44.04-44.17)							andesita basáltica de anfíbol	IDDH6M1	Corte P-T
	DDH202323(30.0-29.90)							basalto de piroxeno y olivino	DDH23M1	Corte T
	D17P1.nv380							andesita basáltica cornea	D17P1M1	Corte P-T
	D17P2.nv380							andesita basáltica	D17P2M1	Corte P-T

TABLA 2: Datos del análisis geoquímico. Datos obtenidos del Laboratorio AGS.

Elemento analizado	Tipo de método	Unidad	Límite	D1P1M1	D2P5M1	D3P8M1	D4P10M1	D10P50M2	D12P31M2	D15P91M1	D16P108M1	D14P78M1
Ba	FUS-ICP	ppm	0.5	420	347	690	377	1210	741	887	891	788
Ce	FUS-ICP	ppm	0.1	25.1	36.5	25.8	32	44.3	49.3	42.4	45.2	50.7
Cr	FUS-ICP	ppm	10	70	20	40	40	< 10	< 10	30	< 10	30
Cs	FUS-ICP	ppm	0.01	1.37	1.86	0.87	2.35	1.25	1.14	2.35	1.24	1.36
Dy	FUS-ICP	ppm	0.05	2.85	3.39	1.79	3.51	6.13	5.73	4.14	5.31	3.92
Er	FUS-ICP	ppm	0.03	1.79	1.9	0.95	2.12	3.77	3.52	2.69	3.22	2.05
Eu	FUS-ICP	ppm	0.02	1.25	1.44	1.11	1.29	1.62	1.55	1.32	1.57	1.56
Ga	FUS-ICP	ppm	0.1	21.9	24.9	26.1	23.2	18.8	19.1	20.9	23.1	18.3
Gd	FUS-ICP	ppm	0.05	3.52	4.59	2.86	3.95	5.95	5.66	4.72	5.38	5.16
Hf	FUS-ICP	ppm	0.1	6	10.7	3.7	6.8	9.1	7.4	6.1	7.4	4.3
Ho	FUS-ICP	ppm	0.01	0.57	0.62	0.2	0.76	1.3	1.19	0.89	1.08	0.83
La	FUS-ICP	ppm	0.1	13.3	19.1	16.2	18.6	23.9	23.9	22.9	22.5	22.6
Lu	FUS-ICP	ppm	0.01	0.19	0.35	0.08	0.32	0.51	0.44	0.31	0.47	0.33

Nb	FUS-ICP	ppm	0.1	2	3.7	25	1.2	1.7	1.4	3.2	3.2	4.5
Nd	FUS-ICP	ppm	0.1	17	23	15.9	21	30.9	30	27.7	27.8	33.6
Pr	FUS-ICP	ppm	0.02	3.86	5.43	3.6	4.81	7.09	6.89	6.38	6.34	6.89
Rb	FUS-ICP	ppm	0.2	41.5	61.6	44.4	54.2	187	116	103	63.6	101
Sm	FUS-ICP	ppm	0.03	3.83	4.92	3.1	4.32	6.62	6.6	5.8	6.12	6.19
Sn	FUS-ICP	ppm	1	4	3	1	5	3	4	2	4	3
Sr	FUS-ICP	ppm	0.1	527	436	253	529	212	203	341	167	474
Ta	FUS-ICP	ppm	0.1	1.5	1.7	1.9	1.7	1.6	1.6	1.7	1.7	2.3
Tb	FUS-ICP	ppm	0.01	0.44	0.51	0.14	0.59	0.97	0.93	0.71	0.87	0.68
Th	FUS-ICP	ppm	0.05	3.51	5.19	6.21	9.22	12.6	13	13.7	9.26	6.53
Tm	FUS-ICP	ppm	0.01	0.2	0.24	0.05	0.3	0.51	0.5	0.4	0.47	0.3
U	FUS-ICP	ppm	0.05	0.5	0.97	0.38	0.56	2.45	2.67	1.79	1.86	2.13
V	FUS-ICP	ppm	5	302	304	286	344	231	244	297	304	269
W	FUS-ICP	ppm	1	1	2	< 1	6	7	8	< 1	4	< 1
Y	FUS-ICP	ppm	0.1	15.2	19.2	9.3	19.8	34.9	31.8	23.9	28.5	22.5
Yb	FUS-ICP	ppm	0.03	2.11	2.46	1.49	2.26	3.68	3.71	3.07	3.51	2.23
Zr	FUS-ICP	ppm	2	200	384	146	264	337	257	256	256	137
SiO ₂	FUS-ICP	%	0.01	51.7	52.3	53.1	52.3	55.9	59.7	56.6	59.7	51.2
Al ₂ O ₃	FUS-ICP	%	0.01	19.2	19.9	18.6	17	17.8	13.9	18.3	15.1	17.5
Fe ₂ O ₃	FUS-ICP	%	0.01	9.21	9.5	10.2	10.9	9.31	10.9	9.58	9.51	9.72
CaO	FUS-ICP	%	0.01	6.91	7.01	4.99	9.11	3.58	3.7	4.49	3.3	5.13
MgO	FUS-ICP	%	0.01	4.61	3.71	3.47	4.51	2.3	2.21	3.22	2.16	4.1
Na ₂ O	FUS-ICP	%	0.01	2.05	1.65	3.1	1.91	1.95	2.52	2.19	3.81	3.55
K ₂ O	FUS-ICP	%	0.01	1.05	1.52	1.8	1.29	4.78	3.46	3.06	2.41	3.61
Cr ₂ O ₃	FUS-ICP	%	0.002	0.01	0.003	0.005	0.005	< 0.002	< 0.002	0.004	< 0.002	0.004
TiO ₂	FUS-ICP	%	0.01	0.72	0.85	0.6	0.84	0.98	0.99	0.82	1.09	0.88
MnO	FUS-ICP	%	0.01	0.53	0.24	0.5	0.43	0.63	0.61	0.33	0.33	0.28
P ₂ O ₅	FUS-ICP	%	0.01	0.15	0.22	0.08	0.17	0.32	0.33	0.25	0.31	0.31
SrO	FUS-ICP	%	0.01	0.06	0.05	0.03	0.06	0.03	0.02	0.04	0.02	0.06
BaO	FUS-ICP	%	0.01	0.05	0.04	0.08	0.04	0.14	0.08	0.1	0.1	0.09

LOI	Fusion-Nieka	%	0.01	2.19	1.36	2.48	1.77	1.32	1.81	1.7	1.81	2.66
Total	FUS-ICP	%	0.01	98.5	98.4	99	100	99	100	101	99.7	99.1