



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

ESTUDIO PETROLÓGICO Y GEOQUÍMICO DEL VOLCÁN HUILILCO, IX REGIÓN, CHILE

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO
DE GEÓLOGO

PEDRO ANTONIO VALDIVIA MUÑOZ

PROFESORA GUÍA:

LUCY EMMA MCGEE

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

DIEGO ANTONIO MORATA CÉSPEDES

MIGUEL ÁNGEL PARADA REYES

SANTIAGO DE CHILE

2016

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA
OPTAR AL TÍTULO DE: Geólogo
POR: Pedro Antonio Valdivia Muñoz
FECHA: 07 de Junio del 2016
Profesor Guía: Lucy McGee.**

ESTUDIO PETROLÓGICO Y GEOQUÍMICO DEL VOLCÁN HUILILCO, IX REGIÓN, CHILE

El Volcán Huililco (39°25'S y 71°36'W) es un cono pequeño, de área basal ~3km² y un volumen estimado <1 km³, ubicado aproximadamente a 25 km hacia el sur del complejo monogenético Caburgua-Huelemolle, y aproximadamente a 10 km al noreste del estratovolcán Quetrupillán, IX región de la Araucanía, Chile.

Posee una composición andesita basáltica, de carácter calcoalcalino, asociadas a un margen tectónico de arco continental.

Pese a ser clasificado como un cono monogenético, el volcán Huililco presenta evidencias de evolución magmática, principalmente causada por contaminación cortical (interacción con granitos terciarios circundantes) y variaciones composicionales (texturas de disequilibrio y zonaciones), por lo que es posible deducir que existen pequeños reservorios magmáticos, con breves tiempos de residencia, donde los fenocristales se reequilibran constantemente.

La morfología, mineralogía y geoquímica observada permiten clasificar al volcán Huililco como un cono monogenético, de IEV 1 a 2, asociado a una erupción de estilo estromboliana, con depósitos de tefra, bombas y lavas.

Finalmente cabe destacar que el volcán Huililco es clasificado como un cono monogenético que ha sufrido constantes episodios de contaminación cortical, por ende, es importante acotar la definición de “monogenético” solo a contextos volcanológicos y temporales (formado por un evento eruptivo), sin asociarlo a composiciones químicas primitivas o a procesos de emplazamiento “simples”.

“Si he visto más lejos es porque estoy sentado sobre los hombros de gigantes”

Isaac Newton, 1676

AGRADECIMIENTOS

Agradezco enormemente, y en primera instancia, a mi profesora guía, Lucy E. Mcgee, por darme la confianza y la oportunidad de desarrollar apasionadamente este tema enmarcado y financiado por el proyecto FONDECYT de iniciación de Investigación #11130296 , que está apoyada en CEGA por el proyecto FONDAP #15090013. Muchísimas gracias por la confianza, los consejos y el incondicional apoyo que sentí durante todo el proceso.

A los miembros de la comisión, el profesor Miguel Ángel Parada y el profesor Diego Morata, que indudablemente fueron dos grandes docentes que marcaron mi estadía durante la carrera y que lograron prender el fuego por mi amor a la petrología y a la Tierra.

Al profesor Ángelo Castruccio que me impulsó y confió en mis capacidades desde el primer día y que me enseñó indirectamente a ser un buen docente.

A mi compañero y amigo Eduardo Morgado, que creyó ciegamente en mí y siempre fue el primero en brindar una ayuda incondicional y desinteresada.

A todos mis compañeros de especialidad con los que compartí los terrenos, informes, las pruebas, los carretes y los sin números de hermosos recuerdos que tendré tatuados en mi corazón.

A todos los profesores del Departamento de Geología, que fueron parte de mi formación académica y humana.

Mención honrosa a mi familia que siempre ha estado a mi lado. A mis padres, Pedro Valdivia y Gloria Muñoz, por su amor incondicional, constante apoyo y buena fe. A mi hermano menor y amigo Felipe Valdivia Muñoz, por absolutamente TODO. A mis hermanas Marjorie Valdivia y Fanny Valdivia, que siempre han apostado por mí han estado cuando las necesito.

A Constanza Valdivia, que estuvo conmigo en gran parte de este proceso, por su apoyo y comprensión.

A mis amigos de Maipú, Mauricio Pizarro, Carlos Arenas y Cristóbal Sepúlveda que han estado a mi lado desde el colegio.

A Blanca Baccola, secretaria de nuestro departamento de geología, que siempre te saluda con una sonrisa e infinita amabilidad para solucionar y ayudar en lo que sea necesario.

Tabla de Contenido

Capítulo 1: Introducción	1
1.1 Formulación del estudio.....	1
1.2 Hipótesis de trabajo	3
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivos generales	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.3 Ubicación y rutas de acceso	4
1.4 Metodología.....	6
1.4.1 Metodologías en función de los objetivos específicos	6
Capítulo 2: Marco Geológico y Tectónico Regional.....	8
2.1 Generalidades	8
2.2 Marco Geológico	8
2.2.1 Geología Volcán Villarrica	8
2.2.2 Geología Volcán Quetrupillán	11
2.2.3 Geología Volcán Lanín.....	12
2.2.4 Geología centros eruptivos menores.....	13
2.3 Marco Tectónico.....	14
2.3.1 Generalidades	14
2.3.2 El Sistema de Falla de Liquiñe-Ofqui (SFLO).....	15
Capítulo 3: Morfología y Volcanología Volcán Huililco	17
3.1 Morfología	17
3.2 Materiales volcánicos del volcán Huililco	19
Capítulo 4: Petrografía y Petrología	23
4.1 Generalidades	23
4.2 Mineralogía	25
4.3 Análisis Textural	35
Capítulo 5: Geoquímica	36
5.1 Geoquímica roca total	36
5.1.1 Análisis de Errores.....	36
5.1.2 Generalidades	38
5.1.3 Elementos mayores	42

5.1.4 Elementos trazas	45
5.1.5 Diagramas Spider y Tierras raras	51
5.2 Geoquímica mineral	54
5.2.1 Generalidades	54
5.2.2 Olivinos	54
5.2.3 Plagioclasas.....	58
5.2.4 Piroxenos.....	63
5.2.5 Espinelas	68
Capítulo 6: Termometría	69
6.1 Generalidades.....	69
6.1.1 Termómetro de Coogan et al. 2014	69
6.1.2 Termómetro de Loucks 1996	75
6.2 Resultados	77
Capítulo 7: Discusiones	79
7.1 Morfología y depósitos volcánicos	79
7.2 Petrología.....	80
7.3 Geoquímica.....	82
7.3 Termometría.....	89
Capítulo 8: Conclusiones	90
Bibliografía.....	91
Anexos	94

Índice de Figuras

Figura 1: Ubicación volcán Huililco (Modificado de Wehrmann & Dzierma, 2010).....	2
Figura 2: Ubicación Volcán Huililco (Mapa satelital Google Earth).....	5
Figura 3: Mapa geológico de la cadena Villarrica-Lanín y otros centros eruptivos de la región (Mapa modificado de Hickey-Vargas et al. 1989).....	9
Figura 4: Volcán Villarrica (fotografía capturada desde la ciudad de Pucón).....	10
Figura 5: Volcán Quetrupillán, vista desde el sureste (Fotografía: Luis E. Lara, PRV.....	11
Figura 6: Volcán Lanín. (Fotografía cortesía de Adrián Álvarez).....	12
Figura 7: Ubicación del complejo CHSEC y la traza del Sistema de Falla de Liquiñe-Ofqui (LOFZ). Volcán Huililco representado triángulo azul (Imagen modificada de Morgado et al., 2015).....	14
Figura 8: Marco tectónico de los Andes del Sur (Rosenau et al., 2006). ZFLO=Zona de Falla Liquiñe-Ofqui (Actualmente Sistema de Falla Liquiñe-Ofqui); ZVS=Zona Volcánica del Sur.....	16
Figura 9: Fotografía reconstruida del Flanco Norte del Volcán Huililco.....	17
Figura 10: Fotografía Flanco Sur Volcán Huililco.....	17
Figura 11: Relieve y perfiles del volcán Huililco (N-S y E-W). Imagen Satelital Google Earth.....	18
Figura 12: Perfil N-S del Volcán Huililco (perfil de elevación topográfica, Google Earth).....	18
Figura 13: Perfil E-W del Volcán Huililco (perfil de elevación topográfica, Google Earth).....	18
Figura 14: Flujos de lava del volcán Huililco (modificable).....	19
Figura 15: Distribución de las muestras del volcán Huililco.....	20
Figura 16: secuencia de depósitos de caída tamaño lapilli. Muestras PVM-15a y PVM-15b.....	21
Figura 17: Capa de bombas. Muestra PVM-04.....	22

Figura 18: Foto microscópica de una muestra de lava del volcán Huililco.....	24
Figura 19: Microfotografía SEM de un olivino de la muestra PVM-04. Se observa una zonación composicional normal, inclusiones de espinelas e inclusiones fundidas. Se observan las variaciones composicionales entre núcleo y borde.....	26
Figura 20: Microfotografía SEM de un olivino de la muestra PVM-14. Se observa una zonación composicional inversa-normal, inclusiones de espinelas (Sp) e inclusiones fundidas. Se observan las variaciones composicionales entre núcleo y borde.....	27
Figura 21: Microfotografía SEM de una plagioclasa de la muestra PVM-13. Se observa una zonación composicional normal y una textura sieve intensa en su núcleo.....	29
Figura 22: Microfotografía SEM de una plagioclasa de la muestra PVM-13. Se observa una zonación composicional normal y una textura sieve moderada en su núcleo.....	30
Figura 23: Microfotografía SEM de una cúmulo de la muestra PVM-14. Se observa una asociación mineral de plagioclasa, olivino y clinopiroxeno, junto una zonación composicional inversa/normal en la plagioclasa central, sellada por completo por olivinos y clinopiroxenos.....	31
Figura 24: Microfotografía SEM de una plagioclasa de la muestra PVM-17. Se observa una asociación mineral de plagioclasa, olivino y clinopiroxeno, junto una zonación composicional normal/inversa/normal en plagioclasas, con ausencia de textura sieve.....	32
Figura 25: Microfotografía SEM de una plagioclasa de la muestra PVM-13. Se observa una asociación mineral de plagioclasa, olivino y clinopiroxeno, junto una zonación composicional en el clinopiroxeno, con una marcada macla composicional (CPX II y CPX III).....	34
Figura 26: Diagrama de clasificación TAS. Figura superior representa a las muestras más representativas del volcán Huililco y la inferior la comparación con otros centros eruptivos de la región.....	39
Figura 27: Diagrama de clasificación SiO ₂ vs K ₂ O. Figura superior representa a las muestras más representativas del volcán Huililco y la inferior la comparación con otros centros eruptivos de la región. Se observa una tendencia calco-alcalina dominante.....	40
Figura 28: Diagrama geotectónico de las muestras representativas del volcán Huililco. Los puntos perteneces a un margen continental activo, no obstante, se encuentran próximas al límite de zonas volcánicas no asociadas a márgenes de placas.....	41
Figura 29: contenido de TiO ₂ (%wt.) vs MgO (%wt.). Se observan dos líneas de tendencia de los distintos materiales volcánicos.....	42

Figura 30: contenido de $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$ (%wt.) vs MgO (%wt.). Se observan dos líneas de tendencia de los distintos materiales volcánicos.....	43
Figura 31: contenido de CaO (%wt.) vs MgO (%wt.). Se observan dos líneas de tendencia de los distintos materiales volcánicos.....	43
Figura 32: contenido de Na_2O (%wt.) vs MgO (%wt.). Se observan dos líneas de tendencia de los distintos materiales volcánicos.	44
Figura 33: contenido de K_2O (%wt.) vs MgO (%wt.). Se observan dos líneas de tendencia de los distintos materiales volcánicos.	44
Figura 34: contenido de P_2O_5 (%wt.) vs MgO (%wt.). Se observan dos líneas de tendencia de los distintos materiales volcánicos.	45
Figura 35: contenido de Ba (ppm) vs MgO (%wt.). Se observan dos líneas de tendencia de los distintos materiales volcánicos.	46
Figura 36: contenido de Rb (ppm) vs MgO (%wt.). Se observan dos líneas paralelas de tendencia de los distintos materiales volcánicos.	46
Figura 37: contenido de Zr (ppm) vs MgO (%wt.). Se observan dos líneas de tendencia de los distintos materiales volcánicos.....	47
Figura 38: contenido de La (ppm) vs MgO (%wt.). Se observan dos líneas de tendencia de los distintos materiales volcánicos.	47
Figura 39: contenido de Ce (ppm) vs MgO (%wt.). Se observan dos líneas de tendencia de los distintos materiales volcánicos.	48
Figura 40: contenido de Nd (ppm) vs MgO (%wt.). Se observan dos líneas de tendencia de los distintos materiales volcánicos.	48
Figura 41: contenido de Sr (ppm) vs MgO (%wt.). Se observa una línea de tendencia con los distintos materiales volcánicos.	49
Figura 42: contenido de Co (ppm) vs MgO (%wt.). Se observa una línea de tendencia con los distintos materiales volcánicos.	49
Figura 43: contenido de Cr (ppm) vs MgO (%wt.). Se observa una línea de tendencia con los distintos materiales volcánicos.	50
Figura 44: contenido de Ni (ppm) vs MgO (%wt.). Se observa una línea de tendencia con los distintos materiales volcánicos.	50
Figura 45: Diagrama spider de elementos trazas normalizado a manto primitivo. Se observa una que los depósitos de lavas y bombas se encuentran desplazados positivamente con respecto a los depósitos de caída (lapilli).	51

Figura 46: Diagrama de Tierras raras normalizadas a condrito. Diagrama superior muestra los puntos representativos del volcán Huililco. Diagrama inferior la comparación con centros eruptivos de la región.	53
Figura 47: Diagrama binario de Olivinos. Se observan variaciones composicionales principalmente entre bordes y núcleos.....	54
Figura 48: contenido de SiO ₂ (% wt) vs MgO (%wt). Se observa una relación lineal con pendiente positiva.....	55
Figura 49: contenido de Al ₂ O ₃ (% wt) vs MgO (%wt). No se observa relación.....	56
Figura 50: contenido de FeO (% wt) vs MgO (%wt). Se observa una relación inversa con pendiente negativa.....	56
Figura 51: contenido de NiO (% wt) vs MgO (%wt). Se observa una relación lineal con pendiente positiva.....	57
Figura 52: contenido de CaO (% wt) vs MgO (%wt). Se observa un enriquecimiento relativo de CaO en los bordes de olivinos con respecto a los núcleos.....	57
Figura 53: Diagrama Ternario de plagioclasas. Se observa una amplia variación composicional, principalmente asociada a las zonaciones presentes en los cristales. Grupo I (rojo) y Grupo II (verde).....	58
Figura 54: contenido de SiO ₂ (% wt) vs CaO (%wt). Se observa una relación inversa con pendiente negativa.....	60
Figura 55: contenido de Al ₂ O ₃ (% wt) vs CaO (%wt). Se observa una relación directa con pendiente positiva.....	60
Figura 56: contenido de FeO (% wt) vs CaO (%wt). Se observa una leve relación inversa con pendiente negativa.....	61
Figura 57: contenido de MgO (% wt) vs CaO (%wt). Se observa una leve relación inversa con pendiente negativa.....	61
Figura 58: contenido de Na ₂ O (% wt) vs CaO (%wt). SE observa una relación inversa con pendiente negativa.....	62
Figura 59: contenido de K ₂ O (% wt) vs CaO (%wt). Se observa un aumento progresivo de K ₂ O a medida que disminuye el porcentaje de CaO.....	62
Figura 60: Diagrama ternario de piroxenos. Sistema Enstatita (En), Wollastonita (Wo) y Ferrosilita (Fs). Se observan 3 grupos de clinopiroxenos.....	63
Figura 61: contenido de SiO ₂ (% wt) vs MgO (%wt). Se observa una relación directa con pendiente positiva y un desplazamiento horizontal del grupo I de clinopiroxenos....	65

Figura 62: contenido de TiO_2 (% wt) vs MgO (%wt). Se observa una relación inversa con pendiente negativa, levemente exponencial.....	65
Figura 63: contenido de Al_2O_3 (% wt) vs MgO (%wt). Se observa un incremento exponencial con la disminución de MgO y un desplazamiento horizontal en los bordes de clinopiroxenos del grupo I.....	66
Figura 64: contenido de FeO (% wt) vs MgO (%wt). Se observan dos tendencias inversas de pendiente negativas paralelas con un desplazamiento horizontal en el Grupo I de clinopiroxenos.....	66
Figura 65: contenido de CaO (% wt) vs MgO (%wt). Se observa un incremento inicial del Ca con la disminución de MgO entre el Grupo III y II, seguido por un decremento en los bordes.....	67
Figura 66: contenido de Na_2O (% wt) vs MgO (%wt). Se observa un aumento exponencial de Na_2O a medida que disminuye el contenido de MgO	67
Figura 67: contenido de TiO_2 (% wt) vs Al_2O_3 (%wt). Diagrama modificado de Kamenetsky et al. 2001. Se Observa que las espinelas del sistema poseen firmas de OIB (basalto de isla oceánica) y MORB (basalto mid-oceánico de ridge).....	68
Figura 68: Microfotografía PVM-04. Se Observan los pares Sp1-OI9, Sp2-OI9, Sp3-OI10. Se observan los cristales blanquecinos de espinela dentro de un olivino.....	71
Figura 69: Microfotografía PVM-06. Se Observan el par Sp4 (negro) -OI19 (rojo). Se escogió el punto de olivino 19 como el de mayor representatividad.....	72
Figura 70: Microfotografía PVM-14. Se Observa el par Sp4 (celeste) – OI2 (rojo).....	73
Figura 71: Microfotografía de un cúmulo de la muestra PVM-17. Se Observa el par Sp1 (morado) – OI6 (celeste), Sp2 (morado) – OI6 (celeste) y el par OI11 (celeste) - Cpx14 (rojo).....	74
Figura 72: Microfotografía de un cúmulo de la muestra PVM-17. En particular se observan los pares de minerales OI21 (celeste) – CPX29 (rojo) y OI22 (celeste) – CPX30 (rojo).....	76
Figura 73: Curva de la Ecuación 3 (Loucks 1996) con los valores de la Tabla 4. Se observan las temperaturas de equilibrio de los 3 pares de la muestra PVM-17.....	78
Figura 74: Modelo de distribución de depósitos volcánicos. 1 Columna eruptiva; 2 Lapilli; 3 Lluvia de cenizas; 4 Fuente de laca; 5 Bomba volcánica; 6 Colada de lava; 7 Capas de lava y ceniza; 8 Estrato; 9 Dique; 10 Chimenea; 11 Cámara magmática; 12 Lámina.....	79
Figura 75: Diagrama Fe_2O_3T (%wt) vs MgO (%wt). Se observa que los productos del volcán Huililco poseen un menor contenido de Fe_2O_3T con respecto a los otros centros volcánicos.....	83

Figura 76: Diagrama K_2O (%wt) vs MgO (%wt). Se observa una mayor concentración de K_2O para los productos del volcán Huililco. Cualitativamente, la tendencia los productos del volcán Huililco coinciden con la línea de mezcla para el K_2O	84
Figura 77: Diagrama Rb (ppm) vs MgO (%wt). Se observa una mayor concentración de Rb para los productos del volcán Huililco, en comparación a los otros centros eruptivos. Cualitativamente, la tendencia los productos del volcán Huililco coinciden con la línea de mezcla para el Rb.....	85
Figura 78: Diagrama Sr (ppm) vs MgO (%wt). Los productos del volcán Huililco tienen una pendiente similar (negativa) a la del estratovolcán Villarrica, contraria a la tendencia de Caburgua, que se asemeja a la tendencia de la mezcla.....	85
Figura 79: Diagrama K_2O (%wt) vs SiO_2 (%wt). Se observa una mayor concentración de K_2O en las muestras del volcán Huililco en comparación a los otros centros eruptivos y también una tendencia que condice con la cristalización fraccionada de olivino.....	86
Figura 80: Diagrama Na_2O (%wt) vs SiO_2 (%wt). No se observa una tendencia relacionada a cristalización fraccionada.....	87
Figura 81: Diagrama CaO (%wt) vs SiO_2 (%wt). No se observa una tendencia relacionada a cristalización fraccionada.....	87

Índice de Tablas

Tabla I: Errores porcentuales promedio de los análisis geoquímicos en roca total de los elementos mayores.....	36
Tabla II: Errores porcentuales promedio de los análisis geoquímicos en roca total de los elementos menores y trazas.....	37
Tabla III: Pares elegidos para termometría, mediante el método de Coogan et al. 2014. Los puntos de las muestras PVM04, PVM06 y PVM14 corresponden a olivinos aislados, mientras que los puntos de las muestra PVM17 corresponden a olivinos de cúmulos.....	70
Tabla IV: Pares elegidos para termometría, mediante el método de Loucks 1996.....	75
Tabla V: Resultados pares elegidos para termometría, mediante el método de Coogan et al. 2014.....	77

Capítulo 1: Introducción

1.1 Formulación del estudio

El término ‘monogenético’ normalmente se usa para referirse a volcanes que hacen erupción solo una vez (o en un periodo de tiempo muy acotado), cuya actividad eruptiva es relativamente breve y poseen características volcanológicas, petrológicas y geoquímicas bastante simples: generalmente de composición basáltica y de muy bajo volumen eruptivo (Valentine and Gregg, 2008). En particular, estudios detallados de volcanes individuales y de campos monogenéticos han encontrado que, aunque los volcanes son simples en términos volcanológicos, muchos de ellos presentan características más complejas en cuanto a la química y petrología: variaciones composicionales, evidencia de diferenciación magmática, texturas de disequilibrio, entre otros.

El presente estudio está enfocado principalmente en el volcán Huililco, inicialmente clasificado como un volcán “monogenético” (que emitió productos volcánicos durante el Holoceno), caracterizado por ser un pequeño cono volcánico, aislado con respecto a otros centros eruptivos menores, y en cercanía de grandes estratovolcanes como el Volcán Villarrica y el Quetrupillán, ubicados en la IX Región de la Araucanía al sur Chile. (Figura 1)

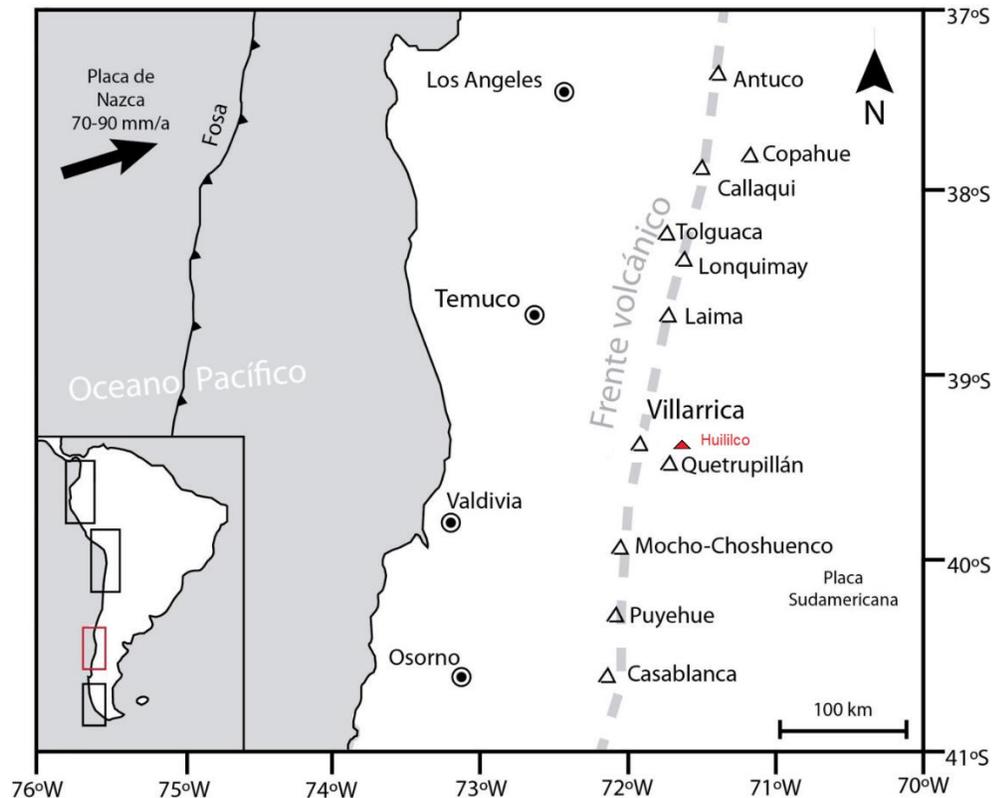


Figura 1: Ubicación volcán Huililco (Modificado de Wehrmann & Dzierma, 2010)

Preliminarmente se observó que las características petrológicas y geoquímicas del volcán Huililco son mucho más complejas que los centros monogenéticos de la región¹, por lo que es necesario comparar y contrastar sus firmas particulares con el fin de poder categorizarlo con mayor precisión y entender los procesos que están involucrados en la evolución y formación de este tipo de volcanes.

Este estudio forma parte de un proyecto financiado por FONDECYT #11130296, titulado: “Investigating the link between volcano size and melting dynamics along the Andean arc: a study of Chilean monogenetic volcanic fields” (Investigación sobre la conexión entre el tamaño y la dinámica de fusión de cuerpos volcánicos a lo largo del arco Andino: un estudio de los campos

¹ Datos preliminares no publicados de Lucy McGee

monogenéticos chilenos), que está apoyado en CEGA por el proyecto FONDAP #15090013, cuyo objetivo principal es el estudio de los procesos que generan volcanes monogenéticos y poligenéticos de estrecha proximidad, siendo información relevante en el análisis de riesgo volcánico.

1.2 Hipótesis de trabajo

Si bien existen semejanzas volcanológicas y morfológicas entre distintos centros monogenéticos de una región, las diferencias composicionales en sus productos indican diferentes procesos en la evolución de éstos, los cuales están evidenciados, principalmente, en las distintas firmas geoquímicas y texturales.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos generales

Identificar los mecanismos asociados a la evolución volcánica, petrológica y geoquímica del volcán Huililco, mediante trabajo en terreno, análisis mineralógico y geoquímico (principalmente de elementos mayores y trazas de la roca total y sus fases minerales) de las muestras representativas de la secuencia eruptiva reciente, y contrastar los resultados con los centros monogenéticos La Barda y Caburgua, y a la vez, con el estratovolcán Villarrica.

1.3.2 Objetivos Específicos

- i) Identificar y caracterizar los rasgos morfológicos y volcanológicos del Volcán Huililco.
- ii) Caracterizar la mineralogía de los materiales volcánicos, identificando las texturas y asociaciones minerales.

iii) Identificar los rasgos geoquímicos particulares del volcán Huililco (en roca total y fases minerales de interés), y contrastarlos con otros centros eruptivos de la región.

iv) Obtener resultados de termometría en las asociaciones minerales que lo permitan.

v) Desarrollar un modelo que permita explicar las diferencias texturales y composicionales en la evolución del volcán Huililco.

1.3 Ubicación y rutas de acceso

El volcán Huililco (39°25'S y 71°36'W) se encuentra en la comuna de Curarrehue, Provincia de Cautín, IX región de la Araucanía, al sur de Chile. La capital comunal se encuentra a 40 km de la frontera con Argentina por el paso Mamuil Mamal. La comunidad es principalmente de origen mapuche y las actividades económicas principales son la industria maderera y ganadera. La ruta principal para acceder al volcán Huililco es a través de la ruta S-947, la cual comienza hacia el sur en la localidad de Catripulli accediendo por la ruta CH-199, la cual inicia en la localidad de Freire y finaliza en el paso fronterizo Mamuil Mamal. El volcán Huililco se encuentra a aproximadamente 25 km sureste del complejo monogenético Caburgua-Huelemolle y a 12 km al noreste del estratovolcán Quetrupillán (Fig. 2).

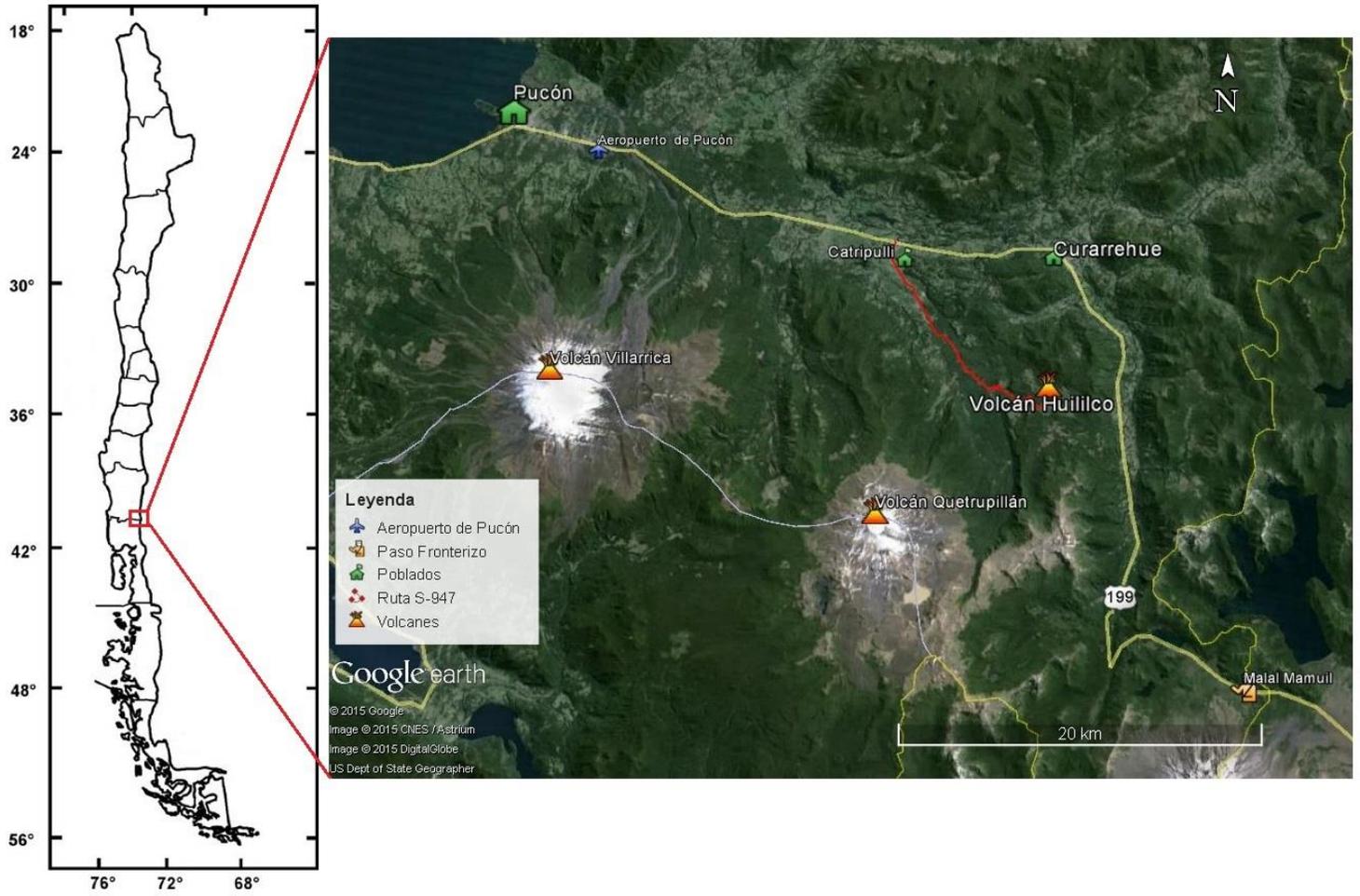


Figura 2: Ubicación Volcán Huillico (Mapa satelital Google Earth)

1.4 Metodología

La realización del presente estudio se desarrolló en tres etapas: un periodo pre-terreno de recopilación bibliográfica y antecedentes afines al tema (volcanismo monogenético y regional), un trabajo en terreno de una semana, donde se recorrió la zona de estudio para la recolección de muestras de depósitos de caída y lavas del volcán Huililco, junto con muestras de otros centros eruptivos cercanos a él, y finalmente, una etapa de gabinete post terreno. En esta última etapa, se prepararon las distintas muestras obtenidas en la campaña de muestreo. Dependiendo el tipo de muestra, se redujeron a tamaño “caluga” (paralelepípedo del porte de la palma de una mano) o polvo fino (molienda), las cuales fueron enviadas a laboratorios especializados para análisis geoquímico (polvos) y fabricación de cortes transparentes (“calugas”).

En particular, los elementos mayores y trazas fueron analizados en Activación Laboratories Ltd., Canadá, donde los óxidos mayores y trazas B, Sc, Sr, V, Y y Zr fueron analizados utilizando fusión de metaborato/tetraborato de Litio, ICP (inductively coupled plasma), mientras que el resto de los elementos trazas fueron analizados por solución de las mismas muestras mediante ICP-MS (espectrometría de masa). Finalmente, los datos de geoquímica mineral se obtuvieron utilizando Microsonda Electrónica LAMARX, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

1.4.1 Metodologías en función de los objetivos específicos

- i) Identificar y caracterizar cuantitativamente los rasgos morfológicos y volcanológicos del Volcán Huililco mediante la observación en terreno y la utilización del software “Google Earth PRO”, determinando perfiles de elevación, alturas y distribución de algunos flujos de lava.
- ii) Caracterización de las fases minerales y las texturas de las muestras del volcán Huililco mediante el uso del microscopio óptico y análisis SEM (Universidad de Chile).
- iii) Confección de diagramas geoquímicos en roca total de los distintos depósitos del volcán Huililco (diagramas de clasificación, de

elementos mayores, menores, trazas y tierras raras). Confección de diagramas geoquímicos de las fases minerales particulares mediante el uso de la microsonda electrónica LAMARX en la Universidad Nacional de Córdoba. Confección de diagramas geoquímicos comparativos entre los depósitos del volcán Huililco y otros centros eruptivos de la región (Caburgua, La Barda y Villarrica).

- iv) Utilizando los datos obtenidos de geoquímica mineral, realizar termometría en las asociaciones minerales que lo permitan, con el fin de identificar las condiciones de temperatura de los distintos pares minerales.

- v) Integrar la información geoquímica y textural con el fin de desarrollar un modelo conceptual que permita explicar la evolución de los depósitos del volcán Huililco.

Capítulo 2: Marco Geológico y Tectónico Regional

2.1 Generalidades

El volcán Huililco es un centro eruptivo ubicado en la Zona Volcánica Sur (ZVS), próximo a estratovolcanes pertenecientes a la cadena Villarrica-Lanín, y a campos de volcanes monogenéticos como Caburgua-Huellemolle y La Barda (Fig. 3), los cuales serán detallados en el apartado 2.2.

Ubicado en una región de alta actividad volcánica, es uno de los volcanes menos estudiados de la zona, ya que su ubicación y morfología no presentan un mayor riesgo para la población humana.

2.2 Marco Geológico

2.2.1 Geología Volcán Villarrica

El volcán Villarrica (Fig. 4) es uno de los volcanes más activos de Sudamérica, el cual registra decenas de erupciones históricas. Se ubica al SE y NE de los lagos de origen glacial Villarrica y Calafquén respectivamente, con Coordenadas: 39,42°S y 71,93°W, y posee una morfología cónica casi perfecta, la cual permite reconocerlo a distancia. A sus pies se ubican poblados con importante afluencia turística y económica, como la ciudad de Pucón, ubicada a solo 15 km de su cima, Lican Ray, ubicado al SW del volcán. Posee un cráter abierto de 200 m de diámetro que contiene un lago de lava cuya profundidad varía de 100 a 150 m, con una fumarola permanente y actividad explosiva débil persistente (Lara, L.E. & Clavero 2004). El volcán está cubierto por un importante glaciar que se extiende por 30,3 km² con un volumen de ~8 km³.

El Volcán Villarrica está alineado con dos Volcanes de la Región, los volcanes Quetrupillán y Lanín, que se encuentran inmersos a lo largo de un lineamiento regional de orientación NW. Existen alrededor de 30 conos adventicios ubicados en sus flancos, agrupados en dos sectores principales: Los Nevados al NE y Chaillupén al SW (Moreno, H. & Clavero 2006).

El volcán Villarrica estaría activo desde hace más de 100 mil años y sus productos volcánicos corresponden principalmente a lavas, tefras y flujos piroclásticos de composición basáltica a andesítica, y lahares (Moreno, H. & Clavero 2006).

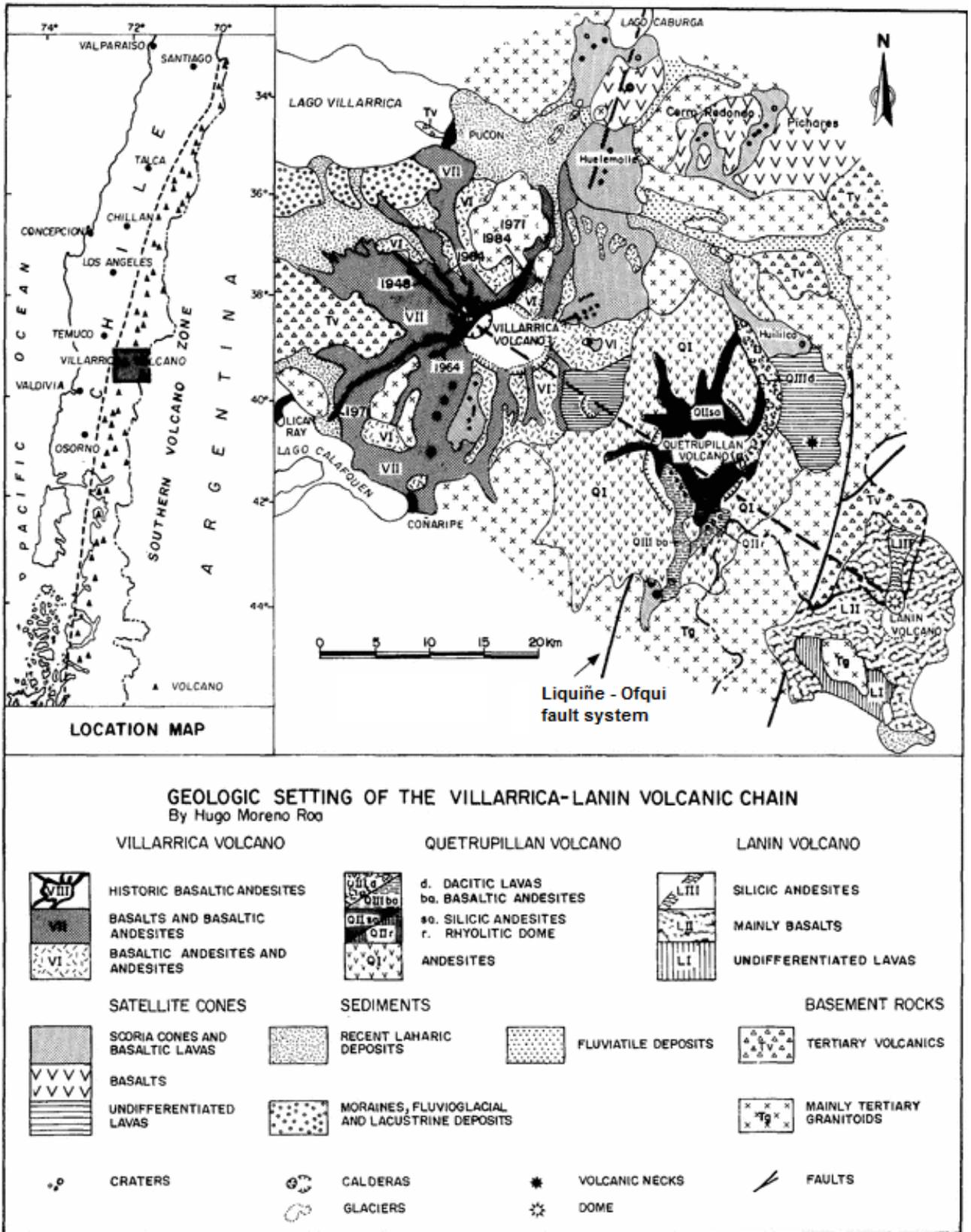


Figura 3: Mapa geológico de la cadena Villarrica-Lanin y otros centros eruptivos de la región (Mapa modificado de Hickey-Vargas et al. 1989)

Su recurrente actividad explosiva postglacial ha producido voluminosos flujos piroclásticos (los más importantes hace 13.900 y 3.900 años, con volúmenes de 10 y 3 km³, respectivamente) y ha causado la formación de 2 calderas (de 6,5 x 4,2 km y de 2,2 km de diámetro). Si bien la probabilidad de ocurrencia de grandes flujos piroclásticos es baja, constituyen uno de los mayores factores de riesgo, ya que el potencial de impacto destructivo de este volcán es alto (Silva, C., 2008).

Según los registros y datos históricos, a partir de 1558, se han producido al menos 49 erupciones (una erupción cada ~10 años) y, considerando aquellas no muy bien documentadas, es probable que ese número alcance las 90. Las erupciones históricas han variado desde efusivas a moderadamente explosivas (IEV=0-3), pero el tipo más recurrente de actividad es la formación de lahares, muy destructivos y que han causado más de 100 fatalidades durante el siglo XX (1908, 1948-49, 1963-64, 1971) (Lara, L.E. & Clavero, J. (Editors), 2004).



Figura 4: Volcán Villarrica (fotografía capturada desde la ciudad de Pucón)

2.2.2 Geología Volcán Quetrupillán

El volcán Quetrupillán (Fig. 5) es un estratovolcán compuesto, que integra la cadena volcánica Villarrica-Lanín de orientación NW-SE, con estos dos últimos centros ubicados en los respectivos extremos. Se ubica entre las regiones de la Araucanía y de los Ríos ($39,5^{\circ}$ S – $71,7^{\circ}$ W), cuyos poblados más cercanos son Currarrehue, Pucón y Paguín. Posee una altura de 2360 m.s.n.m con un diámetro basal de 5 km y un área basal de 17 km^2 (Pavez, A. 1997).

Morfológicamente, el volcán Quetrupillán corresponde a una caldera anidada desarrollada en una extensa secuencia volcánica preglacial. El evento de colapso más reciente sería postglacial, aunque no existen antecedentes detallados de su historia eruptiva (Hickey-Vargas, R.; Moreno, H.; López Escobar, L.; Frey, F. 1989).

Los productos emitidos por el volcán Quetrupillán cubren un amplio rango composicional que va desde basaltos a dacitas. Una importante secuencia piroclástica muestra el carácter explosivo de su estilo eruptivo en los últimos 10 mil años. Asimismo, la erupción de magmas ricos en sílice ha dado lugar a la formación de domos y “*coulées*” en el interior de la caldera mientras algunos conos piroclásticos basálticos se emplazan en su flanco. La última erupción mayor datada es de hace 1650 ± 70 años antes del presente (Pavez, A. 1997).



Figura 5: Volcán Quetrupillán, vista desde el sureste (Fotografía: Luis E. Lara, PRV)

2.2.3 Geología Volcán Lanín

El volcán Lanín (Fig. 6) es un estratovolcán situado en la zona fronteriza de las regiones de la Araucanía y de los Ríos en los Andes del Sur ($39,7^{\circ}\text{S}$ – $71,5^{\circ}\text{W}$), que en conjunto con los volcanes Quetrupillán y Villarrica, forma una cadena volcánica transversal de orientación NW-SE. Los poblados más cercanos son Curarrehue (Chile) y Junín de los Andes (Argentina). Posee una altura de 3747 m.s.n.m., con un diámetro basal de 17 km, un área basal de 220 km^2 y un volumen estimado de 180 km^3 (Lara, L.E.; Naranjo, J.A.; Moreno, H. 2004). La última erupción mayor datada tiene una edad de 2170 ± 70 años antes del presente.

Su actividad eruptiva se inicia en el Pleistoceno Medio hace cerca de 200 mil años. El volcán ancestral fue profundamente erosionado por el hielo y sobre sus ruinas se construyó el edificio actual dando forma a la mayor cumbre de la región. El estilo eruptivo dominante es efusivo, con profusa emisión de lavas basálticas y en menor proporción dacíticas (Lara, L. 2004). Durante el Holoceno, ocurrieron contemporáneamente erupciones en el cráter central y en los centros eruptivos de flanco, algunas de ellas probablemente hace solo algunos siglos (Lara, L. 2004).



Figura 6: Volcán Lanín. (Fotografía cortesía de Adrián Álvarez)

No existe vestigio de grandes erupciones explosivas como las documentadas en los volcanes vecinos. Si bien el volcán Lanín no presenta actividad eruptiva reciente ni documentada históricamente, la juventud de sus emisiones holocenas sugiere considerarlo un volcán activo y potencialmente peligroso. En efecto, la presencia de un glaciar en su cumbre y la empinada pendiente de sus flancos sugieren que el mayor peligro asociado es la ocurrencia de lahares.

2.2.4 Geología centros eruptivos menores

Los centros eruptivos menores de la zona corresponden principalmente a pequeños conos monogenéticos pertenecientes al complejo CHSEC (Caburgua-Huelemolle Small Eruptive Centers, E. Morgado et al., 2015).

El complejo CHSEC está localizado al sur del lago Caburgua (Fig. 7), aproximadamente a 10 km. al norte del Volcán Villarrica. Los centros eruptivos que conforman el CHSEC son: Caburgua (cuatro conos), Huelemolle (tres conos), La Barda (tres conos), Relicura (cinco conos) y Cordillera Cañi (dos conos). Cañi, Redondo y San Jorge corresponden a solo un centro volcánico, formando un solo cono (Fig. 7).

Se reconocen dos direcciones de lineamientos: N-NE, que coincide con la traza del Sistema de falla de Liquiñe-Ofqui (SFLO), y NE, que coincide con los esfuerzos tensionales asociados al Sistema de falla de Liquiñe-Ofqui (Cembrano et al., 1996; Cembrano and Lara, 2009).

Las composiciones de las lavas del CHSEC corresponden a basaltos (49-52% de SiO₂), con baja densidad de fenocristales, entre 3-10% (principalmente plagioclasas, olivinos y clinopiroxenos), a excepción de las lavas de San Jorge, con contenido de fenocristales entre el 13-18% (Morgado et al., 2015).

En general, los centros eruptivos menores de la zona corresponden a erupciones durante el Holoceno, en un periodo postglaciar, debido a la ausencia de evidencias de erosión glaciar. En particular, la edad eruptiva del volcán Huelemolle fue estimada por al menos 9000 años antes del presente según el método de Carbono 14 (Moreno and Clavero, 2006).

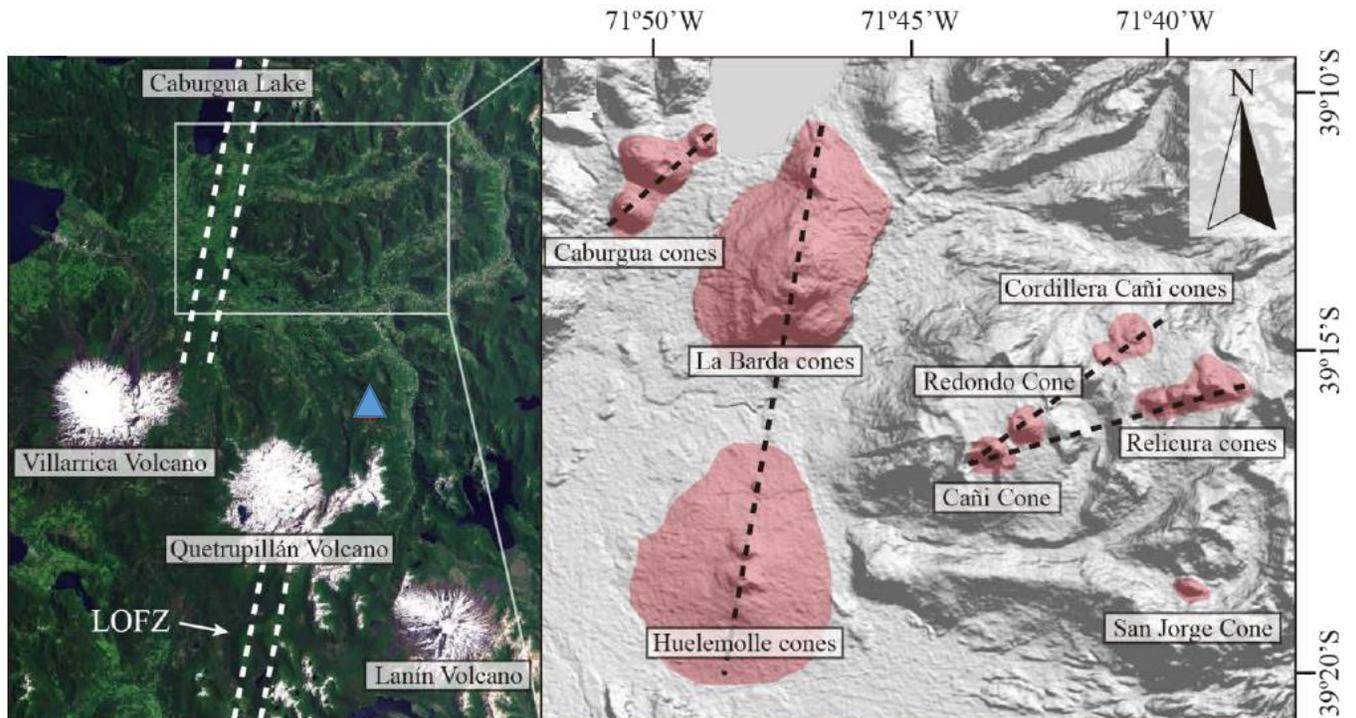


Figura 7: Ubicación del complejo CHSEC y la traza del Sistema de Falla de Liquiñe-Ofqui. Volcán Huililco representado triángulo azul (Imagen modificada de Morgado et al., 2015).

2.3 Marco Tectónico

2.3.1 Generalidades

En general, la convergencia entre la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana son las responsables de controlar la actividad volcánica, sísmica y la deformación en los Andes del Sur. De esta forma, variaciones en la geometría de la zona de Wadati-Benioff generan una división en el arco volcánico andino cuaternario en cuatro segmento: la Zona Volcánica Norte (ZVN; 18°- 27°S), la Zona Volcánica Central (ZVC; 17°- 28°S), Zona Volcánica Sur (ZVS; 33°- 46°S) y Zona Volcánica Austral (ZVA; 48°- 56°S) (López-Escobar et al. 1995; Stern, 2004). En particular, la Zona Volcánica Sur (ZVS), presenta una estrecha relación con la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui, la cual corresponde a un rasgo estructural de primer orden en la región donde está ubicado el volcán Huililco.

2.3.2 El Sistema de Falla de Liquiñe-Ofqui (SFLO)

El Sistema de Falla de Liquiñe-Ofqui (SFLO), antes llamada Zona de Falla de Liquiñe-Ofqui (ZFLO), es un sistema estructural de larga vida que se manifiesta también como un rasgo morfotectónico actual de primer orden en el margen continental entre los 38° y 46°S (Fig. 8). Tempranamente reconocida por Steffen (1944), fue denominada más tarde Falla Liquiñe-Reloncaví por Moreno y Parada (1974), recibiendo su denominación actual por Hervé et al. (1979). Su larga evolución ha estado estrechamente ligada al desarrollo del arco magmático y el crecimiento orogénico en ese segmento de los Andes del Sur. Aunque Cembrano et al. (1996) reconocen etapas antiguas de deformación dúctil del Cretácico, el sistema estructural de intraarco se habría establecido en propiedad durante el Mioceno (e.g. Cembrano et al., 2000; Cembrano et al., 2002; Thomson, 2002). Un régimen principalmente transpresivo dextral habría acompañado tanto el emplazamiento como el enfriamiento y exhumación de los plutones mioceno-pliocenos.

Desde el Pleistoceno Inferior, la SFLO habría concentrado parte de la deformación frágil en el arco y servido de canal de ascenso para los magmas, el cual es uno de los principales factores de la formación del arco volcánico actual. Estudios de neotectónica han identificado dos regímenes de deformación en el arco: una contracción E-W del Mioceno-Plioceno y una transpresión dextral posterior (Lavenu y Cembrano, 1999). Tanto por su posición paralela a la fosa y el arreglo geométrico de las estructuras de segundo orden como por la cinemática inferida y la abundancia de indicadores cinemáticos de desplazamiento horizontal, la SFLO ha sido considerada a gran escala como una megafalla dextral. Largamente se ha debatido el posible transporte lateral (e.g., Beck, 1983; García et al., 1988) y, más recientemente, su rol en la exhumación diferencial del Batolito Norpatagónico (Cembrano et al., 2002; Thomson, 2002; Adriasola et al., 2005). Sin embargo, existen escasos indicios de desplazamiento lateral en las fallas maestras y, en cambio, solo algunas expresiones morfológicas de ajuste vertical a lo largo de esas trazas.

Si bien el volcán Huililco no se encuentra intrínsecamente en la traza de la ZFLO descrita por Moreno y Parada (1974), y posteriormente por Hervé et al. (1979), sigue siendo un factor estructural de primer orden en la región, controlando gran parte de las estructuras y procesos magmáticos, como es el caso del volcán Huililco, que se encuentra más próxima a una falla local posiblemente asociada a la SFLO.

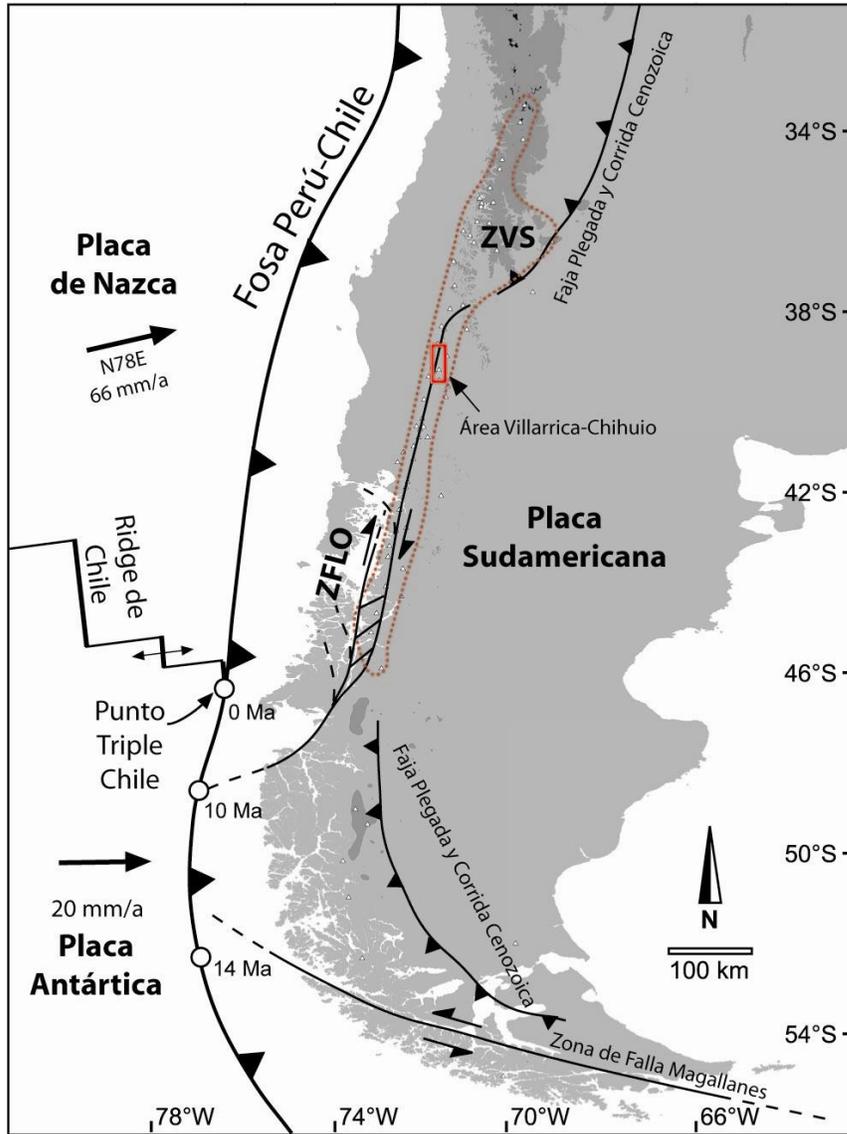


Figura 8: Marco tectónico de los Andes del Sur (Rosenau et al., 2006). ZFLO=Zona de Falla Liquiñe-Ofqui (Actualmente Sistema de Falla Liquiñe-Ofqui); ZVS=Zona Volcánica del Sur.

Capítulo 3: Morfología y Volcanología Volcán Huililco

3.1 Morfología

El volcán Huililco tiene una morfología relativamente simple en términos dimensionales, característica de un volcán monogenético (Valentine and Gregg, 2008). No obstante, es posible apreciar una elongación preferencial con dirección E-W (Fig.9, 10 y 11). Posee un desnivel relativamente bajo, de no más de 200 metros con respecto al nivel del terreno circundante (Fig. 12 y 13), que le da un aspecto más alargado que cónico. Con una longitud de ~800 m de orientación N-S (Fig. 12) y de ~1 km con orientación E-W (Fig. 13) el volcán Huililco posee un área basal de ~3km², y un volumen estimado menor a 1 km³, relativamente bajo en comparación a las dimensiones de los estratovolcanes de la cadena Villarrica-Lanín que lo rodean (apartado 2.2).

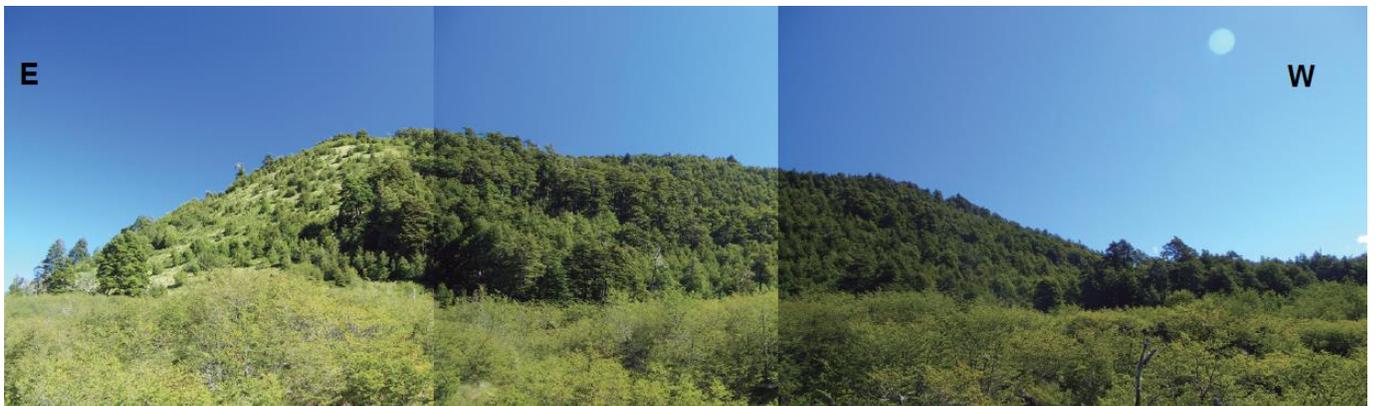


Figura 9: Fotografía reconstruida del Flanco Norte del Volcán Huililco



Figura 10: Fotografía Flanco Sur Volcán Huililco



Figura 11: Relieve y perfiles del volcán Huililco (N-S y E-W). Imagen Satelital Google Earth.



Figura 12: Perfil N-S del Volcán Huililco (perfil de elevación topográfica, Google Earth)

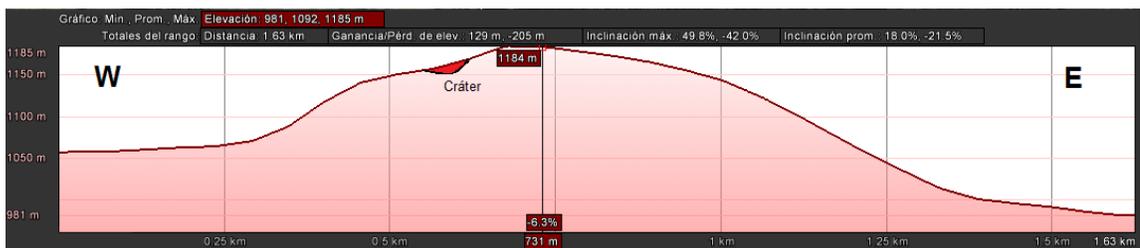


Figura 13: Perfil E-W del Volcán Huililco (perfil de elevación topográfica, Google Earth)

3.2 Materiales volcánicos del volcán Huililco

Dado el bajo relieve y morfología del volcán Huililco, en comparación con los estratovolcanes circundantes, es posible deducir que se trata de un volcán pequeño, con una actividad esporádica y bajo volumen eruptivo, típico de volcanes monogenéticos (Németh, 2010).

En particular el volcán Huililco tiene una forma alargada, sin embargo, sigue teniendo características de un cono monogenético, con alta simetría de norte a sur y algunas variaciones menores de Este a Oeste (Fig. 11), la cual concuerda con la distribución de los materiales volcánicos pertenecientes a este centro eruptivo (Fig. 3). En particular, se distinguen al menos dos flujos de lava con sentido Noreste y Suroeste respectivamente (Fig. 14).

Junto a estos dos flujos de lava es posible encontrar una serie de depósitos de caídas y de material balístico (Fig. 15), principalmente de tamaño lapilli (a excepción de la capa de bombas), de coloración negruzca a grisáceas, con alto contenido de vesículas y alto contenido de fenocristales, que forman una sola secuencia, siendo visible al NE del cráter del volcán Huililco (Fig.16). Por otro lado, en el sector SW del volcán, se aprecia una capa basal de bombas, con un alto contenido de fenocristales de olivino (Fig. 17).



Figura 14: Flujos de lava del volcán Huililco



Figura 15: Distribución de las muestras del volcán Huillico

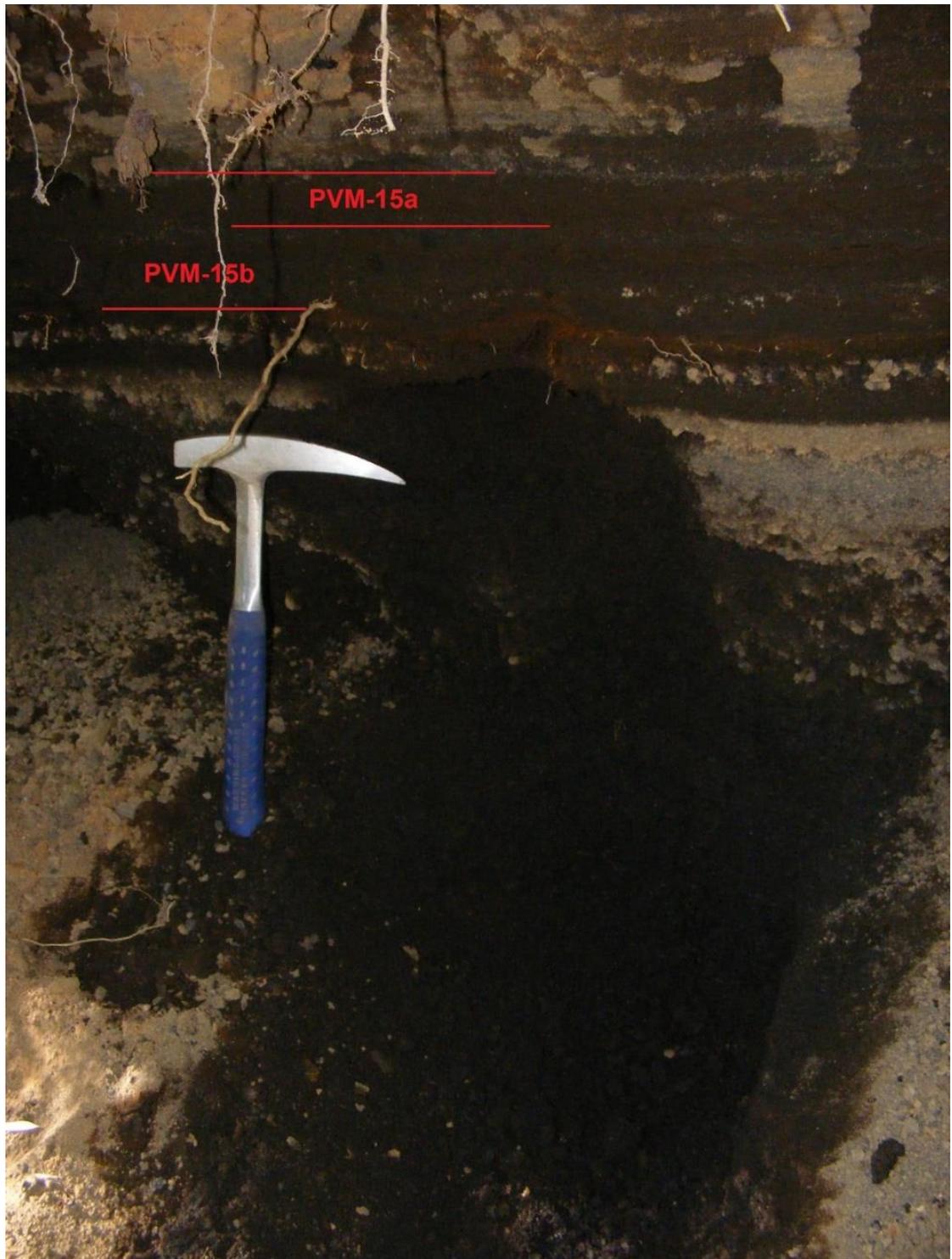


Figura 16: secuencia de depósitos de caída tamaño lapilli. Muestras PVM-15a y PVM-15b



Figura 17: Capa de bombas. Muestra PVM-04

Capítulo 4: Petrografía y Petrología

4.1 Generalidades

En cuanto a las características petrográficas y petrológicas, se seleccionaron 7 muestras representativas del volcán Huililco (*PVM-04*, *PVM-05*, *PVM-06*, *PVM-08*, *PVM-13*, *PVM-14* y *PVM-17*, ver Fig. 15), las cuales serán analizadas a continuación.

Para esto último, se utilizaron dos procedimientos: 1) análisis mediante microscopio polarizador con un rango de aumento hasta los 50X, para reconocer las fases minerales, los fenocristales individuales, análisis de la masa fundamental y el reconcomiendo de texturas intercristalinas e intracristalinas, tales como: bordes de reacción, texturas de desequilibrio, zonaciones, entre otros, y 2) Análisis por microsonda electrónica y SEM para análisis textural, composicional y geoquímico de las muestras antes señaladas.

A modo general, la petrografía del volcán Huililco muestra características que no se conectan a un proceso de fraccionamiento simple, típico de volcanes monogenéticos. Más bien, posee indicios de procesos más complejos en su evolución y ascenso magmático, avalado principalmente por la presencia de texturas de desequilibrio magmático prácticamente todas las muestras seleccionadas.

En particular, se puede notar que las muestras obtenidas, tanto de lavas como de la capa de bombas, poseen una masa fundamental cristalina, con un porcentaje relativo entre el 80 y 88% con respecto a la roca total (Anexos, sección V), principalmente compuesta por microlitos de plagioclasas con olivino subordinado (95%) y con escasa presencia de vidrio (5%) (Fig. 18).

Por otro lado, la constante presencia de fenocristales de mayor tamaño inmersos en una masa fundamental cristalina indica una textura porfídica dominante en todo el complejo (entre 12% y 20%), aunque, en algunos casos, se observaron cúmulos de asociaciones minerales, específicamente de olivino, plagioclasa y clinopiroxenos en las muestras *PVM-13*, *PVM-14* y *PVM-17* (Anexos, sección V) que infieren una textura glomeroporfídica. No obstante, su mineralogía y diferencias composicionales (sección 4.2), los hace un grupo diferente al resto, teniendo más una característica de xenolitos que propia del sistema.

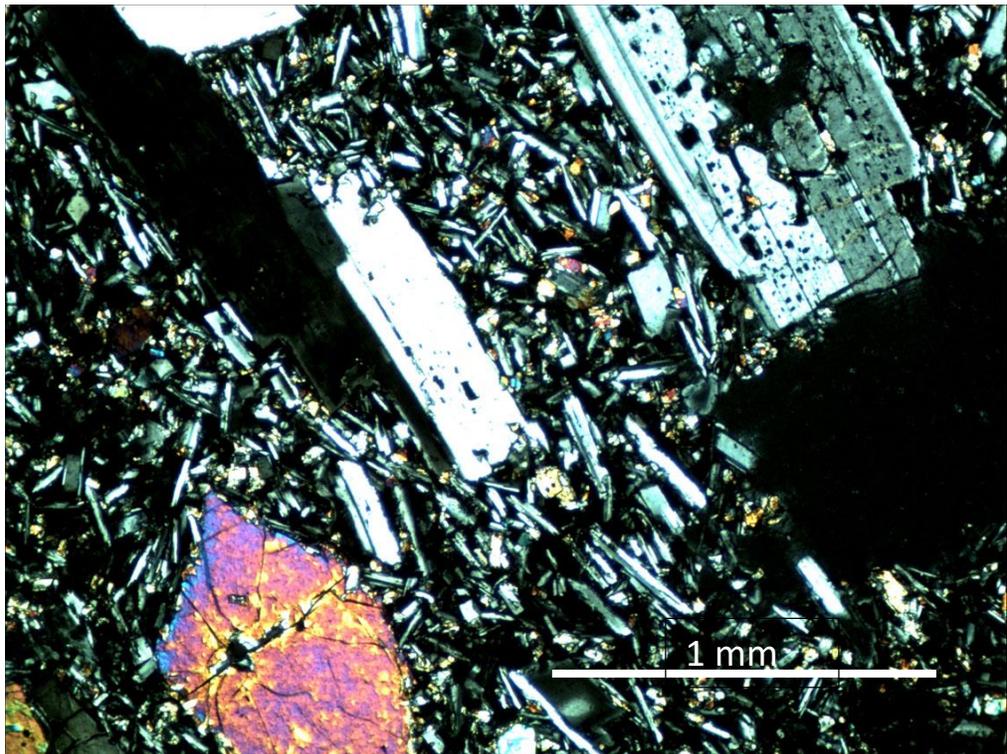


Figura 18: Foto microscópica de una muestra de lava del volcán Huililco

Por otra parte, es posible distinguir una disposición preferencial en gran parte de los fenocristales alargados (principalmente plagioclasas), que junto con una moderada orientación de los microlitos presentes en la masa fundamental, indican una textura traquítica moderada subordinada.

Globalmente es posible observar diversas texturas de desequilibrio: texturas de reabsorción, principalmente en los fenocristales de mayor tamaño (Olivinos, plagioclasas y en menor medida piroxenos), como también una notoria zonación de los fenocristales de plagioclasas, donde algunos están traslapados con una textura sieve.

4.2 Mineralogía

Mediante el uso de la microscopía óptica, imágenes SEM y datos obtenidos con microsonda electrónica, es posible identificar 4 fases minerales principales en los depósitos del volcán Huililco: a) olivinos, b) plagioclasas, c) clinopiroxenos y d) espinelas (ver Anexos, Tablas I, II y III). Cabe mencionar que las composiciones químicas serán detalladas en el Capítulo 5.

a) Olivinos:

Los olivinos analizados provienen principalmente de lavas y depósitos de caídas tamaño lapilli, junto con la secuencia de bombas (Fig. 15), los cuales fueron analizados mediante microscopía óptica tradicional, SEM y microsonda electrónica.

A partir de los datos obtenidos en el estudio geoquímico EPMA (microsonda electrónica), se obtuvieron composiciones variables entre núcleo y borde (Anexos Tabla III), variando desde Fo81 y Fo77 en los núcleos a Fo74 y Fo75 en los bordes (porcentajes de forsterita "Fo"), por lo que se observa una leve zonación normal-inversa-normal en los olivinos muestreados (Fig. 19 y 20).

En general, los olivinos estudiados muestran pequeñas inclusiones de espinelas ricas en Cr-Ti, de tamaños variables entre 10 μ m a 50 μ m, y en algunos casos, inclusiones fundidas (Fig. 19 y 20).

Por otro lado, es posible observar bordes de disequilibrio magmático y bordes de reabsorción, evidenciados principalmente por bordes suaves y cóncavos de muchos olivinos.

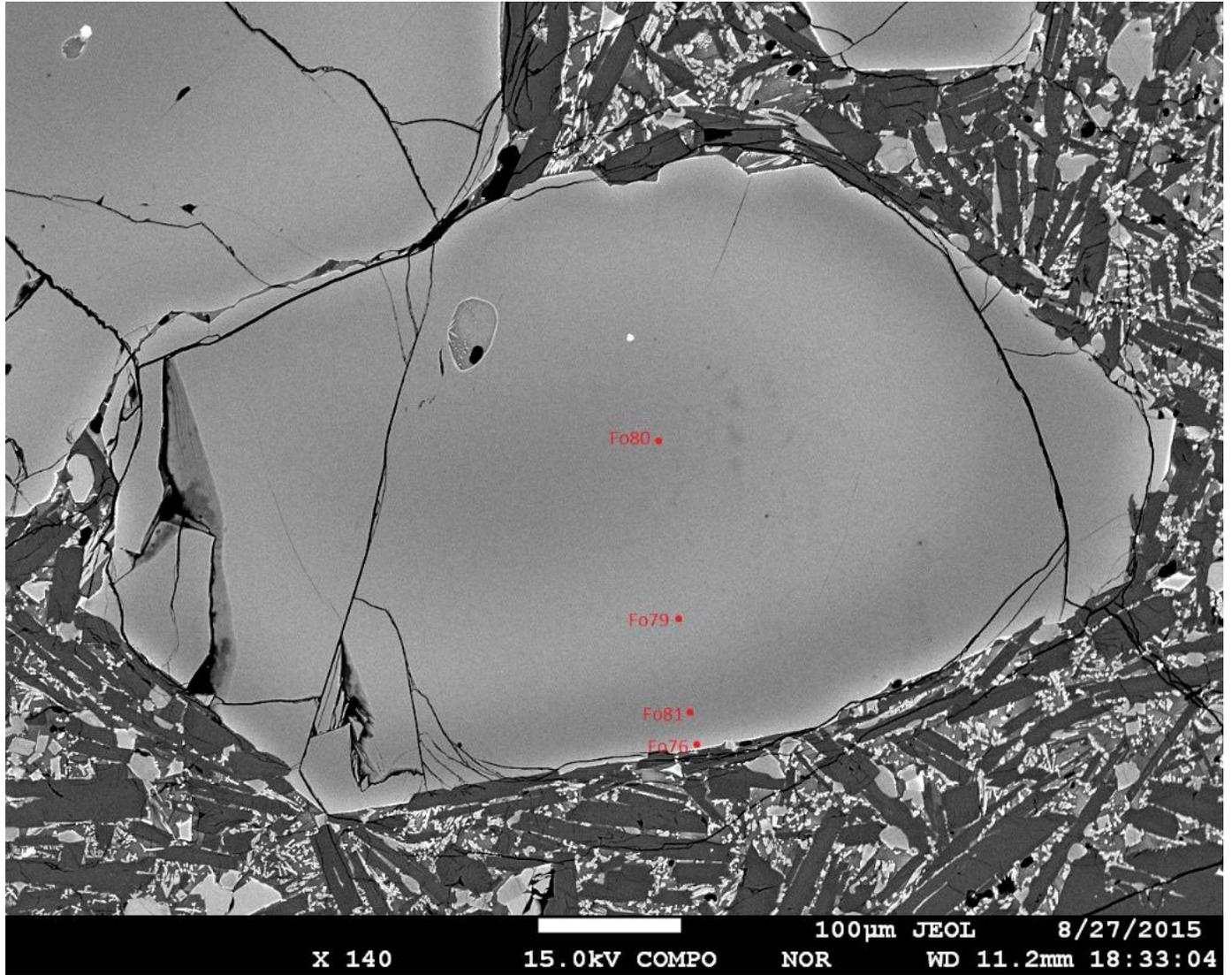


Figura 19: Microfotografía SEM de un olivino de la muestra PVM-04. Se observa una zonación composicional normal, inclusiones de espinelas e inclusiones fundidas. Se observan las variaciones composicionales entre núcleo y borde.

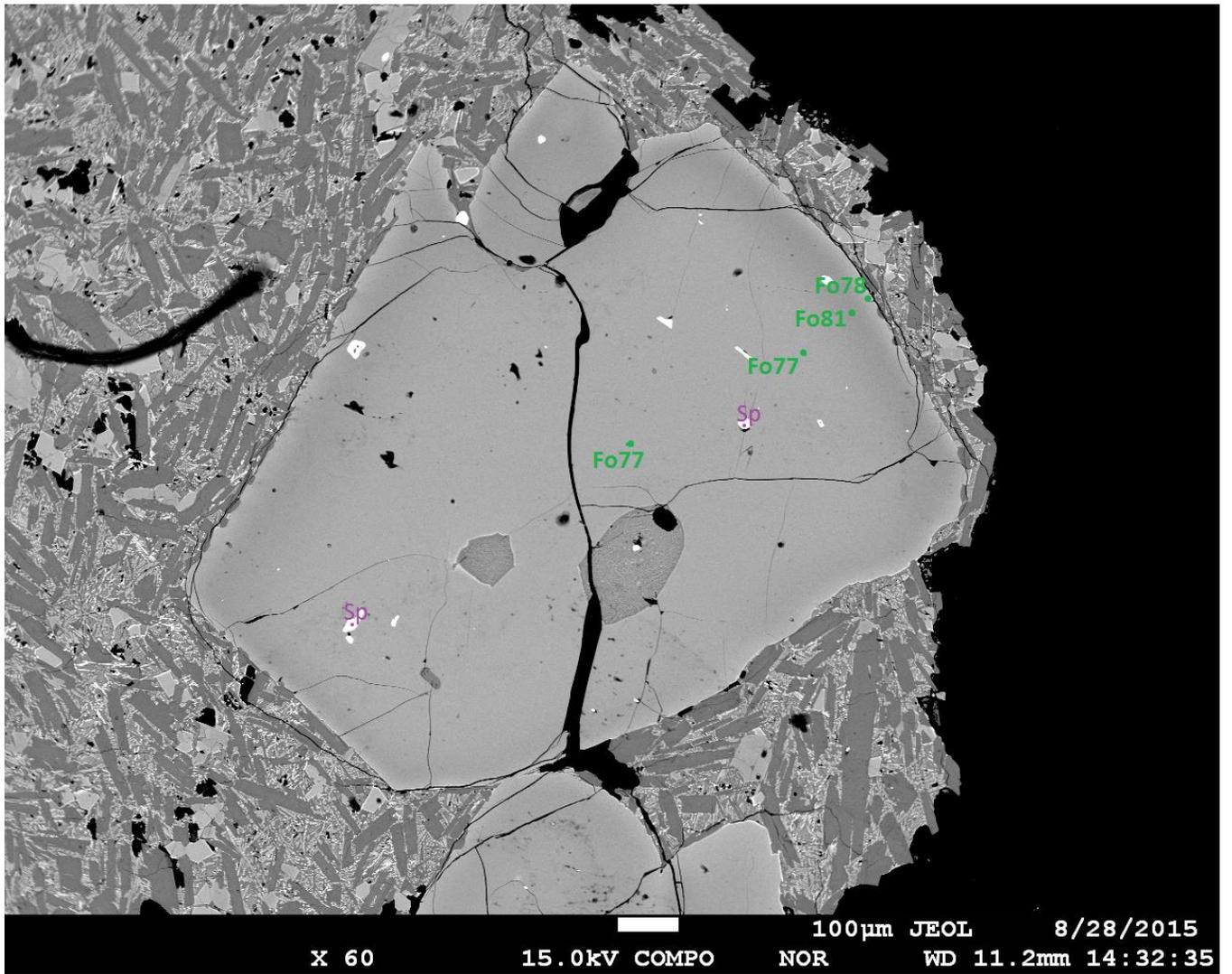


Figura 20: Microfotografía SEM de un olivino de la muestra PVM-14. Se observa una zonación composicional inversa-normal, inclusiones de espinelas (Sp) e inclusiones fundidas. Se observan las variaciones composicionales entre núcleo y borde.

b) Plagioclasas:

Los fenocristales de plagioclasas de mayor tamaño presentan características comunes, no obstante, es posible apreciar zonaciones distintas entre ellos, como también diferentes texturas de desequilibrio. Es por esto que es posible clasificar los fenocristales de plagioclasas en dos grandes grupos:

Grupo I: cristales de plagioclasas de mayor tamaño, aisladas (sin contacto con otros fenocristales), zonación normal y textura sieve en su núcleo.

A partir de los datos geoquímicos obtenidos mediante el uso de la microsonda electrónica, se obtuvieron composiciones variables entre núcleo y borde, variando desde An87 y An84 en los núcleos a An60 en los bordes (porcentaje de Anortita "An", ver Fig. 21 y 22).

En este grupo se encuentran los fenocristales de plagioclasas de mayor tamaño, de hasta 2,5 mm de elongación, que presentan una zonación normal y una textura sieve marcada en su núcleo, con una notoria recristalización en las zonas afectadas.

Grupo II: cristales de plagioclasas asociados a cúmulos de fenocristales, con zonación normal/inversa/normal. Menor porcentaje de Ca en núcleos en comparación al Grupo I y ausencia de textura sieve.

A partir de los datos geoquímicos obtenidos mediante el uso de la microsonda electrónica, se obtuvieron composiciones variables entre núcleo y borde, variando desde An81 a An70 hacia los bordes (porcentaje de Anortita "An", ver Fig. 28 y 29), con menor porcentaje de Ca en los núcleos y menor diferencia composicional con los bordes en comparación al Grupo I de plagioclasas.

Este grupo de plagioclasas está definido principalmente por una asociación de fases minerales que se repiten solo en algunas muestras de lava (olivino-plagioclasa-clinopiroxeno), las cuales se observan exclusivamente en las muestras PVM-13, PVM-14 y PVM-17 (lavas del flanco NE del volcán).

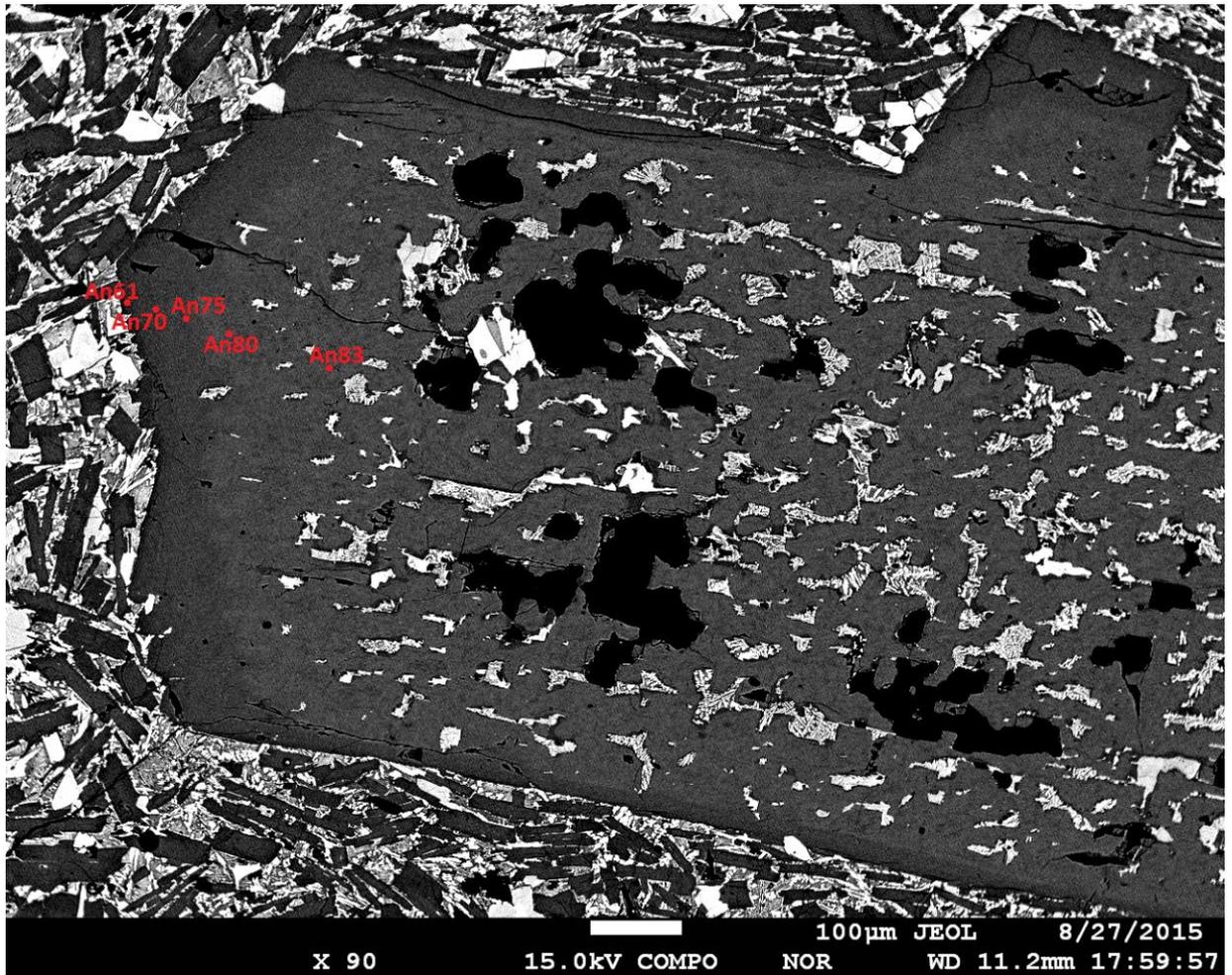


Figura 21: Microfotografía SEM de una plagioclasa de la muestra PVM-13. Se observa una zonación composicional normal y una textura sieve intensa en su núcleo.

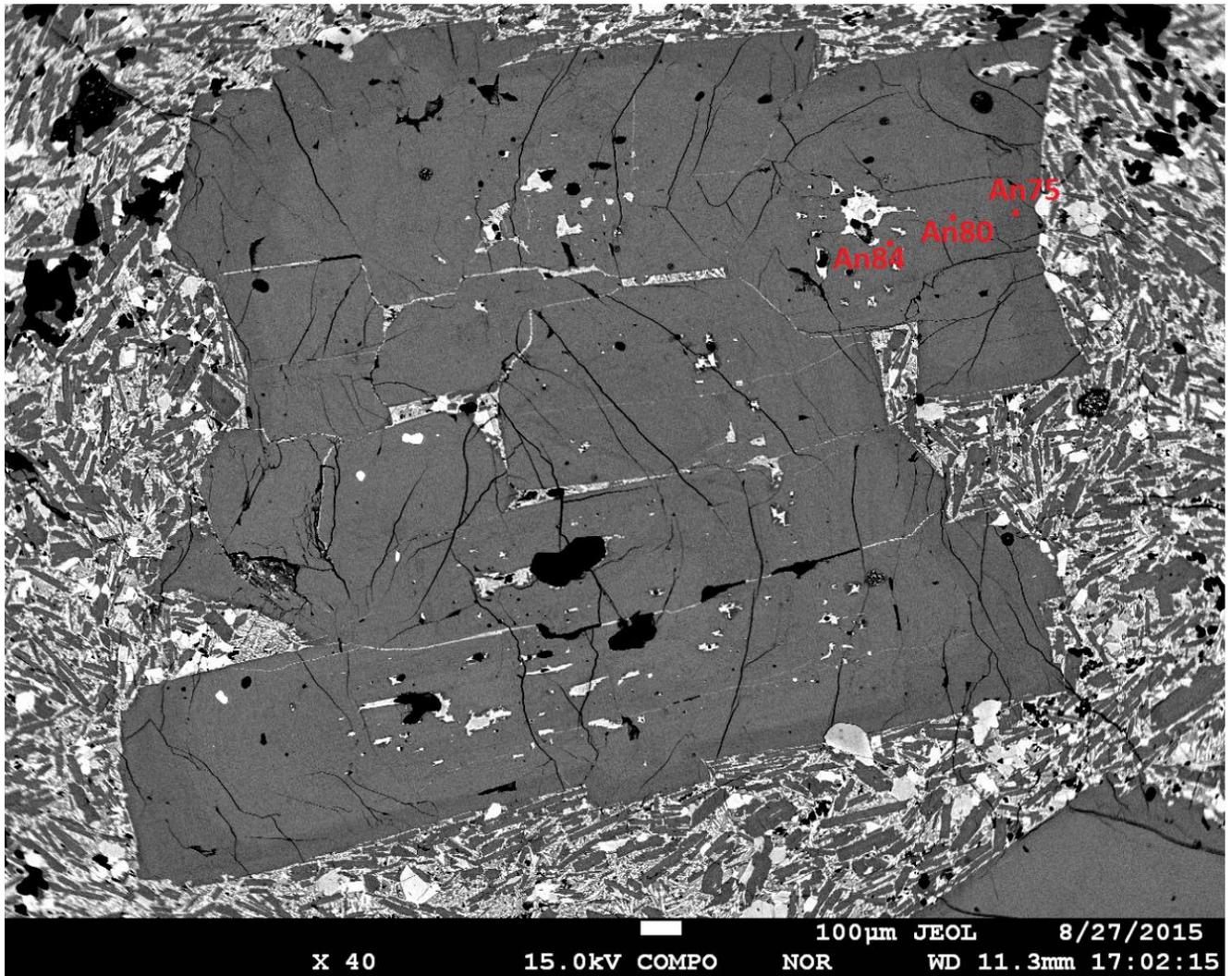


Figura 22: Microfotografía SEM de una plagioclasa de la muestra PVM-13. Se observa una zonación composicional normal y una textura sieve moderada en su núcleo.

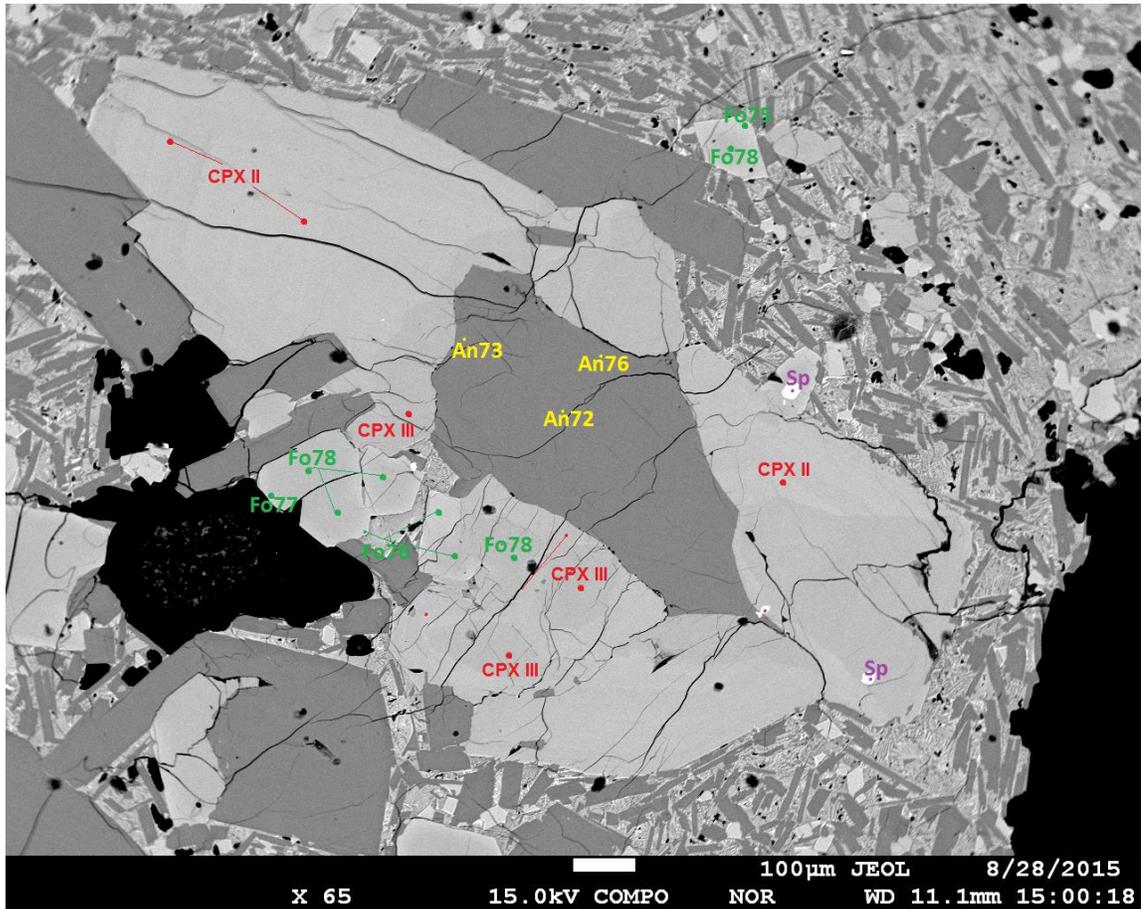


Figura 23: Microfotografía SEM de una cúmulo de la muestra PVM-14. Se observa una asociación mineral de plagioclasa, olivino y clinopiroxeno, junto una zonación composicional inversa/normal en la plagioclasa central, sellada por completo por olivinos y clinopiroxenos.

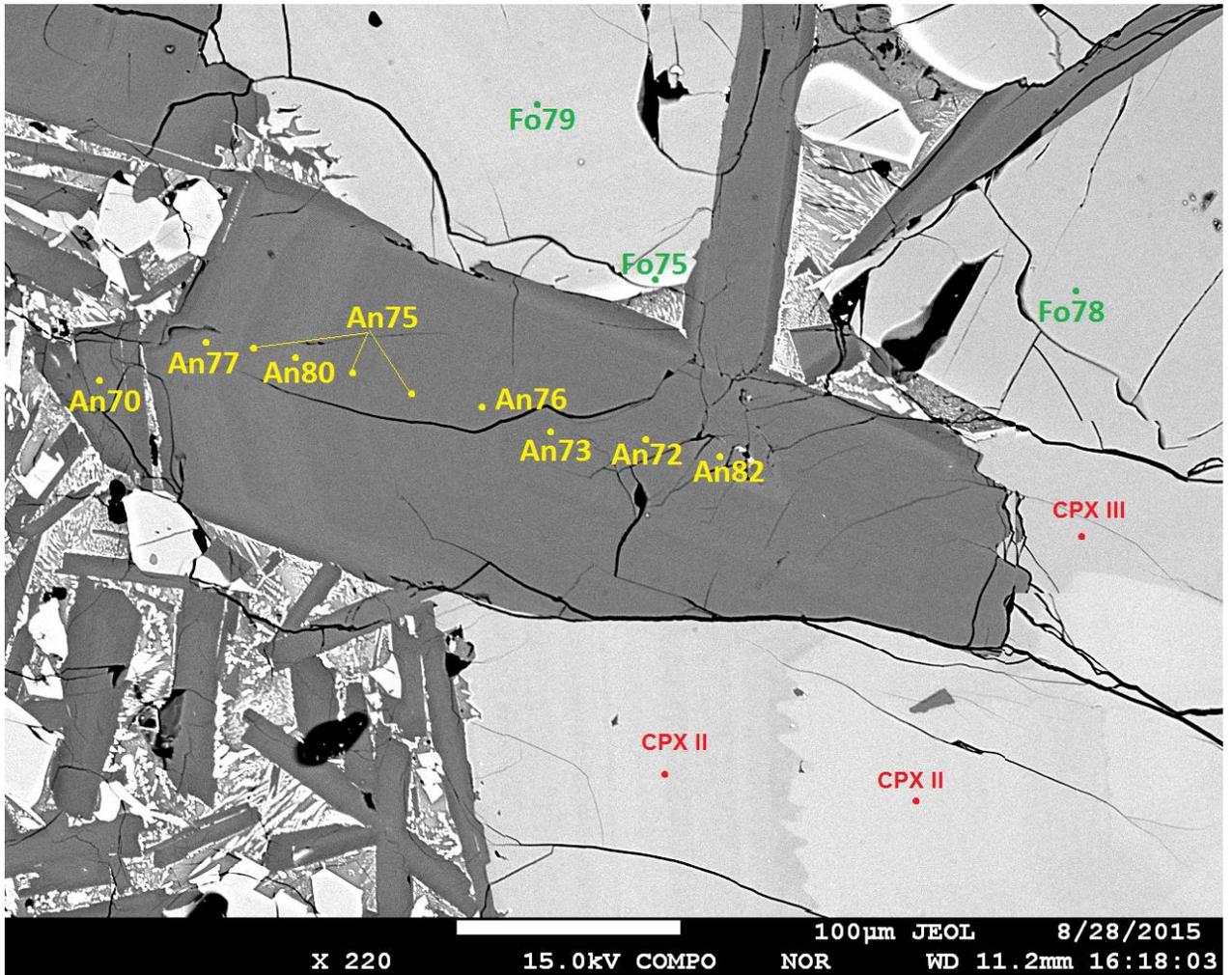


Figura 24: Microfotografía SEM de una plagioclasa de la muestra PVM-17. Se observa una asociación mineral de plagioclasa, olivino y clinopiroxeno, junto una zonación composicional normal/inversa/normal en plagioclasas, con ausencia de textura sieve.

c) Clinopiroxenos:

Los clinopiroxenos observados en las muestras de lavas del volcán Huililco están asociados, exclusivamente, a las plagioclasa descritas en el del Grupo II, ya que están definidos principalmente por una asociación de fases minerales que se repiten solo en algunas muestras de lava (olivino-plagioclasa-clinopiroxeno), las cuales se observan exclusivamente en las muestras PVM-13, PVM-14 y PVM-17 (lavas del flanco NE del volcán).

A partir de los datos geoquímicos obtenidos mediante el uso de la microsonda electrónica, se obtuvieron composiciones variables entre los distintos puntos analizados, en el rango composicional entre Diópsido y Augita, puesto que la mayoría de los clinopiroxenos analizados presentan zonaciones y maclas composicionales (Fig. 23, 24 y 25).

En particular, los puntos analizados se separaron por sus signaturas químicas, obteniendo así 3 grupos (Anexos, sección V):

Grupo I (CPX I): bordes de clinopiroxenos, con un porcentaje de y de 36 a 38 de Enstatita (En) y 39 a 40 de Wollastonita (Wo) (Fig. 25).

Grupo II (CPX II): clinopiroxenos con un porcentaje de 41 y 44 de Enstatita (En) y de 44,4 a 46 de Wollastonita (Wo) y distribución variable presentando zonaciones marcadas (Fig. 23 y 24).

Grupo III (CPX III): clinopiroxenos con un porcentaje de 44,8 a 47 de Enstatita (En) y 41 a 44 de Wollastonita (Wo), usualmente cercanos a los olivinos de los cúmulos. (Fig. 23 y 24).

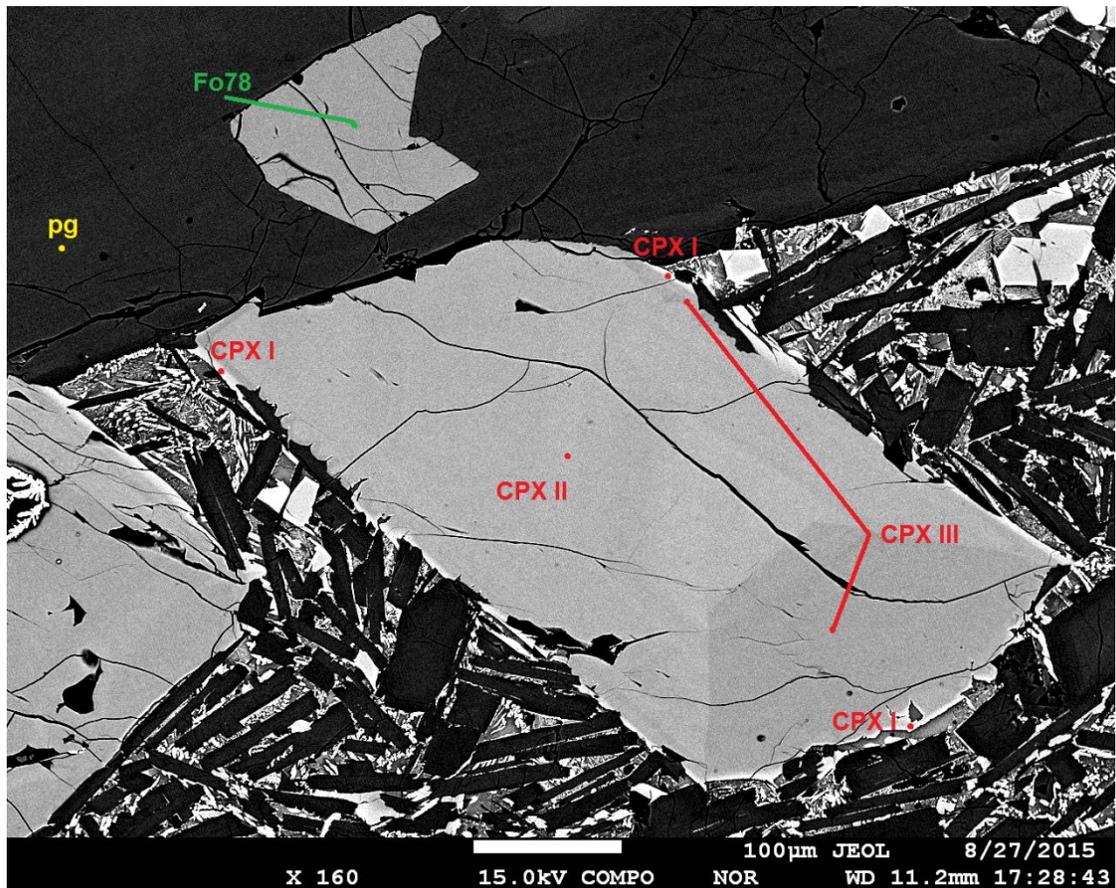


Figura 25: Microfotografía SEM de una plagioclasa de la muestra PVM-13. Se observa una asociación mineral de plagioclasa, olivino y clinopiroxeno, junto una zonación composicional en el clinopiroxeno, con una marcada macla composicional (CPX II y CPX III).

d) Espinelas:

Estos óxidos se encuentran comúnmente asociados a los minerales máficos del sistema, especialmente a los olivinos y a los cúmulos de minerales encontrados, no obstante también son encontrados en la masa fundamental, sin asociación mineral. Son ricos en Al-Cr-Ti, perteneciendo al grupo de las ulvo-espinelas (Fig. 20), de tamaños entre 0.01 y 0.5 mm y composición variable.

4.3 Análisis Textural

Las texturas que se observan en la mayoría de las muestras del volcán Huililco dan evidencia a procesos magmáticos más complejos en comparación a la mayoría de los centros monogenéticos de la región: siendo la más notoria de estas la textura porfídica. Por otra parte, son muy notorias las texturas de disequilibrio, como por ejemplo, las texturas de reabsorción en la mayoría de los olivinos (Anexos, Tablas de descripciones petrográficas). También es posible apreciar texturas sieve, que están presentes sólo en las plagioclasas del Grupo I.

El alineamiento de microlitos de plagioclasa en las rocas volcánicas y una disposición referencial de los fenocristales son coherente con la presencia de flujos de lava, ya que pueden producir el alineamiento de minerales alargados o tabulares, produciendo las fábricas de foliación planar o de lineamiento. Esto último es lo que define principalmente a la textura traquítica presente en intensidad baja a intermedia en las muestras de lava del volcán Huililco (Anexos, Tabla de descripciones).

Finalmente, en relación a los cúmulos, es necesario dilucidar su procedencia al sistema, ya que sus características composicionales y texturales son diferentes a la mayoría de los fenocristales analizados.

Capítulo 5: Geoquímica

5.1 Geoquímica roca total

5.1.1 Análisis de Errores

Antes de realizar cualquier interpretación utilizando los datos geoquímicos de roca total, es necesario establecer los parámetros de confianza de cada análisis por separado. Para esto se confeccionó la Tabla I, que muestra los errores porcentuales de los análisis geoquímicos realizados con respecto a los valores de referencia del laboratorio. Para esto se utilizaron dos muestras de referencias tabuladas como BHVO2 y BCR2, las cuales poseen valores conocidos y estandarizados, con el fin de probar la precisión del laboratorio geoquímico.

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ (T)	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅
Unidad	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Detection Limit	0,01	0,01	0,01	0,001	0,01	0,01	0,01	0,01	0,001	0,01
BHVO2	49,36	13,35	12,49	0,168	7,03	11,24	2,2	0,52	2,665	0,27
BHVO2 reference value	49,9	13,5	12,3	0,17	7,23	11,4	2,22	0,52	2,73	0,27
BCR2	53,67	13,65	14,29	0,202	3,57	7,04	3,17	1,78	2,234	0,35
BCR2 Duplicate	53,18	13,74	14,23	0,203	3,52	6,98	3,16	1,77	2,248	0,34
BCR2 reference value	54,1	13,5	13,8	0,2	3,59	7,12	3,16	1,79	2,26	0,35

Error BHVO2 %	1,08	1,11	1,54	1,18	2,77	1,40	0,90	0,00	2,38	0,00
Error BCR2 %	0,79	1,11	3,55	1,00	0,56	1,12	0,32	0,56	1,15	0,00
Error BCR2 duplicate %	1,70	1,78	3,12	1,50	1,95	1,97	0,00	1,12	0,53	2,86
Promedio error %	1,19	1,33	2,74	1,23	1,76	1,50	0,41	0,56	1,35	0,95

Tabla I: Errores porcentuales promedio de los análisis geoquímicos en roca total de los elementos mayores

Cabe destacar que la mayoría de los errores asociados a cada una de las mediciones de los elementos mayores es cercano al %, siendo el Fe₂O₃(T) el elemento con el mayor error porcentual de 2,74%. Dado lo anterior, y tomando

en cuenta un límite de detección del orden de 0.01%, se puede establecer una confianza con los valores en el rango de hasta 2 decimales para los elementos mayores. También es importante destacar que los resultados negativos resultantes del análisis químico se deben a la escasa o muy baja concentración que tienen en la muestra.

Muestra	Unidad	Detection Limit	BHVO2	BHVO2 reference value	BCR2	BCR2 Duplicate	BCR2 reference value	Error BHVO2 %	Error BCR2 %	Error BCR2 duplicate %	Promedio error %
Sc	ppm	1	30	32	32	32	33	6,25	3,03	3,03	4,10
V	ppm	5	330	317	428	423	416	4,10	2,88	1,68	2,89
Ba	ppm	3	130	131	663	661	677	0,76	2,07	2,36	1,73
Sr	ppm	2	373	396	335	338	340	5,81	1,47	0,59	2,62
Y	ppm	2	21	26	30	30	37	19,23	18,92	18,92	19,02
Zr	ppm	4	156	172	165	167	184	9,30	10,33	9,24	9,62
Cr	ppm	20	380	280	50	60	18	35,71	177,78	233,33	148,94
Co	ppm	1	39	45	34	35	37	13,33	8,11	5,41	8,95
Ni	ppm	20	90	119	< 20	< 20	18	24,37	-	-	24,37
Cu	ppm	10	130	127	10	10	21	2,36	52,38	52,38	35,71
Zn	ppm	30	100	103	130	130	127	2,91	2,36	2,36	2,55
Ga	ppm	1	21	22	23	23	23	4,55	0,00	0,00	1,52
Rb	ppm	2	9	9,11	46	46	46,9	1,21	1,92	1,92	1,68
Nb	ppm	1	15	18,1	10	10	12,6	17,13	20,63	20,63	19,47
Cs	ppm	0,5	< 0.5	0,1	1,1	1,1	1,1	-	0,00	0,00	0,00
La	ppm	0,1	15,1	15,2	24,9	24,9	24,9	0,66	0,00	0,00	0,22
Ce	ppm	0,1	35,4	37,5	50,7	51,3	52,9	5,60	4,16	3,02	4,26
Pr	ppm	0,05	4,94	5,35	6,35	6,42	6,7	7,66	5,22	4,18	5,69
Nd	ppm	0,1	23	24,5	27	27,3	28,7	6,12	5,92	4,88	5,64
Sm	ppm	0,1	5,7	6,07	6,2	6,3	6,58	6,10	5,78	4,26	5,38
Eu	ppm	0,05	1,87	2,07	1,83	1,81	1,96	9,66	6,63	7,65	7,98
Gd	ppm	0,1	5,9	6,24	6,3	6,4	6,75	5,45	6,67	5,19	5,77
Tb	ppm	0,1	0,9	0,92	1	1	1,07	2,17	6,54	6,54	5,09
Dy	ppm	0,1	4,7	5,31	6,2	6,2	6,41	11,49	3,28	3,28	6,01
Ho	ppm	0,1	0,9	0,98	1,2	1,2	1,28	8,16	6,25	6,25	6,89
Er	ppm	0,1	2,4	2,54	3,6	3,7	3,66	5,51	1,64	1,09	2,75
Tm	ppm	0,05	0,32	0,33	0,54	0,54	0,54	3,03	0,00	0,00	1,01
Yb	ppm	0,1	1,9	2	3,4	3,5	3,38	5,00	0,59	3,55	3,05
Lu	ppm	0,04	0,27	0,274	0,49	0,5	0,503	1,46	2,58	0,60	1,55
Hf	ppm	0,2	4	4,36	4,3	4,6	4,9	8,26	12,24	6,12	8,87
Ta	ppm	0,1	1	1,14	0,7	0,7	0,74	12,28	5,41	5,41	7,70
Pb	ppm	5	< 5	1,6	9	8	11	-	18,18	27,27	22,73
Th	ppm	0,1	1,2	1,22	7,3	9,2	5,7	1,64	28,07	61,40	30,37
U	ppm	0,1	0,4	0,403	1,7	1,7	1,69	0,74	0,59	0,59	0,64

Tabla II: Errores porcentuales promedio de los análisis geoquímicos en roca total de los elementos menores y trazas.

En cuanto a los elementos menores y trazas, se confeccionó la Tabla II, con la cual se determinó un rango de confianza en la unidad, debido principalmente a la baja concentración de alguno de estos elementos. Cabe mencionar que los valores de Cr tienen el error porcentual más grande de estos elementos, de hasta un 233%, que junto a un límite de detección de 20 ppm, indica que se deben manejar sus valores bajo criterio analítico puntual.

5.1.2 Generalidades

Para la clasificación, caracterización y comparación geoquímica, se utilizaron datos geoquímicos de las muestras recolectadas en la campaña de muestreo del volcán Huililco (siglas PVM), datos no publicados de Lucy McGee (Huililco Data, Caburgua y La Barda) y datos de la erupción de 1971 del Volcán Villarrica de Morgado et al. 2015 (Anexos Tablas I y II).

En general, el análisis se basó principalmente en las variaciones geoquímicas de los distintos elementos contrapuestos con la concentraciones de MgO y SiO₂, elementos indicadores que permiten dilucidar las distintas signaturas geoquímicas de los depósitos del volcán Huililco y los centros eruptivos cercanos (Caburgua, La Barda y Villarrica).

A partir de una serie de diagramas geoquímicos es posible clasificar al volcán Huililco como un centro eruptivo cuyos depósitos son principalmente de composición andesita basáltica, con concentraciones de SiO₂ cercanas al 53% (Diagrama TAS, Fig. 26), de la serie calco-alkalina (SiO₂ vs K₂O, Fig. 27) y asociada a un magmatismo de margen continental (Fig. 28).

Aunque el rango de clasificación de las muestras del volcán Huililco es un tanto parecidas a muchos centros eruptivos de la zona de estudio se pueden observar las siguientes diferencias y similitudes:

- a) El porcentaje de SiO₂ en roca total de las muestras de volcán Huililco tienen un rango entre el 53% y 54%, levemente mayor en comparación a los volcanes monogenéticos de la región, entre 50% y 51%, y de los depósitos de la erupción de 1971 del estratovolcán Villarrica, ~52%, (basaltos y andesitas basálticas) (Fig. 26).
- b) Si bien todos los centros eruptivos estudiados poseen una signatura calco-alkalina, se puede apreciar un mayor porcentaje de K₂O en las muestras del volcán Huililco (Fig. 27), entre 0.88% y 1.27% wt, en comparación al 0.65% y 0.75 % de los volcanes monogenéticos La Barda y Caburgua y al ~0.65% wt. del estratovolcán Villarrica.
- c) Aunque la mayoría de las muestras tienen una signatura geotectónica de margen continental activo, es posible observar una transición a rocas volcánicas de intraplaca (Fig. 28).

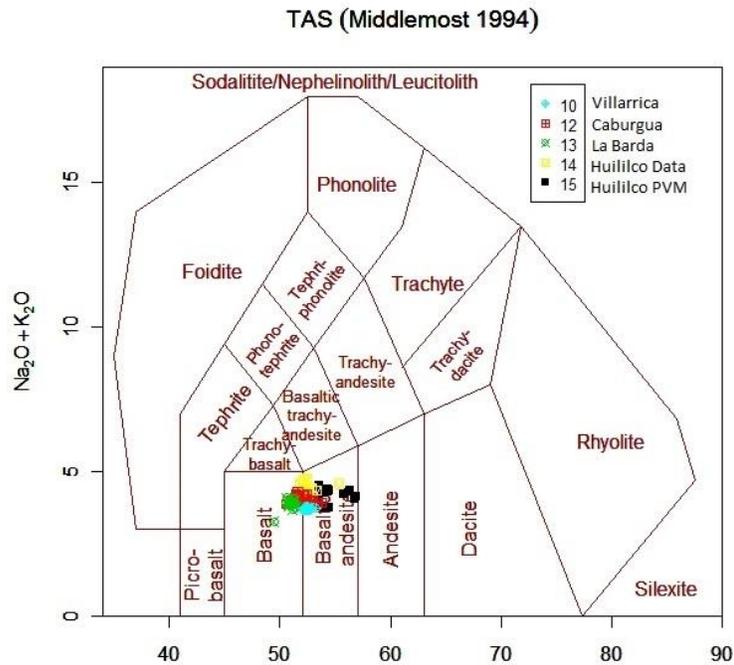
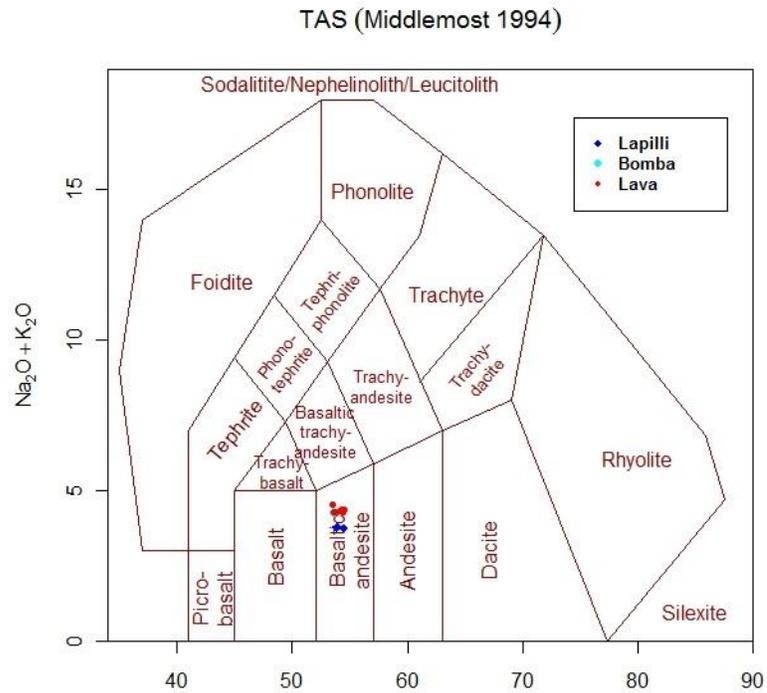
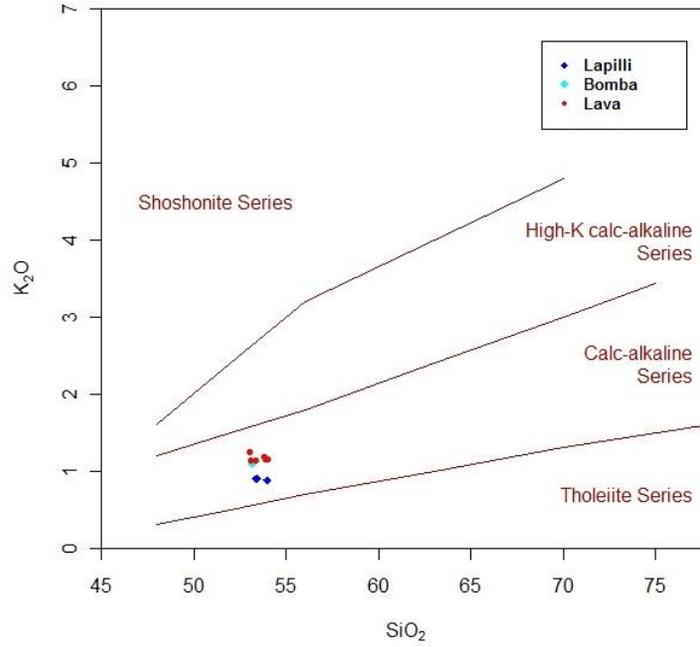


Figura 26: Diagrama de clasificación TAS. Figura superior representa a las muestras más representativas del volcán Huililco y la inferior la comparación con otros centros eruptivos de la región.

SiO₂-K₂O plot (Peccerillo and Taylor 1976)



SiO₂-K₂O plot (Peccerillo and Taylor 1976)

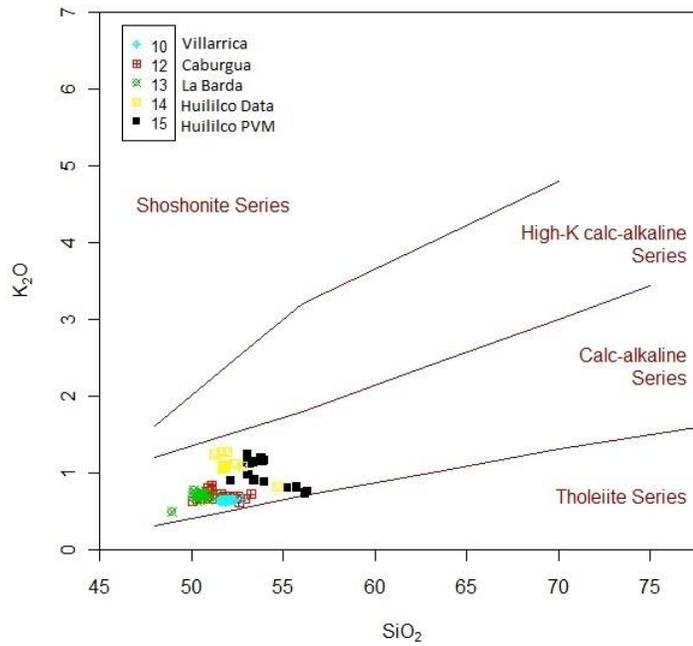


Figura 27: Diagrama de clasificación SiO₂ vs K₂O. Figura superior representa a las muestras más representativas del volcán Huililco y la inferior la comparación con otros centros eruptivos de la región. Se observa una tendencia calco-alkalina dominante.

Geotectonic classification of volcanic rocks – Schandl and Gorton (2002)

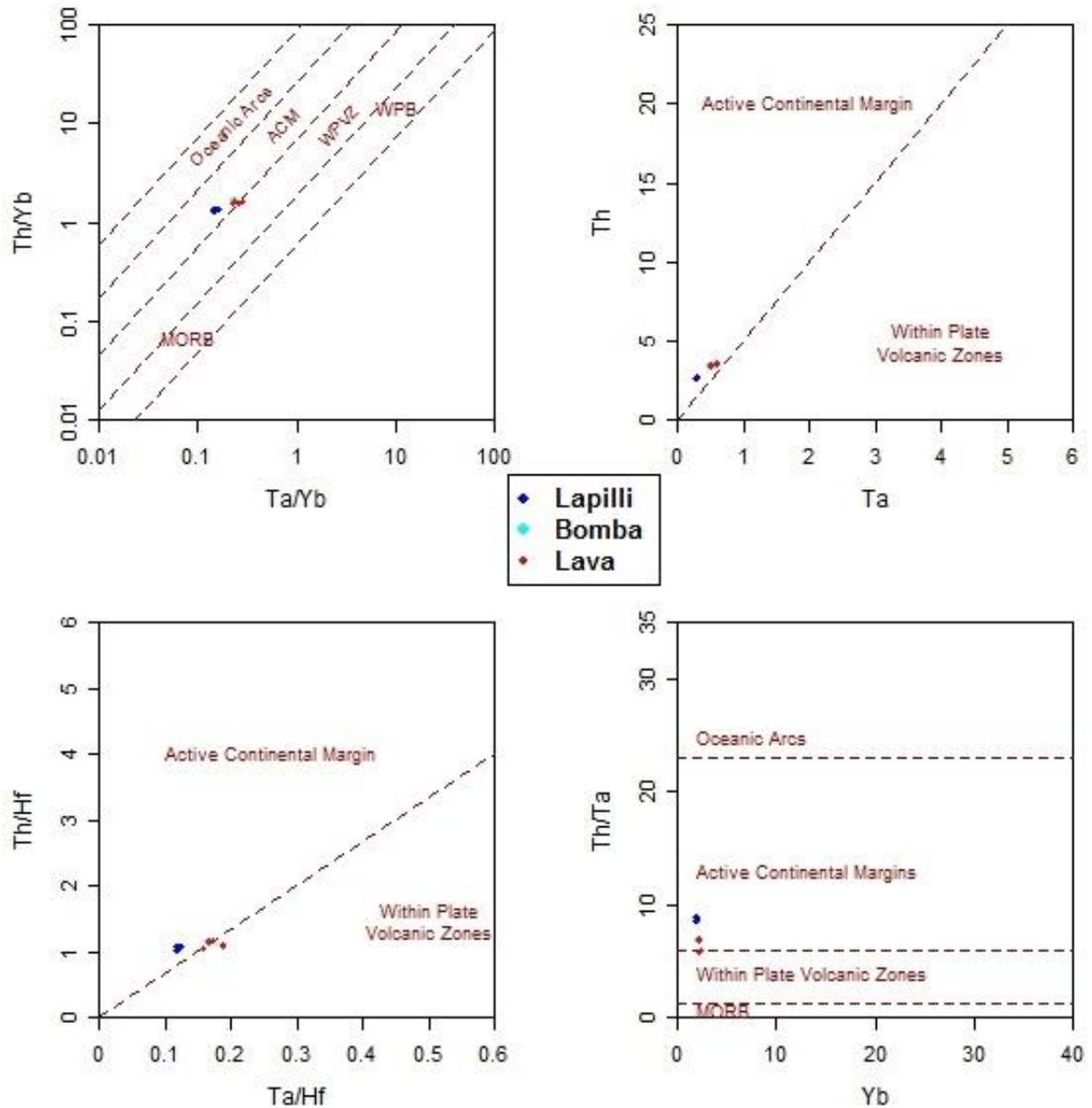


Figura 28: Diagrama geotectónico de las muestras representativas del volcán Huilico. Los puntos pertenecen a un margen continental activo, no obstante, se encuentran próximas al límite de zonas volcánicas no asociadas a márgenes de placas.

5.1.3 Elementos mayores

Dado lo anterior, las firmas geoquímicas en roca total de los depósitos del volcán Huililco tienen características que apuntan a una mayor evolución magmática o un mayor aporte cortical, con respecto a otros centros de la región, es por esto que es importante analizar los distintos tipos de depósitos para dilucidar con mayor profundidad las características específicas de este volcán.

En general, se puede observar que los depósitos de caída, tamaño lapilli, poseen un mayor porcentaje de MgO (Fig. 29 a 34), de 6.59% a 7.34% wt, en comparación a las lavas y al depósito de bombas, de 5.42% a 6.34% wt., siendo éste último muy similar a las firmas de las lavas del volcán Huililco.

Por otra parte, se puede observar que el comportamiento de las lavas y bombas es diferente a la química de las muestras de lapilli. En relación a algunos elementos mayores. En particular el contenido de TiO_2 de las lavas y bombas fluctúa entre 1,09% y 1,21% wt., mientras que en los depósitos de caída es de 0,95% a 0,96%, marcando dos tendencias diferentes (Fig. 29). Esto último también se aprecia con el contenido de $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$ (Fig. 30) y CaO (Fig. 31). En relación a elementos alcalinos, como el porcentaje de Na_2O y K_2O , se puede observar un enriquecimiento de las lavas y bombas con respecto a los depósitos de caída tamaño lapilli (Fig. 32 y 33), como también con respecto al contenido de P_2O_5 (Fig. 34).

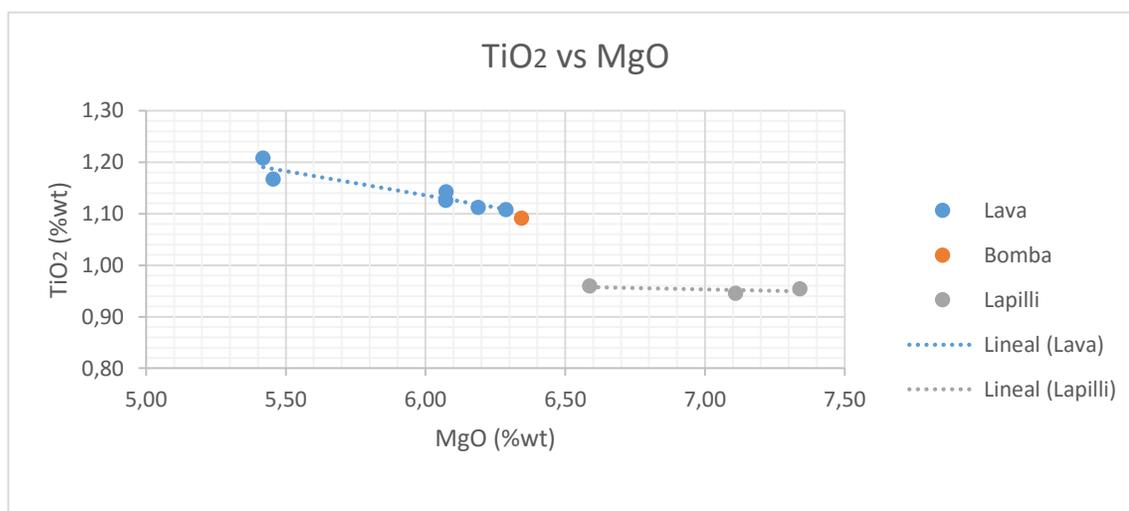


Figura 29: contenido de TiO_2 (%wt.) vs MgO (%wt.). Se observan dos líneas de tendencia de los distintos materiales volcánicos.

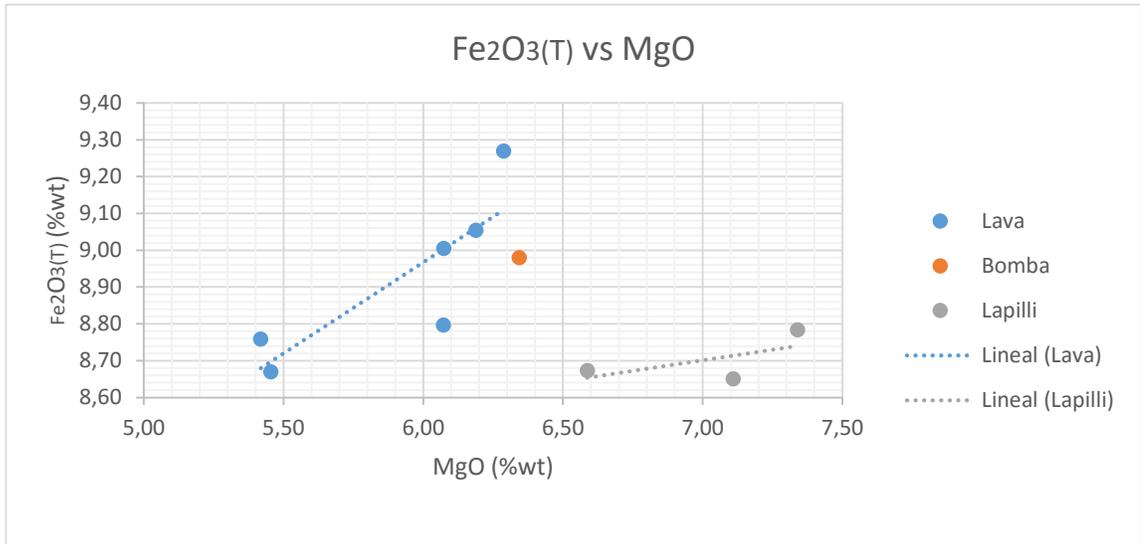


Figura 30: contenido de Fe₂O₃T (%wt.) vs MgO (%wt.). Se observan dos líneas de tendencia de los distintos materiales volcánicos.

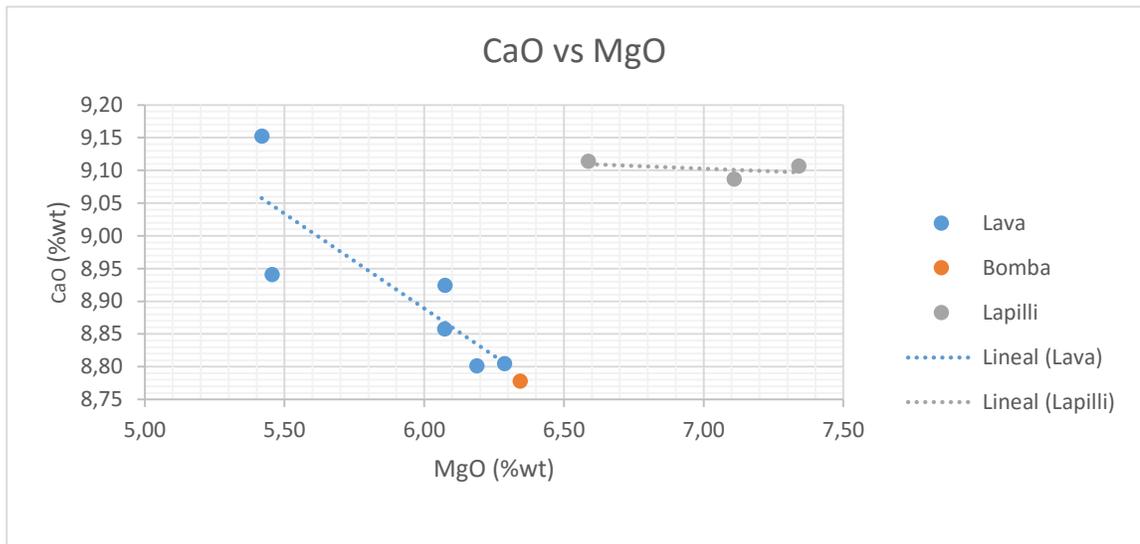


Figura 31: contenido de CaO (%wt.) vs MgO (%wt.). Se observan dos líneas de tendencia de los distintos materiales volcánicos.

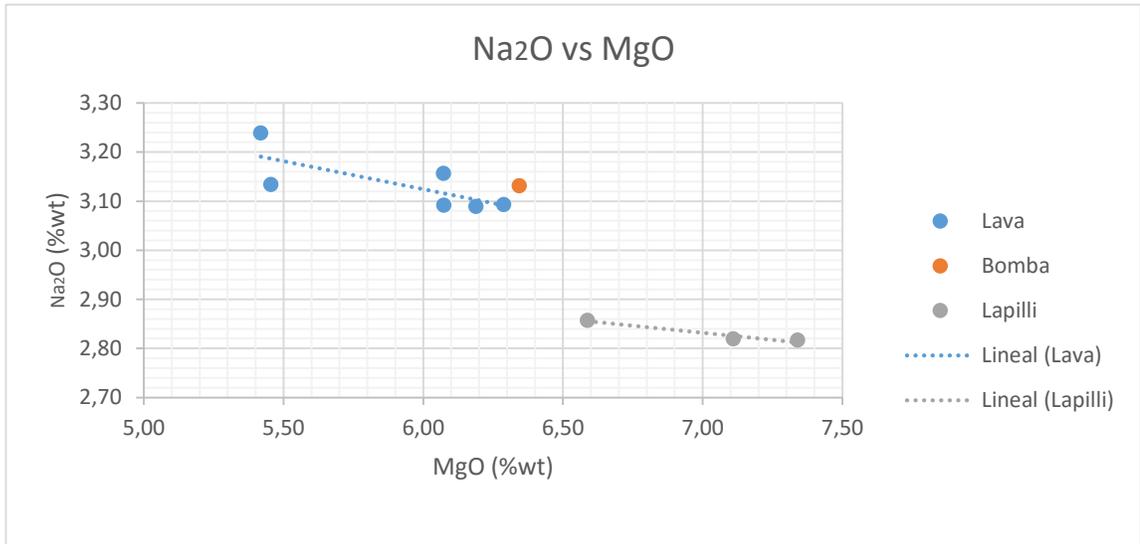


Figura 32: contenido de Na₂O (%wt.) vs MgO (%wt.). Se observan dos líneas de tendencia de los distintos materiales volcánicos.

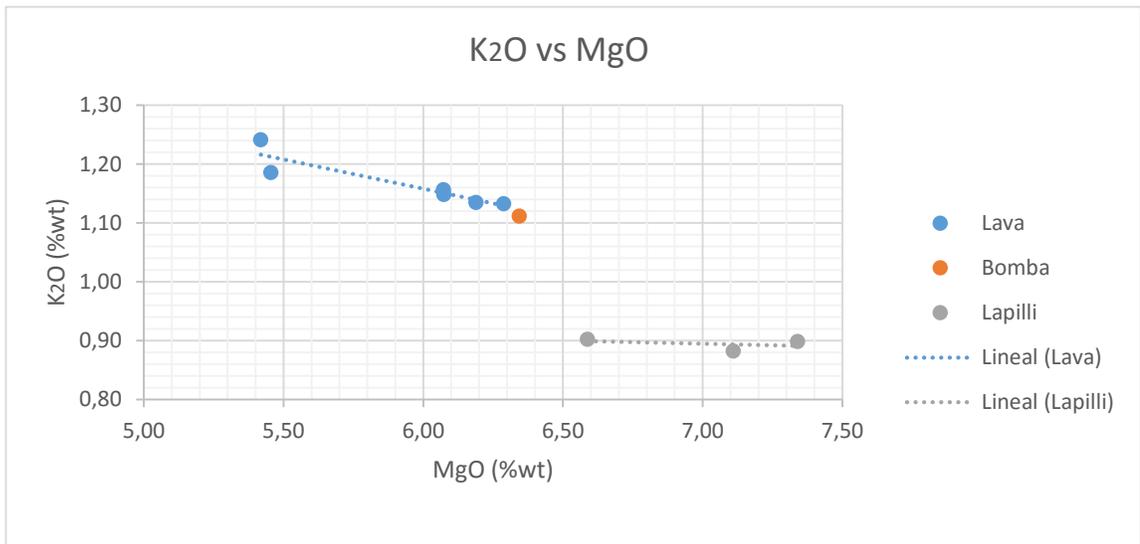


Figura 33: contenido de K₂O (%wt.) vs MgO (%wt.). Se observan dos líneas de tendencia de los distintos materiales volcánicos.

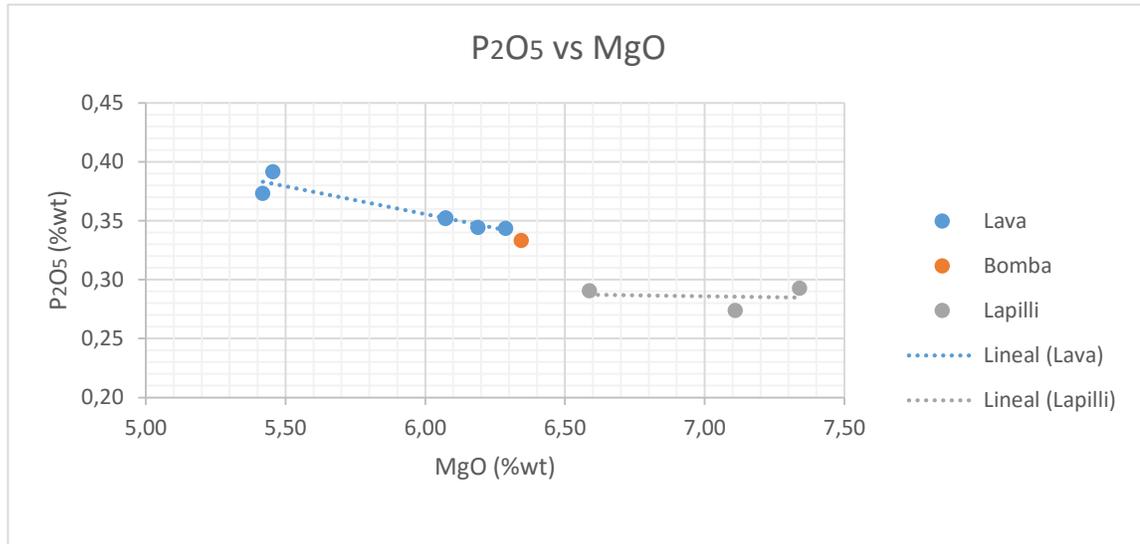


Figura 34: contenido de P₂O₅ (%wt.) vs MgO (%wt.). Se observan dos líneas de tendencia de los distintos materiales volcánicos.

5.1.4 Elementos trazas

En general, y en relación a los elementos razas del sistema, es posible notar que las firmas geoquímicas de algunos elementos de las lavas y bombas sigue una tendencia distinta a la de los depósitos de caída del volcán Huililco donde las lavas y bombas están mayormente enriquecidos en elementos trazas móviles e incompatibles como el Ba, Rb, Zr, La, Ce y Nd en comparación a los depósitos de tefra (Fig. 35 a 40 respectivamente).

Por otra parte, se observa que otros elementos, como el Ni, Cr y el Co muestran solo una tendencia y con pendiente positiva respecto al contenido de MgO, asociada al fraccionamiento parcial de estos elementos (Fig. 42 a 44 respectivamente). A la vez, se observa una tendencia lineal del contenido de Sr con respecto a MgO, pero con una pendiente negativa (Fig. 41).

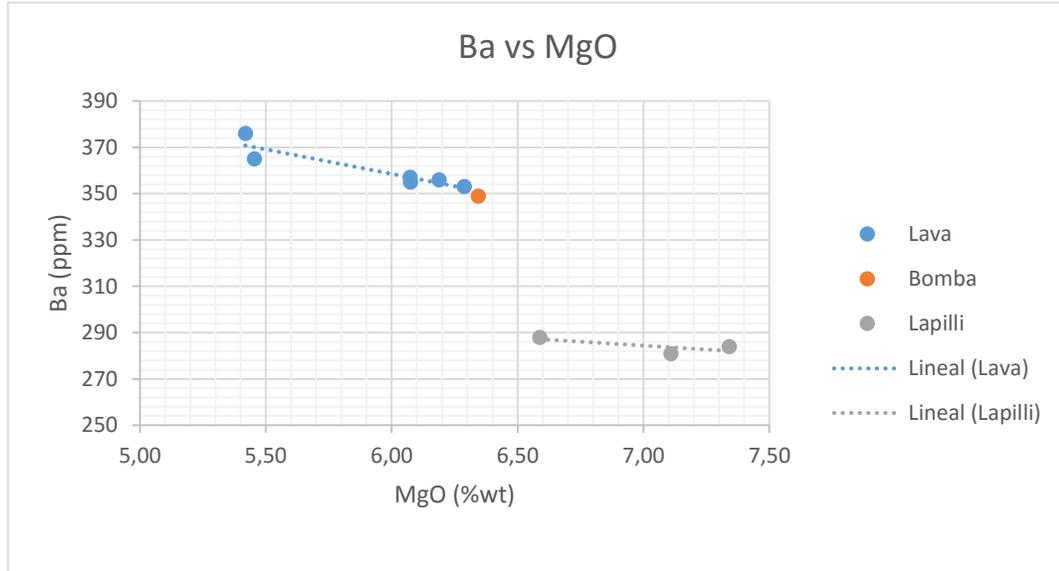


Figura 35: contenido de Ba (ppm) vs MgO (%wt.). Se observan dos líneas de tendencia de los distintos materiales volcánicos.

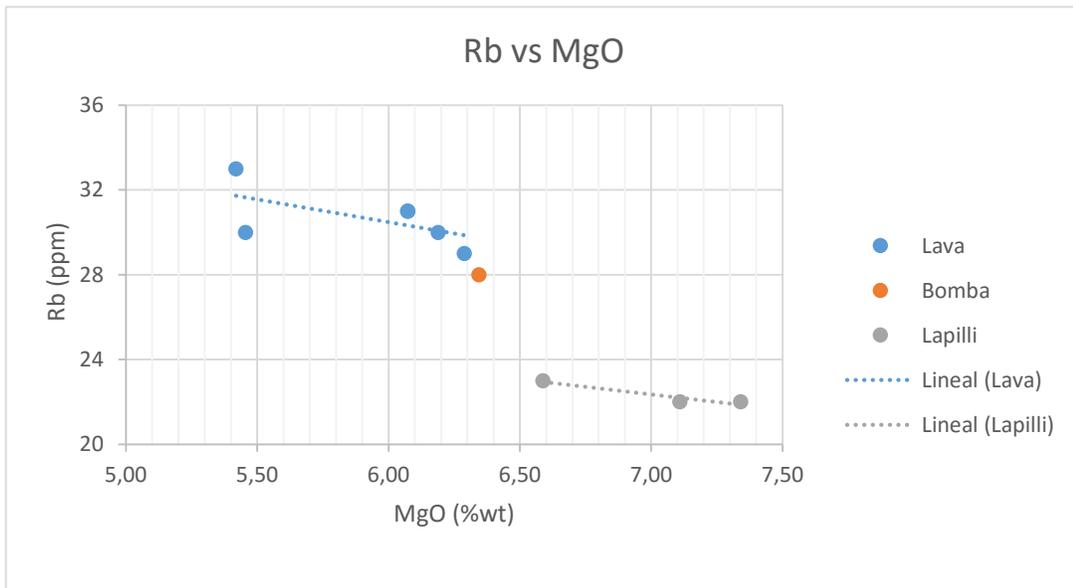


Figura 36: contenido de Rb (ppm) vs MgO (%wt.). Se observan dos líneas paralelas de tendencia de los distintos materiales volcánicos.

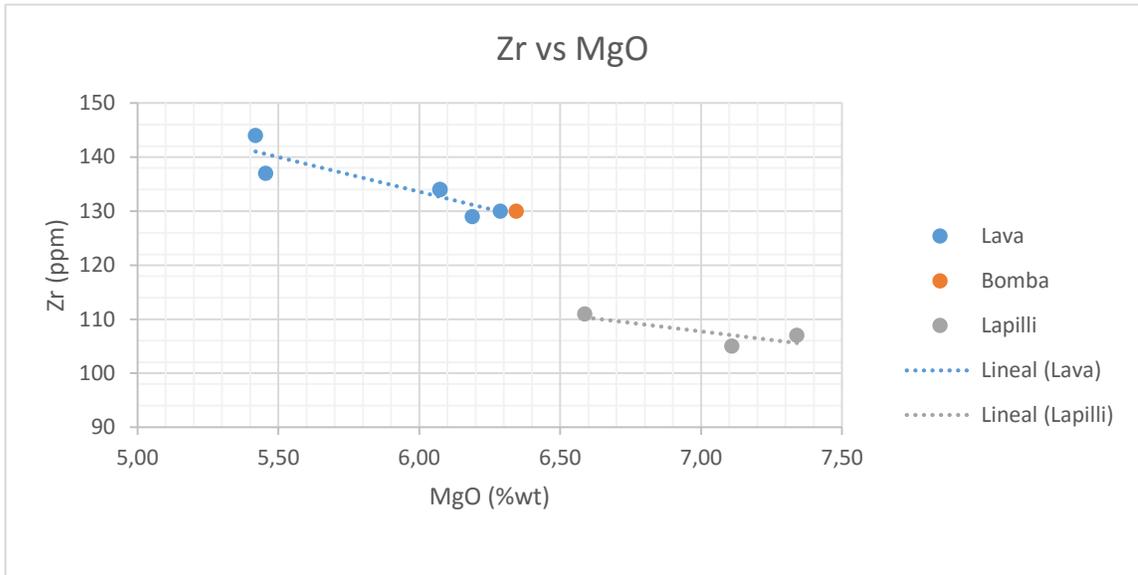


Figura 37: contenido de Zr (ppm) vs MgO (%wt.). Se observan dos líneas de tendencia de los distintos materiales volcánicos.

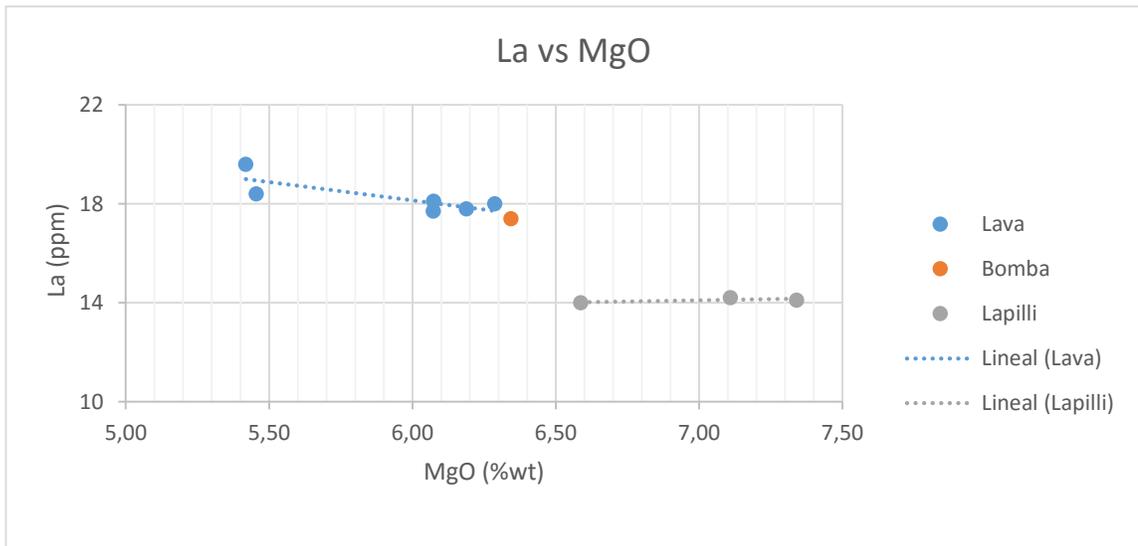


Figura 38: contenido de La (ppm) vs MgO (%wt.). Se observan dos líneas de tendencia de los distintos materiales volcánicos.

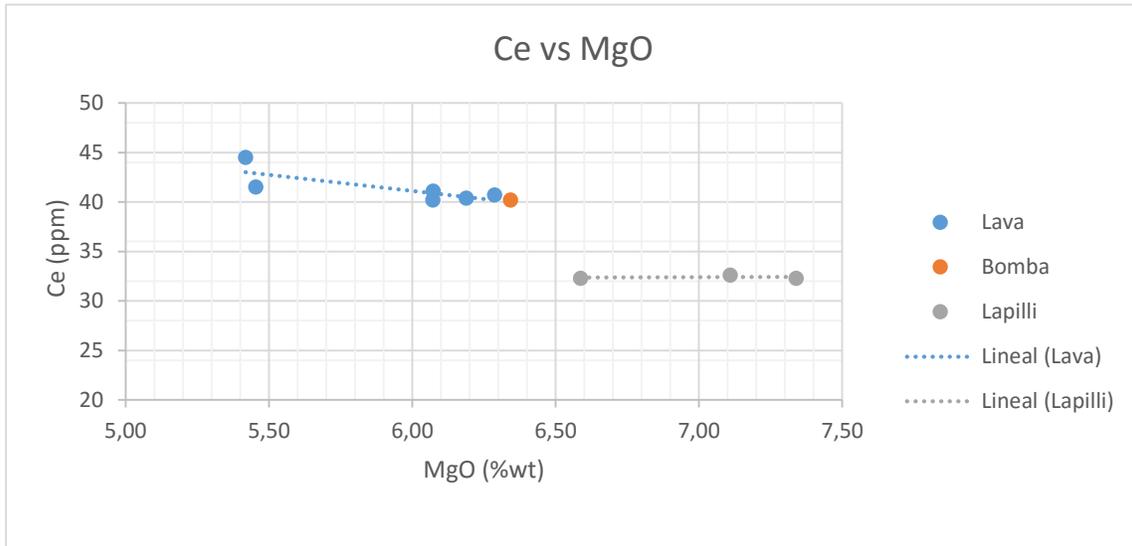


Figura 39: contenido de Ce (ppm) vs MgO (%wt.). Se observan dos líneas de tendencia de los distintos materiales volcánicos.

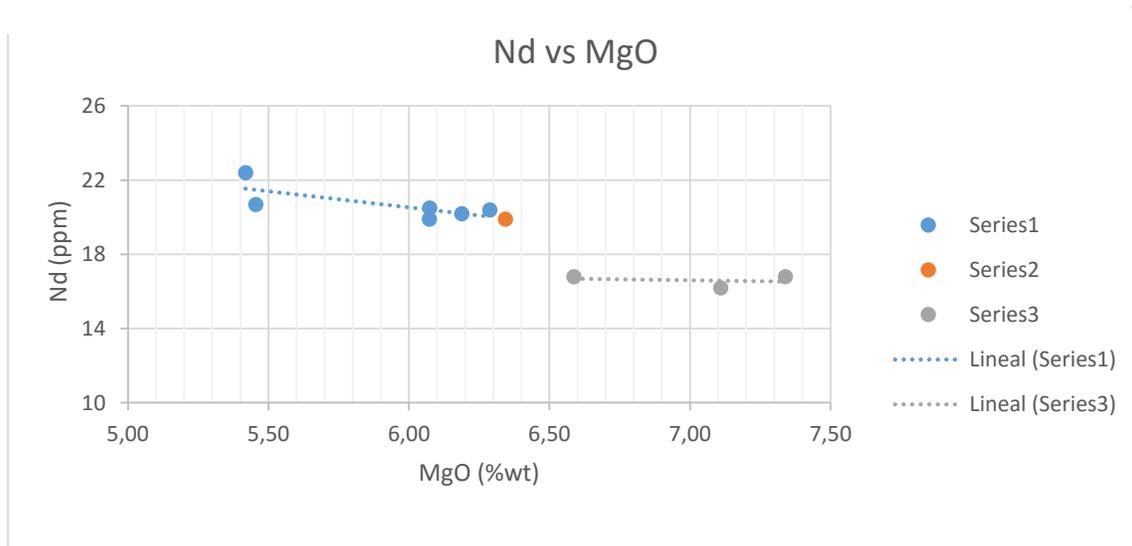


Figura 40: contenido de Nd (ppm) vs MgO (%wt.). Se observan dos líneas de tendencia de los distintos materiales volcánicos.

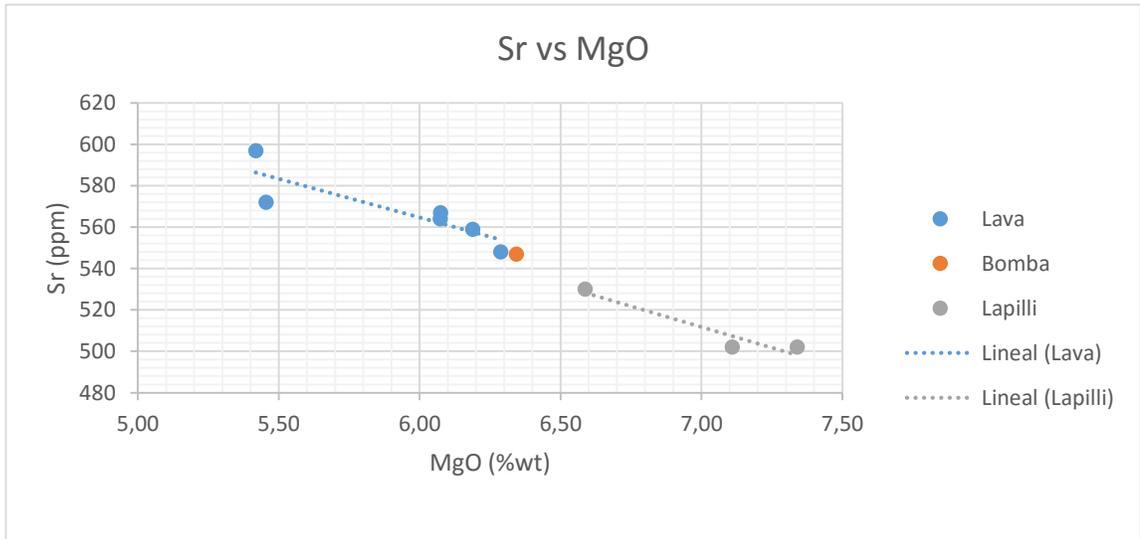


Figura 41: contenido de Sr (ppm) vs MgO (%wt.). Se observa una línea de tendencia con los distintos materiales volcánicos.

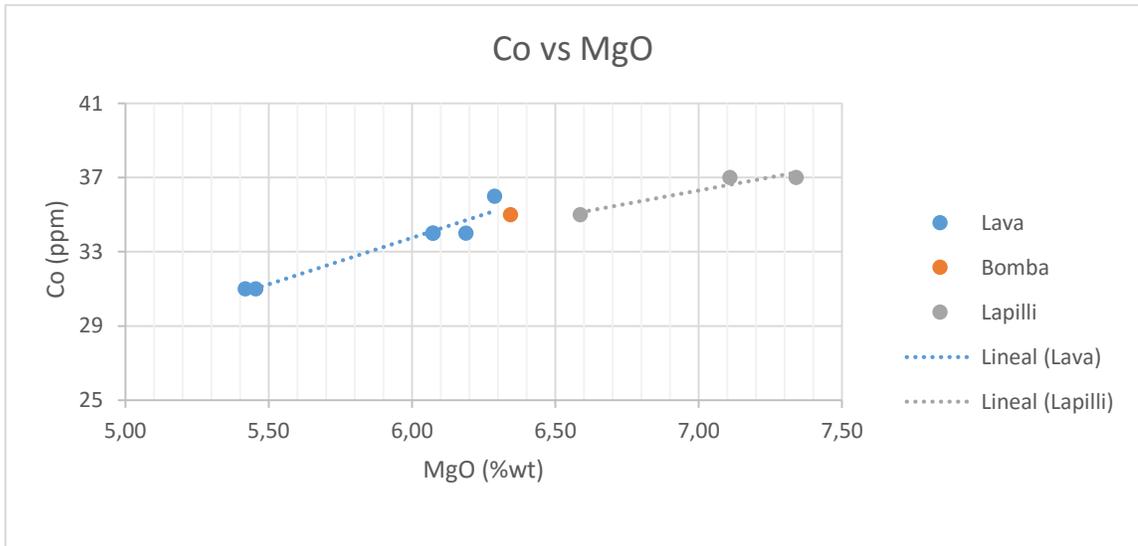


Figura 42: contenido de Co (ppm) vs MgO (%wt.). Se observa una línea de tendencia con los distintos materiales volcánicos.

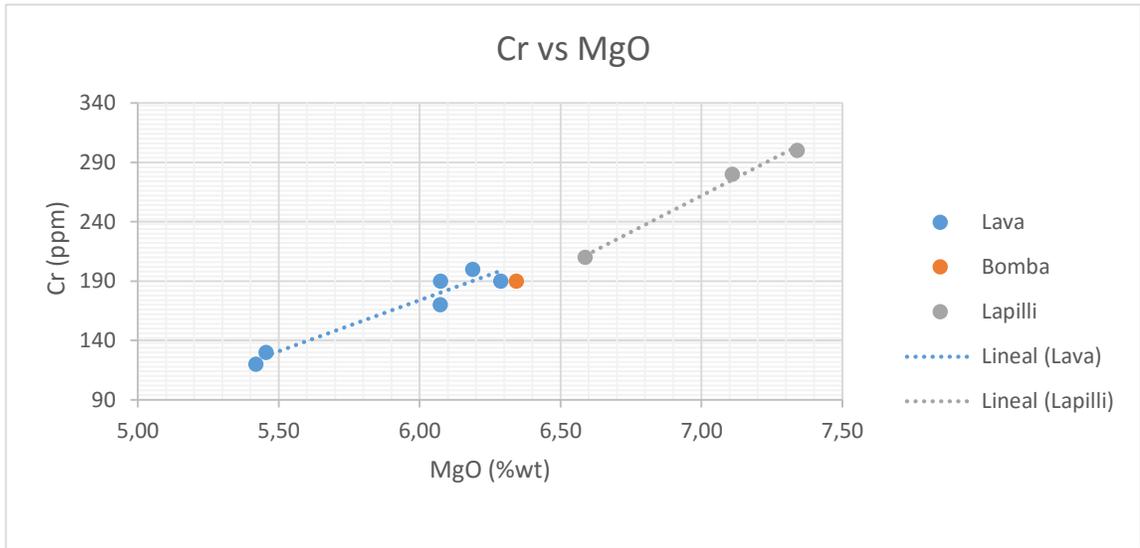


Figura 43: contenido de Cr (ppm) vs MgO (%wt.). Se observa una línea de tendencia con los distintos materiales volcánicos.

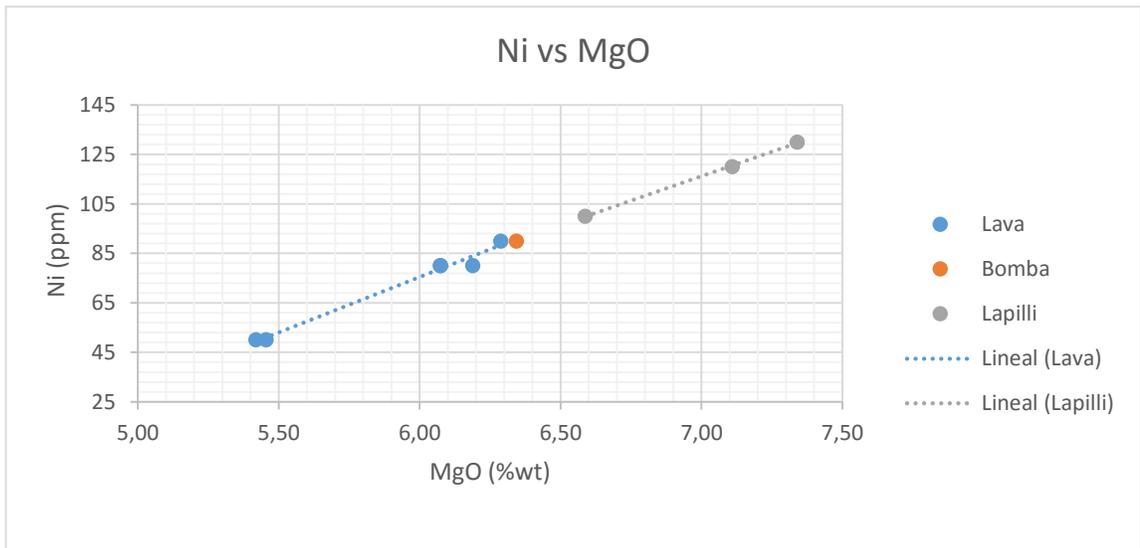


Figura 44: contenido de Ni (ppm) vs MgO (%wt.). Se observa una línea de tendencia con los distintos materiales volcánicos.

5.1.5 Diagramas Spider y Tierras raras

En general, el comportamiento de los elementos trazas y de las tierras raras en las distintas muestras del volcán Huililco es similar, ya que el patrón de las curvas es similar.

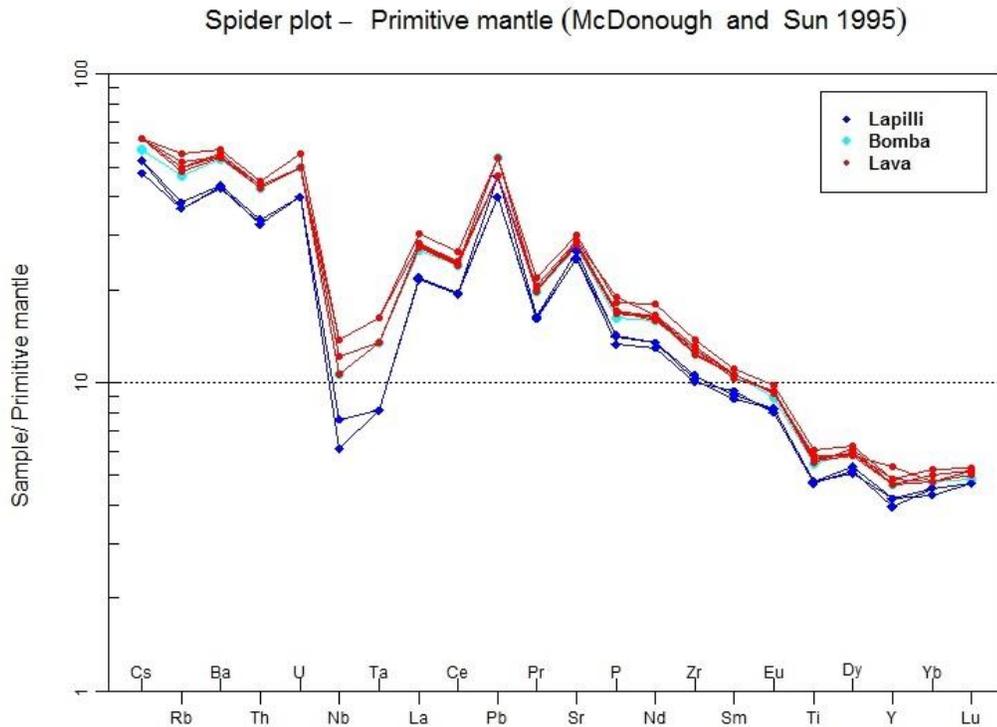


Figura 45: Diagrama spider de elementos trazas normalizado a manto primitivo. Se observa una que los depósitos de lavas y bombas se encuentran desplazados positivamente con respecto a los depósitos de caída (lapilli).

Por otra parte, existe una coherencia positiva con los resultados obtenidos en roca total de elementos mayores y trazas, ya que las lavas y bombas del sistema están enriquecidas en elementos móviles y de mayor incompatibilidad en comparación al depósito de caída tamaño lapilli (Fig. 45).

En particular se observan:

- a) Anomalía negativa de Nb y T (Fig. 45).
- b) Anomalía positiva de Pb (Fig. 45).
- c) Anomalía positiva de Sr (Fig. 45)
- d) Enriquecimiento de tierras raras livianas vs pesadas (Fig. 46)
- d) Anomalía positiva de Eu (Fig. 46).

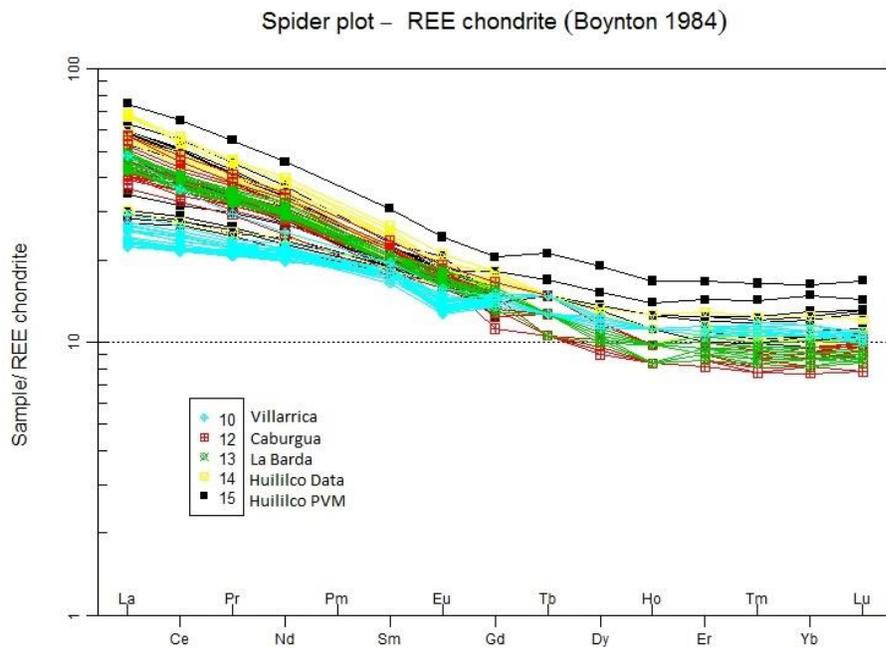
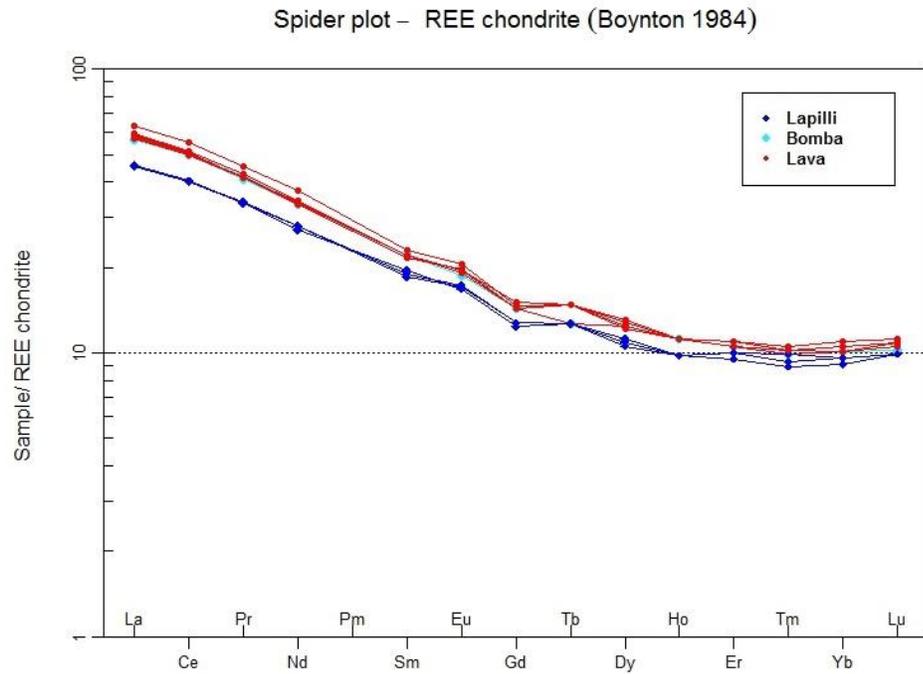


Figura 46: Diagrama de Tierras raras normalizadas a condrito. Diagrama superior muestra los puntos representativos del volcán Huillico. Diagrama inferior la comparación con centros eruptivos de la región.

5.2 Geoquímica mineral

5.2.1 Generalidades

Con el fin de identificar diferencias geoquímicas en los distintos minerales del sistema, se analizaron individualmente los cristales de 5 muestras de lava: dos con ausencia de cúmulos (PVM-04 y PVM-06) y tres con presencia de ellos (PVM-13, PVM-14 y PVM-17), ver Anexos apartado de descripciones petrográficas, para así dilucidar de mejor manera las firmas geoquímicas de cada uno de ellos.

5.2.2 Olivinos

A partir de los datos geoquímicos obtenidos con el uso de la microsonda electrónica (análisis EMPA, Anexos Tabla III), es posible observar que los olivinos del sistema poseen una variación composicional marcada generalmente desde el núcleo a los bordes (mayor porcentaje de Forsterita “Fo”) (Fig. 47).

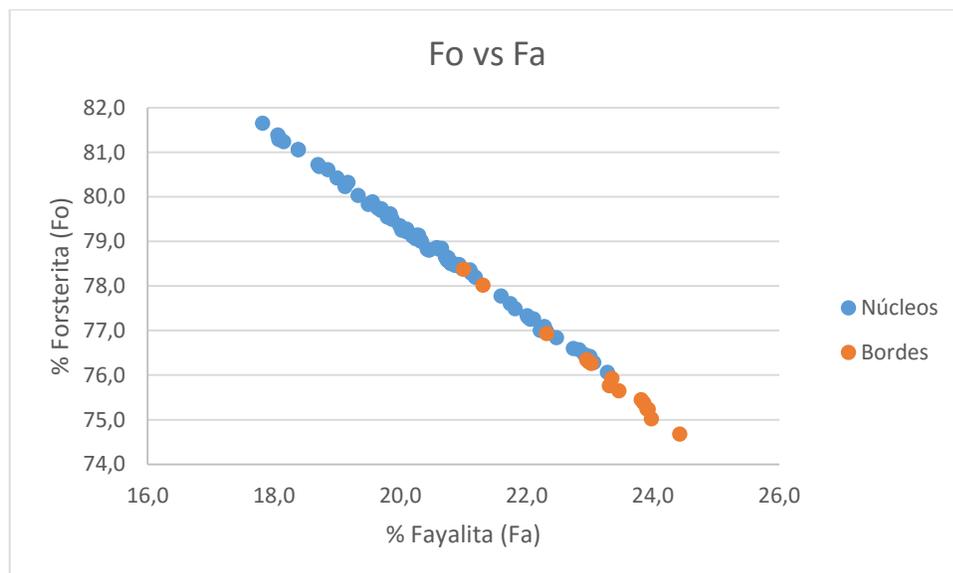


Figura 47: Diagrama binario de Olivinos. Se observan variaciones composicionales principalmente entre bordes y núcleos

Por otra parte, se graficaron diversos diagramas de elementos versus el contenido de MgO (Fig. 48 a 52), donde se obtuvieron los siguientes resultados:

- Relación directa y lineal con el contenido de SiO₂ (Fig. 48) y NiO (Fig. 51).
- Relación inversa con el contenido de FeO (Fig. 50).
- Un aumento en los porcentajes de CaO en los bordes de los olivinos con respecto a los núcleos (Fig. 52).
- Sin relación aparente con el contenido de Al₂O₃ (Fig. 49).

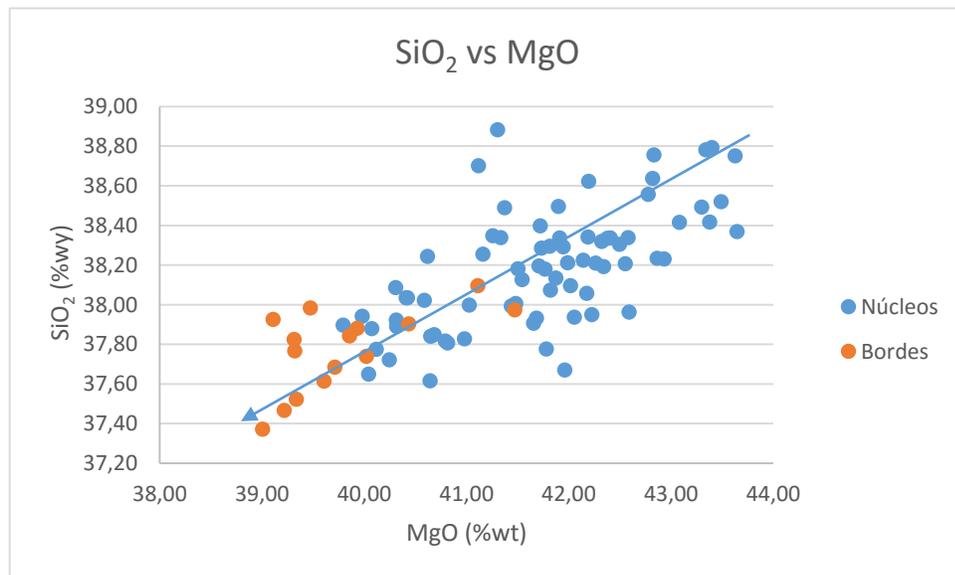


Figura 48: contenido de SiO₂ (% wt) vs MgO (%wt). Se observa una relación lineal con pendiente positiva.

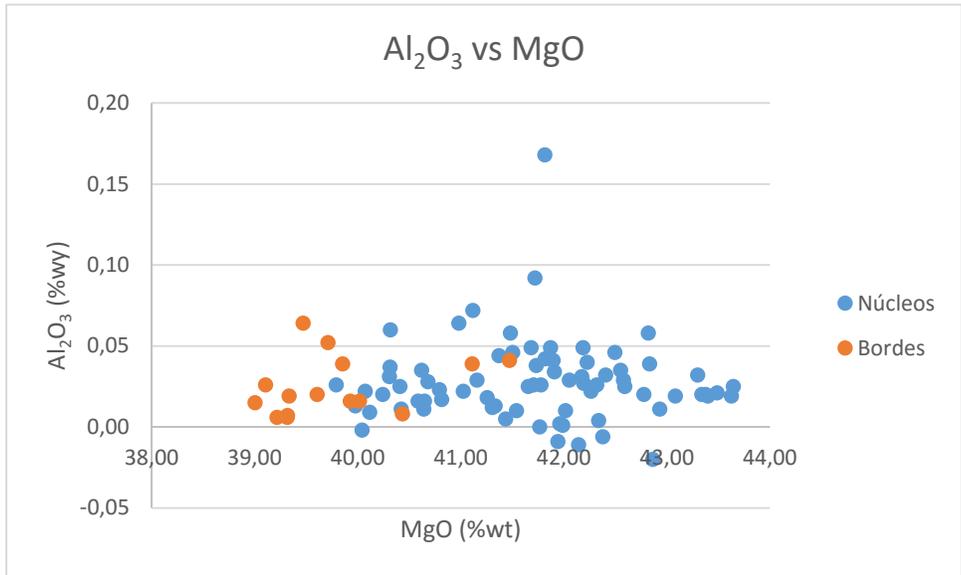


Figura 49: contenido de Al₂O₃ (% wt) vs MgO (%wt). No se observa relación.

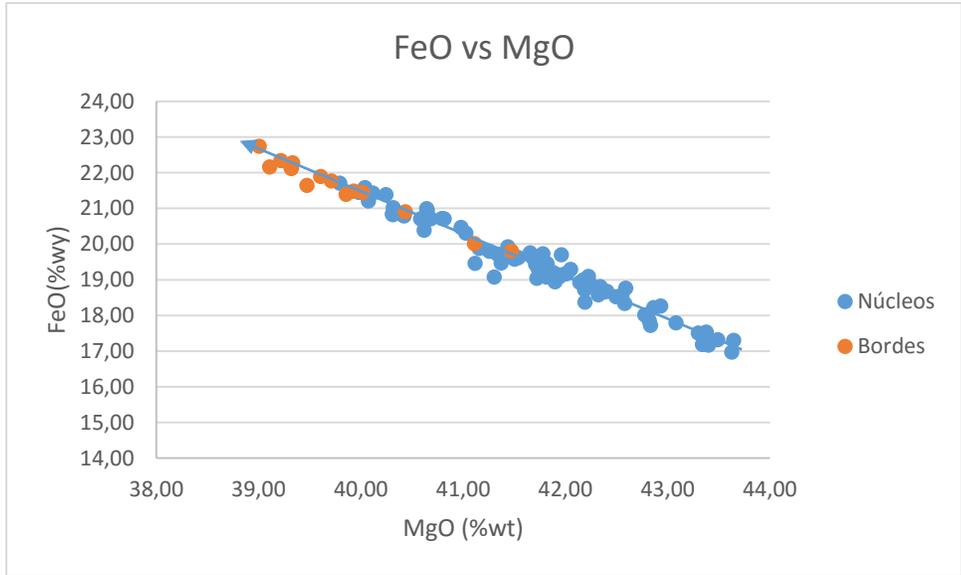


Figura 50: contenido de FeO (% wt) vs MgO (%wt). Se observa una relación inversa con pendiente negativa.

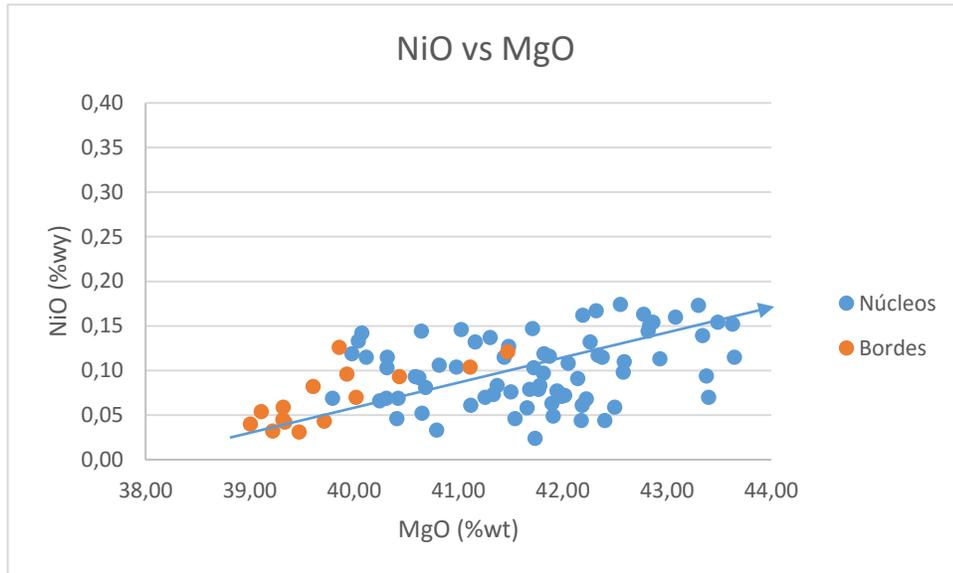


Figura 51: contenido de NiO (% wt) vs MgO (%wt). Se observa una relación lineal con pendiente positiva.

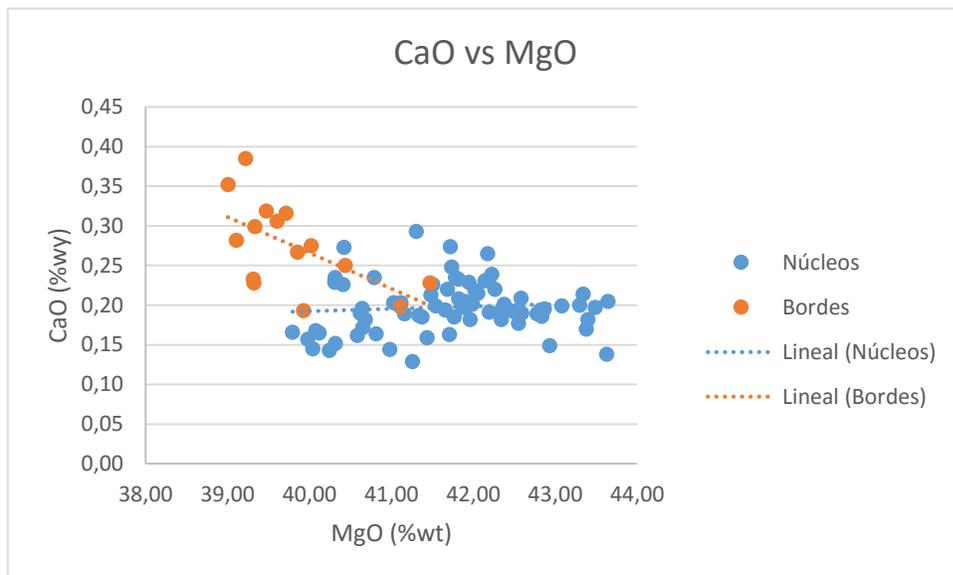


Figura 52: contenido de CaO (% wt) vs MgO (%wt). Se observa un enriquecimiento relativo de CaO en los bordes de olivinos con respecto a los núcleos.

5.2.3 Plagioclasas

A partir de los datos geoquímicos obtenidos con el uso de la microsonda electrónica, es posible observar que los fenocristales de plagioclasas del sistema poseen una alta variación composicional, marcada generalmente por las numerosas zonaciones composicionales que se observan en los cristales de las lavas del volcán Huililco (ver Anexos, descripciones petrográficas).

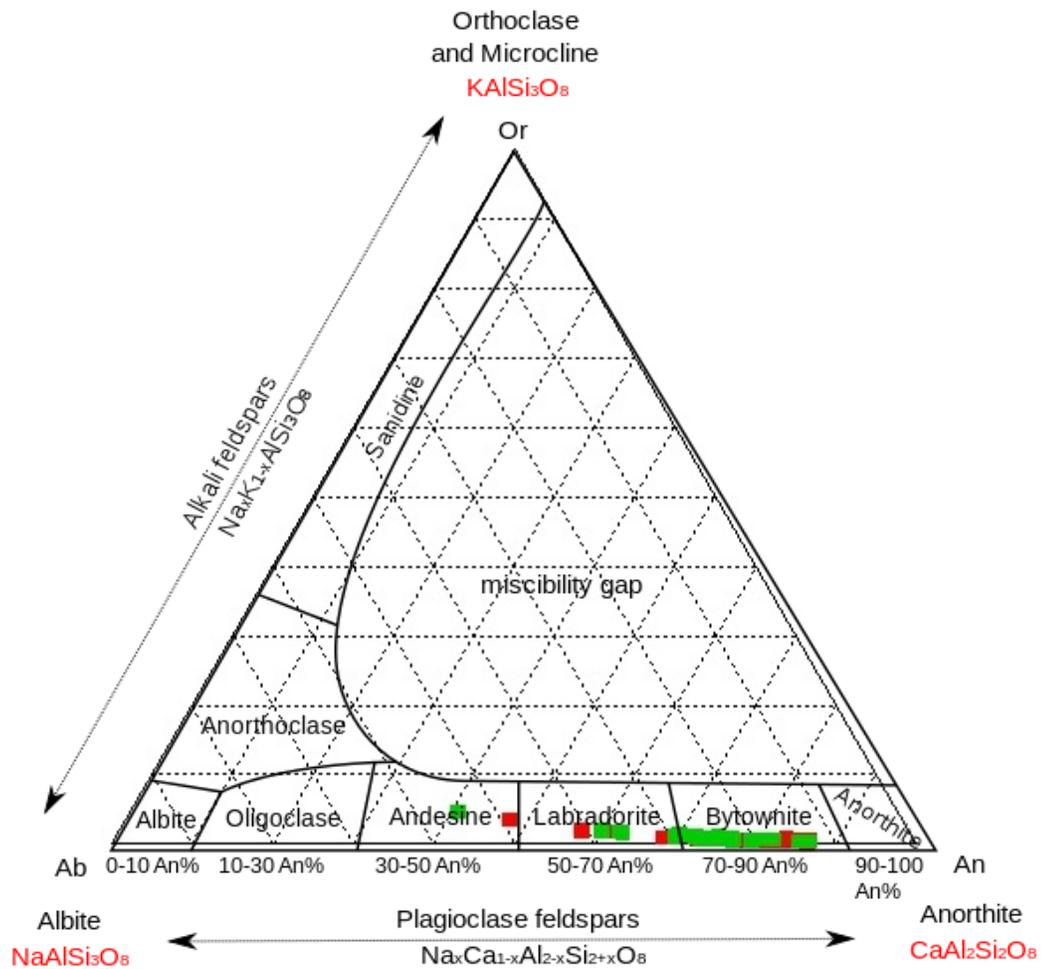


Figura 53: Diagrama Ternario de plagioclasas. Se observa una amplia variación composicional, principalmente asociada a las zonaciones presentes en los cristales. Grupo I (rojo) y Grupo II (verde)

Por otra parte, se graficaron diversos diagramas de elementos versus el contenido de CaO (Fig. 54 a 59), donde se obtuvieron los siguientes resultados:

- a) Relación inversa, con pendiente negativa, con respecto al contenido de SiO_2 (Fig. 54) y de Na_2O (Fig. 58).
- b) Relación Directa, con pendiente positiva, con respecto al contenido de Al_2O_3 (Fig. 55).
- c) Leve relación inversa con respecto al contenido de FeO (Fig. 56) y MgO (Fig. 57).
- d) Aumento exponencial de K_2O a medida que disminuye el contenido de CaO (Fig. 59).

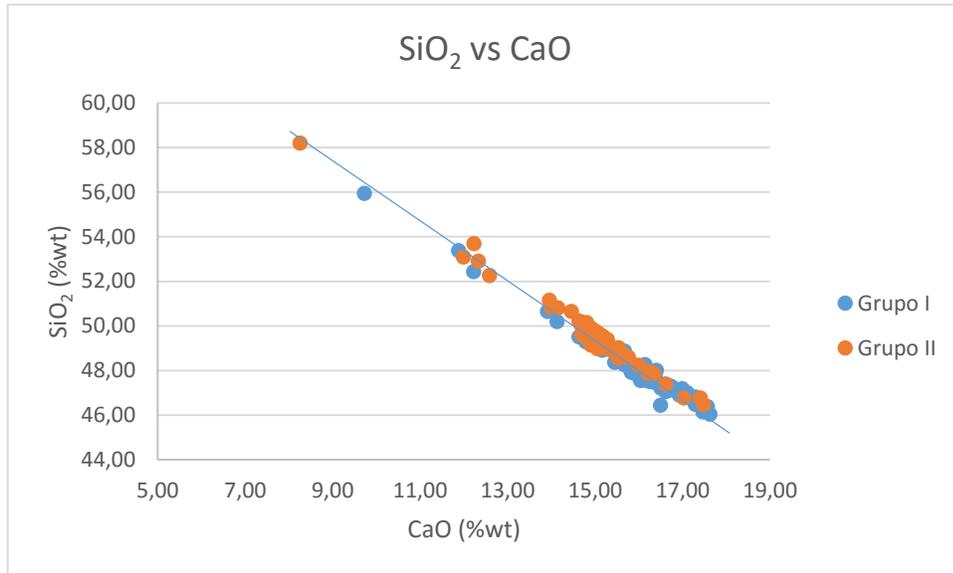


Figura 54: contenido de SiO₂ (% wt) vs CaO (%wt). Se observa una relación inversa con pendiente negativa.

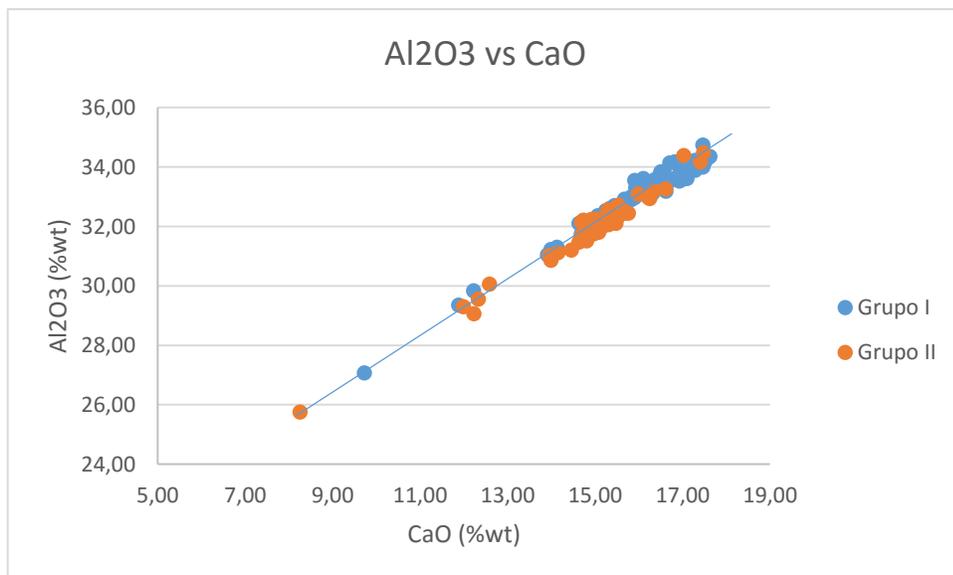


Figura 55: contenido de Al₂O₃ (% wt) vs CaO (%wt). Se observa una relación directa con pendiente positiva.

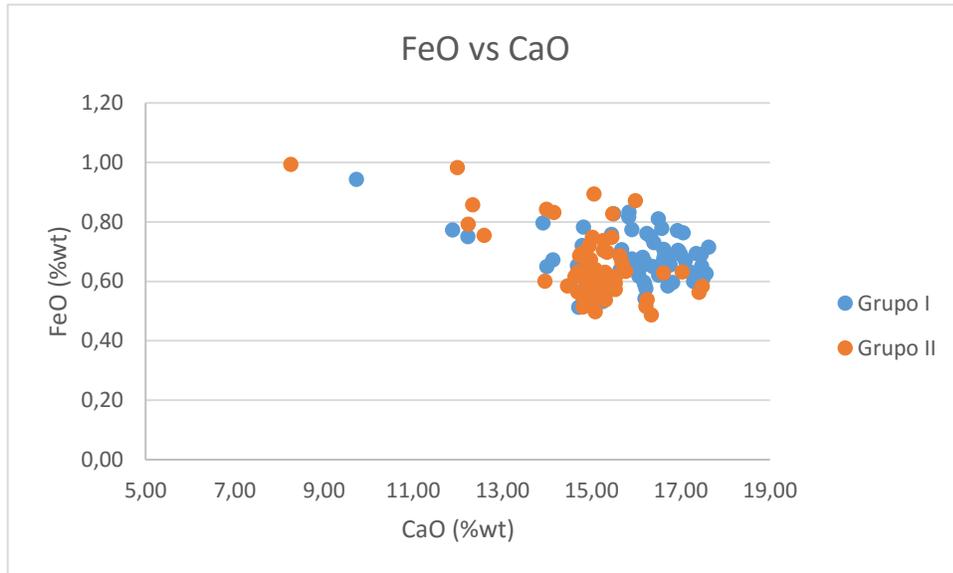


Figura 56: contenido de FeO (% wt) vs CaO (%wt). Se observa una leve relación inversa con pendiente negativa.

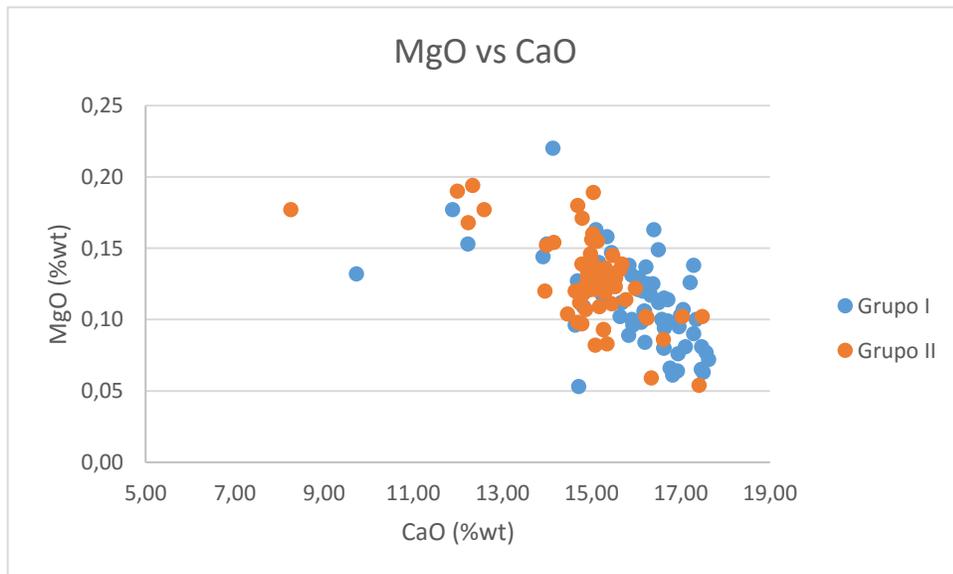


Figura 57: contenido de MgO (% wt) vs CaO (%wt). Se observa una leve relación inversa con pendiente negativa.

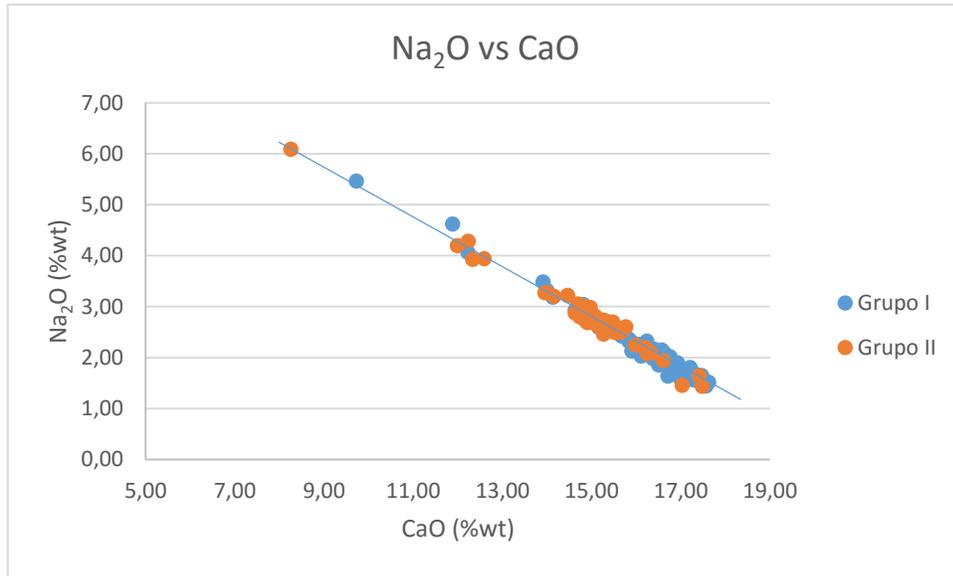


Figura 58: contenido de Na_2O (% wt) vs CaO (%wt). SE observa una relación inversa con pendiente negativa

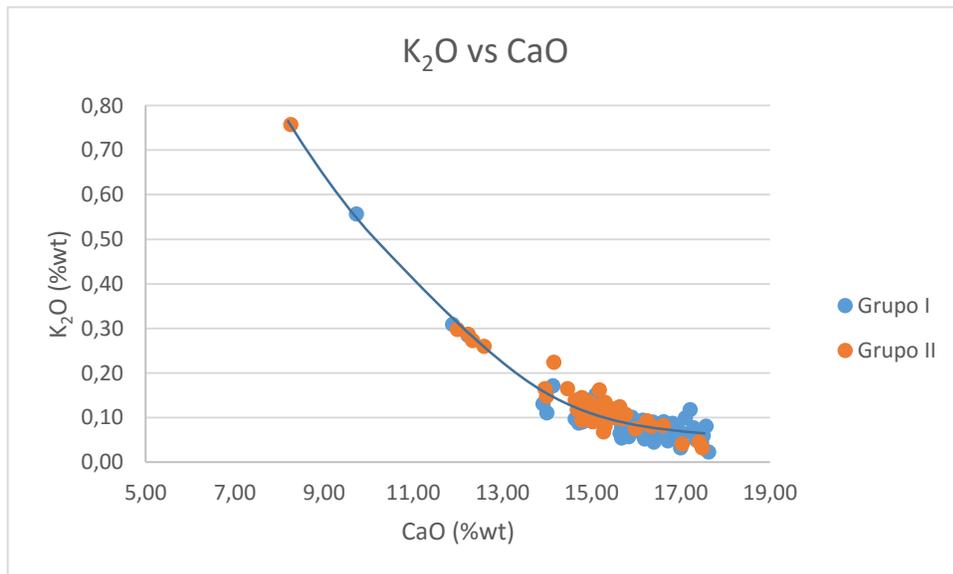


Figura 59: contenido de K_2O (% wt) vs CaO (%wt). Se observa un aumento progresivo de K_2O a medida que disminuye el porcentaje de CaO .

5.2.4 Piroxenos

A partir de los datos geoquímicos obtenidos con el uso de la microsonda electrónica, es posible observar que los piroxenos del sistema poseen variaciones composicionales marcadas, generalmente por las zonaciones observables en los fenocristales de los cúmulos de minerales presentes en algunas lavas del volcán Huililco (Capítulo 4.2). La Fig. 60 representa un diagrama ternario de clasificación de clinopiroxenos, donde se distinguen los 3 grupos de clinopiroxenos.

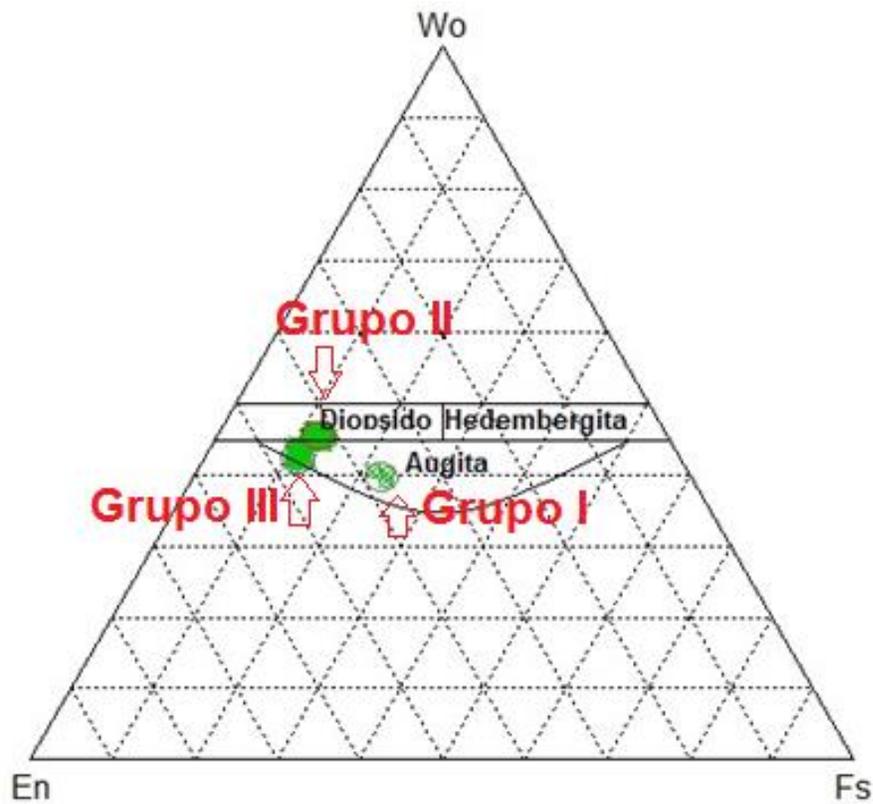


Figura 60: Diagrama ternario de piroxenos. Sistema Enstatita (En), Wollastonita (Wo) y Ferrosilita (Fs). Se observan 3 grupos de clinopiroxenos.

Por otra parte, se graficaron diversos diagramas de elementos versus el contenido de MgO (Fig. 61 a 66), donde se obtuvieron los siguientes resultados:

- a) Relación Directa con el contenido de SiO₂ (Fig. 61), no obstante, se observa un desplazamiento horizontal del Grupo I de clinopiroxenos (bordes, CPX I)
- b) Relación inversa con el contenido de TiO₂ (Fig. 62), se aprecia una pequeña tendencia exponencial con la disminución de MgO.
- c) Incremento exponencial del contenido de Al₂O₃ en relación a la disminución de MgO (Fig. 63). Se observa un desplazamiento horizontal del Grupo I de clinopiroxenos (bordes, CPX I)
- d) Relación inversa con pendiente negativa de FeO (Fig. 64) con un desplazamiento horizontal y paralelo del Grupo I de clinopiroxenos (bordes, CPX I).
- e) Se observa un incremento inicial del Ca con la disminución de MgO (Fig. 65) entre el Grupo III y II, seguido por un decremento de Ca en los clinopiroxenos del Grupo I (bordes, CPX I).
- f) Aumento del contenido de Na₂O con la disminución de MgO (Fig. 66). Se observa una leve tendencia exponencial.

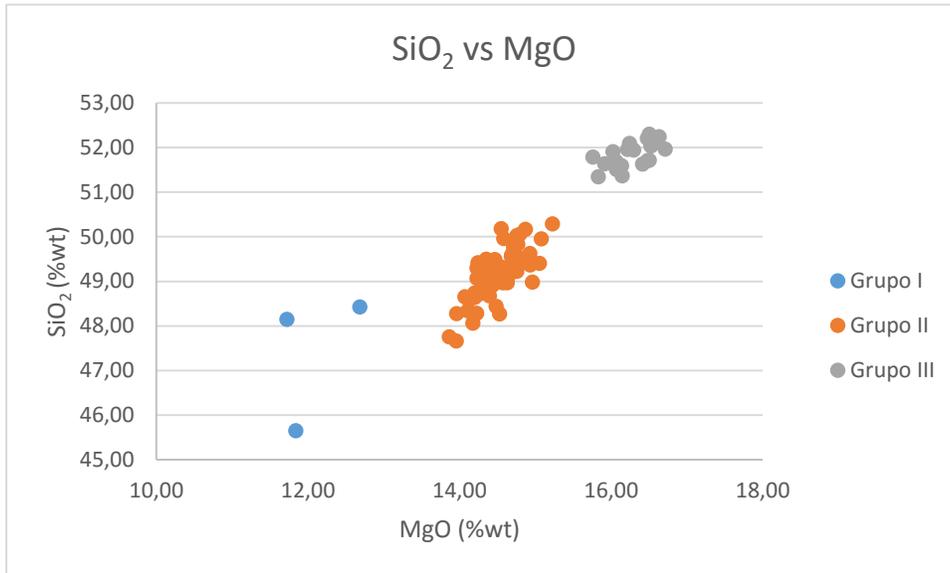


Figura 61: contenido de SiO₂ (% wt) vs MgO (%wt). Se observa una relación directa con pendiente positiva y un desplazamiento horizontal del grupo I de clinopiroxenos.

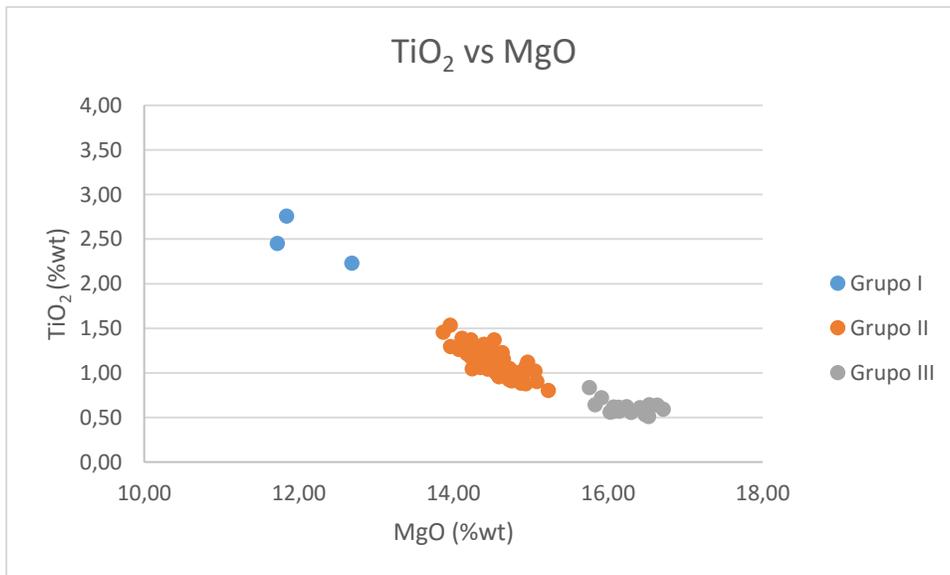


Figura 62: contenido de TiO₂ (% wt) vs MgO (%wt). Se observa una relación inversa con pendiente negativa, levemente exponencial.

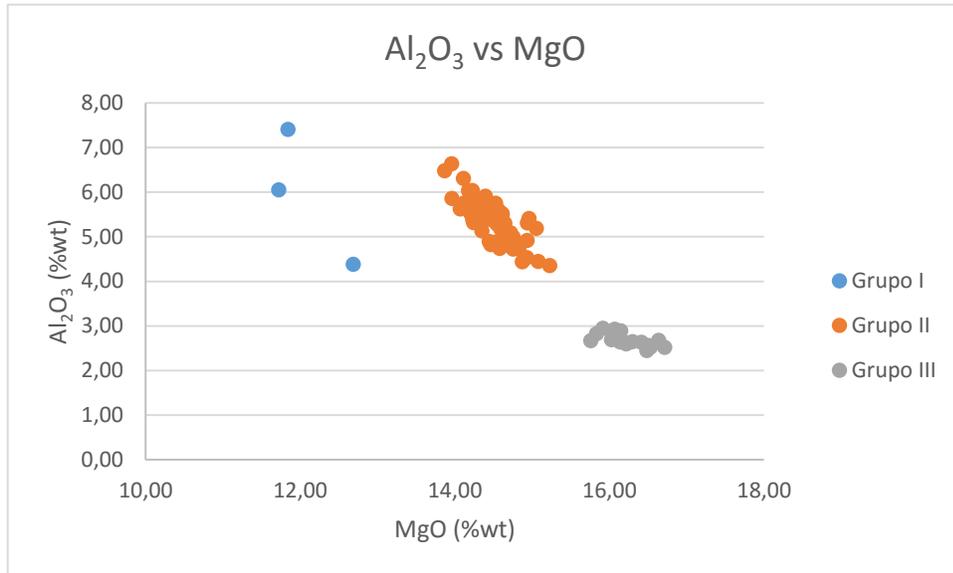


Figura 63: contenido de Al_2O_3 (% wt) vs MgO (%wt). Se observa un incremento exponencial con la disminución de MgO y un desplazamiento horizontal en los bordes de clinopiroxenos del grupo I

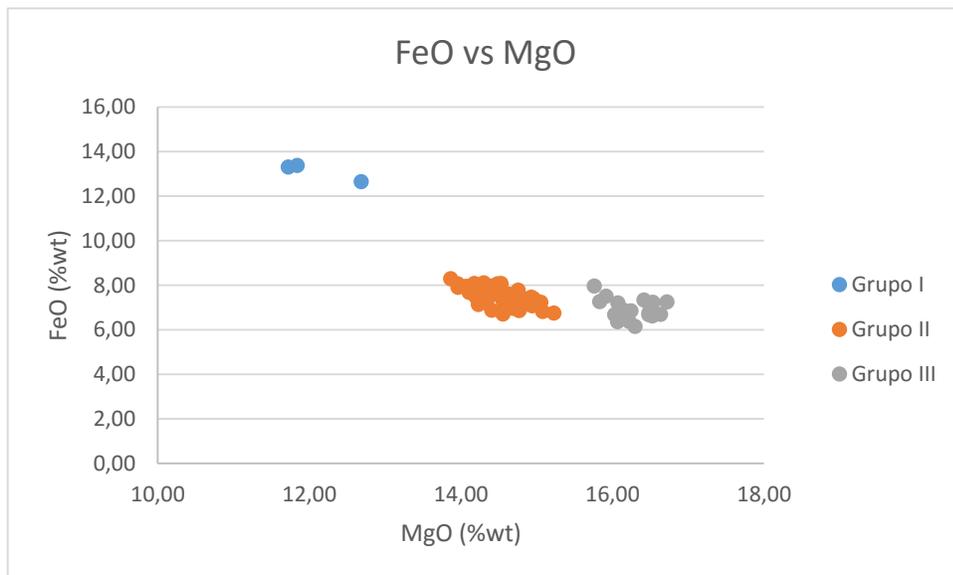


Figura 64: contenido de FeO (% wt) vs MgO (%wt). Se observan dos tendencias inversas de pendiente negativas paralelas con un desplazamiento horizontal en el Grupo I de clinopiroxenos

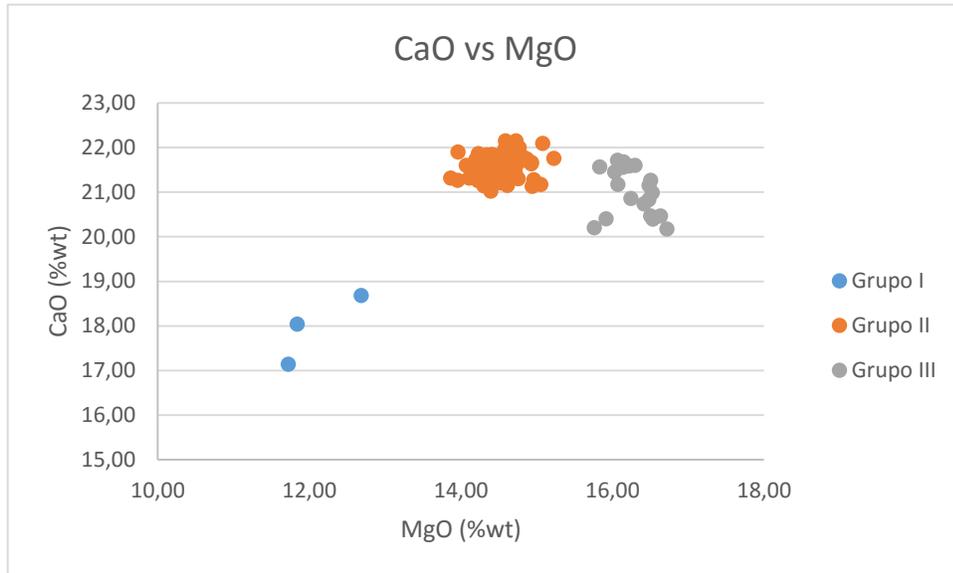


Figura 65: contenido de CaO (% wt) vs MgO (%wt). Se observa un incremento inicial del Ca con la disminución de MgO entre el Grupo III y II, seguido por un decremento en los bordes.

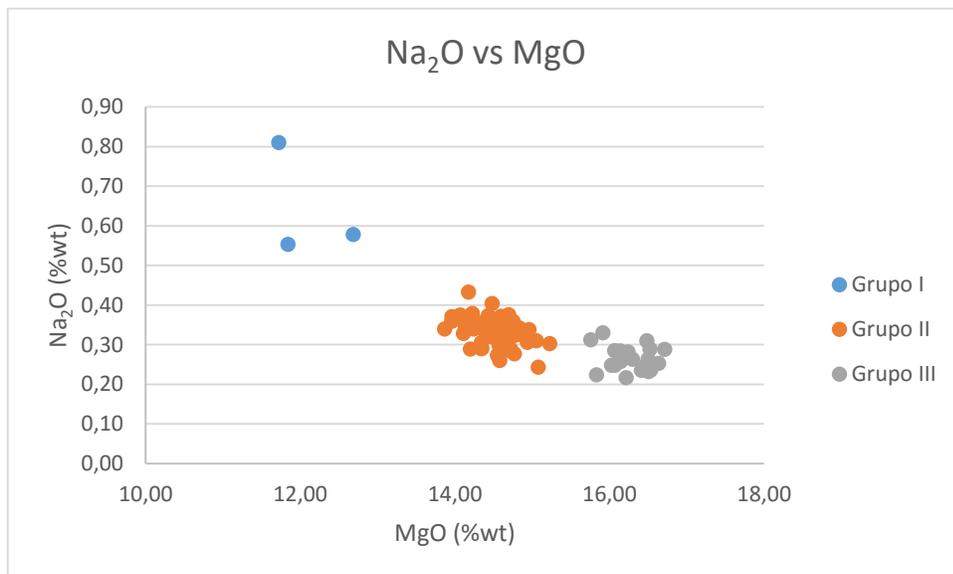


Figura 66: contenido de Na₂O (% wt) vs MgO (%wt). Se observa un aumento exponencial de Na₂O a medida que disminuye el contenido de MgO.

5.2.5 Espinelas

A partir de los datos geoquímicos obtenidos con el uso de la microsonda electrónica, es posible observar que las espinelas poseen diversas variaciones composicionales (Anexos, Tabla III). La Fig. 67 muestra un diagrama de discriminación del contenido de TiO_2 (%wt) versus el contenido de Al_2O_3 (%wt) (Kamenetsky et al. 2001), donde se observa que las espinelas se encuentran en el rango composicional de OIB (ocean island basalt) y MORB (mid-ocean ridge basalt).

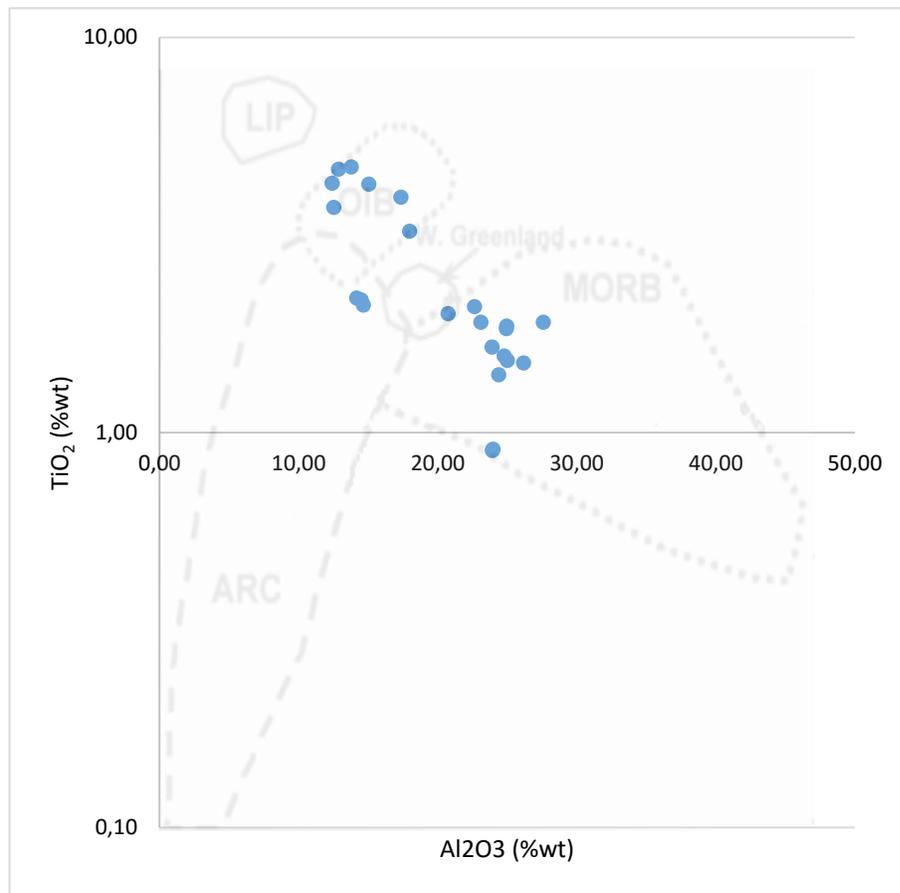


Figura 67: contenido de TiO_2 (% wt) vs Al_2O_3 (%wt). Diagrama modificado de Kamenetsky et al. 2001. Se observa que las espinelas del sistema poseen firmas de OIB (basalto de isla oceánica) y MORB (basalto mid-oceánico de ridge)

Capítulo 6: Termometría

6.1 Generalidades

Como se ha visto en capítulos anteriores, se han distinguido diferencias texturales y composicionales entre los fenocristales aislados y los cúmulos de minerales de olivino-plagioclasa-clinopiroxenos en las muestras de lava del volcán Huililco. Es por esto que es importante dilucidar cuantitativamente si estos grupos de minerales pertenecen al sistema magmático. Por otro lado, es de gran importancia distinguir las condiciones de formación de estos fenocristales, para así poder comprender de mejor manera la evolución del complejo eruptivo.

Una de las herramientas para caracterizar los estadios de formación de los minerales presentes es la Termometría mineral, la cual permite cuantificar las condiciones de temperatura (T) de distintos minerales.

Dada la mineralogía presente en los depósitos, se escogieron dos termómetros: el termómetro de Coogan et al. 2014 (olivino-espínela) para determinar la temperatura de formación algunos olivinos que presenten las condiciones adecuadas y el termómetro de Loucks 1996 para determinar la temperatura de formación de algunos pares de olivino-clinopiroxeno presentes en los cúmulos. Los datos utilizados a continuación corresponden a los resultados de análisis EPMA (Anexos, Tablas III y IV).

6.1.1 Termómetro de Coogan et al. 2014

Según Coogan et al. 2014, la temperatura de formación puede ser estimada utilizando los coeficientes de partición entre olivino y espínela, a partir de las concentraciones de Al y Cr en ambas fases.

La ecuación 1 muestra como la partición de aluminio en olivinos y espínelas permite determinar, dependiendo el Cr# ($Cr/Cr+Al$), la temperatura de equilibrio de estos pares.

Para el cálculo de ésta, se eligieron 7 pares de Olivino-Espínela de distintas muestras de lavas (5 de olivinos aislados y 2 de cúmulos respectivamente) las cuales se pueden ver en la Tabla 3.

$$T(K) = \frac{10,000}{0.575(0.162) + 0.884(0.043)Cr\# - 0.897(0.025) \ln(k_d)}$$

Ecuación 1: Ecuación de Coogan et al. 2014 “Aluminum-in-olivine thermometry of primitive basalts: Evidence of an anomalously hot mantle source for large igneous provinces”

Donde,

$$k_d = \frac{Al_2O_3^{olivine}}{Al_2O_3^{spinel}}$$

Ecuación 2: Coeficiente de Partición para el termómetro de Coogan et al. 2014

Muestra	Punto
PVM04	Olivino 9
	Espinela 1
PVM04	Olivino 9
	Espinela 2
PVM04	Olivino 10
	Espinela 3
PVM06	Olivino 19
	Espinela 4
PVM14	Olivino 2
	Espinela 4
PVM17	Olivino 6
	Espinela 1
PVM17	Olivino 6
	Espinela 2

Tabla III: Pares elegidos para termometría, mediante el método de Coogan et al. 2014. Los puntos de las muestras PVM04, PVM06 y PVM14 corresponden a olivinos aislados, mientras que los puntos de las muestra PVM17 corresponden a olivinos de cúmulos.

La tabla anterior muestra los pares olivino-espínela elegidos para el análisis de termometría utilizando la metodología propuesta por Coogan et al. 2014, los cuales pueden verse representados en las Figuras 68, 69, 70 y 71 respectivamente.

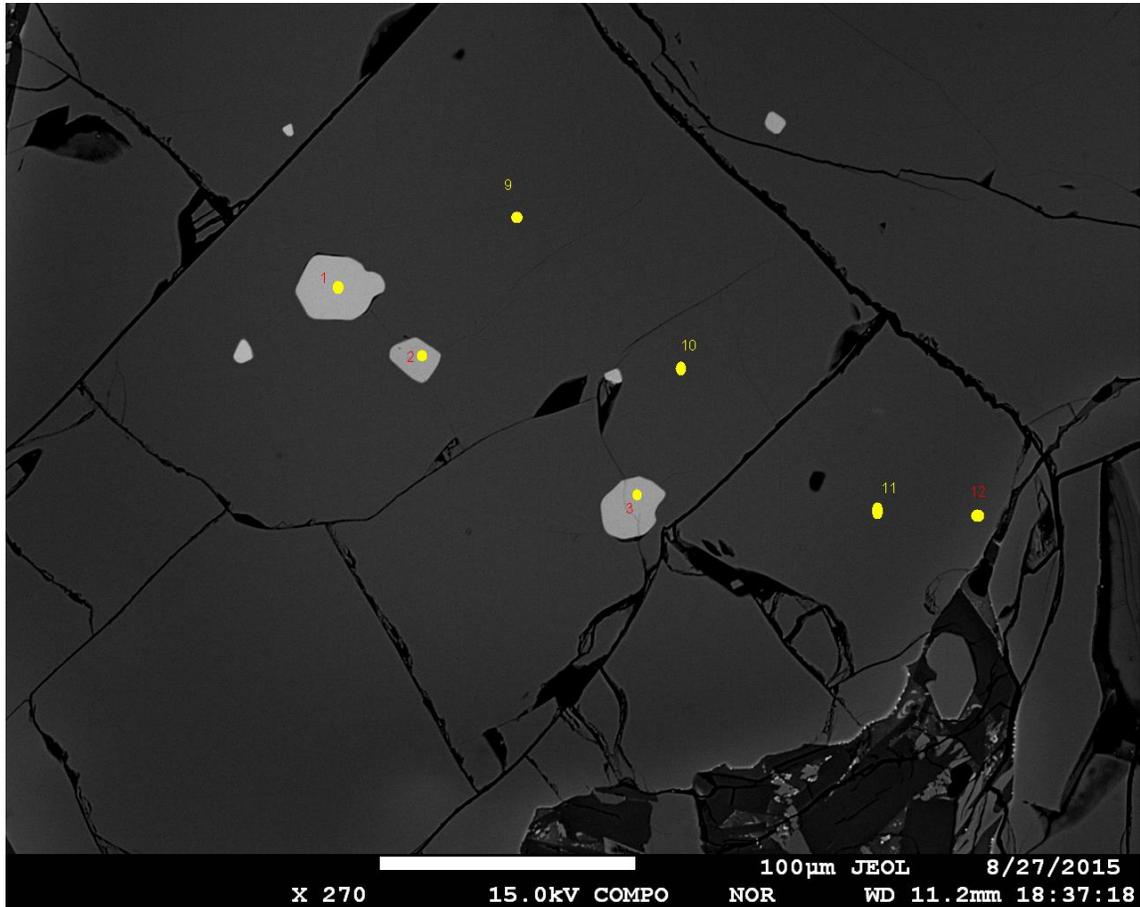


Figura 68: Microfotografía PVM-04. Se Observan los pares Sp1-OI9, Sp2-OI9, Sp3-OI10. Se observan los cristales blancos de espínela dentro de un olivino.

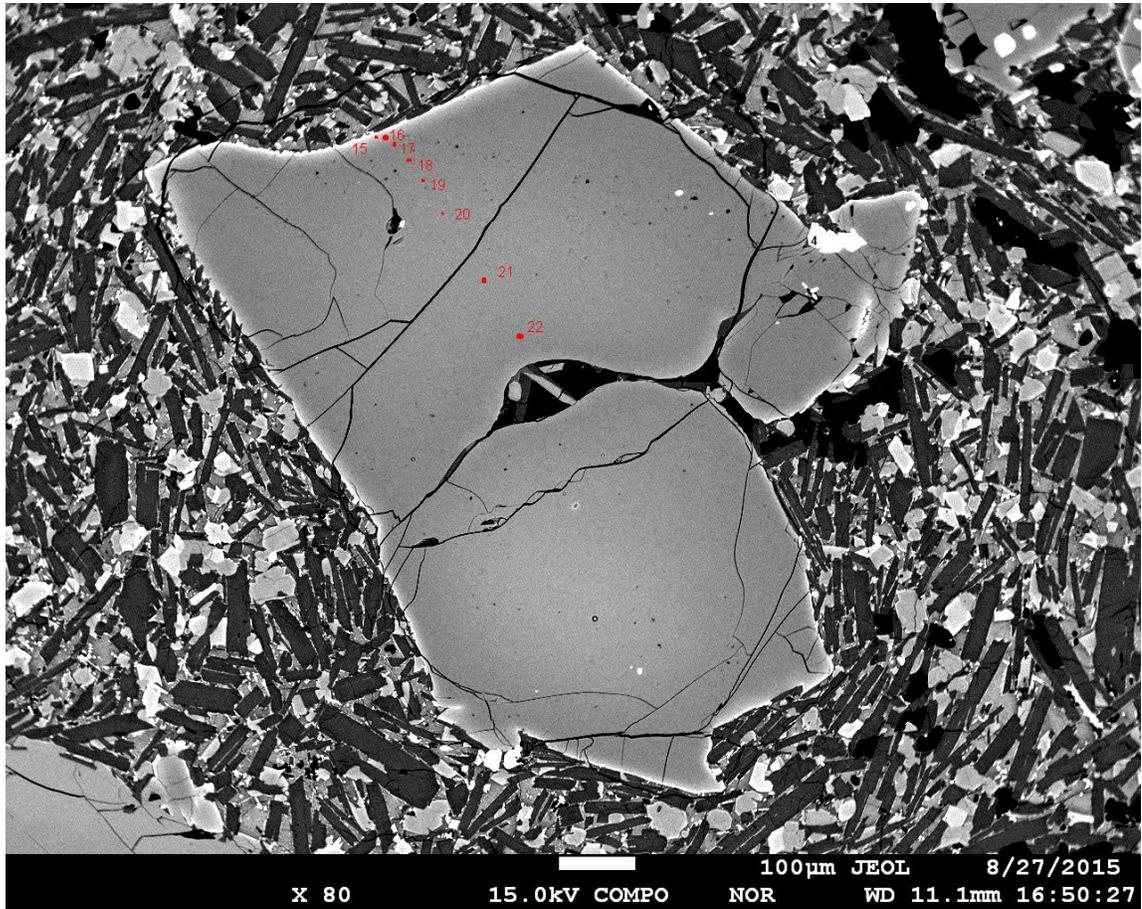


Figura 69: Microfotografía PVM-06. Se Observan el par Sp4 (negro) -Ol19 (rojo). Se escogió el punto de olivino 19 como el de mayor representatividad.

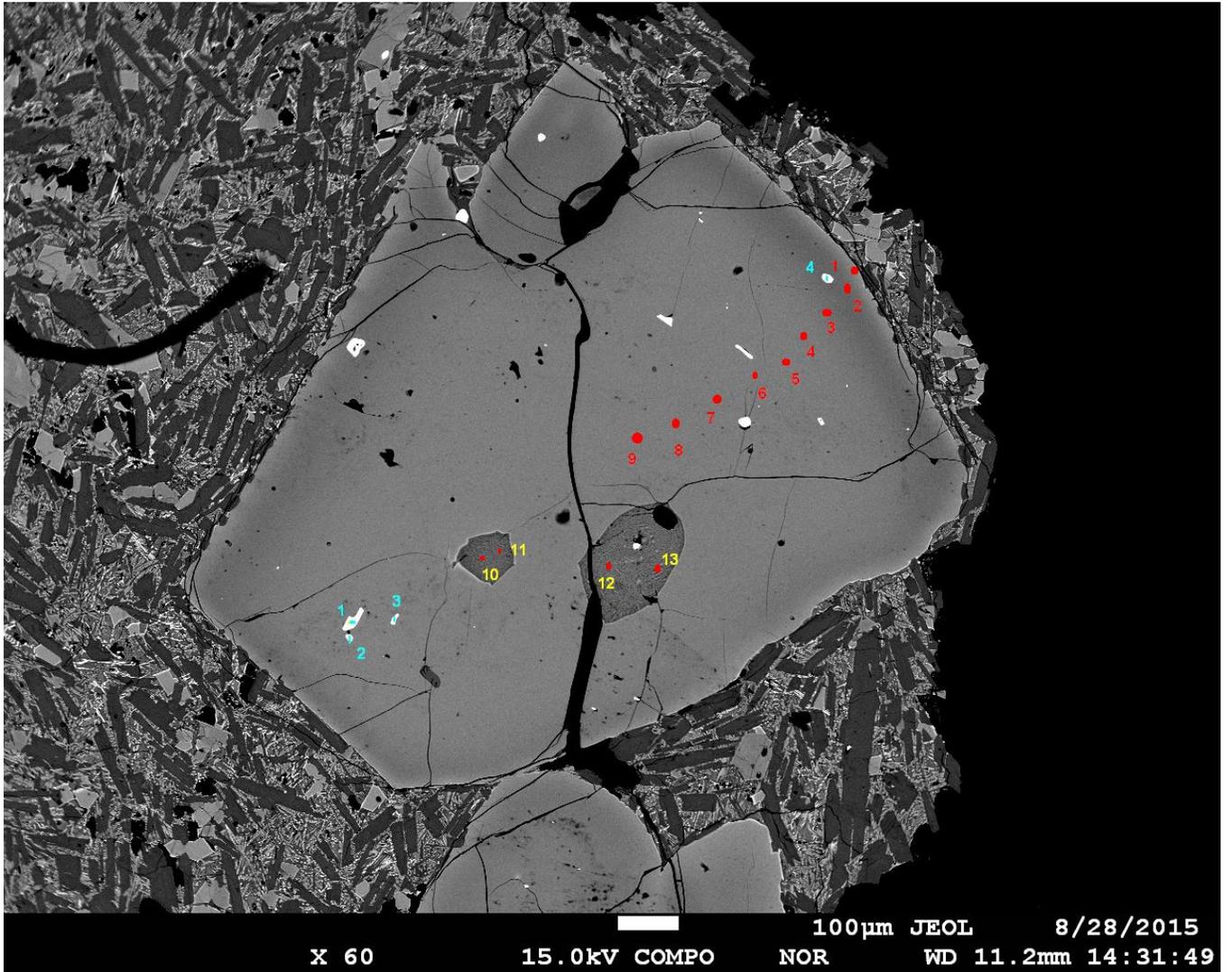


Figura 70: Microfotografía PVM-14. Se Observa el par Sp4 (celeste) – Ol2 (rojo).

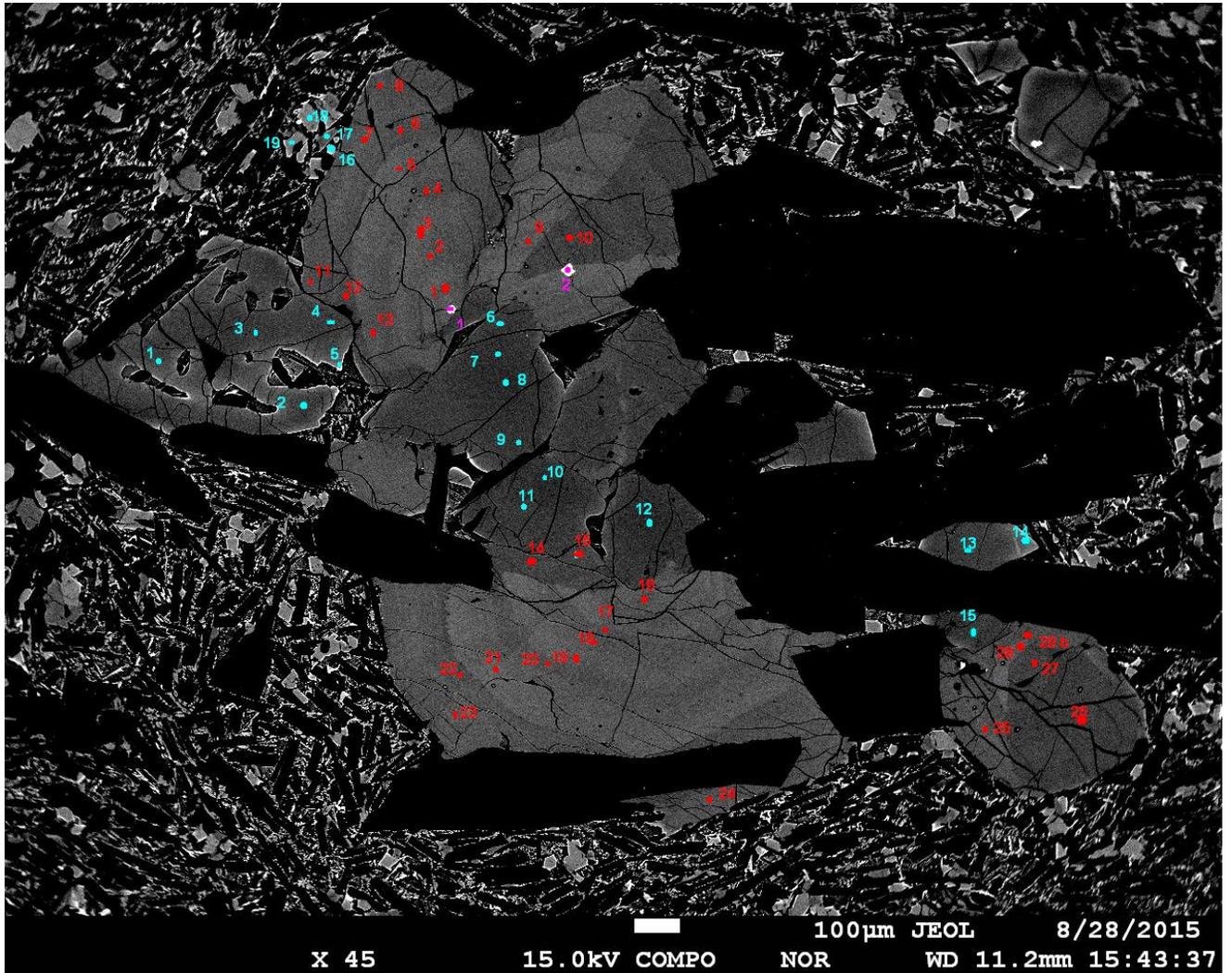


Figura 71: Microfotografía de un cúmulo de la muestra PVM-17. Se Observa el par Sp1 (morado) – Ol6 (celeste), Sp2 (morado) – Ol6 (celeste) y el par Ol11 (celeste) - Cpx14 (rojo).

6.1.2 Termómetro de Loucks 1996

Con el fin de determinar las condiciones temperatura (T) de los cúmulos de fenocristales del sistema, y dada la mineralogía de éstos (presencia de olivino-plagioclasa-clinopiroxeno), se escogió el termómetro de Loucks 1996 para determinar la temperatura de formación de algunos pares de olivinos-clinopiroxenos del sistema. En la Tabla 4 se pueden apreciar los pares de olivino y clinopiroxenos escogidos (Fig. 71 y 72).

$$\ln (K_{D_{Fe/Mg}}^{Ol/Aug}) - 78.025 = \frac{-5,945.96}{T} - 10.1327 \ln (T)$$

Ecuación 3: Ecuación de Loucks 1996: “A precise olivine-augite Mg-Fe-exchange geothermometer”

PVM 17			
Par	OI 21	Kd1	2,047
	CPX 29		
Par	OI 22	Kd2	2,343
	CPX 30		
Par	OI 11	Kd3	2,413
	CPX 14		

Tabla IV: Pares elegidos para termometría, mediante el método de Loucks 1996

Para la determinación de la Temperatura de equilibrio, es necesario que los pares Olivino – Augita se encuentren en equilibrio con el *melt* (Loucks, 1996), no obstante, se supondrá que los pares se encuentran en “equilibrio” con el fin de contrastar los resultados con el método de Coogan et al 2014.

El método se basa en la partición que tiene entre el magnesio (Mg) en los fenocristales de olivino y augita, relacionando el coeficiente de partición $K_D^{Ol/Aug}$ con la temperatura de equilibrio de ambos cristales (Ec. 3)

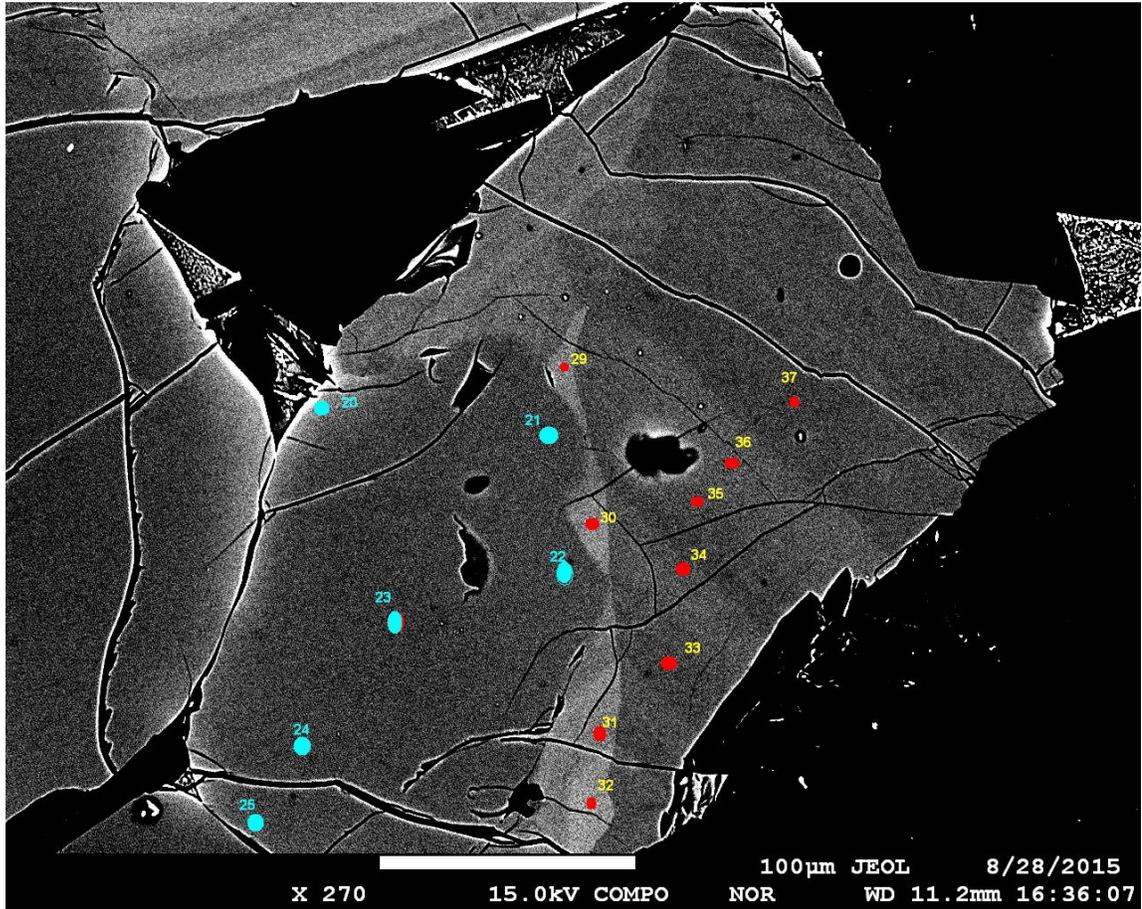


Figura 72: Microfotografía de un cúmulo de la muestra PVM-17. En particular se observan los pares de minerales Ol21 (celestes) – CPX29 (rojo) y Ol22 (celestes) – CPX30 (rojo).

6.2 Resultados

Cabe mencionar que los resultados obtenidos y los cálculos realizados utilizando el método de Coogan et al. 2014 se encuentran ampliamente detallados en la sección de Anexos, Tablas IV.

Muestra	Pares	Coefficiente			
Pvm04	Olivino 9	Kd	0,001	T (°C)	1120
	Espinela 1	Cr#	0,543	error (°C)	69
Pvm04	Olivino 9	Kd	0,001	T (°C)	1100
	Espinela 2	Cr#	0,513	error (°C)	67
Pvm04	Olivino 10	Kd	0,001	T (°C)	1146
	Espinela 3	Cr#	0,524	error (°C)	71
Pvm06	Olivino 19	Kd	0,001	T (°C)	1079
	Espinela 4	Cr#	0,508	error (°C)	66
Pvm14	Olivino 2	Kd	0,001	T (°C)	1106
	Espinela 4	Cr#	0,464	error (°C)	68
Pvm17	Olivino 6	Kd	0,000	T (°C)	758
	Espinela 1	Cr#	0,579	error (°C)	45
Pvm17	Olivino 6	Kd	0,000	T (°C)	765
	Espinela 2	Cr#	0,597	error (°C)	46

Tabla V: Resultados pares elegidos para termometría, mediante el método de Coogan et al. 2014

A partir de la Tabla 3, se pueden observar dos grupos de resultados: una temperatura cercana a los $\sim 1110 \pm 67$ °C en los olivinos aislados que no pertenecen a un cúmulo, mientras que la termometría arroja una temperatura de $\sim 762 \pm 45$ °C para los pares asociados a cúmulos de olivino-plagioclasa-clinopiroxeno.

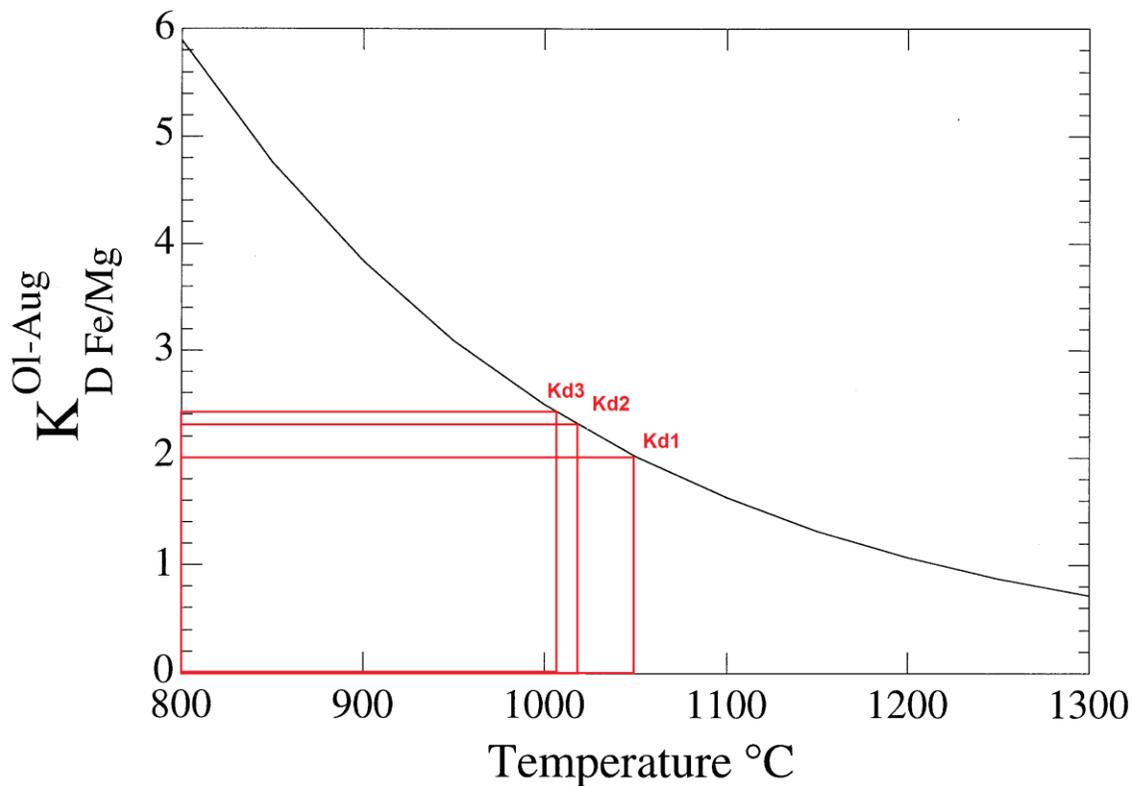


Figura 73: Curva de la Ecuación 3 (Loucks 1996) con los valores de la Tabla 4. Se observan las temperaturas de equilibrio de los 3 pares de la muestra PVM-17.

En cuanto a los resultados obtenidos utilizando el método de Loucks 1996, se puede apreciar, en la Figura 73, la relación entre los coeficientes de partición ($K_D^{Ol/Aug}$) y las temperaturas asociadas a los pares olivino-augitas de los cúmulos. Específicamente, los resultados obtenidos, utilizando la ecuación 3, son rangos de temperaturas de $\sim 1046 \pm 6$ $^{\circ}C$, $\sim 1030 \pm 6$ $^{\circ}C$ y $\sim 1010 \pm 6$ $^{\circ}C$, respectivamente, con un promedio de $\sim 1028 \pm 6$ $^{\circ}C$.

Capítulo 7: Discusiones

7.1 Morfología y depósitos volcánicos

De acuerdo a las dimensiones y morfologías descritas en la sección 3.1, el Volcán Huililco se puede clasificar como un centro eruptivo monogenético, ya que posee un volumen eruptivo es relativamente bajo, menor a 1 km^3 , en comparación a los estratovolcanes de la región (Valentine and Gregg. 2008).

La distribución de los depósitos del volcán Huililco (Fig. 3 y 15) tiene una orientación preferencial NW-SE, que se condice con la elongación preferencial EW del edificio volcánico (Fig. 11).

En cuanto a los depósitos asociados al Volcán Huililco, se puede notar que sigue un patrón común de erupciones de explosividad intermedia, desarrollando depósitos de caída, depósitos balísticos (bombas) y de flujos de lava (Fig. 15). La Fig. 74 muestra un modelo de distribución de depósitos volcánicos típicos de una erupción estromboliana, los cuales coinciden con la distribución y morfología de los depósitos del volcán Huililco. Cabe mencionar que durante la toma de muestras no se encontró evidencia de depósitos de tefra fina cercana al volcán (tamaño ceniza), lo cual puede estar asociado a una baja columna eruptiva o a un bajo fraccionamiento del material expulsado.

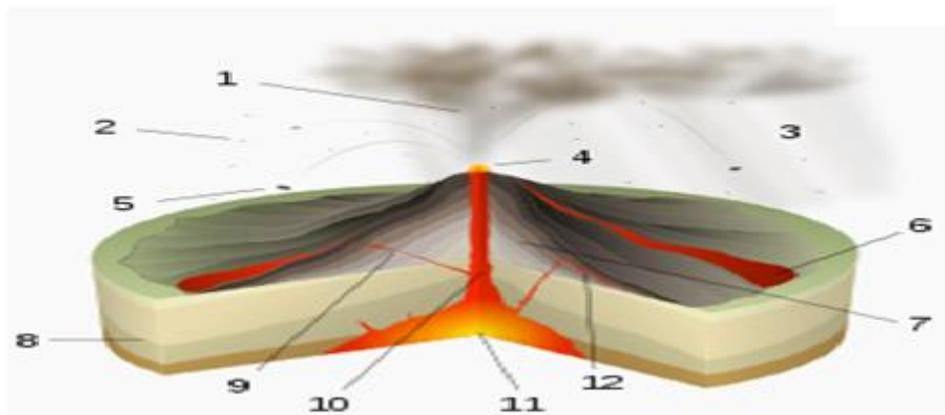


Figura 74: Modelo de distribución de depósitos volcánicos. 1 Columna eruptiva; 2 Lapilli; 3 Lluvia de cenizas; 4 Fuente de laca; 5 Bomba volcánica; 6 Colada de lava; 7 Capas de lava y ceniza; 8 Estrato; 9 Dique; 10 Chimenea; 11 Cámara magmática; 12 Lámina

En cuanto al estilo eruptivo del volcán Huililco, se postula un comportamiento mayoritariamente estromboliano, ya que la granulometría gruesa, colores negros y rojizos de los depósitos, abundancia de escoria y piroclastos gruesos (bombas), ausencia de fragmentos accidentales y escasez de matriz fina en la litofacies son una característica típica de los depósitos piroclásticos de volcanes asociados a erupciones estrombolianas (Valentine y Gregg, 2008). Dado esto, es posible asignar un índice de explosividad volcánica (IEV) de 1 a 2, típico de estilos eruptivos estrombolianos (Valentine et al., 2006; Valentine et al., 2007; Valentine and Gregg 2008).

Cabe mencionar, y dado que los depósitos flujos de lava se encuentran más proximales y hacia el techo de los depósitos (Fig. 15), que la erupción tuvo una etapa inicial marcada por un material más fragmentado principalmente de tamaño lapilli, seguida por una eyección balística de bombas y flujos de lava.

7.2 Petrología

En general, las evidencias petrológicas y petrográficas de las muestras analizadas del volcán Huililco indican que los procesos magmáticos no están conectados a un proceso de fraccionamiento simple, típico de volcanes monogenéticos. Más bien, posee indicios de procesos más complejos en su evolución y ascenso magmático, evidenciado por la presencia de texturas de desequilibrio y zonaciones composicionales.

Una marcada textura porfídica presente en todas las muestras, indica que hubo, al menos, dos estadios de cristalización (Morgado et al., 2015). Una primera etapa caracterizada por la formación de fenocristales de olivino y plagioclasas con un bajo porcentaje de nucleación y una baja tasa de enfriamiento (potenciando el crecimiento de los fenocristales), seguida por una segunda etapa, de enfriamiento más rápido y alta tasa de nucleación, donde se terminó por formar una masa fundamental rica en microlitos de plagioclasa y olivino (Anexos, tablas de descripciones petrográficas).

El elevado porcentaje de microlitos de plagioclasas, muchos de ellos orientados preferencialmente, y la presencia de vesículas elongadas, hacen de la textura traquítica un factor que sustenta la direccionalidad de los flujos de lava. Es por esto que, en primera instancia, se observan al menos dos frentes de flujos de lava que marcaron la erupción y formación de volcán Huililco (Fig. 14). Es importante reiterar que la ocurrencia de cúmulos de fenocristales de olivino-

plagioclasa-clinopiroxeno solo se encontraron en las muestras pertenecientes al flujo NE (PVM-13, PVM-14, PVM-15), por lo que es posible determinar que existieron al menos dos flujos de lava, previos a la eyección del material balístico (bombas) y de depósitos de caída (lapilli).

En general, la evidencia de desequilibrio composicional del sistema es muy notoria, especialmente marcada por las texturas de desequilibrio magmático presentes en la mayoría de los fenocristales de las muestras. La primera de ellas es la textura de reabsorción que se observa en fenocristales de olivino, plagioclasas y clinopiroxenos (en los cúmulos), lo cual sugiere la participación de procesos magmáticos capaces de aumentar la temperatura del fundido, disolver parcialmente los bordes de algunos cristales, y por consiguiente, cambiar la composición original de los magmas que dieron origen a estas rocas. Por otra parte, la despresurización también puede explicar la reabsorción de algunos fenocristales que crecieron en condiciones más profundas, obligándolos a adaptarse al cambio composicional.

Por otra parte, la presencia de zonaciones, en gran parte de los fenocristales de plagioclasa y clinopiroxenos, sugiere que esos cristales sufrieron un cambio gradual en la composición de su fase fundida, producto principalmente por las variaciones en las condiciones de equilibrio para la cristalización de esos minerales. En particular, el Grupo I de plagioclasas descritas en el capítulo 4 presenta zonaciones de carácter normal, acorde a una tasa de enfriamiento lenta (pero no tan lenta como para cristalizar en equilibrio magmático) y a un cambio constante en las condiciones de cristalización. Esto último sugiere que el magma, en su primera fase de cristalización, debió reequilibrarse paulatina y constantemente, controlada por la disminución de la temperatura del sistema, por un ascenso magmático (despresurización) o ambos. En cambio, el Grupo II de plagioclasas, tiene una zonación normal/inversa/normal, por lo que sugiere que cristalizaron en periodos temporales diferentes y no son co-genéticos. Una de las formas de explicar esta diferencia es que los cúmulos no son parte del sistema magmático, siendo xenolitos de la fuente o “antecristales” reciclados de otros magmas que no comparten la misma historia de cristalización, ya que las composiciones y texturas son muy distintas a las plagioclasas del Grupo I.

Otra de las evidencias claras de desequilibrio magmático es la presencia de la textura sieve, localizada principalmente en los núcleos de las plagioclasas del Grupo I. Este fenómeno puede deberse principalmente a dos factores: 1) un brusco cambio composicional (mezcla de magmas o sobrecalentamiento de sistema) que reabsorba parte de los cristales o 2) por una rápida descompresión de un magma saturado en plagioclasas desde la profundidad de formación del núcleo del cristal hacia una profundidad más somera (una especie de “reservorio

magmático”) que permita la cristalización de los bordes de las plagioclasas que no presentan textura sieve (Nelson, S.T., and Montana, A., 1992).

Tomando en cuenta la evolución textural del sistema, se sugiera una evolución magmática en tres etapas de cristalización:

Etapas I: La textura porfídica dominante nos indica que existió una primera fase de formación y crecimiento de los fenocristales mayores, los primeros fenocristales del sistema, con un bajo porcentaje de nucleación y alto crecimiento. Se puede inferir que en esta etapa la tasa de enfriamiento es muy baja, ya que fomenta el crecimiento de los primeros cristales. Se crean los primeros olivinos y plagioclasas de composiciones más primitivas (núcleos).

Etapas II: Desequilibrio composicional generalizado, los fenocristales más sensibles se reequilibran con el nuevo entorno (texturas de reabsorción) y formación de la textura sieve, seguida por una cristalización en constante desequilibrio que produce las zonaciones en las plagioclasas (pequeños reservorios de reequilibrio). Se infiere que la formación de la textura sieve es anterior al desequilibrio composicional escalonado, ya que afecta principalmente a los núcleos de las plagioclasas del Grupo I y no a las demás zonaciones. Otra explicación sería una despresurización brusca (formación de la textura sieve) a una profundidad más somera y posterior ascenso magmático escalonado que forme las zonaciones en los cristales de plagioclasa.

Etapas III: Rápido ascenso magmático y alta tasa de enfriamiento, lo que implica una alta nucleación y un bajo crecimiento de cristales, produciendo la textura porfídica con una masa fundamental rica en microlitos de plagioclasa, seguida por el evento eruptivo y formación de la textura traquítica producida por el movimiento de los flujos de lava.

7.3 Geoquímica

Geoquímicamente, el volcán Huililco tiene un contenido de sílice (SiO_2) ~53%, levemente mayor a los centros eruptivos monogenéticos de la región y al volcán Villarrica (Fig. 26), estando fuera de la clasificación de volcán monogenético (Valentine and Gregg. 2008), de composición andesita basáltica, signatura calcoalcalina (Fig. 27) y de ambiente de arco continental (Fig. 28), típico de la ZVS.

En general, y según lo descrito en el punto 5.1, las firmas geoquímicas de las lavas y capa de bombas, en comparación con los depósitos de tefra (lapilli),

sugieren una mayor evolución magmática (menor contenido de MgO y CaO; mayor contenido de K₂O, Na₂O y P₂O₅), lo cual podría estar asociado a un mayor tiempo de residencia o mayor asimilación cortical. Esto puede deberse principalmente a que los piroclastos de menor tamaño ascendieron con mayor rapidez que las lavas, las cuales pudieron enriquecerse de elementos incompatibles por contaminación cortical.

Cabe destacar que los depósitos del volcán Huililco están en cercanía de granitos de la era Terciaria (Hickey-Vargas et al. 1989, Fig. 3), los cuales pueden ser un factor principal en la contaminación cortical.

Por otra parte, y para poder discutir y contrastar las firmas geoquímicas del volcán Huililco con los demás centros eruptivos de la región (Cabargua, La Barda y Villarrica), se confeccionaron diagramas geoquímicos que permitan mostrar sus similitudes y diferencias. También se incorporó una tendencia cualitativa, denominada “mezcla”, que representan las distintas composiciones del resultado entre una mezcla ponderada (en intervalos de 5%) de la muestra más primitiva del volcán monogenético Cabargua y una muestra de un granito perteneciente al basamento del volcán San Jorge (Fig. 7), que al igual que el Volcán Huililco, no pertenece a un complejo monogenético, es decir, son centros eruptivos relativamente aislados (Fig. 75 a 81). Esta modelación

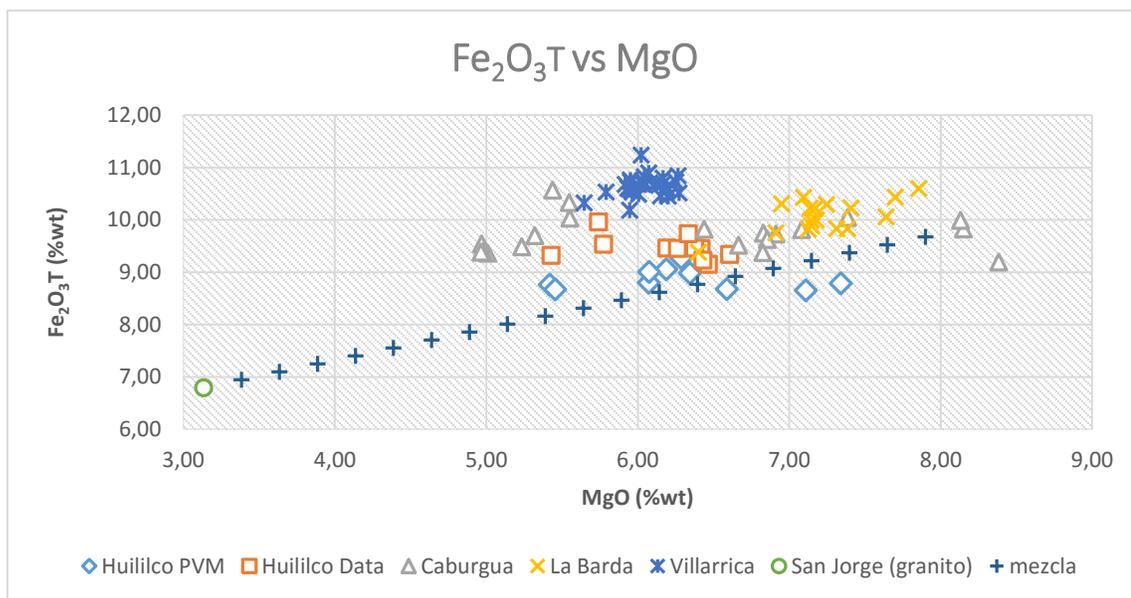


Figura 75: Diagrama Fe₂O₃T (%wt) vs MgO (%wt). Se observa que los productos del volcán Huililco poseen un menor contenido de Fe₂O₃T con respecto a los otros centros volcánicos.

simple no considera los efectos de los coeficientes de partición de cada elemento, no obstante, y sabiendo que los proceso de mezcla y contaminación son más

complejos, es una aproximación cualitativa a la hora de analizar los efectos de contaminación cortical, especialmente influenciada por los granitos terciarios de esta región, y que en particular sobre los efectos que tiene en los depósitos del volcán Huililco.

Se puede observar que el contenido de $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$ es menor en los depósitos del volcán Huililco, de 8,8% a 9,1% de wt, en comparación a los otros centros eruptivos, de 9,4% a 11,2%, reafirmando que los depósitos del volcán Huililco han sufrido mayores procesos de evolución (Fig. 75).

En cuanto al contenido de K_2O , se puede apreciar un enriquecimiento considerable en los materiales del volcán Huililco, de 0.88% a 1.24% wt, en comparación a los 0.5% a 0.65% de los otros centros eruptivos, es decir casi el doble (Fig. 76). Lo mismo se puede afirmar acerca el contenido de Rb, de 22 a 34 ppm, en contraste a los 11 a 15 ppm de los otros centros eruptivos (Fig. 77). Ambos elementos son incompatibles (LILE: large ion lithophile elements) y sus respectivas tendencias coinciden con la línea de “mezcla”. Esto último sugiere que el magma que generó el volcán Huililco pudo haber sufrido una contaminación cortical, controlada por los granitos terciarios de la región.

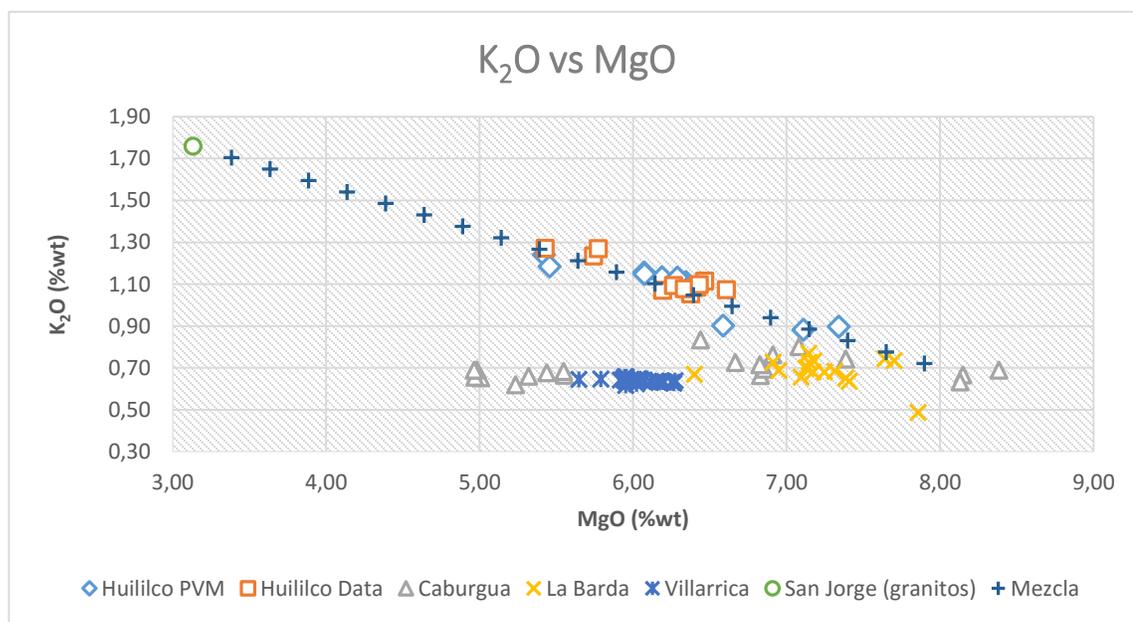


Figura 76: Diagrama K_2O (%wt) vs MgO (%wt). Se observa una mayor concentración de K_2O para los productos del volcán Huililco. Cualitativamente, la tendencia los productos del volcán Huililco coinciden con la línea de mezcla para el K_2O .

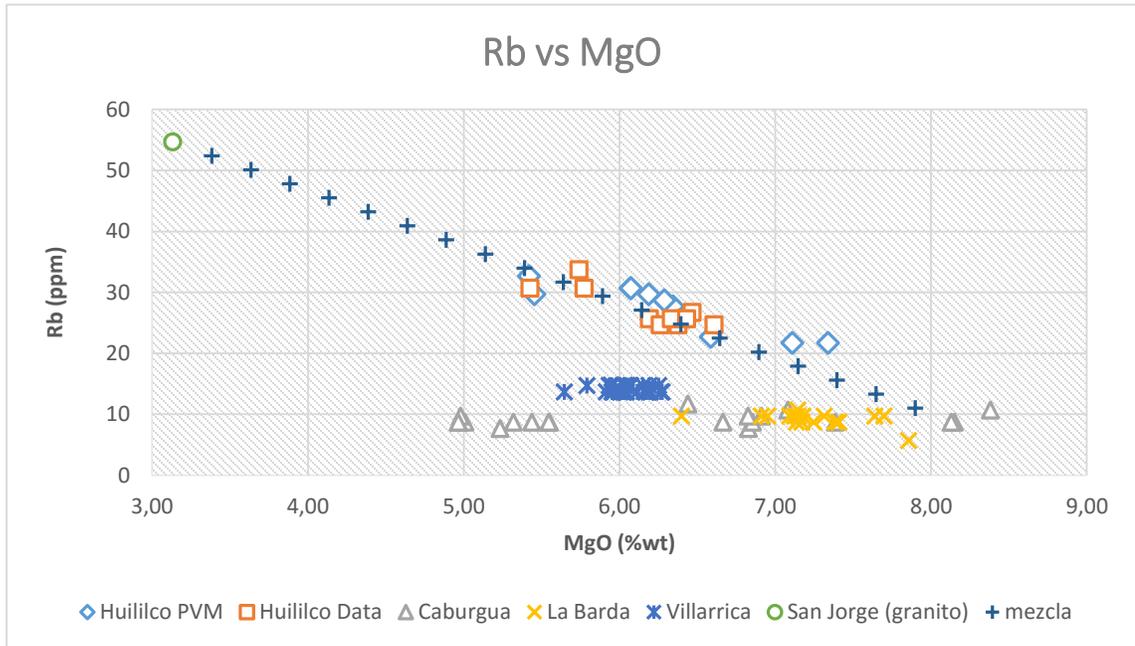


Figura 77: Diagrama Rb (ppm) vs MgO (%wt). Se observa una mayor concentración de Rb para los productos del volcán Huililco, en comparación a los otros centros eruptivos. Cualitativamente, la tendencia los productos del volcán Huililco coinciden con la línea de mezcla para el Rb.

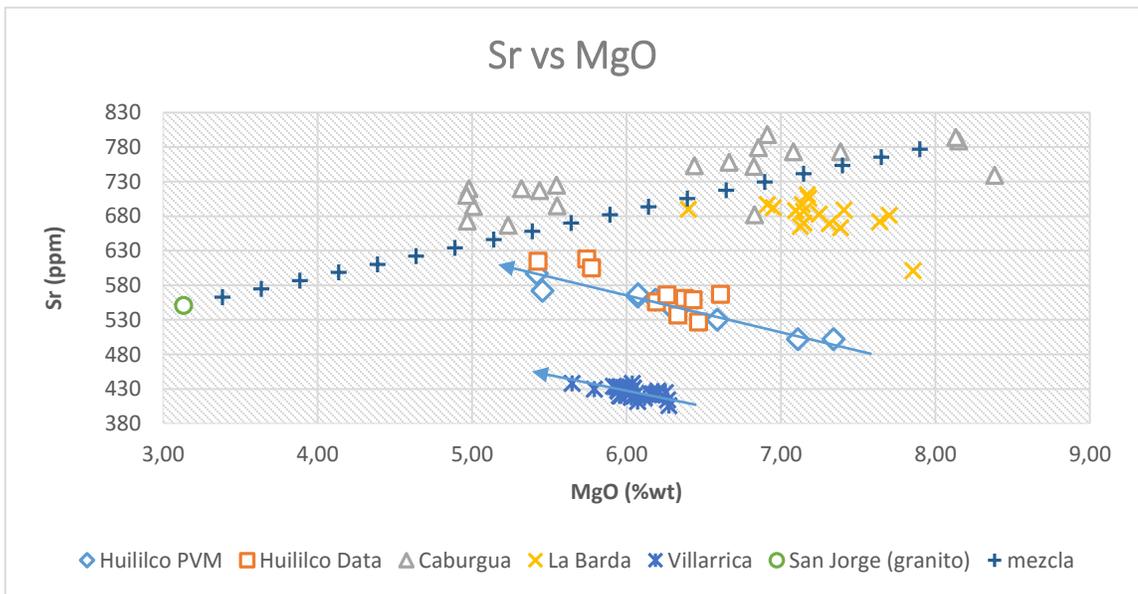


Figura 78: Diagrama Sr (ppm) vs MgO (%wt). Los productos del volcán Huililco tienen una pendiente similar (negativa) a la del estratovolcán Villarrica, contraria a la tendencia de Caburgua, que se asemeja a la tendencia de la mezcla.

Otro de los mecanismos que controla la evolución de un magma y el incremento de los elementos incompatibles es la cristalización fraccionada. Es por esto, que se confeccionaron 3 diagramas composicionales de K_2O , Na_2O y CaO vs SiO_2 , a los cuales se les integró los vectores de cristalización fraccionada de plagioclasas (Pg) y olivino (Ol) hasta un 9% (Fig. 79, 80 y 81 respectivamente), los cálculos se encuentran en Anexos, tablas complementarias. Si bien el aumento en concentración K_2O en los materiales del volcán Huililco tiene una tendencia similar al vector de cristalización de olivino, no explica el “desplazamiento vertical” o las mayores concentraciones con respecto a los otros centros eruptivos (Fig. 79). Por otro lado, los efectos de la cristalización fraccionada de olivino y plagioclasa son prácticamente nulo con respecto a las concentraciones de Na_2O y CaO (Fig. 80 y 81). Por ende, este mecanismo no permite explicar la evolución que tienen los depósitos del volcán Huililco con respecto a los otros centros eruptivos de la región.

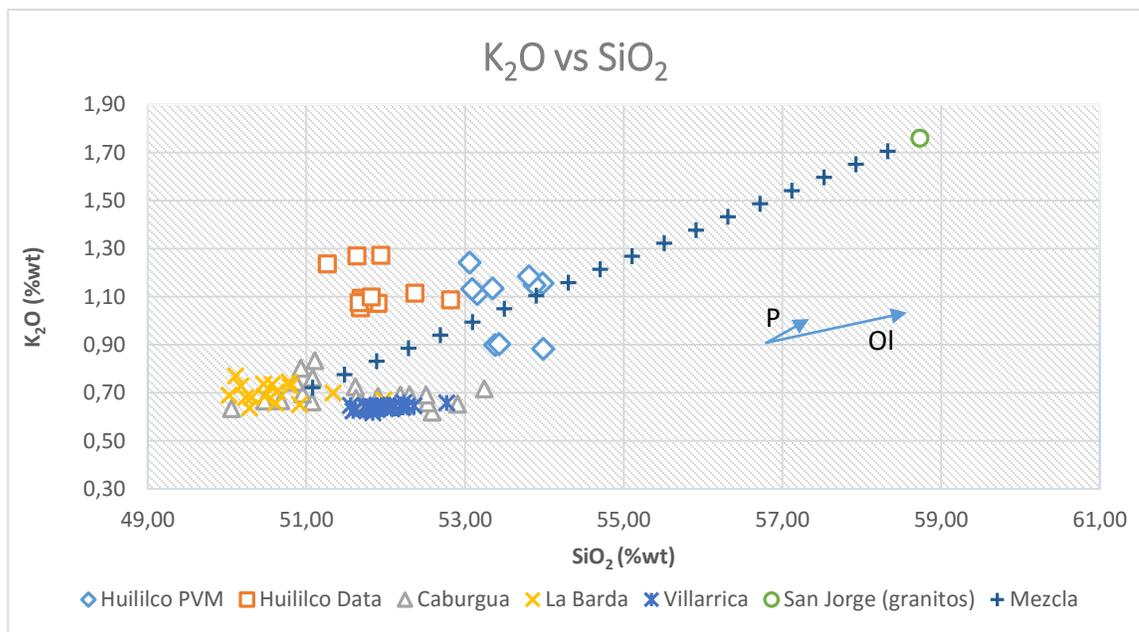


Figura 79: Diagrama K_2O (%wt) vs SiO_2 (%wt). Se observa una mayor concentración de K_2O en las muestras del volcán Huililco en comparación a los otros centros eruptivos y también una tendencia que condice con la cristalización fraccionada de olivino.

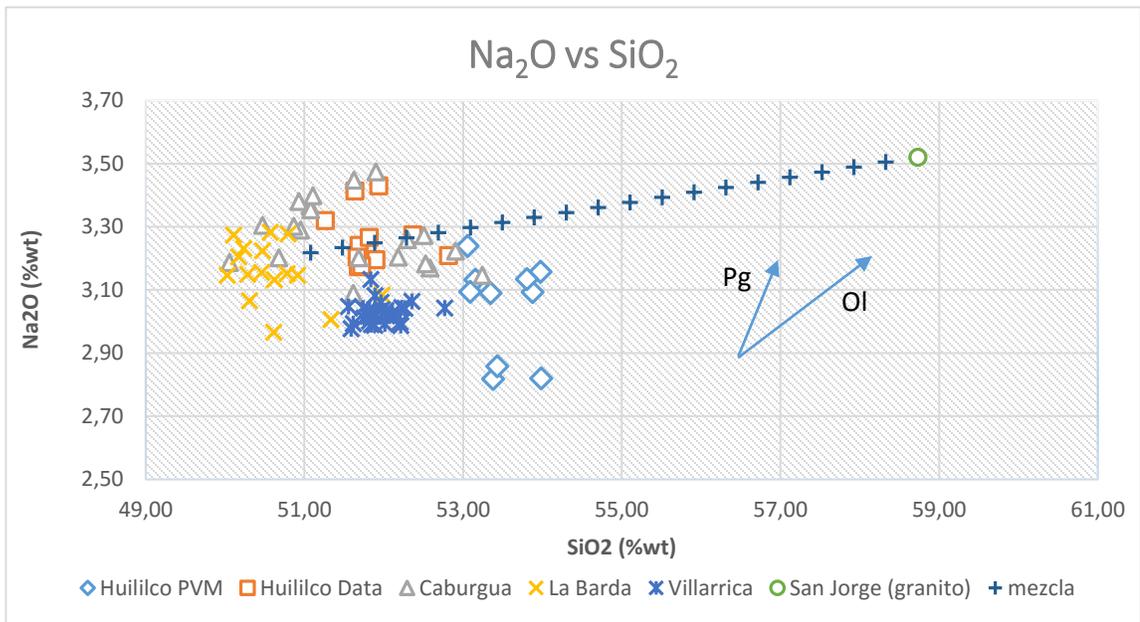


Figura 80: Diagrama Na₂O (%wt) vs SiO₂ (%wt). No se observa una tendencia relacionada a cristalización fraccionada.

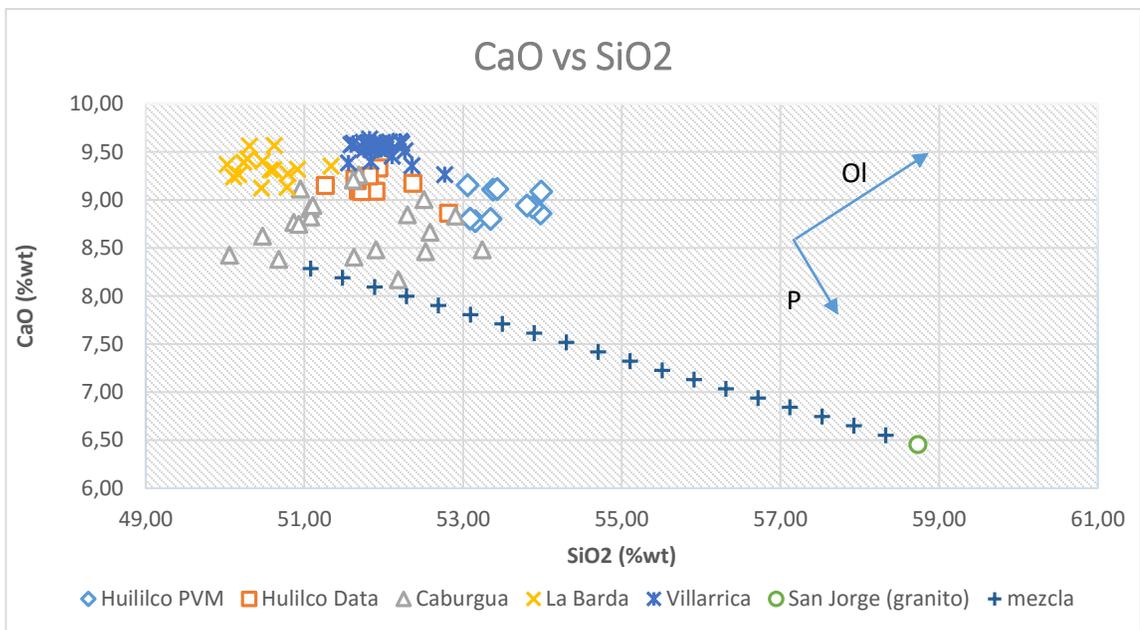


Figura 81: Diagrama CaO (%wt) vs SiO₂ (%wt). No se observa una tendencia relacionada a cristalización fraccionada.

Los diagramas spider y de elementos trazas del volcán Huililco permiten evidenciar que la fuente de los depósitos de caída, las bombas y las lavas son el mismo (Fig. 45), ya que su patrón es prácticamente el mismo, y a la vez, refleja que las lavas y bombas sufrieron una mayor incorporación de elementos trazas, ya que la curva de éstas posee mayores valores numéricos particulares (las curvas de las lavas y bombas están sobre la de la tefra). Esto último es coherente con la idea de que los flujos de lavas y los depósitos de bombas fueron posteriores a la tefra, teniendo mayor tiempo de residencia y permitir una mayor incorporación de elementos trazas.

En cuanto a las anomalías presentes en el diagrama de tierras raras, tanto del Huililco como de los otros centros eruptivos, se puede decir lo siguiente:

A) La anomalía negativa de Nb-Ta (Fig. 45) indica que el magma proviene de un arco donde estos elementos no son móviles, es decir, no son extraídos del *slab* (Sun and McDonough, 1989).

B) La anomalía positiva de Pb (Fig. 45) puede ser evidencia de contaminación cortical, especialmente granitos que están enriquecidos en Pb, o que la fuente posee una alta concentración de Pb, no obstante, la cercanía con granitos terciarios y la mayor concentración de elementos LILE indican mayoritariamente una contaminación cortical.

D) La inclinación de la serie de tierras raras (Fig. 46) sugiere que la fuente no está asociada a granate, más bien se encuentra en el rango de la espinela (Basaltic Volcanism Study Project, 1981), lo que indica que la generación del magma se encuentra a una profundidad menor a 50-60 km (Klemme et al., 2000).

E) Se observa una anomalía positiva de Eu en las lavas del volcán Huililco, mientras que en volcán Villarrica se observa una anomalía negativa (Fig. 46). Aunque el contenido de SiO₂ y la mineralogía es muy similar, esta diferencia se basa principalmente en cómo evolucionaron ambos magmas. Por una parte, el volcán Villarrica está controlado por la cristalización fraccionada de feldespatos, mientras la evolución del volcán Huililco posee esas características, más bien está asociado principalmente a contaminación cortical.

7.3 Termometría

El análisis de termometría, según el método de Coogan et al 2014, entrega una temperatura aproximada de $\sim 1110 \pm 67$ °C en los olivinos aislados, que no son parte de algún cúmulo, y una temperatura de $\sim 761 \pm 45$ °C para los olivinos pertenecientes a ellos. Esta gran diferencia se puede deber principalmente a que los pares de espinela-olivino elegidos no se encontraban en equilibrio, ya que no estaban contenidos totalmente en el olivino, es decir, no existió un intercambio catiónico en equilibrio entre esos dos pares. Una razón de esto es que los cúmulos no son parte del sistema principal y corresponden a xenolitos de un gabro en profundidad (dada la mineralogía de estos).

Por otra parte, la termometría de los cúmulos en la muestra PVM-17, utilizando el termómetro de Loucks, arroja temperaturas de $\sim 1028 \pm 6$ °C. Aunque estos valores son levemente menores a la temperatura de los olivinos aislados, el error asociado al método de Coogan permite que estos valores se traslapen. No obstante, y asumiendo que los cúmulos no son parte del sistema, se podría inferir un sobrecalentamiento inicial del sistema.

Ambas temperaturas de formación son coherentes a la formación de magmas calcoalcalinos de composición andesita basáltica típicos de arco continental, por lo que son resultados están dentro del rango esperable (Bryant, J. A. et al. 2011).

Estas temperaturas son muy similares a las temperaturas “syn-eruptivas” de Caburgua y Villarrica, acorde a los reservorios más someros (Morgado et al., 2015). No se observa evidencia de un reservorio más profundo para el volcán Huililco, como en el caso de Caburgua, no obstante debería confirmarse realizando un análisis geoquímico de los minerales los depósitos de caída (lapilli), que poseen signaturas más primitivas que las lavas.

Capítulo 8: Conclusiones

1.- Las rocas pertenecientes a los depósitos del volcán Huililco tienen una composición andesita basáltica, de carácter calcoalcalino, asociadas a un margen tectónico de arco continental.

2.- La morfología, mineralogía y geoquímica observada permiten clasificar al volcán Huililco como un cono monogenético, de IEV 1 a 2, asociado a una erupción de estilo estromboliana, la cual inició con una erupción de material fragmentado (depósitos de caída tamaño lapilli), seguida por las bombas y los flujos de lava.

3.- Existe evidencia de contaminación cortical, controlada principalmente por los granitos terciarios que rodean al volcán Huililco. Tiene mayor contenido de elementos LILE (K y Rb), los cuales coinciden con el modelo cualitativo de “mezcla”, anomalía positiva de Pb, patrón de tierras raras superior comparada con otros centros eruptivos de la zona. Ésta contaminación, está presente durante toda su evolución, es decir, desde que se genera el magma.

4.- La profundidad de emplazamiento del magma es menor a 50-60 km de profundidad, estando en el rango de estabilidad de la espinela.

5.- Pese a ser un cono monogenético, el volcán Huililco presenta evidencias de evolución magmática, principalmente causada por contaminación cortical y cambios composicionales (texturas de desequilibrio), por lo que es posible inferir que contiene pequeños reservorios magmáticos, con breves tiempos de residencia, donde los fenocristales se reequilibran y pueden seguir creciendo (zonaciones) y ascendiendo.

6.- La temperatura de formación de los fenocristales del volcán Huililco alcanzan valores acordes a su composición geoquímica (andesita basáltica), con valores entre 1028 ± 6 °C para los cúmulos (xenolitos) y de $\sim 1110 \pm 67$ °C para los olivinos aislados.

7.- Las lavas y bombas del volcán Huililco poseen mayor contaminación que los depósitos de tefra, por ende, debieron tener un tiempo de residencia mayor.

8.- Finalmente cabe destacar que el volcán Huililco es clasificado como un cono monogenético que ha sufrido constantes episodios de contaminación cortical, por ende, es importante acotar la definición de “monogenético” solo a contextos volcanológicos y temporales (formado por un evento eruptivo), sin asociarlo a composiciones primitivas o a procesos de emplazamiento “simples”.

Bibliografía

Adriasola, A. C., Thomson, S. N., Brix, M. R., Hervé, F., Stöckhert, B. 2005. Postmagmatic cooling and late Cenozoic denudation of the North Patagonian Batholith in the Los Lagos region of Chile, 41°-42°15'S. *Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch.)* DOI 10.1007/s00531-005-0027-9.

Basaltic Volcanism Study Project (1981). *Basaltic Volcanism on the Terrestrial Planets*. Pergamon Press, Inc., New York. 1286 pp.

Bryant, J. A., G. M. Yogodzinski, and T. G. Churikova (2011), High-Mg# andesitic lavas of the Shisheisky Complex, Northern Kamchatka: implications for primitive calc-alkaline magmatism, *Contrib Mineral Petr*, 161(5), 791–810.

Cembrano, J., Hervé, F., Lavenu, A. 1996. The Liquiñe-Ofqui fault zone: a long-lived intra-arc fault system in southern Chile. *Tectonophysics* No. 259, p. 55-66.

Cembrano, J., Shermer, E., Lavenu, A., Sanhueza, A. 2000. Contrasting nature of deformation along an intra-arc shear zone, the Liquiñe-Ofqui fault zone, southern Chilean Andes. *Tectonophysics* No. 319, p. 129-149.

Cembrano, J.; Lavenu, A.; Reynolds, P.; Arancibia, G.; López, G.; Sanhueza, A. 2002. Late Cenozoic transpressional ductile deformation north of the Nazca–South America–Antarctica triple junction. *Tectonophysics* No. 354, p. 289– 314.

Cembrano, J., Lara, L., 2009. The link between volcanism and tectonics in the southern volcanic zone of the Chilean Andes: A review. *Tectonophysics*, v.471, p.96-113.

Coogan, A.D. Saunders, R.N.Wilson, 2014. Aluminum-in-olivine thermometry of primitive basalts: Evidence of an anomalously hot mantle source for large igneous provinces.

Hervé, F.; Fuenzalida, I.; Araya, E.; Solano, A. 1979. Edades radiométricas y tectónica neógena en el sector costero de Chiloé continental, X Región. In *Congreso Geológico Chileno* No. 2, Actas, Vol. 1, p. F1-F18. Arica.

Hickey-Vargas, R.; Moreno, H.; López Escobar, L.; Frey, F. 1989. Geochemical variations in Andean basaltic and silicic lavas from the Villarrica-Lanín volcanic chain (39.5°S): an evaluation of source heterogeneity, fractional crystallization and crustal assimilation. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, Vol. 103, p. 361-386.

Hickey-Vargas, R.; Moreno, H.; López Escobar, L.; Frey, F. 1989. Geochemical variations in Andean basaltic and silicic lavas from the Villarrica-Lanín volcanic chain (39.5°S): an evaluation of source heterogeneity, fractional crystallization and crustal assimilation. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, Vol. 103, p. 361-386.

- Kamenetsky, V.S., Crawford, A.J., and Meffre, S., 2001, Factors controlling chemistry of magmatic spinel: An empirical study of associated olivine, Cr spinel and melt inclusions from primitive rocks: *Journal of Petrology*, v. 42, p. 655–671.
- Klemme, S., O'Neill, H.S.C., 2000b. The near-solidus transition from garnet lherzolite to spinel lherzolite. *Contrib. Mineral. Petrol.* 138, 237 – 248.
- Lara, L. 2004. Geología del Volcán Lanín, Región de la Araucanía. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, No. 88, 14 p., 1 mapa escala 1:50.000, Santiago.
- Lara, L.E.; Naranjo, J.A.; Moreno, H. 2004. Lanín volcano (39.5°S), Southern Andes: Geology and morphostructural evolution. *Revista Geológica de Chile*, Vol.31, No.2, p. 241-257.
- López-Escobar, L., Parada, M.A., Hickey-Vargas, R., Frey, F.A., Kempton, P.D., Moreno, H., 1995a. Calbuco Volcano and minor eruptive centers distributed along the Liquiñe-Ofqui Fault Zone, Chile (41°-42° S): contrasting origin of andesitic and 61 basaltic magma in the Southern Volcanic Zone of the Andes. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 119, 345-36.
- López-Escobar, L., Cembrano, J., Moreno, H., 1995b. Geochemistry and tectonics of the Chilean Southern Andes basaltic quaternary volcanism (37–46°S). *Revista Geológica de Chile* 22 (2), 219–234.
- Loucks, R., 1996. A precise olivine–augite Mg–Fe-exchange geothermometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 125, 140–150.
- Moreno, H., 2000. Mapa de Peligros del Volcán Villarrica, Regiones de la Araucanía y de Los Lagos. Servicio Nacional de Geología y Minería, Documento de Trabajo, N°17, 1 mapa escala 1:75.000. Santiago.
- Moreno, H. & Clavero, J., 2006. Geología del área del volcán Villarrica, Regiones de la Araucanía y de los Lagos.
- Morgado, E., Parada, M.A., Contreras, C., Castruccio, A., Gutiérrez, F., McGee, L., 2015. Contrasting records from mantle to surface of two nearby arc volcanic complexes: Caburgua-Huelemolle Small Eruptive Centers and Villarrica Volcano.
- Nelson S.T. and Montana A. Sieve-textured plagioclase in volcanic rocks produced by rapid decompression. *American Mineralogist*, 77, 1242-1249 (1992).
- Pavez, A. 1997. Geología e historia evolutiva del Complejo Volcánico Quetrupillán, Andes del Sur, 39,5°S. In Congreso Geológico Chileno, No.8, Actas, Vol. 2, p. 1443-1447.
- Presta Juan F., Caffé Pablo J., 2014. Historia eruptiva de los volcanes monogenéticos de El Toro (23°05'S-66°42'W), Puna norte, Argentina

Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, No., p.21, 1 mapa escala 1:50.000, Santiago.

Silva, C., 2008. Evolution and dynamics of the 3.6 ka BP Pucón eruption of Villarrica Volcano, Chile. Thèse de Doctorat, Université Blaise Pascal y Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias, mención Geología, Universidad de Chile, 271 p

Rivera, A., Bown, F., Mella, R., Wendt, J., Casassa, G., Acuña, C., Rignot, E., Clavero, J. & Brock, B., 2006. Ice volumetric changes on active volcanoes in southern Chile. *Annals of Glaciology*, 43, 111–122.

Sun, S.S. and McDonough, W.F. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes.

Thomson, S. N. 2002. Late Cenozoic geomorphic and tectonic evolution of the Patagonian Andes between latitudes 42° and 46°S: An appraisal based on fission-track results from the transpressional intraarc Liquiñe-Ofqui fault zone. *Geol. Soc. Am. Bull.* No. 114 (9), p. 1159-1173.

Valentine, G.A., Krier, D., Perry, F.V., and Heiken, G., 2005, Scoria cone construction mechanisms, Lathrop Wells volcano, southern Nevada, USA: *Geology*, v. 33, p. 629–632, doi: 10.1130/ G21459.1.

Valentine, G.A., Krier, D.J., Perry, F.V., and Heiken, G., 2007, Eruptive and geomorphic processes at Lathrop Wells scoria cone volcano: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 161, p. 57–80, doi: 10.1016/j.jvolgeores.2006.11.003.

Valentine, G.A., and Gregg, T.K.P., 2008, Continental basaltic volcanoes—Processes and problems: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 177, p. 857–873, doi: 10.1016/j. jvolgeores.2008.01.050.

Anexos

Tabla I: Datos geoquímicos de elementos mayores

Muestra	Centro eruptivo	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃ T	CaO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
Datos Geoquímicos Normlizados Pedro Valdivia											
PVM-04	Huililco Pedro	53,15	16,93	1,09	8,98	8,78	6,34	0,15	3,13	1,11	0,33
PVM-05	Huililco Pedro	53,34	16,78	1,11	9,05	8,80	6,19	0,15	3,09	1,13	0,34
PVM-06	Huililco Pedro	53,09	16,72	1,11	9,27	8,80	6,29	0,15	3,09	1,13	0,34
PVM-08	Huililco Pedro	53,06	17,41	1,21	8,76	9,15	5,42	0,15	3,24	1,24	0,37
PVM-13	Huililco Pedro	53,98	16,36	1,13	8,80	8,86	6,07	0,15	3,16	1,16	0,35
PVM-14	Huililco Pedro	53,88	16,24	1,14	9,00	8,92	6,07	0,15	3,09	1,15	0,35
PVM-15A	Huililco Pedro	53,98	16,10	0,95	8,65	9,09	7,11	0,15	2,82	0,88	0,27
PVM-15B	Huililco Pedro	53,38	16,28	0,95	8,78	9,11	7,34	0,15	2,82	0,90	0,29
PVM-16	Huililco Pedro	53,43	17,04	0,96	8,67	9,11	6,59	0,14	2,86	0,90	0,29
PMV-17	Huililco Pedro	53,80	17,11	1,17	8,67	8,94	5,45	0,15	3,13	1,19	0,39
Datos Geoquímicos Normalizados Lucy McGee (No publicados)											
LEM-8	Huililco Lucy	52,81	16,75	0,93	9,44	8,86	6,42	0,15	3,21	1,09	0,34
LEM-8A	Huililco Lucy	51,90	17,53	1,07	9,46	9,09	6,19	0,15	3,20	1,07	0,34
LEM-9	Huililco Lucy	51,68	17,63	1,05	9,46	9,10	6,38	0,15	3,17	1,05	0,33
LEM-10	Huililco Lucy	51,69	17,61	1,08	9,45	9,09	6,26	0,15	3,24	1,09	0,33
LEM-11	Huililco Lucy	51,94	17,49	1,23	9,32	9,33	5,43	0,15	3,43	1,27	0,41
LEM-12	Huililco Lucy	51,26	17,53	1,23	9,96	9,15	5,74	0,16	3,32	1,24	0,42
HUIL-1	Huililco Lucy	51,72	17,31	1,07	9,73	9,09	6,33	0,15	3,18	1,08	0,34
HUIL-2	Huililco Lucy	51,66	17,42	1,03	9,34	9,20	6,61	0,15	3,20	1,07	0,31
HUIL-3	Huililco Lucy	52,37	16,94	1,03	9,15	9,17	6,47	0,15	3,27	1,11	0,33
HUIL-4	Huililco Lucy	51,82	17,40	1,05	9,23	9,25	6,43	0,15	3,27	1,10	0,32
HUIL-5	Huililco Lucy	51,64	17,43	1,17	9,53	9,22	5,77	0,15	3,41	1,27	0,41
Datos Geoquímicos Normalizados Lucy McGee (No publicados)											
LEM-1	Caburgua	51,68	17,10	1,07	9,74	9,26	6,83	0,15	3,20	0,66	0,31
LEM-2	Caburgua	51,62	17,59	1,14	9,51	9,20	6,66	0,15	3,09	0,73	0,31
LEM-3	Caburgua	51,07	19,31	1,15	9,70	8,91	5,32	0,18	3,37	0,66	0,34
LEM-4	Caburgua	50,47	19,67	1,18	10,03	8,62	5,55	0,17	3,30	0,66	0,33
LEM-5	Caburgua	51,90	18,19	0,88	10,33	8,48	5,55	0,20	3,47	0,68	0,32
LEM-6	Caburgua	51,63	18,44	0,88	10,57	8,40	5,44	0,17	3,45	0,68	0,35
Cab1-1	Caburgua	51,08	17,77	1,13	9,73	8,82	6,91	0,15	3,35	0,76	0,29
Cab1-2	Caburgua	50,95	17,88	1,13	9,62	9,11	6,85	0,15	3,29	0,69	0,32
Cab2-1	Caburgua	51,11	17,80	1,16	9,82	8,94	6,44	0,15	3,40	0,83	0,35
Cab2-2	Caburgua	50,86	17,30	1,12	10,04	8,76	7,39	0,15	3,30	0,74	0,33

Muestra	Centro eruptivo	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃ T	CaO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
Cab3-1	Caburgua	50,93	17,61	1,14	9,81	8,75	7,08	0,15	3,38	0,80	0,34
LEM-CB-1	Caburgua	52,90	18,43	1,11	9,36	8,83	5,01	0,16	3,22	0,65	0,33
LEM-CB-2	Caburgua	52,59	18,61	1,16	9,49	8,66	5,23	0,16	3,17	0,62	0,32
LEM-CB-3	Caburgua	52,53	19,01	1,16	9,54	8,46	4,97	0,16	3,18	0,66	0,34
LEM-CB-5	Caburgua	50,68	17,55	1,11	9,83	8,38	8,15	0,16	3,20	0,67	0,27
LEM-CB-6	Caburgua	50,05	18,01	1,14	9,99	8,42	8,13	0,16	3,19	0,63	0,27
LEM-CB-7	Caburgua	52,18	16,73	1,03	9,19	8,17	8,38	0,15	3,20	0,69	0,26
LEM-CB-8	Caburgua	52,51	18,52	1,12	9,39	9,00	4,98	0,19	3,27	0,69	0,33
LEM-CB-9	Caburgua	52,30	18,90	1,14	9,38	8,84	4,96	0,18	3,26	0,69	0,34
LEM-CB-10	Caburgua	53,24	16,68	1,08	9,38	8,48	6,83	0,15	3,15	0,72	0,30
Datos Geoquímicos Normalizados Lucy McGee (No publicados)											
LEM-14	La Barda	51,33	17,15	1,05	9,82	9,35	7,13	0,15	3,01	0,70	0,31
LEM-16	La Barda	50,91	17,21	1,06	9,83	9,32	7,38	0,16	3,15	0,65	0,33
LEM-17	La Barda	50,28	17,33	1,07	10,22	9,43	7,41	0,16	3,15	0,64	0,32
LEM-18	La Barda	48,92	19,17	1,17	10,60	8,56	7,86	0,17	2,73	0,49	0,34
LEM-19	La Barda	50,61	17,39	1,05	10,43	9,31	7,09	0,16	2,96	0,66	0,33
LEM-20	La Barda	50,17	18,01	1,10	9,89	9,26	7,15	0,16	3,20	0,73	0,33
LEM-21	La Barda	50,24	17,49	1,09	10,21	9,39	7,17	0,16	3,23	0,68	0,34
LEM-21A	La Barda	50,47	17,53	1,07	9,83	9,40	7,31	0,16	3,22	0,69	0,32
LEM-22	La Barda	50,03	17,90	1,11	10,31	9,37	6,95	0,16	3,15	0,69	0,35
LEM-23	La Barda	50,57	17,34	1,10	9,99	9,31	7,18	0,16	3,28	0,73	0,34
LEM-24	La Barda	50,79	17,69	1,10	9,75	9,27	6,91	0,16	3,28	0,73	0,32
LEM-25	La Barda	50,11	17,89	1,11	9,99	9,24	7,15	0,16	3,27	0,77	0,32
Barda1-1	La Barda	50,46	16,84	1,08	10,43	9,12	7,70	0,16	3,15	0,74	0,32
Barda1-2	La Barda	50,78	16,93	1,08	10,06	9,13	7,64	0,16	3,15	0,74	0,33
Barda2-3	La Barda	50,31	17,23	1,12	10,29	9,56	7,25	0,16	3,06	0,68	0,33
Barda2-4	La Barda	50,62	17,04	1,09	10,22	9,57	7,14	0,16	3,13	0,70	0,33
LEM-LB-1	La Barda	51,98	17,40	1,10	9,38	9,50	6,40	0,18	3,08	0,67	0,30
Datos Geoquímicos Normalizados Eduardo Morgado et al., 2015											
RC 1971	Villarrica 1971	52,07	16,55	1,10	10,45	9,60	6,20	0,15	3,02	0,63	0,22
RM 1971	Villarrica 1971	51,62	16,69	1,12	10,73	9,59	6,25	0,16	2,99	0,63	0,22
RMII 1971	Villarrica 1971	51,84	16,63	1,12	10,70	9,52	6,17	0,15	3,02	0,63	0,22
1971 N1	Villarrica 1971	51,80	16,71	1,11	10,61	9,55	6,19	0,15	3,02	0,63	0,23
1971 N2	Villarrica 1971	51,82	16,69	1,10	10,55	9,63	6,19	0,15	3,03	0,64	0,20
1971 02	Villarrica 1971	52,21	16,46	1,11	10,46	9,61	6,15	0,15	3,00	0,64	0,22
1971 03	Villarrica 1971	51,84	16,52	1,13	10,80	9,53	6,17	0,15	2,99	0,63	0,23
1971 N6	Villarrica 1971	51,82	16,43	1,08	10,84	9,57	6,27	0,15	3,00	0,63	0,21
R1971 DM	Villarrica 1971	51,59	16,50	1,12	11,23	9,57	6,02	0,15	2,98	0,62	0,22

Muestra	Centro eruptivo	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃ T	CaO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
R1971 DV	Villarrica 1971	51,89	16,63	1,13	10,69	9,57	6,11	0,15	2,99	0,63	0,20
1971 04	Villarrica 1971	51,87	16,64	1,11	10,75	9,59	6,03	0,15	3,02	0,64	0,21
R1971 04	Villarrica 1971	52,10	16,49	1,15	10,71	9,45	6,03	0,15	3,03	0,65	0,23
1971 N5	Villarrica 1971	52,23	16,45	1,14	10,56	9,59	5,96	0,15	3,04	0,66	0,22
1971 N4	Villarrica 1971	52,21	16,30	1,09	10,51	9,60	6,27	0,15	2,99	0,64	0,23
1971 05	Villarrica 1971	51,84	16,81	1,12	10,76	9,40	5,95	0,15	3,13	0,62	0,23
RM 1971 05	Villarrica 1971	52,01	16,62	1,14	10,73	9,53	5,95	0,15	2,99	0,64	0,24
1971 07	Villarrica 1971	52,77	16,66	1,12	10,18	9,26	5,95	0,15	3,04	0,66	0,21
1971 08	Villarrica 1971	51,75	16,62	1,12	10,89	9,52	6,07	0,15	3,01	0,64	0,21
1971 09	Villarrica 1971	52,03	16,57	1,10	10,67	9,53	6,05	0,15	3,03	0,64	0,23
1971 10 M1	Villarrica 1971	52,04	16,72	1,12	10,53	9,59	5,96	0,15	3,02	0,64	0,23
1971 10 M2	Villarrica 1971	51,98	16,76	1,12	10,48	9,59	6,01	0,15	3,04	0,64	0,23
1971 10V	Villarrica 1971	51,80	16,73	1,11	10,67	9,59	6,04	0,15	3,03	0,64	0,23
1971 11	Villarrica 1971	51,74	16,90	1,11	10,68	9,60	5,92	0,15	3,04	0,64	0,22
1971 12	Villarrica 1971	51,96	16,78	1,11	10,60	9,52	5,93	0,15	3,06	0,65	0,23
1971 13	Villarrica 1971	51,56	17,00	1,11	10,82	9,38	6,04	0,15	3,05	0,65	0,24
1971 30	Villarrica 1971	52,27	16,56	1,12	10,59	9,51	5,94	0,15	3,04	0,64	0,18
1971 29	Villarrica 1971	52,35	17,17	1,09	10,32	9,36	5,65	0,15	3,06	0,65	0,21
1971 28	Villarrica 1971	51,89	17,04	1,11	10,53	9,54	5,79	0,15	3,08	0,65	0,22
Datos Geoquímicos granito San Jorge Lucy McGee Normalizados (No publicados)											
LEM-7	San Jorge	58,73	17,63	0,59	6,79	6,45	3,13	0,11	3,52	1,76	0,17
LEM-CB-5	Caburgua	50,68	17,55	1,11	9,83	8,38	8,15	0,16	3,20	0,67	0,27

Tabla II: Elementos menores y trazas

Muestra	Centro eruptivo	Sc	V	Ba	Sr	Y	Zr	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb	Nb	Cs	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	Pb	Th	U
		Datos Geoquímicos Normlizados Pedro Valdivia																																	
PVM-04	Huillico Pedro	26	208	349	547	20	130	190	35	90	70	90	14	28	7	1	17	40	5	20	4	1	4	1	4	1	2	0	2	0	3	1	8	3	1
PVM-05	Huillico Pedro	27	207	356	559	20	129	200	34	80	70	70	14	30	7	1	18	40	5	20	4	1	4	1	4	1	2	0	2	0	3	1	8	3	1
PVM-06	Huillico Pedro	27	206	353	548	20	130	190	36	90	70	70	14	29	7	1	18	41	5	20	4	1	4	1	4	1	2	0	2	0	3	1	7	3	1
PVM-08	Huillico Pedro	27	212	376	597	21	144	120	31	50	70	70	14	33	9	1	20	45	6	22	5	2	4	1	4	1	2	0	2	0	3	1	8	4	1
PVM-13	Huillico Pedro	27	207	357	564	21	134	170	34	80	70	80	14	31	8	1	18	40	5	20	4	1	4	1	4	1	2	0	2	0	3	1	7	3	1
PVM-14	Huillico Pedro	27	208	355	567	20	134	190	34	80	70	70	14	31	8	1	18	41	5	21	4	1	4	1	4	1	2	0	2	0	3	1	7	4	1
PVM-15A	Huillico Pedro	27	199	281	502	17	105	280	37	120	60	80	13	22	5	1	14	33	4	16	4	1	3	1	4	1	2	0	2	0	3	0	6	3	1
PVM-15B	Huillico Pedro	27	200	284	502	18	107	300	37	130	60	70	13	22	4	1	14	32	4	17	4	1	3	1	4	1	2	0	2	0	2	0	6	3	1
PVM-16	Huillico Pedro	27	199	288	530	18	111	210	35	100	60	70	13	23	5	1	14	32	4	17	4	1	3	1	3	1	2	0	2	0	3	0	7	3	1
PMV-17	Huillico Pedro	27	211	365	572	23	137	130	31	50	60	70	13	30	9	1	18	42	5	21	4	1	4	1	4	1	2	0	2	0	3	1	7	4	1
		Datos Geoquímicos Normalizados Lucy McGee (No publicados)																																	
LEM-8	Huillico Lucy	28	229	343	559	21	128	190	31	90	80	80	19	26	6	1	17	37	5	20	4	1	4	1	4	1	2	0	2	0	3	0	7	3	1
LEM-8A	Huillico Lucy	27	231	344	556	20	123	200	30	70	70	80	19	26	6	1	18	39	5	20	5	1	4	1	4	1	2	0	2	0	3	0	8	3	1
LEM-9	Huillico Lucy	28	224	338	561	17	121	200	29	80	70	90	18	25	6	1	18	38	5	21	4	1	4	1	4	1	2	0	2	0	3	0	8	3	1
LEM-10	Huillico Lucy	28	230	346	566	20	122	200	47	70	70	90	18	25	6	1	21	43	5	22	5	1	4	1	4	1	2	0	2	0	3	0	8	4	1
LEM-11	Huillico Lucy	28	234	390	615	22	142	130	37	40	60	90	19	31	10	1	21	44	6	23	5	1	5	1	4	1	2	0	2	0	3	1	8	4	1
LEM-12	Huillico Lucy	27	232	377	618	20	139	160	30	60	70	90	20	34	10	1	21	44	6	23	5	1	5	1	4	1	2	0	2	0	4	1	8	4	1
HUIL-1	Huillico Lucy	27	227	340	537	20	122	200	31	80	50	80	18	26	6	1	18	38	5	20	4	1	4	1	4	1	2	0	2	0	3	0	8	3	1
HUIL-2	Huillico Lucy	27	223	338	567	20	118	220	30	80	70	80	18	25	5	1	17	36	5	19	4	1	4	1	4	1	2	0	2	0	3	0	8	3	1
HUIL-3	Huillico Lucy	28	229	346	527	19	124	210	41	70	70	80	18	27	6	1	18	40	5	22	5	1	4	1	4	1	2	0	2	0	3	0	8	3	1
HUIL-4	Huillico Lucy	28	224	345	559	18	121	200	41	70	70	80	18	26	5	1	17	37	5	20	4	1	4	1	4	1	2	0	2	0	3	0	7	3	1
HUIL-5	Huillico Lucy	28	236	383	605	19	141	150	28	40	60	80	18	31	10	1	21	46	6	24	5	2	5	1	4	1	2	0	2	0	4	1	9	4	1
		Datos Geoquímicos Normalizados Lucy McGee (No publicados)																																	
LEM-1	Caburgua	28	234	313	682	17	89	220	33	80	70	80	19	8	8	< 0.5	16	34	5	19	4	1	4	1	3	1	2	0	2	0	2	0	9	3	1

Muestra	Centro eruptivo	Sc	V	Ba	Sr	Y	Zr	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb	Nb	Cs	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	Pb	Th	U
LEM-2	Caburgua	25	209	252	758	17	81	180	43	80	60	80	19	9	3	< 0.5	13	28	4	17	4	1	3	1	3	1	2	0	2	0	2	0	6	2	1
LEM-3	Caburgua	26	238	301	720	19	90	80	33	50	70	90	21	9	3	1	13	31	4	18	4	1	4	1	3	1	2	0	2	0	2	0	7	2	1
LEM-4	Caburgua	27	241	305	695	18	91	70	32	50	70	90	21	9	5	1	15	32	4	19	4	1	4	1	3	1	2	0	2	0	2	0	7	2	1
LEM-5	Caburgua	26	242	290	725	21	92	80	33	50	70	90	21	9	5	< 0.5	14	33	4	19	4	1	4	1	3	1	2	0	2	0	2	0	7	2	1
LEM-6	Caburgua	26	244	257	717	18	91	50	31	40	70	90	20	9	3	< 0.5	14	31	4	18	4	1	4	1	3	1	2	0	2	0	2	0	7	2	1
Cab1-1	Caburgua	25	229	266	798	17	79	200	31	80	80	70	17	10	5	1	14	32	4	18	4	1	4	1	3	1	2	0	2	0	2	2	7	3	1
Cab1-2	Caburgua	25	220	263	779	18	81	210	32	80	80	70	17	9	5	1	16	35	5	19	4	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	0	7	3	1
Cab2-1	Caburgua	24	225	285	753	17	92	230	34	80	80	80	18	12	6	1	18	39	5	21	5	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	0	8	3	1
Cab2-2	Caburgua	25	229	270	773	18	85	290	34	100	80	80	17	9	4	< 0.5	14	32	4	18	4	1	4	1	3	1	2	0	2	0	2	1	10	3	1
Cab3-1	Caburgua	25	225	280	773	18	89	230	34	90	80	160	17	11	5	1	18	37	5	20	4	1	4	1	3	1	2	0	2	0	2	1	8	3	1
LEM-CB-1	Caburgua	25	219	231	694	18	86	30	31	30	60	80	18	9	3	< 0.5	13	31	4	17	4	1	3	1	4	1	2	0	2	0	2	0	6	2	1
LEM-CB-2	Caburgua	27	228	220	667	18	85	70	31	30	60	80	17	8	2	< 0.5	13	31	4	17	4	1	3	1	4	1	2	0	2	0	2	0	6	2	1
LEM-CB-3	Caburgua	26	226	232	673	19	91	30	32	20	60	80	18	9	3	< 0.5	13	32	4	17	4	1	3	1	4	1	2	0	2	0	2	0	6	2	1
LEM-CB-5	Caburgua	24	201	271	789	16	75	370	41	170	70	70	18	9	3	1	13	29	4	17	4	1	4	1	3	1	2	0	2	0	2	0	7	3	1
LEM-CB-6	Caburgua	25	201	253	794	16	78	380	40	170	60	80	19	9	3	< 0.5	12	29	4	16	4	1	4	1	3	1	2	0	2	0	2	0	7	3	1
LEM-CB-7	Caburgua	23	196	251	739	16	73	450	41	200	70	70	14	11	2	1	11	27	4	15	3	1	3	1	3	1	2	0	2	0	2	0	6	3	1
LEM-CB-8	Caburgua	25	225	244	720	18	87	30	35	30	70	80	17	10	2	< 0.5	13	32	4	17	4	1	3	1	4	1	2	0	2	0	2	0	6	2	1
LEM-CB-9	Caburgua	26	223	238	710	18	87	40	34	30	60	80	16	9	2	< 0.5	13	31	4	17	4	1	3	1	3	1	2	0	2	0	2	0	6	2	1
LEM-CB-10	Caburgua	24	202	247	752	16	80	280	36	100	50	80	14	10	2	1	13	30	4	17	4	1	3	1	3	1	2	0	2	0	2	0	7	3	1
		Datos Geoquímicos Normalizados Lucy McGee (No publicados)																																	
LEM-14	La Barda	28	233	253	665	16	88	280	33	70	40	80	19	10	3	1	14	31	4	18	4	1	4	1	3	1	2	0	2	0	2	0	5	2	1
LEM-16	La Barda	28	238	240	663	16	89	240	32	70	80	80	18	9	3	< 0.5	13	30	4	18	4	1	4	1	3	1	2	0	2	0	2	0	8	2	1
LEM-17	La Barda	28	236	283	689	16	86	290	33	80	90	80	18	9	3	< 0.5	14	30	4	18	4	1	4	1	3	1	2	0	2	0	2	0	6	2	1
LEM-18	La Barda	30	225	200	601	17	96	260	36	80	70	80	19	6	3	< 0.5	15	32	4	19	4	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	0	7	2	1

Muestra	Centro eruptivo	Sc	V	Ba	Sr	Y	Zr	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb	Nb	Cs	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	Pb	Th	U
LEM-19	La Barda	27	242	256	688	17	88	240	33	70	40	90	19	10	3	< 0.5	14	31	4	18	4	1	4	1	3	1	2	0	2	0	2	0	10	2	1
LEM-20	La Barda	27	224	251	670	18	87	220	31	70	70	80	17	10	3	< 0.5	14	31	4	19	4	1	4	1	3	1	2	0	2	0	2	0	7	2	1
LEM-21	La Barda	27	237	268	711	17	87	240	32	70	80	80	18	9	3	< 0.5	14	30	4	17	4	1	4	1	3	1	2	0	2	0	2	0	6	2	1
LEM-21A	La Barda	27	238	251	669	17	85	240	34	70	80	90	18	10	3	1	15	33	4	20	4	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	0	7	2	1
LEM-22	La Barda	27	237	252	692	16	87	240	31	60	80	80	18	10	3	1	13	30	4	18	4	1	4	1	3	1	2	0	2	0	2	0	6	2	1
LEM-23	La Barda	27	238	252	706	16	87	260	34	70	80	80	19	10	3	< 0.5	13	29	4	18	4	1	4	1	3	1	2	0	2	0	2	0	5	2	1
LEM-24	La Barda	28	231	259	697	15	88	230	56	60	100	80	18	10	4	1	13	30	4	18	4	1	4	1	3	1	2	0	2	0	2	0	7	2	1
LEM-25	La Barda	27	211	252	687	15	86	230	31	60	120	80	17	11	3	1	13	30	4	17	4	1	4	1	3	1	2	0	2	0	2	0	6	2	1
Barda1-1	La Barda	27	233	258	681	17	91	290	36	100	70	70	17	10	3	1	15	33	4	18	4	1	4	1	3	1	2	0	2	0	2	0	7	2	1
Barda1-2	La Barda	27	230	260	672	18	91	290	33	90	70	80	17	10	3	1	15	33	4	18	4	1	4	1	3	1	2	0	2	0	2	0	7	2	1
Barda2-3	La Barda	28	235	247	683	18	91	190	32	70	70	70	17	9	3	< 0.5	16	33	4	18	4	1	4	1	3	1	2	0	2	0	2	0	7	2	1
Barda2-4	La Barda	28	239	273	697	17	91	190	33	70	90	80	17	9	3	< 0.5	15	33	4	18	4	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	0	10	2	1
LEM-LB-1	La Barda	28	220	252	690	19	88	150	40	60	80	80	15	10	3	< 0.5	14	33	4	18	4	1	3	1	4	1	2	0	2	0	2	0	7	2	1

Datos Geoquímicos Normalizados Eduardo Morgado et al., 2015

RC 1971	Villarrica 1971	32	293	201	427	21	86	170	29	70	240	80	18	14	1	1	7	17	3	12	3	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	< 0.1	7	1	0
RM 1971	Villarrica 1971	32	292	200	425	22	85	170	31	80	130	100	19	15	1	2	7	18	3	13	3	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	< 0.1	7	1	1
RMII 1971	Villarrica 1971	32	294	199	423	21	86	180	30	70	130	80	18	14	1	1	7	18	3	13	3	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	0	7	1	0
1971 N1	Villarrica 1971	31	289	201	421	21	86	180	31	70	130	80	18	14	1	1	7	18	3	12	4	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	< 0.1	7	1	0
1971 N2	Villarrica 1971	32	292	199	423	20	84	170	31	70	130	100	19	15	1	1	7	18	3	13	3	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	< 0.1	7	1	0
1971 02	Villarrica 1971	32	297	202	424	22	87	190	30	70	130	80	19	15	2	2	7	18	3	13	3	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	< 0.1	7	1	0
1971 03	Villarrica 1971	32	292	199	421	21	86	180	31	70	140	90	18	14	1	1	7	17	3	13	3	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	< 0.1	8	1	0
1971 N6	Villarrica 1971	32	297	201	414	22	85	190	31	90	130	80	19	14	1	1	7	18	3	12	3	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	< 0.1	6	1	0
R1971 DM	Villarrica 1971	31	292	196	424	22	85	180	32	80	130	90	20	14	1	2	7	18	3	13	3	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	< 0.1	7	1	0
R1971 DV	Villarrica 1971	32	287	197	417	21	85	180	30	70	120	90	18	14	1	2	7	17	3	13	3	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	< 0.1	6	1	0

Muestra	Centro eruptivo	Sc	V	Ba	Sr	Y	Zr	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb	Nb	Cs	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	Pb	Th	U
1971 04	Villarrica 1971	32	290	198	418	22	86	180	30	70	130	80	19	15	1	1	7	18	3	12	4	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	< 0.1	7	1	0
R1971 04	Villarrica 1971	33	300	205	428	22	90	180	30	70	130	80	18	14	1	1	8	18	3	12	4	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	< 0.1	7	1	0
1971 N5	Villarrica 1971	32	300	203	420	23	88	160	29	60	120	80	18	14	1	2	7	18	3	12	3	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	< 0.1	7	1	0
1971 N4	Villarrica 1971	31	292	198	406	21	85	190	32	70	130	90	19	14	1	2	7	18	3	12	3	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	< 0.1	7	1	0
1971 05	Villarrica 1971	32	297	199	432	22	89	190	31	80	140	100	19	15	1	2	8	19	3	13	3	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	< 0.1	38	1	1
RM 1971 05	Villarrica 1971	32	293	199	420	22	86	170	30	70	130	80	18	14	1	1	7	17	3	12	4	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	< 0.1	7	1	0
1971 07	Villarrica 1971	33	294	204	427	23	89	190	31	70	130	90	19	15	2	2	8	19	3	13	4	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	< 0.1	7	1	0
1971 08	Villarrica 1971	32	290	197	412	22	86	180	31	80	130	90	19	15	1	2	7	18	3	13	3	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	< 0.1	7	1	1
1971 09	Villarrica 1971	32	293	200	420	22	87	190	31	70	130	80	19	15	1	1	7	18	3	13	4	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	0	7	1	0
1971 10 M1	Villarrica 1971	32	291	199	420	22	86	180	30	70	130	90	18	14	1	2	7	18	3	12	4	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	< 0.1	7	1	0
1971 10 M2	Villarrica 1971	32	295	202	429	22	86	170	30	70	130	80	18	14	1	2	7	18	3	12	4	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	< 0.1	7	1	0
1971 10V	Villarrica 1971	32	299	202	438	22	87	170	31	70	130	90	17	15	3	2	15	29	4	15	4	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	< 0.1	9	2	1
1971 11	Villarrica 1971	32	300	201	434	21	87	160	30	70	130	80	18	14	3	2	9	21	3	13	4	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	0	8	1	1
1971 12	Villarrica 1971	32	298	203	433	21	88	160	31	60	130	90	18	15	3	2	8	20	3	13	4	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	< 0.1	8	1	1
1971 13	Villarrica 1971	33	298	204	431	22	88	160	30	60	130	90	17	14	3	2	8	20	3	13	4	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	< 0.1	9	1	0
1971 30	Villarrica 1971	33	292	198	428	22	87	170	31	70	130	90	18	15	2	2	8	20	3	13	4	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	< 0.1	8	1	1
1971 29	Villarrica 1971	32	290	202	438	22	87	150	29	60	130	90	18	14	2	2	8	20	3	13	3	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	< 0.1	8	1	0
1971 28	Villarrica 1971	32	300	204	430	21	89	160	31	60	140	140	18	15	3	2	9	21	3	14	4	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	1	11	1	1
		Datos Geoquímicos granito San Jorge Lucy McGee Normalizados (No publicados)																																	
LEM-7	San Jorge	24	194	795	551	19	74	30	16	20	60	90	20	55	4	3	14	29	4	17	4	1	4	1	4	1	2	0	2	0	2	0	7	4	1
LEM-CB-5	Caburgua	24	201	271	789	16	75	370	41	170	70	70	18	9	3	1	13	29	4	17	4	1	4	1	3	1	2	0	2	0	2	0	7	3	1

Tabla III: Análisis EMPA

Te (tefroíta); Fa (forsterita);Fa (fayalita)

Olivinos															
Punto	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	Cr2O3	NiO	Total	Te	Fo	Fa	Tipo
PVM104 - OI - z3 - 1	37,61	0,03	0,02	21,90	0,43	39,61	0,31	-0,01	0,02	0,08	100	0,5	75,6	23,5	Borde
PVM104 - OI - z3 - 12	37,90	0,02	0,01	20,91	0,38	40,44	0,25	0,01	-0,01	0,09	100	0,4	76,9	22,3	Borde
PVM104 - OI - z4 - 13	37,97	0,03	0,04	19,81	0,30	41,47	0,23	0,00	0,03	0,12	100	0,3	78,4	21,0	Borde
PVM6 - OI - z9 - 1	37,82	0,02	0,01	22,18	0,41	39,32	0,23	0,01	-0,01	0,05	100	0,5	75,4	23,9	Borde
PVM6 - OI - z10 - 15	37,88	0,03	0,02	21,49	0,42	39,93	0,19	0,00	0,01	0,10	100	0,5	76,3	23,0	Borde
PVM13 - OI - z4 - 4	37,98	0,02	0,06	21,65	0,45	39,47	0,32	0,02	-0,01	0,03	100	0,5	75,8	23,3	Borde
PVM13 - OI - z4 - 5	37,93	0,00	0,03	22,17	0,42	39,11	0,28	0,04	-0,02	0,05	100	0,5	75,2	23,9	Borde
PVM14 - OI - z1 - 1	38,10	0,03	0,04	20,01	0,38	41,11	0,20	0,03	0,00	0,10	100	0,4	78,0	21,3	Borde
PVM14 - OI - z3 - 13	37,74	0,02	0,02	21,45	0,40	40,02	0,28	0,06	0,00	0,07	100	0,4	76,3	22,9	Borde
PVM14 - OI - z3 - 16	37,84	0,03	0,04	21,40	0,41	39,86	0,27	0,01	0,02	0,13	100	0,4	76,3	23,0	Borde
PVM14 - OI - z3 - 18	37,77	0,01	0,01	22,12	0,43	39,32	0,23	0,03	0,04	0,06	100	0,5	75,4	23,8	Borde
PVM14 - OI - z3 - 19	37,68	0,01	0,05	21,77	0,42	39,71	0,32	0,01	-0,02	0,04	100	0,5	75,9	23,3	Borde
PVM17 - OI - z1-5	37,52	0,04	0,02	22,28	0,41	39,33	0,30	0,04	0,02	0,04	100	0,4	75,2	23,9	Borde
PVM17 - OI - z1-16	37,47	0,05	0,01	22,35	0,44	39,22	0,39	0,01	0,05	0,03	100	0,5	75,0	24,0	Borde
PVM17 - OI - z1-19	37,37	0,05	0,02	22,74	0,39	39,01	0,35	0,03	0,01	0,04	100	0,4	74,7	24,4	Borde
PVM104 - OI - z3 - 2	38,52	0,02	0,02	17,32	0,33	43,49	0,20	0,00	-0,01	0,15	100	0,3	81,2	18,2	Núcleo
PVM104 - OI - z3 - 3	38,49	0,01	0,03	17,51	0,28	43,30	0,20	0,00	0,01	0,17	100	0,3	81,1	18,4	Núcleo
PVM104 - OI - z3 - 4	37,96	0,02	0,03	18,77	0,33	42,59	0,19	0,00	0,00	0,11	100	0,4	79,7	19,7	Núcleo
PVM104 - OI - z3 - 5	38,14	0,01	0,05	19,21	0,38	41,87	0,20	0,04	0,01	0,12	100	0,4	79,0	20,3	Núcleo
PVM104 - OI - z3 - 6	38,62	0,04	0,03	18,37	0,39	42,19	0,19	0,05	0,04	0,16	100	0,4	79,8	19,5	Núcleo
PVM104 - OI - z3 - 7	38,21	0,04	0,04	18,57	0,30	42,55	0,18	0,01	0,02	0,17	100	0,3	79,9	19,6	Núcleo
PVM104 - OI - z3 - 8	38,64	0,03	0,06	17,85	0,26	42,82	0,19	-0,01	0,02	0,14	100	0,3	80,6	18,9	Núcleo
PVM104 - OI - z3 - 9	38,00	0,02	0,02	20,31	0,33	41,03	0,20	0,02	-0,03	0,15	100	0,4	77,8	21,6	Núcleo
PVM104 - OI - z3 - 10	38,26	0,01	0,03	19,88	0,33	41,16	0,19	0,02	0,02	0,13	100	0,4	78,2	21,2	Núcleo
PVM104 - OI - z3 - 11	38,20	0,01	0,03	19,43	0,32	41,71	0,16	0,00	0,01	0,15	100	0,3	78,8	20,6	Núcleo
PVM104 - OI - z4 - 14	38,79	0,01	0,02	17,17	0,29	43,40	0,18	0,03	0,04	0,07	100	0,3	81,4	18,1	Núcleo
PVM104 - OI - z4 - 15	38,75	0,01	0,02	16,97	0,32	43,63	0,14	0,00	0,03	0,15	100	0,3	81,7	17,8	Núcleo
PVM104 - OI - z4 - 16	38,42	0,03	0,02	17,79	0,30	43,08	0,20	-0,03	0,04	0,16	100	0,3	80,7	18,7	Núcleo
PVM104 - OI - z4 - 17	38,76	0,00	0,04	17,72	0,33	42,83	0,19	0,00	-0,01	0,15	100	0,4	80,7	18,7	Núcleo

Punto	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	Cr2O3	NiO	Total	Te	Fo	Fa	Tipo
PVM104 - OI - z4 - 18	38,21	0,00	0,02	18,83	0,32	42,26	0,22	-0,02	0,03	0,13	100	0,3	79,5	19,9	Núcleo
PVM104 - OI - z4 - 19	38,19	0,05	0,00	18,81	0,28	42,34	0,18	0,02	0,00	0,12	100	0,3	79,6	19,8	Núcleo
PVM6 - OI - z9 - 2	38,78	0,02	0,02	17,18	0,33	43,34	0,21	0,00	-0,03	0,14	100	0,4	81,3	18,1	Núcleo
PVM6 - OI - z9 - 3	38,42	0,02	0,02	17,54	0,31	43,38	0,17	0,02	0,04	0,09	100	0,3	81,1	18,4	Núcleo
PVM6 - OI - z9 - 4	38,34	0,03	0,01	19,72	0,35	41,34	0,19	0,00	0,01	0,07	100	0,4	78,4	21,0	Núcleo
PVM6 - OI - z9 - 5	38,02	0,02	0,02	20,71	0,38	40,59	0,16	0,01	0,04	0,09	100	0,4	77,3	22,1	Núcleo
PVM6 - OI - z9 - 6	37,72	0,00	0,02	21,39	0,38	40,24	0,14	0,03	0,01	0,07	100	0,4	76,6	22,8	Núcleo
PVM6 - OI - z9 - 7	37,89	0,04	0,06	21,02	0,44	40,32	0,15	0,01	0,02	0,12	100	0,5	76,8	22,5	Núcleo
PVM6 - OI - z9 - 8	37,94	0,01	0,01	21,45	0,34	39,98	0,16	0,03	-0,02	0,12	100	0,4	76,4	23,0	Núcleo
PVM6 - OI - z9 - 9	37,90	0,02	0,03	21,71	0,40	39,79	0,17	-0,03	-0,01	0,07	100	0,4	76,1	23,3	Núcleo
PVM6 - OI - z9 - 10	37,65	0,01	0,00	21,58	0,42	40,04	0,15	0,02	0,02	0,13	100	0,5	76,3	23,1	Núcleo
PVM6 - OI - z9 - 11	37,88	0,01	0,02	21,21	0,40	40,07	0,17	0,11	0,01	0,14	100	0,4	76,6	22,7	Núcleo
PVM6 - OI - z9 - 12	37,78	0,01	0,01	21,43	0,37	40,12	0,17	0,02	0,01	0,12	100	0,4	76,5	22,9	Núcleo
PVM6 - OI - z9 - 13	38,35	0,02	0,02	19,80	0,34	41,26	0,13	0,00	0,02	0,07	100	0,4	78,4	21,1	Núcleo
PVM6 - OI - z9 - 14	38,34	0,05	0,05	18,72	0,32	42,19	0,23	0,00	0,04	0,06	100	0,3	79,5	19,8	Núcleo
PVM6 - OI - z10 - 16	37,99	0,03	0,01	19,93	0,35	41,44	0,16	0,02	0,02	0,12	100	0,4	78,3	21,1	Núcleo
PVM6 - OI - z10 - 17	38,23	0,02	-0,02	18,22	0,36	42,87	0,20	-0,01	0,02	0,15	100	0,4	80,2	19,1	Núcleo
PVM6 - OI - z10 - 18	38,23	0,00	0,01	18,27	0,29	42,93	0,15	0,01	-0,01	0,11	100	0,3	80,3	19,2	Núcleo
PVM6 - OI - z10 - 19	38,56	0,03	0,02	18,02	0,30	42,78	0,19	0,02	-0,01	0,16	100	0,3	80,4	19,0	Núcleo
PVM6 - OI - z10 - 20	38,22	0,02	-0,01	18,93	0,32	42,14	0,23	0,01	0,04	0,09	100	0,3	79,4	20,0	Núcleo
PVM6 - OI - z10 - 21	38,18	0,00	0,00	19,50	0,24	41,77	0,19	-0,01	0,05	0,08	100	0,3	78,8	20,7	Núcleo
PVM6 - OI - z10 - 22	38,32	0,01	0,03	18,58	0,33	42,32	0,19	0,02	0,04	0,17	100	0,4	79,8	19,6	Núcleo
PVM13 - OI - z4 - 2	38,50	0,01	0,04	18,94	0,32	41,90	0,21	0,02	0,00	0,06	100	0,3	79,3	20,1	Núcleo
PVM13 - OI - z4 - 3	38,30	0,03	0,17	19,07	0,32	41,82	0,23	0,04	-0,02	0,10	100	0,3	79,1	20,2	Núcleo
PVM13 - OI - Z2 - 16	38,49	0,00	0,04	19,47	0,33	41,37	0,19	0,01	0,03	0,08	100	0,4	78,6	20,8	Núcleo
PVM13 - OI - Z2 - 17	38,70	0,01	0,07	19,46	0,35	41,12	0,20	0,03	0,00	0,06	100	0,4	78,5	20,8	Núcleo
PVM13 - OI - Z2 - 18	38,88	0,03	0,01	19,08	0,32	41,31	0,29	-0,02	0,01	0,14	100	0,3	78,8	20,4	Núcleo
PVM14 - OI - z1 - 2	38,37	0,01	0,03	17,30	0,31	43,65	0,21	-0,03	0,07	0,12	100	0,3	81,3	18,1	Núcleo
PVM14 - OI - z1 - 3	38,34	0,00	-0,01	18,66	0,32	42,38	0,20	-0,02	0,03	0,12	100	0,3	79,7	19,7	Núcleo
PVM14 - OI - z1 - 4	37,83	0,00	0,06	20,47	0,36	40,98	0,14	0,03	0,03	0,10	100	0,4	77,6	21,7	Núcleo
PVM14 - OI - z1 - 5	37,81	0,03	0,02	20,71	0,36	40,82	0,16	0,01	-0,03	0,11	100	0,4	77,3	22,0	Núcleo
PVM14 - OI - z1 - 6	37,92	0,01	0,04	20,83	0,41	40,31	0,24	0,01	0,14	0,10	100	0,4	77,0	22,3	Núcleo

Punto	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	Cr2O3	NiO	Total	Te	Fo	Fa	Tipo
PVM14 - Ol - z1 - 7	38,24	0,00	0,04	20,39	0,39	40,62	0,19	0,03	0,02	0,09	100	0,4	77,5	21,8	Núcleo
PVM14 - Ol - z1 - 8	37,85	0,04	0,03	20,71	0,39	40,68	0,18	0,07	-0,02	0,08	100	0,4	77,3	22,1	Núcleo
PVM14 - Ol - z1 - 9	37,84	0,01	0,02	20,94	0,34	40,65	0,17	-0,01	0,01	0,05	100	0,4	77,1	22,3	Núcleo
PVM14 - Ol - z3 - 10	38,04	0,02	0,03	20,82	0,39	40,41	0,23	0,02	0,00	0,05	100	0,4	77,0	22,3	Núcleo
PVM14 - Ol - z3 - 11	38,07	0,04	0,04	19,45	0,28	41,82	0,21	0,03	0,02	0,12	100	0,3	78,9	20,6	Núcleo
PVM14 - Ol - z3 - 12	37,82	0,01	0,02	20,72	0,38	40,79	0,24	-0,01	0,00	0,03	100	0,4	77,3	22,0	Núcleo
PVM14 - Ol - z3 - 14	38,13	0,02	0,01	19,62	0,39	41,54	0,20	0,04	0,01	0,05	100	0,4	78,5	20,8	Núcleo
PVM14 - Ol - z3 - 15	37,91	0,01	0,03	19,75	0,38	41,66	0,19	0,02	0,00	0,06	100	0,4	78,5	20,9	Núcleo
PVM14 - Ol - z3 - 17	38,09	0,01	0,03	20,84	0,42	40,31	0,23	0,07	-0,04	0,07	100	0,5	77,0	22,3	Núcleo
PVM14 - Ol - z3 - 20	38,18	0,01	0,05	19,58	0,36	41,50	0,23	0,05	-0,03	0,08	100	0,4	78,6	20,8	Núcleo
PVM14 - Ol - z3 - 22	38,01	0,01	0,06	19,72	0,30	41,48	0,21	0,06	0,02	0,13	100	0,3	78,5	20,9	Núcleo
PVM17 - Ol - z1-2	38,10	0,02	0,01	19,18	0,33	42,02	0,22	0,02	0,04	0,07	100	0,4	79,1	20,3	Núcleo
PVM17 - Ol - z1-4	38,40	0,02	0,09	19,04	0,30	41,72	0,27	0,05	-0,01	0,10	100	0,3	79,1	20,2	Núcleo
PVM17 - Ol - z1-6	38,21	0,01	0,00	19,16	0,32	41,99	0,20	0,01	0,04	0,07	100	0,3	79,1	20,3	Núcleo
PVM17 - Ol - z1-7	37,94	0,00	0,03	19,29	0,35	42,05	0,22	0,02	0,01	0,11	100	0,4	79,0	20,3	Núcleo
PVM17 - Ol - z1-8	38,34	0,01	0,03	18,68	0,29	42,41	0,20	0,02	0,00	0,04	100	0,3	79,7	19,7	Núcleo
PVM17 - Ol - z1-9	38,30	0,02	0,05	18,52	0,35	42,50	0,19	0,01	0,04	0,06	100	0,4	79,8	19,5	Núcleo
PVM17 - Ol - z1-11	37,67	0,03	0,00	19,70	0,37	41,96	0,18	0,00	0,01	0,08	100	0,4	78,7	20,7	Núcleo
PVM17 - Ol - z1-12	38,34	0,04	0,03	18,34	0,34	42,58	0,21	0,03	0,00	0,10	100	0,4	80,0	19,3	Núcleo
PVM17 - Ol - z1-13	38,29	0,00	-0,01	19,09	0,35	41,94	0,23	0,02	0,01	0,08	100	0,4	79,1	20,2	Núcleo
PVM17 - Ol - z1-14	37,62	0,03	0,01	20,99	0,40	40,64	0,20	0,00	0,02	0,14	100	0,4	77,0	22,3	Núcleo
PVM17 - Ol - z1-15	38,06	0,04	0,03	18,99	0,35	42,18	0,27	0,00	0,05	0,04	100	0,4	79,3	20,0	Núcleo
PVM17 - Ol - z1-20	38,03	0,01	0,01	20,79	0,38	40,42	0,27	0,02	0,00	0,07	100	0,4	77,0	22,2	Núcleo
PVM17 - Ol - z1-21	38,29	0,01	0,04	19,31	0,38	41,73	0,25	0,02	-0,03	0,02	100	0,4	78,8	20,5	Núcleo
PVM17 - Ol - z1-22	37,93	0,05	0,05	19,62	0,36	41,68	0,22	0,01	0,00	0,08	100	0,4	78,6	20,7	Núcleo
PVM17 - Ol - z1-23	38,34	0,00	0,03	19,16	0,29	41,91	0,20	0,00	0,03	0,05	100	0,3	79,1	20,3	Núcleo
PVM17 - Ol - z1-24	37,95	0,03	0,04	19,10	0,35	42,23	0,24	0,01	0,00	0,07	100	0,4	79,2	20,1	Núcleo
PVM17 - Ol - z1-25	37,78	0,01	0,03	19,73	0,36	41,78	0,24	0,00	0,02	0,08	100	0,4	78,5	20,8	Núcleo

Plagioclasas															
Punto	SiO2	Al2O3	FeO	MgO	CaO	Na2O	K2O	BaO	SrO	TiO2	Total	An	Ab	Or	Grupo
PI PVM06 Z5 - 1	47,56	33,35	0,63	0,12	16,03	2,26	0,08	0,31	0,34	0,00	100	79,3	20,2	0,5	I
PI PVM06 Z5 - 2	46,89	33,95	0,76	0,11	17,05	1,75	0,06	0,22	0,36	0,00	100	84,0	15,6	0,4	I

PI PVM06 Z5 - 3	46,73	33,93	0,63	0,13	17,21	1,80	0,12	0,18	0,41	0,04	100	83,5	15,8	0,7	I
PI PVM06 Z5 - 4	46,38	34,00	0,65	0,08	17,46	1,65	0,04	0,09	0,24	0,06	100	85,2	14,5	0,2	I
PI PVM06 Z5 - 5	46,14	34,74	0,69	0,07	17,46	1,52	0,07	0,22	0,35	0,11	100	86,1	13,5	0,4	I
PI PVM06 Z5 - 6	46,58	34,18	0,69	0,10	17,35	1,67	0,05	0,18	0,44	0,00	100	84,9	14,8	0,3	I
PI PVM06 Z5 - 7	46,05	34,35	0,72	0,07	17,62	1,51	0,02	0,13	0,39	0,08	100	86,4	13,4	0,1	I
PI PVM06 Z5 - 8	46,39	34,30	0,63	0,08	17,56	1,44	0,08	0,18	0,38	0,09	100	86,7	12,9	0,5	I
PI PVM06 Z5 - 9	47,05	33,71	0,71	0,08	16,62	2,05	0,09	0,00	0,43	0,13	100	81,3	18,1	0,5	I
PI PVM06 Z5 - 10	47,00	33,96	0,70	0,08	16,94	1,86	0,07	0,09	0,43	0,08	100	83,1	16,5	0,4	I
PI PVM06 Z6 - 11	49,19	32,54	0,53	0,12	15,24	2,58	0,11	0,00	0,29	0,02	100	76,0	23,3	0,7	I
PI PVM06 Z6 - 12	47,38	33,19	0,67	0,10	16,62	2,10	0,07	0,04	0,23	0,06	100	81,1	18,5	0,4	I
PI PVM06 Z6 - 13	46,48	34,23	0,60	0,09	17,29	1,56	0,07	0,09	0,39	0,02	100	85,6	14,0	0,4	I
PI PVM06 Z6 - 13b	46,81	33,89	0,63	0,14	17,29	1,59	0,08	0,09	0,46	0,13	100	85,3	14,2	0,5	I
PI PVM06 Z6 - 14	48,78	32,52	0,83	0,13	15,49	2,64	0,10	0,13	0,33	0,02	100	76,0	23,4	0,6	I
PI PVM06 Z6 - 15	48,37	32,71	0,76	0,15	15,44	2,53	0,10	0,18	0,30	0,06	100	76,7	22,7	0,6	I
PI PVM06 Z6 - 16	47,92	33,00	0,82	0,09	15,83	2,37	0,06	0,22	0,27	0,02	100	78,4	21,2	0,3	I
PI PVM06 Z6 - 17	47,97	32,91	0,83	0,14	15,84	2,32	0,09	0,35	0,37	0,06	100	78,7	20,8	0,5	I
PI PVM06 Z6 - 18	47,48	33,12	0,75	0,12	16,32	2,17	0,08	0,04	0,22	0,15	100	80,3	19,3	0,5	I
PI PVM06 Z6 - 19	47,51	33,32	0,76	0,13	16,24	2,33	0,08	0,13	0,33	0,11	100	79,1	20,5	0,5	I
PI PVM06 Z6 - 20	47,38	33,36	0,78	0,10	16,57	2,15	0,09	0,27	0,22	0,06	100	80,6	18,9	0,5	I
PI PVM06 Z6 - 21	46,44	33,77	0,81	0,15	16,49	2,09	0,06	0,49	0,40	0,11	100	81,1	18,6	0,3	I
PI PVM06 Z7 - 22	47,72	33,59	0,65	0,13	16,37	1,98	0,09	0,22	0,39	0,09	100	81,6	17,8	0,5	I
PI PVM06 Z7 - 23	49,34	31,99	0,78	0,11	14,82	3,04	0,11	0,04	0,19	0,04	100	72,5	26,9	0,6	I
PI PVM06 Z7 - 24	48,19	33,31	0,66	0,10	15,92	2,14	0,07	0,05	0,42	0,00	100	80,1	19,5	0,4	I
PI PVM06 Z7 - 25	50,05	31,74	0,65	0,13	14,68	2,87	0,12	0,04	0,33	0,04	100	73,4	25,9	0,7	I
PI PVM06 Z7 - 25b	47,34	33,68	0,68	0,12	16,62	1,91	0,06	0,22	0,18	0,00	100	82,5	17,2	0,4	I
PI PVM06 Z7 - 26	47,26	33,59	0,66	0,07	16,76	2,02	0,05	0,18	0,41	0,19	100	81,9	17,8	0,3	I
PI PVM06 Z7 - 27	48,14	32,98	0,77	0,10	15,90	2,13	0,10	0,13	0,37	0,11	100	80,0	19,4	0,6	I
PI PVM06 Z7 - 28	47,21	33,60	0,68	0,09	16,63	2,06	0,07	0,22	0,21	0,08	100	81,3	18,3	0,4	I

Punto	SiO2	Al2O3	FeO	MgO	CaO	Na2O	K2O	BaO	SrO	TiO2	Total	An	Ab	Or	Grupo
PI PVM06 Z7 - 29	48,25	32,93	0,71	0,11	15,67	2,42	0,08	0,00	0,17	0,00	100	77,8	21,7	0,5	I
PI PVM06 Z7 - 30	46,93	34,01	0,70	0,10	16,96	1,62	0,06	0,05	0,47	0,06	100	85,0	14,7	0,3	I
PI PVM06 Z7 - 31	48,00	33,34	0,73	0,16	16,40	2,17	0,05	0,05	0,44	0,36	100	80,5	19,2	0,3	I
PI PVM06 Z7 - 32	53,38	29,36	0,77	0,18	11,88	4,62	0,31	0,31	0,21	0,02	100	57,6	40,6	1,8	I
PI PVM06 Z7 - 33	55,95	27,07	0,94	0,13	9,72	5,46	0,56	0,09	0,14	0,38	100	48,0	48,8	3,3	I
PI PVM06 Z8 - 34	50,66	31,05	0,80	0,14	13,91	3,49	0,13	0,05	0,25	0,13	100	68,3	31,0	0,8	I
PI PVM06 Z8 - 35	47,18	33,58	0,69	0,10	16,99	1,81	0,03	0,09	0,45	0,02	100	83,7	16,1	0,2	I
PI PVM06 Z8 - 36	50,87	31,23	0,65	0,15	13,99	3,32	0,11	0,05	0,37	0,08	100	69,5	29,8	0,7	I
PI PVM06 Z8 - 37	48,40	32,78	0,64	0,10	15,64	2,53	0,07	0,09	0,37	0,13	100	77,1	22,6	0,4	I
PI PVM06 Z8 - 38	49,30	32,07	0,72	0,13	14,79	2,78	0,09	0,35	0,39	0,17	100	74,2	25,3	0,5	I
PI PVM06 Z8 - 39	47,87	33,43	0,58	0,14	16,21	2,08	0,06	0,09	0,32	0,04	100	80,9	18,7	0,3	I
PI PVM06 Z8 - 40	47,89	33,29	0,59	0,10	16,19	2,27	0,05	0,09	0,31	0,02	100	79,5	20,2	0,3	I
PI PVM06 Z8 - 41	47,13	34,17	0,60	0,06	16,82	1,85	0,09	0,22	0,50	0,02	100	83,0	16,5	0,5	I
PI PVM06 Z8 - 42	48,08	33,28	0,62	0,13	16,06	2,15	0,08	0,13	0,28	0,02	100	80,1	19,4	0,5	I
PI PVM06 Z8 - 43	48,26	33,09	0,68	0,12	16,14	2,16	0,09	0,18	0,42	0,06	100	80,1	19,4	0,6	I
PI PVM06 Z8 - 44	48,87	32,61	0,67	0,11	15,67	2,43	0,05	0,22	0,28	0,09	100	77,9	21,8	0,3	I
PI PVM06 Z8 - 45	47,22	33,84	0,62	0,11	16,50	1,86	0,08	0,00	0,33	0,11	100	82,7	16,8	0,5	I
PI PVM06 Z8 - 46	46,90	33,53	0,77	0,06	16,92	1,90	0,06	0,31	0,37	0,08	100	82,9	16,8	0,3	I
PI PVM13 Z1 - 1	48,94	32,61	0,57	0,16	15,34	2,61	0,12	0,09	0,36	0,11	100	75,9	23,3	0,7	I
PI PVM13 Z1 - 2	50,15	32,00	0,51	0,05	14,71	2,85	0,09	0,23	0,21	0,07	100	73,6	25,9	0,5	I
PI PVM13 Z1 - 3	48,91	32,19	0,55	0,14	15,16	2,59	0,14	0,31	0,12	0,13	100	75,7	23,4	0,8	I
PI PVM13 Z1 - 4	47,70	33,50	0,60	0,11	16,17	2,13	0,08	0,09	0,36	0,00	100	80,4	19,2	0,4	I
PI PVM13 Z1 - 5	47,85	33,15	0,67	0,11	16,19	2,13	0,06	0,05	0,28	0,09	100	80,5	19,2	0,3	I
PI PVM13 Z1 - 6	47,09	33,34	0,67	0,08	16,62	2,09	0,08	0,22	0,35	0,15	100	81,1	18,5	0,5	I
PI PVM13 Z1 - 7	47,87	33,55	0,68	0,13	15,90	2,31	0,07	0,18	0,35	0,02	100	78,9	20,7	0,4	I
PI PVM13 Z1 - 8	47,56	33,62	0,65	0,10	16,11	2,03	0,08	0,14	0,25	0,02	100	81,1	18,5	0,4	I
PI PVM13 Z1 - 9	49,51	32,11	0,61	0,10	14,63	2,93	0,10	0,05	0,23	0,30	100	73,0	26,4	0,6	I

Punto	SiO2	Al2O3	FeO	MgO	CaO	Na2O	K2O	BaO	SrO	TiO2	Total	An	Ab	Or	Grupo
PI PVM13 Z1 - 10	47,13	34,14	0,58	0,11	16,71	1,63	0,07	0,09	0,36	0,06	100	84,6	15,0	0,4	I
PI PVM13 Z1 - 11	47,02	33,62	0,67	0,08	17,10	1,64	0,10	0,00	0,25	0,02	100	84,7	14,7	0,6	I
PI PVM13 Z3 - 24	52,44	29,84	0,75	0,15	12,22	4,07	0,29	0,18	0,23	0,30	100	61,4	36,9	1,7	I
PI PVM13 Z3 - 25	50,19	31,31	0,67	0,22	14,13	3,18	0,17	0,09	0,26	0,30	100	70,3	28,7	1,0	I
PI PVM13 Z3 - 26	49,30	32,37	0,57	0,16	15,06	2,72	0,09	0,09	0,35	0,00	100	75,0	24,5	0,5	I
PI PVM13 Z3 - 27	48,01	33,17	0,54	0,08	16,19	2,25	0,07	0,00	0,33	0,00	100	79,6	20,0	0,4	I
PI PVM13 Z3 - 28	47,31	33,62	0,69	0,10	16,71	1,80	0,05	0,09	0,15	0,02	100	83,5	16,3	0,3	I
PI PVM14 Z2 - 2	49,11	32,27	0,62	0,16	15,10	2,70	0,15	0,22	0,35	0,02	100	75,4	24,0	0,6	I
PI PVM14 Z2 - 7	46,35	34,15	0,61	0,06	17,50	1,50	0,06	0,00	0,32	0,09	100	86,5	13,5	0,0	I
PI PVM13 Z2 - 13	49,54	32,01	0,59	0,11	15,18	2,67	0,16	0,14	0,35	0,04	100	75,1	23,9	1,0	II
PI PVM13 Z2 - 14	49,63	32,22	0,69	0,11	14,73	2,80	0,12	0,05	0,29	0,04	100	73,9	25,4	0,7	II
PI PVM13 Z2 - 15	49,48	31,92	0,63	0,17	14,79	2,98	0,12	0,18	0,25	0,02	100	72,7	26,6	0,7	II
PI PVM13 Z2 - 16	49,40	32,18	0,58	0,12	15,28	2,62	0,10	0,09	0,30	0,11	100	75,8	23,6	0,6	II
PI PVM13 Z2 - 17	49,67	31,88	0,59	0,14	15,08	2,68	0,12	0,14	0,31	0,02	100	75,1	24,2	0,7	II
PI PVM13 Z2 - 18	47,86	32,99	0,52	0,10	16,21	2,19	0,09	0,22	0,27	0,09	100	79,9	19,6	0,5	II
PI PVM13 Z2 - 19	48,91	32,40	0,62	0,13	15,54	2,59	0,12	0,14	0,16	0,00	100	76,3	23,0	0,7	II
PI PVM13 Z2 - 20	46,77	34,18	0,56	0,05	17,41	1,64	0,05	0,32	0,32	0,02	100	85,2	14,5	0,3	II
PI PVM13 Z2 - 21	47,85	33,20	0,49	0,06	16,34	2,09	0,08	0,00	0,32	0,22	100	80,9	18,7	0,5	II
PI PVM13 Z2 - 22	46,76	34,38	0,63	0,10	17,03	1,46	0,04	0,18	0,27	0,04	100	86,4	13,4	0,2	II
PI PVM13 Z2 - 23	46,47	34,48	0,58	0,10	17,48	1,44	0,03	0,27	0,35	0,04	100	86,9	12,9	0,2	II
PI PVM13 Z4 - 29	58,20	25,76	0,99	0,18	8,25	6,09	0,76	0,18	0,13	0,09	100	40,9	54,6	4,5	II
PI PVM13 Z4 - 30	52,26	30,06	0,76	0,18	12,59	3,94	0,26	0,13	0,20	0,02	100	62,8	35,6	1,5	II
PI PVM13 Z4 - 31	48,73	32,55	0,69	0,14	15,63	2,51	0,12	0,09	0,27	0,00	100	76,9	22,3	0,7	II
PI PVM13 Z4 - 32	52,90	29,56	0,86	0,19	12,33	3,93	0,27	0,22	0,40	0,13	100	62,4	36,0	1,6	II
PI PVM13 Z4 - 33	53,09	29,30	0,98	0,19	11,99	4,20	0,30	0,00	0,22	0,17	100	60,1	38,1	1,8	II
PI PVM13 Z4 - 34	50,83	30,87	0,84	0,15	13,99	3,28	0,15	0,05	0,28	0,13	100	69,6	29,5	0,9	II
PI PVM13 Z4 - 35	48,96	32,47	0,61	0,13	15,30	2,63	0,13	0,00	0,35	0,11	100	75,7	23,6	0,8	II

Punto	SiO2	Al2O3	FeO	MgO	CaO	Na2O	K2O	BaO	SrO	TiO2	Total	An	Ab	Or	Grupo
PI PVM13 Z4 - 36	49,10	32,38	0,70	0,09	15,27	2,46	0,07	0,00	0,19	0,11	100	77,1	22,5	0,4	II
PI PVM13 Z4 - 37	49,70	31,97	0,75	0,14	15,02	2,85	0,09	0,27	0,25	0,00	100	74,0	25,4	0,5	II
PI PVM13 Z4 - 38	49,13	32,07	0,54	0,14	15,31	2,72	0,13	0,13	0,21	0,04	100	75,1	24,2	0,7	II
PI PVM13 Z4 - 39	49,76	31,81	0,63	0,16	15,00	2,81	0,13	0,00	0,32	0,02	100	74,1	25,1	0,8	II
PI PVM13 Z4 - 40	49,64	32,15	0,56	0,18	14,69	2,89	0,12	0,09	0,27	0,04	100	73,2	26,1	0,7	II
PI PVM13 Z4 - 41	51,15	31,02	0,60	0,12	13,95	3,27	0,17	0,00	0,28	0,00	100	69,5	29,5	1,0	II
PI PVM13 Z4 - 42	50,66	31,21	0,59	0,10	14,46	3,22	0,17	0,18	0,39	0,17	100	70,6	28,5	1,0	II
PI PVM14 Z3 - 10	49,90	32,12	0,55	0,14	14,78	2,99	0,09	0,09	0,29	0,19	100	73,5	25,9	0,5	II
PI PVM14 Z3 - 11	49,03	32,35	0,59	0,13	15,53	2,49	0,11	0,05	0,31	0,13	100	76,2	23,3	0,5	II
PI PVM14 Z3 - 12	49,80	31,52	0,51	0,12	14,81	3,01	0,14	0,31	0,25	0,02	100	72,2	26,8	1,0	II
PI PVM14 Z3 - 14	50,23	31,48	0,62	0,12	14,63	2,87	0,14	0,09	0,20	0,02	100	72,9	26,3	0,8	II
PI PVM17 Z1 - 1	47,39	33,27	0,63	0,09	16,61	1,94	0,08	0,00	0,19	0,19	100	82,2	17,3	0,5	II
PI PVM17 Z1 - 2	49,68	31,99	0,69	0,12	14,76	2,98	0,12	0,09	0,19	0,06	100	72,7	26,6	0,7	II
PI PVM17 Z1 - 3	49,53	31,81	0,62	0,10	14,78	2,86	0,15	0,27	0,23	0,13	100	73,4	25,7	0,9	II
PI PVM17 Z1 - 4	49,00	32,57	0,63	0,12	15,30	2,62	0,08	0,13	0,33	0,13	100	76,0	23,6	0,5	II
PI PVM17 Z1 - 5	49,59	32,00	0,50	0,08	15,08	2,77	0,11	0,27	0,16	0,30	100	74,6	24,8	0,6	II
PI PVM17 Z1 - 6	48,56	32,72	0,57	0,12	15,53	2,61	0,10	0,22	0,33	0,11	100	76,2	23,2	0,6	II
PI PVM17 Z1 - 7	49,32	32,14	0,59	0,16	15,13	2,63	0,11	0,22	0,30	0,00	100	75,6	23,8	0,7	II
PI PVM17 Z1 - 8	47,95	32,95	0,54	0,10	16,25	2,08	0,09	0,36	0,31	0,00	100	80,7	18,7	0,6	II
PI PVM17 Z1 - 9	49,54	32,03	0,58	0,11	14,87	2,72	0,12	0,27	0,34	0,11	100	74,6	24,7	0,7	II
PI PVM17 Z1 - 10	48,60	32,46	0,63	0,11	15,76	2,60	0,11	0,22	0,33	0,17	100	76,5	22,9	0,6	II
PI PVM17 Z1 - 11	50,81	31,12	0,83	0,15	14,15	3,20	0,22	0,09	0,34	0,06	100	70,0	28,7	1,3	II
PI PVM17 Z1 - 12	50,06	31,69	0,63	0,10	14,69	3,05	0,12	0,00	0,23	0,11	100	72,2	27,1	0,7	II
PI PVM17 Z1 - 13	50,15	31,78	0,61	0,12	14,81	2,82	0,12	0,27	0,22	0,09	100	73,9	25,4	0,7	II
PI PVM17 Z1 - 14	48,61	32,45	0,66	0,14	15,68	2,50	0,10	0,05	0,16	0,02	100	77,2	22,3	0,6	II
PI PVM17 Z1 - 15	49,07	32,16	0,70	0,08	15,35	2,65	0,12	0,13	0,37	0,11	100	75,6	23,6	0,7	II
PI PVM17 Z1 - 16	53,69	29,07	0,79	0,17	12,23	4,28	0,29	0,31	0,31	0,11	100	60,2	38,1	1,7	II

Punto	SiO2	Al2O3	FeO	MgO	CaO	Na2O	K2O	BaO	SrO	TiO2	Total	An	Ab	Or	Grupo
PI PVM17 Z1 - 17	48,24	33,09	0,87	0,12	15,98	2,25	0,08	0,36	0,32	0,04	100	79,4	20,2	0,4	II
PI PVM17 Z1 - 18	48,98	32,17	0,89	0,13	15,06	2,73	0,10	0,27	0,32	0,00	100	74,9	24,6	0,6	II
PI PVM17 Z1 - 19	49,70	32,01	0,72	0,12	14,95	2,92	0,14	0,13	0,31	0,11	100	73,3	25,9	0,8	II
PI PVM17 Z1 - 20	49,28	32,09	0,54	0,16	15,02	2,83	0,10	0,18	0,20	0,00	100	74,2	25,2	0,6	II
PI PVM17 Z1 - 21	48,73	32,11	0,83	0,15	15,47	2,70	0,11	0,05	0,19	0,15	100	75,5	23,8	0,6	II
PI PVM17 Z1 - 22	49,55	32,26	0,54	0,19	15,04	2,74	0,11	0,27	0,28	0,13	100	74,7	24,6	0,7	II
PI PVM17 Z1 - 23	48,98	32,41	0,75	0,11	15,45	2,53	0,12	0,13	0,29	0,06	100	76,6	22,7	0,7	II
PI PVM17 Z1 - 24	49,00	32,15	0,74	0,09	15,26	2,73	0,11	0,26	0,37	0,02	100	75,0	24,3	0,7	II
PI PVM17 Z1 - 25	49,14	32,24	0,66	0,13	14,91	2,68	0,12	0,13	0,24	0,23	100	74,9	24,4	0,7	II
PI PVM17 Z1 - 26	49,56	31,75	0,60	0,12	14,96	2,98	0,10	0,13	0,21	0,25	100	73,0	26,4	0,6	II
PI PVM17 Z1 - 27	49,14	32,11	0,67	0,15	14,97	2,87	0,12	0,31	0,40	0,06	100	73,8	25,6	0,7	II
PI PVM17 Z1 - 28	49,90	31,92	0,68	0,13	14,91	2,73	0,11	0,09	0,33	0,04	100	74,6	24,7	0,6	II
PI PVM17 Z1 - 29	49,35	31,81	0,64	0,12	15,08	2,81	0,12	0,31	0,31	0,06	100	74,2	25,0	0,7	II

Clinopiroxenos															
Punto	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	Cr2O3	NiO	Total	Wo	En	Fs	Grupo
PVM14 - Cpx - Z3 - 20	45,65	2,76	7,41	13,38	0,29	11,84	18,04	0,55	0,05	0,03	100	40,1	36,7	23,2	I
PVM13 - Cpx - Z2 - 01	48,15	2,45	6,05	13,31	0,35	11,72	17,14	0,81	0,01	0,01	100	39,1	37,2	23,7	I
PVM13 - Cpx - Z2 - 15	48,43	2,23	4,38	12,66	0,35	12,68	18,68	0,58	0,02	0,01	100	40,4	38,2	21,4	I
PVM17 - Cpx - Z1 - 21	48,28	1,29	5,86	7,91	0,14	13,96	21,90	0,37	0,26	0,01	100	46,1	41,0	13,0	II
PVM17 - Cpx - Z1 - 32	47,75	1,46	6,48	8,30	0,21	13,87	21,32	0,34	0,29	0,01	100	45,2	41,0	13,7	II
PVM17 - Cpx - Z1 - 6	48,65	1,26	5,63	7,96	0,18	14,07	21,60	0,38	0,19	0,08	100	45,5	41,4	13,1	II
PVM17 - Cpx - Z1 - 2	47,67	1,54	6,64	8,07	0,18	13,96	21,27	0,36	0,31	0,02	100	45,2	41,4	13,4	II
PVM17 - Cpx - Z1 - 4	48,58	1,36	5,76	7,79	0,15	14,12	21,55	0,35	0,29	0,05	100	45,5	41,6	12,9	II
PVM17 - Cpx - Z1 - 5	48,06	1,21	6,04	8,08	0,24	14,18	21,36	0,43	0,39	0,01	100	45,0	41,7	13,3	II
PVM17 - Cpx - Z1 - 28	49,07	1,21	5,39	7,83	0,17	14,23	21,61	0,35	0,15	0,01	100	45,4	41,7	12,9	II
PVM17 - Cpx - Z1 - 9	48,74	1,27	5,53	7,56	0,15	14,20	21,71	0,37	0,40	0,07	100	45,8	41,8	12,4	II
PVM17 - Cpx - Z1 - 1	48,64	1,30	5,92	7,48	0,19	14,20	21,74	0,29	0,26	0,02	100	45,9	41,8	12,3	II
PVM17 - Cpx - Z1 - 7	48,34	1,39	6,31	7,68	0,19	14,11	21,32	0,33	0,34	0,00	100	45,4	41,9	12,8	II
PVM13 - Cpx - Z2 - 09	49,42	1,05	5,32	7,72	0,15	14,24	21,47	0,34	0,30	0,00	100	45,4	41,9	12,7	II
PVM17 - Cpx - Z1 - 31	49,30	1,18	5,54	7,14	0,17	14,23	21,87	0,35	0,20	0,03	100	46,2	42,0	11,8	II

Punto	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	Cr2O3	NiO	Total	Wo	En	Fs	Grupo
PVM13 - Cpx - Z2 - 07	49,50	1,06	5,14	7,53	0,15	14,35	21,74	0,29	0,20	0,05	100	45,7	42,0	12,3	II
PVM17 - Cpx - Z1 - 30	49,10	1,20	5,43	7,49	0,14	14,34	21,80	0,29	0,24	0,02	100	45,7	42,0	12,3	II
PVM17 - Cpx - Z1 - 3	48,28	1,37	6,04	7,87	0,14	14,23	21,26	0,38	0,36	0,07	100	45,0	42,0	13,0	II
PVM17 - Cpx - Z1 - 8	49,40	1,04	4,90	7,65	0,11	14,44	21,83	0,34	0,31	0,02	100	45,5	42,0	12,5	II
PVM14 - Cpx - Z3 - 9	48,81	1,27	5,58	8,11	0,21	14,30	21,15	0,36	0,19	0,02	100	44,6	42,1	13,4	II
PVM14 - Cpx - Z3 - 16	48,72	1,25	5,83	7,82	0,16	14,28	21,29	0,35	0,27	0,03	100	45,0	42,1	12,9	II
PVM17 - Cpx - Z1 - 13	49,39	1,19	5,31	7,21	0,16	14,34	21,84	0,31	0,25	0,02	100	46,0	42,1	11,9	II
PVM14 - Cpx - Z3 - 5	48,77	1,20	5,60	7,71	0,22	14,37	21,44	0,34	0,31	0,04	100	45,1	42,2	12,7	II
PVM14 - Cpx - Z3 - 21	49,49	1,17	4,82	7,60	0,18	14,47	21,58	0,32	0,36	0,02	100	45,2	42,3	12,4	II
PVM14 - Cpx - Z3 - 7	48,44	1,28	5,67	8,07	0,16	14,48	21,22	0,40	0,26	0,02	100	44,5	42,3	13,2	II
PVM14 - Cpx - Z3 - 11	48,90	1,20	5,50	7,77	0,21	14,43	21,31	0,37	0,31	0,00	100	44,9	42,4	12,8	II
PVM13 - Cpx - Z2 - 05	49,96	0,97	4,74	7,16	0,14	14,58	21,98	0,26	0,25	0,04	100	45,9	42,4	11,7	II
PVM14 - Cpx - Z3 - 17	48,27	1,37	5,75	8,08	0,19	14,53	21,21	0,34	0,28	0,02	100	44,4	42,4	13,2	II
PVM14 - Cpx - Z3 - 15	48,68	1,32	5,91	7,97	0,16	14,40	21,03	0,35	0,22	0,03	100	44,4	42,4	13,2	II
PVM17 - Cpx - Z1 - 20	49,01	0,96	5,19	6,98	0,21	14,59	22,15	0,28	0,62	0,02	100	46,2	42,4	11,4	II
PVM17 - Cpx - Z1 - 25	49,22	1,19	5,39	6,89	0,18	14,41	21,84	0,33	0,53	0,02	100	46,2	42,5	11,4	II
PVM14 - Cpx - Z3 - 10	49,00	1,26	5,36	7,78	0,16	14,50	21,31	0,34	0,28	0,01	100	44,8	42,5	12,8	II
PVM17 - Cpx - Z1 - 19	49,16	1,04	5,29	7,40	0,17	14,55	21,68	0,33	0,36	0,04	100	45,4	42,5	12,1	II
PVM17 - Cpx - Z1 - 22	48,97	1,09	5,40	7,07	0,16	14,57	21,92	0,30	0,55	0,02	100	45,9	42,5	11,6	II
PVM14 - Cpx - Z3 - 26	49,56	1,01	4,85	7,56	0,13	14,69	21,74	0,29	0,13	0,05	100	45,2	42,6	12,3	II
PVM17 - Cpx - Z1 - 24	49,27	1,05	5,04	7,18	0,12	14,66	21,93	0,35	0,43	0,02	100	45,7	42,6	11,7	II
PVM17 - Cpx - Z1 - 23	49,33	1,05	5,03	7,01	0,12	14,73	22,15	0,29	0,28	0,01	100	46,0	42,6	11,4	II
PVM14 - Cpx - Z3 - 8	48,97	1,23	5,23	7,61	0,18	14,63	21,46	0,35	0,34	0,00	100	44,9	42,7	12,4	II
PVM14 - Cpx - Z3 - 29	49,23	0,98	4,90	7,56	0,20	14,75	21,73	0,36	0,28	0,00	100	45,1	42,7	12,2	II
PVM17 - Cpx - Z1 - 11	49,60	1,03	4,92	6,97	0,18	14,69	22,02	0,30	0,34	0,04	100	45,9	42,7	11,4	II
PVM13 - Cpx - Z2 - 08	50,18	1,00	4,90	6,71	0,20	14,55	21,86	0,27	0,38	0,05	100	46,2	42,8	11,1	II
PVM17 - Cpx - Z1 - 29	49,32	1,20	5,60	7,34	0,17	14,56	21,37	0,28	0,16	0,01	100	45,1	42,8	12,1	II
PVM14 - Cpx - Z3 - 31	49,44	1,00	4,73	7,40	0,17	14,83	21,78	0,34	0,26	0,05	100	45,2	42,9	12,0	II
PVM14 - Cpx - Z3 - 14	49,08	1,09	5,39	7,44	0,18	14,60	21,31	0,37	0,50	0,05	100	44,9	42,9	12,2	II
PVM13 - Cpx - Z2 - 06	49,84	1,01	4,80	6,87	0,15	14,77	22,00	0,28	0,28	0,01	100	45,9	42,9	11,2	II
PVM17 - Cpx - Z1 - 16	49,57	0,91	5,00	7,79	0,15	14,75	21,30	0,35	0,22	0,05	100	44,4	42,9	12,7	II
PVM14 - Cpx - Z3 - 13	49,12	1,15	5,30	7,52	0,21	14,65	21,31	0,35	0,36	0,02	100	44,8	42,9	12,3	II
PVM13 - Cpx - Z2 - 03	50,03	1,02	4,73	7,25	0,14	14,75	21,66	0,36	0,07	0,01	100	45,3	42,9	11,8	II
PVM14 - Cpx - Z3 - 27	49,77	1,04	4,80	7,44	0,22	14,71	21,47	0,32	0,21	0,02	100	44,9	42,9	12,2	II

Punto	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	Cr2O3	NiO	Total	Wo	En	Fs	Grupo
PVM14 - Cpx - Z3 - 22	49,58	1,05	4,90	7,34	0,20	14,70	21,45	0,38	0,41	0,01	100	45,0	43,0	12,0	II
PVM17 - Cpx - Z1 - 18	49,74	0,92	5,09	7,39	0,18	14,72	21,40	0,29	0,31	0,04	100	44,9	43,0	12,1	II
PVM13 - Cpx - Z2 - 04	50,06	1,00	4,75	7,06	0,15	14,79	21,73	0,32	0,18	0,03	100	45,4	43,0	11,5	II
PVM14 - Cpx - Z3 - 4	49,06	1,07	5,52	7,31	0,21	14,61	21,20	0,33	0,66	0,03	100	44,8	43,1	12,1	II
PVM14 - Cpx - Z3 - 30	49,62	1,02	4,53	7,47	0,18	14,93	21,64	0,33	0,24	0,05	100	44,8	43,1	12,1	II
PVM14 - Cpx - Z3 - 25	50,17	0,89	4,44	7,16	0,18	14,87	21,74	0,34	0,23	0,01	100	45,2	43,1	11,6	II
PVM17 - Cpx - Z1 - 17	49,37	0,88	4,92	7,36	0,12	14,93	21,67	0,31	0,47	0,03	100	44,9	43,2	11,9	II
PVM14 - Cpx - Z3 - 6	49,27	1,19	5,50	7,26	0,20	14,61	21,15	0,33	0,50	0,01	100	44,8	43,2	12,0	II
PVM17 - Cpx - Z1 - 12	49,96	0,90	4,45	6,84	0,11	15,08	22,09	0,24	0,33	0,00	100	45,6	43,4	11,0	II
PVM14 - Cpx - Z3 - 19	48,98	1,12	5,41	7,40	0,19	14,96	21,28	0,34	0,31	0,01	100	44,4	43,5	12,1	II
PVM14 - Cpx - Z3 - 18	49,44	1,07	5,31	7,08	0,21	14,94	21,13	0,31	0,52	0,01	100	44,5	43,9	11,6	II
PVM14 - Cpx - Z3 - 12	49,40	1,02	5,19	7,24	0,17	15,05	21,17	0,31	0,38	0,06	100	44,3	43,9	11,8	II
PVM17 - Cpx - Z1 - 28b	50,29	0,80	4,35	6,76	0,17	15,23	21,76	0,30	0,32	0,02	100	45,1	44,0	10,9	II
PVM17 - Cpx - Z1 - 36	51,35	0,64	2,83	7,28	0,19	15,83	21,57	0,22	0,12	0,03	100	43,7	44,8	11,5	III
PVM13 - Cpx - Z2 - 12	51,79	0,84	2,67	7,98	0,28	15,76	20,20	0,31	0,18	0,00	100	41,8	45,3	12,9	III
PVM14 - Cpx - Z3 - 1	51,59	0,61	2,64	6,91	0,14	16,14	21,56	0,28	0,10	0,03	100	43,6	45,5	10,9	III
PVM17 - Cpx - Z1 - 14	51,51	0,62	2,80	7,22	0,20	16,07	21,17	0,25	0,16	0,01	100	43,0	45,5	11,5	III
PVM17 - Cpx - Z1 - 15	51,37	0,57	2,89	6,69	0,18	16,15	21,68	0,26	0,23	0,01	100	43,9	45,6	10,6	III
PVM17 - Cpx - Z1 - 33	51,91	0,56	2,69	6,69	0,19	16,03	21,45	0,25	0,27	0,04	100	43,8	45,6	10,7	III
PVM17 - Cpx - Z1 - 37	51,69	0,57	2,93	6,37	0,15	16,07	21,72	0,29	0,20	0,03	100	44,2	45,6	10,1	III
PVM13 - Cpx - Z2 - 14	51,64	0,72	2,95	7,51	0,19	15,91	20,40	0,33	0,33	0,02	100	42,1	45,7	12,1	III
PVM17 - Cpx - Z1 - 35	51,96	0,61	2,60	6,38	0,19	16,22	21,59	0,22	0,19	0,06	100	43,9	46,0	10,1	III
PVM17 - Cpx - Z1 - 34	51,95	0,56	2,65	6,16	0,18	16,30	21,60	0,26	0,33	0,02	100	44,0	46,3	9,8	III
PVM17 - Cpx - Z1 - 26	52,10	0,62	2,62	6,86	0,20	16,24	20,86	0,28	0,21	0,01	100	42,7	46,3	11,0	III
PVM17 - Cpx - Z1 - 27	51,63	0,61	2,63	7,35	0,23	16,42	20,74	0,24	0,14	0,02	100	42,0	46,4	11,6	III
PVM14 - Cpx - Z3 - 28	51,72	0,58	2,53	6,72	0,22	16,50	21,27	0,26	0,24	0,05	100	42,9	46,5	10,6	III
PVM14 - Cpx - Z3 - 3	51,71	0,57	2,45	6,79	0,16	16,48	21,15	0,31	0,31	0,07	100	42,8	46,5	10,7	III
PVM14 - Cpx - Z3 - 24	52,04	0,51	2,52	6,63	0,22	16,53	20,99	0,29	0,30	0,02	100	42,6	46,8	10,5	III
PVM14 - Cpx - Z3 - 23	52,21	0,53	2,56	6,68	0,20	16,48	20,83	0,25	0,24	0,02	100	42,5	46,9	10,6	III
PVM13 - Cpx - Z2 - 10	52,05	0,64	2,54	7,24	0,20	16,53	20,40	0,24	0,11	0,06	100	41,6	46,9	11,5	III
PVM13 - Cpx - Z2 - 11	52,30	0,57	2,56	6,91	0,21	16,50	20,46	0,23	0,19	0,06	100	41,9	47,0	11,0	III
PVM13 - Cpx - Z2 - 02	52,24	0,64	2,67	6,70	0,15	16,64	20,47	0,25	0,23	0,01	100	41,9	47,4	10,7	III
PVM17 - Cpx - Z1 - 10	51,97	0,59	2,52	7,26	0,21	16,72	20,17	0,29	0,27	0,00	100	41,0	47,4	11,5	III

Espinelas												
Punto	SiO2	Al2O3	MgO	Cr2O3	TiO2	FeO	MnO	Total	Al	Cr	Fe+3	Fe+3/(Al+Cr+Fe+3)
PVM14 - Z1 - Sp - 1	-0,01	12,41	7,91	20,73	4,28	54,25	0,44	100	0,48	0,54	0,78	0,43
PVM14 - Z1 - Sp - 2	-0,01	12,51	8,04	20,35	3,71	55,02	0,38	100	0,48	0,52	0,81	0,45
PVM14 - Z1 - Sp - 3	0,01	12,86	7,99	19,30	4,64	54,78	0,41	100	0,49	0,50	0,78	0,44
PVM14 - Z1 - Sp - 4	-0,06	27,58	12,15	23,83	1,90	34,27	0,34	100	0,98	0,57	0,37	0,19
PVM14 - Z3 - Sp - 5	0,00	17,98	8,94	22,98	3,23	46,47	0,41	100	0,67	0,58	0,59	0,32
PVM14 - Z3 - Sp - 7	-0,03	24,96	10,91	23,55	1,86	38,44	0,30	100	0,90	0,57	0,45	0,23
PVM17 - Z1 - Sp - 1	0,297	15,03	8,799	20,636	4,25	50,61	0,38	100	0,57	0,52	0,68	0,38
PVM17 - Z1 - Sp - 2	-0,02	13,775	8,208	20,377	4,7	52,56	0,398	100	0,53	0,52	0,72	0,41
PVM04 - Z3 - Sp - 1	-0,056	20,731	9,284	24,672	1,998	43,03	0,345	100	0,77	0,61	0,53	0,28
PVM04 - Z3 - Sp - 2	-0,045	23,931	9,971	25,238	0,9	39,65	0,356	100	0,87	0,62	0,47	0,24
PVM04 - Z3 - Sp - 3	-0,086	23,97	10,1	26,358	0,907	38,43	0,325	100	0,87	0,64	0,45	0,23
PVM04 - Z4 - Sp - 4	-0,112	25,009	11,77	25,582	1,523	35,86	0,37	100	0,90	0,62	0,42	0,22
PVM04 - Z4 - Sp - 5	-0,093	26,169	12,05	26,267	1,5	33,76	0,346	100	0,93	0,63	0,38	0,19
PVM04 - Z4 - Sp - 6	-0,001	23,09	11,15	24,434	1,902	39,1	0,333	100	0,84	0,59	0,48	0,25
PVM04 - Z4 - Sp - 7	0,012	22,651	10,97	24,845	2,081	39,11	0,327	100	0,82	0,61	0,47	0,25
PVM06 - Z9 - Sp - 1	0,071	14,64	8,062	25,11	2,102	49,62	0,399	100	0,56	0,64	0,69	0,36
PVM06 - Z9 - Sp - 2	0,092	14,164	7,996	25,031	2,188	50,18	0,351	100	0,54	0,64	0,70	0,37
PVM06 - Z9 - Sp - 3	0,026	14,488	8,05	24,769	2,164	50,08	0,428	100	0,55	0,63	0,70	0,37
PVM06 - Z10 - Sp - 4	0,017	24,769	10,53	25,551	1,561	37,16	0,415	100	0,90	0,62	0,41	0,21
PVM06 - Z10 - Sp - 5	0,013	23,896	10,57	26,03	1,646	37,43	0,408	100	0,87	0,63	0,42	0,22
PVM06 - Z10 - Sp - 6	0,049	24,925	10,71	24,731	1,831	37,38	0,37	100	0,90	0,60	0,41	0,22
PVM13 - Z4 - Sp - 1	-0,082	24,386	10,1	26,762	1,4	37,04	0,396	100	0,89	0,65	0,40	0,21
PVM13 - Z4 - Sp - 2	-0,053	17,35	9,109	22,082	3,941	47,15	0,419	100	0,65	0,56	0,61	0,33

Tablas IV: Termometría

Pares	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	Cr2O3	NiO
OI 22	37,932	0,047	0,049	19,615	0,359	41,684	0,22	0,013	0,003	0,079
CPX 30	48,103	1,218	5,549	7,634	0,141	14,637	22,196	0,297	0,248	-0,023

Kd 2,34332169

Normalized Analysis

oxide	wt %	cations	atoms	end member	mole %*	oxide	wt %
SiO2	37,932	Si	0,9716852	Te	0,38449316	SiO2	48,103
TiO2	0,047	Ti	0,0009054	Fo	78,5753566	TiO2	1,218
Al2O3	0,049	Al	0,00147935	Fa	20,7421005	Al2O3	5,549
Cr2O3	0,003	Cr	6,076E-05	Ca-Ol	0,29804975	Cr2O3	0,248
Fe2O3	2,76392569	Fe3	0,05327869	sum	100	Fe2O3	5,63163381
FeO	17,1279892	Fe2	0,36692916			FeO	2,56659388
MnO	0,359	Mn	0,00778933			MnO	0,141
MgO	41,684	Mg	1,59183402			MgO	14,637
CaO	0,22	Ca	0,0060381			CaO	22,196
total	100,185915	tot. cat.	3	Note: Si deficiency		Na2O	0,297
		tot. oxy.	4			total	100,587228

Parms	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	Cr2O3	NiO
O1 21	38,285	-0,013	0,038	19,312	0,38	41,734	0,248	0,018	-0,026	0,024
CPX 29	48,323	1,225	5,725	7,477	0,173	14,861	21,768	0,281	0,16	0,007

Kd 2,04775866

Normalized Analysis

oxide	wt %	cations	atoms	end member	mole %*	oxide	wt %
SiO2	38,285	Si	0,97954918	Te	0,40766003	SiO2	48,323
TiO2	-0,013	Ti	-0,00025013	Fo	78,8002071	TiO2	1,225
Al2O3	0,038	Al	0,00114587	Fa	20,4555918	Al2O3	5,725
Cr2O3	-0,026	Cr	-0,00052595	Ca-OI	0,33654112	Cr2O3	0,16
Fe2O3	2,11818286	Fe3	0,04078198	sum	100	Fe2O3	4,94574085
FeO	17,4060357	Fe2	0,37243755			FeO	3,02676792
MnO	0,38	Mn	0,00823506			MnO	0,173
MgO	41,734	Mg	1,59182803			MgO	14,861
CaO	0,248	Ca	0,0067984			CaO	21,768
total	100,170219	tot. cat.	3	Note: Si deficiency		Na2O	0,281
		tot. oxy.	4			total	100,488509

Pares	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	Cr2O3	NiO
OI 11	37,67	0,034	0,002	19,7	0,366	41,961	0,182	0	0,011	0,075
CPX 14	50,513	0,63	2,866	7,361	0,201	16,421	21,586	0,254	0,16	0,008

Kd 2,41342236

Normalized Analysis

oxide	wt %	cations	atoms	end member	mole %*	oxide	wt %
SiO2	37,67	Si	0,96391688	Te	0,38977611	SiO2	50,513
TiO2	0,034	Ti	0,00065425	Fo	78,6507315	TiO2	0,63
Al2O3	0,002	Al	6,0316E-05	Fa	20,7143167	Al2O3	2,866
Cr2O3	0,011	Cr	0,00022254	Ca-OI	0,2451757	Cr2O3	0,16
Fe2O3	3,66521049	Fe3	0,07057489	sum	100	Fe2O3	5,22486807
FeO	16,4020032	Fe2	0,3509917			FeO	2,65960618
MnO	0,366	Mn	0,00793251			MnO	0,201
MgO	41,961	Mg	1,60065723			MgO	16,421
CaO	0,182	Ca	0,00498968			CaO	21,586
total	100,293214	tot. cat.	3	Note: Si deficiency		Na2O	0,254
		tot. oxy.	4			total	100,515474

Muestra	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	Cr2O3	NiO	Total
Pvm04-z3	Olivino 9	37,998	-0,015	0,022	20,306	0,327	41,026	0,203	0,017	-0,03	0,146	100
	Espinela 1	-0,056	20,731	9,284	24,672	1,998	43,025	0,345				100

Kd	0,001061	T (°C)	1119,628
Cr#	0,5434	error (°C)	68,98492

error - error +
 Kd 0,001061 T(K) 1389,211 1461,613 1323,644 T(°C) error
 Cr# 0,5434 T(°C) 1116,211 1188,613 1050,644 1119,628 68,98492

Olivino
Normalized Analysis

oxide	wt %
SiO2	37,998
TiO2	-0,015
Al2O3	0,022
Cr2O3	-0,03
FeO	2,35802597
MnO	18,1842223
MgO	0,327
CaO	41,026
total	100,073248

cations	atoms
Si	0,97744
Ti	-0,00029
Al	0,000667
Cr	-0,00061
Fe3	0,045644
Fe2	0,391183
Mn	0,007125
Mg	1,573247
Ca	0,005595
tot. cat.	3
tot. oxy.	4

Espinela
Normalized Analysis

oxide	wt %
SiO2	-0,056
TiO2	1,998
Al2O3	20,731
Cr2O3	24,672
Fe2O3	22,37073
FeO	22,89557
MnO	0,345
MgO	9,284
total	102,2403

cations	atoms
Si	-0,00175917
Ti	0,04719927
Al	0,76752944
Cr	0,6127719
Fe3	0,52881845
Fe2	0,60148732
Mn	0,0091796
Mg	0,43477318
tot. cat.	3
tot. oxy.	4

Muestra	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	Cr2O3	NiO	Total
Pvm14-Z1	Olivino 2	38,369	-0,007	0,025	17,298	0,308	43,646	0,205	-0,028	0,068	0,115	100
	Espinela 4	-0,061	27,581	12,147	23,83	1,903	34,265	0,335				100

Kd	0,000906	T (°C)	1106,006
Cr#	0,463519	error (°C)	67,74085

Kd 0,000906 error - error +
 T(K) 1375,679 1446,747 1311,265 T(°C) error
 T(°C) 1102,679 1173,747 1038,265 1106,006 67,74085

Cr# 0,463519

Olivino

Normalized Analysis	
oxide	wt %
SiO2	38,369
TiO2	-0,007
Al2O3	0,025
Cr2O3	0,068
Fe2O3	2,87342013
FeO	14,7124649
MnO	0,308
MgO	43,646
CaO	0,205
total	100,199885

Espinela

Normalized Analysis

oxide	wt %	cations	atoms
SiO2	-0,061	Si	-0,00183432
TiO2	1,903	Ti	0,04303331
Al2O3	27,581	Al	0,97748698
Cr2O3	23,83	Cr	0,56655843
Fe2O3	16,50836	Fe3	0,37355661
FeO	19,4106	Fe2	0,48813523
MnO	0,335	Mn	0,00853249
MgO	12,147	Mg	0,54453127
total	101,654	tot. cat.	3
		tot. oxy.	4

end member	mole %*
Te	0,326046
Fo	81,31962
Fa	18,07983
Ca-Ol	0,274507
sum	100

cations	atoms
Si	0,9717
Ti	-0,00013
Al	0,000746
Cr	0,001362
Fe3	0,054759
Fe2	0,311597
Mn	0,006607
Mg	1,6478
Ca	0,005562
tot. cat.	3
tot. oxy.	4

Note: Si deficiency

Muestra	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	Cr2O3	NiO	Total
Pvm17-z1	Olivino 6	38,211	0,008	0,001	19,157	0,318	41,988	0,201	0,006	0,039	0,071	100
	Espinela 2	-0,02	13,775	8,208	20,377	4,7	52,561	0,398				

Kd	7,26E-05	T (°C)	765,1407
Cr#	0,596656	error (°C)	45,8137

Kd 7,26E-05 T(K) 1036,119 1083,954 992,327 T(°C) error
T(°C) 763,1189 810,9544 719,327 765,1407 45,8137
Cr# 0,596656 error - error +

Olivino

Normalized Analysis

oxide	wt %
SiO2	38,211
TiO2	0,008
Al2O3	0,001
Cr2O3	0,039
Fe2O3	2,34735811
FeO	17,0448213
MnO	0,318
MgO	41,988
CaO	0,201
total	100,158179

cations	atoms
Si	0,976858
Ti	0,000154
Al	3,01E-05
Cr	0,000788
Fe3	0,045157
Fe2	0,364411
Mn	0,006886
Mg	1,60021
Ca	0,005506
tot. cat.	3
tot. oxy.	4

end member	mole %*
Te	0,340517
Fo	79,13331
Fa	20,25392
Ca-Ol	0,272257
sum	100

Espinela

Normalized Analysis

oxide	wt %
SiO2	-0,02
TiO2	4,7
Al2O3	13,775
Cr2O3	20,377
Fe2O3	29,52624
FeO	25,99296
MnO	0,398
MgO	8,208
total	102,9572

cations	atoms
Si	-0,00064943
Ti	0,11476716
Al	0,52716473
Cr	0,52313608
Fe3	0,72146373
Fe2	0,70584732
Mn	0,01094631
Mg	0,3973241
tot. cat.	3
tot. oxy.	4

Note: Si deficiency

V: Descripciones microscópicas

PVM-04

Mineralogía principal:

Fenocristales: 20%. Tamaño: 0.1 – 2 mm

Olivino (40%)

1.- Tamaño: 0,1 – 1 mm

2.- Integridad: intermedia a buena

3.- Observaciones: Olivinos con bordes de reabsorción, generalmente fracturados. Cristales de anhedrales a subhedrales, con cristalización en sus fracturas.

Plagioclasas (58%)

1.- Tamaño: 0,1 – 2 mm

2.- Integridad: intermedia a buena

3.- Observaciones:

Clinopiroxenos (no se observan)

1.- Tamaño: --

2.- Integridad: --

3.- Observaciones: --

Espinelas (1%)

1.- Tamaño: 0,05 – 0,1 mm

2.- Integridad: buena

3.- Observaciones: generalmente asociados a los olivinos y en la masa fundamental.

Masa Fundamental: 80%.

Microlitos: 95%

Vidrio: 5%

Observaciones: abundancia de microlitos de plagioclasas con olivino subordinado. Baja presencia de vidrio.

Vesículas:

Presencia de vesículas de 0.1 a 4 mm de espesor, con elongación preferencial (típico de flujos de lava).

Texturas:

T. Porfídica: Se observan dos poblaciones de cristales, fenocristales de mayor tamaño inmersos en una masa fundamental rica en microlitos.

T. traquítica (moderada): Se observa una orientación preferencial de los microlitos que se condice con la elongación de las vesículas.

T. de reabsorción: principalmente en bordes de olivino y centros de plagioclasas

T. Sieve: textura de disequilibrio magmático principalmene en fenocristales de plagioclasas

T. de disequilibrio: zonación de fenocristales, principalmente de plagioclasas.

Observaciones: No se observan fenocristales de piroxenos.

Nombre: andesita basáltica porfídica de olivino.

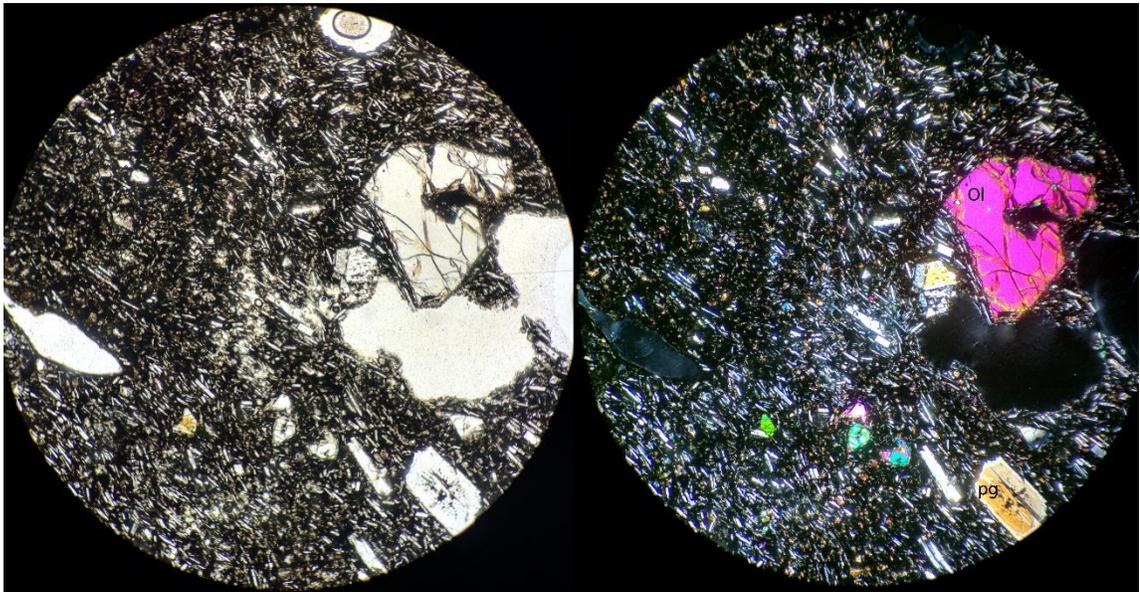


Figura i: Microfotografía a nicols paralelos (izquierda) y nicols cruzados (derecha) de una sección transparente de la muestra PVM-04. Se observan cristales de plagioclasas y de olivino en una masa fundamental de rica microlitos. Se observan bordes de reacción en olivinos y una leve orientación de los cristales alargados (plagioclasas). R=1mm

PVM-05

Mineralogía principal:

Fenocristales: 20%. Tamaño:

Olivino (40%)

1.- Tamaño: 0,1 – 1,5 mm

2.- Integridad: intermedia a buena

3.- Observaciones: Olivinos con bordes de reabsorción, generalmente fracturados. Cristales de anhedrales a subhedrales, con cristalización en sus fracturas

Plagioclasas (59%)

1.- Tamaño: 0,1 – 2 mm

2.- Integridad: intermedia a buena

3.- Observaciones:

Clinopiroxenos (no se observan)

1.- Tamaño: --

2.- Integridad: --

3.- Observaciones: --

Espinelas (1%)

1.- Tamaño: 0,05 – 0,1 mm

2.- Integridad: buena

3.- Observaciones: generalmente asociados a los olivinos y en la masa fundamental.

Masa Fundamental: 80%.

Microlitos: 95%

Vidrio: 5%

Observaciones: abundancia de microlitos de plagioclasas con olivino subordinado. Baja presencia de vidrio,

Vesículas:

Presencia de vesículas de 0.1 a 4 mm de espesor, con elongación preferencial (típico de flujos de lava).

Texturas:

T. Porfídica: Se observan dos poblaciones de cristales, fenocristales de mayor tamaño inmersos en una masa fundamental rica en microlitos.

T. traquítica (moderada): Se observa una orientación preferencial de los

microlitos que se condice con la elongación de las vesículas.

T. de reabsorción: principalmente en bordes de olivino y centros de plagioclasas

T. Sieve: textura de desequilibrio magmático principalmene en fenocristales de plagioclasas

T. de desequilibrio: zonación de fenocristales, principalmente de plagioclasas.

Observaciones

Nombre: andesita basáltica porfídica de olivino

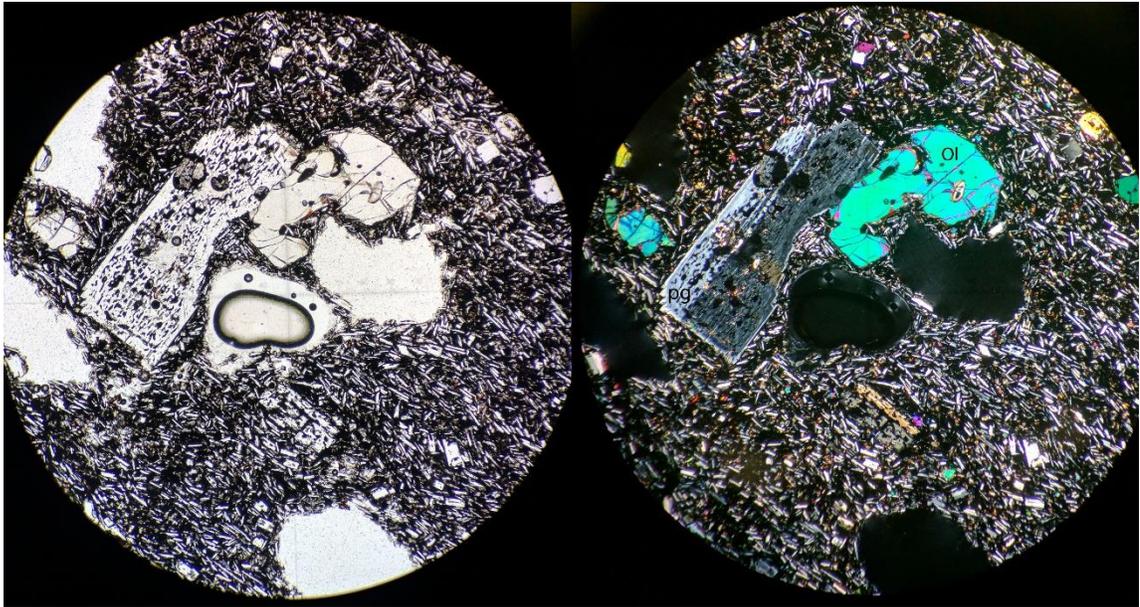


Figura ii: Microfotografía a nicoles paralelos (izquierda) y nicoles cruzados (derecha) de una sección transparente de la muestra PVM-05. Se observan cristales de plagioclasas y de olivino en una masa fundamental de rica microlitos. Se aprecia textura sieve en plagioclasas de gran tamaño y bordes de reacción en olivinos. R=1mm

PVM-06

Mineralogía principal:

Fenocristales: 18%. Tamaño:

Olivino (40%)

1.- Tamaño: 0,1 – 1 mm

2.- Integridad: intermedia a buena

3.- Observaciones: Olivinos con bordes de reabsorción, generalmente fracturados. Cristales de anhedrales a subhedrales, con cristalización en sus fracturas

Plagioclasas (58%)

1.- Tamaño: 0,1 – 2 mm

2.- Integridad: intermedia a buena

3.- Observaciones:

Clinopiroxenos (no se observan)

1.- Tamaño: --

2.- Integridad: --

3.- Observaciones: --

Espinelas (1%)

1.- Tamaño: 0,05 – 0,1 mm

2.- Integridad: buena

3.- Observaciones: generalmente asociados a los olivinos y en la masa fundamental.

Masa Fundamental: 82%.

Microlitos: 95%

Vidrio: 5%

Observaciones: abundancia de microlitos de plagioclasas con olivino subordinado. Baja presencia de vidrio,

Vesículas:

Presencia de vesículas de 0.1 a 3 mm de espesor, sin elongación preferencial, vesículas circulares.

Texturas:

T. Porfídica: Se observan dos poblaciones de cristales, fenocristales de mayor tamaño inmersos en una masa fundamental rica en microlitos.

T. traquítica (moderada): Se observa una orientación preferencial de los

microlitos que se condice con la elongación de las vesículas.

T. de reabsorción: principalmente en bordes de olivino y centros de plagioclasas

T. Sieve: textura de disequilibrio magmático principalmene en fenocristales de plagioclasas

T. de disequilibrio: zonación de fenocristales, principalmente de plagioclasas.

Observaciones: posible orientación del corte perpendicular al flujo (ausencia de elongación).

Nombre: andesita basáltica porfídica de olivino.

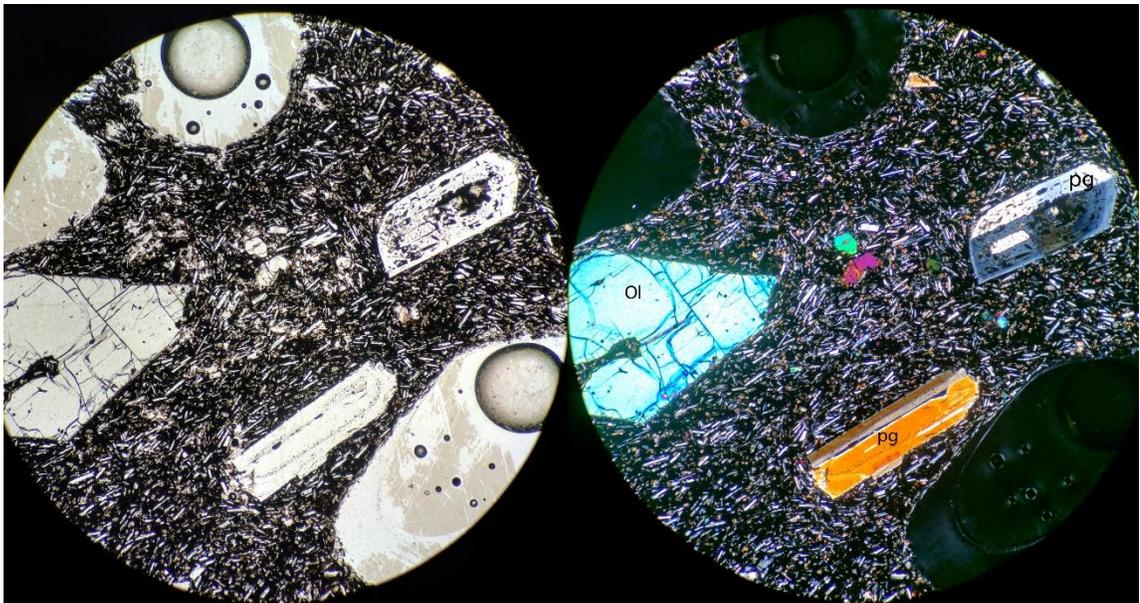


Figura iii: Microfotografía a nicoles paralelos (izquierda) y nicoles cruzados (derecha) de una sección transparente de la muestra PVM-06. Se observan cristales de plagioclasas y de olivino en una masa fundamental de rica microlitos. Se observa textura sieve en plagioclasas de mayor tamaño, zonaciones y bordes de disequilibrio y reabsorción en olivinos. R=1mm

PVM-08

Mineralogía principal:

Fenocristales: 12%. Tamaño: 0,05 – 2 mm

Olivino (40%)

1.- Tamaño: 0,1 – 1 mm

2.- Integridad: intermedia a buena

3.- Observaciones: Olivinos con bordes de reabsorción, generalmente fracturados. Cristales de anhedrales a subhedrales, con cristalización en sus fracturas

Plagioclasas (58%)

1.- Tamaño: 0,1 – 2 mm

2.- Integridad: intermedia a buena

3.- Observaciones: Abundantes cristales de plagioclasas de anhedrales a euhedrales, de diferentes tamaños. Se observan poblaciones de plagioclasas con texturas sieve, generalmente las de mayor tamaño, y una abundante cantidad de microlitos de plagioclasas en la masa fundamental. En algunos casos se observan bordes de desequilibrio.

Clinopiroxenos (no se observan)

1.- Tamaño: --

2.- Integridad: --

3.- Observaciones: --

Espinelas (1%)

1.- Tamaño: 0,05 – 0,1 mm

2.- Integridad: buena

3.- Observaciones: generalmente asociados a los olivinos y en la masa fundamental.

Masa Fundamental: 88%.

Microlitos: 95%

Vidrio: 5%

Observaciones: abundancia de microlitos de plagioclasas con olivino subordinado. Baja presencia de vidrio,

Vesículas:

Presencia de vesículas de 0.1 a 2 mm de espesor y de diferentes formas (sin morfología particular).

Texturas:

T. Porfídica: Se observan dos poblaciones de cristales, fenocristales de mayor tamaño inmersos en una masa fundamental rica en microlitos.

T. traquítica (moderada): Se observa una orientación preferencial de los microlitos que se condice con la elongación de las vesículas.

T. de reabsorción: principalmente en bordes de olivino y centros de plagioclasas

T. Sieve: textura de disequilibrio magmático principalmene en fenocristales de plagioclasas

T. de disequilibrio: zonación de fenocristales, principalmente de plagioclasas.

Observaciones:

Nombre: andesita basáltica porfídica de olivino

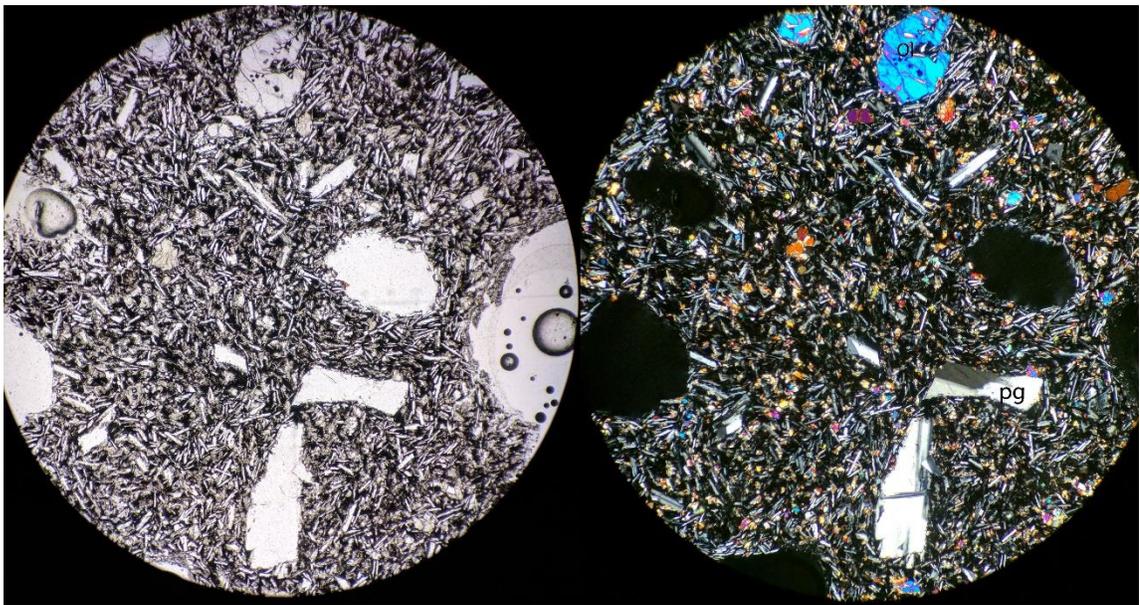


Figura iv: Microfotografía a nicoles paralelos (izquierda) y nicoles cruzados (derecha) de una sección transparente de la muestra PVM-08. Se observan cristales de plagioclasas y de olivino en una masa fundamental de rica microlitos. R=1mm

PVM-13

Mineralogía

Fenocristales: 15%. Tamaño:

Olivino (40%)

1.- Tamaño: 0,1 – 1 mm

2.- Integridad: intermedia a buena

3.- Observaciones: Olivinos con bordes de reabsorción, generalmente fracturados. Cristales de anhedrales a subhedrales, con cristalización en sus fracturas

Plagioclasas (55%)

1.- Tamaño: 0,1 – 2 mm

2.- Integridad: intermedia a buena

3.- Observaciones:

Clinopiroxenos (4%)

1.- Tamaño: 0,5 – 1.5 mm

2.- Integridad: intermedia a buena

3.- Observaciones: ocurrencia principalmente asociada a cúmulos de asociación olivino-plagioclasa-clinopiroxeno.

Espinelas (1%)

1.- Tamaño: 0,05 – 0,1 mm

2.- Integridad: buena

3.- Observaciones: generalmente asociados a los olivinos y en la masa fundamental.

Masa Fundamental: 85%.

Microlitos: 95%

Vidrio: 5%

Observaciones: abundancia de microlitos de plagioclasas con olivino subordinado. Baja presencia de vidrio,

Vesículas:

Presencia de vesículas de 0.1 a 2 mm de espesor, con elongación preferencial (típico de flujos de lava).

Texturas:

T. Porfídica: Se observan dos poblaciones de cristales, fenocristales de mayor tamaño inmersos en una masa fundamental rica en microlitos.

T. traquítica (moderada): Se observa una orientación preferencial de los microlitos que se condice con la elongación de las vesículas.

T. de reabsorción: principalmente en bordes de olivino y centros de plagioclasas

T. Sieve: textura de desequilibrio magmático principalmene en fenocristales de plagioclasas

T. de desequilibrio: zonación de fenocristales, principalmente de plagioclasas.

Observaciones

Nombre: andesita basáltica de olivino

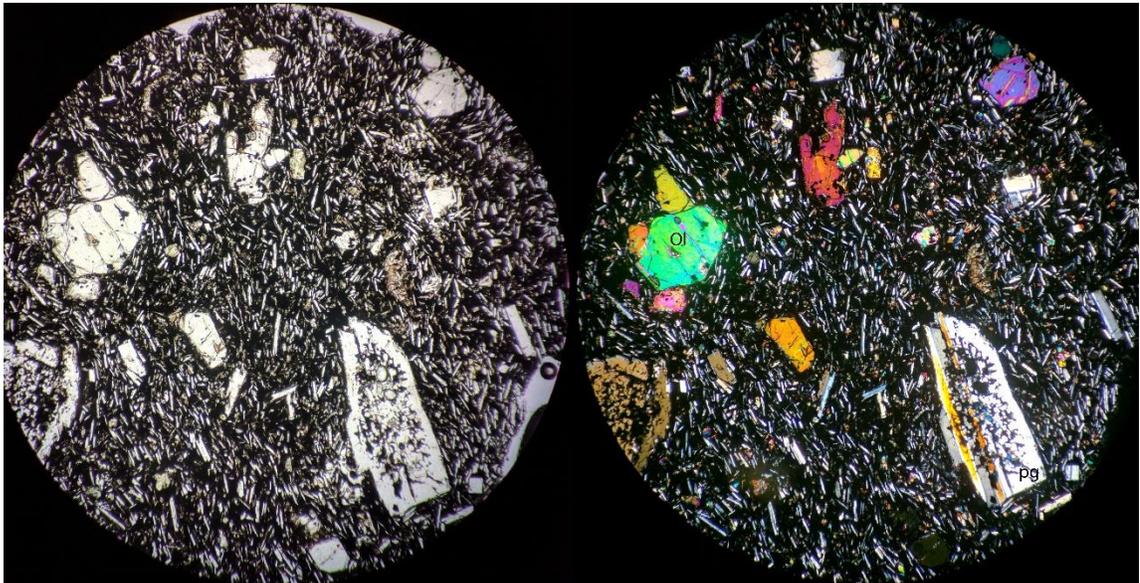


Figura v: Microfotografía a nicols paralelos (izquierda) y nicols cruzados (derecha) de una sección transparente de la muestra PVM-13. Se observan cristales de plagioclasas y de olivino en una masa fundamental de rica microlitos. Se observa textura sieve en plagioclasas de mayor tamaño, zonaciones y bordes de desequilibrio y reabsorción en olivinos. R=1mm

PVM-14

Mineralogía principal:

Fenocristales: 12%. Tamaño:

Olivino (40%)

1.- Tamaño: 0,1 – 1 mm

2.- Integridad: intermedia a buena

3.- Observaciones: Olivinos con bordes de reabsorción, generalmente fracturados. Cristales de anhedrales a subhedrales, con cristalización en sus fracturas

Plagioclasas (55%)

1.- Tamaño: 0,1 – 2 mm

2.- Integridad: intermedia a buena

3.- Observaciones:

Clinopiroxenos (4%)

1.- Tamaño: 0,5 – 1.5 mm

2.- Integridad: intermedia a buena

3.- Observaciones: ocurrencia principalmente asociada a cúmulos de asociación olivino-plagioclasa-clinopiroxeno.

Espinelas (1%)

1.- Tamaño: 0,05 – 0,1 mm

2.- Integridad: buena

3.- Observaciones: generalmente asociados a los olivinos y en la masa fundamental.

Masa Fundamental: 88%.

Microlitos: 95%

Vidrio: 5%

Observaciones: abundancia de microlitos de plagioclasas con olivino subordinado. Baja presencia de vidrio,

Vesículas:

Presencia de vesículas de 0.1 a 2 mm de espesor, con elongación preferencial (típico de flujos de lava).

Texturas:

T. Porfídica: Se observan dos poblaciones de cristales, fenocristales de mayor tamaño inmersos en una masa fundamental rica en microlitos.

T. traquítica (moderada): Se observa una orientación preferencial de los microlitos que se condice con la elongación de las vesículas.

T. de reabsorción: principalmente en bordes de olivino y centros de plagioclasas

T. Sieve: textura de desequilibrio magmático principalmene en fenocristales de plagioclasas

T. de desequilibrio: zonación de fenocristales, principalmente de plagioclasas.

Observaciones

Nombre: andesita basáltica de olvino

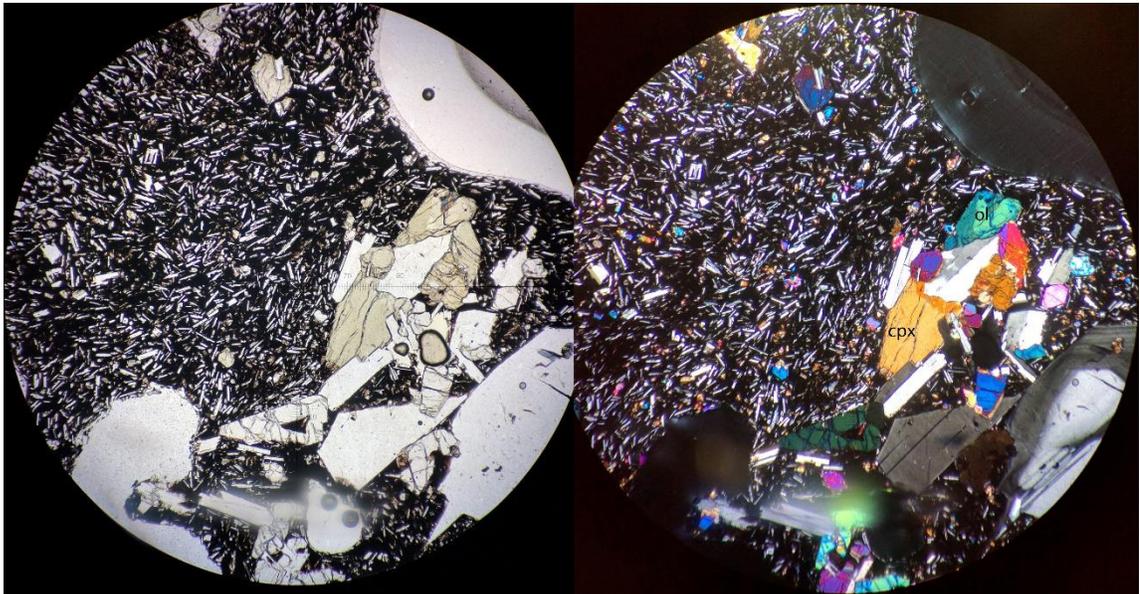


Figura vi: Microfotografía a nicols paralelos (izquierda) y nicols cruzados (derecha) de una sección transparente de la muestra PVM-14. Se observan cúmulos de cristales, principalmente de clinopiroxenos, plagioclasas y olivinos, como también cristales de plagioclasas y de olivino en una masa fundamental de rica microlitos. Se observa textura sieve en plagioclasas de mayor tamaño, zonaciones y bordes de desequilibrio y reabsorción en olivinos. R=1mm

PVM-17

Mineralogía

Fenocristales: 12%. Tamaño:

Olivino (40%)

1.- Tamaño: 0,1 – 1 mm

2.- Integridad: intermedia a buena

3.- Observaciones: Olivinos con bordes de reabsorción, generalmente fracturados. Cristales de anhedrales a subhedrales, con cristalización en sus fracturas

Plagioclasas (58%)

1.- Tamaño: 0,1 – 2 mm

2.- Integridad: intermedia a buena

3.- Observaciones:

Clinopiroxenos (4%)

1.- Tamaño: 0,5 – 1.5 mm

2.- Integridad: intermedia a buena

3.- Observaciones: ocurrencia principalmente asociada a cúmulos de asociación olivino-plagioclasa-clinopiroxeno.

Espinelas (1%)

1.- Tamaño: 0,05 – 0,1 mm

2.- Integridad: buena

3.- Observaciones: generalmente asociados a los olivinos y en la masa fundamental.

Masa Fundamental: 88%.

Microlitos: 95%

Vidrio: 5%

Observaciones: abundancia de microlitos de plagioclasas con olivino subordinado. Baja presencia de vidrio,

Vesículas:

Presencia de vesículas de 0.1 a 2 mm de espesor, con elongación preferencial (típico de flujos de lava).

Texturas

T. Porfídica: Se observan dos poblaciones de cristales, fenocristales de mayor tamaño inmersos en una masa fundamental rica en microlitos.

T. traquítica (moderada): Se observa una orientación preferencial de los microlitos que se condice con la elongación de las vesículas.

T. de reabsorción: principalmente en bordes de olivino y centros de

plagioclasas

T. Sieve: textura de disequilibrio magmático principalmene en fenocristales de plagioclasas

T. de disequilibrio: zonación de fenocristales, principalmente de plagioclasas.

Observaciones

Nombre: andesita basáltica de olvino

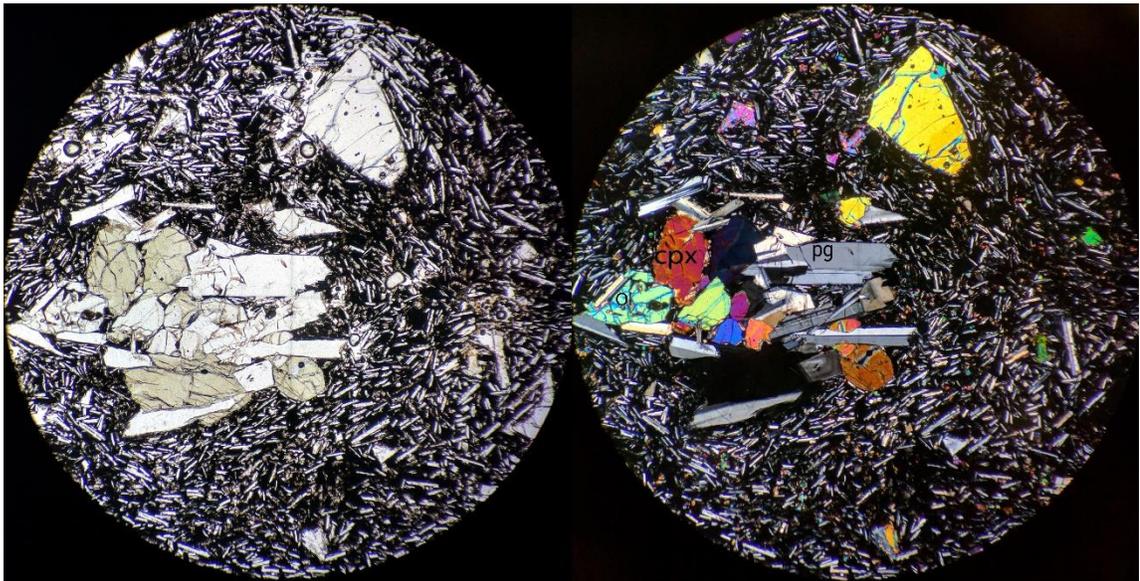


Figura vii: Microfotografía a nicols paralelos (izquierda) y nicols cruzados (derecha) de una sección transparente de la muestra PVM-17. Se observan cúmulos de cristales, principalmente de clinopiroxenos, plagioclasas y olivinos, como también cristales de plagioclasas y de olivino en una masa fundamental de rica microlitos. Se observa textura sieve en plagioclasas de mayor tamaño, zonaciones y bordes de disequilibrio y reabsorción en olivinos. R=1mm

Tablas VI: cálculos complementarios

Tendencia	%C vs %SJ	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃ T	CaO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
Mezcla	C95-SJ5	51,08	17,56	1,08	9,67	8,29	7,90	0,16	3,22	0,72	0,27
Mezcla	C90-SJ10	51,48	17,56	1,06	9,52	8,19	7,65	0,16	3,23	0,78	0,26
Mezcla	C85-SJ15	51,88	17,56	1,03	9,37	8,09	7,40	0,16	3,25	0,83	0,26
Mezcla	C80-SJ20	52,29	17,57	1,01	9,22	8,00	7,15	0,15	3,27	0,89	0,25
Mezcla	C75-SJ25	52,69	17,57	0,98	9,07	7,90	6,90	0,15	3,28	0,94	0,25
Mezcla	C70-SJ30	53,09	17,58	0,95	8,92	7,80	6,64	0,15	3,30	0,99	0,24
Mezcla	C65-SJ35	53,50	17,58	0,93	8,76	7,71	6,39	0,15	3,31	1,05	0,24
Mezcla	C60-SJ40	53,90	17,58	0,90	8,61	7,61	6,14	0,14	3,33	1,10	0,23
Mezcla	C55-SJ45	54,30	17,59	0,87	8,46	7,51	5,89	0,14	3,34	1,16	0,23
Mezcla	C50-SJ50	54,70	17,59	0,85	8,31	7,42	5,64	0,14	3,36	1,21	0,22
Mezcla	C45-SJ55	55,11	17,60	0,82	8,16	7,32	5,39	0,14	3,38	1,27	0,22
Mezcla	C40-SJ60	55,51	17,60	0,80	8,01	7,23	5,14	0,13	3,39	1,32	0,21
Mezcla	C35-SJ65	55,91	17,60	0,77	7,85	7,13	4,89	0,13	3,41	1,38	0,21
Mezcla	C30-SJ70	56,31	17,61	0,74	7,70	7,03	4,64	0,13	3,42	1,43	0,20
Mezcla	C25-SJ75	56,72	17,61	0,72	7,55	6,94	4,39	0,13	3,44	1,49	0,19
Mezcla	C20-SJ80	57,12	17,62	0,69	7,40	6,84	4,14	0,12	3,46	1,54	0,19
Mezcla	C15-SJ85	57,52	17,62	0,67	7,25	6,74	3,89	0,12	3,47	1,60	0,18
Mezcla	C10-SJ90	57,93	17,62	0,64	7,10	6,65	3,63	0,12	3,49	1,65	0,18
Mezcla	C5-SJ95	58,33	17,63	0,61	6,94	6,55	3,38	0,11	3,50	1,71	0,17

Tendencia	Crist. Fracc.	SiO2	Al2O3	TiO2	Fe2O3T	CaO	MgO	MnO	Na2O	K2O	P2O5
Crist plag %	0,5	53,41	16,20	0,96	8,82	9,07	7,38	0,15	2,81	0,90	0,30
Crist plag %	1	53,43	16,11	0,96	8,87	9,04	7,41	0,15	2,82	0,91	0,30
Crist plag %	1,5	53,46	16,02	0,97	8,91	9,00	7,45	0,15	2,84	0,91	0,30
Crist plag %	2	53,48	15,92	0,97	8,95	8,96	7,49	0,15	2,85	0,92	0,30
Crist plag %	2,5	53,50	15,83	0,98	8,99	8,92	7,53	0,16	2,87	0,92	0,31
Crist plag %	3	53,53	15,73	0,98	9,04	8,88	7,57	0,16	2,88	0,92	0,31
Crist plag %	3,5	53,56	15,63	0,99	9,08	8,84	7,61	0,16	2,90	0,93	0,31
Crist plag %	4	53,58	15,53	0,99	9,13	8,80	7,65	0,16	2,91	0,93	0,32
Crist plag %	4,5	53,61	15,42	1,00	9,17	8,75	7,69	0,16	2,93	0,94	0,32
Crist plag %	5	53,63	15,32	1,01	9,22	8,71	7,73	0,16	2,95	0,94	0,32
Crist plag %	5,5	53,66	15,21	1,01	9,27	8,67	7,78	0,17	2,96	0,95	0,33
Crist plag %	6	53,69	15,10	1,02	9,32	8,62	7,82	0,17	2,98	0,95	0,33
Crist plag %	6,5	53,72	14,98	1,02	9,37	8,57	7,87	0,17	3,00	0,96	0,34
Crist plag %	7	53,75	14,87	1,03	9,42	8,53	7,91	0,17	3,02	0,96	0,34
Crist plag %	7,5	53,78	14,75	1,04	9,48	8,48	7,96	0,17	3,04	0,97	0,34
Crist plag %	8	53,81	14,63	1,04	9,53	8,43	8,01	0,18	3,05	0,97	0,35
Crist plag %	8,5	53,84	14,50	1,05	9,59	8,38	8,06	0,18	3,07	0,98	0,35
Crist plag %	9	53,87	14,37	1,06	9,64	8,32	8,11	0,18	3,09	0,99	0,36

Tendencia	Crist. Fracc.	SiO2	Al2O3	TiO2	Fe2O3T	CaO	MgO	MnO	Na2O	K2O	P2O5
Crist Ol %	0,5	53,46	16,37	0,96	8,73	9,15	7,16	0,15	2,81	0,90	0,30
Crist Ol %	1	53,54	16,46	0,96	8,68	9,20	6,97	0,15	2,82	0,91	0,30
Crist Ol %	1,5	53,62	16,54	0,97	8,63	9,25	6,78	0,15	2,84	0,91	0,30
Crist Ol %	2	53,70	16,63	0,97	8,58	9,30	6,59	0,15	2,85	0,92	0,31
Crist Ol %	2,5	53,79	16,72	0,98	8,52	9,35	6,39	0,16	2,87	0,92	0,31
Crist Ol %	3	53,87	16,81	0,99	8,47	9,40	6,18	0,16	2,89	0,93	0,31
Crist Ol %	3,5	53,96	16,91	0,99	8,41	9,45	5,98	0,16	2,90	0,93	0,31
Crist Ol %	4	54,05	17,00	1,00	8,35	9,50	5,77	0,16	2,92	0,94	0,32
Crist Ol %	4,5	54,14	17,10	1,00	8,29	9,56	5,55	0,16	2,94	0,94	0,32
Crist Ol %	5	54,23	17,20	1,01	8,23	9,61	5,33	0,16	2,95	0,95	0,33
Crist Ol %	5,5	54,32	17,30	1,01	8,17	9,67	5,10	0,17	2,97	0,95	0,33
Crist Ol %	6	54,42	17,41	1,02	8,10	9,73	4,87	0,17	2,99	0,96	0,33
Crist Ol %	6,5	54,52	17,52	1,03	8,04	9,79	4,63	0,17	3,01	0,97	0,34
Crist Ol %	7	54,62	17,63	1,03	7,97	9,85	4,39	0,17	3,03	0,97	0,34
Crist Ol %	7,5	54,73	17,74	1,04	7,90	9,91	4,14	0,17	3,05	0,98	0,34
Crist Ol %	8	54,83	17,85	1,05	7,83	9,97	3,89	0,18	3,06	0,99	0,35
Crist Ol %	8,5	54,94	17,97	1,05	7,76	10,04	3,63	0,18	3,09	0,99	0,35
Crist Ol %	9	55,05	18,09	1,06	7,69	10,10	3,36	0,18	3,11	1,00	0,36