



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA



**PETROGRAFÍA Y GEOQUÍMICA DE LAS ROCAS
VOLCÁNICAS Y VOLCANOCLÁSTICAS DEL
TRIÁSICO SUPERIOR DE LA CORDILLERA DE LA
COSTA Y LA CORDILLERA DE DOMEYKO ENTRE
LAS COORDENADAS 23°50' – 26°10' S, CHILE**

Memoria para optar al Título de Geólogo

CHRISTOPHER ANDRÉS CELIS HUAQUILAF

Profesora Patrocinante: Dra. Verónica Laura Oliveros Clavijo

Profesores de la Comisión: Sr. Ramiro Ulises Bonilla Parra

Dr. Oscar Enrique Figueroa Arriagada

CONCEPCIÓN, 2018



A mis padres y hermano.

Por todo su newën,

Chaltumay

ÍNDICE

Página

RESUMEN

1 INTRODUCCION	1
1.1 GENERALIDADES Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos.....	2
1.3 UBICACIÓN Y ACCESOS	2
1.4 FISIOGRAFÍA	3
1.5 METODOLOGÍA DE TRABAJO	7
1.5.1 Rocas Plutónicas.....	7
1.5.2 Rocas Plutónicas.....	7
1.5.2.1 Descripción Petrográfica.....	8
1.5.2.2 Análisis Químico.....	8
2 MARCO GEOLÓGICO	10
2.1 GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO	10
2.1.1 Rocas del Paleozoico.....	10
2.1.1.1 Formación La Tabla (Carbonífero Inferior - Pérmico Superior).....	10
2.1.1.2 Complejo Plutónico Cifuncho (Pérmico).....	11
2.1.1.3 Complejo Plutónico Punta del Viento (Carbonífero - Pérmico).....	12
2.1.2 Rocas del Triásico.....	14
3.1.2.1 Formación Cifuncho (Triásico Superior).....	14
3.1.2.2 Formación Cerro Guanaco (Triásico Superior).....	16
3.1.2.3 Formación Sierra de Varas (Triásico Superior).....	17
3.1.2.4 Formación Agua Chica (Triásico Superior – Jurásico Inferior).....	18
3.1.2.5 Formación Quebrada del Salitre (Triásico Superior).....	18

2.2 MARCO GEOTECTÓNICO	20
3 PETROGRAFÍA	23
3.1 ROCAS DEL CARBONÍFERO-PÉRMICO	25
3.1.1 Rocas Plutónicas	25
3.1.1.1 Complejo Plutónico Cifuncho	25
3.1.1.2 Complejo Plutónico Punta del Viento	25
3.1.2 Rocas Volcánicas	27
3.1.2.1 Formación La Tabla.....	27
3.2 ROCAS DEL TRIÁSICO	31
3.1.2 Rocas Volcánicas	31
3.1.2.1 Formación Sierra de Varas	31
3.1.2.2 Formación Cerro Guanaco.....	37
3.1.2.3 Formación Agua Chica	40
3.1.2.4 Formación Cifuncho	41
4 CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA	43
4.1 DIAGRAMAS DE CLASIFICACIÓN	44
4.2 DIAGRAMAS DE VARIACIÓN DE ELEMENTOS MAYORES	50
4.3 DIAGRAMAS DE TIERRAS RARAS (REE)	51
4.4 DIAGRAMAS MULTIELEMENTO	57
4.5 GEOQUÍMICA ISOTÓPICA	60
5 DISCUSIÓN	67
5.1 EVOLUCIÓN MAGMÁTICA	67
5.2 COMPARACIÓN CON ESTUDIOS ANTERIORES	70
5.3 AMBIENTE GEOTECTÓNICO	74
6 CONCLUSIONES	78
7 REFERENCIAS	80

ÍNDICE FIGURAS

	Página
1.1 Mapa de ubicación y accesos al área de estudio.....	3
1.2 Mapa geomorfológico del norte de Chile	4
1.3 Fotografías de la flora del área de estudio	6
1.4 Fotografías de la fauna del área de estudio.....	6
3.1 Mapa del área de estudio y ubicación de las muestras	23
3.2 Microfotografía muestras del Complejo Plutónico Cifuncho.....	26
3.3 Microfotografía muestras del Complejo Plutónico Punta del Viento.....	27
3.4 Microfotografía muestras de la Formación La Tabla	28
3.5 Microfotografía muestras de la Formación La Tabla	29
3.6 Microfotografía y fotografía muestras de la Formación La Tabla	30
3.7 Microfotografía muestras de la Formación Sierra de Varas.....	33
3.8 Microfotografía muestras de la Formación Sierra de Varas.....	34
3.9 Microfotografía muestras de la Formación Sierra de Varas.....	35
3.10 Microfotografía muestras de la Formación Cerro Guanaco	37
3.11 Microfotografía muestras de la Formación Cerro Guanaco	38
3.12 Microfotografía muestras de la Formación Cerro Guanaco	38
3.13 Microfotografía muestras de la Formación Agua Chica.....	39
3.14 Microfotografía muestras de la Formación Cifuncho.....	41
4.1 Valores de R según rocas en diagrama TAS para rocas volcánicas	45
4.2 Diagrama TAS para rocas volcánicas.....	46
4.3 Diagrama Zr/TiO ₂ vs Nb/Y para clasificación de rocas volcánicas	47
4.4 Diagrama Alcalis vs SiO ₂ para rocas plutónicas	48
4.5 Diagrama TAS para rocas plutónicas	48
4.6 Diagrama AFM.....	50
4.7 Diagrama de variación para elementos mayores	51
4.8 Diagrama de Tierras Raras para rocas plutónicas pérmicas	53
4.9 Diagrama de Tierras Raras para rocas volcánicas pérmicas.....	53
4.10 Diagrama de Tierras Raras para rocas triásicas de la Cordillera de la Costa	54

4.11 Diagrama de Tierras Raras para rocas triásicas de la Cordillera de Domeyko	55
4.12 Diagrama que contrasta $(La/Yb)_N$ vs SiO_2	56
4.13 Diagrama que contrasta Eu/Eu^* vs SiO_2	56
4.14 Diagrama Multielemento para las rocas plutónicas pérmicas	58
4.15 Diagrama Multielemento para las rocas volcánicas pérmicas	59
4.16 Diagrama Multielemento para las rocas de la Cordillera de la Costa.....	59
4.17 Diagrama Multielemento para las rocas de la Cordillera de Domeyko	60
4.18 Diagrama ϵNd_i vs Edad	63
4.19 Diagrama $^{143}Nd/^{144}Nd$ vs $^{87}Sr/^{86}Sr$	64
4.20 Diagrama $^{143}Nd/^{144}Nd$ vs $^{206}Pb/^{204}Pb$	65
4.21 Diagrama $^{87}Sr/^{86}Sr$ vs $^{206}Pb/^{204}Pb$	65
4.22 Diagrama $^{207}Pb/^{204}Pb$ vs $^{206}Pb/^{204}Pb$	66
5.1 Diagrama de Tierras Raras comparando rocas triásicas con trabajos anteriores.....	72
5.2 Diagrama Multielemento comparando rocas triásicas con trabajos anteriores	72
5.3 Diagrama de discriminación tectónica para rocas plutónicas.....	75
5.4 Diagrama de discriminación tectónica para rocas volcánicas intermedias-ácidas	76
5.5 Diagrama de discriminación tectónica para rocas volcánicas basálticas.....	76
5.6 Configuración tectónica propuesta para el magmatismo Nórico- Rético.....	77

ÍNDICE TABLAS

	Página
3.1 Resumen de la clasificación de las muestras al microscopio	24
4.1 Listado de las muestras elegidas para análisis químico con sus edades	44
4.2 Comparación de las diferentes clasificaciones para las rocas analizadas.....	49
4.3 Concentración de Tierras Raras normalizados al Condrito	52
4.4 Resumen de las concentraciones $(La/Yb)_N$ y Eu/Eu^* para muestras analizadas.....	57
4.5 Concentración de los elementos traza normalizados al MORB	57
4.6 Resultados de los análisis isotópicos para el sistema isotópico Rb-Sr	61
4.7 Resultados de los análisis isotópicos para el sistema isotópico Sm-Nd.....	63
4.8 Resultados de los análisis isotópicos para el sistema isotópico U-Th-Pb	64

RESUMEN

Las rocas volcánicas de edad Triásico Superior expuestas en la Cordillera de la Costa y la Cordillera de Domeyko del norte de Chile ($23^{\circ}50'-26^{\circ}10' S$), representan un volumen considerable del material volcánico originado durante el Mesozoico. Esta memoria de título tiene por objetivo la caracterización de la petrografía y geoquímica de las unidades aflorantes en el área, con el fin de evaluar la naturaleza del magmatismo y volcanismo del Triásico Superior (formaciones Agua Chica y Cifuncho en la Cordillera de la Costa; Formaciones Cerro Guanaco y Sierra de varas en la Cordillera de Domeyko). Además, se comparan estas características con las de las rocas volcánicas pérmicas: Formación La Tabla, Complejo Plutónico Cifuncho y Complejo Plutónico Punta del Viento, y así inferir la evolución del volcanismo hacia este período. Con todos estos antecedentes se puede comprender el marco geotectónico en el cual se formaron estas rocas.

Petrográficamente, las formaciones Agua Chica y Cifuncho, corresponden a lavas andesíticas y dacíticas (en Cifuncho) de textura porfídica, con fenocristales de plagioclasa, escasos cuarzo, biotita, máficos alterados, y tobas líticas principalmente andesíticas, con escasos líticos riolíticos. La Formación Sierra de Varas, aunque en ella dominan areniscas tobáceas de composición dacítica, se encuentran basaltos, andesitas basálticas y andesitas de textura porfídica con fenocristales de plagioclasa, anfíbol y olivino y/o piroxeno (rocas máficas), también numerosas tobas vítreas, cristalinas y líticas andesíticas a dacíticas en menor grado. La Formación Cerro Guanaco corresponde a una sucesión de volcánicas tanto básicas como ácidas (basaltos, andesitas y dacitas) de textura porfídica con fenocristales de plagioclasa, anfíbol, olivino (basaltos) y cuarzo (dacitas) junto con tobas líticas andesíticas. La Fm. La Tabla subyace las rocas del Triásico Superior y está compuesta por tobas cristalinas y vítreas, fragmentales, ácidas con fenoclastos de cuarzo y biotita, junto con lavas dacíticas porfídicas con fenocristales de cuarzo, plagioclasa con escaso feldespató potásico y brechas dacíticas. Por otro lado, los intrusivos pérmicos (Complejo Plutónico Punta del Viento y Complejo Plutónico Cifuncho) corresponden a granodioritas y monzogranitos de grano medio a grueso principalmente de biotita.

El análisis geoquímico es coherente con la petrografía previa e indica una amplia variación composicional (no bimodal) de magmas calcoalcalinos. Los perfiles geoquímicos muestran un ligero enriquecimiento en tierras raras livianas (LREE) con respecto a las tierras raras pesadas (HREE) y patrones bastante planos para éstas últimas descartando la presencia de granate en la fuente, sugiriendo procesos de adelgazamiento cortical, lo que indica que el origen del magma habría ocurrido en un manto superficial. Los elementos trazas muestran un enriquecimiento en elementos litófilos de gran radioiónico (LILE) respecto a los elementos de alto potencial iónico (HFSE), depresiones en los elementos Nb y Ta y bajas concentraciones en P, Ti y Sr, características típicas de una zona de subducción. Adicionalmente los diagramas de discriminación tectónica de las rocas tanto ácidas como básicas se encontrarían asociadas a un arco volcánico. Los resultados obtenidos proponen un modelo opuesto al clásico que indica ausencia de subducción en la génesis del volcanismo Triásico Superior. Tanto las evidencias petrográficas como las geoquímicas, sugieren que el marco geotectónico que prevaleció durante el Triásico Superior a los 214 Ma (edad máxima para la Formación Sierra de Varas) correspondió a un margen continental activo de subducción.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Entre las unidades triásicas en el norte de Chile ($24^{\circ}30'$ - $26^{\circ}30'S$) existe un volumen considerable de material volcánico, aflorando como rocas volcánicas en los dominios de la Cordillera de la Costa y la Cordillera de Domeyko. Estas rocas no han sido caracterizadas en detalle, aunque recientes actualizaciones de la cartografía geológica llevadas a cabo por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) y otros autores (Espinoza y otros, 2015) han aportado nuevos datos estratigráficos, geoquímicos y geocronológicos sobre estas unidades. La distribución, tanto espacial como temporal de las cuencas triásicas a estas latitudes está ahora mejor acotada, reconociéndose una orientación principal NNW-SSE (Charrier, 2007) para ellas y una actividad restringida principalmente al Noriano-Rético.

En este trabajo se presentan datos petrológicos y geoquímicos de rocas volcánicas pertenecientes a las formaciones Agua Chica, Cifuncho (Cordillera de la Costa) y las formaciones Sierra de Varas y Cerro Guanaco (Cordillera de Domeyko), los que combinados a los complejos plutónicos Punta del Viento y Cifuncho, y la Formación La Tabla (Pérmico), aportan al entendimiento de la naturaleza de los procesos que dieron origen al volcanismo Triásico.

Esta Memoria se desarrolla en el marco del proyecto FONDECYT 1120715, titulado: “The Initiation of Andean Subduction: Triassic to Late Jurassic Magmatism and Basin Dynamics in Northern Chile ($25^{\circ}30' - 31^{\circ}S$)”, cuya investigadora principal es la Dra. Verónica Oliveros Clavijo. Dicho proyecto tiene por objetivo principal determinar las condiciones tectónicas y el tiempo que tarda la transición desde el Ciclo Gondwánico al Ciclo Andino, a partir del registro geológico en el norte de Chile y su relación con la evolución del SW de Gondwana.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

El objetivo principal de este estudio es determinar la composición, fuente y contexto geotectónico de los magmas que derivan en las rocas volcánicas de las formaciones Cifuncho, Agua Chica en la Cordillera de la Costa y las formaciones Cerro Guanaco y Sierra de Varas en la Cordillera de Domeyko, que van desde el Triásico Superior al Jurásico Inferior y afloran entre los 23°50' y los 26°10' latitud S.

1.2.2 Objetivos Específicos

Dentro de los objetivos específicos que se alcanzarán para cumplir el objetivo principal se encuentran los siguientes:

- Caracterizar petrográficamente muestras recolectadas de las formaciones Agua Chica, Cifuncho, Cerro Guanaco, Sierra de Varas, La Tabla y los Complejos Plutónicos Cifuncho y Punta del Viento.
- Caracterizar geoquímicamente las rocas volcánicas que forman parte de las formaciones estudiadas.
- Determinar la evolución magmática del volcanismo desde el Pérmico al Triásico Superior en base a la geoquímica de los elementos mayores, trazas e isótopos de las rocas estudiadas.
- Determinar el marco geotectónico en el cual que se dio paso a la formación de las rocas volcánicas triásicas.

1.3 UBICACIÓN Y ACCESOS

El área de estudio está situada entre la Cordillera de la Costa y la Cordillera Principal de Los Andes, abarcando la parte sur de la Región de Antofagasta, en las provincias de Copiapó y Taltal, respectivamente. Se enmarca entre los 23°50' – 26°10' latitud S, y los 70°30'– 69°00' longitud O (Figura 1.1).

Para acceder al área de estudio desde Concepción, se deben recorrer 520 km en sentido norte, por la Ruta 5 Sur, hasta llegar a Santiago. Luego, se recorren 1010 km en el mismo

sentido por la Ruta 5 Norte, que se encuentra en buen estado y pavimentada, hasta Cifuncho (ahí se accede a la parte oeste del área de estudio, en plena Cordillera de la Costa). Desde allí, se recorren 100 km hacia el norte por la Ruta 5 Norte hasta Taltal, donde se recorre un trecho por la misma ruta hasta desviarse hacia Agua Verde, y desde allí recorrer 70 km hacia el este para llegar al área de muestreo en la Cordillera de Domeyko. El camino se encuentra pavimentado sólo en un trecho, pero luego pasa a ser de ripio. Los caminos que se recorren dentro del área corresponden a huellas de tierra.

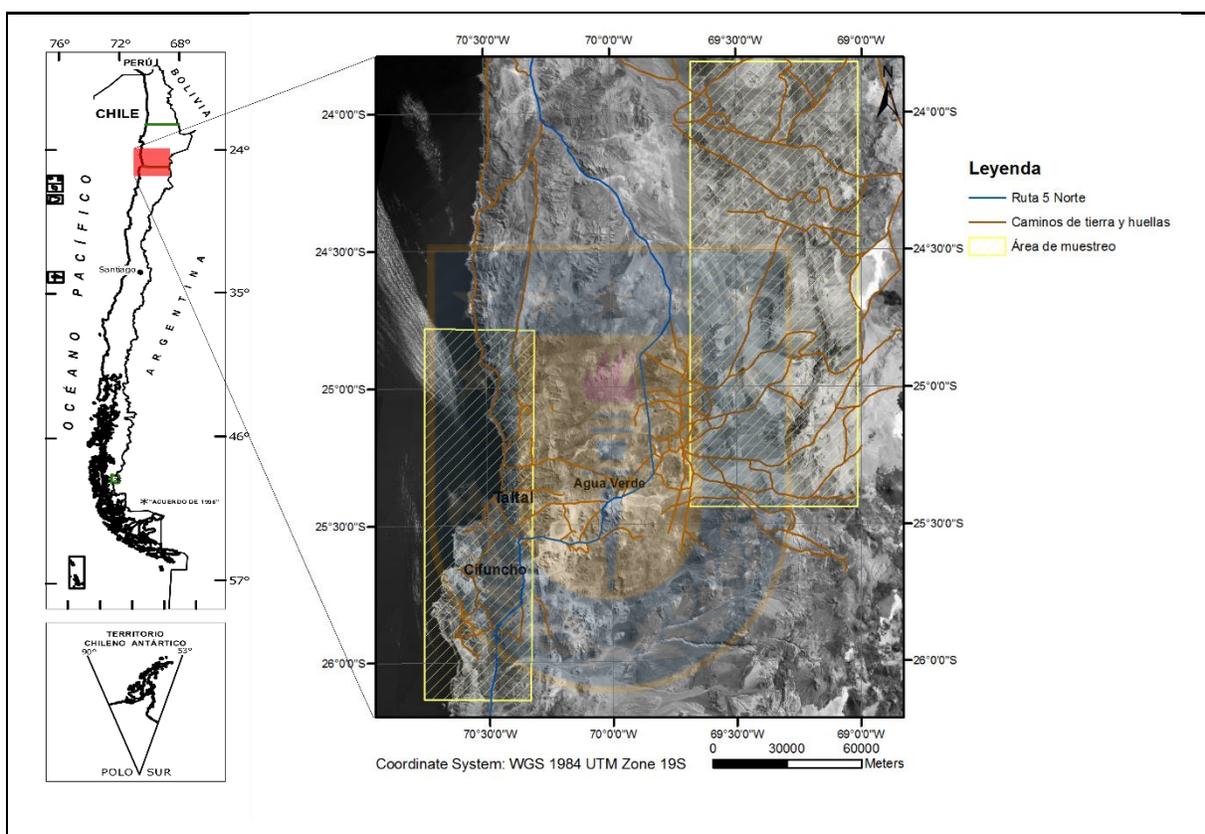


Figura 1.1 Mapa de ubicación y accesos al área de estudio.

1.4 FISIOGRAFÍA

El área de estudio está compuesta por cuatro zonas geomorfológicas según la geomorfología de Chile realizada por el SERNAGEOMIN: Cordillera de la Costa, Depresión Intermedia, Precordillera y Cordillera Principal de los Andes (Figura 1.2)

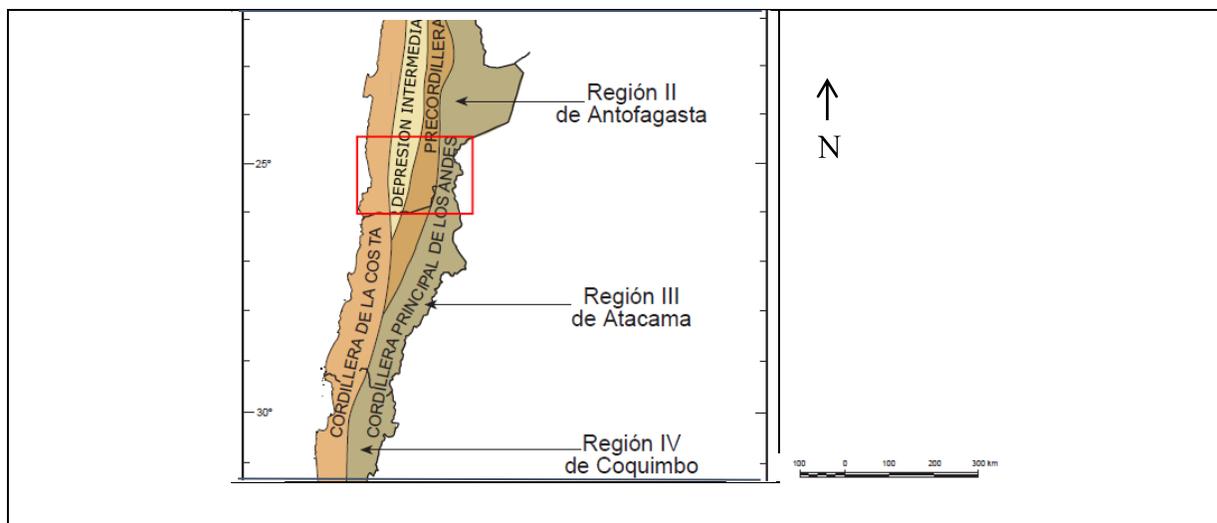


Figura 1.2 Mapa geomorfológico del Norte de Chile dividido por zonas geomorfológicas (mapa geológico de Chile, 2003).

La Cordillera de La Costa, tiene una altitud promedio sobre los 1.500 m s.n.m. y una anchura promedio de 25 km. Hacia el Oeste presenta un abrupto y escarpado límite, mientras que hacia el Este se conecta en una suave bajada con la Depresión Intermedia. En la región de Antofagasta se registran las mayores alturas del país, como son los cerros Vicuña Mackenna y Amazonas, que sobrepasan los 2.000 m s.n.m., en cambio hacia el Sur se encuentra interrumpida por valles transversales y su altura disminuye ostensiblemente.

La Depresión Intermedia corresponde a una depresión limitada por la Cordillera de La Costa hacia al Oeste, y la Precordillera al Este. En el área presenta numerosas serranías y cerros islas que sobresalen del relleno sedimentario. Su altitud varía entre los 1.200 y 2.000 msnm, con una pendiente hacia el Oeste. Constituye una de las expresiones más definidas del Desierto de Atacama, aunque recibe con relativa frecuencia las avenidas de agua de precipitaciones generadas al Este.

La Precordillera, o en este caso la Cordillera de Domeyko, se extiende por más de 550 km. al oeste de los Andes. Su altitud promedio es de unos 3.500 m s.n.m.; sin embargo, posee algunas cumbres que se acercan a los 5.000 m s.n.m. (Cerro Quimal, Cerro Punta El Viento). Por ser principalmente un bloque solevantado por grandes fallas, tiene una particularidad que en ella se encuentra expuesta prácticamente la totalidad del registro de rocas conocidas en el norte de Chile. Tiene la particularidad que en sus partes más deprimidas (cuencas cerradas o

endorreicas), se formaron lagos que debido a la alta tasa de evaporación han derivados en salares. La casi totalidad del agua llega desde el Este en forma de aguas subterráneas y de pequeños ríos perennes y ocasionales.

La Cordillera de Los Andes, también llamada Alta Cordillera, Cordillera Principal o Cordillera Occidental; de manera genérica, también se llama Puna o Altiplano. Presenta dos unidades muy definidas: un plateau de rocas volcánicas y sedimentarias a una altitud de 4.000 a 4.500 m s.n.m., y sobre este una gran cantidad de volcanes, cuyas cumbres pueden superar los 6.000 m s.n.m., varios de ellos en actividad. La continua actividad volcánica ha generado una serie de cuencas donde se forman cuerpos de agua en distintas etapas de evolución, desde lagos, hasta salares.

El área se caracteriza por un completo endorreísmo, producto, en gran medida, del clima desértico y la disposición del relieve. Las precipitaciones escasas, las neblinas o camanchacas costeras y la progresión en altitudes y variaciones de temperaturas, son factores que condicionan la cubierta vegetal en las regiones, ya que presentan una estratificación con la altura, y desde los valles más húmedos a los sectores desérticos interfluviales.

Con respecto a la flora, en la faja terrestre costera crece sin dificultad una vegetación xeromórfica o jaral costero, y algunas especies de cactáceas columnares y suculentas. En los sectores cercanos a las partes bajas de los valles y cercanas al mar, y con niveles freáticos elevados, se hacen presente especies como la brea, doca, totora y junquillos, entre otras.

Más al interior, por los mismos valles, es posible encontrar chilcas, cola de caballo, hinojo y juncos, y como especies arbóreas, pimientos, chañares, algarrobos y algunas gramíneas y juncáceas.

Las especies predominantes son: yareta, algarrobo, tamarugo, chañar, algarrobillo y pimiento. La vegetación natural es usada para proteger suelos y obtener combustible y forraje.

Luego, internándose por los llanos desérticos, y en años lluviosos, florece una cubierta vegetal herbácea con especies como pata de guanaco, ñañaucas, amancay, cebollín, cartucho, copao, corona de fraile y otras cuyos bulbos esperan durante años bajo tierra, la oportunidad de lluvias.

Asociada a esta flora, se aprecia una notable fauna, como las vaquitas del desierto, lagartos, la avispa cazadora y otras especies, así como aves tales como la diuca del norte, bandurria, una variedad de tórtola, y la dormilona tontita, entre otras.

Finalmente, en las zonas cordilleranas y sobre los 3.000 m.s.n.m. se encuentra menor cantidad de especies vegetales, algunas tales como chachacoma (Figura 1.3a), llareta, pajonal (Figura 1.3b), pata de lagarto y uña de gato, entre otras.

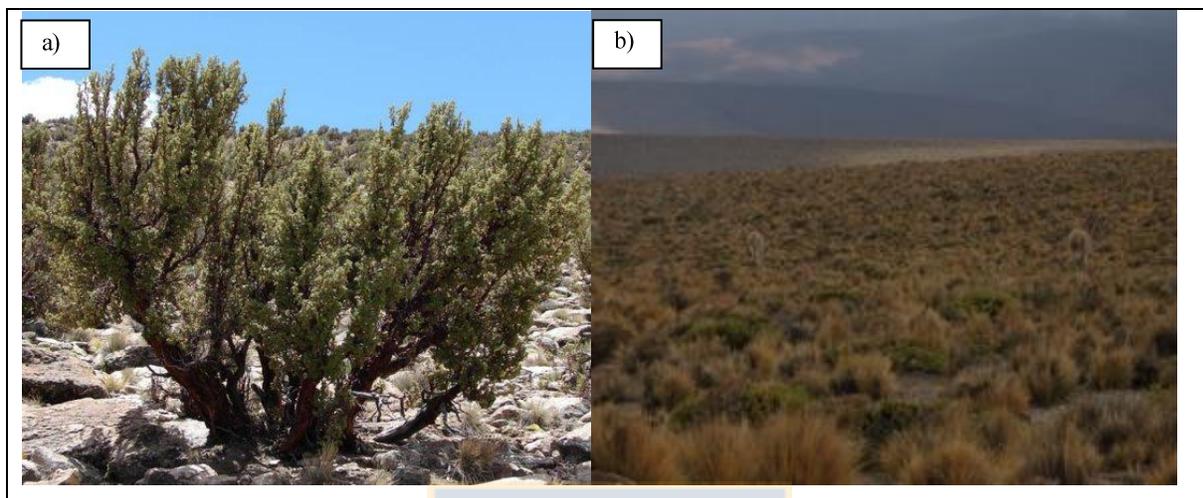


Figura 1.3 Algunas fotografías de la flora de la zona de estudio. a) Chachacoma b)Pajonal

La fauna silvestre es más escasa por la actividad del hombre, existiendo especies como el zorro culpeo (Figura 1.4a), zorro chilla, chinchilla (Figura 1.4b), bandurrias y jotes de cabeza colorada.

Otras especies como murciélagos y roedores autóctonos son numerosas en los valles. Como fauna avícola, encontramos aves menores como zorzales, tencas, golondrinas, chirigües, jilguero común y otras rapaces, y especies reptiles menores como lagartos y lagartijas.



Figura 1.4 Algunas fotografías de la fauna de la zona de estudio. a) Zorro Culpeo b)Chinchilla c) Vicuña

En altura, se pueden encontrar aves rapaces de mayor envergadura como cóndores, búhos, águilas y aguiluchos y otros animales como roedores, lagartos y reptiles. Los mamíferos más sobresalientes están constituidos por los camélidos como guanacos y vicuñas (Figura 1.4c), que usualmente son ubicables a alturas sobre los 3.500 m s.n.m.

1.5 METODOLOGÍA DE TRABAJO

1.5.1 Etapa de Terreno

La etapa de terreno, se llevó a cabo en el marco del proyecto FONDECYT 1120715. Se realizaron seis salidas a terreno: la primera fue realizada a finales del mes de enero hasta febrero del 2014, la segunda a finales de marzo hasta abril del mismo año, el siguiente en octubre del 2014, posteriormente en enero del 2015 sumando más de 30 días en total.

En septiembre del 2015 se realiza el quinto terreno con una duración de 9 días, en el cual asistieron la Dra. Verónica Oliveros, Mauricio Espinoza y Christopher Celis. El objetivo de este terreno fue muestrear las formaciones pérmicas y triásicas para su estudio petrográfico y geoquímico. Se tomaron muestras de las rocas volcánicas que estaban asignadas a las Formaciones Sierra de Varas y La Tabla, que no estuviesen muy alteradas y que no tuvieran un contenido excesivo en fragmentos líticos no juveniles. Durante el desarrollo de esta salida, se escogieron las muestras que serían destinadas a los distintos análisis: corte transparente, análisis químico y/o datación mediante circones detríticos. De acuerdo a lo anterior, se definía la cantidad de muestra a extraer que variaba entre 1 – 5 kg.

En el mes de noviembre del año 2015, se efectuó la sexta salida a terreno que tuvo una duración de 12 días. En esta salida asistieron Mauricio Espinoza, Christopher Celis y Robinson Reyes. Se planteó como objetivo describir de forma más acabada la Formación Sierra de Varas, repasando algunos puntos de interés, mejorando la descripción petrográfica y elaborando columnas estratigráficas.

1.5.2 Etapa de Gabinete

La etapa de gabinete comienza con la recopilación de la información preexistente del área de estudio y la lectura de libros y publicaciones, relacionadas con el tema de investigación.

Posteriormente durante el mes de junio del 2015 y también durante enero del 2016 se realiza la preparación de las muestras para en análisis geoquímico, para ellos se limpian las muestras a mano y se reducen de tamaño utilizando martillo, muela y mortero de ágata en ese orden respectivamente, obteniendo polvo de roca requerido por los laboratorios para el análisis.

Adicionalmente en esos mismos meses se realiza selección de muestras para la confección de cortes transparentes que se utilizan para realizar la descripción petrográfica las cuales son mandadas al laboratorio de confección de cortes del Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Concepción.

1.5.2.1 Descripción Petrográfica

Se realiza la descripción petrográfica de 80 cortes transparentes, los cuales fueron elaborados a partir de las muestras recolectadas en los terrenos del 2014 y 2015. La descripción petrográfica, se llevó a cabo en un microscopio monocular de luz polarizada marca Zeiss, modelo Jenalab Pol, con aumentos de 2,5X, 10X y 40X, facilitado por el Departamento Ciencias de la Tierra, Universidad de Concepción. Esta descripción consistió en la cuantificación y caracterización de la mineralogía primaria y de alteración, la descripción de las texturas observables y finalmente la clasificación de las rocas que se realizó mediante el uso de los diagramas de Streckeisen (1976), para las rocas intrusivas; Streckeisen (1978), para rocas volcánicas; de Fisher (1966) y Schmid (1981), para la clasificación textural y composicional de las rocas volcanoclásticas; y de Nichols (1999) y Folk (1968).

Durante esta etapa se confecciona el “Anexo I: Descripción Petrográfica”, en el que se puede encontrar la ubicación de las muestras utilizadas y las fichas para cada corte transparente, con su descripción y fotomicrografías en LPP (Luz Polarizada Plana) y NC (Nicoles Cruzados).

1.5.2.2 Análisis Químico

Elementos mayores y trazas

Se seleccionan 27 muestras de las recolectadas en terreno, las cuales fueron sometidas a análisis químico. Los análisis se llevaron a cabo en el laboratorio Actlabs, ubicado en Ontario, Canadá. Se analizaron elementos mayores y elementos traza, mediante ICP e ICP-MS (Induced Coupled Plasma – Mass Spectrometry), respectivamente.

Isótopos

De las muestras en las que se realizó el análisis químico de elementos mayores y trazas, 20 fueron sometidas a un análisis isotópico que se llevó a cabo en el Centro Marum de la Universidad de Bremen, Alemania. Se analizaron isótopos de Sr, Nd y Pb mediante TIMS (*Thermal Ionization Mass Spectrometry*).

Tras la obtención de los resultados provenientes de los análisis anteriores se procedió al análisis de éstos para lograr los objetivos ya definidos y proceder a las últimas redacciones de esta memoria de título.



2 MARCO GEOLÓGICO

2.1 GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1.1 Rocas del Paleozoico

2.1.1.1 Formación La Tabla (Carbonífero Inferior– Pérmico Superior)

Esta unidad fue definida en el sector de Pedernales (26°30' S) por García (1967) como "mantos de lava porfirica, amigdaloides gris y gris clara, alternando con bancos de brecha clara y mantos de lava silíceas, y capas silíceas de color claro". Posteriormente, la unidad fue estudiada por Naranjo y Puig (1984), Cornejo y otros (1993) y Tomlinson y otros (1999), quienes la describieron genéricamente como una unidad de rocas volcánicas y subvolcánicas de composición ácida.

La Formación La Tabla está compuesta por una secuencia de rocas volcánicas macizas, silicificadas, caracterizadas por el abundante contenido de cuarzo subredondeado y embahiado ('ojos' de cuarzo), que pueden presentar una débil estratificación localizada. Está constituida, principalmente, por tobas de cenizas y lapilli, cristalinas y líticas, soldadas, con intercalaciones de lavas dacíticas. Además, la secuencia volcánica presenta abundantes intrusiones de cuerpos hipabisales riolíticos de composición equivalente a las tobas, que pueden estar emplazados en forma discordante o como filones manto.

Las tobas de cenizas y lapilli, tanto vítreas, como de cristales y líticas corresponden a rocas piroclásticas soldadas, con intercalaciones de lavas dacíticas. Los cuerpos intrusivos hipabisales dacíticos a riolíticos tienen textura porfídica, de colores blanquecinos a grisáceos. Estas rocas presentan silicificación intensa y alteración argílica de intensidad variable. Adicionalmente la constituyen brechas, areniscas, tobas de cenizas y lavas andesíticas, que, en general, se encuentran intensamente silicificadas, donde los distintos componentes se presentan en capas de espesores métricos variables (desde 1 m hasta 10 m). Las brechas se componen de fragmentos subangulosos y angulosos, de mala selección, cuyos tamaños pueden alcanzar 40 cm.

En Venegas y otros (2013) se obtuvieron 7 edades U-Pb en circón para esta formación, con resultados entre 328,3 y 259 Ma y una edad $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en anfíbol de 293,2±1,4 Ma. Con

respecto a la litoestratigrafía de la Formación La Tabla, ésta indica que forma parte del cinturón magmático, intrusivo y efusivo ácido del Carbonífero Superior-Pérmico que se extiende desde el Macizo Norpatagónico hasta el Norte Grande de Chile (Coira y otros, 1982). La Formación La Tabla se correlaciona con una etapa de actividad magmática de arco la que se ha asociado a un período de deriva continental rápida, una alta tasa de convergencia a lo largo del margen occidental de Gondwana cuando la actividad magmática alcanza su máximo (en contraste con las etapas precedentes), lo que implica el ensanchamiento del arco volcánico, cuyos productos tienen una buena exposición en el flanco occidental de Los Andes (Charrier y otros, 2007). Estas unidades volcánicas se formaron, probablemente, por fusión de corteza continental (Mpodozis y Kay, 1990) y representan los equivalentes efusivos de grandes complejos plutónicos contemporáneos.

2.1.1.2 Complejo Plutónico Cifuncho (Pérmico)

De acuerdo a Naranjo y Puig (1984), esta unidad se define como "un conjunto de rocas plutónicas de grano grueso, leucocráticas, tipo sienita y monzogranito, que afloran principalmente en la Cordillera de la Costa, al sur de los 25°30'S. Presenta además un característico aspecto "vetado" dado por la intrusión de enjambres de diques andesíticos de color oscuro en esta roca de tonalidad clara. Este Complejo se expone, típicamente, en la desembocadura de la Quebrada Cifuncho, en Sierra Vetada y Cerros de Cifuncho".

Aflora junto al Complejo Epimetamórfico de Chañaral formando una franja irregular localizada en el margen costero y zona central, de orientación nor-noreste de entre 8 y 15 km. de ancho. En torno a la Caleta Cifuncho afloran inmensos cuerpos sub circulares que alcanzan los 80 y 60 km² de superficie.

El Complejo Plutónico Cifuncho se encuentra en contacto con las unidades estratificadas del Mesozoico a través del Sistema de Fallas Tigrillo. Entre la Posada de los Hidalgo y la Quebrada de la Cachina, esta unidad está en contacto por falla con prácticamente todas las facies de la Formación Cifuncho y también con la Formación Pan de Azúcar.

La litología corresponde a granitos de un característico grano grueso, sin embargo, para esta unidad se han diferenciado dos subunidades:

i) Monzogranitos de biotita y de biotita-anfibol: principalmente están formada por monzogranitos que incluyen granodioritas holocristalinas de color blanco – anaranjado. Tienen textura fanerítica, hipidiomórfica, inequigranular de grano medio a grueso con, fenocristales de feldespato alcalino que alcanzan en algunos sectores los 7 cm. La masa fundamental está formada por cristales de cuarzo, plagioclasa y ortoclasa de tamaños entre 1 y 2 cm.

ii) Monzogranitos y sienogranitos con escasa biotita: rocas holocristalinas leucocráticas de grano grueso y equigranulares, que se disponen principalmente como una franja norte sur, entre la Punta Lavata y la Punta del Carmen. Se distingue por la casi inexistencia de xenolitos del Complejo Epimetamórfico de Chañaral, la aparición de micas blancas (3%) y la presencia de enclaves decimétricos de composición aplítica. Los minerales máficos son muy escasos (hasta un 3% de la roca total) y corresponden a biotita.

Contreras y otros (2013) obtuvieron 2 nuevas dataciones U-Pb en circón (SHRIMP) para las rocas asignadas a la facies más abundante de este complejo. Los valores obtenidos son de $284,8 \pm 6,6$ y de $284,5 \pm 6,2$ Ma. También existen otras edades previamente publicadas que se interpretan consistentes con esta asignación, con una edad K/Ar en biotita de 273 ± 8 (Naranjo y Puig, 1984); $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en biotita de 259 ± 8 Ma (Ulriksen, 1979) y K/Ar en biotita de 255 ± 6 Ma (Las Cenizas, 2007). Además, existe otra edad Rb-Sr isócrona en roca total de 187 ± 6 Ma (Zentilli, 1974), que se interpreta como una edad mínima. En resumen, y sobre la base de los nuevos antecedentes U-Pb se asigna esta unidad con bastante certeza al Pérmico.

2.1.1.3 Complejo Plutónico Punta del Viento (Carbonífero – Pérmico)

El Complejo Plutónico Punta del Viento fue definido originalmente por Naranjo y Puig (1984) como un conjunto de cuerpos intrusivos con composiciones que varían entre granodioritas y sienogranitos, constituyendo el eje central de la precordillera en este sector. También reconocido como Granito Punta del Viento por Marinovic y otros (1995), tiene un área de aproximadamente 150 km^2 , donde conforman el bloque más elevado de la sierra Vaquillas Altas. Este grupo está conformado por las siguientes litofacies: (a) monzogranitos y granodioritas de anfíbola-biotita tienen distribución amplia y continua en el complejo, definen una franja en el flanco occidental de la Cordillera de Domeyko; (b) sienogranitos de biotita restringidos al noreste de la quebrada El Tolar y a la localidad del cerro Punta del Viento; (c)

granitos indiferenciados; (d) monzogranitos; (e) Granitos porfídicos de menores dimensiones, se reconocen al este de la quebrada Los Sapos y en el sector oriental de la sierra Vaquillas Altas; (f) diorita de piroxeno y hornblenda.

En el área centro-norte de la carta Vaquillas Altas, las rocas que constituyen el Complejo Plutónico Punta del Viento se encuentran desplazadas por fallas inversas de orientación NNE-SSO con vergencia hacia el este, que se yuxtaponen tectónicamente por sobre la Formación La Tabla. Hacia el sur de la quebrada El Salitre, el contacto entre ambas unidades es, más bien, por intrusión, y se identificándose además pequeños remanentes de la Formación La Tabla dentro del complejo intrusivo. Entre las quebradas de Agua Negra y el Puesto, sector central de la carta, las rocas de la Formación Quebrada del Salitre cubren en inconformidad al Complejo Plutónico Punta del Viento, más al oeste existe un sobreescorrimento de estas rocas intrusivas sobre las rocas triásicas, controlado por fallas NNE-SSO a NS de tipo inverso, con vergencia al oeste.

Venegas y otros (2013) se obtuvieron 7 nuevas edades para el Complejo Plutónico Punta del Viento. En los monzogranitos (a) de la quebrada Punta del Viento una datación U-Pb en circones primarios arrojó una edad de $295,6 \pm 2,6$ Ma (MSWD=1,4), interpretada como edad de cristalización, y una edad de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en biotita de $289,8 \pm 0,9$ Ma, la cual es interpretada como una de enfriamiento. Este último resultado es consistente con edades K-Ar en biotita de 289 ± 7 Ma y 292 ± 7 Ma obtenidas por Cornejo y Mpodozis (1996) en granodioritas, así como con edades K-Ar en biotita de 292 ± 9 Ma (Marinovic y otros, 1995) y 285 ± 9 Ma (Padilla, 1986) en granodioritas y monzogranitos del cerro Punta del Viento. En este mismo sector, una granodiorita tiene una edad de *ca.* 276 Ma (U-Pb en circón; Marinovic y otros, 1995). Dentro de la misma facie se obtuvo una edad K-Ar en biotita de 233 ± 7 Ma, interpretada como mínima dada la cloritización y sericitización del mineral analizado. Para los monzogranitos de la facie (d) se obtuvo una edad U-Pb en circones primarios de $323,9 \pm 2,6$ Ma, interpretada como edad de cristalización y que representa la edad mayor obtenida para esta unidad. Un cuerpo sienogranítico porfídico (e) fue datado por K-Ar en biotita en 282 ± 6 Ma y por $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en anfíbol en $293,5 \pm 1,1$ Ma. De acuerdo a estos resultados existiría un período de tiempo de 50 Ma para la “construcción” de este plutón. Si se considera el rango tiempo propuesto en la literatura para el desarrollo de cuerpos intrusivos de gran magnitud

(~10 Ma; Coleman y otros, 2004), el Complejo Plutónico Punta del Viento, cubre un intervalo muy superior a ese valor, lo cual implica que dentro de esta unidad pueden estar representados varios pulsos magmáticos de distintos eventos plutónicos.

2.1.2 Rocas del Triásico

2.1.2.1 Formación Cifuncho (Triásico Superior)

García (1967) definió la Formación Cifuncho a unos 6 kilómetros al este de la caleta Cifuncho, como formada por “bancos de conglomerado color café rojizo en la parte inferior y en la parte superior por bancos de arenisca gris clara de cuarzo, bancos de conglomerados y lutita gris verdosa laminar, con lentes delgados de caliza ocre”. Posteriormente, Naranjo y Puig (1984) enmendaron esta definición al agregarle las rocas volcánicas y volcanoclásticas asignadas a la Formación Agua Chica (Mercado, 1980).

La Formación Cifuncho aflora formando una franja discontinua aproximadamente norte-sur, entre el basamento Paleozoico, ubicado generalmente al oeste, y la Formación Pan de Azúcar al este. Los principales afloramientos se encuentran en la confluencia de las quebradas Cifuncho y Buena Esperanza (localidad tipo).

Esta unidad sobreyace, en discordancia angular, al Complejo Epimetamórfico de Chañaral y subyace en aparente concordancia a rocas de ambiente marino asignadas a la parte alta de la Formación Pan de Azúcar.

La Formación está constituida por cuatro asociaciones de facies diferentes que en general presentan una actitud homoclinal. En general, los estratos muestran un grado bajo de deformación y ninguna evidencia de metamorfismo:

a) Conglomerados y areniscas. Estas son las litologías que predominan en esta formación. Está compuesta por una secuencia de conglomerados y areniscas guijarrosas de colores rojo, gris y amarillento, con formación de paleosuelos y abundantes paleocanales.

b) Conglomerados, tobas y tufitas. Corresponde a una intercalación de conglomerados polimícticos con areniscas tobáceas. Los conglomerados son clastosoportados de grano medio a fino con clastos principalmente porfídicos de composición andesítica y algunos más ácidos,

muy redondeados, con buena a moderada esfericidad. La matriz está compuesta por fragmentos de composiciones también volcánicas, de grano grueso a muy grueso.

c) Brechas volcanoclásticas y lavas andesíticas. Es una amplia variedad de brechas volcanoclásticas de color gris violáceo, compuestas principalmente por clastos porfíricos andesíticos, con un rango continuo de tamaño de grano desde 1 metro hasta 1 mm. La mayoría de los fragmentos son subredondeados con muy baja esfericidad, pero también hay clastos con formas muy irregulares, bordes de enfriamiento y fracturas tipo *jigsaw* que indican un origen volcánico primario para estos. La matriz está formada por pequeños fragmentos andesíticos y también existen zonas donde aparece masa fundamental magmática. Las brechas volcanoclásticas son interpretadas como depósitos de bloques y cenizas y/o como flujos de detritos en ambiente volcánico.

d) Areniscas amarillas con flora fósil. Consisten en areniscas de color gris-amarillento, a veces verdoso, finamente estratificadas con capas centimétricas a decimétricas, intercaladas con capas de calizas de hasta 30 cm, ocasionalmente con ostrácodos (Suárez y otros, 1985).

En la carta Vaquillas Altas (2013) se realizaron 2 determinaciones absolutas de la edad de esta formación, hechas con el método U-Pb en circón, ambas de edad triásica superior. Una de ellas hecha en SHRIMP obtuvo una edad de $210,1 \pm 4$ Ma (Nórico) en una toba de la asociación de facies (b). La otra fue hecha en LA-ICPMS en una brecha volcanoclástica de la asociación de facies (c), en que se analizaron 106 circones con una numerosa población más joven y se obtuvo una edad de $205.5 +0.9/-1.1$ Ma.

Sin embargo, a pesar que los cuerpos hipabisales andesíticos se interpretan como las raíces volcánicas (213 Ma), coetáneas con algunos productos del volcán reconocidos en la Formación Cifuncho (210 Ma), en aquellos sectores donde los hipabisales intruyen a la Formación Cifuncho, los primeros deberían ser más jóvenes que las rocas en que se emplazan, por lo cual la Formación Cifuncho, localmente, tendría que ser más antigua que 213 Ma.

La Formación Cifuncho sobryace en discordancia al Complejo Epimetamórfico de Chañaral de edad devónico-carbonífera, encontrándose cubierta transicionalmente por la Formación Pan de Azúcar, sin embargo, localmente, los niveles superiores de la Formación Cifuncho engranan con la base de la Formación Pan de Azúcar. Subyace a la Formación Pan

de Azúcar asignada al Triásico Superior-Jurásico Inferior, ya sea en contacto transicional o bien, los niveles superiores de la Formación Cifuncho, engranan lateralmente con los inferiores de la Formación Pan de Azúcar. Sobre la base de todos estos antecedentes, se asigna a la Formación Cifuncho una edad triásica superior-jurásica inferior.

Los ortoconglomerados predominantes de la asociación de facies (a), ‘representan fluviales de la parte proximal de ríos trenzados’ (Suárez y otros, 1985). Las areniscas, con estratificación cruzada, que forman parte de la misma asociación de facies, se acumularon en condiciones menos energéticas, mientras la ocurrencia ocasional de paraconglomerados indica depositación de flujos de detritos, todo ello formando parte de un ambiente de abanico aluvial (Suárez y otros, 1985). En general, la composición de los conglomerados indica erosión de afloramientos del Complejo Epimetamórfico de Chañaral, con contribución de cuerpos granitoides de edad Paleozoico Superior o Triásico Inferior. Las asociaciones de facies (b) y (c) de esta unidad muestran un evidente aumento del material de origen volcánico, por ejemplo, a localidad tipo de esta formación. La asociación de facies de brechas volcanoclásticas (c) se interpreta como facies volcánicas muy proximales a los centros eruptivos, formadas por depósitos de bloque y cenizas producidos por el colapso de un domo andesítico y también por flujos de detritos volcánicos. La asociación de facies (d) se encuentra cercana al techo de esta formación, y sobre la base de su contenido fosilífero y litología, se infiere una depositación en un ambiente litoral de delta de abanico, donde se mezclan restos de troncos y plantas con la presencia de probables estromatolitos.

2.1.2.2 Formación Cerro Guanaco (Triásico Superior)

La Formación Cerro Guanaco fue reconocida inicialmente como Estratos de Cerro Guanaco por Marinovic y otros, (1995) y formalizada como Formación Cerro Guanaco por González y otros, (2015). Se define como una sucesión de rocas volcánicas, piroclásticas y volcanosedimentarias, con una potencia aproximada de 1420 m y una edad de entre 213 y 200 Ma (González et al, en prep.). Su Miembro Inferior corresponde a una secuencia piroclástica y de lavas andesíticas, las cuales se encuentran sobreyaciendo a un lente basal de rocas piroclásticas. Las rocas de la unidad están conformadas por andesitas de textura afanítica, porfídica, andesitas brechosas, andesitas vesiculares intercaladas con dacitas y tobas dacíticas. El lente basal está conformado por tobas de ceniza, brechas tobáceas, brechas piroclásticas y

aglomerados de composición dacítica y andesítica. El Miembro Superior está constituido por brechas tobáceas, aglomerados, tobas de ceniza, un nivel de colada riolítica, intercaladas con areniscas y conglomerados tobáceos (Alfaro, 2014).

La unidad sobreyace en inconformidad con intrusivos del paleozoicos, y subyace en contacto concordante con rocas marinas de edad Rético superior de la Formación Profeta (Chong y Hillebrandt, 1985; McKie, 1994). Según un análisis secuencial de facies se cree que la Formación Cerro Guanaco se formó en un ambiente volcánico continental subaéreo explosivo de magma heterogéneo. La presencia de depósitos piroclásticos del Miembro inferior se interpretan como partes proximales al centro efusivo, el cual se caracteriza por pulsos volcánicos con variaciones composicionales andesíticas a dacíticas. Las facies del Miembro Superior se interpretan como el colapso de un domo, caracterizado por flujos lávicos riolíticos, flujos piroclásticos (asociados al mismo evento) y re-sedimentación fluvial (Alfaro, 2014).

2.1.2.3 Formación Sierra de Varas (Triásico Superior)

La Formación Sierra de Varas fue definida por Marinovic y otros, (1995) como “un conjunto de rocas calcáreas, calcáreo-pelíticos y siliciclásticos de carácter continental” de 100 m de potencia. Actualmente, en la localidad tipo, se reconoce una potencia aproximada de 650 m, constituida por 2 Miembros piroclásticos y un Miembro sedimentario-calcáreo. Se encuentra sobreyaciendo en contacto discordante con la Formación La Tabla y su techo corresponde la actual superficie de erosión (Contreras, 2014).

Su miembro basal se caracteriza por la presencia de una secuencia conformada por tobas de ceniza que gradan de manera difusa a tobas de lapilli, intercaladas con conglomerados y areniscas tobáceas. El miembro medio está constituido por tobas de caída, lutitas calcáreas, fangolita, areniscas calcáreas y conglomerados polimícticos. Por último, el miembro superior corresponde a un depósito piroclástico granocreciente de tobas de ceniza, tobas de lapilli y aglomerados andesíticos (Contreras, 2014).

González y otros, (2015) determinaron una edad para la base de 210 Ma (Nórico superior) y un techo Rético superior, sobre la base del contenido fósil.

De acuerdo al análisis secuencial de facies, se cree que la Formación se formó en un ambiente lacustre profundo “basinal”, correspondiente a un margen tipo “bench” de alto gradiente y baja energía con aportes continuos de material piroclástico. Este material piroclástico se desarrolló en un ambiente volcánico explosivo formado por el colapso de un domo o por una columna eruptiva con volúmenes de bajos a intermedios de magma heterogéneo, el cual colmató la cuenca debido a un aumento en el volcanismo o por una migración de este mismo (Contreras, 2014).

2.1.2.4 Formación Agua Chica (Triásico Superior- Jurásico Inferior)

Posee una secuencia estratificada de hasta 500 m de espesor, bien expuesta en quebrada Las Chilcas, en la zona noroeste de la Hoja Chañaral. Cubierta concordantemente por la Formación Pan de Azúcar, al sur de la quebrada homónima se apoya en discordancia sobre el Complejo Epimetamórfico Chañaral. Está formada por capas decimétricas a métricas de tobas, líticas y de cristales, lavas andesíticas y lutitas y conglomerados portadores de troncos fósiles. Incluye filones manto andesíticos junto con lentes tobáceos de matriz carbonatada y una brecha basal de espesor variable entre los 1 y 10 m, compuesta por rocas provenientes del Complejo Epimetamórfico Chañaral. En quebrada Agua Chica, localidad tipo de la formación, afloran de preferencia rocas andesíticas, porfídicas y portadoras de anfíbol reabsorbido y cloritizado. Corresponden a filones y cuerpos hipabisales responsables de una extensa alteración hidrotermal que afecta a rocas estratiformes conglomerádicas y tobáceas pertenecientes a esta formación. Se le atribuye una edad triásica superior por sus relaciones estratigráficas, pero dataciones recientes realizadas en andesitas y tobas evidencian una edad Jurásica Inferior de 200 Ma. Hacia el norte, en la Hoja Taltal (1:250.000) la equivalente Formación Cifuncho es portadora de flora triásica tardía, y también subyace concordantemente a capas hettangianas de la Formación Pan de Azúcar (Naranjo y Puig, 1984).

2.1.2.5 Formación Quebrada del Salitre (Triásico Superior)

La Formación Quebrada del Salitre fue definida por Naranjo y Puig (1984) al sureste y noreste de la sierra Exploradora como una secuencia de rocas sedimentarias, marinas y continentales y rocas volcánicas a las que atribuyeron una edad triásica superior en base a su fauna fósil y a sus relaciones estratigráficas; definieron dos miembros: uno inferior sedimentario y uno superior volcánico. Posteriormente su definición fue enmendada por

Cornejo y otros (1993) aludiendo a que, en la zona Doña Inés Chica, se reconoce una sucesión estratigráfica diferente, con un miembro inferior principalmente volcánico y un miembro superior sedimentario. Así, en la localidad tipo de la Formación, la quebrada del salitre, Cornejo y otros (2009) obtuvieron una edad $232,9 \pm 0,2$ Ma de un domo riolítico que intruye a una secuencia de lavas máficas del miembro inferior volcánico-sedimentario por ellos definido. No obstante, en los trabajos de Cornejo y otros (1993), Cornejo y Mpodozis (1996) y Cornejo y otros (2009) se incluyen rocas sedimentarias hetangianas y sinemurianas (según fauna fósil) en esta unidad, argumentándose que existe una continuidad de las litofacies reconocidas y que no hay cambios sustanciales en las litologías observadas hasta el Pliensbachiano, momento en el que aparecen las facies calcáreas de plataforma de la Formación Montandón (Pliensbachiano- Bajociano medio, Cornejo y otros, 2009). Sin embargo, en un trabajo detallado de la cuenca de Domeyko desde una perspectiva de la estratigrafía secuencial, Ardill y otros (1998), afirman que durante el inicio del Jurásico se habría formado una superficie de máxima inundación en la cuenca que es de carácter regional, correspondiendo a un marcador cronoestratigráfico en el área comprendida entre los 24° - 26° S.

El espesor total de esta unidad es difícil de estimar debido a la ausencia de una columna representativa y a la distribución aislada de sus afloramientos. En particular, en el curso alto de las quebradas La Carreta y Vaquillas es donde afloran las secciones de mayor espesor reconocidas y estimándose un espesor mínimo de 400 m (Venegas y otros, 2013). La Formación Quebrada del Salitre tiene una exposición superficial de aproximadamente 70 km^2 ; se apoya, en discordancia angular, sobre la Formación la Tabla del Paleozoico y en inconformidad sobre granitoides carbonífero-pérmicos del Complejo Plutónico Punta del Viento. Su límite superior es más complejo ya que hay sectores, como en la quebrada Punta del Viento, donde están cubiertas, en discordancia angular, por las secuencias calcáreas hetangianas de la Formación Profeta; mientras que en la quebrada La Carreta, están cubiertas, concordantemente, por rocas de la misma Formación.

En base a los antecedentes expuestos, para determinar su litología es necesaria una separación según asociaciones de litofacies:

(a) Corresponde a una sucesión de lavas andesíticas, cherts, lutitas, lavas dacíticas autobrechizadas y cuerpos subvolcánicos andesíticos.

(b) Corresponde a una sucesión estratificada, predominantemente sedimentaria, con potentes niveles de conglomerados volcanoclásticos intercalados con areniscas, limolitas, calizas, brechas volcánicas y lavas andesíticas, que, hacia el techo de la unidad, en las quebradas Punta del Viento, la Paja, Vega Cerrada y la Carreta, se encuentran sobreyacidas por potentes estratos de calizas coralígenas y bioclásticas.

Para esta formación se obtuvieron en la carta geológica de Vaquillas Altas (Venegas y otros, 2013) 2 edades U-Pb en circones en un cuerpo subvolcánico andesítico y en una toba. En el primero se obtuvo una edad de $212,8 \pm 2,0$ Ma, mientras que en la toba se obtuvo una edad similar de $214,2 \pm 2,0$ Ma. Ambos resultados se interpretaron como representativos de la edad de cristalización de dichas rocas. Numerosos fósiles con valor crono-estratigráfico se han recolectado y estudiado por diversos autores en los niveles marinos de esta formación. Se han encontrado fósiles de *Terebratula*, *Eopecten*, *Gryphaea*, *Perugonia sp.* y *Palaeocardita Peruviana* que han sido asignados al Triásico Superior por Naranjo y Puig (1984) y Chong y Hillebrandt (1985), encontrándose también moldes de *Choristoceras sp.* Esta Formación se correlaciona, hacia el sur, con la Formación La Ternera (Sepúlveda y Naranjo, 1982), hacia el Norte, con la Formación Alto de Varas (Chong, 1973) y hacia el oeste, con la Formación Cifuncho (García, 1967; Naranjo y Puig, 1984).

En relación al ambiente, las asociaciones de facies reconocidas sugieren un ambiente de depositación de tipo continental que gradúa a marino. Es decir, las rocas siliciclásticas se interpretan como flujos de detritos, que coexisten con facies volcánicas básicas y gradúan a ambientes marinos someros. La ingresión marina en este sector es restringida y está representada por calizas fosilíferas y coralígenas.

2.2 MARCO GEOTECTÓNICO

Durante el Paleozoico se habrían acrecionado sucesivos terrenos alóctonos progresivamente al margen occidental de Gondwana (Ramos, 1988). En el Ordovícico – Silúrico el borde continental se ubicaba en lo que actualmente se denominan Sierras Pampeanas, en ese lapso de tiempo el terreno Precordillera se une por el W del margen continental proto-andino. Con el paso del tiempo, hacia el Devónico, otro terreno alóctono se acreciona al W del terreno anterior llamado Chilenia ($24^{\circ} 30'$ – $40^{\circ} 00'$ S).

El **Ciclo Gondwánico** (Devónico Tardío – Pérmico Temprano) tiene lugar luego de este periodo acrecional. La subducción de este período ubica la placa oceánica bajo la placa proto- Sudamericana, lo que permitió que se desarrollara un prisma de acreción expuesto en la actual Cordillera de la Costa, una cuenca de antearco y un arco, que se ubicó en la Alta Cordillera. Entre el Carbonífero – Pérmico Temprano, la migración del Polo Sur fue bastante rápida, de acuerdo a los datos paleomagnéticos presentados por Vilas y Valencio (1978 en Charrier y otros, 2007), lo que indica que la deriva continental, y la subducción ocurrieron a tasas relativamente altas. Esto permitió la generación de enormes volúmenes de magma con un fuerte componente litosférico y un bajo aporte de corteza magmática juvenil (Mpodozis & Kay, 1992; Lucassen y otros, 1999). Ya en el Pérmico Temprano tiene lugar una deformación que se propagó hacia el SE desde el margen continental, lo que es llamada Orogenia San Rafael, la cual provocó la deformación de la secuencias marinas y continentales depositadas en Chile y en Argentina (Charrier y otros, 2007). Los datos paleomagnéticos presentados por Vilas y Valencio (1978 en Charrier y otros, 2007) sugieren que desde el Pérmico Tardío la migración de los polos disminuyó de manera considerable, lo que se traduce en una pausa de la deriva continental, en este periodo la subducción en el margen andino es interrumpida o disminuida considerablemente.

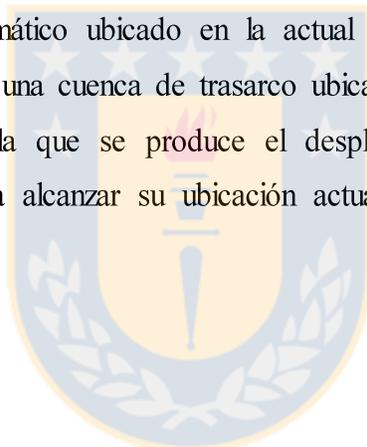
Este periodo es conocido como el **Ciclo Pre-Andino** (Pérmico Tardío – Jurásico Temprano), el cual corresponde al momento en el que Gondwana termina su amalgamiento, lo que tiene como consecuencia nuevas condiciones geotectónicas que provocaron el inicio de su desmembramiento. El calor en el manto superior se acumula debido a estas nuevas condiciones favorables, y se produce fusión de la corteza inferior, lo que da paso a la generación de nuevos y grandes volúmenes de magmas. Se produce un abombamiento en la corteza y una extensión en su parte superior la cual es frágil, lo que permite el desarrollo de cuencas extensionales de orientación NNW – SSE lo que podría ser consecuencia de la orientación de las suturas entre los terrenos acrecionados al margen, los cuales corresponderían a zonas de debilidad en la corteza continental (Ramos, 1944 en Charrier y otros, 2007).

En los Altos Andes Chilenos, en la Cordillera Frontal Argentina, en el Bloque San Rafael y en la Cuenca Neuquina, se encuentra ampliamente distribuido el volcanismo del

Paleozoico Tardío – Triásico en Chile y Argentina lo cual corresponde a un evento clave en la evolución del margen andino.

Cuando la actividad magmática disminuye, magmas anhidros, de alta temperatura, básicos alcalinos a intermedios con una señal de intraplaca, alcanzan la superficie, esto marca el inicio de un rifting continental y la partición de la litósfera en el proceso de extensión (Llambías y otros, 2003). Las secuencias depositadas durante las etapas de *rifting*, tienen espesores de varios cientos a miles de metros, lo que sugiere fuertes condiciones de subsidencia para las cuencas desarrolladas.

Un periodo de calma comenzó, luego se reinició la subducción y se da inicio al **Ciclo Andino** (Jurásico Temprano tardío – Presente). Este ciclo tectónico ha sido dividido en dos grandes etapas (Coira y otros, 1982): la primera, se caracteriza por un régimen tectónico extensional, con un arco magmático ubicado en la actual Cordillera de la Costa, paralelo al margen continental, asociado a una cuenca de trasarco ubicada al E; y una segunda etapa, con una tectónica compresiva en la que se produce el desplazamiento gradual del arco, hacia posiciones más orientales hasta alcanzar su ubicación actual, y además el desarrollo de una cuenca de antepaís.



3 PETROGRAFÍA

Las muestras que se describen petrográficamente corresponden a rocas volcánicas, volcanoclásticas e hipabisales, las cuales fueron recolectadas en la Cordillera de la Costa en las localidades de Cerro Las Chilcas, Quebrada Cifuncho, Cerro Yumbes y Quebrada Cachina y en la Cordillera de Domeyko en Cerro El Árbol, Cerro Pascua, Cerro La Ballena, Cerro Manchón, Cerro Guanaco, Sierra de Varas, Quebrada Mármol, Quebrada el Salitre, Quebrada Vaquillas, Quebrada Los Pozos y Quebrada Vaquillas Altas, respectivamente (Figura 1.1).

Adicionalmente se incluyen algunas rocas plutónicas del Complejo Plutónico Cifuncho, el Complejo Plutónico Punta de Viento y rocas volcánicas y volcanoclásticas de la Formación La Tabla, con el fin de complementar este trabajo (Figura 3.1, Anexo I: Descripción Petrográfica y Tabla 3.1).

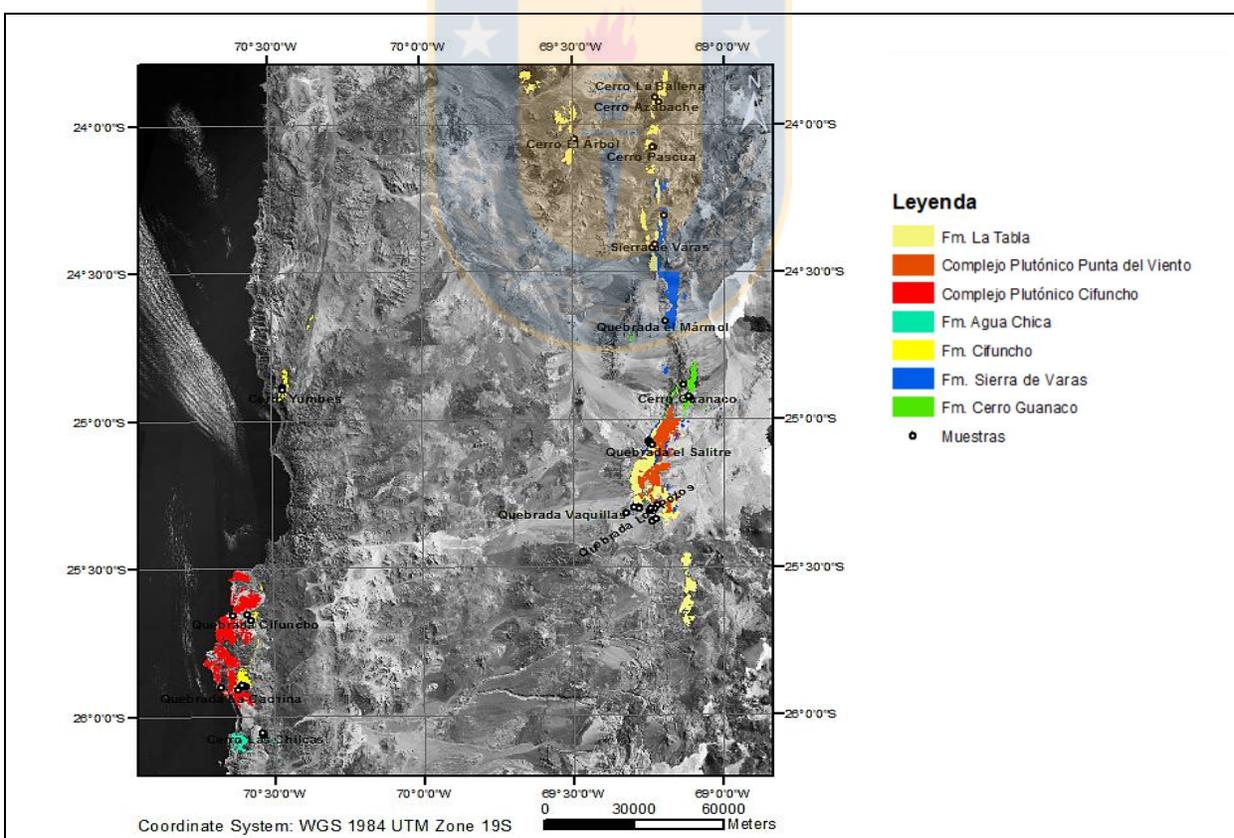


Figura 3.1 Mapa del área de estudio (23°50' – 26° 10' latitud Sur) mostrando la distribución de las formaciones y unidades junto con los puntos donde fueron recolectadas las muestras utilizadas.

Para las muestras se realiza una descripción en microscopio facilitado por el Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Concepción, campus Concepción, y con ello se confecciona una ficha, donde se indica el lugar donde se recolectó la muestra, su textura, su mineralogía primaria, su alteración y otras características relevantes junto con una fotomicrografía, ficha la cual se encuentra en el Anexo I: Descripción Petrográfica. Las rocas piroclásticas han sido clasificadas según el tamaño de sus componentes: tobas (> 75% de material tamaño ceniza) y tobas de lapilli (25 - 75% de material tamaño ceniza) y a su vez son clasificadas de acuerdo a su proporción de vidrio, líticos y cristalinas, utilizando el diagrama de Schmid (1981).

Tabla 3.1 Resumen de las unidades geológicas descritas al microscopio, con su litología, grado de alteración y rango de edad.

Unidad	Muestras	Litología	Grado de alteración	Edad
Complejo Plutónico Punta del Viento	CPV-14-153, CPV-15-365	Granodiorita	0,42 - 0,53	300 - 277 Ma ³
Fm. La Tabla	CPV-14-175, CPV-14-176, CPV-14-141, CPV-14-142, CPV-15-341, CPV-14-144, CPV-14-152, CPV-14-265, CPV-15-332, CPV-15-353, CPV-14-143	Toba, Dacita, Riolita	0,22 - 0,69	295- 264 ¹ Ma
Complejo Plutónico Cifuncho	CPV-14-180A, CPV-14-180B, CPV-14-191	Monzogranito	0,23 - 0,35	284 -256 Ma ²
Fm. Cifuncho	CPV-14-177A, CPV-14-177B, CPV-14-177C, CPV-14-183, CPV-14-184, CPV-14-185, CPV-14-186, CPV-14-187, CPV-14-190, CPV-14-178, CPV-14-179, CPV-15-301, CPV-15-302	Andesita, Dacita, Toba	0,16 - 0,39	212-210 Ma
Fm. Agua Chica	CPV-14-194, CPV-14-196, CPV-14-197, CPV-14-198, CPV-14-195	Andesita, Toba	0,23 - 0,58	200 Ma
Fm. Cerro Guanaco	CPV-14-163, CPV-14-164, CPV-14-166, CPV-14-167, CPV-14-169A, CPV-14-171, CPV-14-172, CPV-14-173, CPV-14-174, CPV-14-157, CPV-14-165	Basalto, Andesita, Dacita, Toba, Brecha	0,14 - 0,45	213-200 Ma
Fm. Sierra de Varas	CPV-14-245, CPV-14-253, CPV-15-359, CPV-15-372, CPV-15-384, CPV-15-386, CPV-14-246, CPV-14-256, CPV-15-331, CPV-15-337, CPV-14-252, CPV-14-268, CPV-15-348, CPV-15-361, CPV-15-400, CPV-15-335, CPV-14-247, CPV-14-259, CPV-14-260, CPV-14-267, CPV-15-328, CPV-15-330, CPV-15-354, CPV-15-389, CPV-15-349, CPV-15-350	Basalto, Andesita Basáltica, Andesita, Toba, Brecha	0,17 - 0,72	233- 212 Ma

¹ Parada, 2013; ² Contreras et al 2006; ³ Marinovic et al 1995, ⁴ González et al 2015

Es importante mencionar que algunas muestras recolectadas de la Formación Sierra de Varas, según mapas inéditos realizados por el SERNAGEOMIN corresponden a la Formación Quebrada del Salitre. Estas muestras son las que se encuentran en el área entre los 25°00'-25°30' latitud Sur. El criterio utilizado para atribuirles a la Fm. Sierra de Varas es que dataciones recientes en rocas sedimentarias encontradas en secuencia con las rocas volcánicas dan edades que se ajustan mejor a la Fm. Sierra de Varas (Espinoza, 2017), adicionalmente, estas rocas se encontrarían en una cuenca diferente a la cual fue definida la Fm. Quebrada del Salitre, en el Sur del área de estudio.

3.1 ROCAS DEL CARBONÍFERO- PÉRMICO

3.1.1 Rocas Plutónicas

3.1.1.1 Complejo Plutónico Cifuncho

De acuerdo a Naranjo y Puig (1984), esta unidad se define como "un conjunto de rocas plutónicas de grano grueso, leucocráticas, tipo sieno y monzogranito, que afloran principalmente en la Cordillera de la Costa, al sur de los 25°30'S. Entre las muestras que se recolectaron, sólo hay monzogranitos de biotita de textura fanerítica inequigranular de grano medio a grueso (CPV-14-180A, CPV-14-180B y CPV-14-191).

Con respecto a los monzogranitos de biotita estos presentan proporciones menores al 30 % de plagioclasa subhedrales a euhedrales alteradas fuertemente a sericita y arcillas, y que alcanzan un tamaño de 7,4 mm en CPV-14-191, cristales de cuarzo anhedrales limpios menores a 3,7 mm, ortoclasas anhedrales a subhedrales que alcanzan gran dimensión (0,7 - 7,2 mm) levemente alterados a arcillas y biotitas subhedrales a euhedrales con una alteración leve a clorita y/o epidota (Figura 3.2).

3.1.1.2 Complejo Plutónico Punta del Viento

Se trata de un conjunto de cuerpos intrusivos de composiciones que varían entre granodioritas y sienogranitos (Naranjo y Puig, 1984). Las rocas muestreadas en terreno corresponden a granodioritas de anfíbol y biotita (CPV-14-153) y granodioritas (CPV-15-

365). La textura de todas las muestras es fanerítica inequigranular de grano medio a grueso localmente pertítica.

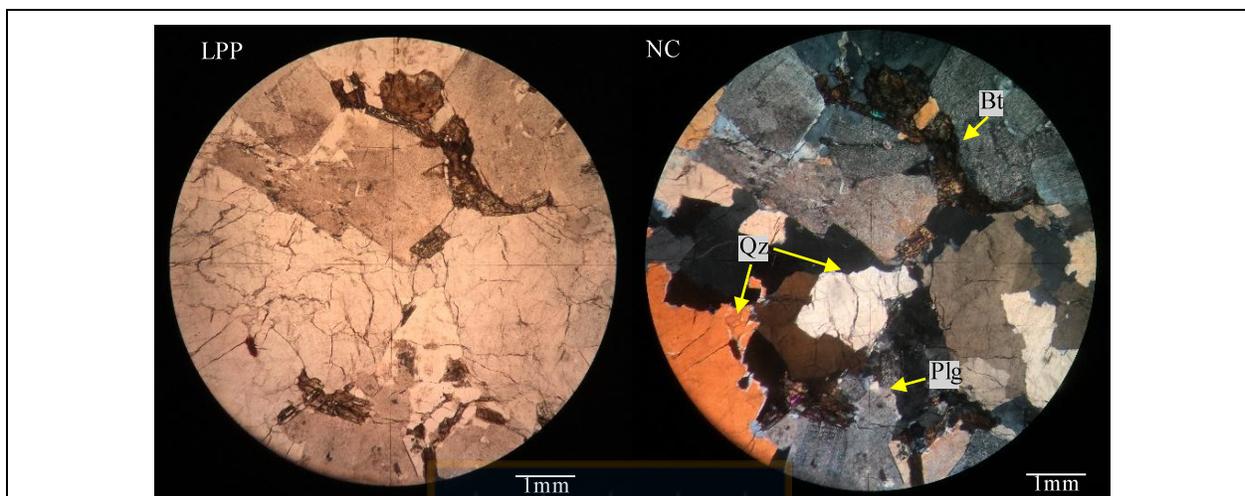


Figura 3.2 Fotomicrografía de la muestra CPV-14-191 (monzogranito) en luz polarizada plana (LPP) y nicoles cruzados (NC). Aumento 2,5x. Se puede observar la textura fanerítica inequigranular y cristales de plagioclasa (Plg), biotita (Bt) y Cuarzo (Qz).

En la muestra CPV-14 153 hay presencia de anfíbol subhedrales a euhedrales alterados moderadamente a clorita con epidota (Figura 3.3a), los cristales de plagioclasa son subhedrales a euhedrales y se encuentran de tamaño medio a grueso (0,8 - 4,0 mm) alterados a sericita y en menor medida a arcillas, cuarzos anhedral y limpios de tamaño medio principalmente, feldespatos potásicos (ortoclasa) anhedral levemente sucios por su alteración a arcillas, y biotitas anhedral a euhedrales alterados levemente a clorita y epidota.

La granodiorita CPV-15-365 está compuesta por más del 50 % de plagioclasa subhedral a euhedral alterada moderadamente a arcilla y sericita y alcanzan tamaños de 7,2 mm; el cuarzo es anhedral y limpio, la ortoclasa es anhedral y presenta pertitas localmente y una alteración moderada a arcillas y a diferencia del resto de los cristales su tamaño es grueso en toda la muestra (Figura 3.3b).

3.1.2 Rocas Volcánicas

3.1.2.1 Formación La Tabla

La Formación La Tabla es una secuencia de rocas volcánicas y subvolcánicas de composición ácida (Naranjo y Puig, 1984; Cornejo *et al.*, 1993 y Tomlinson *et al.*, 1999). Las

rocas encontradas corresponden a tobas cristalinas (CPV-14-175 y CPV-14-176), tobas vítreas (CPV-14-141, CPV-14-142 y CPV-15-341), y gran parte corresponde a lavas ácidas corresponden a dacitas (CPV-14-144, CPV-14-152, CPV-14-265 y CPV-15-332) pero también se recolecta una muestra de riolita (CPV-14-143) y un clasto de dacita (CPV-15-353) en una brecha de la Formación Sierra de Varas.

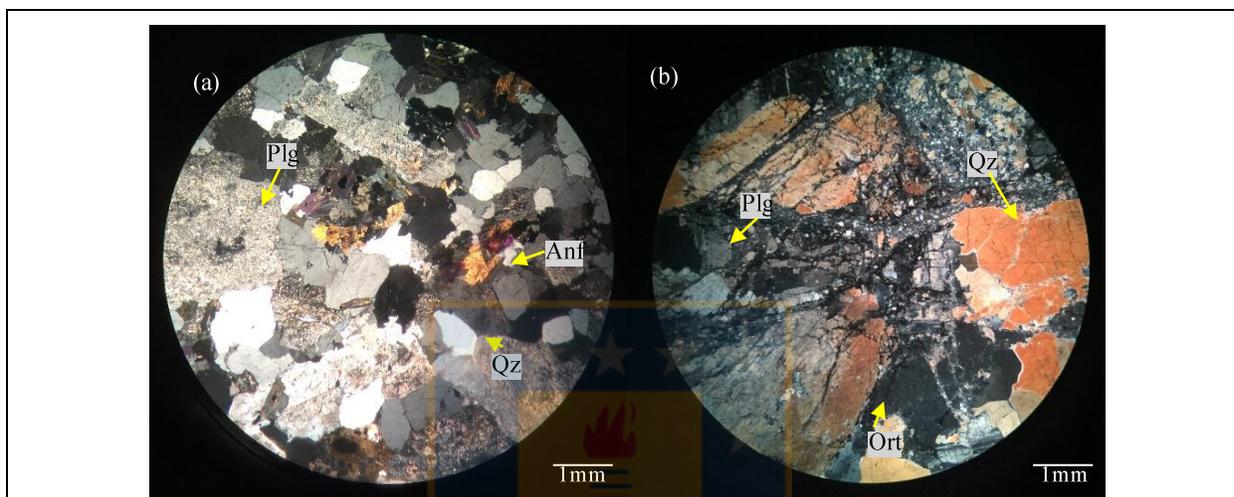


Figura 3.3 Fotomicrografía de las muestras de granodioritas CPV-14-153 (a) y CPV-15-365 (b) en nicols cruzados. Aumento 2,5x. En (a) se observa la textura fanerítica inequigranular con plagioclasa (plg) alteradas a sericita, anfíbol (anf) alteradas a clorita y epidota y cuarzo (Qz) anhedrales. (b) presenta la misma textura, pero la muestra se encontraba altamente alterada y meteorizada, los minerales que se observan son plagioclasa, ortoclasa (Ort) sucias y cuarzo (Qz) anhedrales.

La riolita tiene una textura porfídica seriada con fenocristales subhedrales a euhedrales de plagioclasa de variados tamaños (alcanzan los 3 mm) alterados fuertemente a sericita y en menor grado a arcilla y localmente a epidota, se observan además, cristales de cuarzo anhedrales embahados, feldespato potásico subhedral y biotita euhedrales completamente alterada a clorita en una masa fundamental de vidrio principalmente, cuarzo y plagioclasa (Figura 3.4a).

De color pardo grisáceo, las dacitas poseen textura porfídica con abundantes fenocristales de plagioclasa subhedrales y euhedrales (24 - 29%) con alteración a arcilla y/o sericita exceptuando la muestra CPV-15-332 que posee un alto nivel de alteración y no se distinguen cristales de plagioclasa. De igual manera los fenocristales de cuarzo se presentan en

todas las muestras (8 - 18%) con bordes ocasionalmente embahados y feldespatos potásicos anhedrales escasos alterados ligeramente a arcillas. Entre los fenocristales se observan también máficos, tal como son las biotitas subhedrales a euhedrales y cloritizadas como ocurre en las muestras CPV-14-152 y CPV-15-265 (Figura 3.4b), anfíbol euhedral a subhedral alterado moderadamente a clorita en CPV-15-332, y en la muestra CPV-14-265 máficos indeterminados anhedrales a subhedrales con un reemplazo fuerte a calcita. La masa fundamental está compuesta en su mayor parte por vidrio moderadamente a altamente desvitrificado y alterado a arcillas y/o calcita localmente, con microcristales de plagioclasa y cuarzo sin orientación aparente. La alteración parece ser propilitica debido a las epidotas de alteración presentes en los máficos y la calcita presente en la masa fundamental.

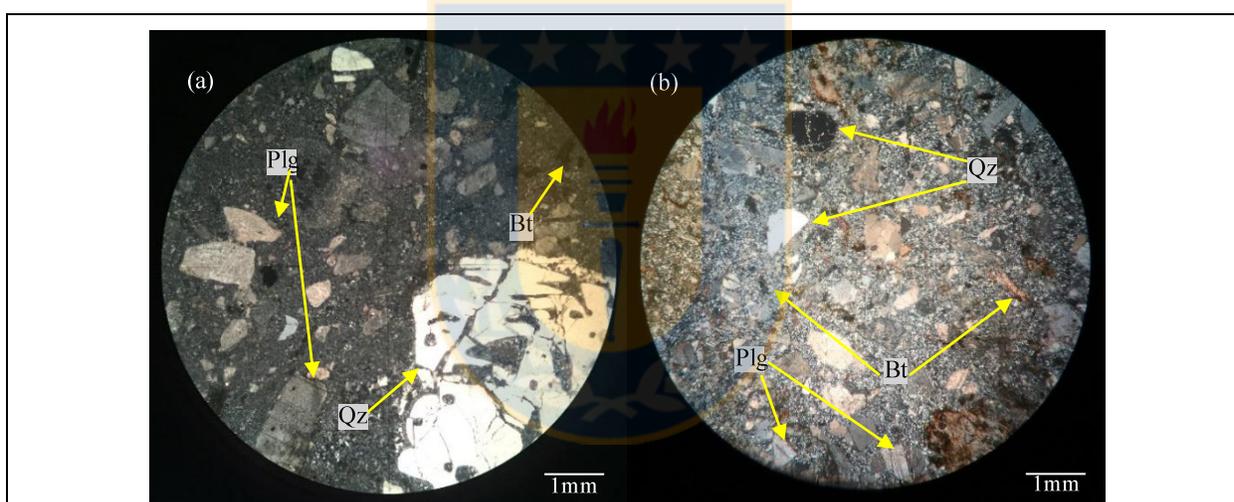


Figura 3.4 Fotomicrografía de la muestra de riolita CPV-14-143 (a) y dacita CPV-14-265 (b) en nicoles cruzados. Aumento 2,5x. En (a) se observa la textura porfídica seriada con plagioclasa (plg) alteradas a sericita levemente, biotita (Bt) alteradas a clorita y cuarzo (Qz) anhedral embahiado en una masa fundamental de vidrio. (b) presenta una textura porfídica, los minerales que se observan son plagioclasa (plg), biotita (Bt) y ojos de cuarzo (Qz).

Las rocas piroclásticas recolectadas de la Formación La Tabla son clasificadas como tobas y tobas de lapilli (CPV-14-175 y CPV-14-176). La textura es fragmental siendo eutaxítica en CPV-14-141 y CPV-14-142 debido a la presencia en ambas rocas de *fiammes* (Figura 3.5a) y ausencia de otros líticos en todas las tobas, tanto vítreas como cristalinas. La fábrica es matriz soportada en CPV-15-341, pero clasto soportada en el resto. Entre los demás

componentes de éstas rocas se observan fragmentos de plagioclasa alterada a sericita y/o arcillas y ocasionalmente y en menor medida epidota. El cuarzo fragmentado, fracturado y mediadamente embahiado también se encuentra presente en todas las muestras (Figura 3.5b); hay presencia de máficos en CPV-14-175 y CPV-14-176 entre los cuales se distinguen biotitas moderadamente cloritizadas con epidotas ocasionales (Figura 3.5c) y anfíboles fragmentados alterados a clorita.

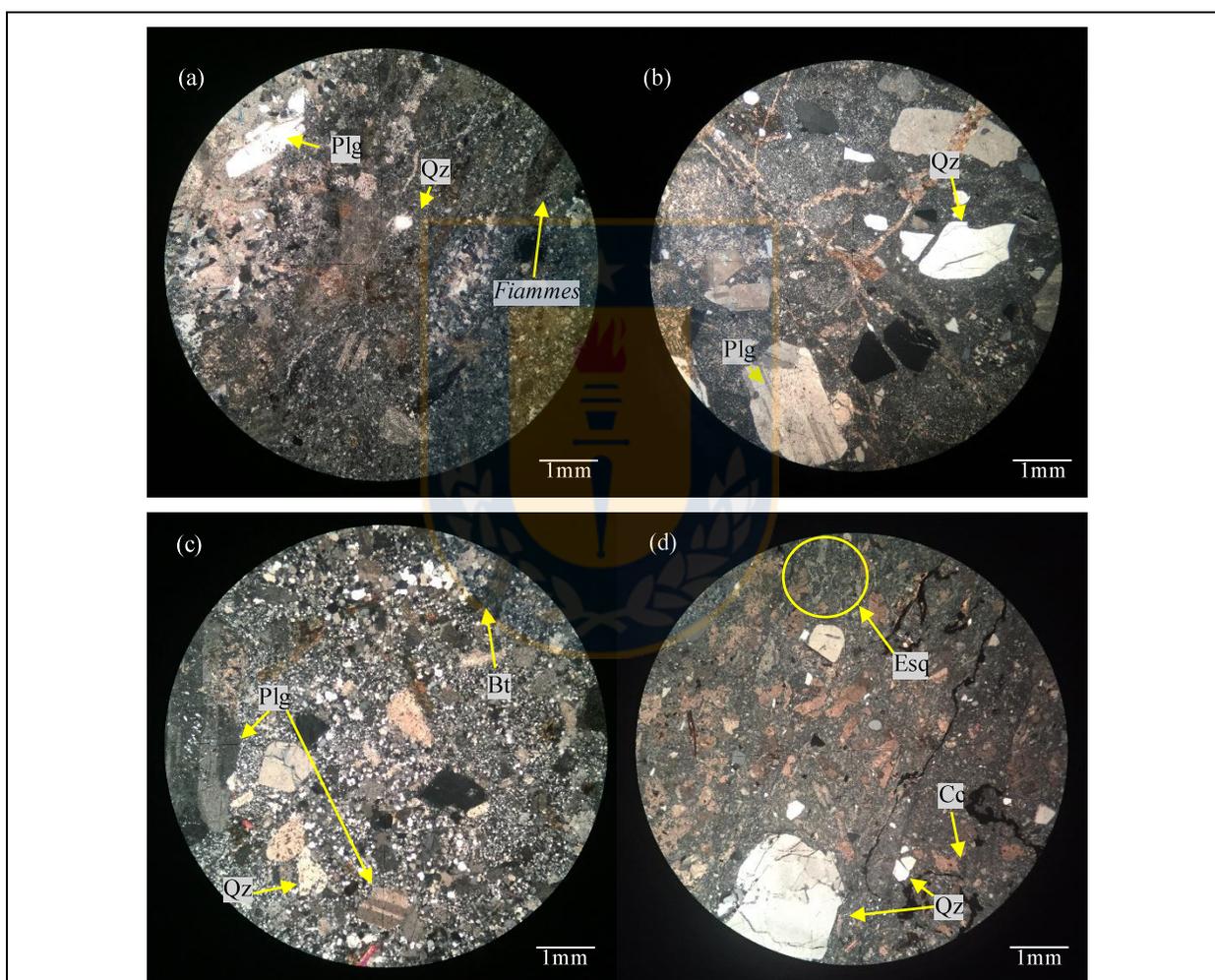


Figura 3.5 Fotomicrografía de las muestras de tobas CPV-14-142 (a), CPV-14-141 (b) CPV-14-175 (c) y CPV-15-341 (d) en nicols cruzados. Aumento 2,5x. En todas las muestras la textura es fragmental, pero en (a) y (b) se observa también una textura eutaxítica debido a las *fiammes* que presentan ambas muestras en una matriz de vidrio. (c) presenta una textura fragmental, los minerales que se observan son plagioclasa (plg), biotita (Bt) y cuarzo (Qz). (d) de también textura fragmental está compuesto por cristales de cuarzo (Qz) quebrados, esquirlas (Esq) reemplazadas por calcita (Cc) en matriz vítrea.

El vidrio se encuentra mal conservado debido a que se encuentra desvitrificado y alterado a arcillas y calcita en CPV-15-341; no se observan texturas significativas de desvitrificación. Es importante destacar que la muestra CPV-15-341 es la única que presenta esquirlas las cuales están reemplazadas por calcita (Figura 3.5d).

Con respecto a la muestra CPV-15-353 (dacita) se trata de un lítico encontrado en un conglomerado con líticos volcánicos (Figura 3.6b), de los cuales había unos de textura porfídica con ojos de cuarzo. En el corte se observan estos cuarzos en forma de fenocristales embahados de tamaño medio, en cambio los de plagioclasa alcanzan tamaños de 3,3 mm son euhedrales a subhedrales y están alterados levemente a sericita y arcillas. Existe un alto porcentaje de minerales máficos indeterminados debido a su alteración, pero su forma es tabular subhedral con bordes opacos. El vidrio está transformado en una masa felsófica y alterado a arcillas lo cual hace difícil distinguirlo de la plagioclasa en la masa fundamental (Figura 3.6a). Debido a todo lo anteriormente mencionado, se infiere que la muestra tendría una proveniencia de las dacitas de la Formación La Tabla.



Figura 3.6 Fotomicrografía y fotografía de la muestra de dacita CPV-15-353 (a) en nicóles cruzados y (b) afloramiento. Aumento 2,5x. En (a) se observa la textura porfídica con cristales de plagioclasa (Plg) alteradas a sericita levemente, cuarzo (Qz) anhedral embahados y máficos indeterminados (Mi) en una masa fundamental de vidrio.

3.2 Rocas del Triásico

3.2.1 Rocas Volcánicas

3.2.1.1 Formación Sierra de Varas

La unidad corresponde a una sucesión de tobas de ceniza y de lapilli, intercaladas con conglomerados y areniscas tobáceas. De las muestras recolectadas en terreno se reconocieron basaltos/andesitas basálticas (CPV-14-245, CPV-14-253, CPV-15-359, CPV-15-372, CPV-15-384 y CPV-15-386) y andesitas (CPV-14-246, CPV-14-256, CPV-15-331 y CPV-15-337). También se realizaron cortes transparentes de tobas vítreas (CPV-14-252, CPV-14-268, CPV-15-348, CPV-15-361 y CPV-15-400), tobas cristalinas (CPV-15-335) y tobas líticas (CPV-14-247, CPV-14-259, CPV-14-260, CPV-14-267, CPV-15-328, CPV-15-330, CPV-15-354 y CPV-15-389). Adicionalmente, se presentan brechas con líticos volcánicos (CPV-15-349 corresponde a lítico de andesita y CPV-15-350 a matriz).

Los basaltos/andesita basáltica poseen textura porfídica y/o intersertal/intergranular dependiendo de la composición (Figura 3.7a,b); poseen fenocristales de plagioclasa subhedral a euhedral alterada moderadamente a arcilla y/o sericita, y fenocristales de minerales máficos, entre los cuales se encuentran olivino subhedral alterado levemente a iddingsita, serpentina moderadamente y/o reemplazado totalmente por calcita y piroxeno subhedral a anhedral, alterado levemente a clorita y epidota o reemplazado a calcita moderadamente. La masa fundamental está compuesta principalmente por vidrio moderadamente desvitrificado alterado a arcilla y localmente a calcita con microcristales de plagioclasa; adicionalmente estas rocas pueden presentar amígdalas rellenas de calcita.

Las andesitas tienen textura porfídica/vitrofídica, dependiendo de la cantidad de vidrio que la componga, o intersertal; los fenocristales de plagioclasa son subhedrales a euhedrales alterados leve a moderadamente a arcillas y/o sericita; microlitos de plagioclasa pueden encontrarse en la masa fundamental de algunas muestras (Figura 3.7c). También ocurren fenocristales de minerales máficos, específicamente anfíbol alterado moderadamente a clorita (Figura 3.7d); en otras muestras se observan máficos anhedrales alterados a clorita, lo no permite su determinación. La masa fundamental está compuesta por vidrio desvitrificado y alterado a arcillas, también calcita relleno espacios o reemplazando en menor grado al

vidrio. Como se había mencionado es posible encontrar microcristales de plagioclasa sin orientación.

Las rocas volcanoclásticas son texturalmente tobas y tobas de lapilli, y composicionalmente estas pueden ser tobas cristalinas, vítreas o líticas.

Las tobas líticas tienen textura fragmental con fábrica clasto soportada, sus cristales de plagioclasa (0 – 22%) generalmente son euhedrales y están fragmentados y alterados levemente a arcillas y a sericita ocasionalmente, y el cuarzo es anhedral fragmentado y fracturado (2 – 25%). CPV-14-267 tiene cristales fragmentados de feldespatos potásicos (4%) anhedrales, sucios y biotitas (3%) subhedrales alterados a clorita (Figura 3.8a). CPV-15 328 contiene fragmentos de biotita (4%) subhedral alterada moderadamente a clorita, CPV-15-330 cristales fracturados de clinopiroxenos (2%) subhedrales y CPV-15-389 máficos indeterminados subhedrales y pardos (9%). Los componentes líticos de estas tobas son andesitas de textura porfídica con fenocristales de plagioclasa tabular y en algunos casos con máficos indeterminados en masa fundamental vítrea, generalmente se encuentran sucios. Cabe destacar que en ciertas tobas se observaron líticos muy similares, los cuales fueron clasificados como líticos intermedios debido que la alteración de éstos no permite clasificarlos como andesitas. También entre las tobas hay líticos ácidos porfídicos, los cuales pueden superar los 7 mm en algunas muestras y son generalmente menos sucios que las andesitas; ellos presentan fenocristales de máficos cloritizados en ciertos casos y cuarzo en masa fundamental desvitrificada, líticos volcanoclásticos también se encuentran presentes en ciertas tobas, los cuales poseen textura fragmental, cristales fragmentados de cuarzo en masa fundamental vítrea con a veces esquirlas alteradas a calcita. En CPV-15-259 es donde se observa la mayor variedad de líticos entre ellos también hay un pequeño porcentaje de máficos volcánicos indeterminados debido a su alto nivel de alteración, son muy sucios, pardos con cuarzo secundario y vidrio desvitrificado. En CPV-15-389 se observan líticos sedimentarios los cuales alcanzan un tamaño superior a los 8 mm, es de granulometría fina y se observa un bandeamiento (Figura 3.8b). El vidrio se presenta desvitrificado y alterado a arcillas en diferentes grados dependiendo del grado de alteración de la roca y en la muestra CPV-14-259 se observan *fiammes* escasas oscuras alteradas a calcita.

Las tobas cristalinas poseen textura fragmental y una fábrica clasto soportada. Están compuestas por cristales euhedrales fragmentados o fracturados de plagioclasa (25%) alterados levemente a sericita y arcilla, cuarzos anhedrales fracturados (18%), anfíbol (5%) subhedral fragmentado alterado moderadamente a clorita. Los fragmentos de líticos que componen estas rocas son andesitas las cuales presentan una textura porfídica con una masa fundamental compuesta principalmente por vidrio desvitrificado y alterado arcillas. Con respecto al vidrio se encuentra desvitrificado fuertemente y alterado a arcillas (Figura 3.8c).

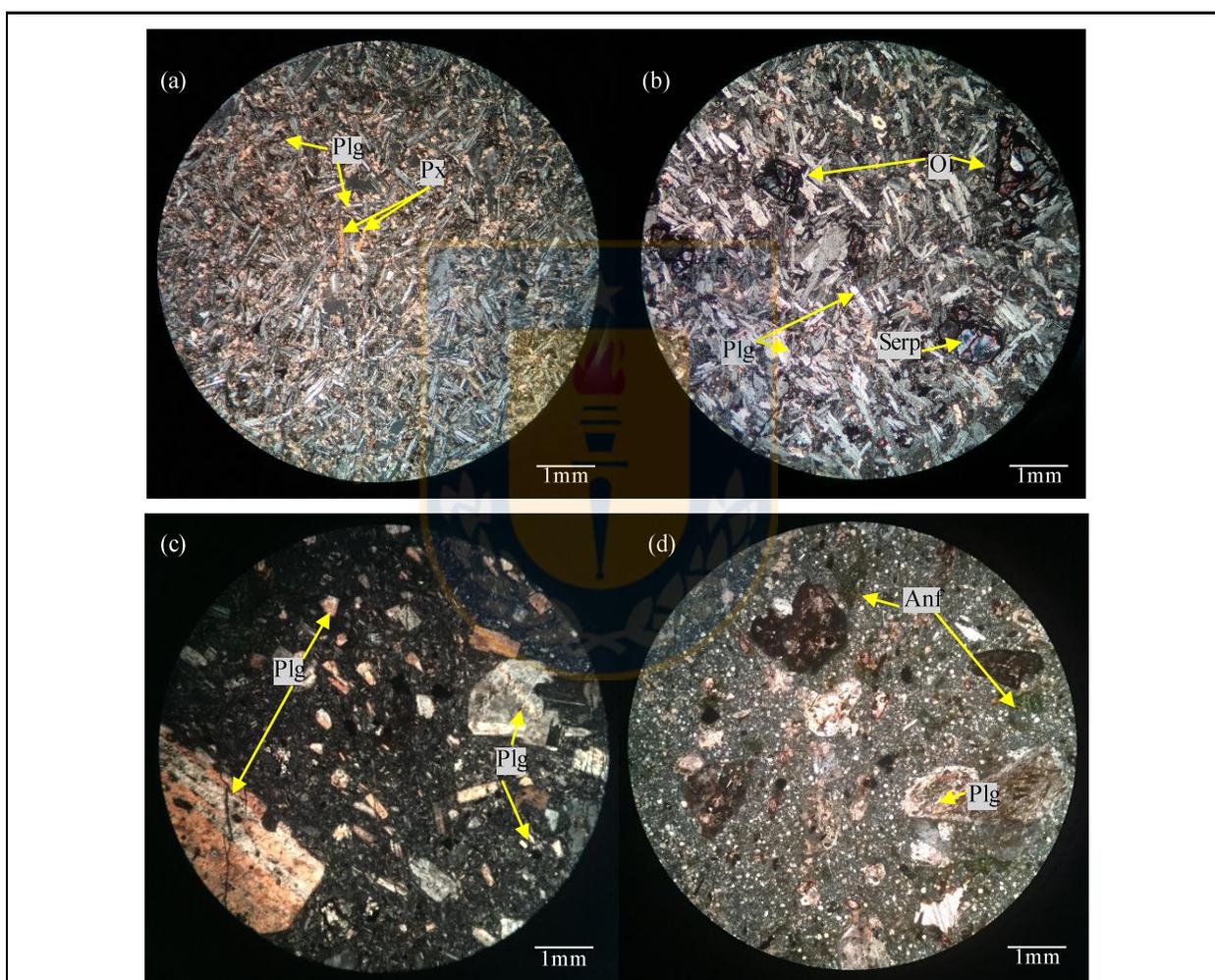


Figura 3.7 Fotomicrografía de las muestras de basalto/andesita basáltica CPV-14-245 (a) y CPV-14-253 (b), y muestras de andesitas CPV-15-349 (c) y CPV-15-331 (d) en nicoles cruzados. Aumento 2,5x. En (a) la textura es porfídica intersertal, donde los cristales de piroxenos (Px) ocupan espacios entre los cristales de plagioclasa (Plg). En (b) se observa también una textura porfídica intergranular, con cristales de olivino alterados a serpentina (Serp) rodeados de plagioclasa (Plg). (c) presenta una textura porfídica en una masa fundamental desvitrificada, los minerales que se observan son plagioclasa (Plg) de diferentes tamaños. (d) de textura vitroclástica está compuesto por cristales de anfíbol (Anf) y de plagioclasa (Plg) alteradas a arcillas, los máficos se encuentran alterados a clorita.

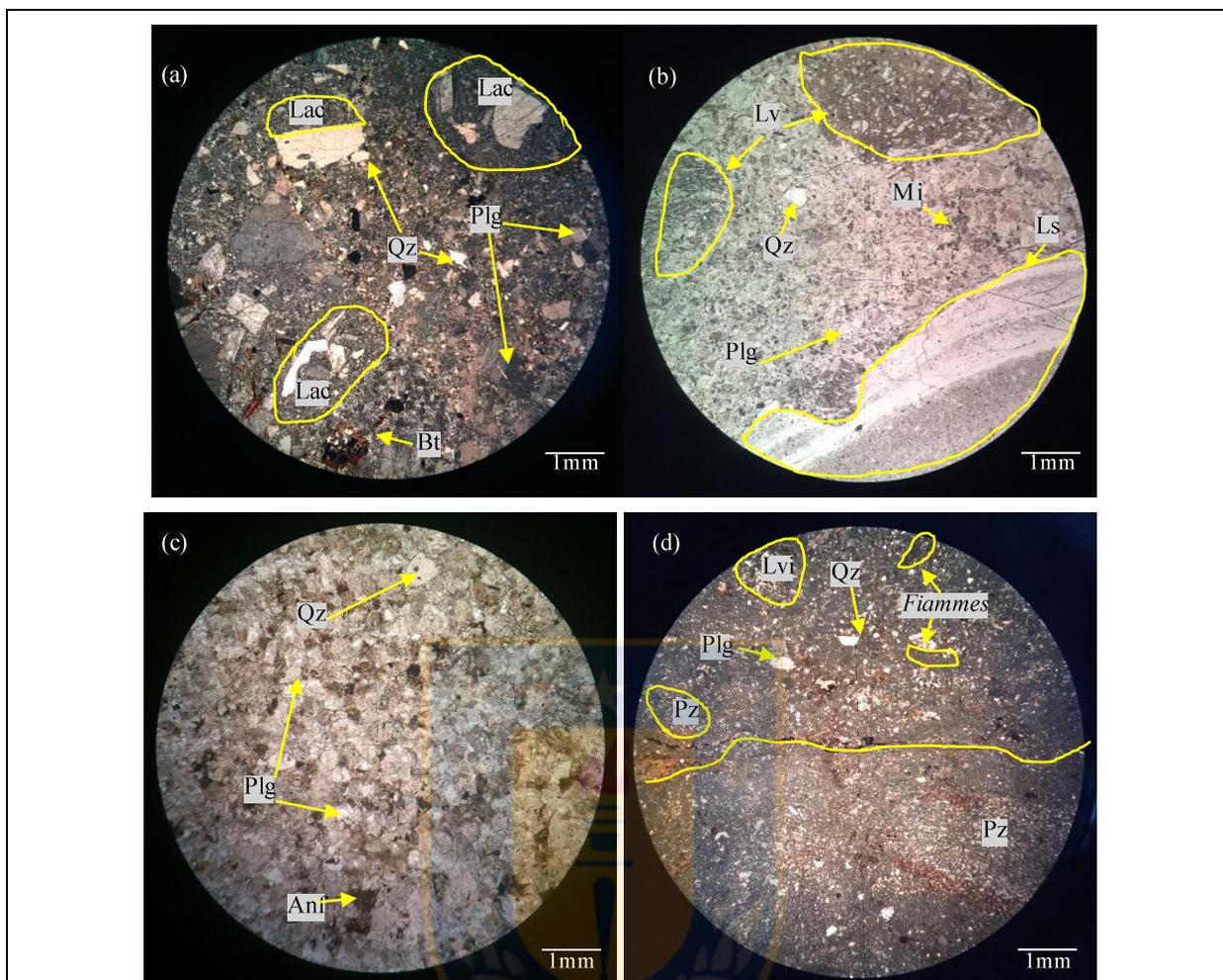


Figura 3.8 Fotomicrografía de las muestras de tobas CPV-14-267 (a) y CPV-14-268 (d) en nicóles cruzados y CPV-15-389 (b) y CPV-15-335 (c) en luz polarizada plana. Aumento 2,5x. Las muestras presentan una textura fragmental. En (a) se presenta una textura fragmental con cristales de plagioclasa (Plg), cuarzo (Qz) con bordes embahiados, y biotita (Bt) alteradas a clorita, junto con líticos volcánicos ácidos (Lac) en matriz desvitrificada. (b) se compone mineralógicamente de plagioclasa (Plg), cuarzo (Qz) y máficos indeterminados (Mi), junto con líticos volcánicos (Lv) de composición intermedia a básica y sedimentarios (Ls) que presentan bandeamiento todo en matriz vítrea. (c) se caracteriza por tener una composición “dacítica” siendo los cristales de plagioclasa (Plg) y cuarzo (Qz) la mayoría con alguno que otro anfíbol (Anf) o lítico andesítico en una matriz desvitrificada y alterada a arcillas. En (d) de textura fragmental eutaxítica se observan fenocristales de plagioclasa (Plg) y cuarzo (Qz) junto con pómez (Pz), líticos volcánicos de composición intermedia (Lvi) y *fiammes* de color oscuro en una masa fundamental levemente desvitrificada.

Las tobas vítreas poseen textura fragmental y son todas matriz soportadas a excepción de CPV-14-268. Poseen cristales subhedrales y fragmentados de plagioclasa (5 – 29%) alteradas leve a moderadamente a arcillas y/o sericita, cristales fracturados de cuarzo (0 – 9%)

y en la muestra CPV-15-348 máficos indeterminados (15%) los cuales son oscuros. Entre los líticos hay de tipo andesíticos (4 – 27%), de composición intermedia (0 – 34 %), similares a los andesíticos y en la muestra CPV-14-268 la cual posee textura eutaxítica se encuentran pómez que alcanzan hasta los 10,5 mm y *fiammes* oscuras (Figura 3.8d). La masa fundamental vítrea la cual presenta distintos grados de desvitrificación y alteración, entre los minerales a los que se altera hay arcillas principalmente. Adicionalmente se encuentran líticos vítreos alterados en CPV-14-252, las cuales se disponen formando una pseudo matriz alrededor de la plagioclasa.

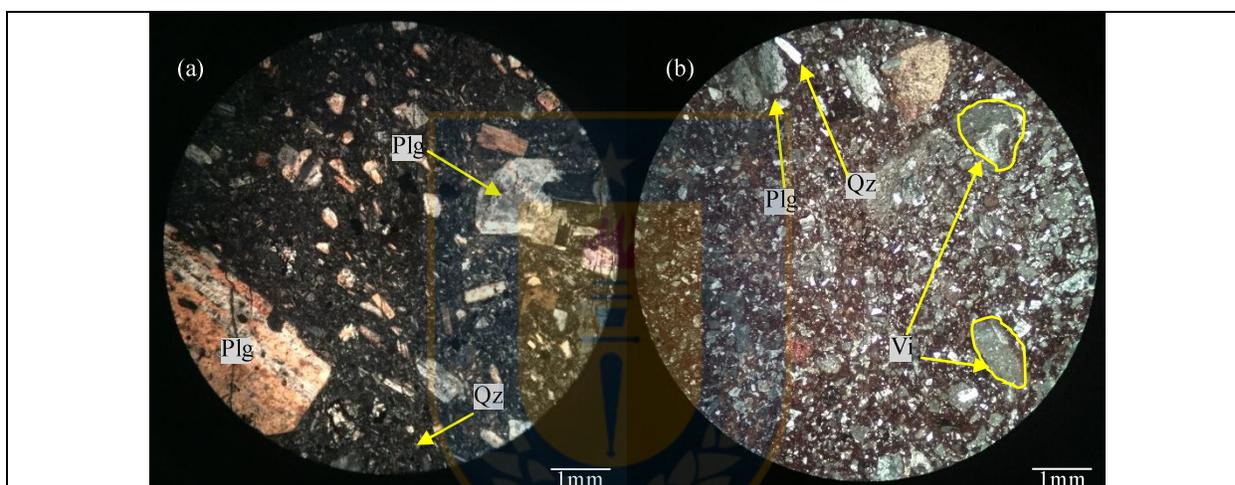


Figura 3.9 Fotomicrografía de la muestra brecha CPV-15-349 (a) y CPV-15-350 en nicoles cruzados. Aumento 2,5x. En (a) se observa la textura porfídica con fenocristales de plagioclasa (Plg) alteradas a sericita y arcillas levemente y cuarzo (Qz) de baja dimensión en una masa fundamental de vidrio. (b) de textura fragmental es clasto-soportada y presenta cristales de plagioclasa (Plg) alteradas a sericita y cuarzo (Qz) redondeados, junto con líticos volcánicos intermedios (Vi) con fenocristales de plagioclasa en vidrio desvitrificado.

En terreno se observa un afloramiento de una brecha piroclástica polimíctica, en la cual se observan líticos de andesitas en la muestra CPV- 15-349 (Figura 3.9a), la cual tiene textura porfídica y fenocristales euhedrales a subhedrales de plagioclasa alterados levemente a sericita y arcilla, y fenocristales de cuarzo anhedrales muy escasos en una masa fundamental de vidrio desvitrificada y alterada moderadamente a arcilla. También se observan líticos de riolitas alteradas y basaltos vesiculares oscuros (escoria). Se tomó una muestra de la matriz CPV-15-350 (Figura 3.9b), la que se considera una toba cristalina clasto soportada de textura

fragmental, con cristales subhedrales a anhedrales de plagioclasa alterada levemente a sericita y muy poco cuarzo anhedral con bordes redondeados (leve retrabajo), junto con líticos andesíticos oscuros alterados a arcilla con textura porfídica con fenocristales de plagioclasa, el vidrio se encuentra desvitrificado.

3.2.1.2 Formación Cerro Guanaco

La Formación Cerro Guanaco corresponde a una sucesión de rocas volcánicas básicas a ácidas y volcanoclásticas. Entre las muestras se encuentran basaltos (CPV-14-163) andesitas (CPV-14-167, CPV-14-171 y CPV-14-174), dacitas (CPV-14-164, CPV-14-166, CPV-14-169A, CPV-14-172 y CPV-14-173), brechas piroclásticas (CPV-14-157) y tobas líticas (CPV-14-165).

Los basaltos se presentan con textura porfídica con fenocristales de piroxenos subhedrales completa o casi completamente alterados a clorita y talco, olivinos subhedrales en CPV-14-163 con la misma alteración y escasa plagioclasa (10% y 6% respectivamente) alteradas a arcillas, encontrándose la gran mayoría de éstas en la masa fundamental junto con vidrio desvitrificado alterado a arcillas (Figura 3.10a).

Las andesitas en su mayoría presentan textura porfídica/vitrofídica o afánítica localmente porfídica (CPV-14-171; Figura 3.10b). Los fenocristales de anfíbol subhedrales están presentes en la mayoría de las muestras, pero no exceden el 6% y se encuentran alterados a clorita fuertemente con epidota u óxido ocasional, hasta 28% de plagioclasa en fenocristales alterados moderadamente a sericita y en menor grado a arcillas. En la masa fundamental encontramos microcristales de plagioclasa con la misma alteración que los fenocristales y vidrio desvitrificado.

Las dacitas tienen textura porfídica/vitrofídica en todos los casos, siendo en CPV-14-172 principalmente afánítica (Figura 3.11a). Los fenocristales de plagioclasa euhedral a subhedral alcanzan el 22% y levemente alterados a sericita y arcillas, también pueden encontrarse como microcristales en la masa fundamental. El cuarzo está presente en todas las muestras en un rango de 2-6%, al igual que el anfíbol subhedral que no supera el 14% y está alterado moderada a fuertemente a clorita + epidota. Similarmente en CPV-14-169A (Figura

3.11b) hay fenocristales de biotita alterados a clorita. El vidrio esta desvitrificado en todas las muestras alterado a arcillas y rellenando espacios hay calcita.

Respecto a las tobas, éstas son líticas con textura fragmental, clastosoportadas, cristales ligeramente fragmentados y escasos de plagioclasa (5 %), y una gran cantidad de líticos andesíticos, los cuales están compuestos en su mayoría por cristales de plagioclasa, poseen forma angulosa, se encuentran fragmentados y son de color gris en LPP. Existe una desvitrificación del vidrio y alteración a arcillas de éste (Figura 3.12a).

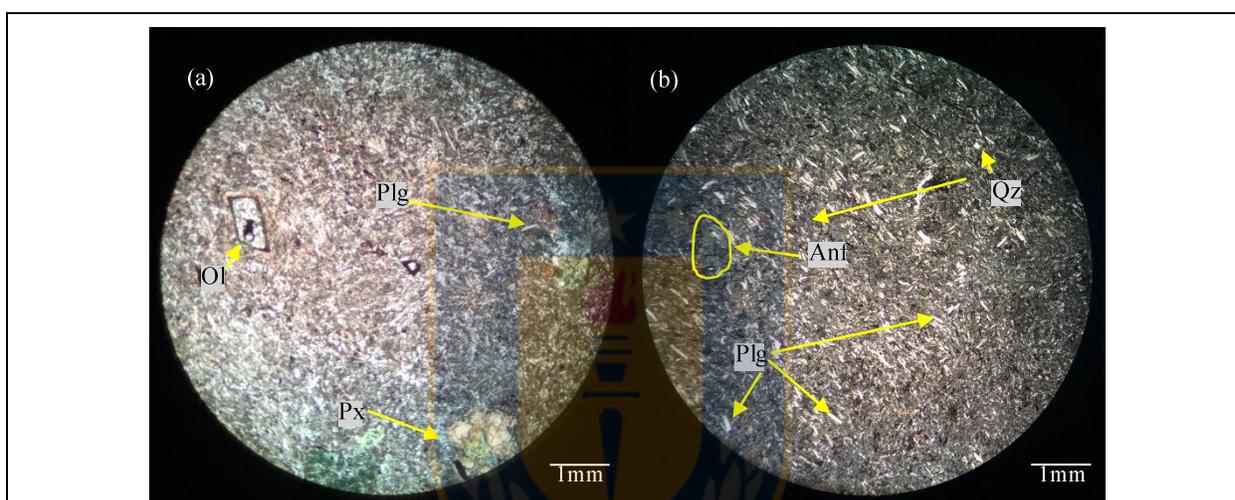


Figura 3.10 Fotomicrografía de la muestra de basalto CPV-14-163 (a) y de andesita CPV-14-171 (b) en nicoles cruzados. Aumento 2,5x. En (a) se observa la textura porfídica con fenocristales y microcristales de plagioclasa (Plg), piroxeno (Px) subhedrales alterados a clorita y olivino (Ol) alterados a clorita y talco en una masa fundamental de desvitrificada. (b) presenta una textura afanítica levemente porfídica con fenocristales de plagioclasa (Plg), cuarzo (Qz) y anfíbol (Anf) alteradas a clorita en masa fundamental desvitrificada.

La brecha piroclástica es polimíctica clasto soportada de textura brechosa con líticos angulosos siendo los de andesita los de mayor dimensión; éstos son de color gris oscuro con fenocristales de plagioclasa y anfíbol. Hay líticos de composición más ácida los cuales tienen una masa fundamental felsofídica y fenocristales de plagioclasa y biotita; Éstos constituyen mayoría entre los líticos de la roca. Hay una pequeña porción de líticos indeterminados muy alterados entre los cuales se distinguen micas y arcillas. Los fenocristales son escasos (14 % en total), y entre ellos hay plagioclasa fragmentada y cuarzo subredondeado. El vidrio se encuentra alterado a arcillas y desvitrificado (Figura 3.12b).

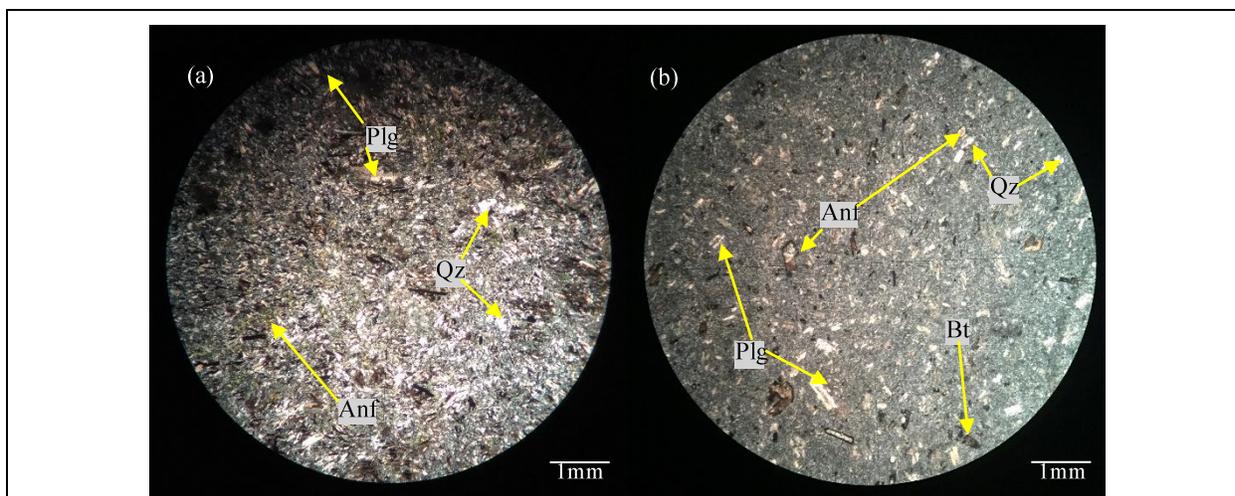


Figura 3.11 Fotomicrografía de las muestras de dacita CPV-14-172 (a) y CPV-14-169 A (b) en nicols cruzados. Aumento 2,5x. En (a) se observa la textura afanítica levemente porfídica con fenocristales y microcristales de plagioclasa (Plg), anfíbol (Anf) subhedrales alterados a clorita y cuarzo (Qz) en una masa fundamental de desvitrificada. (b) presenta una textura porfídica con fenocristales de plagioclasa (Plg), cuarzo (Qz), biotita (Bt) y anfíbol (Anf) alterados a clorita en masa fundamental desvitrificada.

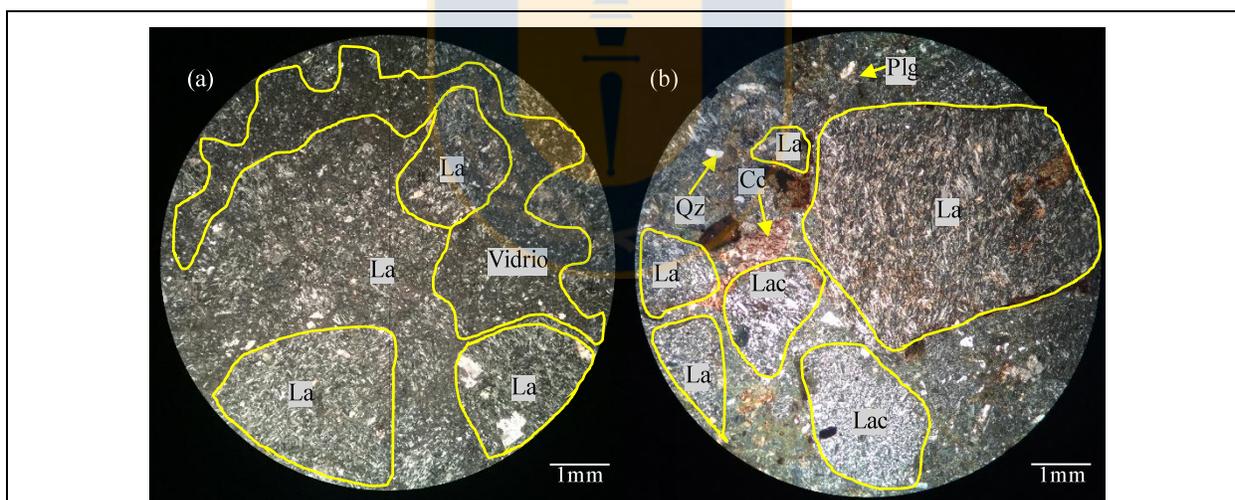


Figura 3.12 Fotomicrografía de la muestra de toba CPV-14-165 (a) y de brecha CPV-14-157 (b) en nicols cruzados. Aumento 2,5x. En (a) se observa la textura fragmental en la muestra clasto soportada con microcristales de plagioclasa muy escasos y líticos andesíticos (La) con calcita relleno espacios en una masa fundamental de vidrio. (b) posee una textura fragmental brechosa, con cristales de plagioclasa (Plg) y cuarzo (Qz), junto con líticos ácidos (Lac), líticos andesíticos (La) y líticos indeterminados en una matriz desvitrificada con calcita (Cc) relleno espacios.

3.2.1.3 Formación Agua Chica

Esta unidad está conformada por rocas volcánicas y volcanoclásticas. Andesitas (CPV-14-194, CPV-14-196, CPV-14-197 Y CPV-14-198) y toba de lapilli lítica (CPV-14-195) son las muestras con sección transparente descritas.

Las andesitas presentan una textura porfídica (con excepción de un clasto andesítico en una brecha la cual es de textura traquítica), con fenocristales de plagioclasa euhedral a subhedral alterada moderada a ligeramente en arcillas y calcita (Figura 3.13a). La plagioclasa también forma parte de la masa fundamental en forma de microcristales alargados. Anfíbol está presente en todas las muestras y se reconoce por su forma euhedral tabular, pero éstos se encuentran completamente alterados a óxidos y calcita y en menor grado a epidota; los fenocristales subhedral a euhedral de biotita se encuentran cloritizados y oxidados en menor grado. La masa fundamental está compuesta por las plagioclasa microcristalina antes mencionadas y vidrio desvitrificado alterado a arcillas.

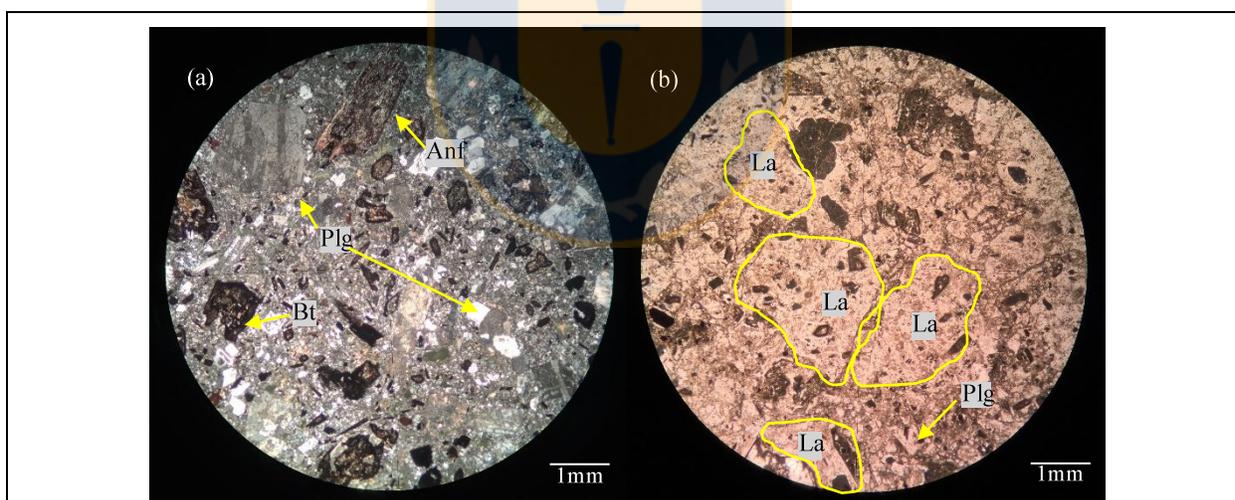


Figura 3.13 Fotomicrografía de la muestra de andesita CPV-14-198 (a) en nicoles cruzados y de toba CPV-14-195 (b) en luz polarizada plana. Aumento 2,5x En (a) de textura porfídica se observan fenocristales de plagioclasa (Plg), biotita (Bt) y anfíbol (Anf) con bordes oxidados de color oscuro en una masa fundamental desvitrificada. En cambio, la muestra clastoportada (b) presenta una textura fragmental con cristales de plagioclasa (Plg), junto con líticos volcánicos andesíticos (La) de textura porfídica con fenocristales de plagioclasa y máficos, todo esto en matriz desvitrificada.

La muestra volcanoclástica (Figura 3.13b) corresponde a una toba de lapilli lítica de textura fragmental, es clasto soportada con un 74% de líticos de andesitas grises angulosos con fenocristales de plagioclasa y máficos alterados en vidrio desvitrificado al igual que el vidrio que conforma la matriz de la roca. Los fenocristales son realmente escasos, apenas un 6% y corresponden a pequeñas plagioclasa fragmentadas de hasta 0,4 mm. La alteración más común es a arcillas tanto el vidrio como los bordes de los líticos y calcita en los bordes de los líticos.

3.2.1.4 Formación Cifuncho

García (1967) definió la Formación Cifuncho como “una secuencia constituida por conglomerados, areniscas, brechas volcánicas y tobas, que afloran en la Quebrada de Cifuncho”. También se incluye en esta unidad la secuencia de lavas y brechas volcánicas que Mercado (1980) definió como Formación Agua Chica en el área de Pan de Azúcar. Las muestras corresponden a andesitas (CPV-14-177A, CPV-14-177B, CPV-14-177C, CPV-14-183, CPV-14-184, CPV-14-185, CPV-14-186 y CPV-14-187), dacitas (CPV-14-190) y tobas de lapilli líticas (CPV-14-178, CPV-14-179 y CPV-15-301) y tobas vítreas (CPV-15-302).

Andesitas de textura porfídica/vitrofídica y traquítica o interstetal en algunas muestras (Figura 3.14a), los fenocristales más comunes y únicos en algunas muestras son plagioclasa euhedral a subhedral de diferentes tamaños y alterados ligeramente a epidota, en la masa fundamental se encuentran microcristales orientados en las muestras que presentan la textura traquítica antes mencionada. Fenocristales de anfíbol son bastante comunes son subhedral y alterados a clorita y epidota ligera a moderadamente. Los de biotita son de menor tamaño, subhedral y alterados a clorita moderadamente. La masa fundamental para todos los casos en principalmente vidrio y microcristales de plagioclasa; el vidrio se encuentra desvitrificado y alterado a arcillas y ocasionalmente hay calcita rellenando espacios.

En lo que respecta a las dacitas hay solo una muestra de textura porfídica tiene fenocristales de plagioclasa subhedral alterados a epidota y calcita levemente (Figura 3.14b), con cuarzo euhedral a anhedral que alcanza los 2,9 mm, fracturado, anfíbol euhedral a subhedral con una alteración fuerte a óxido y biotitas anhedral sin alteración. La masa fundamental es microcristales de plagioclasa y vidrio desvitrificado y alterado a arcillas.

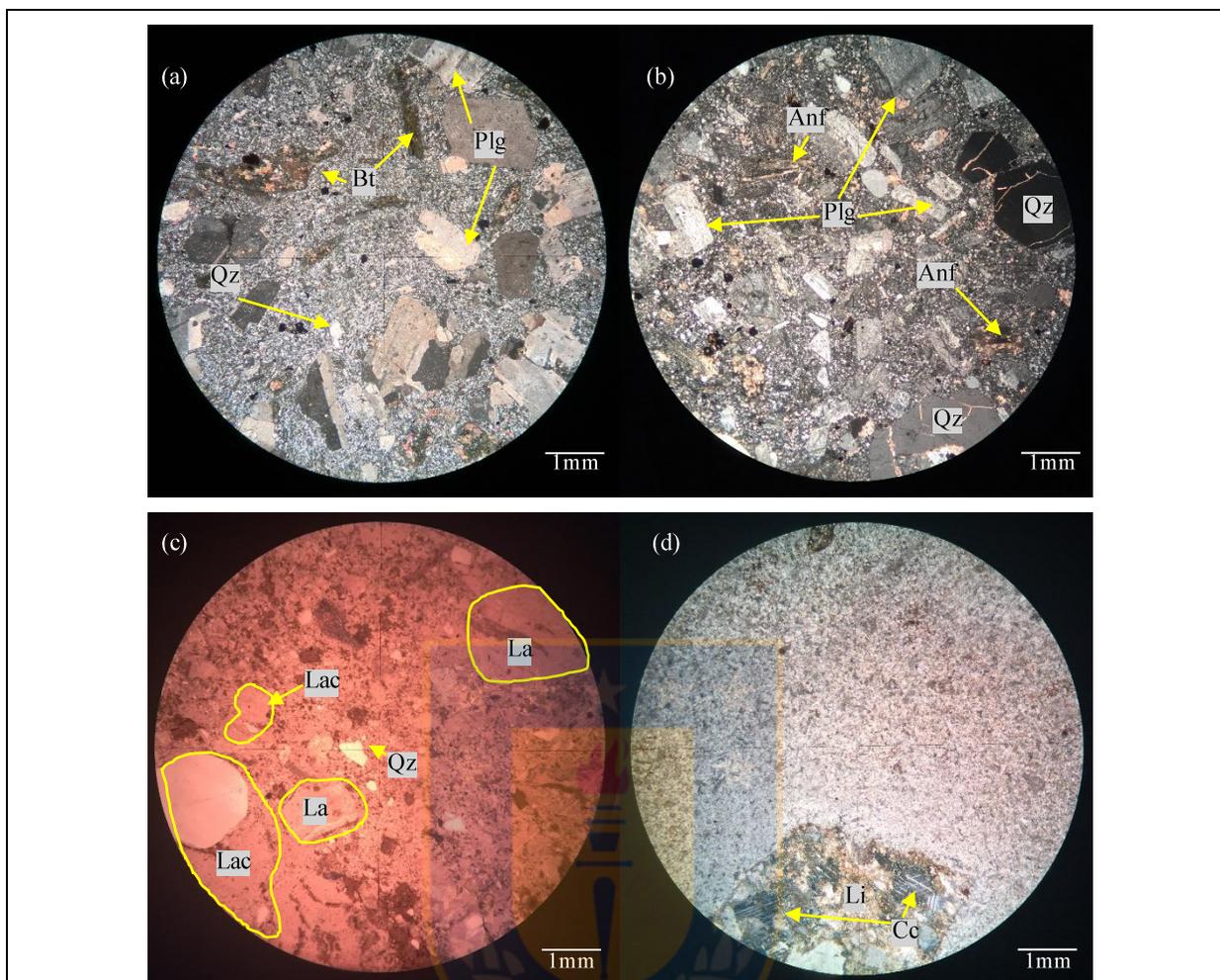


Figura 3.14 Fotomicrografía de la muestra de andesita CPV-14-184 (a), dacita CPV-14-190 (b) y de tobas CPV-15-302 (d) en nicols cruzados y CPV-15-301 (c) en luz polarizada plana. Aumento 2,5x La muestra (a) presenta una textura porfídica traquitica debido a la orientación leve de las plagioclasa, con fenocristales de biotita (Bt) cloritificadas, cuarzo (Qz) y plagioclasa (Plg), e incluso microcristales de plagioclasa en la masa fundamental, junto con vidrio desvitrificado. (b) tiene textura porfídica y se caracteriza por cristales de cuarzo (Qz), plagioclasa (Plg) y anfíbol (Anf) en una masa fundamental desvitrificada y alterada a arcillas. La muestra clastosoportada y fragmental (c) se compone mineralógicamente cuarzo (Qz), junto con líticos volcánicos ácidos (Lac) con “ojos de cuarzo” y líticos andesíticos (La) con textura traquitica, todo en matriz desvitrificada. (d) de textura fragmental, matriz soportado está compuesto por cristales de lo que parecen ser plagioclasa, junto con líticos indeterminados (Li) debido al alto nivel de alteración a calcita, clorita y carbonato presente en la roca en una matriz vítrea.

Las tobas líticas son de lapilli y poseen textura fragmental y son clastosoportadas con cristales fragmentados de plagioclasa alterada levemente a epidota, cuarzo en mucho menor porcentaje y subredondeados. Los líticos son volcánicos andesíticos moderadamente sucios y angulosos de textura porfídica con fenocristales de plagioclasa y son de mayor tamaño que los líticos volcánicos ácidos también que conforman la roca son menos sucios de textura porfídica

también, pero con fenocristales de plagioclasa, biotita y/o cuarzo. El vidrio se encuentra desvitrificado y alterado levemente a arcillas (Figura 3.14c)

Por último, la toba vítrea es matriz soportada de textura fragmental con cristales de lo que parece ser plagioclasa fragmentales (2%) son cristales euhedrales completamente alterados a arcillas y calcita. Los líticos sufren una alteración a clorita y calcita, pero sus bordes son distinguibles, pero no permiten su determinación. El vidrio esta alterado a arcillas, calcita y carbonato indeterminado (Figura 3.14d).



4 CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA

Para llevar a cabo la caracterización geoquímica de las unidades en estudio, presentes en la Cordillera de la Costa y la Alta Cordillera, se seleccionaron un total de 27 muestras que fueron sometidas a un análisis químico efectuado en el laboratorio Actlabs (Ontario, Canadá), con el fin de determinar su contenido en elementos mayores y elementos traza, por medio de ICP (*Induced Coupled Plasma*) e ICP-MS (*Induced Coupled Plasma – Mass Spectrometry*), respectivamente. Las muestras antes de ser enviadas a Actlabs se limpian, se reducen y se pulverizan utilizando herramientas geológicas personales y de los laboratorios del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Concepción, Campus Concepción.

Las muestras elegidas corresponden a La Formación La Tabla (3), el Complejo Plutónico Punta del Viento (1), Complejo Plutónico Cifuncho (2), Formación Sierra de Varas (9), Formación Cifuncho (3), Formación Cerro Guanaco (7) y Formación Agua Chica (2).

La mayoría de estas rocas, además fueron sometidas a un análisis isotópico de roca total, para los isótopos de Sr, Nd y Pb, ejecutado con TIMS (*Thermal Ionization Mass Spectrometry*) en el Centro Marum de la Universidad de Bremen, Alemania.

De acuerdo a la descripción petrográfica (Capítulo 3), 24 muestras corresponden a rocas volcánicas que incluyen lavas, tobas y brechas y 3 son rocas intrusivas. En este capítulo llevará a cabo la caracterización geoquímica de las rocas ígneas por medio de diagramas de clasificación y variación, diagramas de tierras raras y multielementos. Los gráficos que se expondrán, fueron confeccionados con los *softwares* Igpert y GeoChemical Data toolkit (GCDkit). Para ingresar los datos a dichos programas, se deben generar planillas Excel que cuenten con los datos de cada muestra, es decir, su nombre, sus contenidos en cada uno de los elementos mayores en porcentaje y sus contenidos en elementos traza en partes por millón (ppm), su edad en millones de años (Ma) y las razones actuales e iniciales de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ y el ϵNd . Estas planillas Excel se deben guardar posteriormente como un archivo de texto delimitado por tabulaciones.

Tabla 4.1: Listado de muestras escogidas para análisis químico indicando sus respectivas unidades y edades utilizando la Tabla Cronoestratigráfica Internacional 2016.

Muestra	Unidad	Edad	Periodo y Época, Edad
CPV-14-194	Formación Agua Chica	200	Jurásico Inferior, Hettangiense
CPV-14-198			
CPV-14-159	Formación Cerro Guanaco	206,5	Triásico Superior, Rhaetiense
CPV-14-164			
CPV-14-166			
CPV-14-167			
CPV-14-169A			
CPV-14-172			
CPV-14-173			
CPV-14-187	Formación Cifuncho	210,1	
CPV-14-184			
CPV-14-190			
CPV-14-245	Formación Sierra de Varas	212	Triásico Superior, Noriense
CPV-14-247			
CPV-14-253			
CPV-14-256			
CPV-15-330			
CPV-15-332			
CPV-15-337			
CPV-15-359			
CPV-15-386			
CPV-15-386			
CPV-14-191	Complejo Plutónico Cifuncho	257,5	Pérmico Lopingiense, Wuchiapingiense
CPV-14-180A		283,15	Pérmico Cisuraliense, Kunguriense
CPV-14-249	Formación La Tabla	292	Pérmico Cisuraliense, Sakmariense
CPV-15-365	Complejo Plutónico Punta del Viento		
CPV-15-353	Formación La Tabla	293,65	
CPV-14-176		295,1	

4.1 DIAGRAMAS DE CLASIFICACIÓN

En primer lugar, los elementos mayores se normalizan al 100% en razón a una base anhidra, esto lo realiza automáticamente el *software* igpet. En la planilla Excel utilizada como base de datos, se calculan los valores de $FeO_{Ajustado}$ (Ecuación 4.1) y $Fe_2O_{3Ajustado}$ (Ecuación 4.2), para determinar el FeO_{total} (Ecuación 4.3) como se muestra a continuación:

$$FeO_{Ajustado} = (Fe_2O_{3total} / (1+R)) \quad \text{(Ecuación 4.1)}$$

$$Fe_2O_{3Ajustado} = Fe_2O_{3total} - (Fe_2O_{3total} / (1+R)) \quad \text{(Ecuación 4.2)}$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{total}} = (0,899809 \times \text{Fe}_2\text{O}_{3\text{Ajustado}}) + \text{FeO}_{\text{Ajustado}} \quad (\text{Ecuación 4.3})$$

En las ecuaciones anteriores el (Fe_2O_3) total es el Fe determinado en el análisis químico y R representa la razón $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$, es decir la proporción entre el $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$, valor que oscila entre 0,15 y 0,5. Con esto se le asigna a cada muestra un R de acuerdo al tipo de roca en el que clasifica según el diagrama TAS (*Total Alkalis vs Silica*, Figura 4.1).

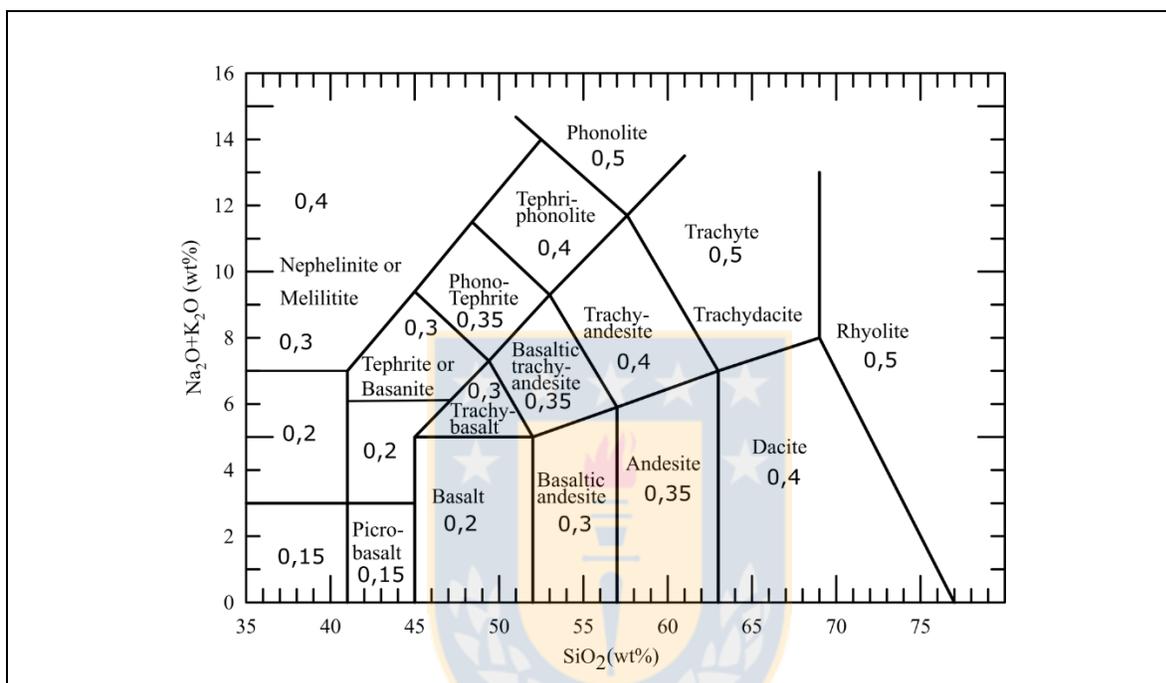


Figura 4.1 Diagrama TAS (*Total Alkalis vs Silica*), mostrando los valores R propuestos por Middlemost (1989) según el tipo de roca. Modificado por Rollinson (1993).

En este estudio las rocas ígneas son mayoritariamente intermedias y en menor grado básicas y ácidas. El contenido en SiO_2 para las lavas varía entre un 51,1 y 79,94%; para el caso de las tobas fluctúa entre un 62,96 y 81,32%; los diques poseen contenidos entre los 50,67 y 74,98%; las rocas intrusivas tienen entre un 68,47 y un 77,72%. Sus contenidos en Al_2O_3 varían entre 9,93 – 18,32%, el Fe_2O_3 Total entre 0,55 – 9,16%, el MnO entre 0,011 – 0,173%, el MgO entre 0,04 – 5,85%, el CaO varía entre 0,22 – 8,63%, el Na₂O entre 1,69 – 6,78%, el K₂O varía entre 0,06 – 4,53%, el TiO₂ entre 0,085 – 1,234%, el P₂O₅ entre 0,01 – 0,42% y el LOI fluctúa entre un 0,4 – 5,06%.

De acuerdo al diagrama TAS, las rocas volcánicas se clasifican desde riolita a basalto, encontrando versiones traquíticas de dacitas y andesitas basálticas (Figura 4.2). Cabe destacar que como se señaló en el capítulo anterior y en el Anexo 1: Petrografía, las rocas volcánicas

presentan un grado de alteración que varía, desde leve a fuerte, y que los principales minerales de alteración observados eran arcillas y sericita afectando a los feldespatos, localmente epidota en algunas plagioclasas y en los minerales máficos había serpentina en los olivinos y clorita, epidota y minerales opacos en los demás. Debido a que el álcalis es lo más probable que haya sido removido durante la alteración, por lo que el diagrama TAS no es el correcto a la hora de llevar a cabo la clasificación petrográfica (Rollinson, 1993).

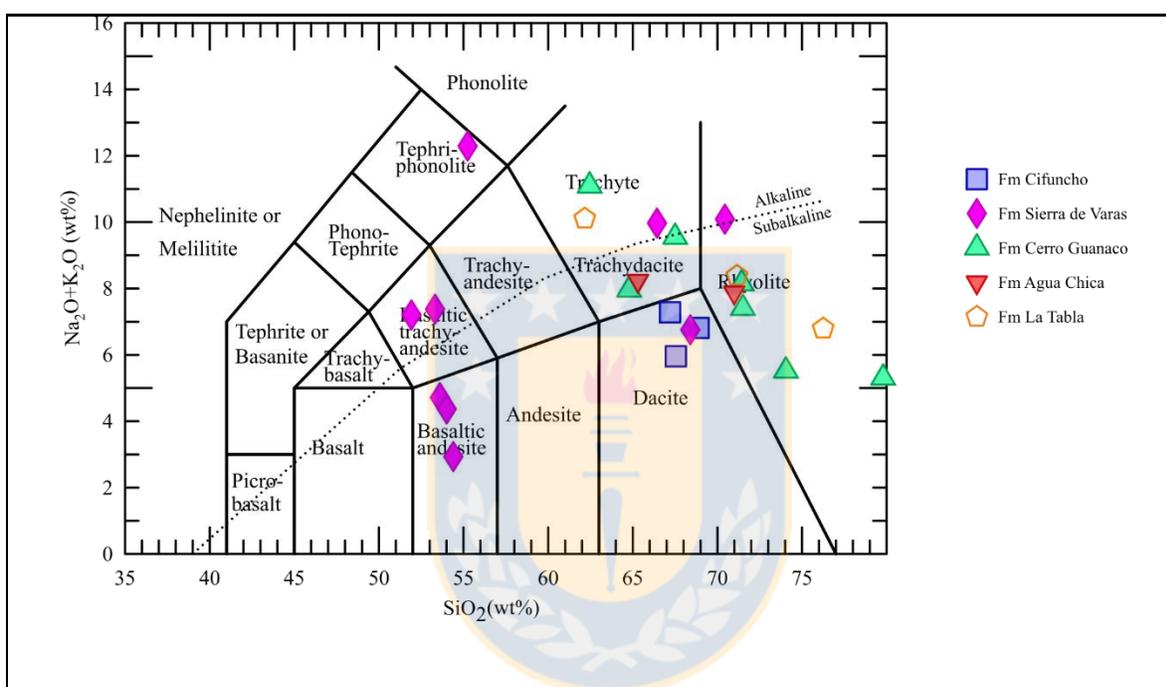


Figura 4.2 Diagrama de clasificación para rocas volcánicas TAS (*Total Alkalies vs Silica*) de Le Maitre *et al.* (1989). La línea segmentada divide a las rocas en las series alcalina y subalcalina de acuerdo a la propuesta de Irvine y Baragar (1971). Generado por el *software* igpet.

Por las razones anteriores es mejor utilizar un diagrama de clasificación geoquímica que utilice elementos de menor movilidad, así como son los HFSE (High Field Strength Elements) los cuales incluyen a las tierras raras/REE (Rare Earth Elements) Sc, Y, Th, Zr, Hf, Ti, Nb, Ta y P (Pearce, 1983 en Rollinson, 1993). El diagrama de Winchester y Floyd (1977) que contrasta la razón Zr/TiO_2 con Nb/Y es el que se utiliza en estas ocasiones (Figura 4.3). En el diagrama se puede observar que las rocas poseen una amplia variación petrográfica, la cual va desde riolita a basalto subalcalino. Esto sugiere que la muestra CPV-15-337 posee feldespatoides que le confieren un carácter alcalino y que la muestra CPV-15-353 no refleja debidamente su clasificación debido a que se trata de un clasto dentro de una brecha volcánica.

Cabe destacar que son las rocas de la Formación Sierra de Varas las que presentan la mayor variabilidad, ya que las demás formaciones están casi en su totalidad en el campo de riolita/dacita y andesita.

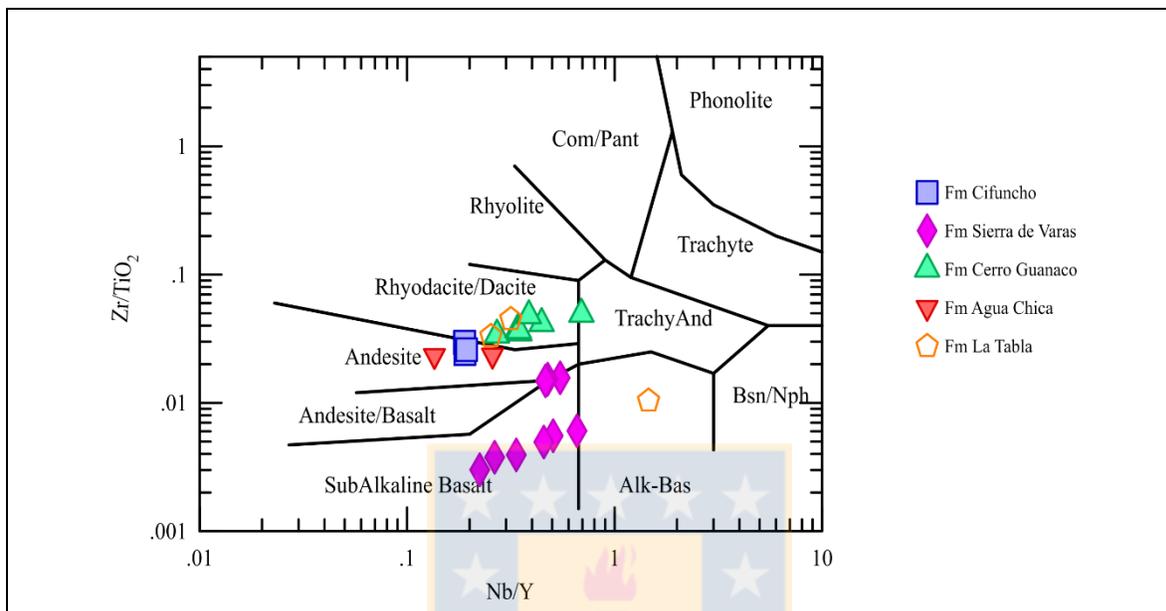


Figura 4.3 Diagrama de clasificación para rocas volcánicas Zr/TiO_2 vs Nb/Y de Winchester y Floyd (1977). Generado por el *software* igpet.

Las rocas intrusivas, que corresponden a 3 muestras, se clasifican en un diagrama TAS de Cox y otros 1979, utilizando el *software* GCDkit. Cabe destacar que la muestra CPV-15-365 perteneciente al Complejo Plutónico Punta del Viento no cae en los campos de clasificación propuestos debido a su alto contenido de SiO_2 (>75%), pero se considera granito debido a que es el campo más cercano para su clasificación. Por lo tanto, todas las muestras corresponden a granitos según esta clasificación y pertenecen a la serie subalcalina (Figura 4.4). La clasificación puede ser comprobada en el diagrama TAS de Middlemost (1985) como se aprecia en la Figura 4.5, en la cual las 3 muestras caen en el campo de los granitos.

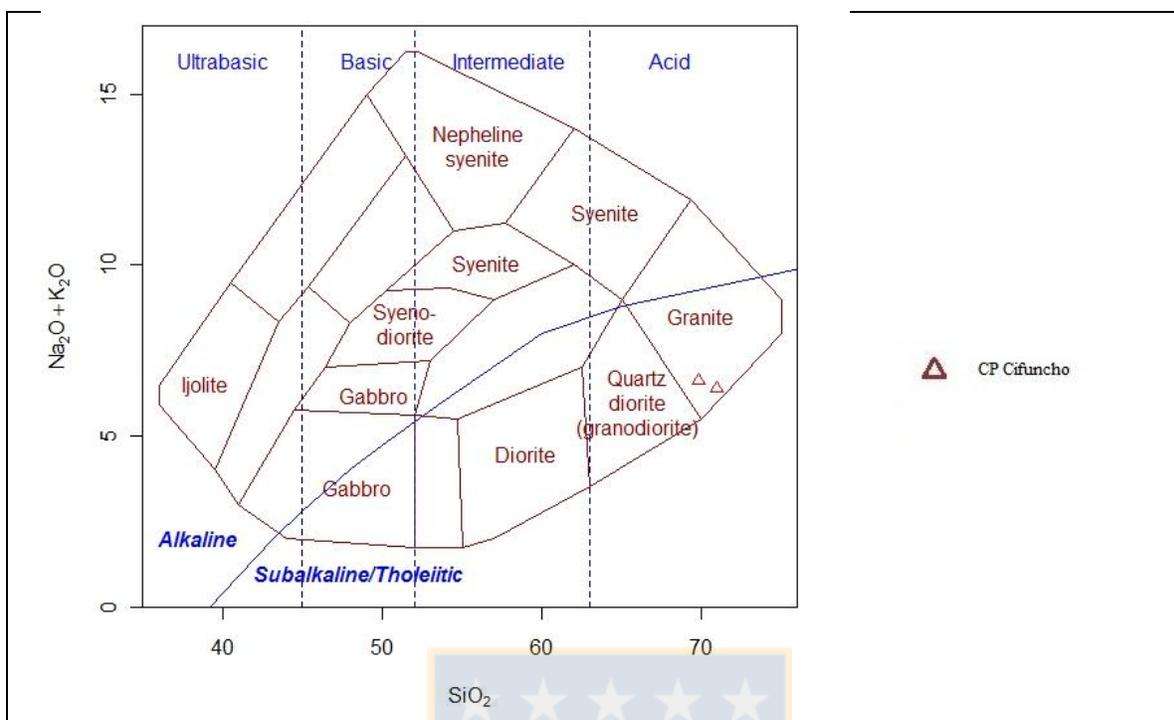


Figura 4.4 Diagrama de clasificación para rocas intrusivas Alcalis vs SiO_2 de Cox *et al.* (1979). La línea azul divide las rocas en serie alcalina y subalcalina/toleítica de acuerdo a la propuesta de Irvine y Baragar (1971). Generado por el *software* GCDkit.

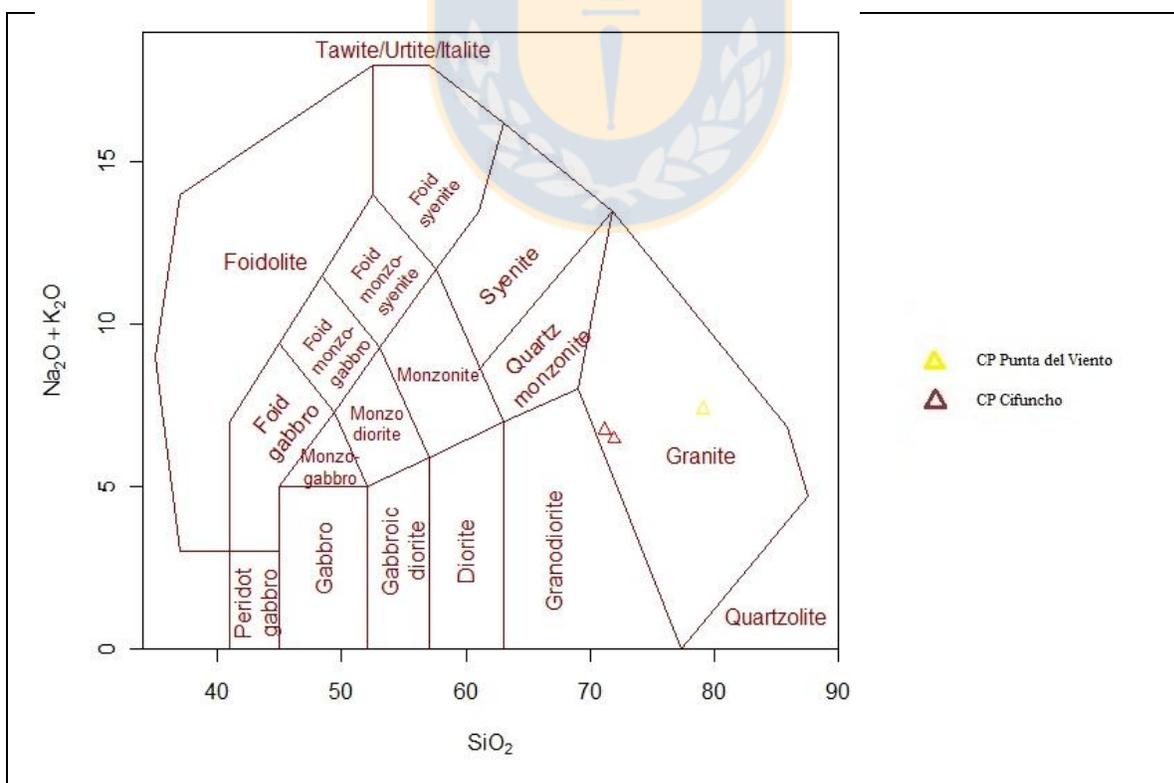


Figura 4.5 Diagrama TAS de Middlemost (1985) para la clasificación de rocas intrusivas. Generado por el *software* GCDkit.

Para resumir, en la Tabla 4.2 se comparan las clasificaciones geoquímicas anteriores con la clasificación petrográfica realizada bajo microscopio en el capítulo 3, con excepción de la muestra CPV-14-249 la cual se encontraba disgregada y se clasificó en terreno.

Tabla 4.2: Tabla comparativa para la clasificación de rocas volcánicas, volcanoclásticas y plutónicas.

Unidad	Muestra	Tipo de roca	Clasificación LeMaitre <i>et al.</i> 1983	Clasificación Winchester y Floyd 1977	Clasificación Petrográfica
Cerro Guanaco	CPV-14-159	Volcanoclástica	Riolita	Riodacita/dacita	Brecha volcánica (matriz)
	CPV-14-164	Volcánica	Traquita	Riodacita/dacita	Dacita de anfíbol
	CPV-14-166	Volcánica	Traquidacita	Riodacita/dacita	Dacita
	CPV-14-167	Volcánica	Riolita	Traquandesita	Andesita
	CPV-14-169A	Volcánica	Riolita	Riodacita/dacita	Dacita
	CPV-14-172	Volcánica	Traquidacita	Riodacita/dacita	Dacita de anfíbol
	CPV-14-173	Volcánica	Riolita	Riodacita/dacita	Dacita
La Tabla	CPV-14-176	Volcanoclástica	Riolita	Riodacita/dacita	Toba de lapilli cristalina
Cifuncho	CPV-14-184	Volcánica	Dacita	Andesita	Andesita de biotita
	CPV-14-187	Volcánica	Dacita	Andesita	Andesita (clasto)
	CPV-14-190	Volcánica	Dacita	Andesita	Dacita de anfíbol
Agua Chica	CPV-14-194	Volcánica	Riolita	Andesita	Andesita de anfíbol y biotita
	CPV-14-198	Volcánica	Traquidacita	Andesita	Andesita de anfíbol
Sierra de Varas	CPV-14-245	Volcánica	Andesita basáltica	Basalto subalcalino	Basalto andesítico
	CPV-14-247	Volcanoclástica	Dacita	Basalto subalcalino	Toba de lapilli lítica (dacítica)
La Tabla	CPV-14-249	Volcanoclástica	Riolita	Riodacita/dacita	Toba riolítica (sin corte)
Sierra de Varas	CPV-14-253	Volcánica	Traquandesita basáltica	Basalto subalcalino	Basalto de olivino
	CPV-14-256	Volcánica	Traquandesita basáltica	Basalto subalcalino	Andesita basáltica
	CPV-15-330	Volcanoclástica	Traquidacita	Andesita	Toba lítica (andesítica)
	CPV-15-332	Volcánica	Riolita	Andesita	Dacita
	CPV-15-337	Volcánica	Tefrifonolita	Basalto subalcalino	Autobrecha andesítica
La Tabla	CPV-15-353	Volcánica	Traquita	Basalto alcalino	Dacita (clasto)
Sierra de Varas	CPV-15-359	Volcánica	Andesita basáltica	Basalto subalcalino	Basalto
	CPV-15-386	Volcánica	Andesita basáltica	Basalto subalcalino	Andesita basáltica de piroxeno
Unidad	Muestra	Tipo de roca	Clasificación de Cox <i>et al.</i> 1979	Clasificación de Middlemost 1985	Clasificación Petrográfica
CP Cifuncho	CPV-14-180A	Plutónica	Granito	Granito	Monzogranito de biotita
	CPV-14-191	Plutónica	Granito	Granito	Monzogranito de biotita
CP Punta del Viento	CPV-15-365	Plutónica	Granito	Granito	Granodiorita

Las rocas ígneas también pueden ser divididas según su contenido de álcalis vs sílice en dos series magmáticas principales: serie alcalina y serie subalcalina. La mayoría de las muestras en la Figura 4.2 son subalcalinas (pero las muestras alcalinas de la formación Sierra

de Varas según la Figura 4.3 resultan ser subalcalinas) y éstas pueden ser divididas a su vez en toleíticas y calco-alcalinas en un diagrama AFM (Álcalis, $\text{FeO}_{\text{total}}$ y MgO) como se ve en la Figura 4.6, la cual expone en casi su totalidad que las muestras pertenecen a la serie calco-alcalina, con excepción de 3 muestras (CPV-14-172, CPV-14-198 y CPV-14-245) pertenecientes a las Formaciones Cerro Guanaco, Agua Chica y Sierra de Varas, las cuales caen en el campo toleítico, sin embargo, no muestran enriquecimiento en Fe en términos intermedios y para Sierra de Varas se observa un patrón calcoalcalino.

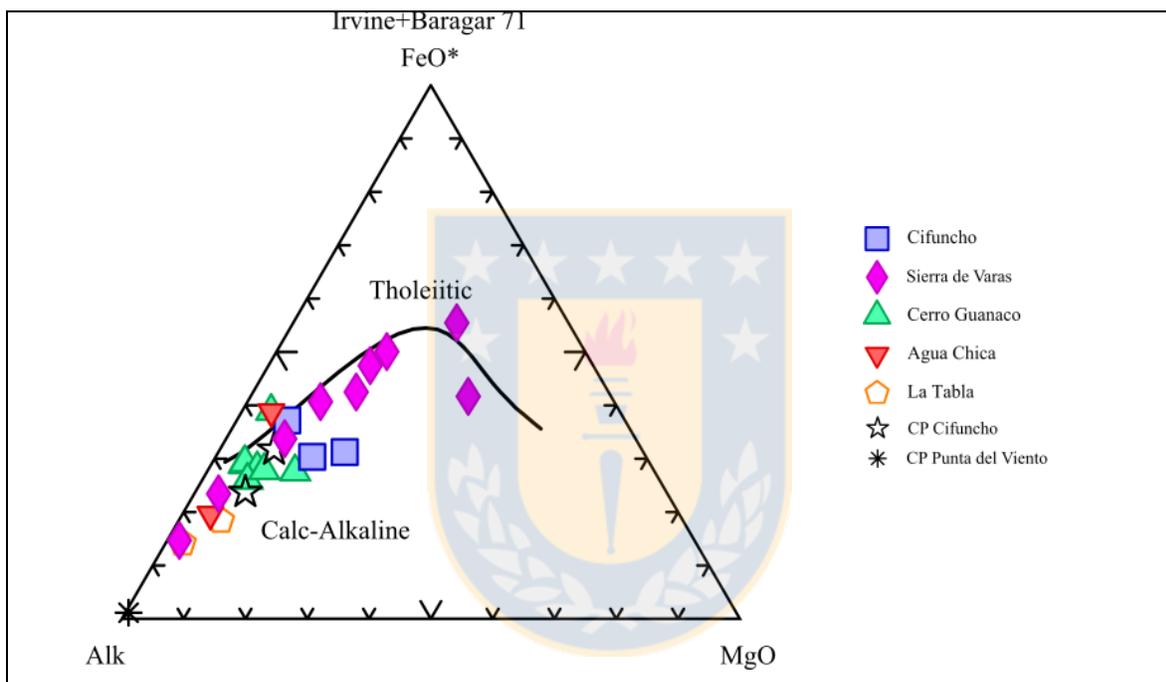


Figura 4.6 Diagrama AFM de Irvine y Baragar (1971) para la subdivisión de las series de rocas subalcalinas, en serie toleítica y calco-alcalina. Generado por el *software* Iqpet.

4.2 DIAGRAMAS DE VARIACIÓN ELEMENTOS MAYORES

Se observa en el diagrama de Harker (Figura 4.7). que las rocas analizadas muestran una correlación negativa entre SiO_2 y TiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO , FeO y MnO . El P_2O_5 muestra una correlación positiva hasta aproximadamente el 66% de SiO_2 y luego decrece a medida que aumenta el SiO_2 (esto se puede atribuir al inicio de cristalización de apatito). En cambio, el K_2O y el Na_2O no tienen una correlación clara con el SiO_2 .

En general, se observa un comportamiento lineal de los elementos mayores al aumentar el contenido en SiO_2 y esto podría ser el resultado de un proceso magmático que marca la

evolución del componente ígneo, siendo el más común la cristalización fraccionada, en caso de que se demuestre una relación cogenética entre las distintas unidades (Rollinson, 1993).

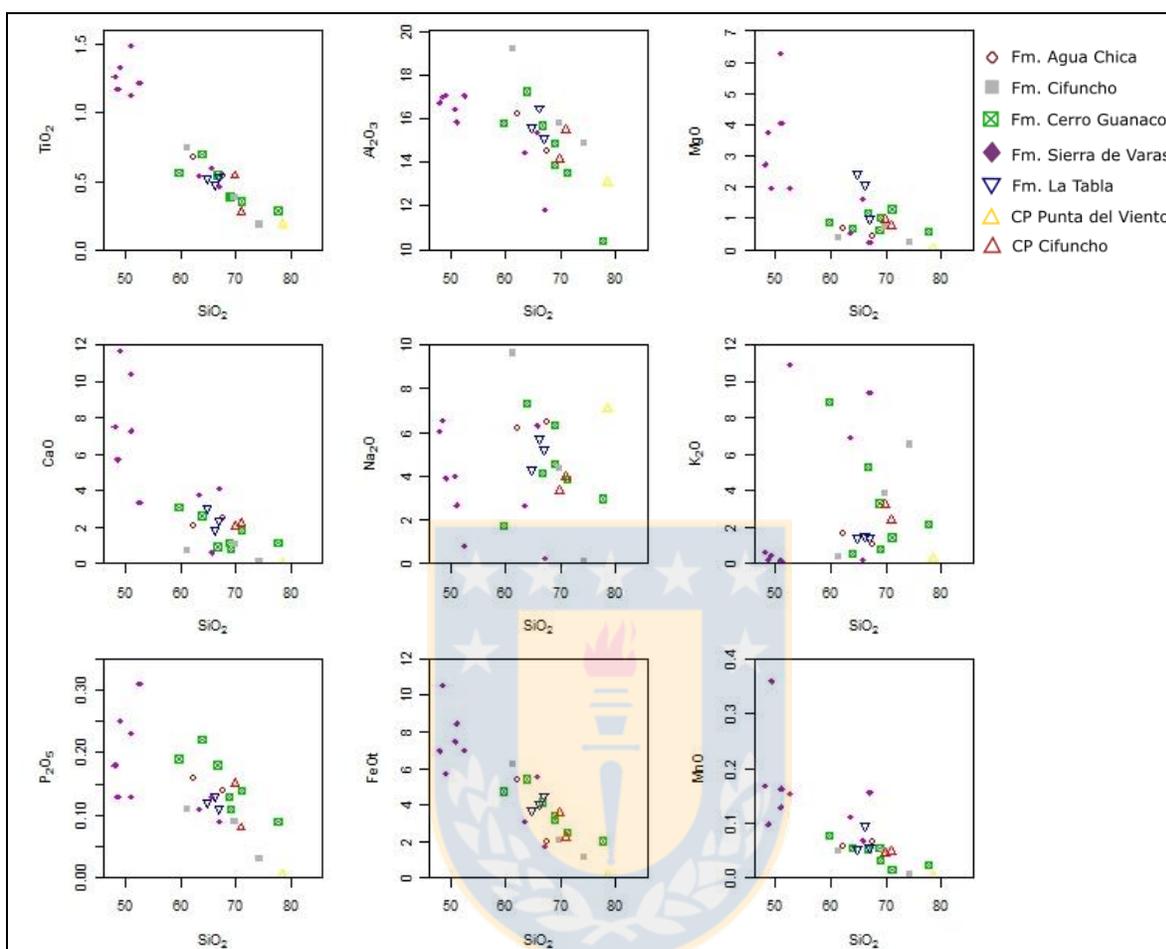


Figura 4.7 Diagrama de variación de elementos mayores vs SiO_2 (%). Generado por el *software* GCDkit.

4.3 DIAGRAMAS DE TIERRAS RARAS (REE)

El grupo de las tierras raras comprende 17 metales, que incluyen los elementos lantánidos (La al Lu), además del Sc e Y. Entre las REE, hay un subgrupo que posee un número atómico más bajo, el cual es llamado tierras raras livianas o LREE, y hay otro que tiene un número atómico mayor al cual se le denomina las tierras raras pesadas o HREE. También, en algunas ocasiones se diferencian las tierras raras medias o MREE que abarcan desde el Sm al Ho.

El estado de oxidación de los elementos pertenecientes a este grupo REE, es generalmente 3+, sin embargo, hay excepciones, como ocurre con el Eu, que en un ambiente reductor puede adquirir una valencia 2+. Dentro del grupo de las REE el radio iónico decrece a medida que aumenta el número atómico y esta característica es lo que permite que se fraccionen unas REE respecto a las otras. En general las REE son incompatibles, pero las LREE son más incompatibles que las HREE.

En los diagramas de REE, se contrasta la concentración vs el número atómico, pero la concentración se normaliza en relación a los valores de referencia de un condrito y se expresa en una escala logarítmica de base 10. La normalización se efectúa para reducir la fuerte variación que existe entre los elementos pares e impares (debido a que los elementos con número atómico par son más estables y por ende más abundantes que los elementos impares) y además porque se puede identificar cualquier fraccionamiento de las REE respecto a los meteoritos condriticos (Rollinson, 1993). En los diagramas que se muestran a continuación, las concentraciones fueron normalizadas con los valores del condrito propuesto por Sun y McDonough (1989) (Tabla 4.3).

Tabla 4.3: Concentraciones de Sun y McDonough (1989) al analizar el condrito C1 utilizados para la normalización de las REE en los diagramas normalizados al condrito.

Elemento	Concentración en el condrito en ppm	Elemento	Concentración en el condrito en ppm
La	0,237	Pm	***
Ce	0,612	Sm	0,153
Pr	0,095	Eu	0,058
Nd	0,467	Gd	0,2055
Tb	0,0374	Tm	0,0255
Dy	0,254	Yb	0,17
Ho	0,0566	Lu	0,0254
Er	0,1655		

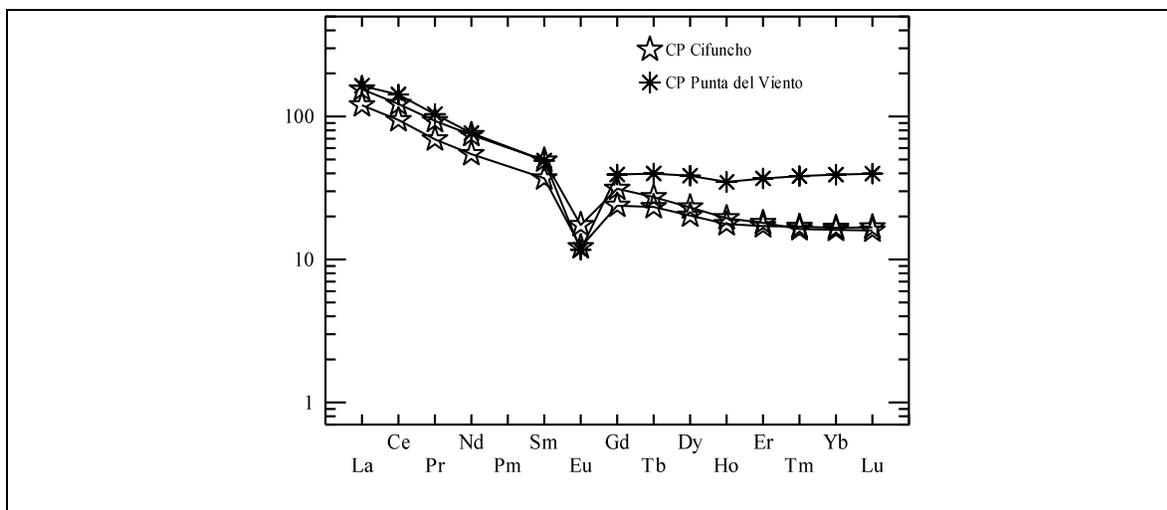


Figura 4.8 Diagrama de concentración de REE normalizado al condrito (Sun y McDonough, 1989) para las rocas plutónicas del Pérmico. Generado por el *software* Iqpet.

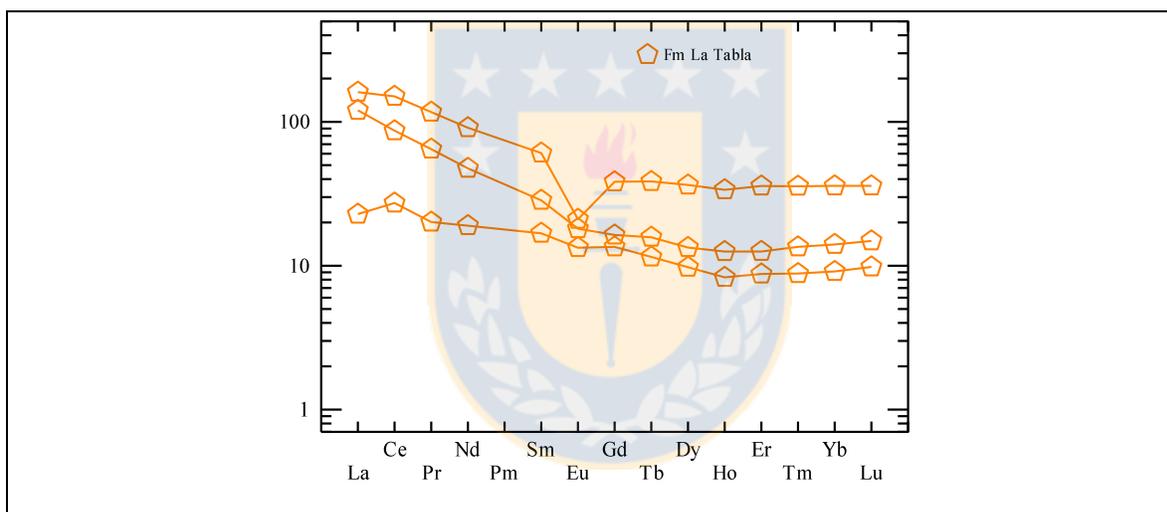


Figura 4.9 Diagrama de concentración de REE normalizado al condrito (Sun y McDonough, 1989) para las rocas volcánicas del Pérmico. Generado por el *software* Iqpet.

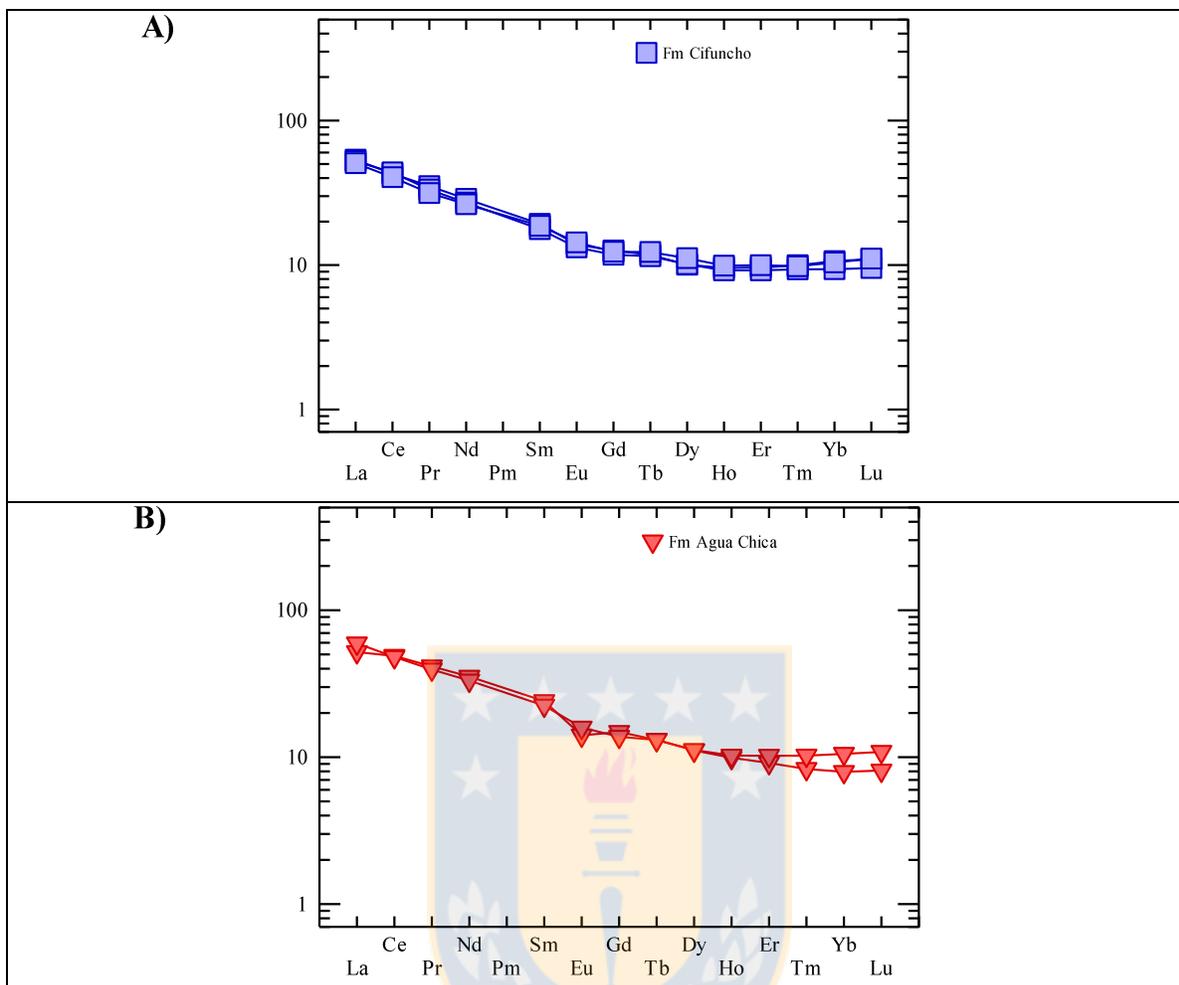


Figura 4.10 Diagrama de concentración de REE normalizado al condrito (Sun y McDonough, 1989) para las rocas del Triásico Superior y Jurásico Inferior en la Cordillera de la Costa. **A)** Formación Cifuncho (Triásico Superior). **B)** Formación Agua Chica (Jurásico Inferior). Generado por el software Igpet.

En muchas de las muestras hay anomalías negativas de Eu (Figura 4.8, 4.9 y 4.11). Los rangos de la razón Eu/Eu^* negativos varían entre 0,26 a 0,99, mientras que los positivos son de cuatro muestras CPV-15-386, CPV-15-359, CPV-14-253 y CPV-14-245 (Tabla 4.4). Cabe destacar que las anomalías negativas suelen aumentar a medida que incrementa el SiO_2 (Figura 4.13).

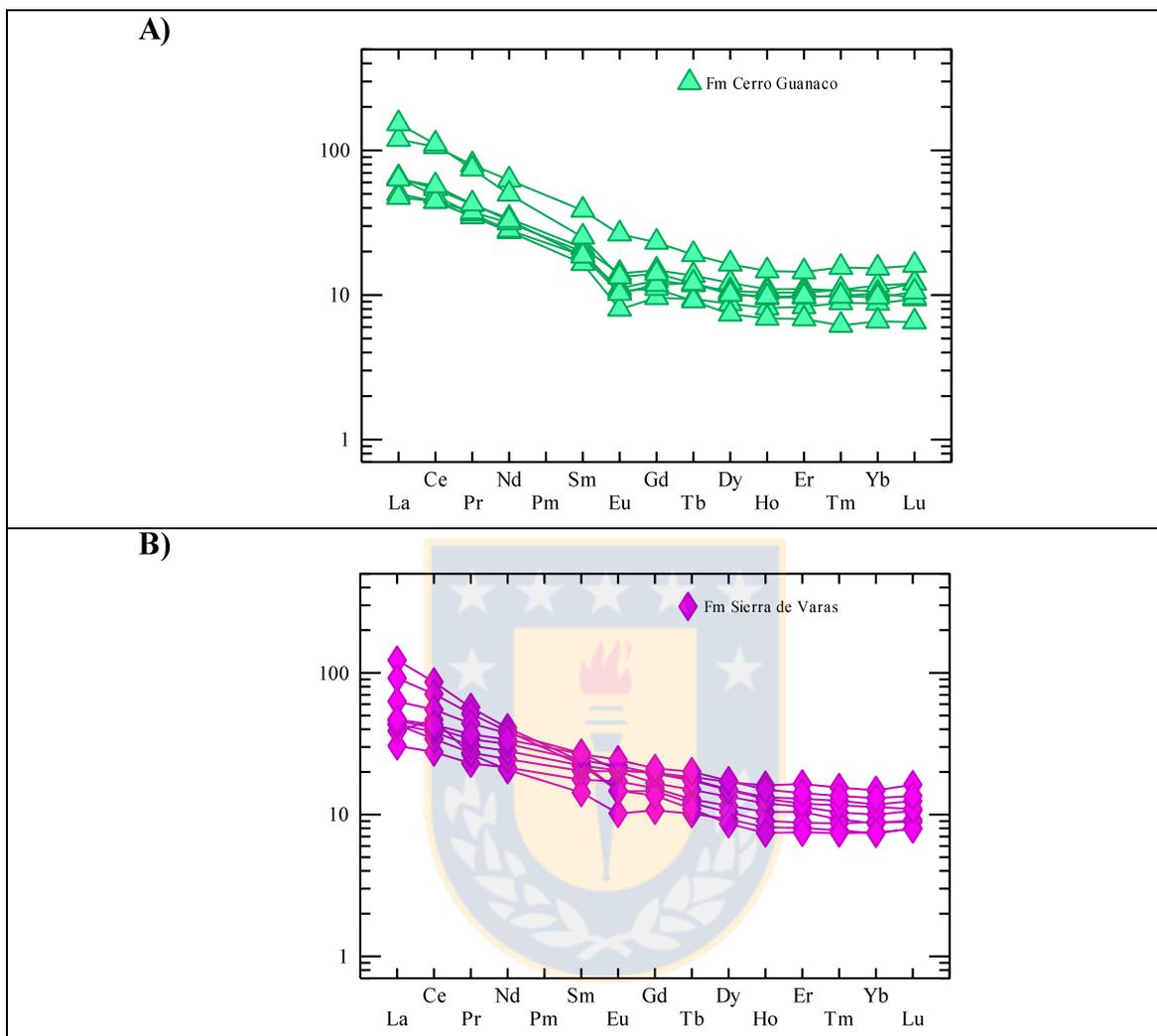


Figura 4.11 Diagrama de concentración de REE normalizado al condrito (Sun y McDonough, 1989) para las rocas del Triásico Superior en la Cordillera de Domeyko. **A)** Formación Sierra de Varas. **B)** Formación Cerro Guanaco. Generado por el *software* Iqpet.

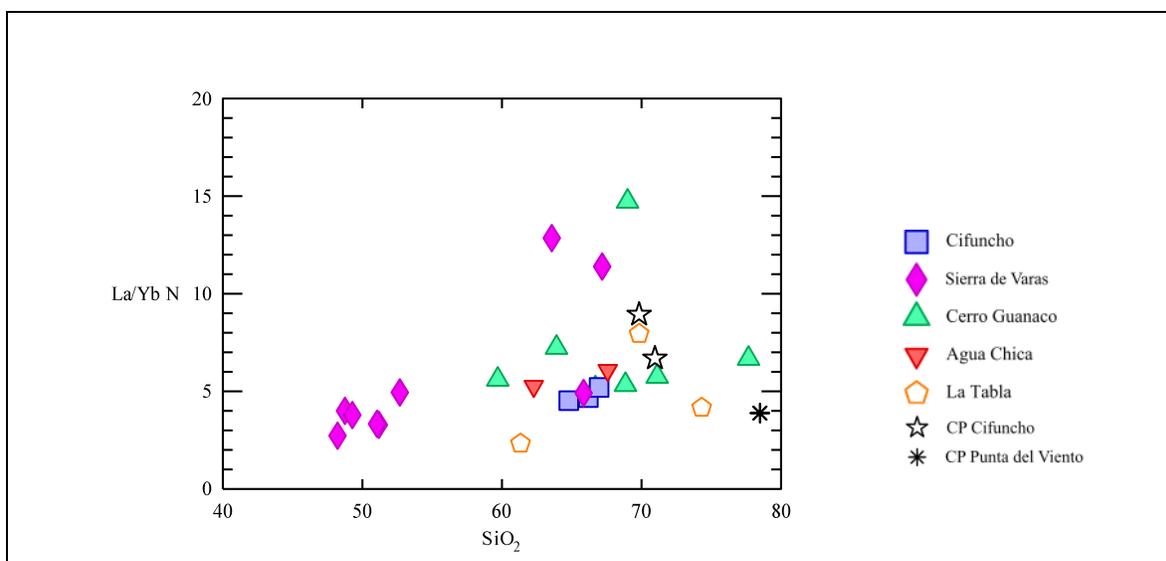


Figura 4.12 Razón $(La/Yb)_N$ vs SiO_2 de las rocas ígneas del estudio. Generado por el *software* Igppt.

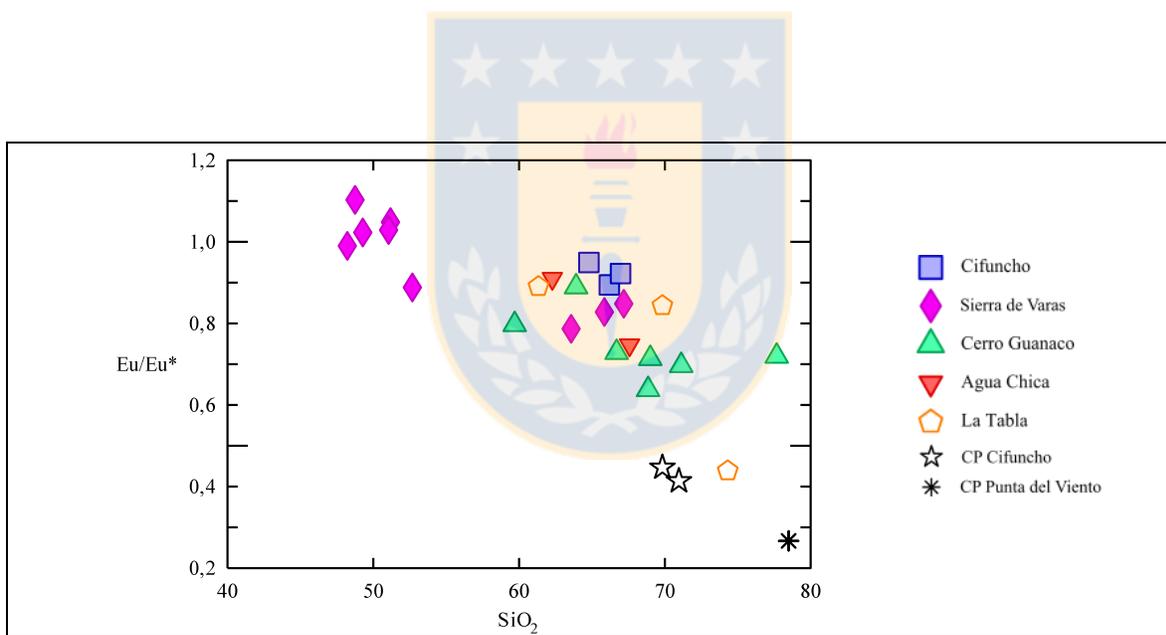


Figura 4.13 Razón Eu/Eu^* vs SiO_2 de las rocas ígneas del estudio. Generado por el *software* Igppt.

Tabla 4.4: Razones de $(La/Yb)_N$ y Eu/Eu^* para las muestras analizadas. Los valores utilizados para las normalizaciones corresponden a los de Sun y McDonough, 1989.

Muestra	La/Yb _(N)	Eu/Eu*	SiO ₂	Edad
CPV-14-194	6,07	0,74	67,59	Jurásico Inferior
CPV-14-198	5,25	0,90	62,28	
CPV-14-159	5,32	0,63	68,85	Triásico Superior
CPV-14-164	5,59	0,79	59,70	
CPV-14-166	5,13	0,72	66,70	
CPV-14-167	6,67	0,71	77,67	
CPV-14-169A	5,74	0,69	71,13	
CPV-14-172	7,23	0,88	63,91	
CPV-14-173	14,71	0,71	69,00	
CPV-14-187	5,19	0,92	66,96	
CPV-14-184	4,67	0,89	66,20	
CPV-14-190	4,51	0,94	64,79	
CPV-14-245	3,28	1,04	51,18	
CPV-14-247	4,92	0,82	65,85	
CPV-14-253	4,00	1,10	48,75	
CPV-15-330	12,84	0,78	63,57	
CPV-15-332	11,39	0,84	67,18	
CPV-15-337	4,94	0,88	52,69	
CPV-15-359	3,78	1,02	49,28	
CPV-14-256	2,72	0,99	48,22	
CPV-15-386	3,33	1,02	51,05	
CPV-14-191	8,92	0,44	69,84	
CPV-14-180A	6,69	0,41	70,96	
CPV-14-249	4,16	0,43	74,31	
CPV-15-365	3,88	0,26	78,49	
CPV-15-353	2,32	0,89	61,33	
CPV-14-176	7,95	0,84	69,83	

4.4 DIAGRAMAS MULTIELEMENTO

Los diagramas multielemento se han normalizado al MORB de acuerdo a las concentraciones presentadas por Pearce (1983) (Tabla 4.5).

Tabla 4.5: Concentraciones de elementos trazas para el MORB, propuestas por Pearce (1983). Las concentraciones se encuentran en ppm, excepto K₂O, P₂O₅ y TiO₂, los que se expresan en porcentaje en peso (%).

Elemento	Concentración en ppm	Elemento	Concentración en ppm
Sr	120	Ta	3,5
K ₂ O (%)	0,15	Nb	10
Rb	2	Ce	0,12
Ba	20	P ₂ O ₅ (%)	90
Zr	90	Y	30
Th	0,18	Yb	3,4
Hf	2,4	Sc	40
Sm	3,3	Cr	250
TiO ₂ (%)	1,5		

En términos generales, el patrón de los elementos es bastante homogéneo en las muestras analizadas (Figura 4.14, 4.15, 4.16 y 4.17) y se puede apreciar un enriquecimiento en elementos móviles (K, Rb y Ba) en relación a los elementos inmóviles (Ta, Nb, Ce, P, Zr, Hf, Sm, Ti, Y e Yb). Se reconocen depresiones en algunos elementos, lo que puede estar relacionado al fraccionamiento de minerales individuales como plagioclasas en el caso del Sr, apatito en P_2O_5 e ilmenita para el TiO_2 . La depresión en los elementos Nb y Ta, está relacionada con la retención de éstos en la fuente, particularmente dentro de la estructura cristalina del rutilo. Las anomalías negativas en éstos últimos elementos se hacen más pronunciadas en el Triásico Superior.

Los rasgos expuestos son característicos de magmas generados en zonas de subducción donde participan fluidos ricos en LILE (elementos litófilos de alto potencial iónico, Rb, Ba, Th, U)), provenientes de la deshidratación del slab, que favorecen y permiten la fusión del manto astenosférico bajo el arco, enriqueciéndolos en K, Sr, Rb, Ba y Th durante la petrogénesis (Wilson, 1989).

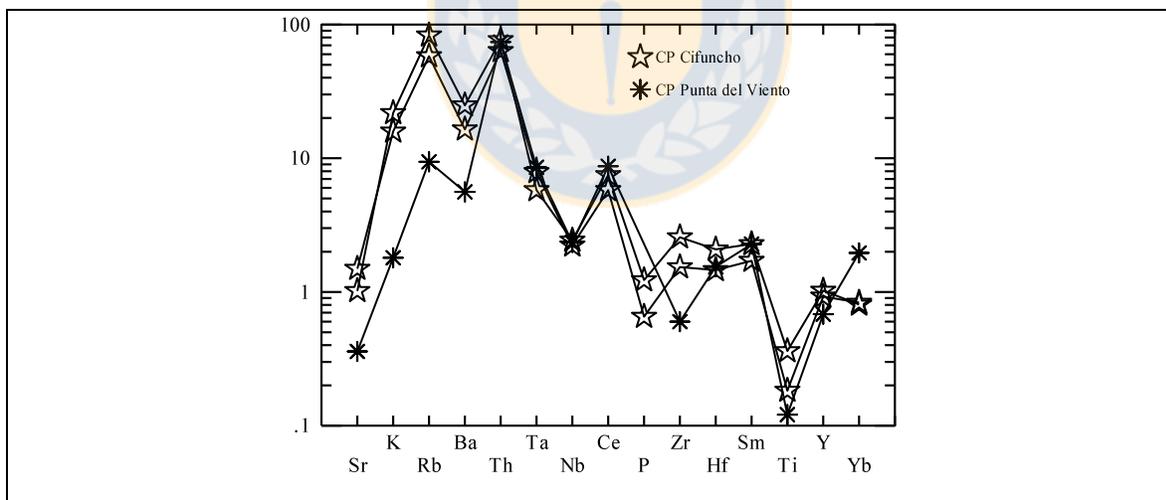


Figura 4.14 Diagrama multielemento normalizado al MORB (Pearce, 1983) para las rocas plutónicas del Pérmico. Generado por el *software* Igpet.

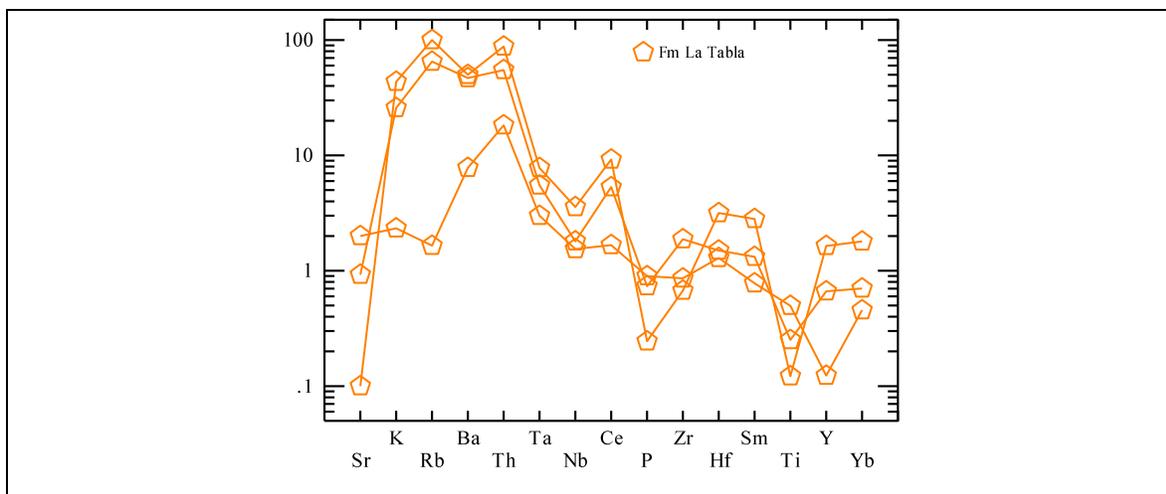


Figura 4.15 Diagrama multielemento normalizado al MORB (Pearce, 1983) para las rocas volcánicas del Pérmico. Generado por el *software* Iqpet.

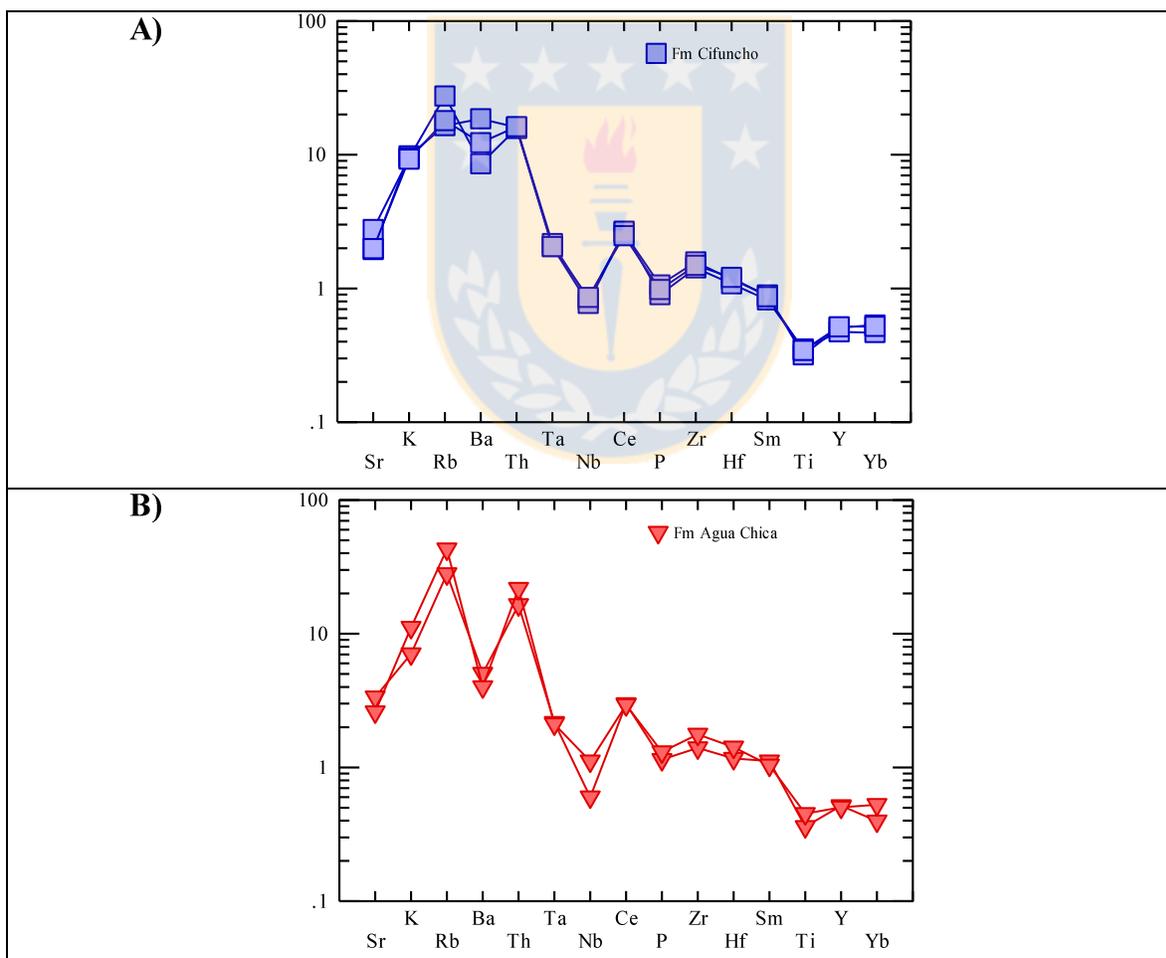


Figura 4.16 Diagrama multielemento normalizado al MORB (Pearce, 1983) para las rocas volcánicas del Triásico Superior y Jurásico Inferior en la Cordillera de la Costa. **A)** Formación Cifuncho (Triásico Superior). **B)** Formación Agua Chica (Jurásico Inferior). Generado por el *software* Iqpet.

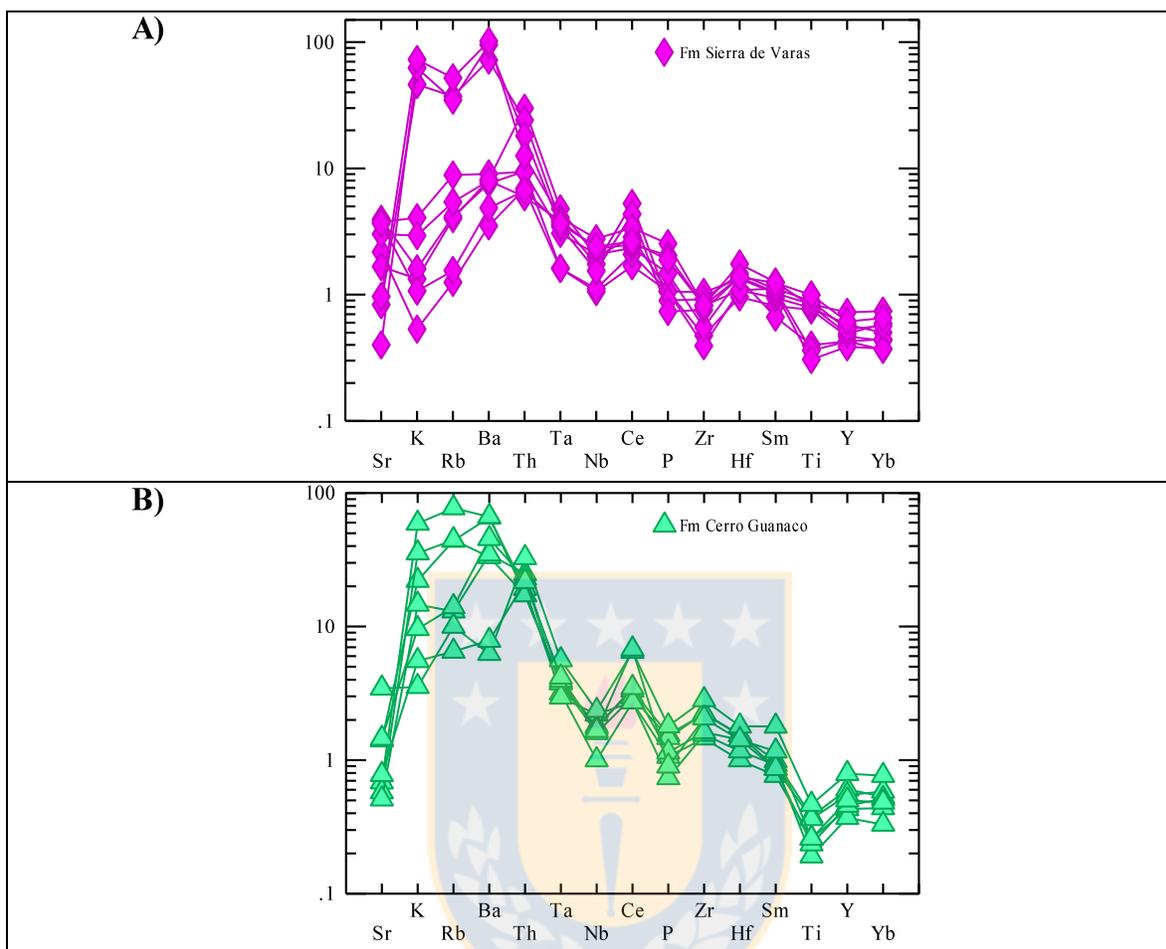


Figura 4.17 Diagrama multielemento normalizado al MORB (Pearce, 1983) para las rocas volcánicas del Triásico Superior en la Cordillera de Domeyko. **A)** Formación Sierra de Varas. **B)** Formación Cerro Guanaco. Generado por el *software* Igpert.

4.5 GEOQUÍMICA ISOTÓPICA

Del total de las muestras recolectadas, 20 fueron sometidas a un análisis isotópico de roca total, para los isótopos de Sr, Nd y Pb, efectuado con TIMS (Thermal Ionization Mass Spectrometry) en el Centro Marum de la Universidad de Bremen, Alemania. Los resultados de este análisis son valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(\text{actual})}$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(\text{actual})}$, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(\text{actual})}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(\text{actual})}$ y $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(\text{actual})}$. A partir de estos datos y considerando las edades de las rocas (Tabla 4.1), se calcularon las razones iniciales de cada isótopo (para detalles de las ecuaciones ver Anexo II: Análisis Químico). Las razones de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(\text{inicial})}$ calculadas para las muestras en análisis,

varían entre 0,6732 – 0,7105 dominando aquellas que se encuentran en el rango 0,7039 – 0,7051. En la tabla 4.6, se puede observar que la muestra CPV-14-249 tiene razones iniciales extremadamente bajas, asociadas a un fuerte enriquecimiento en Rb, un empobrecimiento en Sr y elevados contenidos en SiO₂.

Se calcula $\epsilon Nd_{(inicial)}$ para las rocas en estudio, el cual se encuentra entre los -4,619 y 3,059; sin embargo, los valores tienen un rango promedio de -2 a 2 (Tabla 4.7). Si se grafican los valores de $\epsilon Nd_{inicial}$ con las edades de las rocas (Figura 4.18) se puede observar, en términos generales una tendencia al incremento a través del tiempo. Esta variación es indicativa de que el magma a partir del cual se han generado estas rocas correspondería a una fuente que se ha ido enriqueciendo en Nd a través del tiempo, en otras palabras, se trata de una contribución de un manto enriquecido en Nd y de contaminación cortical.

Tabla 4.6: Resultados de los análisis isotópicos Rb-Sr.

Muestra	Rb (ppm)	Sr (ppm)	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr _(actual)	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr _(actual)	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr _(inicial)	Edad (Ma)
CPV-14-194	56	403	0.401997487	0.706659	0.705515704	200
CPV-14-198	86	312	0.797476838	0.707456	0.705187947	200
CPV-14-159	88	169	1.506744767	0.709092	0.704667288	206,5
CPV-14-164	154	82	5.440124522	0.719885	0.703909512	206,5
CPV-14-166	89	69	3.734586701	0.715165	0.704198	206,5
CPV-14-167	26	61	1.233310088	0.70874	0.705118257	206,5
CPV-14-169A	28	174	0.465567327	0.707444	0.706076813	206,5
CPV-14-172	20	413	0.140105911	0.70751	0.707098565	206,5
CPV-14-173	13	93	0.404465977	0.708571	0.707383244	206,5
CPV-14-187	55	331	0.480672342	0.706049	0.704612811	210,1
CPV-14-184	33	234	0.407961191	0.706198	0.704968023	212
CPV-14-190	36	238	0.437557376	0.705932	0.704612793	212
CPV-14-245	2,5	261	0.027706328	0.705226	0.705142467	212
CPV-14-247	8	200	0.115729747	0.70771	0.707361082	212
CPV-14-253	8,3	474	0.05066106	0.707463	0.70731026	212
CPV-14-256	17,7	452	0.113279762	0.706121	0.705779469	212
CPV-14-191	166	122	3.943362697	0.724988	0.710542701	257,5
CPV-14-180A	116	179	1.876045322	0.713675	0.706116744	283,15
CPV-14-249	200	12	49,01893192	0.876917	0.673242935	292
CPV-14-176	130	111	3.391407968	0.716532	0.702290759	295,1

Las razones de $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(\text{inicial})}$ para las muestras en análisis (Tabla 4.8), tienen valores entre 15,375 y 18,567, la mayoría se concentra entre los 18,102 y los 18,462. Las razones de $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(\text{inicial})}$ varían desde 15,245 hasta los 15,567, pero en general se encuentran entre los 15,528 y los 15,560. Finalmente, las razones de $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(\text{inicial})}$ van desde los 30,852 hasta los 38,495, pero comúnmente se distribuyen en el rango 37,828 – 38,230.

Zindler y Hart (1986) propusieron, en base a datos isotópicos de Sr, Nd, Pb, Hf y Os, que se pueden reconocer cuatro componentes dentro del manto: DMM (Depleted MORB Mantle), EMI (Enriched Mantle 1), EMII (Enriched Mantle 2) e HIMU (High μ). El DMM, se caracteriza por una baja razón $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, una alta razón $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ y valores intermedios de $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, lo que indica que este componente fue enriquecido en Sm, como resultado de una extracción de fundido parcial de esta fuente magmática. Se cree que el DMM, corresponde al manto astenosférico, que participa en la formación de corteza oceánica. El EMI y EMII tienen algunas características de la corteza continental y sedimentos, por lo que se sospecha que el reciclaje de material cortical, vía subducción, fue el proceso principal en la evolución de ambos reservorios. White y Hofmann (1982) sugirieron que el EMII se pudo haber producido por reciclaje de la corteza oceánica y los sedimentos, y el EMI por sólo el reciclaje de corteza oceánica, vía subducción. El HIMU, también es producto del reciclaje de corteza oceánica que sufre una pérdida de Pb y enriquecimiento en U, debido a la alteración hidrotermal en las dorsales oceánicas.

Zindler y Hart (1986), presentaron una serie de diagramas bivariantes que involucran las razones isotópicas de Sr, Nd y Pb, para lograr identificar los distintos componentes mantélicos. Al graficar las muestras en estudio, se puede observar que en general tienden a ubicarse entre los campos del EMII y MORB (Figura 4.20, 4.21 y 4.22), en posiciones circundantes al BSE (Figura 4.19 y 4.20). En la Figura 4.21, las muestras van hacia el EMII y en el diagrama $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ y $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (Figura 4.22), la mayoría de las rocas analizadas se encuentran en el campo de la Corteza Continental Inferior.

Tabla 4.7 Resultados del sistema isotópico Sm-Nd.

Muestra	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ (actual)	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ (actual)	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ (inicial)	$\epsilon\text{Nd}_{(inicial)}$	$\epsilon\text{Nd}_{(actual)}$
CPV-14-194	3,68	16,50	0,134878952	0,51264685	0,512470	1,75191736	0,172636441
CPV-14-198	3,43	15,50	0,133823858	0,51255715	0,512382	0,028217375	-1,577136303
CPV-14-159	2,52	12,80	0,119057755	0,51251801	0,512357	-0,293976434	-2,340638033
CPV-14-164	3,25	15,80	0,124394673	0,51259999	0,512432	1,165266912	-0,741458885
CPV-14-166	2,87	13,10	0,132490982	0,51260203	0,512423	0,991535135	-0,701664722
CPV-14-167	3,04	14,70	0,125058512	0,51241928	0,512250	-2,379170805	-4,266558468
CPV-14-169A	2,84	15,30	0,112248246	0,51237674	0,512225	-2,871545701	-5,096383803
CPV-14-172	5,89	29,10	0,122403126	0,51254816	0,512383	0,206226184	-1,752503716
CPV-14-173	3,84	23,20	0,100091027	0,51236944	0,512234	-2,693363949	-5,238784483
CPV-14-187	2,71	12,60	0,130071426	0,51267467	0,512496	2,503753184	0,715319582
CPV-14-184	2,95	13,40	0,133138068	0,512693	0,512508	2,79465701	1,072881839
CPV-14-190	2,86	12,30	0,14061929	0,5126827	0,512488	2,391043283	0,871960331
CPV-14-245	2,69	10,00	0,162680566	0,512677	0,512451	1,682393664	0,760770758
CPV-14-247	2,19	9,67	0,136956971	0,512512	0,512322	-0,841392917	-2,457874758
CPV-14-253	3,11	11,50	0,163548227	0,512676	0,512449	1,639380794	0,741263816
CPV-14-256	3,39	13,10	0,15650137	0,512739	0,512522	3,059795723	1,970201195
CPV-14-191	7,53	34,70	0,131222823	0,512291	0,512070	-4,619115207	-6,768909055
CPV-14-180A	5,65	25,50	0,133983938	0,51229682	0,512048	-4,390911745	-6,655378649
CPV-14-249	9,28	42,50	0,132040176	0,512322	0,512070	-3,755938291	-6,164193837
CPV-14-176	4,36	22,20	0,118763378	0,51234134	0,512112	-2,852091376	-5,786929568

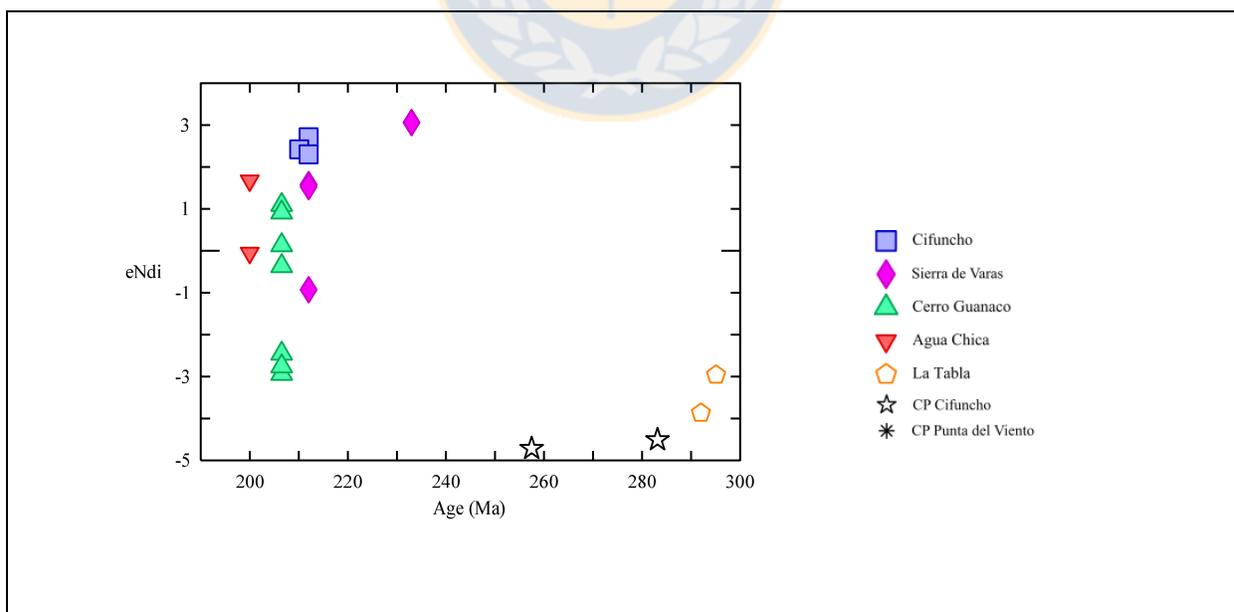


Tabla 4.8 Resultados de análisis isotópico del sistema U-Th-Pb.

Muestra	U (ppm)	Pb (ppm)	Th (ppm)	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (inicial)	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (inicial)	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (inicial)
CPV-14-194	0,85	7	3,29	18,32566975	15,56030334	38,16815535
CPV-14-198	0,93	7	4,36	18,16076267	15,55918559	38,04405416
CPV-14-159	1,03	2,5	3,83	18,56767867	15,52856312	38,37339985
CPV-14-164	1,05	2,5	3,45	18,39445606	15,52800424	38,15153224
CPV-14-166	0,93	2,5	3,44	18,1026581	15,53344117	37,8927181
CPV-14-167	1,08	21	4,96	18,47351663	15,56715043	38,2905875
CPV-14-169A	0,68	2,5	4,58	18,22514718	15,54411831	37,21984911
CPV-14-172	1,13	10	6,53	18,42421616	15,56065335	38,4958482
CPV-14-173	1,1	2,5	4,32	18,06697363	15,52612082	37,82835279
CPV-14-187	0,72	2,5	3,14	18,22710636	15,5416565	38,04887245
CPV-14-184	0,89	6	3,21	18,29464626	15,55661749	38,02934608
CPV-14-190	0,92	2,5	3,24	18,01029217	15,53276585	37,92070304
CPV-14-245	0,26	5	1,38	18,38995748	15,56694838	38,11351767
CPV-14-247	1,47	7,1	5,98	18,45558599	15,55011707	38,23084824
CPV-14-256	0,58	4,7	1,88	18,36198961	15,55927402	38,17950582
CPV-14-191	2,29	22	15,3	18,5086612	15,5585263	38,26313238
CPV-14-180A	1,95	19	12,7	18,57897313	15,55713333	38,20841596
CPV-14-249	2,43	1,3	17,6	15,37500783	15,24526205	30,8523078
CPV-14-176	1,97	7	11	18,46226582	15,52770965	37,84614021

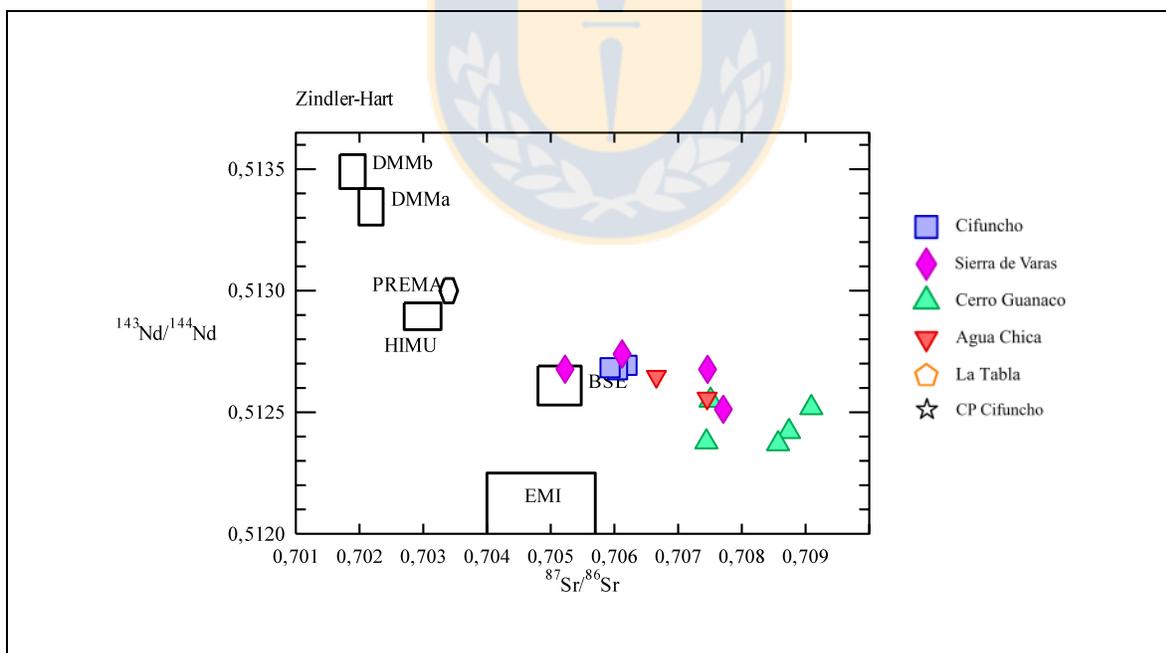


Figura 4.19 Diagrama $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ vs $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de Zindler y Hart (1986): DM (Depleted Mantle): manto deprimido; BSE (Bulk Silicate Earth): Composición global de la Tierra silicatada; EMI (Enriched Mantle I): manto enriquecido I; EMII (Enriched Mantle II): manto enriquecido II; HIMU: manto con alta razón U/Pb; PREMA (PREvalen MAnte composition): composición predominante del manto. Generado por el *software* Iqpet.

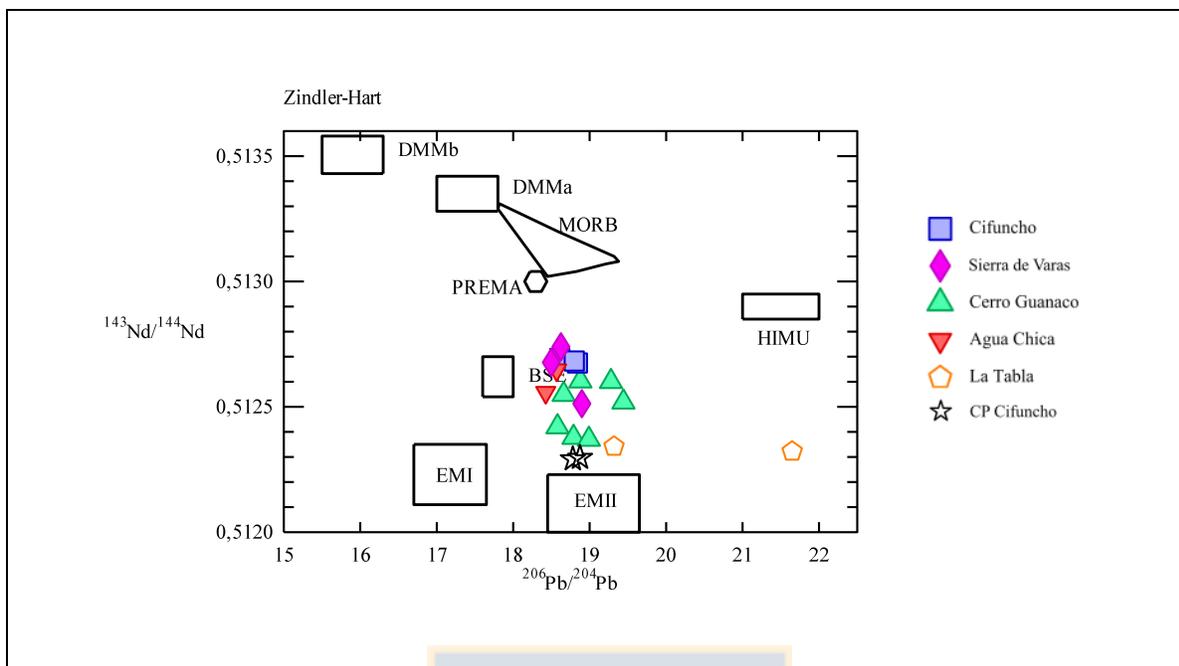


Figura 4.20 Diagrama $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, propuesto por Zindler y Hart (1986). Generado por el software Igpet.

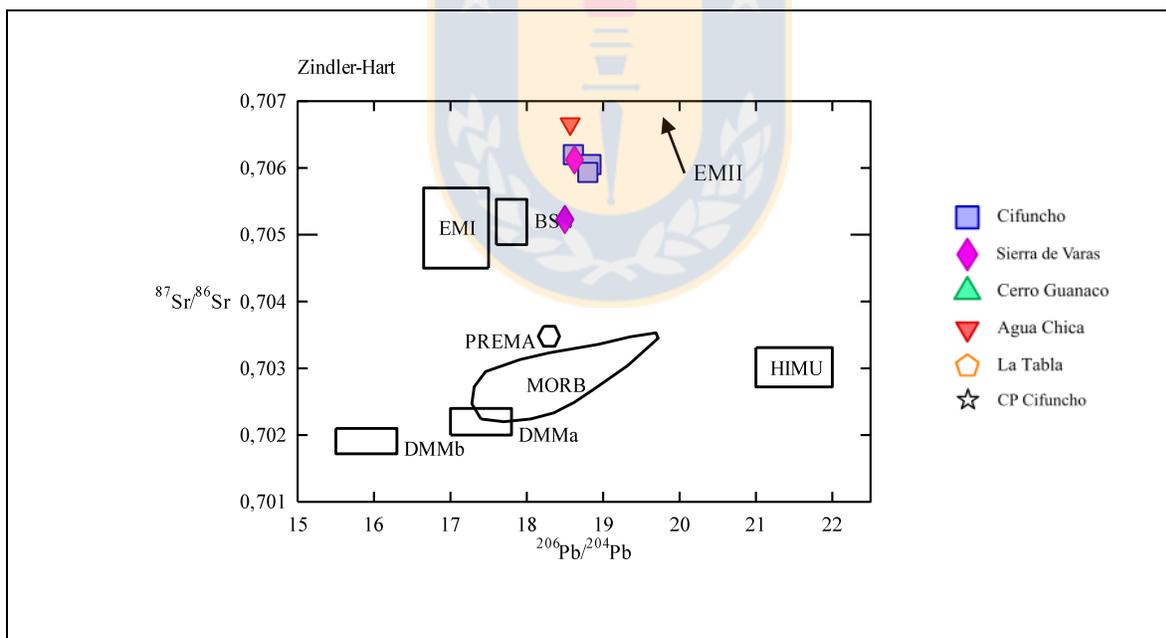


Figura 4.21 Diagrama $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, propuesto por Zindler y Hart (1986), para discriminar entre los distintos reservorios mantélicos. Los campos son los mismos que aquellos de la Figura 4.20, aunque en este diagrama se incluye el MORB: Mid-ocean Ridge Basalt.. Generado por el software Igpet.

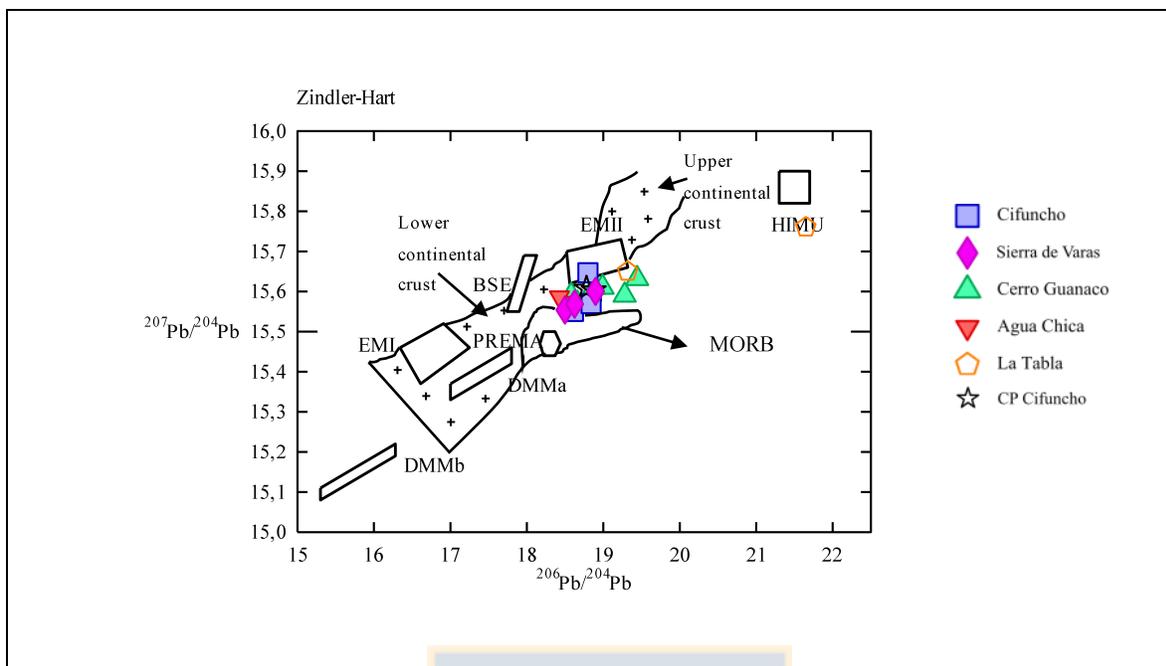


Figura 4.22 Diagrama $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, con los valores ajustados a las edades de las muestras y se incluye la corteza continental inferior (Lower continental crust) y la corteza continental superior (Upper continental crust). Generado por el *software* Igppt.



5 DISCUSIÓN

Existen tres tópicos relevantes de discutir considerando los resultados petrográficos y geoquímicos anteriormente presentados: La evolución magmática que dio paso a la depositación de magmas de diferentes composiciones desde el Pérmico al Jurásico Inferior, la comparación de los resultados geoquímicos con estudios anteriores en rocas del Triásico Superior y el ambiente geotectónico en el cual se desarrolló el volcanismo del Triásico Superior.

5.1 EVOLUCIÓN MAGMÁTICA

El Pérmico tardío a Jurásico Temprano, período que Charrier y otros (2007) denominan Ciclo Tectónico Pre-Andino, corresponde a una etapa de transición en la cual la subducción a lo largo del margen andino se habría visto interrumpida o considerablemente disminuida. Se trata de un periodo estacionario que es atribuido al final de la consolidación del megacontinente de Gondwana, lo cual se traduce en nuevas condiciones tectónicas a lo largo del margen occidental del mismo.

De acuerdo a los datos petrográficos y principalmente geoquímicos expuestos en este trabajo, el volcanismo Pérmico está representado por la Formación La Tabla, el Complejo Plutónico Cifuncho, junto con el Complejo Plutónico Punta del Viento. La Formación La Tabla se caracteriza por su volcanismo ácido, representado por rocas silicificadas con abundante contenido de cuarzo subredondeado y embahiado ('ojos' de cuarzo), que pueden presentar una débil estratificación localizada. Los cuerpos plutónicos en tanto, son de composición granítica y texturas faneríticas inequigranulares. Así, las rocas de los complejos plutónicos corresponden a sienogranitos y monzogranitos para el CP Cifuncho, y granodioritas y sienogranitos para el CP Punta del Viento. Los principales minerales que conforman estas rocas corresponden a plagioclasa, cuarzo, feldespatos potásico y biotita en menor medida. En términos geoquímicos las rocas de volcánicas de este periodo presentan características calcoalcalinas (Figura 4.6).

Los primeros estadios del arco volcánico mesozoico en la zona de estudio estarían representados por la Formación Sierra de Varas del Triásico Superior, y por lo tanto se propone que el volcanismo mesozoico a la latitud $23^{\circ} 50'$ – $26^{\circ} 10'$ comienza en el Triásico Superior, a los 214 Ma, edad máxima conocida para la Formación Sierra de Varas (en este trabajo), la cual está dada por la subducción de la placa oceánica de Phoenix bajo la corteza del continente Gondwánico en su margen occidental, hoy llamado andino. Durante el Triásico Superior extruyeron un importante número de cuerpos volcánicos que se distribuyeron en dirección N-S en la posición de la actual Cordillera de la Costa y en la Cordillera de Domeyko, el cual correspondería al eje del arco magmático en el periodo en cuestión.

El Triásico Superior es representado por las Formaciones: Cifuncho, Cerro Guanaco, Sierra de Varas y Agua Chica (la cual posee una edad Triásico Superior – Jurásico Inferior). Las rocas de estas unidades poseen composiciones intermedias y de manera subordinada básicas y ácidas. Las volcanitas poseen texturas principalmente porfídicas, en menor medida afaníticas y ocasionalmente intersertal. Los minerales predominantes corresponden a plagioclasas, máficos (anfíbol en intermedias a ácidas, piroxenos y olivinos en menor medida en rocas de composición máficas) y cuarzos en las rocas ácidas.

Durante el Jurásico Inferior, con los estadios iniciales del fracturamiento de Gondwana, ocurren nuevas condiciones tectónicas a lo largo del margen occidental del mismo. Estas últimas favorecieron la acumulación y producción de enormes volúmenes de magma a lo largo de la costa del norte de Chile (Berg y Breitskreutz, 1983 y Berg y otros, 1983 en Charrier y otros, 2007). En el área de estudio, el Jurásico Inferior está representado por la parte superior de la Formación Agua chica, la cual está compuesta por rocas volcánicas de composición intermedia y se deposita en la Cordillera de la Costa en el área de estudio. Generada en un contexto tectónico extensivo que favoreció el emplazamiento de esta unidad producto de la fusión parcial del manto deprimido en un contexto de subducción.

La gran mayoría de las muestras estudiadas corresponden a rocas subcalcinas con algunas excepciones (Fm. Sierra de Varas principalmente) de acuerdo a la clasificación de Irvine y Baragar (1971) (Figura 4.2). A su vez, las rocas subcalcinas caen en el campo de las calcoalcalinas con excepción de 3 muestras (CPV-14-172, CPV-14-198 y CPV-14-245) pertenecientes a las Formaciones Cerro Guanaco, Agua Chica y Sierra de Varas, las cuales

caen en el campo toleítico, sin embargo, sin embargo, no muestran enriquecimiento en Fe en términos intermedios y para Sierra de Varas se observa un patrón calcoalcalino (Figura 4.6).

En los gráficos de variación se observan ciertas tendencias para algunos elementos (Al, Ti, Mg, Fe, Ca, Mn, P, Co, Sc y Th) conforme aumenta el grado de diferenciación, que sugieren a la cristalización fraccionada como un proceso que operó dentro de la evolución magmática de las rocas en estudio debido al decrecimiento en CaO, MgO y FeO_t y con el incremento de la SiO₂, esto sería consistente con la remoción temprana de plagioclasa, olivino y/o piroxeno desde el líquido que se enfría. El MgO y el FeO_t son incorporados en los minerales máficos de formación temprana; mientras que el CaO es incorporado a la plagioclasa cálcica y/o al piroxeno. Las correlaciones negativas del Fe, Mg y Co con respecto al SiO₂, indican el fraccionamiento de minerales ferromagnesianos; la disminución del Ca, el fraccionamiento de plagioclasa.

Los diagramas de tierras raras (Figura 4.8 - 4.11) ayudan a estimar la profundidad a la que se pudo haber generado el magma. Los perfiles muestran un ligero enriquecimiento en tierras raras livianas (LREE) con respecto a las tierras raras pesadas (HREE) y patrones bastante planos para éstas últimas descartando la presencia de granate en la fuente, sugiriendo procesos de adelgazamiento cortical (Mpodozis y Kay, 1992), característica que indica que el origen del magma habría ocurrido en un manto somero (lherzolita-espínela), en lugar de un manto profundo (lherzolita-granate) (Murphy, 2007), por lo que se infiere menos de 50 km de profundidad para la generación de estos magmas. En la mayoría de las muestras, se destaca el enriquecimiento que existe en cuanto a K, Rb, Ba y Th en comparación con los HFSE (Figura 4.14 - 4.17), a excepción de algunas muestras de la formación Sierra de Varas lo cual es característico de magmas generados en zonas de subducción donde participan fluidos ricos en LILE provenientes de la deshidratación del slab, que favorecen y permiten la fusión del manto astenosférico bajo el arco, enriqueciéndolos en K, Sr, Rb, Ba y Th durante la petrogénesis (Wilson, 1989).

La anomalía negativa de Nb-Ta es un rasgo constante en las rocas analizadas al igual que en el caso de P, Ti y Sr. Como se mencionó anteriormente los diagramas normalizados al condrito (Sun y McDonough, 1989), exhiben patrones de inclinación leve con razones La/Yb_N que varían entre 2,32 a 8,92 en rocas del Pérmico, mientras que las del Triásico Superior van

de los 2,72 a los 14,71. Por último, las rocas del Jurásico Inferior van de los 5,25 a los 6,07 y no se observa una relación con el contenido de SiO₂. Los patrones relativamente planos para las REE pueden ser interpretados como el resultado de un alto grado de fusión parcial de la fuente. Los patrones cóncavos entre las MREE y las HREE, se pueden atribuir a la presencia de hornblenda en la fuente de los magmas (Mpodozis & Kay, 1992; Parada et al., 1999). La anomalía negativa de Eu, se encuentra presente en la gran mayoría de las muestras, sugiriendo un fuerte control del fraccionamiento de plagioclasa en la evolución de los magmas, y con condiciones de baja fugacidad de oxígeno.

Las razones isotópicas iniciales de las rocas del Triásico Superior, reflejan que los magmas derivados del manto sufrieron un proceso de contaminación cortical expresado en las bajas razones de ¹⁴⁴Nd/¹⁴³Nd y en las altas razones de ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr, ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb y ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb. En general se encuentran entre los campos del EMI (Enriched Mantle I) y el EMII (Enriched Mantle II) (Figuras 4.20, 4.21 y 4.22), vinculándolas a un proceso de subducción (White, 2011) y de contaminación lo cual puede haber ocurrido por la entrada de material cortical durante la subducción (sobre todo por erosión tectónica de la corteza inferior) o durante el ascenso del magma.

El εNd_(inicial) para las rocas en estudio, el cual varía entre los -4,619 y 3,059 para todas las muestras. No obstante, en el Pérmico la totalidad de las muestras exhiben valores <0, lo que indicaría un manto enriquecido o mayor influencia cortical (White, 2011), pero para el Triásico Superior se encuentran entre -3,755 y 3,059. Al graficar los valores de εNd_{inicial} versus las edades de las rocas (Figura 4.18) se puede observar una tendencia al incremento a medida que las muestras son más jóvenes. Esta variación es indicativa de que el magma a partir del cual se han generado estas rocas correspondería a una fuente progresivamente con mayor en Nd a través del tiempo, en otras palabras, se trata de una contribución de un manto enriquecido en Nd con contaminación cortical durante su ascenso.

5.2 COMPARACIÓN CON ESTUDIOS ANTERIORES

En esta sección el propósito es comparar las rocas de este trabajo con otras pertenecientes a otras áreas de estudio en diferentes latitudes. Para llevar a cabo la

comparación se utilizaron los datos geoquímicos de unidades del Triásico Superior, de los trabajos de Zapata (2017) y Valin (2014).

En Zapata (2017) el principal objetivo consistió en determinar la evolución química del magmatismo desde el Triásico Superior al Cretácico Inferior en la actual Cordillera de la Costa del sur de la ciudad de Iquique entre las coordenadas $20^{\circ}35'$ – $21^{\circ}15'$ S y $70^{\circ}10'$ – $69^{\circ}35'$ W, en la Región de Tarapacá (Chile). Las muestras que considera Zapata (2017) como parte del Triásico Superior corresponden específicamente a las de Estratos Sierra de Lagunas, unidad a la que se le asigna una edad Rético (Sepúlveda y otros, 2014) y que consiste esencialmente de lavas andesíticas a andesítico-basálticas y en menor medida, la secuencia se constituye por rocas hipabisales, lavas dacíticas, brechas volcánicas y niveles volcanoclásticos de escasas potencias de tobas de lapilli y ceniza.

Los Estratos Sierra de Lagunas poseen una afinidad calcoalcalina a toleítica (la cual es distorsionada por la hematitización de las muestras lo que hace que caigan en el campo toleítico). Se constata la existencia de enriquecimiento en tierras raras livianas (LREE) en relación a las tierras raras pesadas (HREE), Se destaca también una leve anomalía negativa de Eu (Figura 5.1). Existe un enriquecimiento en elementos móviles (K, Rb y Ba) con respecto a los elementos inmóviles (Y, Hf, Zr, Ti, Nb y Ta) y se presentan fuertes anomalías negativas en Nb, Ta, P y Ti (Figura 5.2).

Valin (2014) realiza una caracterización petrográfica y geoquímica en base a elementos mayores y trazas de las unidades triásicas ígneas ubicadas en la transecta entre los $28^{\circ}50'$ S y $29^{\circ}50'$ S. Hace un especial énfasis en las volcanitas de las formaciones Canto del Agua en la Cordillera de la Costa y las formaciones San Félix y La Totora en la Cordillera de los Andes. La formación La Totora es de edad Triásico Superior y esta constituida principalmente por lavas de composición intermedia y texturas afáníticas a porfídicas y por brechas volcánicas con claras características de autobrecha o brechas con clastos de origen volcánico.

En la formación La Totora se observa la afinidad calcoalcalina y de carácter metaluminoso. En las REE hay un enriquecimiento en tierras raras livianas (LREE), La a Sm, en relación a las tierras raras pesadas (HREE), Ho a Lu y presenta una leve a marcada concavidad positiva en las HREE. Al igual que el resto de las unidades analizadas también presenta una anomalía negativa en el Eu (Figura 5.1). Existe un enriquecimiento en elementos

móviles (K, Rb y Ba) con respecto a los elementos inmóviles (Y, Hf, Zr, Ti, Nb y Ta) y se presentan fuertes anomalías negativas en Nb, Ta, P y Ti (Figura 5.2) con excepción de algunas muestras presentan empobrecimiento en Rb y Ba lo cual es concordante con las muestras de andesitas afáníticas sin presencia de minerales máficos (olivino, piroxenos y anfíboles).

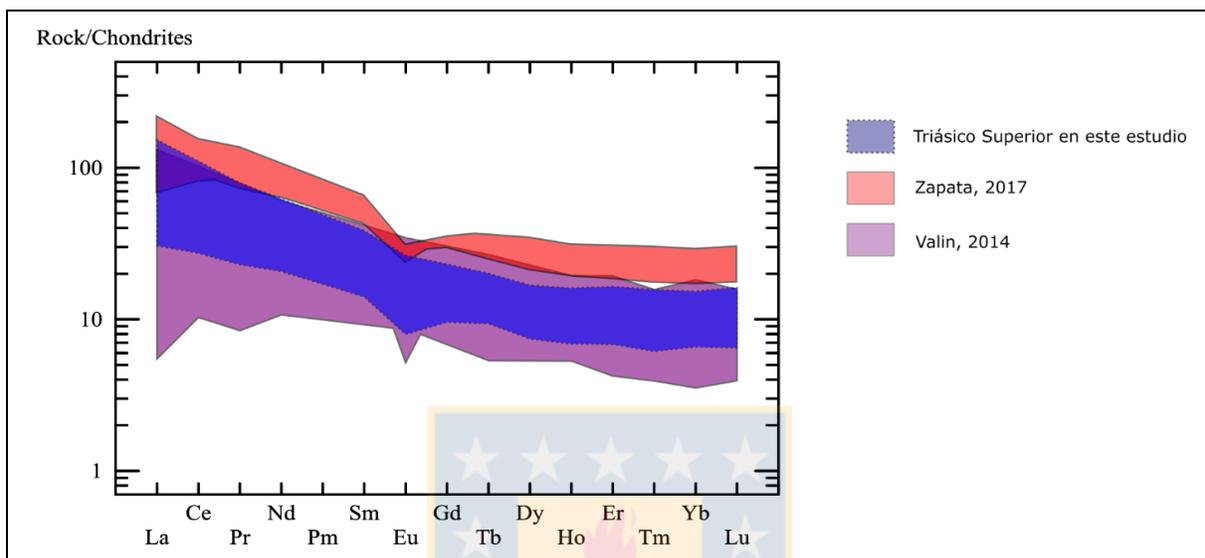


Figura 5.1 Diagramas de tierras raras normalizadas al condrito (Sun y McDonough, 1989) para las distintas rocas del Triásico Superior.

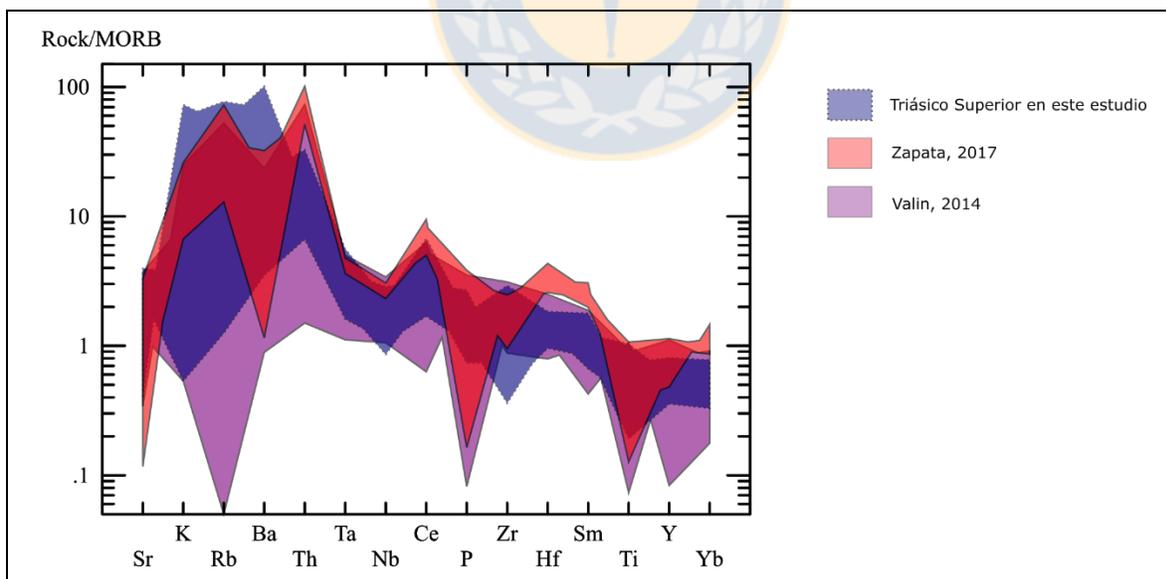


Figura 5.2 Diagramas de tierras raras normalizadas al MORB (Pearce, 1983) para las distintas rocas del Triásico Superior.

Se puede apreciar en las figuras expuestas, que los elementos trazas en las rocas que se incluyen en los trabajos anteriores, poseen los mismos patrones que los que se han detectado en este estudio, lo que permite asegurar que las muestras analizadas no representan una anomalía para el Triásico Superior.

Zapata (2017) propone que el origen de las rocas volcánicas de edad Triásico Superior corresponde principalmente a un manto deprimido (valores de ϵNd positivos) por fusión parcial de la cuña del manto generando magmas de características anhidras, la asimilación y/o contaminación cortical es poco influyente. En Zapata (2017) las características típicas del magmatismo Triásico Superior están dadas por actividad volcánica intensa de composición máfica e intermedia, actividad piroclástica asociada y cuerpos subvolcánicos de composición intermedia contemporáneos al volcanismo. Los análisis químicos y su proyección en distintos diagramas de discriminación tectónica confirman que las rocas del Triásico Superior se originaron a partir de un sistema orogénico calcoalcalino y parcialmente toleítico como consecuencia de subducción. Por consiguiente, este magmatismo estuvo asociado a la subducción de la placa oceánica de Phoenix bajo el margen occidental del continente gondwánico, generando un arco magmático en la posición de la Cordillera de la Costa desde el Triásico Superior al Cretácico Inferior, antes de la migración del arco hacia el Este como consecuencia de la disminución en el ángulo de subducción durante el Cretácico Superior.

En el presente estudio, los resultados apuntan a conclusiones que concuerdan con Valin (2014) quien propone que las características petrográficas y geoquímicas del magmatismo Triásico en su área de estudio no evidencian un carácter bimodal en el Triásico, y más bien corresponderían a rocas generadas en una corteza de espesor normal, bajo un régimen de subducción, con la interacción del magma con fluidos provenientes de la corteza oceánica deshidratada. Valin (2014) concluye de que la época triásica corresponde a un periodo de transición entre el ambiente geotectónico Paleozoico, caracterizado por subducción oblicua en una corteza engrosada (Rapalini, 1989) en un ambiente de subducción con extensión desarrollado durante el Ciclo Andino Temprano (Oliveros et al. 2007). Este trabajo difiere de Valin (2014) en lo que se refiere a la presencia de rocas de composición máfica y minerales hidratados, lo cual indicaría la presencia de fluidos durante la génesis de los magmas.

5.3 AMBIENTE GEOTECTÓNICO

En el capítulo anterior, se demostró que las rocas triásicas de este estudio, se ajustan a una señal geoquímica de arco. La señal calcoalcalina es propia de margen convergente y junto con la geoquímica de elementos traza (Figura 4.14 - 4.17), lo cual indica una típica y significativa depresión de Nb- Ta y Ti en los diagramas multielementales, rasgos que son característicos de magmas generados en zonas de subducción donde participan fluidos ricos en LILE (elementos litófilos de alto potencial iónico, Rb, Ba, Th, U), provenientes de la deshidratación del slab, que favorecen y permiten la fusión del manto astenosférico bajo el arco, enriqueciéndolos en K, Sr, Rb, Ba y Th durante la petrogénesis (Wilson, 1989).

Dada la composición heterogénea de las muestras analizadas, se empleó el diagrama de discriminación tectónica de Pearce (1983), para rocas graníticas, y los diagramas de Wood (1980) para rocas intermedias a ácidas y los diagramas de Cabanis y Lecolle (1989) y Pearce y Gale (1977) para rocas basálticas. Los diagramas consideran para la clasificación, la concentración en partes por millón de elementos tales como: Nb, Ta, Ti ;Hf, Zr, Y, Yb y Th.

Como se observa en la Figura 5.3, las muestras del Pérmico se clasifican en el campo de los granitos de arco volcánico (VAG), a excepción de la muestra CPV-15-365 que se ubica en el campo de los granitos de intraplaca (WPG) (Figura 5.3, D), sin embargo, Pearce y otros (1984, en Rollinson, 1993) llega a la conclusión de que granitos VAG y Syn-COLG pueden caer en los campos WPG debido a la presencia de minerales ferromagnesianos (píroxeno en esta muestra). En la Figura 5.4 se puede ver que la totalidad de las rocas volcánicas y volcanoclásticas de composición intermedia a ácidas caen en el campo de los basaltos de arco (D). En la Figura 5.5 se puede observar que las muestras caen en campos tanto de basaltos de arco, margen de placa e intraplaca (Figura 5.5 A y C), arco continental y arco oceánico (Figura 5.5 B), basaltos continentales excepto la muestra CPV-14-245, que cae en el campo de los basaltos de arco calcoalcalinos (Figura 5.5 D), y de intraplaca con E-MORB con un par de muestras en el campo VAB (Basaltos de Arco Volcánico) (Figura 5.5 E). Estos antecedentes son indicativos de que los basaltos fueron formados durante un evento transicional de basaltos de intraplaca a margen de placa asociados a un arco volcánico.

Según los diagramas de discriminación tectónica, las rocas se habrían generado en un margen continental activo, ya que la señal geoquímica de arco se mantuvo relativamente constante desde el Pérmico al Jurásico Inferior (Figura 5.6). Coloma y otros (2017) estudian la geoquímica de las rocas ígneas del Pérmico al Triásico Superior a los 28° 00' – 30° 15' S en Chile (al sur del área de estudio), las cuales presentan señales de arco, por lo que llega a la conclusión de que las características petrológicas y geoquímicas de las rocas volcánicas y plutónicas en su estudio, sugieren que fueron generadas bajo un régimen de subducción, y que este fue un proceso continuo que generó la mayoría del magmatismo en la región del arco.

Del Rey y otros (2016) a través de isotopía de rocas ígneas de los 28°00' – 40°00' S, presentan modelos geodinámicos a partir de los datos recolectados de publicaciones previas en la zona junto a 5 nuevos datos Hf-O y edades U-Pb. En su estudio se concluye que la historia de acreción Paleozoica del margen suroeste de Gondwana (hasta los 40°00' S) fue finalizado completamente a finales del Carbonífero Temprano y fue seguido de la subducción de los Andes, el cual fue un proceso continuo desde el Paleozoico y no desde el Jurásico Inferior como previamente se pensaba.

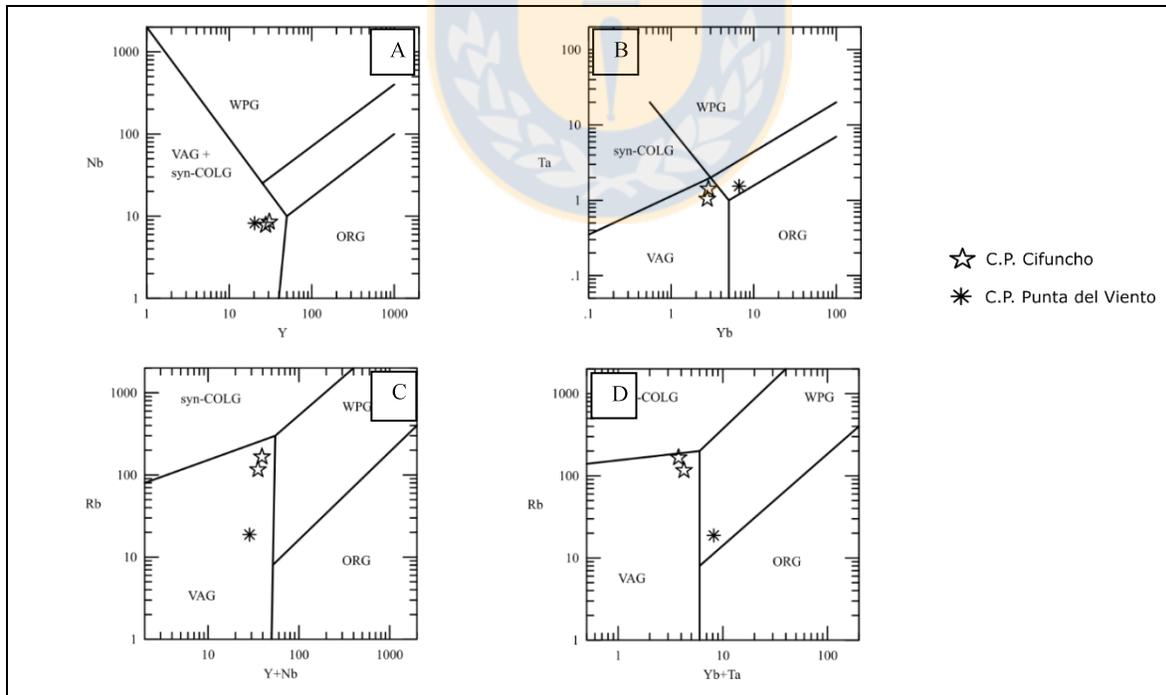


Figura 5.3 Diagramas de discriminación para rocas graníticas (Pearce et al. 1983), cuyos campos son VAG (granitos de arcos volcánicos), syn-COLG (granitos syn-colisionales), WPG (granitos intraplaca) y ORG (granitos de ridges oceánicos).

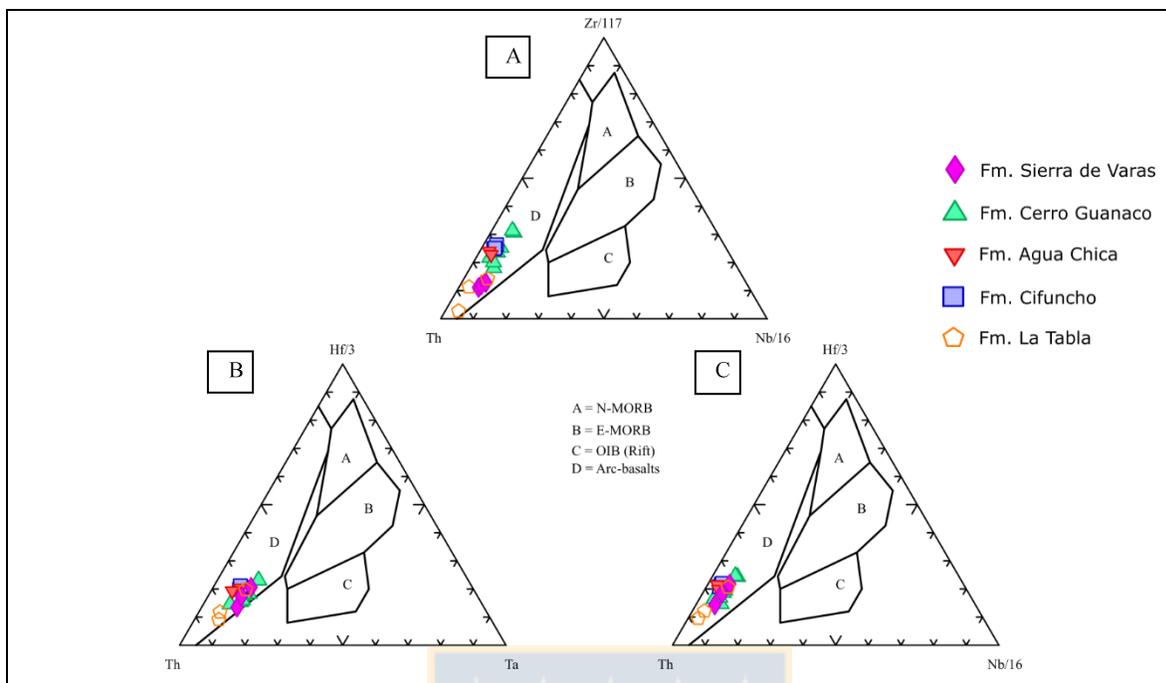


Figura 5.4 Diagramas de discriminación para rocas intermedias a ácidas (Wood 1980), cuyos campos son N-MORB (Normal-MORB), E-MORB (Enriched-MORB), OIB (Ocean Island Basalt) y Basaltos de arco.

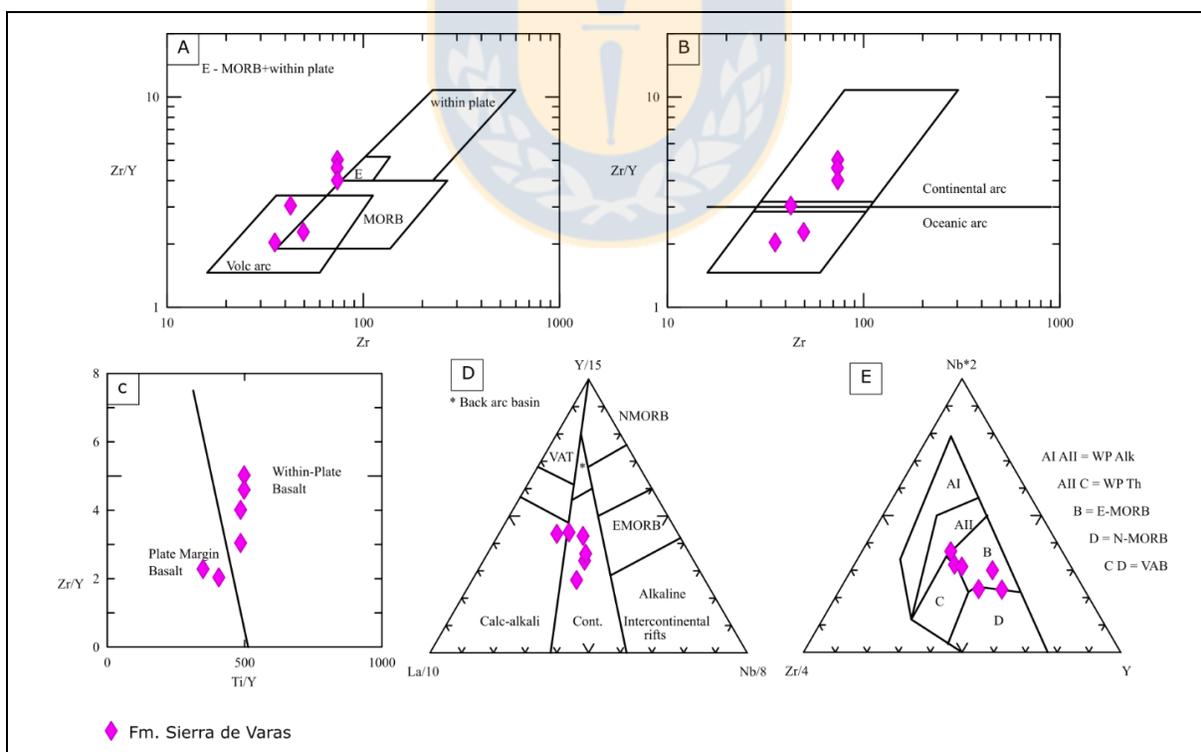


Figura 5.5 Diagramas de discriminación para rocas basálticas (A: Pearce y Norry, 1989; B: Pearce, 1983; C: D: Pearce y Gale, 1977; D: Cabanis y Lecolle, 1989; E: Mechede, 1986), cuyos campos son N-MORB (Normal-MORB), E-MORB (Enriched-MORB), VAT (Volcanic Arc Tholeiites), VAB (Volcanic Arc Basalts).

Luego de la discusión de los tres puntos mencionados anteriormente, se propone un modelo de la configuración tectónica para el magmatismo de hace aproximadamente 210 Ma en la latitud correspondiente a éste estudio (Figura 5.6).

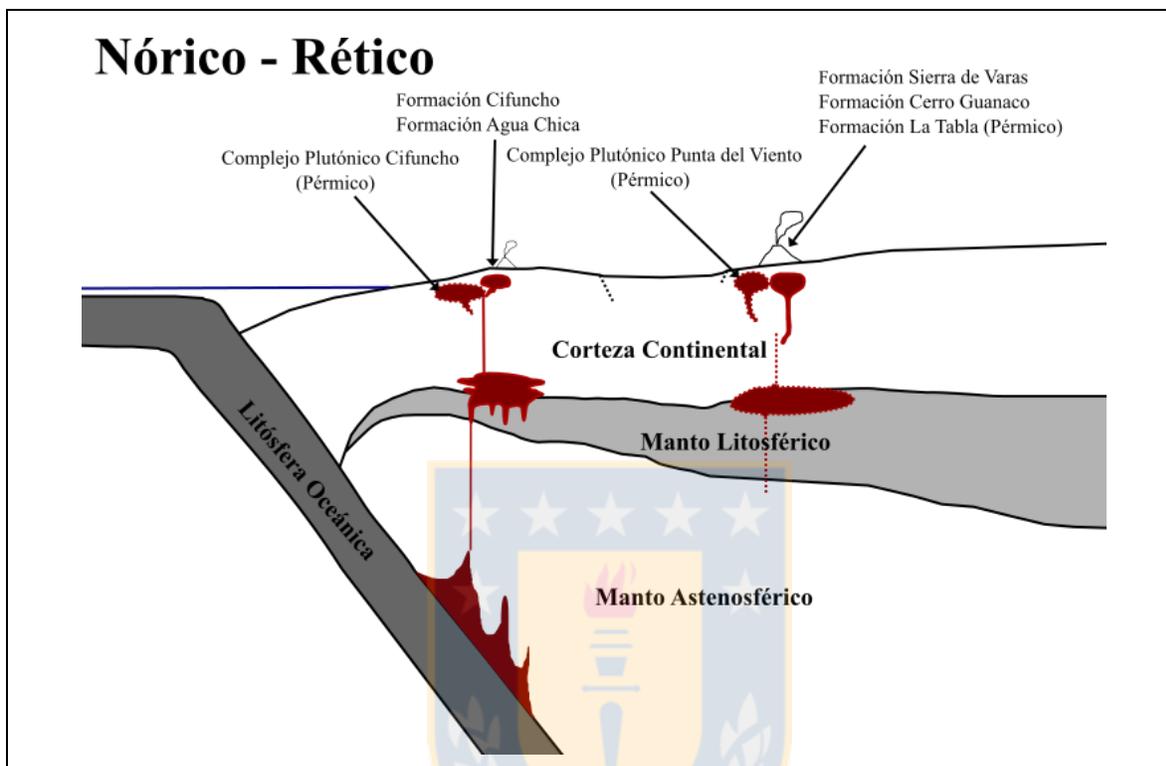


Figura 5.6 Configuración Tectónica propuesta para el magmatismo ~ 210 Ma. 23° 50' – 26° 10' S, Chile.

6 CONCLUSIONES

1. La petrografía de las unidades estudiadas es variada, para el Pérmico tenemos los Complejos Plutónicos Cifuncho y Punta del Viento, los cuales están compuestos respectivamente por monzogranitos de biotita de textura fanerítica inequigranular de grano medio a grueso y granodioritas de anfíbol y biotita de textura fanerítica inequigranular de grano medio a grueso y la formación La Tabla con lavas ácidas de textura porfídica (dacitas y riolitas) con tobas cristalinas. En el Triásico se observan las formaciones Sierra de Varas con basaltos y andesitas de textura porfídica junto con tobas cristalinas, vítreas y líticas, Cerro Guanaco compuesta por basaltos, andesitas y principalmente dacitas todas de textura porfídica/vitrofídica junto a tobas líticas, Cifuncho con andesitas porfídicas y traquitoides junto a escasas dacitas de textura porfídica y tobas líticas y vítreas, por último, la formación Agua Chica está constituida por andesitas porfídicas y tobas líticas. Se destaca la presencia de fenocristales de plagioclasas en las rocas de composición intermedia a ácidas y olivino y/o piroxenos en las máficas.
2. Las rocas de las formaciones Sierra de Varas, Cerro Guanaco, Cifuncho y Agua Chica se clasifican casi en su totalidad dentro del campo de las rocas subalcalinas de acuerdo a la subdivisión propuesta por Irvine y Baragar (1981) y en la serie calcoalcalina. Sus patrones de elementos traza se caracterizan por presentar un enriquecimiento en LILE respecto a los HFSE, una fuerte anomalía negativa en Nb-Ta. Los patrones de tierras raras indican fraccionamiento de plagioclasa, así como pendientes poco pronunciadas de los mismos, indicadores de la cristalización a niveles más superficiales
3. Los rasgos expuestos son característicos de magmas generados en zonas de subducción donde participan fluidos ricos en LILE, provenientes de la deshidratación del slab, que favorecen y permiten la fusión del manto astenosférico bajo el arco, enriqueciéndolos en K, Sr, Rb, Ba y Th durante la petrogénesis (Wilson, 1989).

4. La cristalización fraccionada es un proceso involucrado en la génesis de los magmas que dan origen a las rocas estudiadas, evidenciado por los diagramas de variación de elementos mayores y traza y por el paralelismo entre los patrones de REE.
5. Los datos isotópicos, indican que las rocas triásicas habrían sido generadas por un proceso en el que se mezclan dos fuentes isotópicas. Esto es así ya que las muestras se concentran en el campo EMII (Manto Enriquecido II), por lo que se propone que el manto habría sufrido una contaminación cortical durante la subducción o durante el ascenso del magma. Los valores $\epsilon Nd_{(i)}$ negativos en el Pérmico (manto enriquecido) y principalmente positivos en el Triásico (manto empobrecido), es indicativo de que el magma a partir del cual se han generado estas rocas correspondería a una fuente que se ha ido enriqueciendo en Nd a través del tiempo, en otras palabras, se trata de una contribución de un manto enriquecido en Nd y con contaminación cortical en su ascenso.
6. Los datos geoquímicos y diagramas de discriminación tectónica indican que el marco geotectónico en el que se generaron las rocas ígneas corresponde a un margen continental activo de arco volcánico. Por ello se deduce que hubo un periodo de transición entre el ambiente geotectónico Paleozoico (subducción oblicua en una corteza engrosada) al ambiente de subducción con extensión y adelgazamiento cortical desarrollado durante el ciclo andino temprano.

7 REFERENCIAS

ALFARO, R. 2014. Estratigrafía de las rocas triásicas de la Formación Cerro Guanaco (Nueva unidad) en la Cordillera de Domeyko, sector Sierra de Varas. Región de Antofagasta. (24°48-25°00 Lat. Sur). Memoria para optar al Título de Geólogo. Antofagasta.

ARDILL, J.R.; FLINT, S.; CHONG, G.; WILKE, H. 1998. Sequence stratigraphy of the Mesozoic Basin, Northern Chile. *Journal of the Geological Society of London* 155: 71-88.

CABANIS, B. y LECOLLE, M. 1989. The La/10-Y/15-Nb/8 diagram; a tool for distinguishing volcanic series and discovering crustal mixing and/or contamination. *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences*. **Vol.** 309: 2.023-2.029.

CHARRIER, R.; PINTO, L.; RODRÍGUEZ, M. P. 2007. Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. In: (Moreno, T.; Gibbons, W.; The Geology of Chile editors). *The Geological Society*: 115–146. London.

CHONG, G. 1973. Reconocimiento Geológico del área Catalina-Sierra de Varas y estratigrafía del Jurásico del Profeta, provincia de Antofagasta. Memoria de Título (Inédito), Universidad de Chile, Departamento de Geología: 1-284. Santiago.

CHONG, G.; HILLEBRANDT, A.V. 1985. El Triásico preandino de Chile entre los 23°30' y 26°00' de Lat. Sur: In Congreso Geológico Chileno, No.4, Actas 1: 162-210. Antofagasta.

COIRA, B.; DAVIDSON, J.; MPODOZIS, C.; RAMOS, V.A. 1982. Tectonic and magmatic evolution of the Andes of northern Argentina and Chile. *Earth Science Reviews*, 18: 303-332.

COLOMA, F., VALIN, X., OLIVEROS, V., VÁSQUEZ, P., CREIXELL, C., SALAZAR, E., & DUCEA, M. N. (2017). Geochemistry of Permian to Triassic igneous rocks from northern Chile (28°-30°15'S): Implications on the dynamics of the proto-Andean margin. *Andean geology*, **Vol** .44(2), 147-178.

CONTRERAS, J.P.; ESPINOZA, M.; DE LA CRUZ, R.; JORQUERA, R.; KRAUS, S.; RAMÍREZ, C.; NARANJO, J.A.; ESCRIBANO, J.; MARTÍNEZ, P. 2013. Carta Cifuncho, Regiones de Antofagasta y Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 161, 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.

CONTRERAS, J.F., (2014). Estratigrafía de la Formación Sierra de Varas, Cordillera de Domeyko, Región de Antofagasta entre las coordenadas 7.273.103 – 7.268.892 m N; 481.320 – 482.290 m E. Memoria para optar al Título de Geólogo. Departamento de Geología, Universidad Católica del Norte. Antofagasta.

CORNEJO, P.; MPODOZIS, C.; RAMÍREZ, C.F., TOMLINSON, A.J. 1993. Estudio Geológico de la Región de Potrerillos y El Salvador (26°-27° Lat. S). Servicio Nacional de Geología y Minería-CODELCO, Informe Registrado, IR-93-01: 258 p. 12 mapas escala 1:50.000. Santiago.

CORNEJO, P.; MPODOZIS C. 1996. Geología de la Región de Sierra Exploradora (Cordillera de Domeyko 25°-26°S). Servicio Nacional de Geología y Minería-CODELCO, Informe Registrado, IR-96-09, 330 p. 9 mapas escala 1:50.000.

CORNEJO, P.; MPODOZIS, C.; RIVERA, O.; MATTHEWS, S. 2009. Carta Exploradora, Regiones de Antofagasta y Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 119: 100 p., 1 mapa escala 1:100.000.

COX, K.G. 1993. Continental Magmatic Underplating. *Philosophical Transactions of the Royal Society (Series A)*. **Vol:** 342: 155–166.

DEL REY, A.; ARRIAGADA, C.; DEKART, K.; MARTÍNEZ, F. 2016. Resolving the paradigm of the late Paleozoic-Triassic Chilean magmatism: Isotopic approach. *Gondwana Research* **Vol.** 37: 172-181.

GARCÍA, F. 1967. Geología del Norte Grande de Chile. In *Symposium sobre el Geosinclinal Andino*, Sociedad Geológica de Chile, 3: 138p.

GONZÁLEZ, R.; WILKE, H.; MENZIES, M.; ESPINOZA, F.; RIQUELME, R. Y HERRERA, C. 2015 . Carta Sierra de Varas, Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 178, 1 mapa escala 1:100.000.

IRVINE, T. y BARAGAR, W. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences* **Vol.** 8: 523-548.

LAS CENIZAS, 2007. Geología unificada de la costa de Taltal, sectores Cerro el Pingo, Sierra Esmeralda y Sierra Canchas. II Región de Antofagasta, Chile. 1 mapa + 1 leyenda expandida. Escala 1:50.000. Documento Inédito.

LLAMBIAS, E.; QEUNARDELLE, S & MONTENEGRO, T. 2003. The Choiyoi Group from central Argentina: a subalkaline transitional to alkaline association in the cratón adjacent to the active margin of the Gondwana continent. *Journal of South American Earth Sciences*. **Vol.** 16: 243 – 257.

LUCASSEN, F.; FRANZ, G.; THIRL WALL, M & MEZGER, K. 1999. Crustal Recycling of Metamorphic Basement: Late Palaeozoic Granitoids of Northern Chile (~22°S). Implications for the Composition of the Andean Crust. *Journal of Petrology*. **Vol.** 40: 1.527 – 1.551.

MARINOVIC, N.; SMOJE, I.; HERVÉ, M.; MPODOZIS, C. 1995. Hoja Aguas Blancas: Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile. 70: 150 p., 1 mapa escala 1:250.000.

MCKIE, F.J.L., (1994). The Interplay of Triassic Marine and Continental Facies of the Former Extensional Marginal Basin of the North Chilean Cordillera de Domeyko. In Congreso Geológico Chileno, No. 7, Actas, **Vol.** 1, p. 484-487. Concepción

MERCADO, M. 1980. Geología del área Pan de Azúcar, Región de Atacama. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile 37: 30 p. 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.

MPODOZIS, C., & KAY, S. M. 1990. Provincias magmáticas ácidas y evolución tectónica de Gondwana: Andes chilenos (28-31 S). *Andean Geology*, 17(2), 153-180.

MPODOZIS, C. & KAY, S. 1992. Late Paleozoic to Triassic evolution of the Gondwana margin: Evidence from Chilean Frontal Cordilleran batholiths (28°S to 31°S). *Geological Society of America Bulletin* 104: 999 – 1.014.

MURPHY, B. 2007. Igneous rock associations 8. Arc magmatism II: geochemical and isotopic characteristics. *Geoscience Canada*. **Vol.** 34 (1): 7-35.

NARANJO, J.A.; PUIG, A. 1984. Hojas Taltal y Chañaral. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile. 62-63: 140 p., 1 mapa escala 1:250.000.

PADILLA H, 1986. Edades K-Ar en rocas intrusivas pertenecientes al basamento económico, borde occidental de la depresión Puntas Negras. ENAP.

PARADA, M.; NYSTROM, J. & 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. y GALE, G. 1977. Identification of ore deposition environments from trace element geochemistry of associated igneous host rocks. In (Anonymous), *Volcanic processes in ore genesis*. Inst. Mining Metallurg: 14-24. Londres.

PEARCE, J. 1983. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: Hawkesworth, C. & Norry, M. (eds.), *Continental basalts and mantle xenoliths*. Shiva, Nantwich. 230 – 249 pp.

- RAMOS, V. 1988. Late Proterozoic – Early Paleozoic of South America – a Collisional History. *Episodes*. **Vol.** 11: 168 – 174.
- RAPALLINI, A. 1989. Estudio Paleomagnetico del vulcanismo Permotriasico de la Región Andina de la República Argentina. Consecuencias tectónicas y geodinámicas. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales., 278 pag.(inédito).
- ROLLINSON, H. 1993. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. Routledge Taylor & Francis Group: 352 pp. Oxon & New York.
- SEPÚLVEDA, P.; NARANJO, J.A. 1982. Hoja Carrera Pinto (Región de Atacama). Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile: 60 p., 1 mapa escala 1:100.000.
- SEPÚLVEDA, F.A.; VÁSQUEZ, P. y QUEZADA, A. 2014. Cartas Patillos y Oficina Victoria, Región de Tarapacá. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica N°167-168: 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- SUÁREZ, M.; NARANJO, J.; PUIG, A. 1985. Estratigrafía de la Cordillera de la Costa al sur de Taltal, Chile: Etapas iniciales de la evolución andina. *Revista Geológica de Chile* 24: 19–28.
- SUN, S.S. y MCDONOUGH, W.F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes. In: *Magmatism in the ocean basins*. Saunders, A.D. and Norry, M.J. (Editors). Geological Society of London. **Vol.** 42: 313-345. Londres.
- TOMLINSON, A.J.; CORNEJO, P.; MPODOZIS, C. 1999. Hoja Potrerillos, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos, 14, 1 mapa escala 1.100.000.
- ULRIKSEN C. 1979. Regional geology, geochronology and metallogeny of the Coastal Cordillera of Chile between 25°30' and 26°00' south. M.Sc. Thesis, unpublished, Dalhousie University, Halifax, Canada: 221 p.
- VALIN, X. 2014. Geoquímica de las unidades del Triásico a Jurásico Inferior en el norte de Chile (28°00'-29°30'S): implicancias para el inicio de la subducción. Memoria de Título (Inédito), Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra: 104 p. Concepción.
- VENEGAS, C.; CERVETTO, M.; ASTUDILLO, N., ESPINOZA, F.; CORNEJO, P.; MPODOZIS, C.; RIVERA, O. 2013. Carta Sierra Vaquillas Altas, Regiones de Antofagasta y Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 159. 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- WHITE, W. 2011. Radiogenic Isotope Geochemistry I: The Mantle. *Isotope Geochemistry*. Cornell University: 384 pp. Nueva York.

WILSON, M. 1989. *Igneous petrogenesis A Global Tectonic Approach*. Unwin Hyman: 466pp. London.

WINCHESTER, J. y FLOYD, P. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*. **Vol. 20**: 325-343.

WOOD, D.A. 1980. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of cristal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary Volcanic province. *Earth and Planetary Science Letters*. **Vol. 50**: 11-30.

ZAPATA, C. 2017. *Petrografía y geoquímica de las rocas volcánicas y volcanoclásticas del Triásico Superior – Cretácico Inferior de la Cordillera de la Costa entre las coordenadas 20°35' – 21°15' s y 70°10' – 69°35' W, región de Tarapacá, Chile*, Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra: 84 p. Concepción.

ZENTILLI, M. 1974. Geological evolution and metallogenetic relationships in the Andes of northern Chile between 26° and 29° south. *Memoria de título Queen's University*: 446 p., il., mapa, Kingston, Canadá.

ZINDLER, A. y HART, S. R. 1986. Chemical Geodynamics. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. **Vol. 14**: 493-571.





ANEXO I:
DESCRIPCION PETROGRÁFICA

ÍNDICE

	Página
1 COMPLEJO PLUTÓNICO PUNTA DEL VIENTO	85
Muestra CPV-14-153	85
Muestra CPV-15-365	86
2 COMPLEJO PLUTÓNICO CIFUNCHO	87
2.1 ROCAS INTRUSIVAS	87
Muestra CPV-14-180A	87
Muestra CPV-14-180B	88
Muestra CPV-14-191	89
3 FORMACIÓN LA TABLA	90
3.1 ROCAS VOLCÁNICAS	90
Muestra CPV-14-143	90
Muestra CPV-14-144	91
Muestra CPV-14-152	92
Muestra CPV-14-265	93
Muestra CPV-15-332	94
3.2 ROCAS PIROCLÁSTICAS	95
Muestra CPV-14-141	95
Muestra CPV-14-142	96
Muestra CPV-14-175	97
Muestra CPV-14-176	98
Muestra CPV-15-341	99
4 FORMACIÓN SIERRA DE VARAS	100
4.1 ROCAS VOLCÁNICAS	100
Muestra CPV-14-245	100
Muestra CPV-14-246	101
Muestra CPV-14-253	102
Muestra CPV-14-256	103
Muestra CPV-15-331	104
Muestra CPV-15-349	105

Muestra CPV-15-353	106
Muestra CPV-15-359	107
Muestra CPV-15-372	108
Muestra CPV-15-384	109
Muestra CPV-15-386	110
4.2 ROCAS PIROCLÁSTICAS.....	111
Muestra CPV-14-247	111
Muestra CPV-14-252	112
Muestra CPV-14-259	113
Muestra CPV-14-260	114
Muestra CPV-14-267	115
Muestra CPV-14-268	116
Muestra CPV-15-328	117
Muestra CPV-15-330	118
Muestra CPV-15-335	119
Muestra CPV-15-337	120
Muestra CPV-15-348	121
Muestra CPV-15-350	122
Muestra CPV-15-354	123
Muestra CPV-15-361	124
Muestra CPV-15-389	125
Muestra CPV-15-400	126
5 FORMACIÓN CERRO GUANACO.....	127
5.1 ROCAS VOLCÁNICAS.....	127
Muestra CPV-14-163	127
Muestra CPV-14-164	128
Muestra CPV-14-166	129
Muestra CPV-14-167	130
Muestra CPV-14-169A.....	131
Muestra CPV-14-171	132
Muestra CPV-14-172	133
Muestra CPV-14-173	134
Muestra CPV-14-174	135

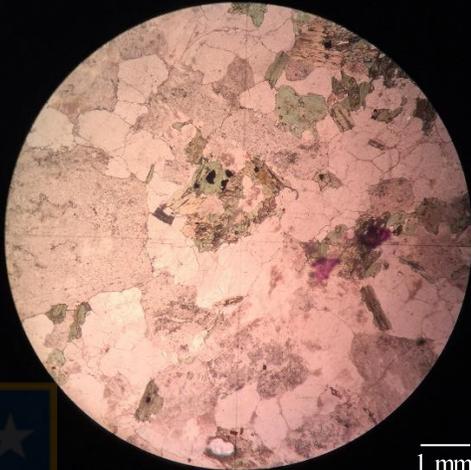
5.2 ROCAS PIROCLÁSTICAS.....	136
Muestra CPV-14-157	136
Muestra CPV-14-165	137
6 FORMACIÓN CIFUNCHO	138
6.1 ROCAS VOLCÁNICAS.....	138
Muestra CPV-14-177A.....	138
Muestra CPV-14-177B.....	139
Muestra CPV-14-177C.....	140
Muestra CPV-14-183	141
Muestra CPV-14-184	142
Muestra CPV-14-185	143
Muestra CPV-14-186	144
Muestra CPV-14-187	145
Muestra CPV-14-190	146
6.2 ROCAS PIROCLÁSTICAS.....	147
Muestra CPV-14-178	147
Muestra CPV-14-179	148
Muestra CPV-15-301	149
Muestra CPV-15-302	150
7 FORMACIÓN AGUA CHICA	151
7.1 ROCAS VOLCÁNICAS.....	151
Muestra CPV-14-194	151
Muestra CPV-14-196	152
Muestra CPV-14-197	153
Muestra CPV-14-198	154
7.2 ROCAS PIROCLÁSTICAS.....	155
Muestra CPV-14-195	155

1 COMPLEJO PLUTÓNICO PUNTA DEL VIENTO

1.1 ROCAS INTRUSIVAS

Muestra CPV-14-153			
Ubicación:	7.355.848 N / 476.925 E		
Localidad:	Cerro La Ballena		
Unidad:	Complejo Plutónico Punta del Viento		
Clasificación:	Granodiorita de anfíbol/biotita (Streckeisen, 1976)		
Textura:	Fanerítica inequigranular de grano medio – grueso Localmente pertítica		
Observaciones:	Ortoclasa presenta perfitas localmente		
Composición			
Minerales Primarios	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	38	Subhedral a euhedral	0,8 – 4,0
Cuarzo	21	Anhedral	0,6 – 1,2
Feldespato potásico (ortoclasa)	18	Anhedral	0,8 – 3,0
Anfíbol	11	Subhedral a euhedral	0,4 – 2,5
Biotita	9	Subhedral a euhedral	0,3 – 1,8
Opacos	3	Anhedral	0,07 – 0,7
	100		
Minerales de Alteración			
Mineral	(%)	Observaciones	
Arcillas	14	Se presenta como alteración de las plagioclasas con una intensidad moderada. También afecta al feldespato potásico de manera leve	
Sericita	24	Forma parte de la alteración de las plagioclasas, su intensidad es pervasiva	
Epidota	3	Localmente se encuentran alterando a las plagioclasas con una intensidad muy suave y altera levemente a los anfíboles	
Clorita	12	Altera fuertemente a las biotitas y moderadamente a los anfíboles	
	53		

LPP



1 mm

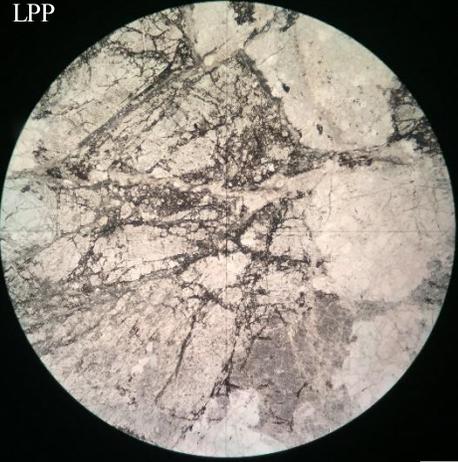
NC



1 mm

Muestra CPV-15-365			
Ubicación:	7.355.848 N / 476.925 E		
Localidad:	Quebrada Vaquillas Altas		
Unidad:	Complejo Plutónico Punta del Viento		
Clasificación:	Granodiorita (Streckeisen, 1976)		
Textura:	Fanerítica inequigranular de grano medio – grueso Localmente pertítica		
Observaciones:	La muestra presenta fracturas rellenas de material siliciclástico (la roca se encuentra bajo areniscas), feldespato potásico presenta pertitas.		
Composición			
Minerales Primarios	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	53	Subhedral a euhedral, alteradas a arcilla y sericita	0,9 – 7,2
Cuarzo	28	Anhedral	1,5 – 3,9
Feldespato potásico (ortoclasa)	17	Anhedral, presenta pertitas y alteración a arcillas	3,1 – 4,3
Clinopiroxeno	2	Subhedral, fracturados	1,4 – 1,7
	100		
Minerales de Alteración			
Mineral	(%)	Observaciones	
Arcillas	31	Se presenta como alteración de los Feldespatos con una intensidad moderada y ocasionalmente fuerte en los feldespatos potásicos	
Sericita	10	Forma parte de la alteración de las plagioclasas, su intensidad es leve	
Epidota	1	Localmente se encuentran alterando a las plagioclasas con una intensidad muy leve	
	42		

LPP



1 mm

NC



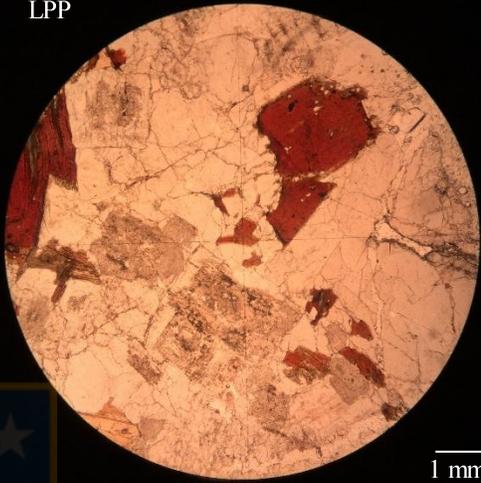
1 mm

2 COMPLEJO PLUTÓNICO CIFUNCHO

2.1 ROCAS INTRUSIVAS

Muestra CPV-14-180A			
Ubicación:	7.160.972 N / 335.853 E		
Localidad:	Quebrada Cifuncho		
Unidad:	Complejo Plutónico Cifuncho		
Clasificación:	Monzogranito de biotita (Streckeisen, 1976)		
Textura:	Fanerítica inequigranular de grano medio – grueso Localmente pertítica		
Observaciones:	Localmente las biotitas se encuentran alteradas levemente a clorita, la ortoclasa presenta pertitas ocasionalmente		
Composición			
Minerales Primarios	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	30	Subhedral a euhedral	0,8 – 6,0
Cuarzo	34	Anhedral	0,1 – 3,6
Feldespato potásico (ortoclasa)	19	Anhedral	0,7 – 2,9
Biotita	16	Anhedral a euhedral	0,5 – 2,5
Opacos	1	Anhedral	0,06 – 0,1
	100		
Minerales de Alteración			
Mineral	(%)	Observaciones	
Arcillas	2	Se presenta como alteración de las plagioclasas con una intensidad muy leve	
Sericita	16	Forma parte de la alteración de las plagioclasas, su intensidad es moderada	
Muscovita	1	Forma parte de la alteración de las plagioclasas, leve intensidad	
Epidota	2	Localmente se encuentran alterando a las plagioclasas con una intensidad muy suave	
Clorita	2	Localmente altera levemente a las biotitas	
	23		

LPP



1 mm

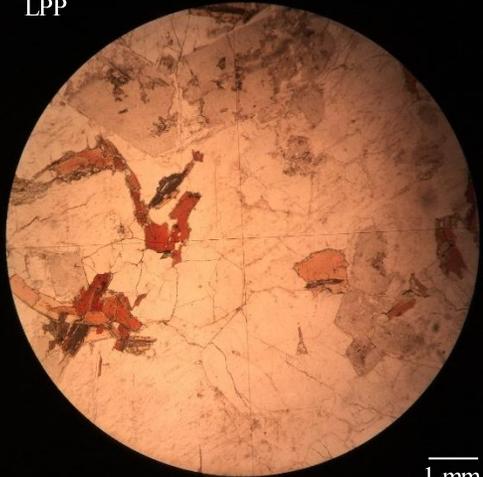
NC



1 mm

Muestra CPV-14-180B			
Ubicación:	7.160.972 N / 335.853 E		
Localidad:	Quebrada Cifuncho		
Unidad:	Complejo Plutónico Cifuncho		
Clasificación:	Monzogranito de biotita (Streckeisen, 1976)		
Textura:	Fanerítica inequigranular de grano medio – grueso Localmente pertítica		
Observaciones:	Localmente las biotitas se encuentran alteradas levemente a clorita		
Composición			
Minerales Primarios	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	24	Subhedral a euhedral	0,8 – 3,7
Cuarzo	34	Anhedral	0,1 – 2,9
Feldespato potásico (ortoclasa)	31	Anhedral a subhedral	1,3 – 7,2
Biotita	10	Anhedral a euhedral	0,5 – 2,5
Opacos	1	Anhedral	0,06 – 0,1
	100		
Minerales de Alteración			
Mineral	(%)	Observaciones	
Arcillas	2	Se presenta como alteración de los feldespatos con una intensidad muy leve	
Sericita	28	Forma parte de la alteración de las plagioclasas, su intensidad es moderada	
Muscovita	1	Forma parte de la alteración de las plagioclasas, leve intensidad	
Epidota	2	Localmente se encuentran alterando a las plagioclasas con una intensidad muy suave	
Clorita	2	Localmente altera levemente a las biotitas	
	33		

LPP



1 mm

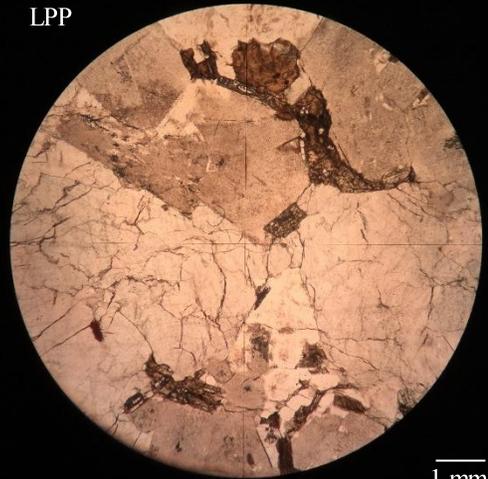
NC



1 mm

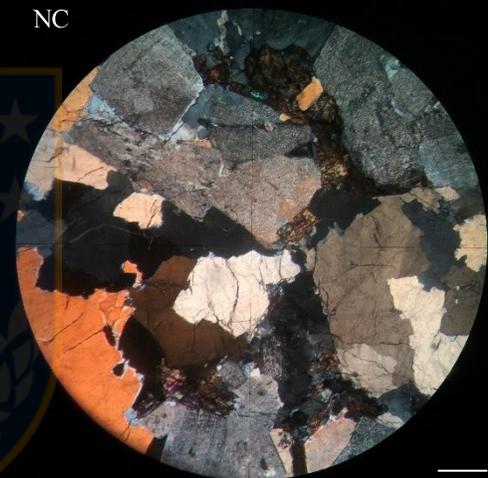
Muestra CPV-14-191			
Ubicación:	7.133.968 N / 331.989 E		
Localidad:	N Aguada las Cañas		
Unidad:	Complejo Plutónico Cifuncho		
Clasificación:	Monzogranito de biotita (Streckeisen, 1976)		
Textura:	Fanerítica inequigragular de grano medio – grueso		
Observaciones:	Biotitas se encuentran alteradas a epidota moderadamente.		
Composición			
Minerales Primarios	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	29	Subhedral a euhedral	0,8 – 7,4
Cuarzo	36	Anhedral, fracturados	0,7 – 3,6
Feldespato potásico (ortoclasa)	15	Anhedral	1,3 – 7,0
Biotita	19	Subhedral a euhedral cloritizados	0,5 – 6,4
Opacos	1	Anhedral	0,06 – 0,1
	100		
Minerales de Alteración			
Mineral	(%)	Observaciones	
Arcillas	19	Se presenta como alteración de las plagioclasas con una intensidad moderada a fuerte y leve de las ortoclasas	
Sericita	5	Alteración de las plagioclasas, su intensidad es leve a moderada	
Muscovita	<1	Forma parte de la alteración de las plagioclasas, muy leve intensidad	
Epídota	7	Altera a la biotita moderadamente	
Clorita	3	Altera levemente a las biotitas	
	35		

LPP



1 mm

NC



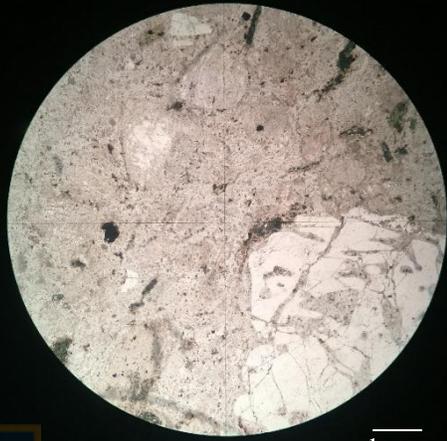
1 mm

3 FORMACIÓN LA TABLA

3.1 ROCAS VOLCÁNICAS

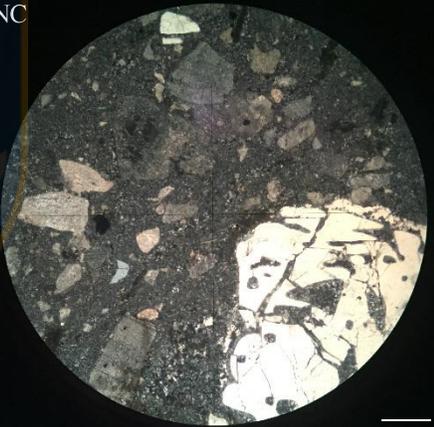
Muestra CPV-14-143			
Ubicación:	7.337.309 N / 476.671 E		
Localidad:	Cerro Pascua		
Unidad:	Formación La Tabla		
Clasificación:	Riolita de biotita (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Porfídica seriada		
Observaciones:	La roca presenta biotitas completamente alteradas a clorita		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	21	Subhedrales a euhedrales	0,1 – 3,0
Biotita	10	Euhedrales completamente alterados	0,1 – 0,7
Cuarzo	11	Anhedrales, embahados	0,05 – 2,6
Feldespato K	17	Subhedrales	0,3 – 2,1
Opacos	2	Anhedrales	0,05 – 1,4
	61		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	5	Sus cristales subhedrales	< 0,03
Cuarzo	12	Anhedrales	< 0,03
Vidrio	21	Alterado a arcilla	
Opacos	1	Anhedrales	< 0,03
	39		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Arcilla	8	Alteración moderada de las plagioclasas	
Sericita	10	Altera fuertemente a los cristales de plagioclasa	
Epidota	4	Localmente forma parte de la alteración de las plagioclasas	
Clorita	8	Altera completamente la biotita	
	30		

LPP



1 mm

NC



1 mm

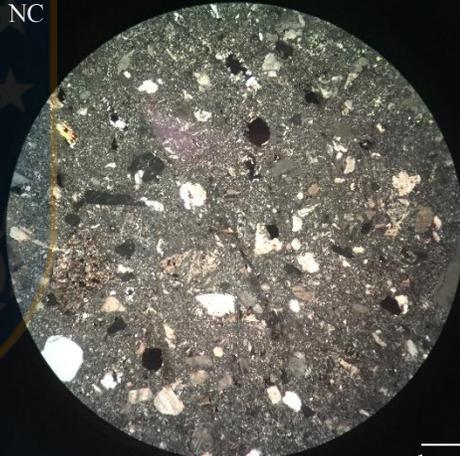
Muestra CPV-14-144				
Ubicación:	7.337.047 N / 476.217 E			
Localidad:	Cerro Pascua			
Unidad:	Formación La Tabla			
Clasificación:	Dacita (Streckeisen, 1978)			
Textura:	Porfídica seriada			
Observaciones:	Cuarzos con bordes aserrados, vidrio fuertemente desvitrificado			
Composición				
a) Fenocristales				
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)	
Plagioclasa	20	Subhedrales a euhedrales	0,3 – 2,5	
Cuarzo	8	Anhedrales	0,05 – 2,3	
Feldespato K	2	Subhedrales	0,3 – 1,4	
Opacos	4	Anhedrales	0,05 – 1,4	
	34			
b) Masa Fundamental				
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)	
Vidrio	47	Desvitrificado, alterado a arcilla	< 0,03	
Cuarzo	1	Anhedrales	< 0,03	
Plagioclasa	13	Subhedrales	< 0,03	
Opacos	4	Anhedrales	< 0,03	
	66			
Minerales de Alteración				
Minerales	(%)	Observaciones		
Arcilla	18	Alteración moderada de las plagioclasas y el vidrio		
Sericita	3	Altera levemente a los cristales de plagioclasa		
Epidota	1	Localmente forma parte de la alteración de las plagioclasas		
Calcita	7	Altera moderadamente a la plagioclasa		
	29			

LPP



1 mm

NC



1 mm

Muestra CPV-14-152			
Ubicación:	7.354.239 N /478.347 E		
Localidad:	Cerro La Ballena		
Unidad:	Formación La Tabla		
Clasificación:	Dacita de biotita(Streckeisen, 1978)		
Textura:	Porfídica		
Observaciones:	La masa fundamental está compuesta por vidrio alterado a arcillas, pero también por pequeños cristales de cuarzo (<0,05 mm). El cuarzo se encuentra generalmente con bordes embahados.		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	29	Subhedral a euhedral	0,4 – 2,8
Cuarzo	22	Anhedral	0,2 – 3,0
Biotita*	7	Subhedral y cloritizados	0,4 – 1,6
Feldespato K	2	Subhedral	0,9 – 2,0
Opacos	4	Anhedral	0,2 – 1,4
	64		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Vidrio	27	Desvitrificado moderado	< 0,03
Cuarzo	4	Anhedral	< 0,05
Plagioclasa	3	Subhedral	< 0,06
Opacos	2	Anhedral	< 0,08
	36		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Arcilla	18	Alteración pervasiva de las plagioclasas y el vidrio	
Sericita	3	Altera levemente a los cristales de plagioclasa	
Epidota	5	Localmente forma parte de la alteración de las plagioclasas y la biotita	
Clorita	7	Alteración pervasiva de la biotita	
	33		

LPP



1 mm

NC



1 mm

Muestra CPV-14-265			
Ubicación:	7.299.389 N / 476.249 E		
Localidad:	Aguada de Varas		
Unidad:	Formación La Tabla		
Clasificación:	Dacita (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Porfídica- brechosa (autobrecha)		
Observaciones:	La roca presenta líticos monomíticos ácidos porfídicos con masa fundamental desvitrificada (felsofídico) con una matriz de vidrio menos desvitrificado de la misma composición		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	14	Subhedrales a euhedrales	0,2 – 2,5
Feldespato potásico (ortoclasa)	3	Anhedral	0,2 – 0,7
Cuarzo	12	Anhedrales	0,2 – 1,9
Biotita	5	Subhedrales a euhedrales cloritizados	0,3 – 1,2
Máficos indeterminados	10	Anhedrales a subhedrales, alterados a calcita	0,7 – 3,5
Opacos	1	Anhedrales	0,1 – 0,3
	45		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Vidrio	55	El vidrio se encuentra fuertemente desvitrificado y alterado moderadamente a arcilla y calcita	< 0,06
	55		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Arcilla	21	Alteración fuerte de plagioclasas, moderada de ortoclasas y vidrio	
Clorita	4	Altera fuertemente biotitas	
Sericita	3	Alteración leve de plagioclasas y ortoclasa	
Epidota	3	Alteración de biotitas y máficos indiferenciados	
Calcita	6	Alteración fuerte de máficos indiferenciados	
	37		

LPP



1 mm

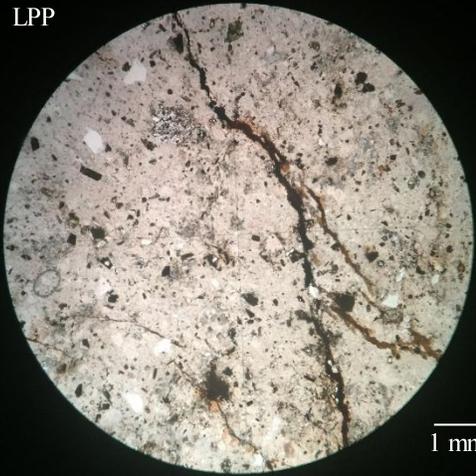
NC



1 mm

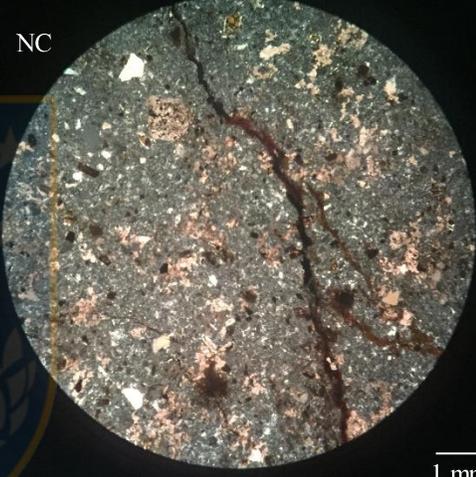
Muestra CPV-15-332			
Ubicación:	7.226.045 N / 475.197 E		
Localidad:	Quebrada el Salitre		
Unidad:	Formación La Tabla		
Clasificación:	Dacita (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Porfídica		
Observaciones:	Presenta abundantes vesículas rellenas de calcita y un alto nivel de alteración		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Anfibol	12	Euhedrales a subhedrales, alterados a clorita	0,2 – 0,9
Cuarzo	18	Anhedrales	0,1 – 0,8
Opacos	9	Anhedrales	0,1 – 0,6
	39		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Vidrio	61	Desvitrificado, felsofídico	< 0,1
	61		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Clorita	5	Altera moderadamente a anfíboles	
Calcita	54	Rellenando espacios	
Arcillas	10	Altera levemente a la masa fundamental	
	69		

LPP



1 mm

NC



1 mm

3.2 ROCAS PIROCLÁSTICAS

Muestra CPV-14-141			
Ubicación:	7.340.107 N / 449.982 E		
Localidad:	W Cerro El Arbol		
Unidad:	Formación La Tabla		
Clasificación Textural:	Toba (<i>after</i> Fisher, 1966)		
Clasificación Composicional:	Toba vítrea (<i>after</i> Schmid, 1981)		
Fábrica:	Clasto-soportado		
Texturas:	Fragmental y eutaxítica		
Observaciones:	La matriz está compuesta por vidrio moderadamente alterado a arcillas, pero también por pequeños cristales de cuarzo (0,05 – 0,2 mm). El porcentaje de cristales en la matriz no supera el 10% y ha sido añadido al porcentaje de cristales. Se observan vetillas de 0,2 mm de espesor rellenas de calcita.		
Composición			
a) Cristales			
Mineral	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	23	Cristales fragmentados	0,3 – 2,1
Cuarzo	25	Cristales fragmentados y fracturados	0,05 – 2,5
	48		
b) Líticos			
Tipo	(%)	Tamaño (mm)	Descripción
<i>Fiammes</i>	7	0,4	Textura fluidal, desvitrificado
	7		
c) Vidrio			
Tipo	(%)	Descripción	
Vidrio	45	El vidrio se encuentra alterado a arcillas y ligeramente desvitrificado	
	45		
Minerales de Alteración			
Mineral	(%)	Observaciones	
Sericita	2	Altera débilmente a las plagioclasas	
Arcillas	20	Altera moderadamente al vidrio	
	22		

LPP



1 mm

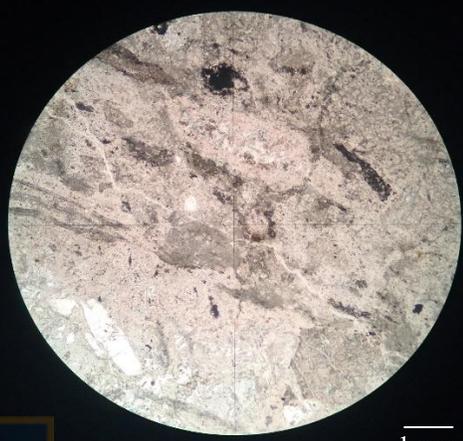
NC



1 mm

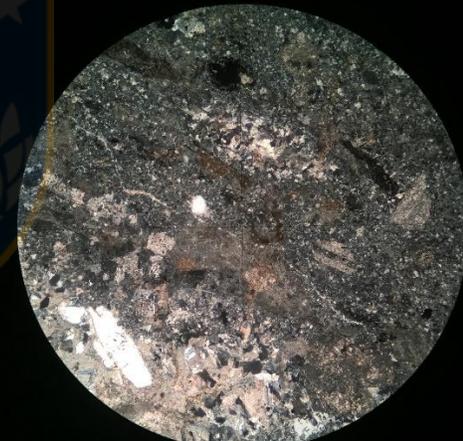
Muestra CPV-14-142			
Ubicación:	7.340.107 N / 449,982 E		
Localidad:	W Cerro El Arbol		
Unidad:	Formación La Tabla		
Clasificación Textural:	Toba (<i>after</i> Fisher, 1966)		
Clasificación Composicional:	Toba vítrea (<i>after</i> Schmid, 1981)		
Fábrica:	Clasto-soportado		
Texturas:	Fragmental y eutaxítica.		
Observaciones:	La matriz está compuesta por vidrio moderadamente alterado a arcillas, pero también por pequeños cristales de cuarzo (0,05 – 0,2 mm). La calcita se encuentra rellenando espacios y en los bordes de los cristales.		
Composición			
a) Cristales			
Mineral	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	9	Cristales fragmentados	0,3 – 1,5
Cuarzo	12	Cristales fragmentados y embahados	0,05 – 1
Calcita	21	Cristales redondeados rellenando espacios	0,02 – 2,2
Opacos	4	Cristales embahados	0,02 – 1
	46		
b) Líticos			
Tipo	(%)	Tamaño (mm)	Descripción
<i>Fiammes</i>	21	0,9 – 2,0	Textura fluidal, desvitrificado de color oscuro
	21		
c) Vidrio			
Tipo	(%)	Descripción	
Vidrio	33	El vidrio se encuentra alterado a arcillas y ligeramente desvitrificado	
	33		
Minerales de Alteración			
Mineral	(%)	Observaciones	
Sericita	4	Altera débilmente a las plagioclasas	
Arcillas	20	Altera moderadamente al vidrio y fuertemente a las plagioclasas	
	24		

LPP



1 mm

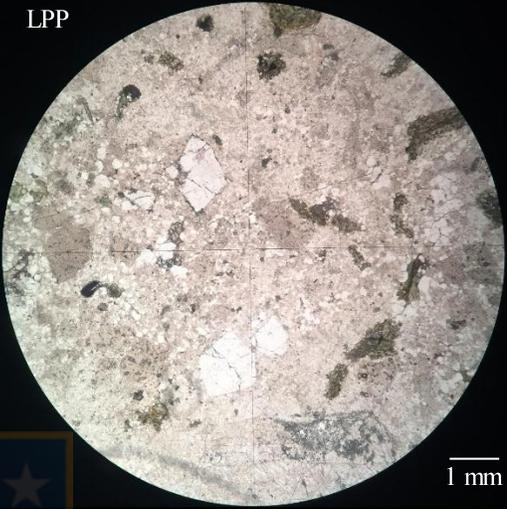
NC



1 mm

Muestra CPV-14-175			
Ubicación:	7.272.035 N / 480.440 E		
Localidad:	Quebrada Mármol		
Unidad:	Formación La Tabla		
Clasificación Textural:	Toba de lapilli (<i>after</i> Fisher, 1966)		
Clasificación Composicional:	Toba cristalina (<i>after</i> Schmid, 1981)		
Fábrica:	Clasto-soportado		
Texturas:	Fragmental		
Observaciones:	La matriz está compuesta por vidrio desvitrificado moderadamente alterado a arcillas, pero también por pequeños cristales de cuarzo (<0,06 mm).		
Composición			
a) Cristales			
Mineral	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	43	Cristales fragmentados	0,3 – 3,5
Feldespatos K (Ortoclasa)	2	Cristales semifragmentados	0,4 – 2,0
Cuarzo	9	Cristales fragmentados y embahados	0,1 – 6,5
Biotita	12	Cristales redondeados relleno de espacios	0,2 – 2,2
Opacos	1	Escasos	<0,06
	67		
b) Líticos			
Tipo	(%)	Tamaño (mm)	Descripción
	0		
c) Vidrio			
Tipo	(%)	Descripción	
Vidrio	33	El vidrio se encuentra desvitrificado y ligeramente alterado a arcillas	
	33		
Minerales de Alteración			
Mineral	(%)	Observaciones	
Sericita	4	Altera débilmente a las plagioclasas	
Clorita	2	Altera levemente a las biotitas	
Epidota	9	Altera moderadamente a las biotitas y las plagioclasas localmente	
Arcillas	11	Altera moderadamente al vidrio y fuertemente a las plagioclasas	
	26		

LPP



1 mm

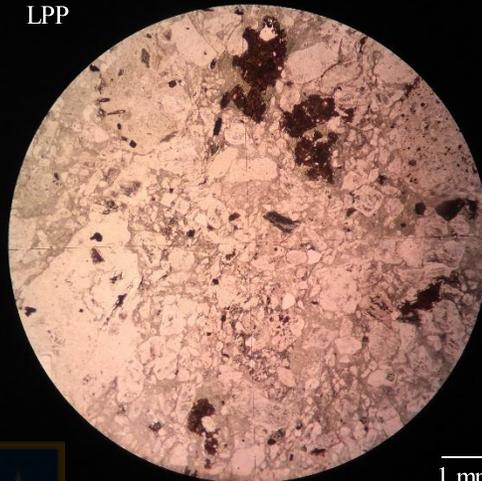
NC



1 mm

Muestra CPV-14-176			
Ubicación:	7.272.029 N / 480.403 E		
Localidad:	Quebrada Mármol		
Unidad:	Formación La Tabla		
Clasificación Textural:	Toba de lapilli (<i>after</i> Fisher, 1966)		
Clasificación Composicional:	Toba cristalina (<i>after</i> Schmid, 1981)		
Fábrica:	Clasto-soportado		
Texturas:	Fragmental		
Observaciones:	La matriz está compuesta por vidrio desvitrificado moderadamente alterado a arcillas, pero también por pequeños cristales de cuarzo (<0,06 mm).		
Composición			
a) Cristales			
Mineral	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	42	Cristales fragmentados	0,3 – 3,5
Cuarzo	8	Cristales fragmentados y embahados	0,1 – 6,5
Biotita	12	Subhedralas cloritizadas	0,2 – 2,2
Anfíbol	3	Cristales subhedralas a euhedralas fragmentados	
Opacos	2	Euhedralas	0,4 – 1,4
	67		
b) Líticos			
Tipo	(%)	Tamaño (mm)	Descripción
	0		
c) Vidrio			
Tipo	(%)	Descripción	
Vidrio	33	El vidrio se encuentra desvitrificado y ligeramente alterado a arcillas	
	33		
Minerales de Alteración			
Mineral	(%)	Observaciones	
Sericita	4	Altera débilmente a las plagioclasas	
Clorita	8	Altera moderadamente a las biotitas y anfíbol	
Epidota	12	Altera moderadamente a las biotitas y las plagioclasas	
Arcillas	9	Altera moderadamente al vidrio y fuertemente a las plagioclasas	
	33		

LPP



1 mm

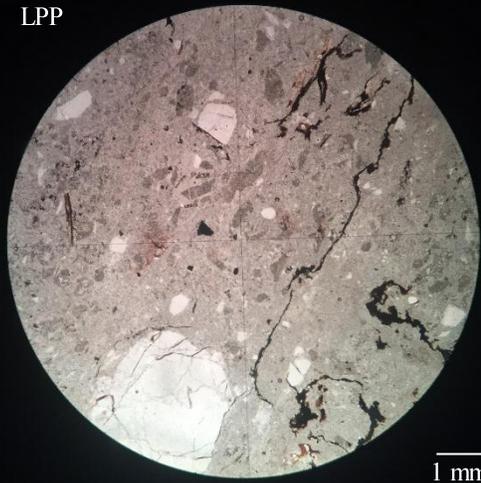
NC



1 mm

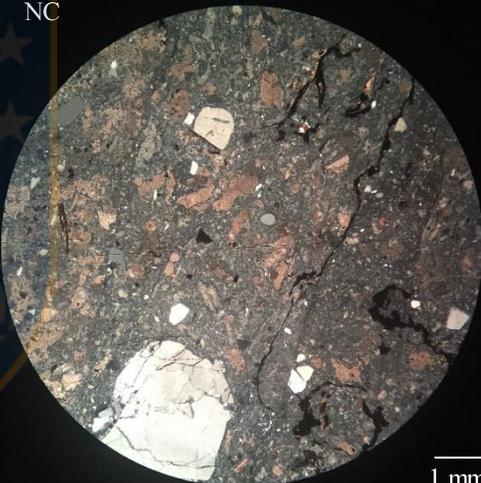
Muestra CPV-15-341			
Ubicación:	7.201.908 N / 471.925 E		
Localidad:	Quebrada Los Pozos		
Unidad:	Formación La Tabla		
Clasificación Textural:	Toba (<i>after</i> Fisher, 1966)		
Clasificación Composicional:	Vítrea (<i>after</i> Schmid, 1981)		
Fábrica:	Matriz-soportado		
Texturas:	Fragmental		
Observaciones:	Presenta esquirlas en matriz vítrea alteradas a calcita, cristales de cuarzo quebrados y de gran dimensión (similar a ojos de cuarzo) y plagioclasas alteradas a calcita		
Composición			
a) Cristales			
Mineral	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	4	Subhedral, fragmentados y alterados a calcita	0,4 – 2,4
Muscovita	1	Euhedral	~ 0,2
Cuarzo	11	Anhedral, fracturados y redondeados	0,1 – 2,1
	16		
b) Líticos			
Tipo	(%)	Tamaño (mm)	Descripción
	0		
c) Vidrio			
Tipo	(%)	Descripción	
Esquirlas	27	Alteradas a calcita	
Vidrio	57	Alterado fuertemente a calcita	
	84		
Minerales de Alteración			
Mineral	(%)	Observaciones	
Calcita	65	Rellenando espacios y alterando al vidrio, cristales y esquirlas	
	65		

LPP



1 mm

NC



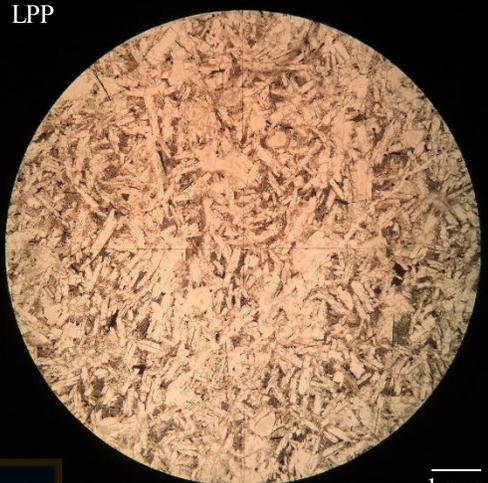
1 mm

4 FORMACIÓN SIERRA DE VARAS

4.1 ROCAS VOLCÁNICAS

Muestra CPV-14-245			
Ubicación:	7.196.656 N / 476.322 E		
Localidad:	Sur Quebrada Vaquillas		
Unidad:	Formación Quebrada del Salitre		
Clasificación:	Andesita Basáltica (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Porfídica inequigragular interseccional		
Observaciones:	Presenta amígdalas rellenas de calcita (~1mm). Masa fundamental muy alterada		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	78	Subhedral a euhedral, fracturados	0,3 – 1,4
Piroxeno (Clinopiroxeno)	4	Subhedral	0,2 – 0,5
Opacos	2	Anhedral	0,1 – 0,5
	84		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Vidrio	16	Completamente desvitrificado y alterado	< 0,06
	16		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Arcilla	13	Alteración moderada del vidrio y leve de plagioclasas	
Calcita	26	Alteración fuerte de vidrio y piroxenos. Relleno de amígdalas	
	39		

LPP



1 mm

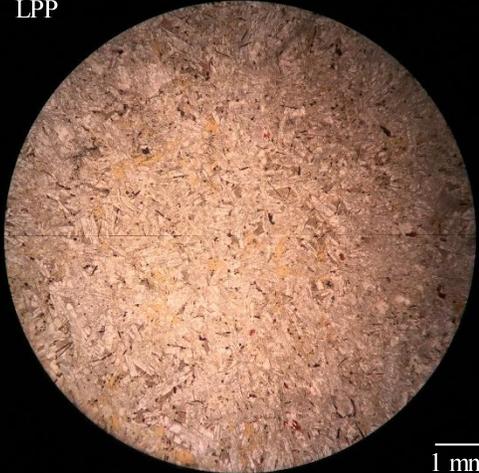
NC



1 mm

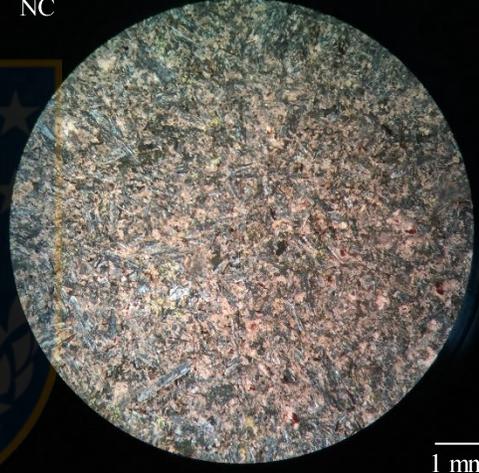
Muestra CPV-14-246			
Ubicación:	7.196.656 N / 476.322 E		
Localidad:	Sur Quebrada Vaquillas		
Unidad:	Formación Sierra de Varas		
Clasificación:	Andesita de anfíbol (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Porfídica inequigranular intersectal		
Observaciones:	Presenta amígdalas rellenas de calcita (~1mm). Muestra CPV-14-245 más alterada y con más máficos		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	63	Subhedral a euhedral, fracturados, alterados	0,3 – 1,6
Anfíbol	12	Subhedral, cloritizados	0,2 – 0,5
Opacos	3	Anhedral	0,1 – 0,5
	78		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Vidrio	22	Completamente desvitrificado y alterado	< 0,06
	22		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Arcilla	17	Alteración moderada del vidrio y leve de plagioclasas	
Clorita	3	Alteración moderada de los anfíboles	
Calcita	46	Alteración fuerte de vidrio. Relleno de amígdalas	
	66		

LPP



1 mm

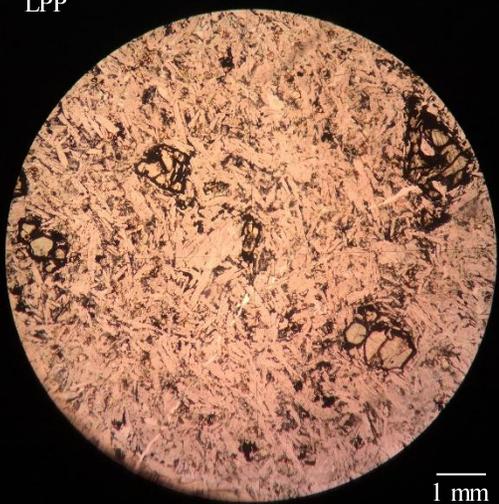
NC



1 mm

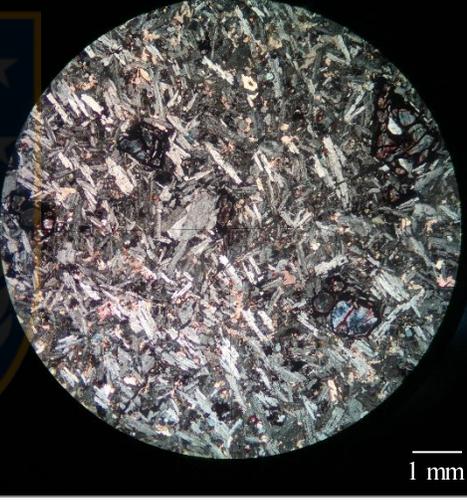
Muestra CPV-14-253			
Ubicación:	7.201.597 N / 476.972 E		
Localidad:	Quebrada Vaquillas		
Unidad:	Formación Sierra de Varas		
Clasificación:	Basalto (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Intergranular		
Observaciones:	Presenta amígdalas rellenas de calcita. Máficos de olivino, pero presentan falso "clivaje" ortogonal lo cual hace difícil distinguirlos.		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	79	Subhedral a euhedral, fracturados, alterados	0,2 – 3,4
Máficos (olivinos)	12	Subhedral, alterados a iddingsita, serpentina y calcita	0,2 – 1,7
Opacos	5	Anhedral	0,1 – 0,6
	96		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Vidrio	4	Desvitrificado	< 0,05
	4		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Arcilla	23	Alteración moderada de plagioclasas	
Iddingsita	2	Alteración leve de los Máficos	
Epidota	2	Alteración muy leve de plagioclasas	
Serpentina	7	Alteración fuerte de los máficos	
Calcita	4	Alteración fuerte de máficos. Relleno de amígdalas	
	33		

LPP



1 mm

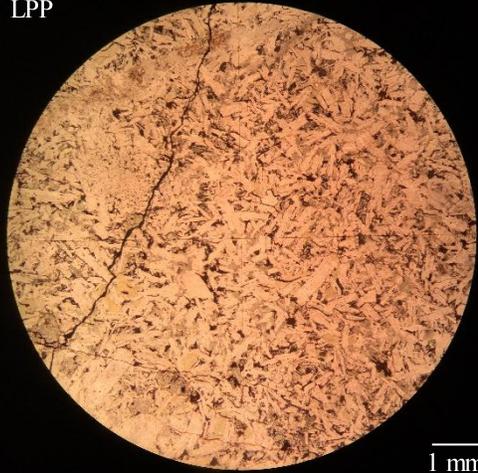
NC



1 mm

Muestra CPV-14-256			
Ubicación:	7.201.796 N / 469.978 E		
Localidad:	Norte Quebrada Aguada de la Mina		
Unidad:	Formación Sierra de Varas		
Clasificación:	Andesita basáltica (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Intersectal		
Observaciones:	Amígdalas rellenas de calcita y clorita. Vetillas milimétricas de calcita.		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	79	Subhedral a euhedral, fracturados, alterados	0,2 – 2,5
Máficos	3	Subhedral, alterados a clorita	0,2 – 0,3
Opacos	4	Anhedral	0,1 – 0,6
	86		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Vidrio	14	Desvitrificado	< 0,05
	14		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Arcilla	9	Alteración leve de plagioclasas	
Clorita	7	Relleno de espacios y alteración de máficos	
Sericita	14	Alteración leve de plagioclasas	
Calcita	26	Relleno de amígdalas y vetillas	
	56		

LPP



1 mm

NC



1 mm

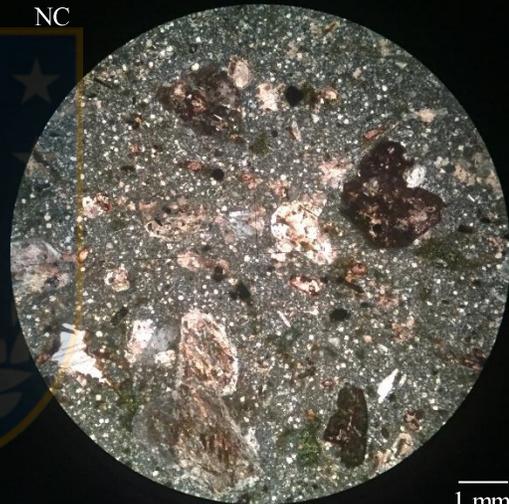
Muestra CPV-15-331			
Ubicación:	7.226.836 N / 475.369 E		
Localidad:	Quebrada el Salitre		
Unidad:	Formación Sierra de Varas		
Clasificación:	Andesita (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Porfídica a vitrofídica		
Observaciones:	La roca tiene textura porfídica de plagioclasas y anfíboles ambos de gran dimensión con masa fundamental poco distinguible debido a que se encuentra una alteración de clorita y desvitrificación.		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Anfibol	18	Euhedrales a subhedrales, alterados a clorita	0,4 – 5,8
Plagioclasa	26	Euhedrales a Subhedrales, alterados a arcillas	0,3 – 7,8
Opacos	2	Anhedrales	0,1 – 0,3
	46		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Indeterminado (probable vidrio desvitrificado)	54	Parece vidrio desvitrificado, alterado fuertemente a clorita	< 0,1
	54		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Clorita	14	Altera fuertemente a anfíboles y moderadamente a la masa fundamental	
Calcita	3	Rellenando espacios	
Arcillas	21	Altera levemente a la masa fundamental y fuertemente a las plagioclasas	
	39		

LPP



1 mm

NC



1 mm

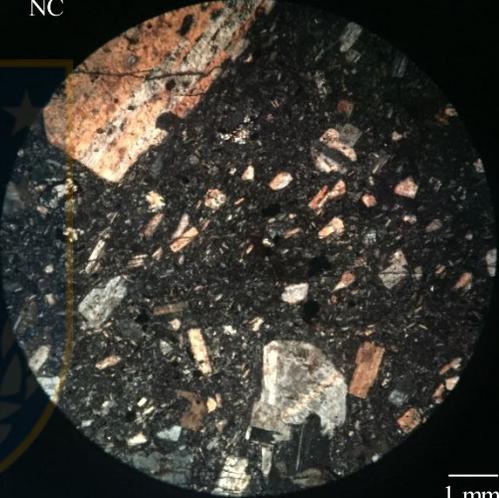
Muestra CPV-15-349				
Ubicación:	7.201.629 N / 471.833 E			
Localidad:	Quebrada Los Pozos			
Unidad:	Formación Sierra de Varas			
Clasificación:	Andesita (Streckeisen, 1978)			
Textura:	Porfídica			
Observaciones:	Corresponde a lítico en brecha (CPV-15-350)			
Composición				
a) Fenocristales				
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)	
Plagioclasa	42	Euhedrales a subhedrales, alterados a sericita	0,1 – 4,0	
Cuarzo	3	Anhedrales	0,5 – 1,7	
Opacos	3	Anhedrales	0,1 – 0,	
	48			
b) Masa Fundamental				
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)	
Vidrio	52	Desvitrificado	< 0,1	
	52			
Minerales de Alteración				
Minerales	(%)	Observaciones		
Sericita	5	Altera ligeramente a la plagioclasa		
Arcillas	22	Altera moderadamente a la masa fundamental y levemente a las plagioclasas		
	27			
				

LPP



1 mm

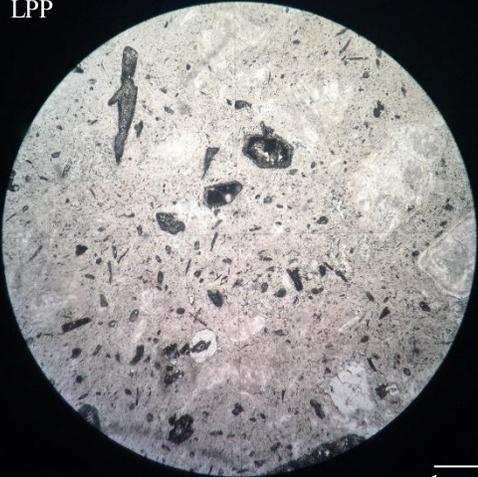
NC



1 mm

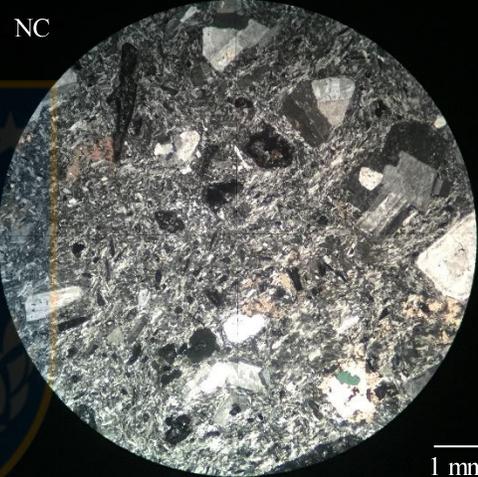
Muestra CPV-15-353			
Ubicación:	7.201.617 N / 471.839 E		
Localidad:	Quebrada Los Pozos		
Unidad:	Formación Sierra de Varas		
Clasificación:	Dacita (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Porfídica		
Observaciones:	Alto contenido de máficos oscuros indiferenciados, vidrio felsofídico alterado a arcillas		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	27	Euhedrales a subhedrales, alterados a sericita	0,3 – 3,3
Cuarzo	8	Anhedrales, embahados	0,7 – 1,1
Máficos indeterminado	18	Subhedrales a anhedrales, opacos en bordes	0,6 – 3,7
Opacos	2	Anhedrales	~ 0,2
	55		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	8	Subhedrales, alterados a sericita	< 0,1
Vidrio	37	Desvitrificado, felsofídico	< 0,1
	45		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Sericita	6	Altera ligeramente a la plagioclasa	
Calcita	4	Rellena espacios	
Arcillas	13	Altera moderadamente a la masa fundamental y levemente a las plagioclasas	
	23		

LPP



1 mm

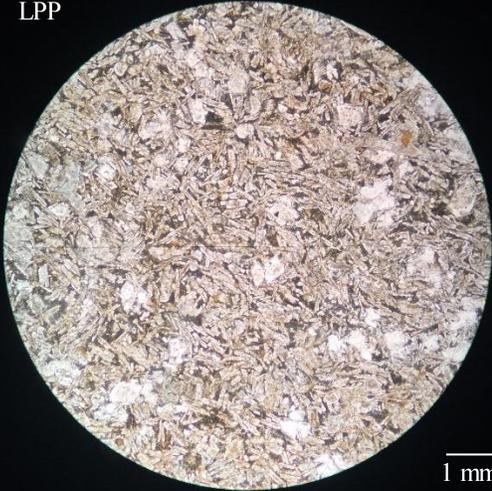
NC



1 mm

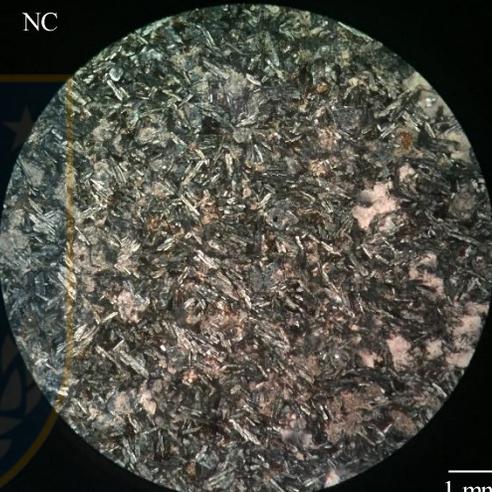
Muestra CPV-15-359			
Ubicación:	7.201.542 N / 471.825 E		
Localidad:	Quebrada Los Pozos		
Unidad:	Formación Sierra de Varas		
Clasificación:	Basalto (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Intersectal		
Observaciones:	Roca presenta muy poco vidrio, está compuesta principalmente por plagioclasas sin orientación preferencial de tamaño similar. Vesículas rellenas de calcita son muy frecuentes y presencia de otras rellenas de material silíceo. Clasificación basada en afloramiento.		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	90	Euhedrales a subhedrales, alterados a sericita ligeramente	0,5 – 0,8
	90		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Vidrio	10	Desvitrificado	< 0,1
	10		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Sericita	18	Altera ligeramente a la plagioclasa	
Calcita	40	Rellena espacios	
Carbonato indeterminado	14	Rellena espacios, probable mezcla arcilla-calcita	
	72		

LPP



1 mm

NC



1 mm

Muestra CPV-15-372			
Ubicación:	7.201.700 N / 475.791 E		
Localidad:	Quebrada Los Pozos		
Unidad:	Formación Sierra de Varas		
Clasificación:	Basalto (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Intersectal		
Observaciones:	Roca presenta muy poco vidrio, está compuesta principalmente por plagioclasas sin orientación preferencial de tamaño similar. Vesículas rellenas de carbonato son frecuentes. Clasificación basada en afloramiento.		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	92	Euhedrales a subhedrales, alterados a sericita ligeramente y arcilla moderadamente	0,2 – 1,5
	92		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Vidrio	8	Desvitrificado	< 0,1
	8		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Sericita	12	Altera ligeramente a la plagioclasa	
Arcilla	40	Altera la muestra en general	
Carbonato indeterminado	10	Rellena espacios, probable mezcla arcilla-calcita	
	62		

LPP



1 mm

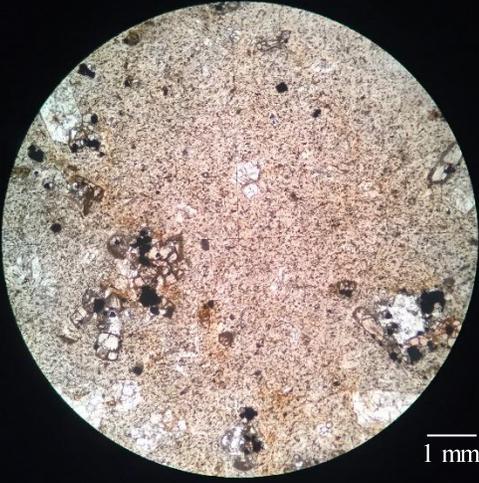
NC



1 mm

Muestra CPV-15-384			
Ubicación:	7.201.700 N / 475.791 E		
Localidad:	Quebrada Los Pozos		
Unidad:	Formación Sierra de Varas		
Clasificación:	Basalto (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Porfídica		
Observaciones:	Corte medianamente grueso, algunas plagioclasas presentan colores de alta birrefringencia debido a esto. Roca con nivel de alteración bajo con epidota		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Olivino	9	Subhedral a anhedral, presentan fracturas y alteración a iddingsita leve	0,3 – 0,7
Piroxeno (clinopiroxeno)	6	Subhedral, con fracturas	0,4 – 0,8
Plagioclasa	15	Euhedral a subhedral, fracturados	0,4 – 2,2
	30		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	30	Euhedral, arcilloso	< 0,4
Vidrio	40	Desvitrificado y arcilloso	< 0,1
	70		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Sericita	4	Altera ligeramente a la plagioclasa	
Epidota	5	En masa fundamental, pequeño	
Arcilla	10	Altera masa fundamental y fenocristales de plagioclasa	
Iddingsita	2	Altera levemente al olivino	
	21		

LPP



1 mm

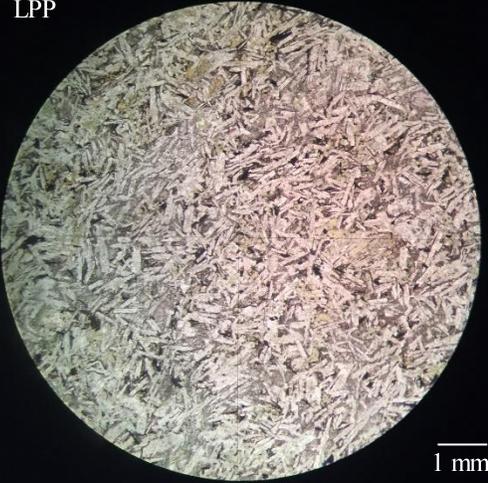
NC



1 mm

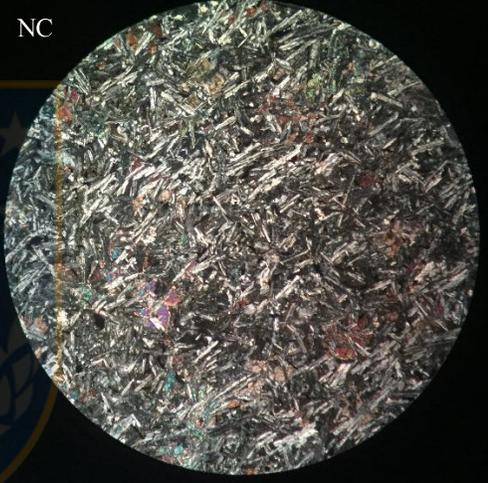
Muestra CPV-15-386			
Ubicación:	7.201.470 N / 471.710 E		
Localidad:	Quebrada Los Pozos		
Unidad:	Formación Sierra de Varas		
Clasificación:	Basalto/ Andesita basáltica? (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Intergranular		
Observaciones:	No se observa vidrio ni masa fundamental. Máficos presentan alteración fuerte		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Piroxeno (clinopiroxeno)	16	Anhedrales, con fracturas, altamente alterados, distribuidos entre los cristales de plagioclasa	0,2 – 0,7
Plagioclasa	84	Euhedrales a subhedrales, presentan alteración débil	0,5 – 0,9
	100		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Vidrio	0	Desvitrificado y arcilloso	< 0,1
	0		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Titanita	3	Parte de la alteración de los máficos	
Epidota	6	Parte de la alteración de los máficos	
Clorita	4	Parte de la alteración de los máficos	
Sericita	4	Altera levemente a la plagioclasa	
	17		

LPP



1 mm

NC



4.2 ROCAS PIROCLÁSTICAS

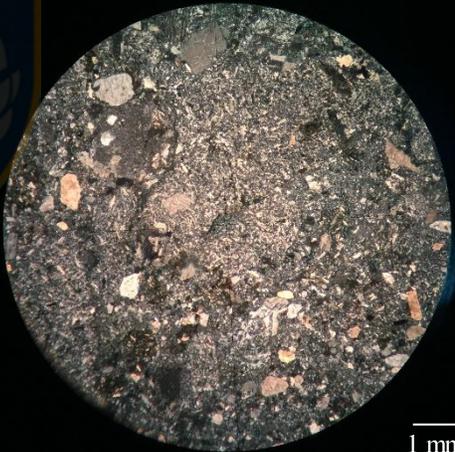
Muestra CPV-14-247			
Ubicación:	7.202.620 N / 478.216 E		
Localidad:	Ladera Sur Quebrada Vaquillas		
Unidad:	Formación Sierra de Varas		
Clasificación Textural:	Toba de lapilli (<i>after</i> Fisher, 1966)		
Clasificación Composicional:	Lítica (<i>after</i> Schmid, 1981)		
Fábrica:	Clasto-soportado		
Texturas:	Fragmental		
Observaciones:	Roca oligomítica con predominancia de líticos ácidos		
Composición			
a) Cristales			
Mineral	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	17	Cristales anhedrales a euhedrales levemente fragmentados	0,2 – 2,0
Cuarzo	2	Anhedral, embahados	0,7
Opacos	3	Cristal Anhedral	<0,3
	22		
b) Líticos			
Tipo	(%)	Tamaño (mm)	Descripción
Volcánicos ácidos	42	0,5 – 4,3	Limpios, angulosos con fenocristales de máficos cloritizados, masa fundamental desvitrificada
Volcánicos andesíticos	16	0,5 – 3,7	Sucios y angulosos, con fenocristales de plagioclasa y máficos alterados, masa fundamental vidrio desvitrificado
	58		
c) Vidrio			
Tipo	(%)	Descripción	
Vidrio	20	El vidrio se encuentra casi completamente desvitrificado y alterado moderadamente	
	20		
Minerales de Alteración			
Mineral	(%)	Observaciones	
Clorita	5	Altera moderadamente a máficos indiferenciados en líticos ácidos	
Arcillas	24	Altera moderadamente al vidrio tanto en masa fundamental como en líticos, también levemente a las plagioclasas	
	29		

LPP



1 mm

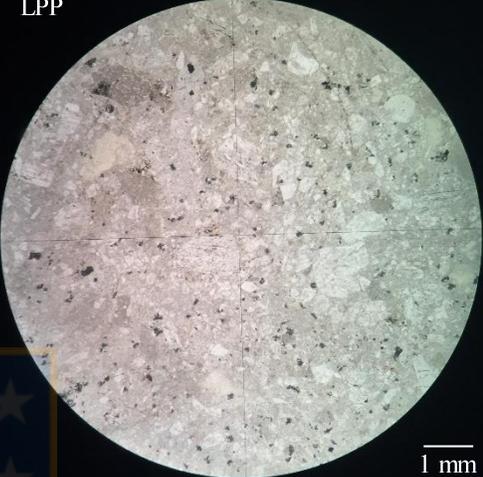
NC



1 mm

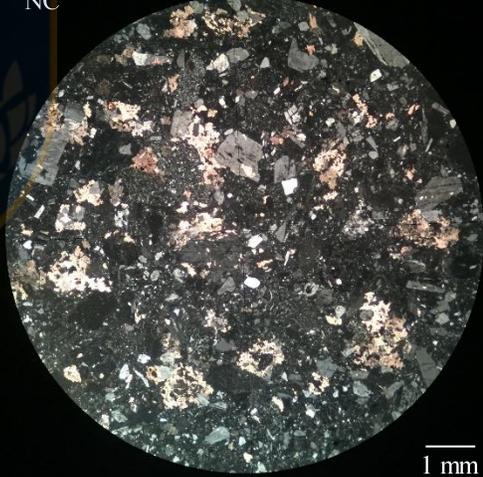
Muestra CPV-14-252			
Ubicación:	7.201.572 N / 476.971 E		
Localidad:	Quebrada Vaquillas		
Unidad:	Formación Sierra de Varas		
Clasificación Textural:	Toba de lapilli (<i>after</i> Fisher, 1966)		
Clasificación Composicional:	Vítrea (<i>after</i> Schmid, 1981)		
Fábrica:	Clasto-soportado		
Texturas:	Fragmental, localmente fluidal		
Observaciones:	Fenocristales de cuarzo de diferentes tamaños. Clastos fuertemente quebrados. Líticos de color verde en LPP los cuales se disponen alrededor de los cristales y líticos.		
Composición			
a) Cristales			
Mineral	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	29	Cristales anhedral a euhedrales levemente fragmentados	0,2 – 1,0
Cuarzo	5	Anhedral	0,1 – 0,7
Rutilo	6	Cristal anhedral, tanto en líticos como en masa fundamental	<0,3
	40		
b) Líticos			
Tipo	(%)	Tamaño (mm)	Descripción
Líticos vítreos	29	0,5 – 7,0	Verdosos en LPP y azulados en NC, deformados, rodeando a fenocristales quebrados de plagioclasa. Se considera pseudo Matriz
Volcánicos andesíticos	6	0,5 – 1,3	Verdosos con fenocristales de plagioclasa masa fundamental vidrio alterado a calcita.
	35		
c) Vidrio			
Tipo	(%)	Descripción	
Vidrio	25	El vidrio se encuentra moderadamente desvitrificado y alterado moderadamente a calcita	
	25		
Minerales de Alteración			
Mineral	(%)	Observaciones	
Clorita	13	Altera levemente a las pómez.	
Cuarzo secundario	2	Alterada al vidrio localmente	
Arcillas	30	Altera moderadamente al vidrio tanto en masa fundamental como en líticos, también levemente a las plagioclasas	
	45		

LPP



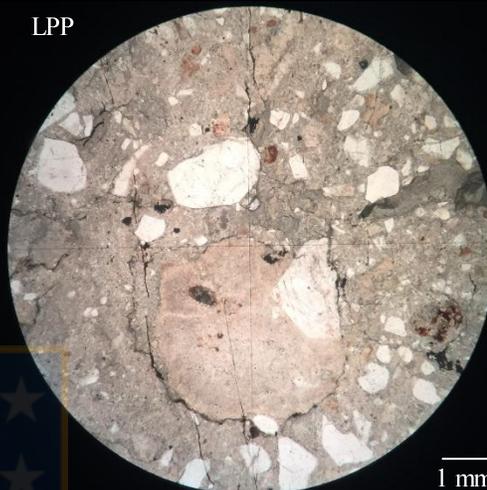
1 mm

NC



1 mm

Muestra CPV-14-259			
Ubicación:	7.201.813 N / 470.266 E		
Localidad:	Norte Quebrada Aguada de la Mina		
Unidad:	Formación Sierra de Varas		
Clasificación Textural:	Toba de lapilli (<i>after</i> Fisher, 1966)		
Clasificación Composicional:	Lítica (<i>after</i> Schmid, 1981)		
Fábrica:	Clasto-soportado		
Texturas:	Fragmental, eutaxítica localmente		
Observaciones:	Polimíctico, con líticos volcanoclásticos, escasos <i>fiammes</i> y líticos volcánicos porfídicos ácidos con fenocristales de cuarzo. Fenocristales de cuarzo de diferentes tamaños.		
Composición			
a) Cristales			
Mineral	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Cuarzo	18	Anhedral, fragmentados	0,2 – 2,5
Opacos	3	Anhedrales	0,2 – 1,0
	21		
b) Líticos			
Tipo	(%)	Tamaño (mm)	Descripción
Volcanoclásticos	6	6,5 – 7,0	Claros con cristales quebrados de cuarzo masa fundamental vidrio con esquirlas alteradas a calcita
<i>Fiammes</i>	2	0,6 – 0,8	Oscuros alterados a calcita
Volcánicos ácidos	32	0,5 – 2,3	Sucios con fenocristales de cuarzo masa fundamental vidrio desvitrificado alterado a calcita y arcillas, texturas fluidales
Volcánicos indeterminados	4	3,2 – 6,8	Sucios, pardos con alto contenido de cuarzo secundario y vidrio desvitrificado
	44		
c) Vidrio			
Tipo	(%)	Descripción	
Vidrio	35	El vidrio se encuentra desvitrificado y alterado moderadamente a arcilla	
	35		
Minerales de Alteración			
Mineral	(%)	Observaciones	
Cuarzo secundario	5	Alterada al vidrio localmente en líticos	
Calcita	8	Altera fuertemente a <i>fiammes</i> y levemente al vidrio	
Arcillas	36	Altera moderadamente al vidrio tanto en masa fundamental como en líticos	
	59		



Muestra CPV-14-260			
Ubicación:	7.201.813 N / 470.266 E		
Localidad:	Norte Quebrada Aguada de la Mina		
Unidad:	Formación Sierra de Varas		
Clasificación Textural:	Toba de lapilli (<i>after</i> Fisher, 1966)		
Clasificación Composicional:	Lítica (<i>after</i> Schmid, 1981)		
Fábrica:	Clasto-soportado		
Texturas:	Fragmental		
Observaciones:	Líticos volcanoclásticos y líticos volcánicos porfídicos ácidos con fenocristales de cuarzo. Fenocristales de cuarzo de diferentes tamaños.		
Composición			
a) Cristales			
Mineral	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Cuarzo	25	Anhedral, fragmentados	0,2 – 2,1
Opacos	5	Anhedrales	0,2 – 0,7
	30		
b) Líticos			
Tipo	(%)	Tamaño (mm)	Descripción
Volcanoclásticos	9	6,5 – 7,0	Sucios con cristales quebrados de cuarzo, masa fundamental vidrio alterado a calcita
Volcánicos ácidos	32	0,4 – 2,0	Sucios con fenocristales de cuarzo, masa fundamental vidrio desvitrificado alterado a calcita y arcillas, se observa en algunos casos textura fluidal
	41		
c) Vidrio			
Tipo	(%)	Descripción	
Vidrio	29	El vidrio se encuentra desvitrificado y alterado fuertemente a arcilla	
	29		
Minerales de Alteración			
Mineral	(%)	Observaciones	
Calcita	12	Alterada al vidrio localmente en líticos y matriz	
Arcillas	37	Altera moderadamente al vidrio tanto en matriz como en líticos	
	49		

LPP



1 mm

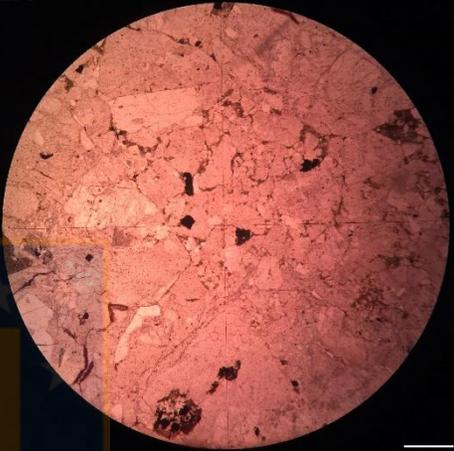
NC



1 mm

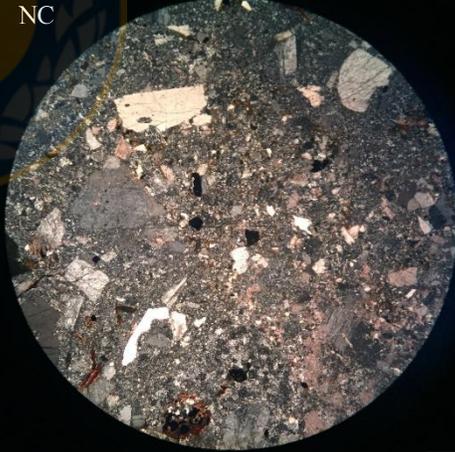
Muestra CPV-14-267			
Ubicación:	7.300.744 N / 477.322 E		
Localidad:	Sierra de Varas (centro)		
Unidad:	Formación Sierra de Varas		
Clasificación Textural:	Toba de lapilli (<i>after</i> Fisher, 1966)		
Clasificación Composicional:	Lítica (<i>after</i> Schmid, 1981)		
Fábrica:	Clasto-soportado		
Texturas:	Fragmental		
Observaciones:	Mayoría de líticos son lavas porfídicas ácidas (ojos de cuarzo), presencia de cristales fragmentados de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y biotita.		
Composición			
a) Cristales			
Mineral	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Cuarzo	7	Anhedral, fragmentados	0,2 – 1,2
Biotita	3	Subhedral, alterados a clorita	0,3 – 1,7
Feldespato Potásico (ortoclasa)	4	Anhedrales a subhedral, sucios	0,4 – 1,5
Plagioclasa	6	Euhedral, fragmentados	0,5 – 1,4
Opacos	4	Anhedrales, embahados	0,2 – 1,7
	24		
b) Líticos			
Tipo	(%)	Tamaño (mm)	Descripción
Indeterminado	3	6,0	Presenta micas (muscovita) cuarzo y feldespatos
Volcánicos ácidos	57	0,8 – 7,4	Sucios con fenocristales de cuarzo, plagioclasa y máficos indeterminados cloritizados, vidrio desvitrificado alterado a calcita y arcillas
	60		
c) Vidrio			
Tipo	(%)	Descripción	
Vidrio	16	Desvitrificado y alterado fuertemente a arcilla con calcita localmente en bordes de líticos	
	16		
Minerales de Alteración			
Mineral	(%)	Observaciones	
Calcita	12	Alterada al vidrio localmente en líticos y matriz (se concentra en bordes de líticos)	
Clorita	3	Altera a biotitas moderadamente	
Arcillas	19	Altera moderadamente al vidrio tanto en matriz como en líticos	
	34		

LPP



1 mm

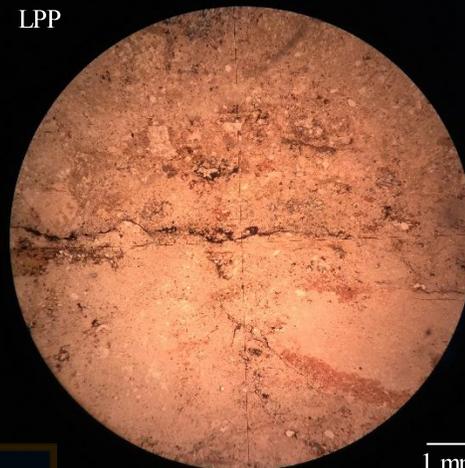
NC



1 mm

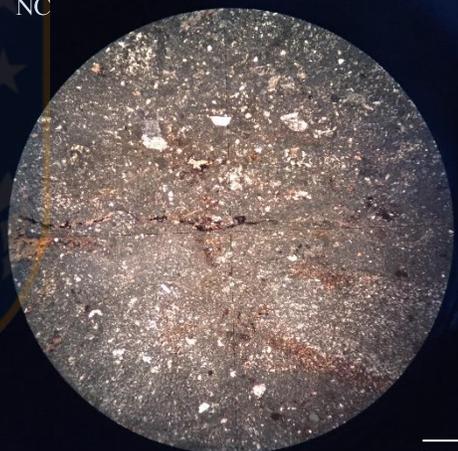
Muestra CPV-14-268			
Ubicación:	7.311.349 N / 480.363 E		
Localidad:	Noreste de Cerro Bayo		
Unidad:	Formación Sierra de Varas		
Clasificación Textural:	Toba (<i>after</i> Fisher, 1966)		
Clasificación Composicional:	Vítrea (<i>after</i> Schmid, 1981)		
Fábrica:	Clasto-soportado		
Texturas:	Fragmental, eutaxítica		
Observaciones:	Abundantes pómez (algunos de gran dimensión), matriz abundante de vidrio levemente desvitrificado con pequeños cristales de cuarzo y plagioclasa		
Composición			
a) Cristales			
Mineral	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Cuarzo	2	Anhedral, fragmentados	<0,4
Plagioclasa	5	Euhedrales, fragmentados	<0,6
	7		
b) Líticos			
Tipo	(%)	Tamaño (mm)	Descripción
Pómez	60	0,6 – 10,5	Presenta micas (muscovita) cuarzo y feldespatos
Volcánico intermedio	2	1,5	Sucio, porfídico, presenta fenocristales de plagioclasa
<i>Fiammes</i>	5	0,8 – 1,6	Oscuros (orientados según estratificación)
	67		
c) Vidrio			
Tipo	(%)	Descripción	
Vidrio	26	El vidrio se encuentra desvitrificado levemente y alterado levemente a arcilla y calcita localmente	
	26		
Minerales de Alteración			
Mineral	(%)	Observaciones	
Calcita	14	Alterada al vidrio localmente en matriz (se concentra en bordes de líticos)	
Epidota	3	Altera a plagioclasas	
Arcillas	23	Altera moderadamente al vidrio tanto en matriz como en líticos	
	40		

LPP



1 mm

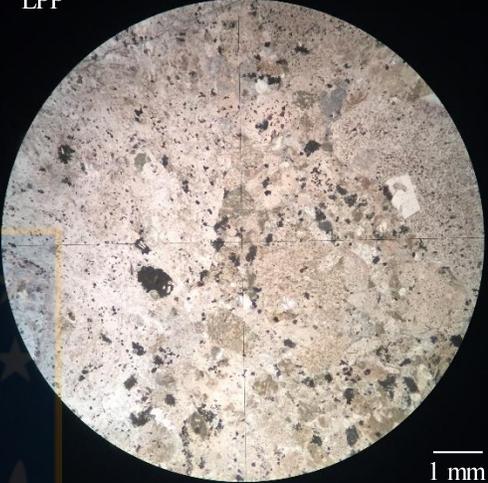
NC



1 mm

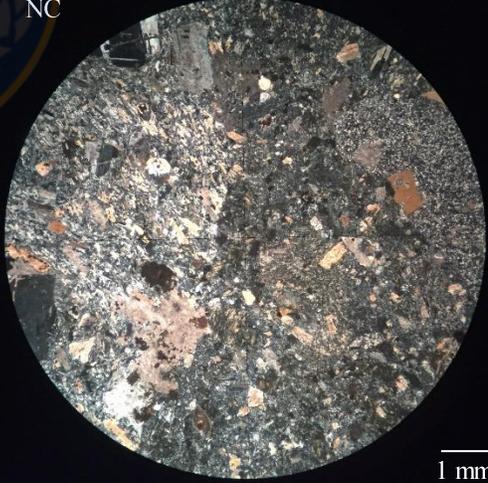
Muestra CPV-15-328			
Ubicación:	7.226.847 N / 475.003 E		
Localidad:	Quebrada el Salitre		
Unidad:	Formación Sierra de Varas		
Clasificación Textural:	Toba de lapilli (<i>after</i> Fisher, 1966)		
Clasificación Composicional:	Toba lítica (<i>after</i> Schmid, 1981)		
Fábrica:	Clasto-soportado		
Texturas:	Fragmental		
Observaciones:	Presenta plagioclasas de gran tamaño y líticas con bordes poco distinguibles		
Composición			
a) Cristales			
Mineral	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	15	Subhedral, fragmentados, alterados a sericita levemente y arcillas moderadamente	0,2 – 7,0
Cuarzo	4	Anhedral, fracturados	0,4 – 0,9
Biotita	4	Subhedral, fracturados, fragmentados y alterados a clorita moderadamente	0,7 – 1,1
Opacos	2	Anhedrales	0,1 – 0,3
	25		
b) Líticos			
Tipo	(%)	Tamaño (mm)	Descripción
Volcánicos ácidos	9	3,2 – 3,6	Masa fundamental felsofídica, presenta ojos de cuarzo
Volcánicos andesíticos	54	0,7 – 12,1	Sucios con masa fundamental vítrea alterada a arcilla, presentan fenocristales de plagioclasas de variados tamaños
	63		
c) Vidrio			
Tipo	(%)	Descripción	
Vidrio	12	Altamente desvitrificado	
	12		
Minerales de Alteración			
Mineral	(%)	Observaciones	
Calcita	3	Alterada al vidrio localmente, relleno espacios	
Sericita	2	Altera a las plagioclasas levemente	
Clorita	2	Altera a la biotita	
Arcillas	15	Altera levemente al vidrio y moderadamente a las plagioclasas	
	22		

LPP



1 mm

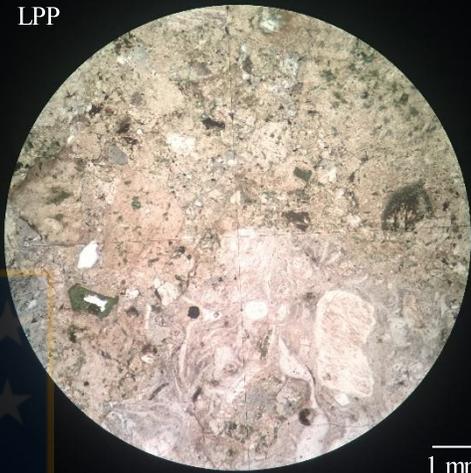
NC



1 mm

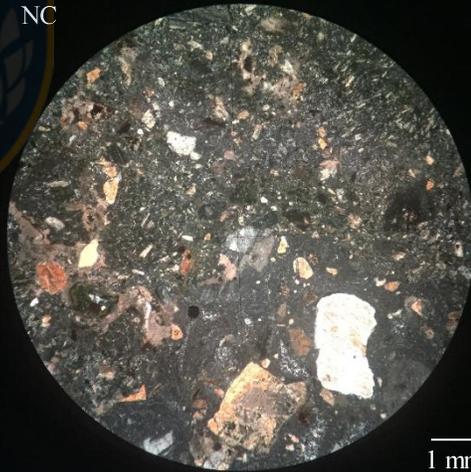
Muestra CPV-15-330			
Ubicación:	7.226.802 N / 475.259 E		
Localidad:	Quebrada el Salitre		
Unidad:	Formación Sierra de Varas		
Clasificación Textural:	Toba (<i>after</i> Fisher, 1966)		
Clasificación Composicional:	Lítica (<i>after</i> Schmid, 1981)		
Fábrica:	Clasto-soportado		
Texturas:	Fragmental		
Observaciones:	Presenta un sector matriz-soportado, calcita de relleno y en vetillas		
Composición			
a) Cristales			
Mineral	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	14	Euhedrales, fragmentados, alterados a sericita y arcillas levemente	0,1 – 4,0
Cuarzo	4	Anhedral, fracturados	0,1 – 2,0
Piroxeno (clinopiroxeno)	2	Subhedral, fracturados y fragmentados	0,6 – 1,0
Opacos	2	Euhedrales a subhedrales a veces embahados	0,1 – 0,2
	22		
b) Líticos			
Tipo	(%)	Tamaño (mm)	Descripción
Volcanosedimentario	5	7,0	Con cristales de plagioclasa quebrados <i>fiammes</i> y matriz vítrea
Volcánicos andesíticos	53	0,8 – 4,2	Sucios con masa fundamental vítrea alterada a arcilla, presentan fenocristales de plagioclasas
	53		
c) Vidrio			
Tipo	(%)	Descripción	
Vidrio	20	Altamente desvitrificado. (ligeramente felsosídico)	
	20		
Minerales de Alteración			
Mineral	(%)	Observaciones	
Calcita	10	Alterada al vidrio localmente, rellenando espacios	
Sericita	2	Altera a las plagioclasas levemente	
Indeterminado ¿?(carbonato)	4	Altera al vidrio en líticos	
Clorita	2	Altera al máficos indeterminados en líticos	
Arcillas	5	Altera levemente al vidrio	
	21		

LPP



1 mm

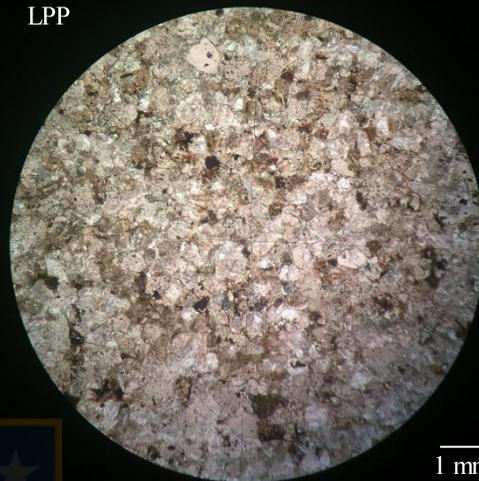
NC



1 mm

Muestra CPV-15-335				
Ubicación:	7.226.030 N / 475.287 E			
Localidad:	Quebrada el Salitre			
Unidad:	Formación Sierra de Varas			
Clasificación Textural:	Toba (<i>after</i> Fisher, 1966)			
Clasificación Composicional:	Cristalina (<i>after</i> Schmid, 1981)			
Fábrica:	Clasto-soportado			
Texturas:	Fragmental			
Observaciones:	Roca de composición dacítica principalmente, con abundante calcita de alteración.			
Composición				
a) Cristales				
Mineral	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)	
Plagioclasa	25	Euhedrales, fragmentados, alterados a arcillas	0,1 – 1,4	
Cuarzo	18	Anhedral, fracturados	0,1 – 1,1	
Anfibol	5	Subhedral, fracturados y fragmentados	0,3 – 0,6	
Opacos	3	Anhedrales	0,1 – 0,3	
	51			
b) Líticos				
Tipo	(%)	Tamaño (mm)	Descripción	
Volcánicos andesíticos	2	~ 1,0	Sucios con masa fundamental vítrea alterada a arcilla, presentan fenocristales de plagioclasas	
	2			
c) Vidrio				
Tipo	(%)	Descripción		
Vidrio	47	Altamente desvitrificado., felfosfídico		
	47			
Minerales de Alteración				
Mineral	(%)	Observaciones		
Calcita	36	Alterada al vidrio localmente, rellenando espacios		
Sericita	2	Altera a las plagioclasas levemente		
Clorita	3	Altera a máficos moderadamente		
Arcillas	14	Altera levemente al vidrio y moderadamente a las plagioclasas		
	55			

LPP



1 mm

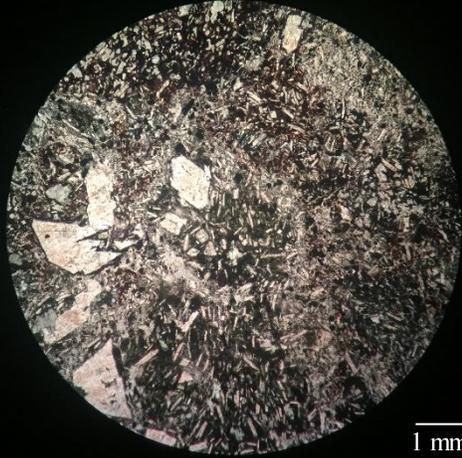
NC



1 mm

Muestra CPV-15-337			
Ubicación:	7.225.507 N / 476.243 E		
Localidad:	Quebrada el Salitre		
Unidad:	Formación Sierra de Varas		
Clasificación Textural:	Brecha Andesítica (autobrecha) (after Fisher, 1966)		
Clasificación Composicional:	Lítica (after Schmid, 1981)		
Fábrica:	Clasto-soportado		
Texturas:	Fragmental		
Observaciones:	Roca de composición andesítica, con abundante calcita de alteración y vidrio poco alterado		
Composición			
a) Cristales			
Mineral	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	34	Euhedrales, fragmentados, alterados a arcillas y sericita	0,2 – 2,5
	34		
b) Líticos			
Tipo	(%)	Tamaño (mm)	Descripción
Volcánicos andesíticos	38	1,4– 8,0	Vitrofidica, sucios con masa fundamental alterada a arcilla, presentan fenocristales de plagioclasas
	38		
c) Vidrio			
Tipo	(%)	Descripción	
Vidrio	28	Ligeramente desvitrificado	
	28		
Minerales de Alteración			
Mineral	(%)	Observaciones	
Calcita	25	Rellenando espacios y bordes de líticos	
Sericita	2	Altera a las plagioclasas levemente	
Arcillas	11	Altera moderadamente al vidrio en líticos y débilmente a las plagioclasas	
	38		

LPP



1 mm

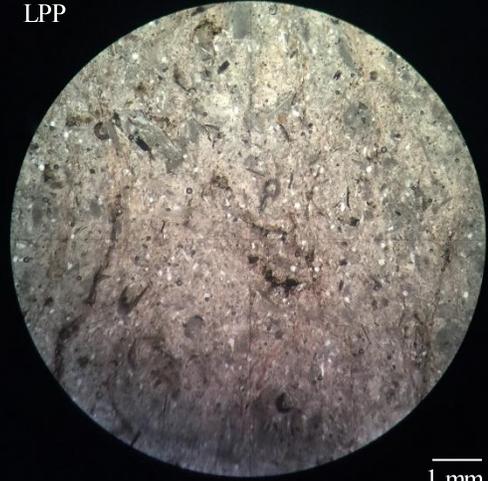
NC



1 mm

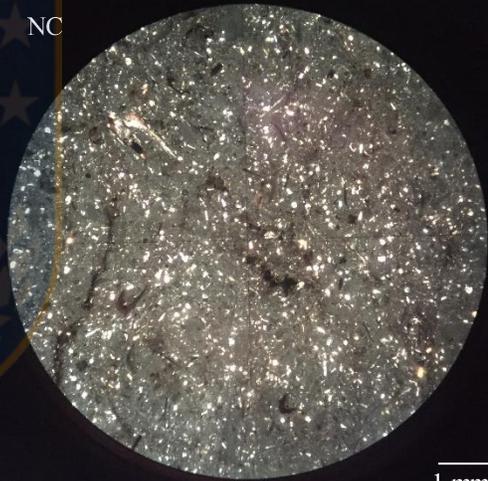
Muestra CPV-15-348			
Ubicación:	7.201.688 N / 471.806 E		
Localidad:	Quebrada Los Pozos		
Unidad:	Formación Sierra de Varas		
Clasificación Textural:	Toba (<i>after</i> Fisher, 1966)		
Clasificación Composicional:	Vítrea (<i>after</i> Schmid, 1981)		
Fábrica:	Matriz-soportado		
Texturas:	Fragmental		
Observaciones:	Corte presenta cristales en forma de "U" de máficos y sílice. Presencia de escasos líticos.		
Composición			
a) Cristales			
Mineral	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	5	Subhedrales, fragmentados y alterados a calcita	0,4 – 2,4
Máfico indeterminado	15	Euhedrales a subhedrales, oscuros	0,2 – 2,2
Cuarzo	9	Anhedrales, redondeados	0,1 – 0,2
	29		
b) Líticos			
Tipo	(%)	Tamaño (mm)	Descripción
Volcánicos andesíticos	4	1,5– 3,5	Oscuros. Compuestos principalmente de vidrio y fenocristales de plagioclasas
	4		
c) Vidrio			
Tipo	(%)	Descripción	
Vidrio	67	Ligeramente silicificado	
	67		
Minerales de Alteración			
Mineral	(%)	Observaciones	
Calcita	16	Rellenando espacios y alterando al vidrio y cristales.	
Arcillas	5	Altera ligeramente al vidrio.	
	21		

LPP



1 mm

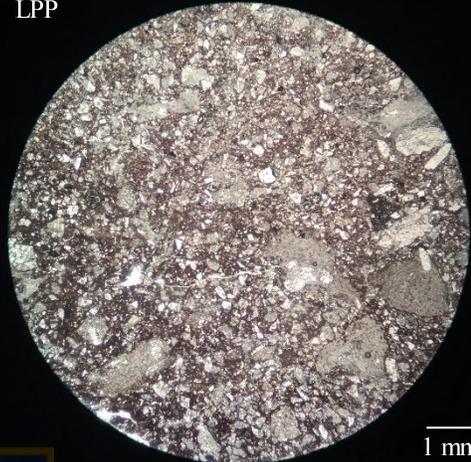
NC



1 mm

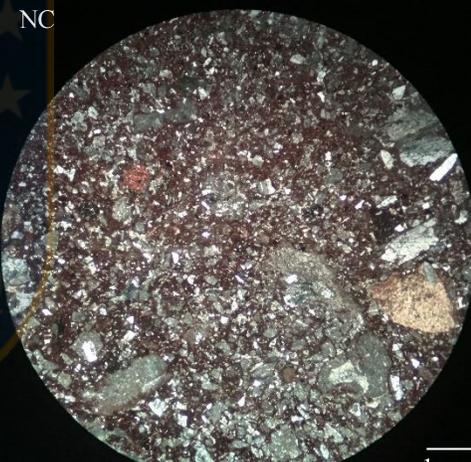
Muestra CPV-15-350			
Ubicación:	7.201.629 N / 471.833 E		
Localidad:	Quebrada Los Pozos		
Unidad:	Formación Sierra de Varas		
Clasificación Textural:	Toba (<i>after</i> Fisher, 1966)		
Clasificación Composicional:	Cristalina (<i>after</i> Schmid, 1981)		
Fábrica:	Clasto-soportado		
Texturas:	Fragmental		
Observaciones:	Corte de brecha epiclástica, presenta líticos intermedios de composición andesítica. Predominan los cristales de plagioclasas fragmentados		
Composición			
a) Cristales			
Mineral	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	58	Subhedral a anhedral, fragmentados, fracturados y alterados a sericita	0,2 – 1,7
Cuarzo	3	Anhedral, redondeados	0,3 – 0,7
	61		
b) Líticos			
Tipo	(%)	Tamaño (mm)	Descripción
Volcánicos intermedios	19	1.4– 3,3	Oscuros. Compuestos principalmente de vidrio y fenocristales de plagioclasas de diferentes tamaños
	19		
c) Vidrio			
Tipo	(%)	Descripción	
Vidrio	20	Desvitrificado localmente	
	20		
Minerales de Alteración			
Mineral	(%)	Observaciones	
Arcillas	12	Altera fuertemente a los líticos	
Sericita	10	Alterando ligeramente a las plagioclasas	
	22		

LPP



1 mm

NC



1 mm

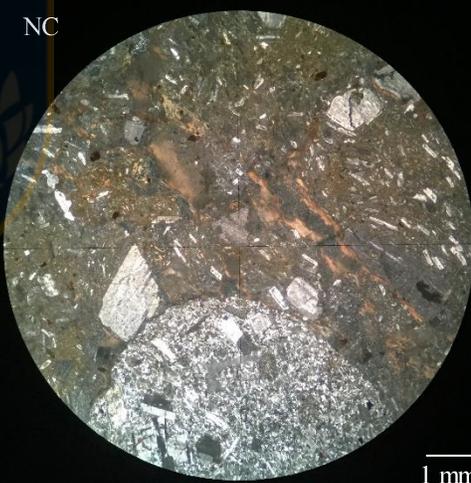
Muestra CPV-15-354				
Ubicación:	7.201.594 N / 471.835 E			
Localidad:	Quebrada Los Pozos			
Unidad:	Formación Sierra de Varas			
Clasificación Textural:	Toba de lapilli (<i>after</i> Fisher, 1966)			
Clasificación Composicional:	Lítica (<i>after</i> Schmid, 1981)			
Fábrica:	Clasto-soportado			
Texturas:	Fragmental			
Observaciones:	Corte muestra el gran tamaño que llegan a tener los cristales y líticos que componen la roca.			
Composición				
a) Cristales				
Mineral	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)	
Plagioclasa	22	Subhedrales, fragmentados, fracturados y alterados a sericita-arcilla	0,3 – 7,1	
Cuarzo	2	Anhedrales, redondeados y embahiados	0,5 – 0,7	
	24			
b) Líticos				
Tipo	(%)	Tamaño (mm)	Descripción	
Volcánicos intermedios	34	1,5– 6,5	Gris verduzco a verdes. Masa fundamental verde (vidrio alterado) con fenocristales de plagioclasas	
Volcánicos andesíticos	18	3,4– 10,5	Gris. Compuestos principalmente de vidrio desvitrificado y fenocristales de plagioclasas y máficos de diferentes tamaños	
	52			
c) Vidrio				
Tipo	(%)	Descripción		
Vidrio	24	Desvitrificado		
	24			
Minerales de Alteración				
Mineral	(%)	Observaciones		
Carbonato indeterminado	20	Rellenando fracturas		
Arcillas	7	Altera ligeramente a las plagioclasas		
Sericita	7	Alterando ligeramente a las plagioclasas		
	34			

LPP



1 mm

NC



1 mm

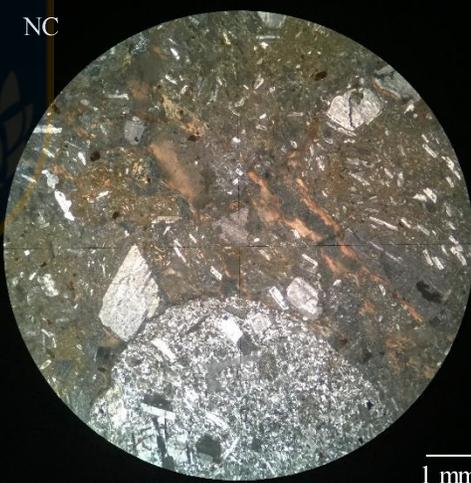
Muestra CPV-15-361				
Ubicación:	7.201.542 N / 471.826 E			
Localidad:	Quebrada Los Pozos			
Unidad:	Formación Sierra de Varas			
Clasificación Textural:	Toba (<i>after</i> Fisher, 1966)			
Clasificación Composicional:	Vítrea (<i>after</i> Schmid, 1981)			
Fábrica:	Clasto-soportado			
Texturas:	Fragmental			
Observaciones:	Corte muestra el gran tamaño que llegan a tener los cristales y líticos que componen la roca.			
Composición				
a) Cristales				
Mineral	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)	
Plagioclasa	22	Subhedral, fragmentados, fracturados y alterados a sericita-arcilla	0,3 – 7,1	
Cuarzo	2	Anhedrales, redondeados y embahados	0,5 – 0,7	
	24			
b) Líticos				
Tipo	(%)	Tamaño (mm)	Descripción	
Volcánicos intermedios	34	1,5– 6,5	Gris verdusco a verdes. Masa fundamental verde (vidrio alterado) con fenocristales de plagioclasas	
Volcánicos andesíticos	18	3,4– 10,5	Gris. Compuestos principalmente de vidrio desvitrificado y fenocristales de plagioclasas y máficos de diferentes tamaños	
	52			
c) Vidrio				
Tipo	(%)	Descripción		
Vidrio	24	Desvitrificado		
	24			
Minerales de Alteración				
Mineral	(%)	Observaciones		
Carbonato indeterminado	20	Rellenando fracturas		
Arcillas	7	Altera ligeramente a las plagioclasas		
Sericita	7	Alterando ligeramente a las plagioclasas		
	34			

LPP



1 mm

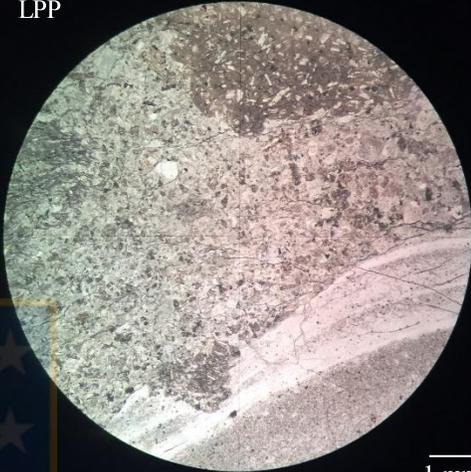
NC



1 mm

Muestra CPV-15-389			
Ubicación:	7.201.357 N / 471.608 E		
Localidad:	Quebrada Los Pozos		
Unidad:	Formación Sierra de Varas		
Clasificación Textural:	Lapillita tobácea (<i>after</i> Fisher, 1966)		
Clasificación Composicional:	Lítica (<i>after</i> Schmid, 1981)		
Fábrica:	Clasto-soportado		
Texturas:	Fragmental		
Observaciones:	Roca presenta poco retrabajo, líticos angulosos, polimígticos		
Composición			
a) Cristales			
Mineral	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	16	Subhedral, fragmentados, alterados a sericita y arcilla	0,3 – 0,9
Máficos indeterminados	9	Tabulares, pardos	0,3 – 0,7
Cuarzo	6	Anhedrales, redondeados	0,3 – 0,6
	31		
b) Líticos			
Tipo	(%)	Tamaño (mm)	Descripción
Volcano clásticos	10	1,8– 8,4	Toba vítrea fina, presenta bandas (probable estratificación) y fenocristales de plagioclasa escasos.
Volcánicos intermedios	13	1,2– 7,2	Gris claro. Masa fundamental vítrea con fenocristales de plagioclasas y vesículas rellenas de calcita.
Volcánicos básicos-intermedios	14	1,6– 7,5	Grises, oscuros y porfídicos. Compuestos de vidrio y fenocristales de plagioclasas
	37		
c) Vidrio			
Tipo	(%)	Descripción	
Vidrio	32	Desvitrificado	
	32		
Minerales de Alteración			
Mineral	(%)	Observaciones	
Calcita	13	Rellenando vesículas, alrededor de líticos ocasionalmente	
Arcillas	5	Altero ligeramente a las plagioclasas	
Sericita	3	Alterando ligeramente a las plagioclasas	
	21		

LPP



1 mm

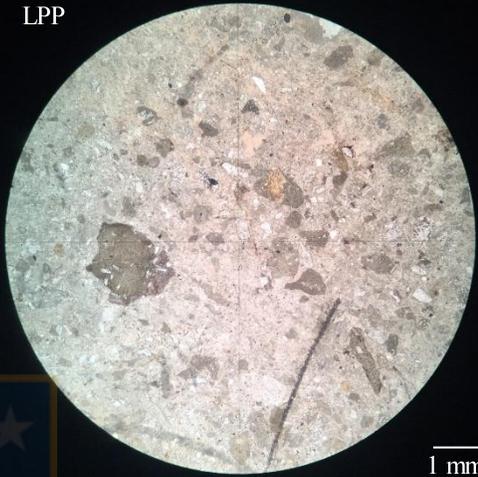
NC



1 mm

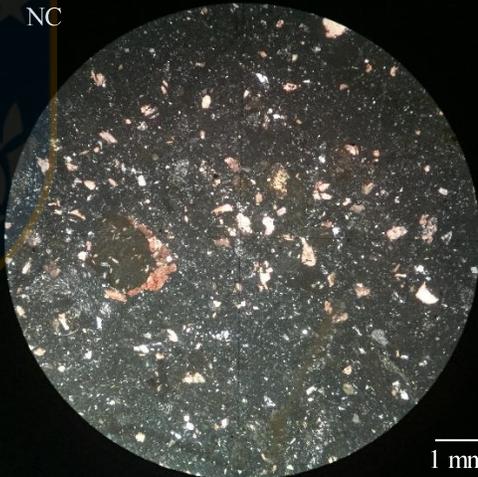
Muestra CPV-15-400			
Ubicación:	7.197.540 N / 477.638 E		
Localidad:	Quebrada La Carreta		
Unidad:	Formación Sierra de Varas		
Clasificación Textural:	Toba (<i>after</i> Fisher, 1966)		
Clasificación Composicional:	Vítrea (<i>after</i> Schmid, 1981)		
Fábrica:	Matriz-soportado		
Texturas:	Fragmental		
Observaciones:	Mayoría de los líticos de composición volcánica intermedia, se observan 2 variedades, una oscura y otra clara ambos con fenocristales de plagioclasa. Muestra con vesículas rellenas de calcita		
Composición			
a) Cristales			
Mineral	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	8	Subhedral a anhedral, fragmentados, alterados a sericita y arcilla	0,3 – 0,5
Cuarzo	3	Anhedral, pequeños y ligeramente embahados	0,2 – 0,3
	11		
b) Líticos			
Tipo	(%)	Tamaño (mm)	Descripción
Volcánicos andesíticos	27	0,5– 1,3	Gris parduzco y otra variedad gris claro. Masa fundamental vítrea con fenocristales de plagioclasas.
	27		
c) Vidrio			
Tipo	(%)	Descripción	
Vidrio	62	Desvitrificado	
	62		
Minerales de Alteración			
Mineral	(%)	Observaciones	
Calcita	4	Rellenando vesículas, alrededor de líticos ocasionalmente	
Arcillas	17	Altera ligeramente a las plagioclasas y el vidrio	
Sericita	2	Alterando ligeramente a las plagioclasas	
	23		

LPP



1 mm

NC



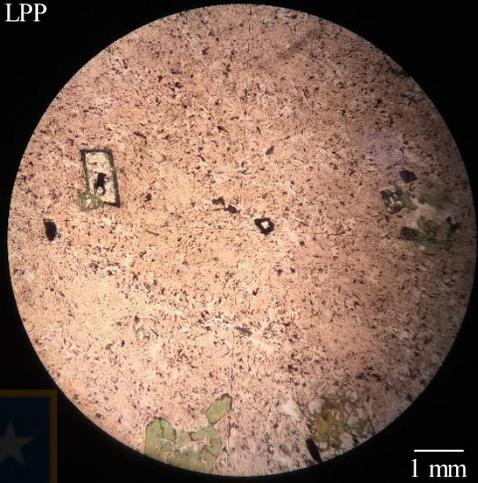
1 mm

5 FORMACIÓN CERRO GUANACO

5.1 ROCAS VOLCÁNICAS

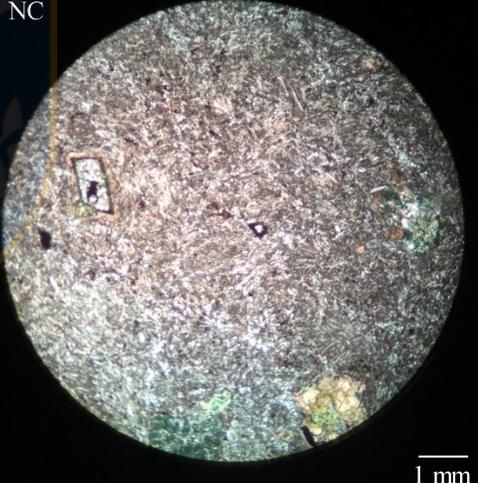
Muestra CPV-14-163			
Ubicación:	7.248.161 N / 486.491 E		
Localidad:	Cerro Manchón. N Portezuelo de la Sal		
Unidad:	Formación Cerro Guanaco		
Clasificación:	Basalto de olivino y piroxeno (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Porfídica		
Observaciones:	Piroxenos y olivinos altamente alterados, presencia de amígdalas rellenas de calcita.		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	10	Subhedrales a euhedrales	0,6 – 0,9
Piroxeno*	6	Subhedrales completamente alterados	0,6 – 1,6
Olivino*	7	Subhedrales completamente alterados	0,7 – 1,2
Opacos	2	Anhedrales	0,05 – 1,4
	25		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	33	Subhedrales a euhedrales	< 0,06
Vidrio	40	Desvitrificado	
Opacos	2	Anhedrales	< 0,05
	75		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Arcilla	27	Alteración moderada de las plagioclasas y al vidrio	
Talco	2	Altera levemente a los cristales de piroxeno y olivino	
Cuarzo	2	Altera fuertemente a los olivinos, en forma de vidrio	
Clorita	7	Forma parte de la fuerte alteración de los piroxenos y el olivino	
Calcita	7	Rellena espacios, cristalino y masivo en masa fundamental	
Biotita	1	Altera ligeramente a las plagioclasas	
	44		

LPP



1 mm

NC



1 mm

Muestra CPV-14-164			
Ubicación:	7.248.161 N / 486.491 E		
Localidad:	Cerro Manchón. N Portezuelo de la Sal		
Unidad:	Formación Cerro Guanaco		
Clasificación:	Basalto de piroxeno (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Porfídica		
Observaciones:	Piroxenos completamente alterados, presencia de pequeñas amígdalas rellenas de calcita.		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	6	Subhedrales a euhedrales	0,2 – 0,5
Piroxeno*	14	Euhedrales, completamente alterados	0,6 – 2,5
Opacos	3	Anhedrales	0,05 – 0,1
	23		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	35	Subhedrales a euhedrales	< 0,06
Vidrio	40	Desvitrificado	
Opacos	2	Anhedrales	< 0,05
	77		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Arcilla	23	Alteración moderada de las plagioclasas y al vidrio	
Talco	2	Altera levemente a los cristales de piroxeno	
Clorita	8	Forma parte de la fuerte alteración de los piroxenos	
Calcita	11	Rellena espacio, cristalino y masivo en masa fundamental	
Epidota	1	Altera ligeramente a los piroxenos	
	45		

LPP



1 mm

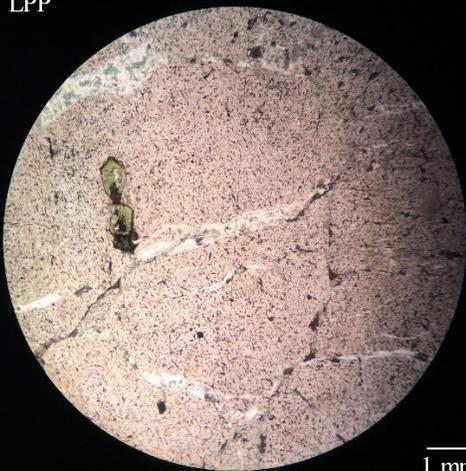
NC



1 mm

Muestra CPV-14-166			
Ubicación:	7.248.012 N / 486.526 E		
Localidad:	Cerro Manchón. N Portezuelo de la Sal		
Unidad:	Formación Cerro Guanaco		
Clasificación:	Andesita de anfíbol (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Porfídica, ¿traquitoide?		
Observaciones:	Cuarzo y calcita en vetillas milimétricas. Vidrio altamente desvitrificado		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	2	Subhedrales a euhedrales	0,3 – 0,4
Cuarzo	2	Anhedrales	0,1 – 0,2
Calcita	4	Anhedrales a subhedrales	0,3 – 2,0
Anfíbol	6	Subhedrales	0,3 – 0,7
Epidota	1	Anhedral	2,5
Opacos	2	Anhedrales	0,05 – 0,1
	17		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Vidrio	79	Desvitrificado	< 0,03
Cuarzo	1	Anhedrales	< 0,03
Plagioclasa	2	Subhedrales	< 0,03
Opacos	1	Anhedrales	< 0,03
	83		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Arcilla	22	Alteración moderada de las plagioclasas	
Sericita	3	Altera levemente a los cristales de plagioclasa	
Clorita	3	Altera fuertemente al anfíbol	
	28		

LPP



1 mm

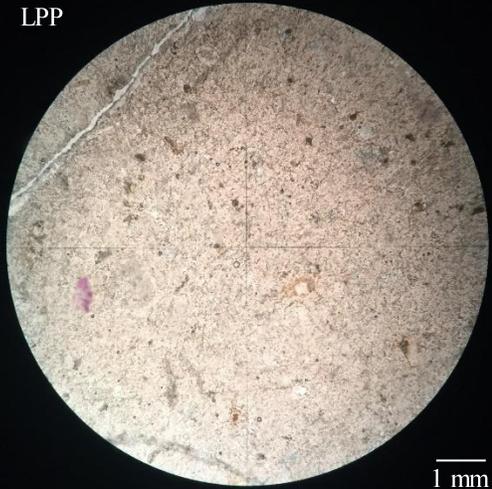
NC



1 mm

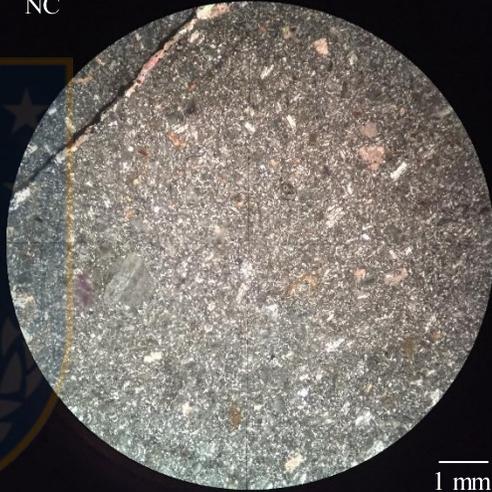
Muestra CPV-14-167				
Ubicación:	7.242.948 N / 489.308 E			
Localidad:	Borde Este Cerro Guanaco			
Unidad:	Formación Cerro Guanaco			
Clasificación:	Andesita (Streckeisen, 1978)			
Textura:	Porfídica /Vitrofídica			
Observaciones:	Presenta fenocristales de plagioclasa en masa fundamental desvitrificada, los fenocristales están alterados a arcillas y material carbonatado el cual también rellena espacios. ¿Corresponde a brecha?			
Composición				
a) Fenocristales				
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)	
Plagioclasa	19	Subhedrales, alterados moderadamente a fuertemente a arcilla con material carbonatado.	0,3 – 0,8	
	19			
b) Masa Fundamental				
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)	
Vidrio	69	Desvitrificado	< 0,03	
Plagioclasa	10	Subhedrales	< 0,03	
Opacos	2	Anhedrales	< 0,03	
	81			
Minerales de Alteración				
Minerales	(%)	Observaciones		
Arcilla	31	Alteración moderada de la masa fundamental		
Carbonato indeterminado	10	Altera moderadamente a fuertemente los cristales de plagioclasa		
Calcita	6	Rellena espacios		
	47			

LPP



1 mm

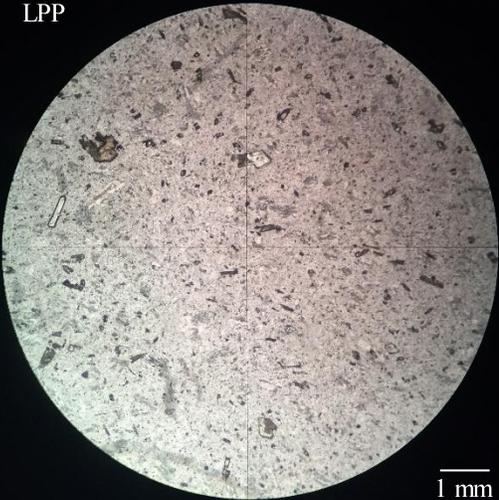
NC



1 mm

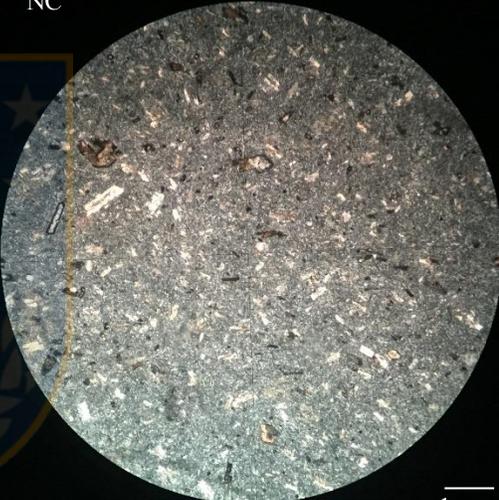
Muestra CPV-14-169A			
Ubicación:	7.243.400 N / 489.086 E		
Localidad:	Borde Este Cerro Guanaco		
Unidad:	Formación Cerro Guanaco		
Clasificación:	Andesita (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Porfídica / Vitrofídica		
Observaciones:	Fenocristales alterados de máficos (biotita y anfíbol) ambos con cloritización y plagioclasas. Espacios rellenos de calcita en masa fundamental desvitrificada.		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Biotita	5	Subhedral a anhedral, alterados a clorita principalmente y epidota	0,3 – 1,2
Máfico indeterminado (posible anfíbol)	9	Euhedral a subhedral, alto relieve, alterado a epidota y clorita fuertemente	0,3 – 1,6
Plagioclasa	15	Subhedrales, alterados levemente a arcilla y sericita	0,3 – 1,1
	29		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Vidrio	61	Desvitrificado	< 0,03
Plagioclasa	7	Subhedrales	< 0,03
Opacos	3	Anhedrales	< 0,03
	71		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Arcilla	27	Alteración moderada de la masa fundamental y leve de las plagioclasas	
Sericita	4	Altera levemente los cristales de plagioclasa	
Calcita	7	Rellena espacios	
	38		

LPP



1 mm

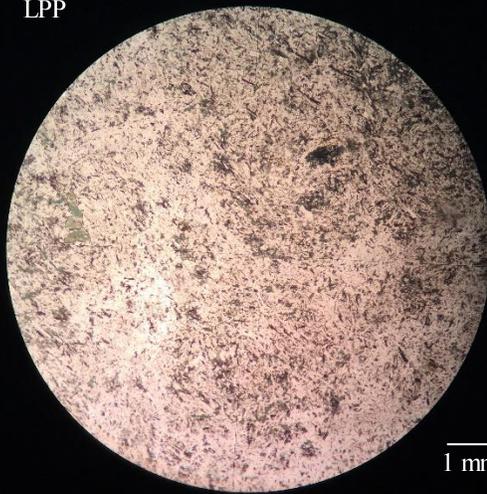
NC



1 mm

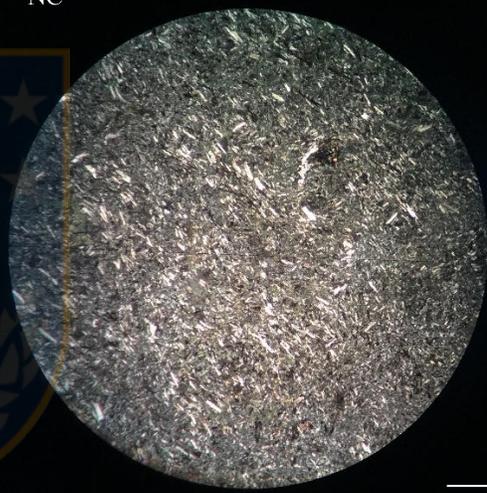
Muestra CPV-14-171			
Ubicación:	7.243.437 N / 488.864 E		
Localidad:	Borde E Cerro Guanaco		
Unidad:	Formación Cerro Guanaco		
Clasificación:	Andesita de anfíbol (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Afanítica levemente porfídica		
Observaciones:	Textura afanítica predomina, encontrándose menos de un 18% de fenocristales de baja dimensión (excepción fenocristal de cuarzo)		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	7	Subhedral a euhedral	0,3 – 2,0
Cuarzo	3	Anhedral	4,0
Calcita	1	Anhedral a subhedral	0,3 – 2,0
Anfíbol*	6	Subhedral fuertemente alterados a completamente alterados	0,3 – 1,0
Opacos	<1	Anhedral	0,05 – 0,1
	18		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Vidrio	45	Desvitrificado	< 0,06
Cuarzo	1	Anhedral	< 0,2
Plagioclasa	35	Subhedral	< 0,06
Opacos	1	Anhedral	< 0,05
	82		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Arcilla	19	Alteración moderada de las plagioclasas y al vidrio	
Epidota	3	Altera localmente a los cristales de plagioclasas y anfíboles	
Clorita	3	Altera moderadamente al anfíbol	
Oxidos	3	Altera fuertemente al anfíbol	
	26		

LPP



1 mm

NC



1 mm

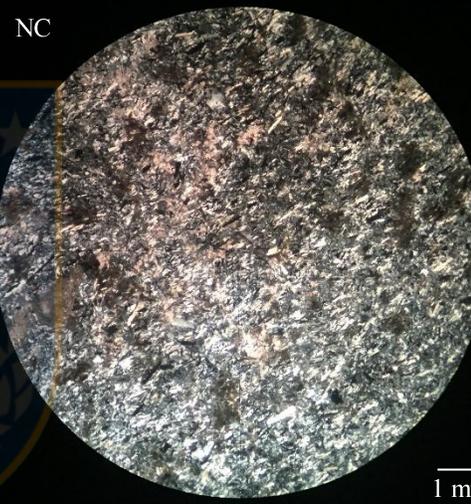
Muestra CPV-14-172			
Ubicación:	7.243.423 N / 488.824 E		
Localidad:	Borde E Cerro Guanaco		
Unidad:	Formación Cerro Guanaco		
Clasificación:	Andesita de anfíbol (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Afanítica levemente porfídica		
Observaciones:	Textura afanítica predomina, encontrándose un 12% de fenocristales de baja dimensión. Fuerte presencia de calcita de alteración		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	3	Subhedral a euhedral	0,3 – 1,0
Cuarzo	2	Anhedral	2,5
Calcita	2	Anhedral a subhedral	0,3 – 2,0
Anfíbol*	6	Subhedral, completamente alterados	0,1 – 0,3
Opacos	2	Anhedral	0,05 – 0,3
	15		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Vidrio	69	Altamente desvitrificado	< 0,06
Cuarzo	1	Anhedral	< 0,1
Plagioclasa	14	Subhedral	< 0,06
Opacos	1	Anhedral	< 0,05
	85		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Arcilla	9	Alteración moderada de las plagioclasas y al vidrio	
Epidota	3	Altera localmente a los cristales de plagioclasas y anfíboles	
Clorita	2	Altera moderadamente a los anfíboles	
Calcita	20	Alteración moderada del vidrio	
Oxidos	2	Alteración fuerte de anfíbol	
	36		

LPP



1 mm

NC



1 mm

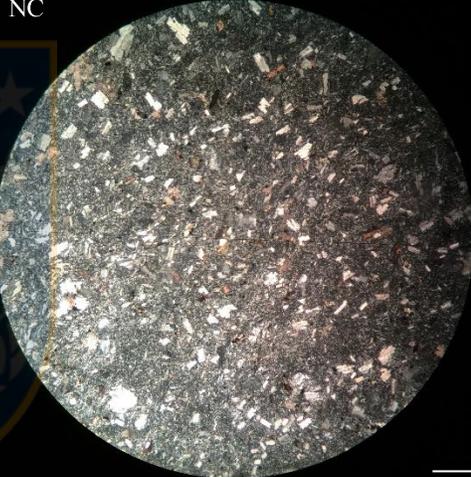
Muestra CPV-14-173			
Ubicación:	7.243.452 N / 488.614 E		
Localidad:	Borde E Cerro Guanaco		
Unidad:	Formación Cerro Guanaco		
Clasificación:	Andesita (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Vitrofidica seriada		
Observaciones:	Fenocristales pequeños de plagioclasa predominantemente, calcita de alteración diseminada y anfíboles completamente alterados.		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	26	Euhedrales	0,3 – 2,0
Anfibol*	3	Subhedrales, completamente alterados	0,1 – 0,3
Opacos	1	Anhedrales	0,05 – 0,3
	29		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Vidrio	68	Altamente desvitrificado	< 0,06
Plagioclasa	3	Subhedrales	< 0,06
	71		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Arcilla	5	Alteración leve de las plagioclasas y al vidrio	
Epidota	1	Altera levemente al anfíbol	
Clorita	2	Altera moderadamente al anfíbol	
Calcita	9	Altera levemente al vidrio y las plagioclasas	
	17		

LPP



1 mm

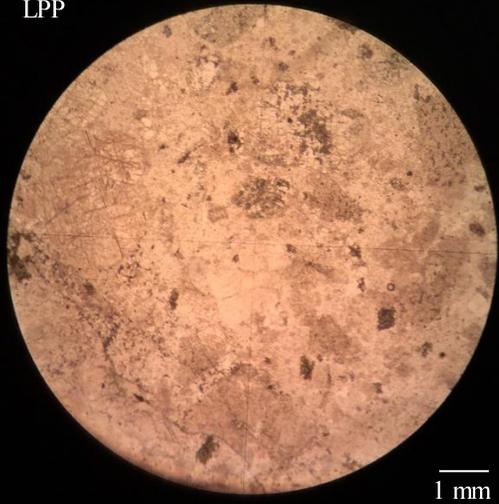
NC



1 mm

Muestra CPV-14-174			
Ubicación:	7.243.570 N / 488.503 E		
Localidad:	Borde E Cerro Guanaco		
Unidad:	Formación Cerro Guanaco		
Clasificación:	Andesita de anfíbol (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Vitrofidica		
Observaciones:	Presenta un fenocristal de piroxeno fracturado, anfíboles alterados a biotitas. Fenocristales de plagioclasas presentan los mayores tamaños. Calcita de alteración		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	28	Subhedral a euhedral	0,1 – 7,2
Piroxeno	<1	Anhedral, fracturado	0,2
Anfíbol	5	Subhedral, biotitizados	0,1 – 0,3
Opacos	2	Anhedral	0,05 – 0,3
	36		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Vidrio	60	Altamente desvitrificado	< 0,06
Plagioclasa	3	Subhedral	< 0,06
Opacos	1	Anhedral	< 0,06
	64		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Sericita	7	Alteración moderada de las plagioclasas	
Epidota	2	Alteración leve de las plagioclasas	
Biotita	3	Altera fuertemente a los cristales de anfíbol	
Calcita	7	Alteración leve del vidrio	
Arcilla	2	Alteración leve de las plagioclasas	
	21		

LPP



1 mm

NC

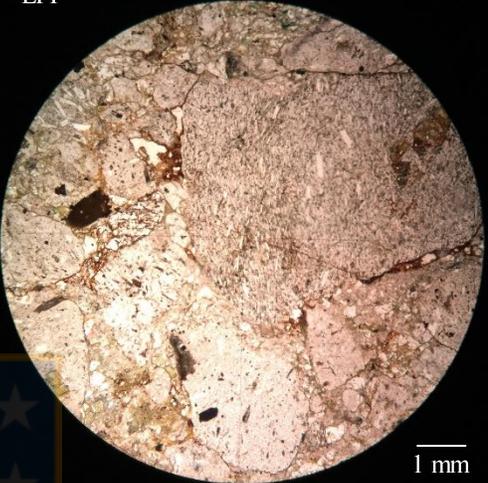


1 mm

5.2 ROCAS PIROCLÁSTICAS

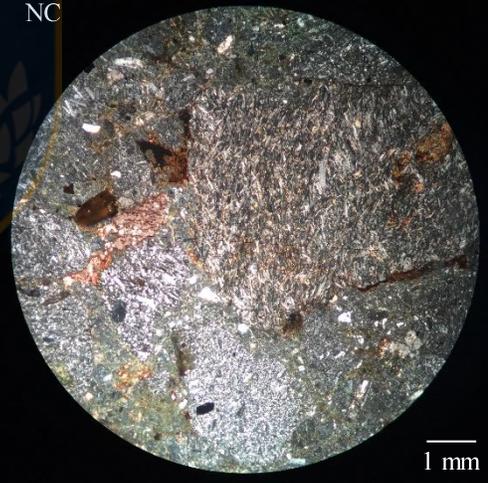
Muestra CPV-14-157			
Ubicación:	7.225.857 N / 475.701 E		
Localidad:	S Sierra de Varas - Quebrada del Salitre		
Unidad:	Formación Cerro Guanaco		
Clasificación Textural:	Brecha Volcánica (<i>after</i> Fisher, 1966)		
Clasificación Composicional:	Lítica (<i>after</i> Schmid, 1981)		
Fábrica:	Clasto-soportado		
Texturas:	Brechosa		
Observaciones:	Líticos angulosos de gran tamaño, siendo los de andesita los de mayor dimensión. La matriz está compuesta principalmente por vidrio alterado moderadamente a arcillas junto con algunos cristales de cuarzo y plagioclasa		
Composición			
a) Cristales			
Mineral	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	2	Cristales fragmentados	0,2 – 0,4
Cuarzo	5	Cristales subredondeados	0,2 – 0,9
Calcita	5	Cristales angulosos rellenando espacios	0,4 – 1,8
Opacos	2	Cristales angulosos	0,1 – 0,8
	14		
b) Líticos			
Tipo	(%)	Tamaño (mm)	Descripción
Volcánicos ácidos	35	0,8 – 3,0	Con fenocristales de plagioclasa y biotitas y masa fundamental felsofídica
Volcánicos andesíticos	32	0,9 – 7,0	De color gris oscuro, angulosos, con fenocristales de plagioclasas y anfíbol
Indeterminado	2	0,3	Compuestos por arcillas, opacos y micas
	69		
c) Vidrio			
Tipo	(%)	Descripción	
Vidrio	17	El vidrio se encuentra alterado a arcillas y ligeramente desvitrificado	
	17		
Minerales de Alteración			
Mineral	(%)	Observaciones	
Sericita	4	Altera débilmente a las plagioclasas en cristales y líticos	
Arcillas	10	Altera moderadamente al vidrio	
	14		

LPP



1 mm

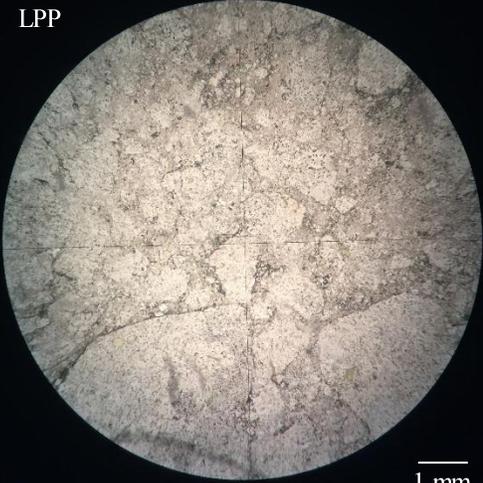
NC



1 mm

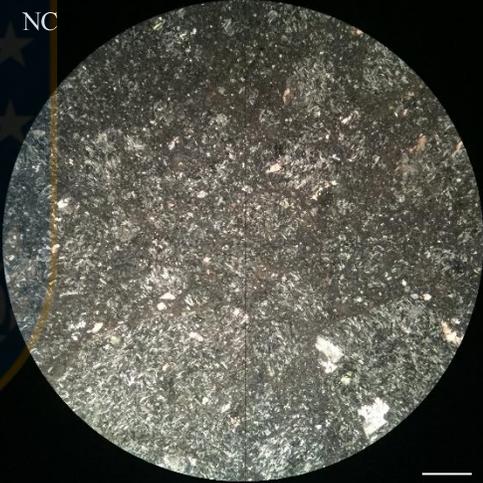
Muestra CPV-14-165			
Ubicación:	7.248.043 N / 486.532 E		
Localidad:	Cerro Manchón. N Portezuelo de la Sal		
Unidad:	Formación Cerro Guanaco		
Clasificación Textural:	Toba de lapilli (<i>after</i> Fisher, 1966)		
Clasificación Composicional:	Lítica (<i>after</i> Schmid, 1981)		
Fábrica:	Clasto-soportado		
Texturas:	Fragmental		
Observaciones:	La matriz está compuesta por vidrio moderadamente alterado a arcillas, pero también por pequeños cristales de plagioclasa (0,05 – 0,2 mm). La calcita se encuentra relleno espacios y tanto en los bordes, como dentro de los líticos.		
Composición			
a) Cristales			
Mineral	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	5	Cristales semi-fragmentados	0,05 – 0,7
Opacos	<1	Muy pequeños para determinar forma	< 0,06
	5		
b) Líticos			
Tipo	(%)	Tamaño (mm)	Descripción
Volcánicos andesíticos	66	0,5 – 7,0	Compuestos casi completamente de plagioclasas, subangulosos y fragmentados parcialmente
	66		
c) Vidrio			
Tipo	(%)	Descripción	
Vidrio	29	El vidrio se encuentra alterado a arcillas	
	29		
Minerales de Alteración			
Mineral	(%)	Observaciones	
Calcita	5	Rellena espacios	
Arcillas	35	Altera moderadamente al vidrio y los líticos	
	35		

LPP



1 mm

NC



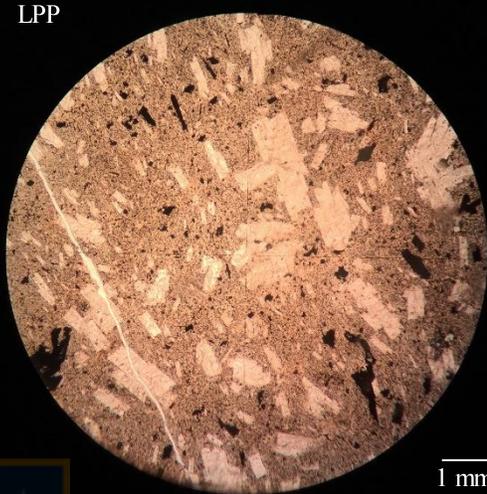
1 mm

6 FORMACIÓN CIFUNCHO

6.1 ROCAS VOLCÁNICAS

Muestra CPV-14-177A			
Ubicación:	7.161.757 N / 340.622 E		
Localidad:	Quebrada Cifuncho		
Unidad:	Formación Cifuncho		
Clasificación:	Andesita (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Vitrofídica traquitoide		
Observaciones:	Presenta un enclave de similar composición (2 mm). Los fenocristales de plagioclasa presentan fuerte orientación, presenta opacos tabulares		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	38	Subhedral a euhedral	0,2 – 2,0
Opacos	6	Subhedral, probablemente anfíboles alterados completamente	0,1 – 1,7
	44		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Vidrio	50	Altamente desvitrificado (felsofídico)	< 0,06
Plagioclasa	6	Subhedral	< 0,06
	56		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Arcilla	26	Alteración moderada del vidrio	
Epidota	2	Alteración Plagioclasas	
	26		

LPP



1 mm

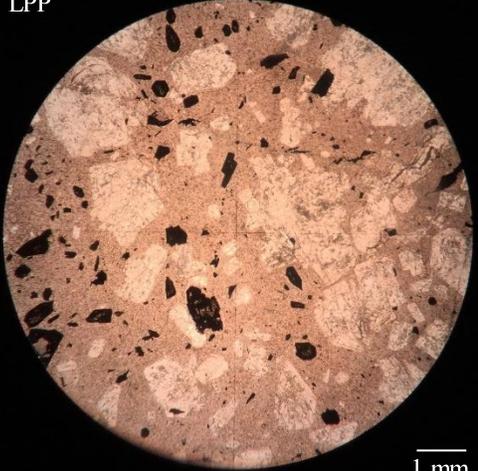
NC



1 mm

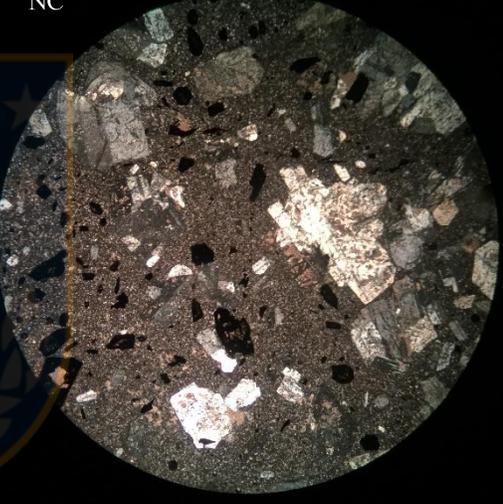
Muestra CPV-14-177B				
Ubicación:	7.161.757 N / 340.622 E			
Localidad:	Quebrada Cifuncho			
Unidad:	Formación Cifuncho			
Clasificación:	Andesita (Streckeisen, 1978)			
Textura:	Vitrofídica Intersectal			
Observaciones:	En los intersticios de los opacos se encuentra vidrio desvitrificado.			
Composición				
a) Fenocristales				
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)	
Plagioclasa	31	Subhedral a euhedral	0,2 – 4,5	
Opacos	12	Anhedral, rellenos	0,1 – 1,9	
	43			
b) Masa Fundamental				
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)	
Vidrio	56	Altamente desvitrificado	< 0,06	
Plagioclasa	1	Subhedral	< 0,06	
	57			
Minerales de Alteración				
Minerales	(%)	Observaciones		
Arcilla	28	Alteración moderada del vidrio		
Calcita	2	Alteración del vidrio		
Epidota	2	Alteración plagioclasas		
	32			

LPP



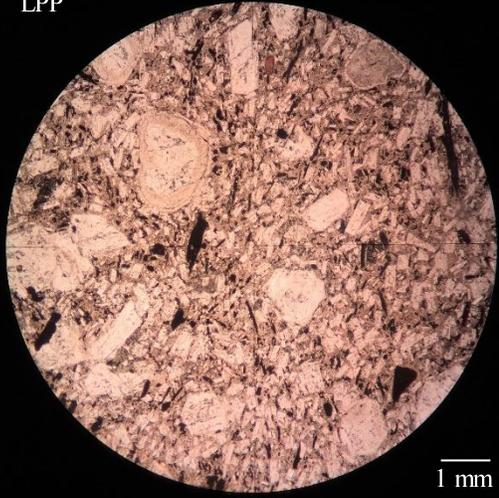
1 mm

NC



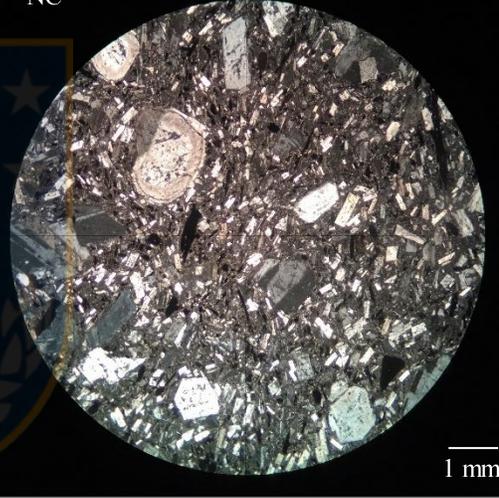
Muestra CPV-14-177C			
Ubicación:	7.161.757 N / 340.622 E		
Localidad:	Quebrada Cifuncho		
Unidad:	Formación Cifuncho		
Clasificación:	Andesita (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Porfídica		
Observaciones:	Fenocristales de plagioclasa de diferentes tamaños sin orientación aparente. Masa fundamental compuesta principalmente de vidrio desvitrificado con pequeños cristales de plagioclasas		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	57	Subhedral a euhedral	0,2 – 6,8
Opacos	9	Anhedral, embahados	0,1 – 2,4
	66		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Vidrio	30	Altamente desvitrificado	< 0,06
Plagioclasa	4	Subhedral, ligeramente embahados	< 0,1
	34		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Arcilla	16	Alteración moderada del vidrio	
	16		

LPP



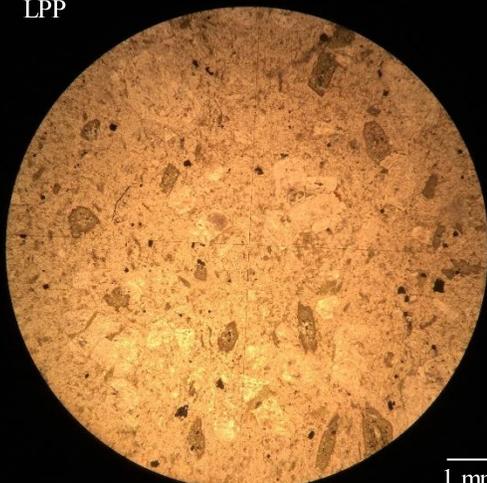
1 mm

NC



1 mm

Muestra CPV-14-183			
Ubicación:	7.134.515 N / 340.105 E		
Localidad:	Quebrada La Cachina		
Unidad:	Formación Cifuncho		
Clasificación:	Andesita de anfíbol (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Vitrofídica		
Observaciones:	Fenocristales de plagioclasa de diferentes tamaños sin orientación aparente. Masa fundamental compuesta principalmente de vidrio desvitrificado con pequeños cristales de plagioclasas y calcita de alteración		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	25	Subhedrales a euhedrales	0,2 – 3,5
Anfíbol	14	Subhedrales	0,2 – 0,8
Cuarzo	1	Anhedral, fracturado	2,1
Opacos	3	Anhedrales, ligeramente embahados	0,1 – 0,5
	43		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Vidrio	52	Altamente desvitrificado	< 0,06
Plagioclasa	4	Subhedrales a euhedrales alterados a arcillas moderadamente	< 0,1
Cuarzo	<1	Anhedrales	<0,1
	57		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Arcilla	15	Alteración leve del vidrio y moderada de las plagioclasas	
Clorita	4	Alteración moderada del anfíbol	
Calcita	5	Alteración leve del vidrio, plagioclasas y relleno de anfíboles localmente	
	24		



LPP

1 mm



NC

1 mm

Muestra CPV-14-184			
Ubicación:	7.134.594 N / 340.042 E		
Localidad:	Quebrada La Cachina		
Unidad:	Formación Cifuncho		
Clasificación:	Andesita de biotita (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Porfídica traquitoide		
Observaciones:	Fenocristales de plagioclasa de diferentes tamaños sin orientación aparente. Masa fundamental compuesta principalmente de vidrio desvitrificado con pequeños cristales de plagioclasas orientados y calcita de alteración		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	20	Subhedrales a euhedrales	0,2 – 3,2
Biotitas	14	Subhedrales	0,2 – 1,8
Cuarzo	3	Anhedral, embahados	0,7 – 2,0
Opacos	2	Anhedrales, embahados	0,1 – 0,4
	39		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Vidrio	38	Altamente desvitrificado	< 0,06
Plagioclasa	22	Subhedrales a euhedrales	< 0,1
Cuarzo	<1	Anhedrales	<0,1
	61		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Arcilla	16	Alteración muy leve del vidrio y fuerte de las plagioclasas	
Epidota	10	Alteración moderada de biotitas y plagioclasa	
Clorita	4	Alteración moderada de biotitas	
Calcita	2	Alteración leve del vidrio y relleno de biotitas localmente	
	32		

LPP

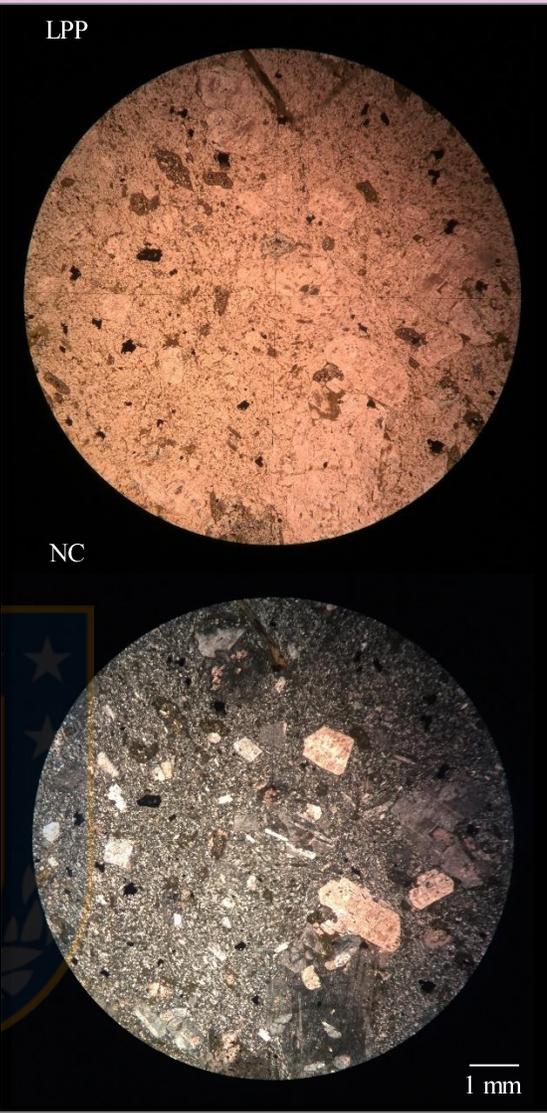


1 mm

NC



1 mm

Muestra CPV-14-185			
Ubicación:	7.134.664 N / 339.374 E		
Localidad:	Quebrada La Cachina		
Unidad:	Formación Cifuncho		
Clasificación:	Andesita de anfíbol (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Porfídica traquitoide		
Observaciones:	Fenocristales de plagioclasa ligeramente orientados. Masa fundamental compuesta principalmente de vidrio desvitrificado con pequeños cristales de plagioclasas orientados y calcita de alteración		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	27	Subhedrales a euhedrales	0,2 – 1,8
Biotitas	4	Subhedrales	0,1 – 2,0
Anfíbol	8	Subhedrales	0,2 – 1,6
Cuarzo	1	Anhedral, embahiado	0,7 – 1,4
Opacos	2	Anhedrales	0,2 – 0,5
	42		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Vidrio	39	Altamente desvitrificado	< 0,06
Plagioclasa	19	Subhedrales a euhedrales	< 0,2
	58		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Arcilla	11	Alteración muy leve del vidrio y fuerte de las plagioclasas	
Epidota	3	Alteración moderada de biotitas y plagioclasa	
Clorita	8	Alteración moderada de biotitas y anfíbol	
Calcita	7	Alteración leve del vidrio y relleno de biotitas localmente	
	29		
			

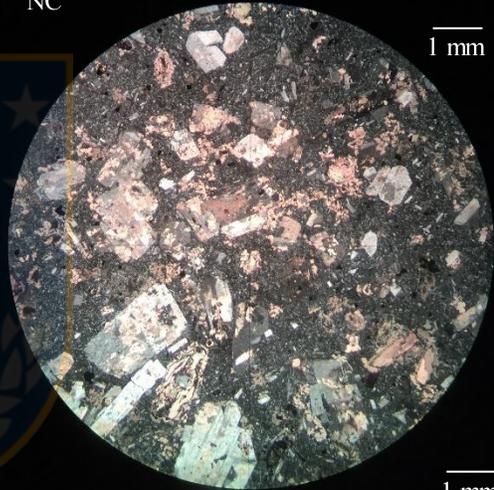
Muestra CPV-14-186			
Ubicación:	7.134.911 N / 339.123 E		
Localidad:	Quebrada La Cachina		
Unidad:	Formación Cifuncho		
Clasificación:	Andesita de biotita (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Vitrofídica		
Observaciones:	Máficos indiferenciables debido a su alteración. Masa fundamental compuesta principalmente de vidrio desvitrificado y calcita de alteración. Corte se trata de lítico de brecha volcánica.		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	30	Subhedral a euhedral, ligeramente fragmentales	0,1 – 5,0
Biotitas	6	Subhedral fuertemente cloritizados	0,2 – 1,8
Máficos indeterminados*	11	Subhedral a euhedral rellenos de calcita	0,1 – 2,0
Opacos	2	Anhedral	0,1 – 0,3
	49		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Vidrio	42	Alterado y moderadamente desvitrificado	< 0,06
Plagioclasa	9	Subhedral a euhedral	< 0,1
	51		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Arcilla	4	Alteración muy leve del vidrio	
Epidota	2	Alteración leve de las plagioclasas y biotita	
Clorita	5	Alteración fuerte de biotita	
Calcita	28	Alteración moderada del vidrio, leve de las plagioclasas y fuerte de los máficos indiferenciados	
	39		

LPP



1 mm

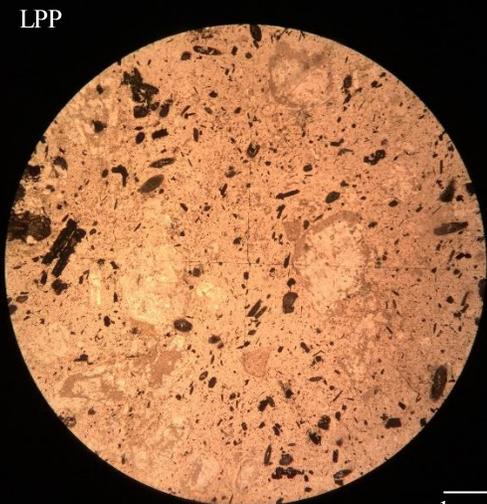
NC



1 mm

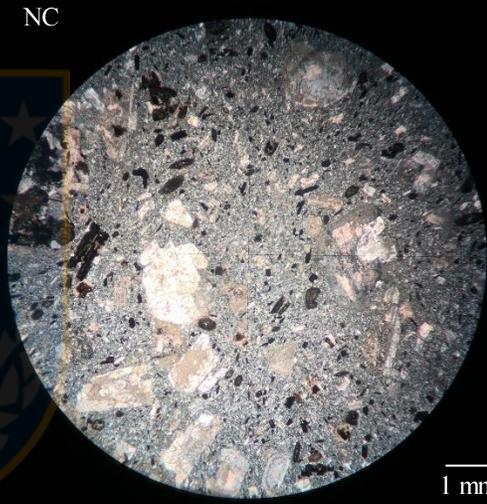
Muestra CPV-14-187			
Ubicación:	7.134.911 N / 339.123 E		
Localidad:	Quebrada La Cachina		
Unidad:	Formación Cifuncho		
Clasificación:	Andesita (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Vitrofídica		
Observaciones:	Máficos indiferenciables debido a su alteración. Masa fundamental compuesta principalmente de vidrio desvitrificado. Corte se trata de lítico de brecha volcánica.		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	23	Subhedral a euhedral, ligeramente fragmentales	0,1 – 2,8
Cuarzo	1	Anhedral	1,0
Biotita	1	Anhedral, basal	0,6
Máficos indeterminados*	11	Subhedral a euhedral oxidados	0,1 – 1,7
Opacos	4	Anhedral	0,1 – 0,4
	40		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Vidrio	50	Altamente desvitrificado	< 0,06
Plagioclasa	10	Subhedral a euhedral	< 0,1
	60		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Arcilla	15	Alteración muy leve del vidrio y fuerte de las plagioclasas	
Epidota	2	Alteración leve de las plagioclasas y máficos	
Oxidación	8	Alteración fuerte de máficos	
Calcita	5	Alteración leve de las plagioclasas y máficos indiferenciados	
	30		

LPP



1 mm

NC



1 mm

Muestra CPV-14-190			
Ubicación:	7.133.332 N / 337.489 E		
Localidad:	Quebrada La Cachina		
Unidad:	Formación Cifuncho		
Clasificación:	Dacita de anfíbol (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Porfídica		
Observaciones:	Masa fundamental desvitrificada con pequeños cristales de cuarzo y Plagioclasa. Fenocristales de máficos (anfíbol) completamente alterados, siendo el resto bastante frescos.		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	34	Subhedrales a euhedrales	0,2 – 2,2
Cuarzo	17	Euهدral a anhedral, fracturados	0,2 – 2,9
Anfíbol*	10	Subhedral a euهدral, completamente alterados	0,2 – 2,8
Biotita	2	Anhedral, basal	0,6
Opacos	3	Anhedrales	0,15 – 0,5
	67		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Vidrio	29	Altamente desvitrificado	< 0,06
Cuarzo	1	Anhedrales	< 0,2
Plagioclasa	3	Subhedrales a euhedrales	< 0,1
	33		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Arcilla	4	Alteración muy leve del vidrio y plagioclasas	
Epidota	2	Alteración leve de las plagioclasas	
Oxidación	4	Alteración fuerte de anfíbol	
Calcita	6	Alteración leve de las plagioclasas y moderada del anfíbol	
	16		

LPP



1 mm

NC

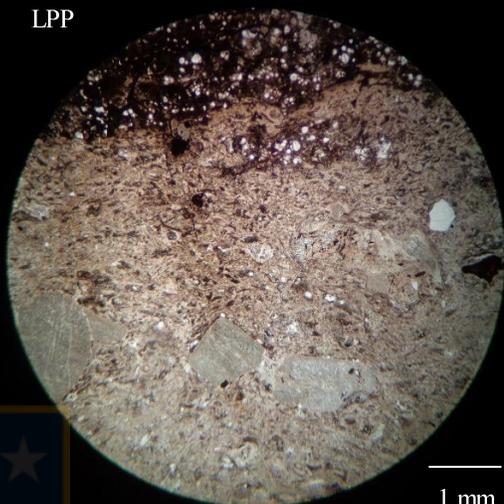


1 mm

6.2 ROCAS PIROCLÁSTICAS

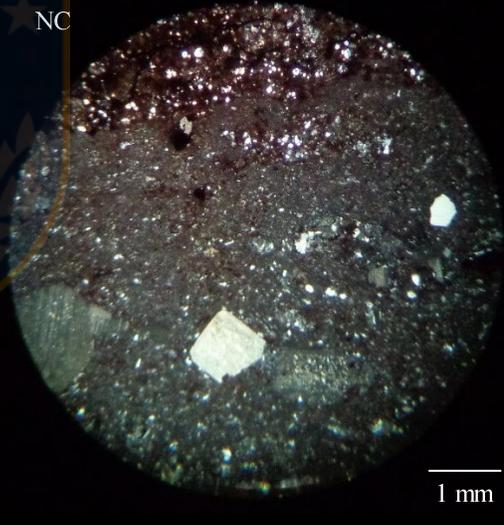
Muestra CPV-14-178			
Ubicación:	7.159.241 N / 342.038 E		
Localidad:	Quebrada Cifuncho		
Unidad:	Formación Cifuncho		
Clasificación Textural:	Toba de lapilli (<i>after</i> Fisher, 1966)		
Clasificación Composicional:	Lítica (<i>after</i> Schmid, 1981)		
Fábrica:	Clasto-soportado		
Texturas:	Fragmental		
Observaciones:	Líticos angulosos de gran tamaño, siendo los de andesita los de mayor dimensión. La matriz está compuesta principalmente por vidrio desvitrificado y plagioclasas		
Composición			
a) Cristales			
Mineral	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	27	Cristales fragmentados	0,1 – 1,8
Cuarzo	2	Cristales subredondeados	0,3 – 0,6
Biotita	2	Cristales euhedrales	0,4 – 1,4
Opacos	2	Cristales angulosos	0,1 – 0,8
	33		
b) Líticos			
Tipo	(%)	Tamaño (mm)	Descripción
Volcánicos ácidos	13	0,8 – 2,8	Limpios con fenocristales de plagioclasa y biotitas y masa fundamental felsofídica
Volcánicos andesíticos	31	0,8 – 7,2	Moderadamente sucios y angulosos, con fenocristales de plagioclasa
	44		
c) Vidrio			
Tipo	(%)	Descripción	
Vidrio	23	El vidrio se encuentra alterado y casi completamente desvitrificado	
	23		
Minerales de Alteración			
Mineral	(%)	Observaciones	
Epidota	2	Altera débilmente a las plagioclasas en cristales y líticos	
Calcita	7	Altera moderadamente al vidrio	
Biotita Secundaria	9	Altera moderadamente al vidrio tanto en matriz de la roca como en matriz de líticos	
Arcillas	5	Altera moderadamente al vidrio	
	23		

LPP



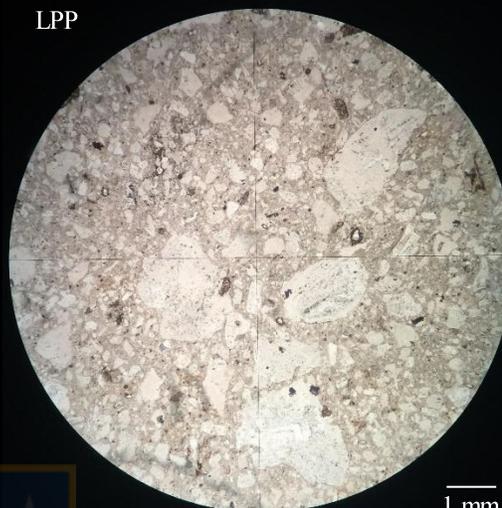
1 mm

NC



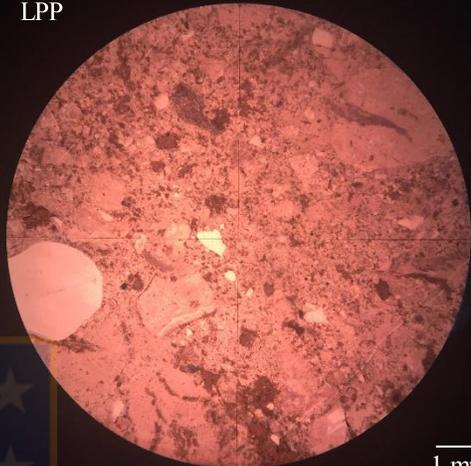
1 mm

Muestra CPV-14-179			
Ubicación:	7.159.241 N / 342.038 E		
Localidad:	Quebrada Cifuncho		
Unidad:	Formación Cifuncho		
Clasificación Textural:	Toba de lapilli (<i>after</i> Fisher, 1966)		
Clasificación Composicional:	Lítica (<i>after</i> Schmid, 1981)		
Fábrica:	Clasto-soportado		
Texturas:	Fragmental		
Observaciones:	Líticos angulosos de gran tamaño, siendo los de andesita los de mayor dimensión. La matriz está compuesta principalmente por vidrio desvitrificado y plagioclasas		
Composición			
a) Cristales			
Mineral	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	21	Cristales fragmentados	0,06 – 1,7
Cuarzo	3	Cristales subredondeados	0,3 – 0,6
Opacos	<1	Cristales angulosos	< 0,1
	25		
b) Líticos			
Tipo	(%)	Tamaño (mm)	Descripción
Volcánicos ácidos	9	0,3 – 2,1	Limpios con fenocristales de plagioclasa + biotita y masa fundamental felsosídica
Volcánicos andesíticos	32	1,2 – 9,4	Moderadamente sucios y angulosos, con fenocristales de plagioclasa y anfíbol biotitizado
	41		
c) Vidrio			
Tipo	(%)	Descripción	
Vidrio	34	El vidrio se encuentra alterado y casi completamente desvitrificado	
	34		
Minerales de Alteración			
Mineral	(%)	Observaciones	
Epidota	2	Altera débilmente a las plagioclasas en cristales y líticos	
Calcita	7	Altera moderadamente al vidrio en el borde de los líticos andesíticos	
Biotita Secundaria	8	Altera moderadamente al vidrio tanto en matriz de la roca como en matriz de líticos	
Arcillas	4	Altera moderadamente al vidrio	
	21		

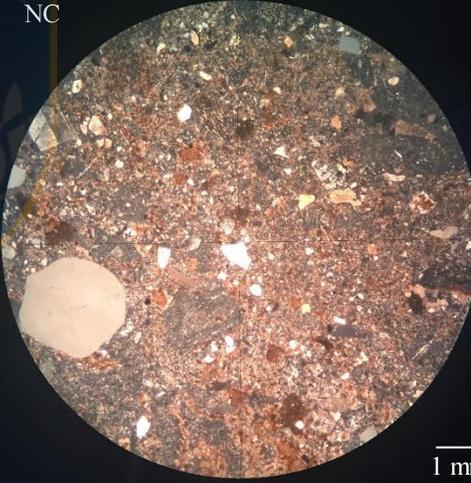


Muestra CPV-15-301			
Ubicación:	7.246.584 N / 352.590 E		
Localidad:			
Unidad:	Formación Cifuncho		
Clasificación Textural:	Toba de lapilli (<i>after</i> Fisher, 1966)		
Clasificación Composicional:	Lítica (<i>after</i> Schmid, 1981)		
Fábrica:	Clasto-soportado		
Texturas:	Fragmental		
Observaciones:	Roca presenta líticos ácidos y andesíticos angulosos los cuales presentan diferentes niveles de alteración, textura vitrofídica predomina en ellos, pero en los andesíticos a veces variaba a traquitoide.		
Composición			
a) Cristales			
Mineral	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Cuarzo	10	Anhedral, fragmentados	< 1,5
Plagioclasa	5	Euhedrales, fragmentados	< 0,4
	15		
b) Líticos			
Tipo	(%)	Tamaño (mm)	Descripción
Volcánico ácidos	29	1,0 – 3,8	Levemente a moderadamente sucios, porfídicos, presentan fenocristales de Plagioclasa y cuarzo. Masa fundamental desvitrificada con cuarzo secundario
Volcánico andesítico	24	0,8 – 4,6	Claros levemente grises, traquitoidal, se observa solo plagioclasas en matriz de vidrio alteración a calcita y mineral indeterminado (carbonato mostaza)
	53		
c) Vidrio			
Tipo	(%)	Descripción	
Vidrio	32	El vidrio se encuentra desvitrificado y alterado a arcilla, calcita y un mineral de carbonato indeterminado	
	32		
Minerales de Alteración			
Mineral	(%)	Observaciones	
Calcita	6	Alterada al vidrio localmente en matriz	
Indeterminado (carbonato)	11	Altera al vidrio en líticos andesíticos y en matriz, color mostaza	
Arcillas	19	Altera moderadamente al vidrio tanto en matriz como en líticos	
	36		

LPP



NC



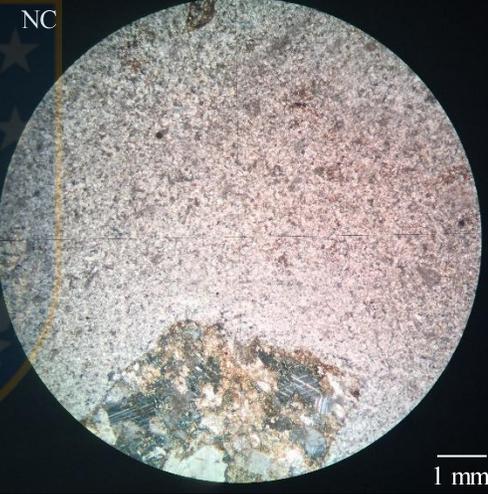
Muestra CPV-15-302			
Ubicación:	7.245.899 N / 352.418 E		
Localidad:			
Unidad:	Formación Cifuncho		
Clasificación Textural:	Toba (<i>after</i> Fisher, 1966)		
Clasificación Composicional:	Vítrea (<i>after</i> Schmid, 1981)		
Fábrica:	Matriz-soportado		
Texturas:	Fragmental		
Observaciones:	Roca presenta una fuerte carbonatación que hace indistinguible los líticos y los cristales minerales.		
Composición			
a) Cristales			
Mineral	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Indeterminado (Plagioclasa?)	2	Euhedrales, alterados a calcita y arcillas completamente	< 0,6
	2		
b) Líticos			
Tipo	(%)	Tamaño (mm)	Descripción
Indeterminados	10	0,6 – 3,5	Completamente alterados a calcita, carbonato y clorita
	10		
c) Vidrio			
Tipo	(%)	Descripción	
Vidrio	88	El vidrio está alterado a arcilla, calcita y un mineral de carbonato indeterminado	
	88		
Minerales de Alteración			
Mineral	(%)	Observaciones	
Calcita	67	Alterada al vidrio fuertemente	
Clorita	3	Altera a los líticos levemente	
Indeterminado (carbonato)	12	Altera al vidrio en líticos y en matriz, color mostaza	
Arcillas	10	Altera levemente al vidrio y los cristales minerales	
	92		

LPP



1 mm

NC



1 mm

7 FORMACIÓN AGUA CHICA

7.1 ROCAS VOLCÁNICAS

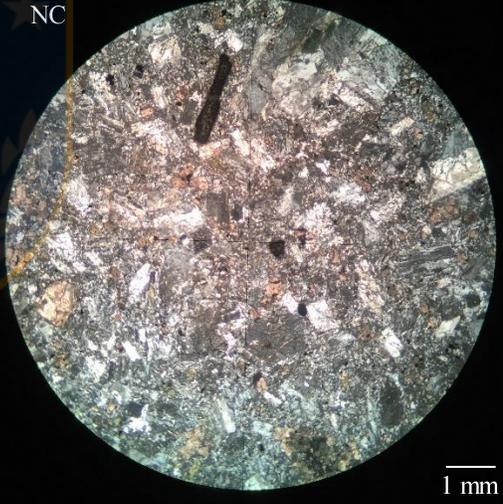
Muestra CPV-14-194			
Ubicación:	7.133.332 N / 337.489 E		
Localidad:	S del cerro Las Chilcas		
Unidad:	Formación Agua Chica		
Clasificación:	Andesita de anfíbol y biotita (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Porfídica		
Observaciones:	Fenocristales ligeramente fracturados, anfíbol completamente alterado (se observa forma y clivaje en algunos). Masa fundamental desvitrificada		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	44	Subhedral a euhedral	0,3 – 4,5
Anfíbol*	10	Subhedral a euhedral, completamente alterados	0,2 – 2,5
Biotita	6	Subhedral a euhedral, cloritizados	0,1 – 0,9
Opacos	2	Anhedral	0,15 – 0,3
	62		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Vidrio	33	Altamente desvitrificado	< 0,06
Plagioclasa	5	Subhedral a euhedral	< 0,2
	38		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Arcilla	10	Alteración muy leve del vidrio y plagioclasas	
Epidota	5	Alteración leve de las plagioclasas, biotita y anfíbol	
Oxidación	2	Alteración leve de anfíbol	
Calcita	10	Alteración leve de las plagioclasas y fuerte del anfíbol	
Clorita	3	Alteración moderada de la biotita	
	30		

LPP



1 mm

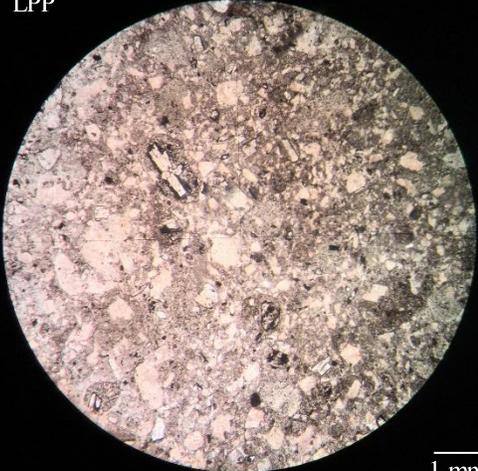
NC



1 mm

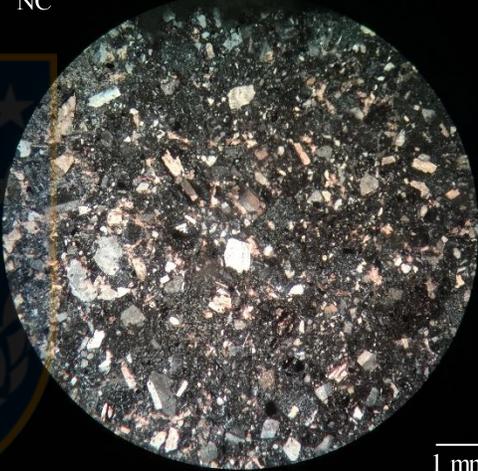
Muestra CPV-14-196			
Ubicación:	7.116.324 N / 346.190 E		
Localidad:	S del cerro Las Chilcas		
Unidad:	Formación Agua Chica		
Clasificación:	Andesita de anfíbol (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Vitrofidica		
Observaciones:	Anfíbol completamente alterado (se observa forma). Masa fundamental desvitrificada (felsofídica). Corte quebrado, corresponde a clasto de brecha volcánica.		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	48	Subhedral a euhedral	0,1 – 3,0
Anfíbol*	7	Subhedral a euhedral, completamente alterados	0,4 – 1,5
Opacos	3	Anhedral	0,1 – 0,3
	58		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Vidrio	38	Moderadamente desvitrificado	< 0,06
Plagioclasa	4	Subhedral a euhedral	< 0,1
	42		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Arcilla	21	Alteración muy leve del vidrio y moderada plagioclasas	
Oxidación	2	Alteración leve de anfíbol	
Calcita	17	Alteración leve de las plagioclasas y fuerte del anfíbol	
	40		

LPP



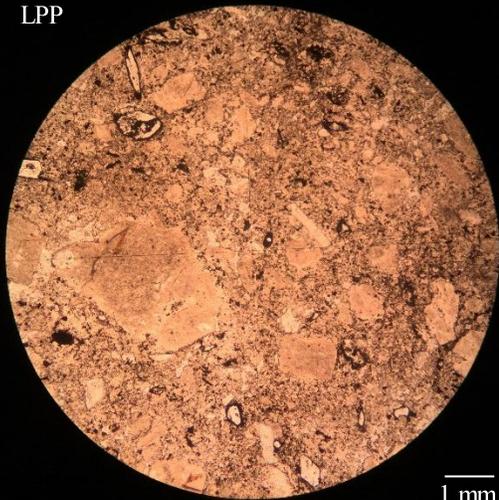
1 mm

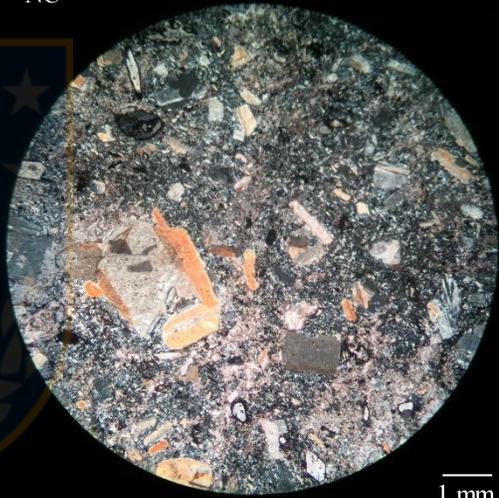
NC



1 mm

Muestra CPV-14-197			
Ubicación:	7.117.086 N / 345.868 E		
Localidad:	S del cerro Las Chilcas		
Unidad:	Formación Agua Chica		
Clasificación:	Andesita de anfíbol (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Vitrofídica traquitoide		
Observaciones:	Anfíbol completamente alterado (se observa forma). Masa fundamental desvitrificada (felsofídica) con pequeños cristales de Plagioclasa orientadas. Corte corresponde a clasto de brecha volcánica.		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	28	Subhedral a euhedral	0,1 – 3,2
Biotita	2	Anhedral, fuertemente alterados	0,2 – 1,0
Anfíbol*	11	Subhedral a euhedral, completamente alterados	0,2 – 1,9
Cuarzo	<1	Anhedral	0,3
Opacos	2	Anhedral	0,1 – 0,3
	44		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Vidrio	50	Completamente desvitrificado y alterado	< 0,06
Plagioclasa	6	Subhedral a euhedral	< 0,1
	56		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Arcilla	36	Alteración moderada del vidrio y fuerte de plagioclasas	
Oxidación	3	Alteración leve de anfíbol y fuerte de la biotita	
Calcita	19	Alteración leve de las plagioclasas y vidrio. Fuerte del anfíbol	
	58		

LPP


NC


1 mm

1 mm

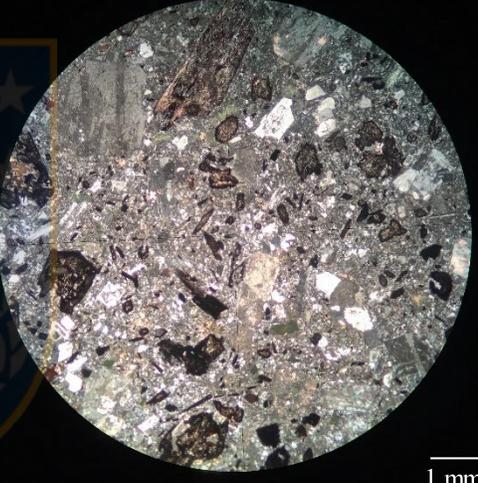
Muestra CPV-14-198			
Ubicación:	7.117.138 N / 345.848 E		
Localidad:	S del cerro Las Chilcas		
Unidad:	Formación Agua Chica		
Clasificación:	Andesita de anfíbol (Streckeisen, 1978)		
Textura:	Porfídica		
Observaciones:	Anfíbol completamente alterado (se observa forma). Masa fundamental desvitrificada, con pequeños cristales de plagioclasas. Fenocristales fracturados		
Composición			
a) Fenocristales			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasa	29	Subhedral a euhedral, fracturados	0,1 – 3,5
Biotita	8	Subhedral, fuertemente alterados	0,2 – 2,6
Anfíbol	18	Subhedral a euhedral, completamente alterados	0,1 – 2,9
Opacos	3	Anhedral	0,1 – 0,3
	58		
b) Masa Fundamental			
Minerales	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Vidrio	38	Completamente desvitrificado y alterado	< 0,06
Plagioclasa	4	Subhedral a euhedral	< 0,1
	42		
Minerales de Alteración			
Minerales	(%)	Observaciones	
Arcilla	20	Alteración moderada del vidrio y leve de plagioclasas	
Oxidación	14	Alteración moderada de anfíbol y leve de la biotita	
Calcita	7	Alteración leve de biotitas y anfíbol	
	41		

LPP



1 mm

NC

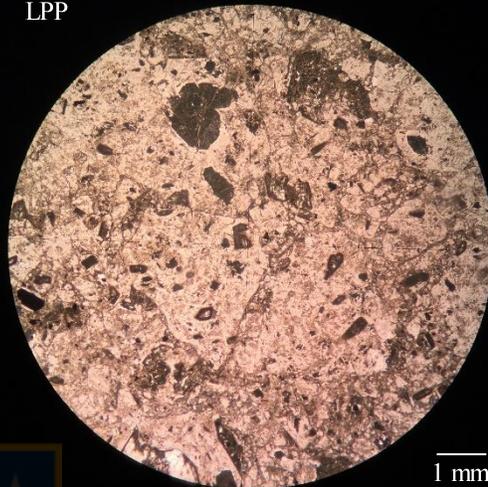


1 mm

7.2 ROCAS PIROCLÁSTICAS

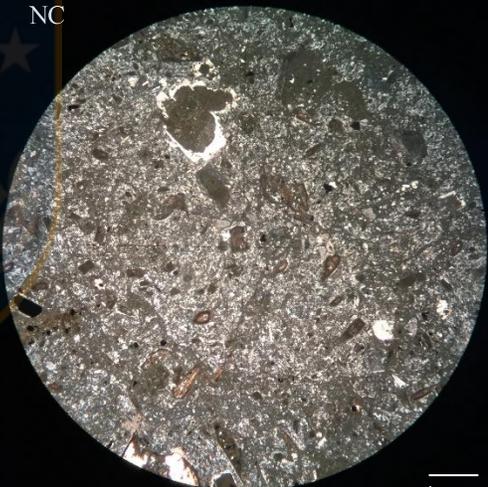
Muestra CPV-14-195			
Ubicación:	7.159.241 N / 342.038 E		
Localidad:	Sur del Cerro Las Chilcas		
Unidad:	Formación Agua Chica		
Clasificación Textural:	Toba de lapilli (<i>after</i> Fisher, 1966)		
Clasificación Composicional:	Lítica (<i>after</i> Schmid, 1981)		
Fábrica:	Clasto-soportado		
Texturas:	Fragmental		
Observaciones:	Masa fundamental de vidrio desvitrificado con cristales de plagioclasas (~0,2 mm), clastos de líticos monomicticos de andesitas		
Composición			
a) Cristales			
Mineral	(%)	Forma y observaciones	Tamaño (mm)
Plagioclasas	5	Cristales euhedrales fragmentados	0,06 – 0,4
Opacos	1	Cristal anhedral	<0,3
	6		
b) Líticos			
Tipo	(%)	Tamaño (mm)	Descripción
Volcánicos andesíticos	74	0,2 – 6,0	Levemente sucios y angulosos, con fenocristales de plagioclasa y máficos alterados, masa fundamental vidrio desvitrificado
	74		
c) Vidrio			
Tipo	(%)	Descripción	
Vidrio	20	El vidrio se encuentra casi completamente desvitrificado	
	20		
Minerales de Alteración			
Mineral	(%)	Observaciones	
Calcita	5	Altera moderadamente al vidrio en el borde de los líticos andesíticos y plagioclasas en su interior	
Arcillas	18	Altera moderadamente al vidrio tanto en masa fundamental como en líticos, también levemente a las plagioclasas	
	23		

LPP



1 mm

NC



1 mm



ÍNDICE

	Página
1 Resultado análisis químico elementos mayores.....	156
2 Resultados análisis químico elementos trazas.....	157
3 Resultado análisis isotópico.....	160
3.1 Sistema isotópico Rb-Sr.....	161
3.2 Sistema isotópico Sm – Nd.....	162
5.3 Sistema isotópico U-Pb-Th.....	165



ÍNDICE DE TABLAS

	Página
II.1 Resultados análisis químico de elementos mayores	156
II.2 Resultados análisis químico de elementos traza.....	157
II.3 Resultados análisis isotópicos de Sr, Nd y Pb.....	160
II.4 Resultados de cálculos sistema Rb - Sr	162
II.5 Resultados de cálculos sistema Sm- Nd	163
II.6 Resultados calculo ϵ Nd.....	164
II.7 Resultados de cálculos sistema U- Th- Pb.....	166

1 Resultado análisis químico elementos mayores.

Tabla II.1

Resultados del análisis químico de elementos mayores, para cada una de las muestras con el metodo ICP (Induced Couple Plasma). Su contenido se expresa en porcentaje en peso (wt%).

Muestra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	PPC	Total
CPV-14-159	68,85	0,388	13,89	2,46	0,054	0,63	1,14	4,54	3,31	0,13	1,86	98,48
CPV-14-164	59,7	0,567	15,8	3,79	0,077	0,86	3,07	1,74	8,86	0,19	3,73	99,69
CPV-14-166	66,7	0,545	15,68	3,31	0,052	1,16	0,92	4,12	5,31	0,18	1,79	100,9
CPV-14-167	77,67	0,286	10,38	1,43	0,024	0,57	1,15	2,97	2,19	0,09	2,79	100,3
CPV-14-169A	71,13	0,352	13,5	1,93	0,015	1,3	1,82	3,86	1,44	0,14	2,5	98,76
CPV-14-172	63,91	0,697	17,24	4,16	0,053	0,66	2,62	7,32	0,53	0,22	1,69	100,8
CPV-14-173	69	0,388	14,84	2,25	0,032	1,04	0,8	6,31	0,83	0,11	1,87	98,6
CPV-14-176	69,83	0,377	15,76	1,45	0,048	0,75	1,03	4,35	3,87	0,09	1,92	100,2
CPV-14-180A	70,96	0,274	15,5	1,59	0,047	0,76	2,24	4	2,38	0,08	1,18	99,8
CPV-14-184	66,2	0,478	16,48	3,10	0,095	2,08	1,84	5,7	1,47	0,13	2,01	100,8
CPV-14-187	66,96	0,529	15,09	3,46	0,056	0,99	2,34	5,2	1,42	0,11	3,12	100,7
CPV-14-190	64,79	0,516	15,57	2,84	0,053	2,42	3,04	4,32	1,39	0,12	3,19	99,4
CPV-14-191	69,84	0,542	14,13	2,51	0,046	0,98	2,04	3,35	3,27	0,15	1,83	99,95
CPV-14-194	67,59	0,541	14,49	1,38	0,065	0,45	2,5	6,44	1,06	0,14	3,05	98,41
CPV-14-198	62,28	0,677	16,2	4,15	0,057	0,67	2,07	6,18	1,67	0,16	3,05	98,84
CPV-14-245	51,18	1,134	15,82	7,70	0,163	4,05	10,38	2,68	0,08	0,13	5,96	100,8
CPV-14-247	65,85	0,598	15,35	4,28	0,067	1,62	0,59	6,3	0,2	0,13	2,03	98,72
CPV-14-249	74,31	0,183	14,84	0,81	0,005	0,22	0,12	0,09	6,53	0,03	2,47	100
CPV-14-253	48,75	1,179	16,97	9,59	0,098	3,76	5,69	6,52	0,24	0,13	5,84	100,7
CPV-14-256	48,22	1,262	16,74	5,78	0,167	2,73	7,53	6,06	0,61	0,18	8,42	99,43
CPV-15-330	63,57	0,541	14,42	2,46	0,111	0,52	3,8	2,62	6,92	0,11	4,12	100,1
CPV-15-332	67,18	0,459	11,82	1,30	0,155	0,23	4,12	0,26	9,36	0,09	3,95	99,44
CPV-15-337	52,69	1,222	17,03	5,80	0,153	1,96	3,33	0,82	10,9	0,31	3,72	99,67
CPV-15-353	61,33	0,746	19,17	4,80	0,049	0,36	0,68	9,62	0,35	0,11	1,3	100,4
CPV-15-359	49,28	1,33	17,05	5,18	0,359	1,98	11,66	3,89	0,44	0,25	8,17	100,6
CPV-15-365	78,49	0,181	13,1	0,06	0,002	0,04	0,03	7,06	0,27	-0,005	0,99	100,3
CPV-15-386	51,05	1,49	16,44	6,78	0,129	6,3	7,3	3,97	0,16	0,23	3,39	98,6

2 Resultados análisis químico elementos trazas.

Tabla II.2 Resultados del análisis químico de elementos traza, para cada una de las muestras con el metodo ICP (Induced Couple Plasma – Mass Spectrometry). Su contenido se expresa en partes por millón (ppm).

Muestra	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	Sc
CPV-14-159	11,9	27,1	3,3	12,8	2,52	0,46	1,97	0,35	2,21	0,46	1,37	0,23	1,49	0,24	12,9	6
CPV-14-164	15,2	33,2	4	15,8	3,25	0,82	3,05	0,51	3,08	0,62	1,82	0,27	1,81	0,31	18,1	9
CPV-14-166	15,3	29,6	3,45	13,1	2,87	0,65	2,59	0,44	2,7	0,59	1,72	0,28	1,98	0,31	16,4	8
CPV-14-167	11,2	27,2	3,56	14,7	3,04	0,62	2,28	0,34	1,87	0,39	1,13	0,16	1,12	0,17	11,1	5
CPV-14-169A	15	34,8	4,04	15,3	2,84	0,6	2,43	0,45	2,63	0,54	1,6	0,25	1,74	0,24	13,7	6
CPV-14-172	28,2	64,9	7,54	29,1	5,89	1,53	4,75	0,71	4,15	0,83	2,39	0,4	2,6	0,41	23,7	11
CPV-14-173	36,2	67,6	7,06	23,2	3,84	0,77	2,89	0,45	2,56	0,55	1,62	0,25	1,64	0,27	15	7
CPV-14-176	28,5	53,1	6,14	22,2	4,36	1,05	3,36	0,59	3,4	0,71	2,08	0,35	2,39	0,38	19,9	6
CPV-14-180A	28,4	57,8	6,57	25,5	5,65	0,71	4,89	0,87	5,15	1	2,83	0,43	2,83	0,43	27,7	7
CPV-14-184	12,7	26,2	3,34	13,4	2,95	0,8	2,59	0,44	2,55	0,54	1,59	0,25	1,81	0,28	15,3	8
CPV-14-187	12,4	26,8	3,16	12,6	2,71	0,77	2,42	0,43	2,57	0,52	1,52	0,24	1,59	0,24	14,2	9
CPV-14-190	12	24,8	2,99	12,3	2,86	0,83	2,54	0,46	2,83	0,56	1,65	0,25	1,77	0,28	15,5	9
CPV-14-191	36,7	74,9	8,84	34,7	7,53	1,01	6,42	1,02	5,87	1,1	2,98	0,42	2,74	0,41	30,7	10
CPV-14-194	12,3	29,9	3,94	16,5	3,68	0,81	3,05	0,49	2,82	0,56	1,51	0,21	1,35	0,21	15,5	12
CPV-14-198	14,1	29,4	3,75	15,5	3,43	0,92	2,83	0,49	2,84	0,58	1,69	0,26	1,79	0,28	15,1	14
CPV-14-245	7,24	16,9	2,18	10	2,69	0,99	3,16	0,48	2,93	0,59	1,73	0,24	1,47	0,23	14	22
CPV-14-247	9,21	28,5	2,53	9,67	2,19	0,59	2,2	0,38	2,36	0,46	1,33	0,2	1,25	0,2	12,8	8
CPV-14-249	38,1	92,1	11,1	42,5	9,28	1,22	7,88	1,44	9,25	1,91	5,93	0,91	6,1	0,91	49,3	10
CPV-14-253	10,2	20,9	2,6	11,5	3,11	1,17	3,42	0,56	3,4	0,68	1,88	0,26	1,7	0,27	17,4	24
CPV-14-256	10,3	23,4	2,91	13,1	3,39	1,19	4,03	0,69	4,31	0,91	2,72	0,4	2,52	0,41	21,7	28
CPV-15-330	29,1	52,7	5,41	19,1	3,63	0,85	3,01	0,45	2,64	0,51	1,45	0,22	1,51	0,23	12,8	8
CPV-15-332	21,7	43,4	4,89	18,1	3,43	0,86	2,8	0,41	2,19	0,42	1,24	0,19	1,27	0,2	11,6	6
CPV-15-337	14,9	33,7	4,17	17,5	4,15	1,19	4,09	0,66	3,83	0,75	2,14	0,32	2,01	0,32	14,7	16
CPV-15-353	5,41	16,7	1,91	8,87	2,57	0,77	2,78	0,43	2,48	0,47	1,45	0,23	1,55	0,25	3,7	7
CPV-15-359	10,9	25	3,23	14,7	3,7	1,28	4	0,65	3,77	0,73	1,98	0,3	1,92	0,28	16	21
CPV-15-365	38,8	87	9,85	35,7	7,52	0,68	8,07	1,49	9,77	1,97	6,09	0,98	6,66	1,01	20,4	4
CPV-15-386	11,1	26,3	3,5	15,8	4,09	1,41	4,34	0,75	4,39	0,85	2,35	0,35	2,22	0,34	18,4	25

Tabla II.2 Continuación.

Muestra	Hf	Nb	Ta	Th	Zn	Co	Ni	Ba	Cr	V	Se	Br	Cu	Sr	Zr	Rb
CPV-14-159	2,4	3,5	0,57	3,83	80	25	< 1	1312	< 5	47	N.A.	N.A.	< 5	169	131	88
CPV-14-164	3,7	6,3	0,68	3,45	70	25	30	1328	30	62	N.A.	N.A.	< 5	82	199	154
CPV-14-166	3,7	5,6	0,68	3,44	60	26	20	664	30	43	N.A.	N.A.	< 5	69	202	89
CPV-14-167	2,8	7,7	0,53	4,96	< 1	22	< 1	695	< 5	25	N.A.	N.A.	< 5	61	140	26
CPV-14-169A	3,4	6,1	0,71	4,58	< 1	16	< 1	907	< 5	36	N.A.	N.A.	< 5	174	146	28
CPV-14-172	4,3	8,2	1,01	6,53	30	23	30	125	30	52	N.A.	N.A.	20	413	254	20
CPV-14-173	3,4	5,8	0,75	4,32	40	19	< 1	157	< 5	43	N.A.	N.A.	20	93	185	13
CPV-14-176	3,6	6,3	0,99	11	40	35	< 1	937	< 5	32	N.A.	N.A.	20	111	169	130
CPV-14-180A	3,5	7,8	1,42	12,7	40	34	< 1	329	< 5	24	N.A.	N.A.	< 5	179	138	116
CPV-14-184	2,8	2,9	0,39	3,21	80	23	< 1	371	30	66	N.A.	N.A.	< 5	234	142	33
CPV-14-187	2,6	2,7	0,37	3,14	50	25	< 1	171	< 5	53	N.A.	N.A.	< 5	331	128	55
CPV-14-190	2,9	3	0,37	3,24	60	17	< 1	246	20	79	N.A.	N.A.	< 5	238	134	36
CPV-14-191	5	8,5	1,04	15,3	60	29	< 1	498	< 5	48	N.A.	N.A.	20	122	231	166
CPV-14-194	2,8	2,1	0,39	3,29	50	29	< 1	101	60	84	N.A.	N.A.	< 5	403	126	56
CPV-14-198	3,4	3,9	0,38	4,36	80	22	30	80	40	85	N.A.	N.A.	10	312	159	86
CPV-14-245	2,3	3,7	0,29	1,38	124	39,8	81	70	127	148	N.A.	N.A.	39,5	261	42,6	2,5
CPV-14-247	3,2	7	0,86	5,98	30,1	19,5	75	163	21	64	N.A.	N.A.	27,9	200	93,8	8
CPV-14-249	7,6	12,5	1,4	17,6	3,5	0,8	33	1000	10	7	N.A.	N.A.	1,9	12	60,6	200
CPV-14-253	2,6	3,9	0,29	1,89	97,4	29	64	152	144	173	N.A.	N.A.	14,5	474	35,4	8,3
CPV-14-256	3,2	7,3	0,55	1,88	196	58	98	181	165	182	N.A.	N.A.	8,6	452	49,5	17,7
CPV-15-330	3,5	6,1	0,68	4,82	14,3	8	139	1440	20	59	N.A.	N.A.	16,5	100	82,8	74,2
CPV-15-332	3,3	5,4	0,62	3,62	7	2,6	215	1900	18	29	N.A.	N.A.	28,7	48	68,1	69,4
CPV-15-337	4,2	9,7	0,73	2,51	14,5	15,1	202	2030	11	94	N.A.	N.A.	9,1	116	73,8	104
CPV-15-353	3,1	5,4	0,54	3,65	17,1	9,2	35	156	25	40	N.A.	N.A.	5	240	77,4	3,3
CPV-15-359	2,6	8,1	0,69	1,19	60,8	39,1	63	160	132	155	N.A.	N.A.	98,9	362	73,6	10,8
CPV-15-365	3,7	8,2	1,54	14,8	2,2	< 1	4	112	6	< 5	N.A.	N.A.	5,8	43	53,9	18,8
CPV-15-386	3,3	8,4	0,65	1,33	117	30,7	78	97	106	174	N.A.	N.A.	34,1	439	73,8	3,1

Tabla II.2 Continución.

Muestra	As	Be	Sb	Sn	U	W	Bi	Cd	Cs	Ga	Ge	In	Mo	Pb	Ag	Tl
CPV-14-159	< 1	1	< 0,2	< 0,1	1,03	0	< 0,1	N.A.	2,4	11	1,2	< 0,1	-1	2,5	0,8	0,21
CPV-14-164	< 1	1	0,3	< 0,1	1,05	0	< 0,1	N.A.	1,7	15	2	< 0,1	-1	2,5	1,3	0,46
CPV-14-166	15	1	0,7	< 0,1	0,93	0	< 0,1	N.A.	0,9	15	1,8	< 0,1	-1	2,5	1,2	0,35
CPV-14-167	< 1	1	< 0,2	1	1,08	0	< 0,1	N.A.	2,7	11	1,9	< 0,1	-1	21	0,9	0,23
CPV-14-169A	< 1	1	< 0,2	2	0,68	0	< 0,1	N.A.	4,2	12	1,1	< 0,1	-1	2,5	1,1	0,07
CPV-14-172	8	< 1	< 0,2	1	1,13	0	< 0,1	N.A.	0,8	13	2	< 0,1	-1	10	1,6	0,05
CPV-14-173	< 1	1	< 0,2	< 0,1	1,1	0	< 0,1	N.A.	1,2	17	1,3	< 0,1	-1	2,5	1,2	< 0,05
CPV-14-176	< 1	2	< 0,2	2	1,97	0	< 0,1	N.A.	2,8	16	1,5	< 0,1	-1	7	1	0,52
CPV-14-180A	< 1	2	< 0,2	3	1,95	0	< 0,1	N.A.	5,6	18	2,1	< 0,1	-1	19	0,8	0,52
CPV-14-184	< 1	2	0,8	< 0,1	0,89	0	< 0,1	N.A.	0,6	18	2,4	< 0,1	-1	6	0,9	0,14
CPV-14-187	< 1	1	0,7	< 0,1	0,72	0	< 0,1	N.A.	8,1	15	2,1	< 0,1	-1	2,5	0,8	0,23
CPV-14-190	< 1	1	< 0,2	< 0,1	0,92	0	< 0,1	N.A.	2,4	17	1,7	< 0,1	-1	2,5	0,9	0,21
CPV-14-191	< 1	2	< 0,2	4	2,29	0	0,1	N.A.	3,6	19	2,1	< 0,1	-1	22	1,4	0,73
CPV-14-194	< 1	1	< 0,2	< 0,1	0,85	0	< 0,1	N.A.	11,6	15	1,3	< 0,1	-1	7	1	0,33
CPV-14-198	< 1	1	< 0,2	< 0,1	0,93	0	< 0,1	N.A.	14,8	19	1,3	< 0,1	-1	7	1	0,32
CPV-14-245	6	< 1	2	0,2	0,26	1,1	< 0,1	< 0,1	12,7	17	1,6	< 0,1	1	5	0,1	< 0,05
CPV-14-247	9	1	< 0,2	1,1	1,47	1,3	< 0,1	< 0,1	1,2	15	1,2	< 0,1	0,5	7,1	-0,05	< 0,05
CPV-14-249	6	2	2,1	4,5	2,43	5	< 0,1	< 0,1	13,8	21	1,7	0,1	0,4	1,3	-0,05	1,27
CPV-14-253	3	2	0,9	0,3	0,63	3,6	< 0,1	< 0,1	2,3	17	2,1	< 0,1	0,1	3,2	-0,05	< 0,05
CPV-14-256	7	1	1,5	0,3	0,58	6,8	< 0,1	< 0,1	1,6	20	1,4	< 0,1	-0,05	4,7	-0,05	< 0,05
CPV-15-330	5	1	1,9	0,8	1,29	2,5	0,1	< 0,1	3,3	15	1,4	< 0,1	0,2	69,9	0,3	0,32
CPV-15-332	3	< 1	1	1,7	1,1	2,1	0,1	1,1	1,7	8	1,2	< 0,1	0,4	27	0,4	0,86
CPV-15-337	5	2	2,3	0,8	1,29	3,7	0,1	< 0,1	4	14	1,8	< 0,1	0,1	13,2	0,2	0,59
CPV-15-353	4	1	0,9	1,2	1,17	3,8	0,1	< 0,1	1,6	11	1,3	< 0,1	0,4	3,6	0,1	0,13
CPV-15-359	1	< 1	0,9	0,7	1,43	6,6	< 0,1	< 0,1	3,4	17	1,6	< 0,1	0,1	3,7	0,1	< 0,05
CPV-15-365	21	1	1,5	2,5	1,62	3,4	0,3	< 0,1	0,5	13	1,7	< 0,1	0,2	30	0,2	< 0,05
CPV-15-386	1	1	1	1	0,26	1,8	< 0,1	< 0,1	3,6	17	1,6	< 0,1	0,1	4,2	0,1	< 0,05

3 Resultado análisis isotópico.

Tabla II.3 Resultados de los análisis isotópicos para Sr, Nd y Pb.

Muestra	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{\text{(actual)}}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{\text{(actual)}}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{\text{(actual)}}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{\text{(actual)}}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{\text{(actual)}}$
CPV-14-159	0,709092	0,51251801	19,4421	15,6316	39,4333
CPV-14-164	0,719885	0,51259999	19,28	15,59	39,1
CPV-14-166	0,715165	0,51260203	18,88	15,61	38,83
CPV-14-167	0,70874	0,51241928	18,58	15,59	38,45
CPV-14-169A	0,707444	0,51237674	18,79	15,58	38,46
CPV-14-172	0,70751	0,51254816	18,66	15,57	38,94
CPV-14-173	0,708571	0,51236944	18,99	15,61	39,01
CPV-14-176	0,716532	0,51234134	19,32	15,65	39,4
CPV-14-180A	0,713675	0,51229682	18,8748	15,6032	38,8339
CPV-14-184	0,706198	0,512693	18,61	15,55	38,4
CPV-14-187	0,706049	0,51267467	18,84	15,57	38,92
CPV-14-190	0,705932	0,5126827	18,7992	15,6465	38,8261
CPV-14-191	0,724988	0,512291	18,7807	15,6072	38,854
CPV-14-194	0,706659	0,51264685	18,5691	15,5723	38,4754
CPV-14-198	0,707456	0,51255715	18,4265	15,5864	38,4503
CPV-14-245	0,705226	0,512677	18,5002	15,5536	38,3042
CPV-14-247	0,70771	0,512512	18,9	15,6	38,82
CPV-14-249	0,876917	0,512322	21,65	15,76	45,6
CPV-14-253	0,707463	0,512676	failed	failed	failed
CPV-14-256	0,706121	0,512739	18,6246	15,5685	38,4569

3.1 Sistema isotópico Rb-Sr

Para obtener las razones $(^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})_{\text{actual}}$ y $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{inicial}}$ se utilizan las siguientes expresiones:

$$\left(\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}}\right)_{\text{actual}} = \left[\frac{\text{Rb}}{\text{Sr}}\right]_{\text{ppm}} \times \frac{\text{Ab.}^{87}\text{Rb} \times \text{P.A. Sr}}{\text{Ab.}^{86}\text{Sr} \times \text{P.A. Rb}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$\left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}\right)_{\text{actual}} = \left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}\right)_{\text{inicial}} + \left(\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}}\right)_{\text{actual}} \times (e^{\lambda t} - 1) \quad (\text{Ecuación 2})$$

Primero se calcula la razón $(^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})$ (ecuación 1), donde $[\text{Rb}/\text{Sr}]_{\text{ppm}}$ se obtuvo utilizando la concentración de los elementos involucrados, obtenidos en el análisis químico de elementos traza (Tabla II.2); la abundancia del ^{87}Rb y el peso atómico del Rb corresponden a 0,278346 y 85,46776 uma, respectivamente; y la abundancia del ^{86}Sr y el peso atómico del Sr se calculan para cada muestra, considerando que las razones atómicas son $^{84}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0,00675$ y $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0,11940$ y que los pesos atómicos de cada isótopo son: $^{84}\text{Sr} = 83,913425$ uma, $^{86}\text{Sr} = 85,909262$ uma; $^{87}\text{Sr} = 86,908879$ uma y $^{88}\text{Sr} = 87,905614$ uma.

Después de obtener la razón actual de $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Rb}$, se procede al cálculo de la razón inicial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (ecuación 2). Donde lambda (λ) corresponde a la constante de decaimiento radioactivo y es igual a $1,42 \times 10^{-11}$ años⁻¹ y t es la edad de la muestra en años. Los resultados de los cálculos se muestran en la tabla II.4.

Tabla II.4 Resultados de los cálculos del sistema Rb - Sr.

Muestra	Abundancia ⁸⁶ Sr	Peso Sr	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr (actual)	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr (inicial)
CPV-14-194	1,415109692	87,6169696	0,401997487	0,705515704
CPV-14-198	1,41351547	87,6169139	0,797476838	0,705187947
CPV-14-159	1,410254241	87,6167997	1,506744767	0,704667288
CPV-14-164	1,389110761	87,6160471	5,440124522	0,703909512
CPV-14-166	1,398278719	87,616376	3,734586701	0,704198
CPV-14-167	1,410954652	87,6168243	1,233310088	0,705118257
CPV-14-169A	1,413539446	87,6169148	0,465567327	0,706076813
CPV-14-172	1,413407584	87,6169102	0,140105911	0,707098565
CPV-14-173	1,411291176	87,6168361	0,404465977	0,707383244
CPV-14-187	1,416332294	87,6170122	0,480672342	0,704612811
CPV-14-184	1,416033464	87,6170018	0,407961191	0,704968023
CPV-14-190	1,416567035	87,6170204	0,437557376	0,704612793
CPV-14-245	1,417985157	87,6170697	0,027706328	0,705142467
CPV-14-247	1,413008153	87,6168962	0,115729747	0,707361082
CPV-14-253	1,413501483	87,6169134	0,05066106	0,70731026
CPV-14-256	1,416187877	87,6170072	0,113279762	0,705779469
CPV-14-191	1,379333175	87,6156918	3,943362697	0,710542701
CPV-14-180A	1,401198024	87,6164799	1,876045322	0,706116744
CPV-14-249	1,14035878	87,6052747	49,01893192	0,673242935
CPV-14-176	1,395611082	87,6162807	3,391407968	0,702290759

3.2 Sistema isotópico Sm – Nd

El cálculo de las razones (¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd)_{Actual} y (¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd)_{Inicial} se efectúa de una forma similar al del sistema Rb – Sr, de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$\left(\frac{{}^{147}\text{Sm}}{{}^{144}\text{Nd}}\right)_{\text{actual}} = \left[\frac{\text{Sm}}{\text{Nd}}\right]_{\text{ppm}} \times \frac{\text{Ab.}^{147}\text{Sm} \times \text{P.A.Nd}}{\text{Ab.}^{144}\text{Nd} \times \text{P.A.Sm}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$\left(\frac{{}^{143}\text{Nd}}{{}^{144}\text{Nd}}\right)_{\text{actual}} = \left(\frac{{}^{143}\text{Nd}}{{}^{144}\text{Nd}}\right)_{\text{inicial}} + \left(\frac{{}^{147}\text{Sm}}{{}^{144}\text{Nd}}\right)_{\text{actual}} \times (e^{\lambda t} - 1) \quad (\text{Ecuación 4})$$

Para la ecuación 3, se determina la razón [Sm/Nd]_{ppm} con las concentraciones de estos elementos, entregada por el análisis químico de elementos traza (Tabla II.2). La abundancia del ¹⁴⁷Sm y el peso del Sm corresponden a 0,15 y 150,36024 uma, respectivamente; la abundancia del ¹⁴⁴Nd y el peso del Nd se calculan para cada muestra, tomando en

consideración que las razones atómicas son $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 1,141827$, $^{145}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,348417$, $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,7219$, $^{148}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,241578$ y $^{150}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,236418$ y que los pesos atómicos son: $^{142}\text{Nd} = 143,9120$, $^{143}\text{Nd} = 146,9149$, $^{144}\text{Nd} = 147,9148$, $^{145}\text{Nd} = 148,9172$, $^{146}\text{Nd} = 149,9173$, $^{148}\text{Nd} = 151,9197$ y $^{150}\text{Nd} = 153,9222$.

En la ecuación 4, lambda (λ) corresponde a la constante de decaimiento radioactivo y es igual a $6,54 \times 10^{-12}$ años $^{-1}$ y t es la edad de la muestra en años. Los resultados de estos cálculos, se resumen en la tabla II.5.

Tabla II.5 Resultados de los cálculos del sistema Sm - Nd.

Muestra	Abundancia ^{144}Nd	P.A. Nd	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ (actual)	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ (inicial)
CPV-14-194	0,23793736	144,239661	0,134878952	0,512470313
CPV-14-198	0,23794244	144,23969	0,133823858	0,512381994
CPV-14-159	0,23794465	144,239702	0,119057755	0,512357113
CPV-14-164	0,23794001	144,239676	0,124394673	0,51243188
CPV-14-166	0,2379399	144,239676	0,132490982	0,512422979
CPV-14-167	0,23795024	144,239734	0,125058512	0,512250273
CPV-14-169A	0,23795265	144,239747	0,112248246	0,512225045
CPV-14-172	0,23794295	144,239693	0,122403126	0,512382742
CPV-14-173	0,23795306	144,239749	0,100091027	0,512234175
CPV-14-187	0,23793578	144,239653	0,130071426	0,512495822
CPV-14-184	0,23793475	144,239647	0,133138068	0,512508279
CPV-14-190	0,23793533	144,23965	0,14061929	0,512487599
CPV-14-245	0,23793565	144,239652	0,162680566	0,51245129
CPV-14-247	0,23794499	144,239704	0,136956971	0,51232198
CPV-14-253	0,23793571	144,239652	0,163548227	0,512449086
CPV-14-256	0,23793214	144,239632	0,15650137	0,512521863
CPV-14-191	0,23795751	144,239774	0,131222823	0,512069828
CPV-14-180A	0,23795718	144,239772	0,133983938	0,512048479
CPV-14-249	0,23795575	144,239764	0,132040176	0,512069605
CPV-14-176	0,23795466	144,239758	0,118763378	0,512111911

Además se determina el ϵNd actual, empleando la siguiente expresión donde la razón $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{\text{CHUR}}$ es igual a 0,512638:

$$\epsilon\text{Nd} = \frac{\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right) - \left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{\text{CHUR}}}{\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{\text{CHUR}}} \times 10^4 \quad (\text{Ecuación 5})$$

También se calculó el ϵNd inicial utilizando la fórmula anterior (5), pero se reemplaza la razón $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{\text{actual}}$ por la razón $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{\text{inicial}}$ determinada anteriormente y además se debe calcular la razón $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{\text{CHUR}}$ correspondiente a la edad de la muestra (Ecuación 6).

$$\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{\text{CHUR}_{\text{inicial}}} = \left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{\text{CHUR}_{\text{actual}}} - \left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{\text{CHUR}_{\text{actual}}} \times (e^{\lambda t} - 1) \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde las razones actuales de $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{\text{CHUR}}$ y $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}_{\text{CHUR}}$ son 0,512638 y 0,1967, respectivamente. Los resultados obtenidos para el ϵNd inicial y actual se muestran en la tabla II.6.

Tabla II.6 Resultados calculo ϵNd

Muestra	ϵNd (actual)	ϵNd (inicial)
CPV-14-194	0,172636441	1,75191736
CPV-14-198	-1,577136303	0,028217375
CPV-14-159	-2,340638033	-0,293976434
CPV-14-164	-0,741458885	1,165266912
CPV-14-166	-0,701664722	0,991535135
CPV-14-167	-4,266558468	-2,379170805
CPV-14-169A	-5,096383803	-2,871545701
CPV-14-172	-1,752503716	0,206226184
CPV-14-173	-5,238784483	-2,693363949
CPV-14-187	0,715319582	2,503753184
CPV-14-184	1,072881839	2,79465701
CPV-14-190	0,871960331	2,391043283
CPV-14-245	0,760770758	1,682393664
CPV-14-247	-2,457874758	-0,841392917
CPV-14-253	0,741263816	1,639380794
CPV-14-256	1,970201195	3,059795723
CPV-14-191	-6,768909055	-4,619115207
CPV-14-180A	-6,655378649	-4,390911745
CPV-14-249	-6,164193837	-3,755938291
CPV-14-176	-5,786929568	-2,852091376

5.3 Sistema isotópico U-Pb-Th

Para hacer el cálculo de las razones iniciales, se determinan las razones $[U/Pb]_{ppm}$ y $[Th/Pb]_{ppm}$. Para efectuarlo, se consideran las concentraciones de dichos elementos entregadas por el análisis químico para elementos traza (Tabla II.2). Sin embargo, cabe destacar que la muestra CPV-14-253 presenta un fallo en la determinación de la razón $^{206}Pb/^{204}Pb$ (actual), por lo que se excluye para los cálculos de las razones actuales de $^{238}U/^{204}Pb$, $^{235}U/^{204}Pb$ y $^{232}Th/^{204}Pb$ y las razones iniciales $^{206}Pb/^{204}Pb$, $^{207}Pb/^{204}Pb$ y $^{208}Pb/^{204}Pb$, de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$\left(\frac{^{238}U}{^{204}Pb}\right)_{actual} = \left[\frac{U}{Pb}\right]_{ppm} \times \frac{Ab.^{238}U \times P.A.Pb}{Ab.^{204}Pb \times P.A.U} \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$\left(\frac{^{235}U}{^{204}Pb}\right)_{actual} = \left[\frac{U}{Pb}\right]_{ppm} \times \frac{Ab.^{235}U \times P.A.Pb}{Ab.^{204}Pb \times P.A.U} \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$\left(\frac{^{232}Th}{^{204}Pb}\right)_{actual} = \left[\frac{Th}{Pb}\right]_{ppm} \times \frac{Ab.^{232}Th \times P.A.Pb}{Ab.^{204}Pb \times P.A.Th} \quad (\text{Ecuación 9})$$

La abundancia del ^{238}U es 0,992745, la del ^{235}U es 0,0072 y la del ^{232}Th es 1; los pesos atómicos del U y Th son 238,02891 y 232,03806 uma. Por otro lado, la abundancia del ^{204}Pb y el peso del Pb se determinan para cada muestra aplicando las ecuaciones:

$$\left(\frac{^{206}Pb}{^{204}Pb}\right)_{actual} = \left(\frac{^{206}Pb}{^{204}Pb}\right)_{inicial} + \left(\frac{^{238}U}{^{204}Pb}\right)_{actual} \times (e^{\lambda_1 t} - 1) \quad (\text{Ecuación 10})$$

$$\left(\frac{^{207}Pb}{^{204}Pb}\right)_{actual} = \left(\frac{^{207}Pb}{^{204}Pb}\right)_{inicial} + \left(\frac{^{235}U}{^{204}Pb}\right)_{actual} \times (e^{\lambda_2 t} - 1) \quad (\text{Ecuación 11})$$

$$\left(\frac{^{208}Pb}{^{204}Pb}\right)_{actual} = \left(\frac{^{208}Pb}{^{204}Pb}\right)_{inicial} + \left(\frac{^{232}Th}{^{204}Pb}\right)_{actual} \times (e^{\lambda_3 t} - 1) \quad (\text{Ecuación 12})$$

En las ecuaciones 10, 11 y 12, se encuentran λ_1 , λ_2 y λ_3 cuyos valores corresponden a $1,55125 \times 10^{-10}$, $9,85 \times 10^{-10}$ y $4,95 \times 10^{-11}$ años, respectivamente; y t es la edad de cada muestra en años.

Tabla II.7 Resultados de los cálculos del sistema U-Th-Pb.

Muestra	Ab. ^{204}Pb	P.A. Pb	$^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ (actual)	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (inicial)	$^{235}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ (actual)	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (inicial)	$^{232}\text{Th}/^{204}\text{Pb}$ (actual)	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (inicial)
CPV-14-194	0,0136	207,2055	7,7252	18,3257	0,0560	15,5603033	30,8971265	38,16815535
CPV-14-198	0,0136	207,2077	8,4331	18,1608	0,0612	15,5591856	40,8528806	38,04405416
CPV-14-159	0,0133	207,2011	26,8624	18,5677	0,1948	15,5285631	103,214022	38,37339985
CPV-14-164	0,0133	207,2003	27,2041	18,3945	0,1973	15,5280042	92,3626366	38,15153224
CPV-14-166	0,0135	207,2041	23,8801	18,1027	0,1732	15,5334412	91,2733474	37,8927181
CPV-14-167	0,0136	207,2051	3,2712	18,4735	0,0237	15,5671504	15,5237316	38,2905875
CPV-14-169A	0,0135	207,2017	17,3524	18,2251	0,1259	15,5441183	120,767	37,21984911
CPV-14-172	0,0135	207,2088	7,2433	18,4242	0,0525	15,5606533	43,2518987	38,4958482
CPV-14-173	0,0134	207,2041	28,3555	18,0670	0,2057	15,5261208	115,069859	37,82835279
CPV-14-187	0,0135	207,2057	18,5004	18,2271	0,1342	15,5416565	83,3701839	38,04887245
CPV-14-184	0,0136	207,2041	9,4323	18,2946	0,0684	15,5566175	35,153401	38,02934608
CPV-14-190	0,0135	207,2054	23,5965	18,0103	0,1711	15,5327658	85,8692727	37,92070304
CPV-14-245	0,0136	207,2049	3,2974	18,3900	0,0239	15,5669484	18,0846127	38,11351767
CPV-14-247	0,0135	207,2036	13,2926	18,4556	0,0964	15,5501171	55,8760799	38,23084824
CPV-14-256	0,0136	207,2044	7,8548	18,3620	0,0570	15,559274	26,3085005	38,17950582
CPV-14-191	0,0135	207,2060	6,6753	18,5087	0,0484	15,5585263	46,0848099	38,26313238
CPV-14-180A	0,0135	207,2042	6,5882	18,5790	0,0478	15,5571333	44,3372068	38,20841596
CPV-14-249	0,0119	207,2258	135,4177	15,3750	0,9821	15,2452621	1013,47858	30,8523078
CPV-14-176	0,0133	207,2027	18,3115	18,4623	0,1328	15,5277096	105,653185	37,84614021