



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**

**CONDICIONES PRE-ERUPTIVAS ASOCIADAS A LA ERUPCIÓN DEL VOLCÁN
SHANGRI-LA, COMPLEJO VOLCÁNICO NEVADOS DE CHILLÁN, REGIÓN DEL
ÑUBLE, CHILE MEDIANTE ESTUDIOS EN INCLUSIONES VITREAS**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO
DAVID IGNACIO SINGH ARJONA**

**PROFESORA GUÍA:
CLAUDIA CANNATELLI**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
ÁNGELO CASTRUCCIO ÁLVAREZ
DANIEL MONCADA DE LA ROSA
DIEGO MORATA CÉSPEDES
ÁLVARO AMIGO RAMOS**

**SANTIAGO DE CHILE
2019**

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL

TÍTULO DE: Geólogo

POR: David Ignacio Singh Arjona

FECHA: 13/12/2019

PROF. GUÍA: Dra. Claudia Cannatelli.

CONDICIONES PRE-ERUPTIVAS ASOCIADAS A LA ERUPCIÓN DEL VOLCÁN SHANGRI-LA, COMPLEJO VOLCÁNICO NEVADOS DE CHILLÁN, REGIÓN DEL ÑUBLE, CHILE, MEDIANTE ESTUDIOS DE INCLUSIONES VÍTREAS

El volcán Shangri-La es un cono dacítico de 250 m de diámetro, ubicado entre los subcomplejos Cerro Blanco y Las Termas, Complejo Volcánico Nevados de Chillán, Región del Ñuble, Chile. Este depósito presenta al menos 3 litologías de acuerdo con su química y se le asigna una edad radiométrica de $7,7 \pm 1,4$ Ka. El objeto de estudio corresponde a una dacita con plagioclasas, clinopiroxenos, ortopiroxenos y olivinos como mineralogía primaria en una masa fundamental muy diferenciada (73% SiO₂).

Se clasificaron inclusiones vítreas a través de la petrografía y sus minerales hospedantes, identificándose las siguientes familias: inclusiones homogéneas (y heterogéneas) con burbuja en plagioclasa, inclusiones homogéneas (y heterogéneas) con burbuja en olivino y piroxeno, e inclusiones homogéneas (y heterogéneas) con burbuja y mineral en olivino y piroxeno. Las inclusiones varían desde composiciones andesítica basáltica rica en calcio (55% SiO₂) hasta riolítica rica en potasio (76% SiO₂) y presentan un contenido de sub-saturado de Cl y F.

Se estimaron presiones y temperaturas mediante termobarometría y modelamiento en MELTS para la mayoría de las fases minerales: los olivinos se habrían formado entre 1070 y 1110 °C a una presión mínima de 6,5 kbar. Entre 4,5 y 6,5 kbar, se forman clinoenstatita (desde los 1200 °C), óxidos de Fe-Ti (desde los 1071 °C) y augita (parte de ella, entre 990 y 1030 °C), mientras que la andesina se formó entre 1,6 y 2,4 kbar a temperaturas entre 930 y 960 °C; no se logró conocer temperaturas ni presiones de formación para la augita de baja temperatura, pero si habría sido a presión y temperatura máxima de 2,4 kbar y 960 °C.

La no detección de H₂O y CO₂ mediante espectrometría Raman en las inclusiones de augita y andesina, indica que el magma se encontraba sub-saturado en ellos. Por evidencias en terreno de mezcla de magmas y las desgasificaciones registradas, es probable que el ascenso magmático haya sido provocado por una combinación de mezcla de magmas y sobrepresurización. Como propuesta de estudios posteriores, se sugiere realizar análisis en SIMS en inclusiones vítreas para cuantificar el contenido de volátiles en ellas, por más bajo que sea, así como el estudio y homogenización de inclusiones recristalizadas. Finalmente, se propone la realización de estudios geofísicos, como modelos de inversión gravimétrica (2D o 3D) o de resistividad eléctrica, de modo de poder conocer la geometría de las intrusiones propuestas

A quienes lucharon y a quienes seguirán luchando

Agradecimientos

Este trabajo fue posible gracias al financiamiento y apoyo del Centro de Excelencia en Geotermia de Los Andes (CEGA: Proyecto Fondap-Conicyt N° 15090013), por medio de su investigadora Claudia Cannatelli y su director Diego Morata. Agradecimientos especiales a Julio Díaz, Roberto Valles, Christian Nievas, Blanca Baccola y Bernardette Vásquez por el apoyo durante todas las etapas de este trabajo.

A la profesora Claudia Cannatelli por recibirme como memorista, y su infinita paciencia y guía durante este proceso. A los profesores Diego Morata, Ángelo Castruccio, Daniel Moncada y Álvaro Amigo por sus valiosas críticas, observaciones y sugerencias que permitieron que este trabajo pudiera llegar a buen puerto.

A la Dra. Sara Fanara del Instituto de Mineralogía de la Universidad de Göttingen, Alemania, cuya colaboración hizo posible más de la mitad de este trabajo.

A Loreto y Fabián, estudiantes de Postgrado del Departamento de Geología, por toda la ayuda y guía brindada desde el primer momento en que empecé a trabajar con inclusiones.

A mis amigos y amigas Cristóbal, Cami, Kevin, Andrés, Mati (blanco y negro), Yorch, Cristian, Lissy, Rodri, Seba y Alejo. A toda la grandiosa generación con la que me tocó compartir tantos bellos momentos.

A Paula Muñoz y Ángelo Peri por recibirme de la mejor manera durante mi práctica profesional en Sumitomo Metal Mining y brindarme su amistad por ese grato tiempo compartido.

A mi madre Rossana, mi padre David y mis hermanas Claudia y Dominique, y como no, a mi abuela Nélica. A Francisca, por ser la mejor compañera que pude pedir.

Tabla de contenido

Capítulo 1: Introducción	1
1.1 Motivación.....	1
1.2 Formulación del problema.....	3
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
Capítulo 2: Marco geológico.....	5
2.1 Bibliografía disponible	5
2.2 Geología local	5
2.2.1 Basamento del Complejo Volcánico Nevados de Chillán	5
2.2.2 Complejo Volcánico Ancestral y Volcanes Satélites	7
2.2.3 Subcomplejo Cerro Blanco	9
2.2.4 Subcomplejo Las Termas	10
2.2.5 Depósitos sedimentarios y volcanoclásticos	12
2.3 Registro reciente de la actividad eruptiva del CVNC.....	13
2.4 Actividad geotermal del CVNC.....	16
2.5 Peligro volcánico en el Complejo Nevados de Chillán	16
Capítulo 3: Inclusiones Vítreas.....	17
3.1 Introducción.....	17
3.2 Origen y procesos de formación	17
3.3 Uso en geología.....	19
3.4 Metodología enfocada en volcanología.....	20
3.5 Técnicas analíticas.....	21
Capítulo 4: Metodología	22
4.1 Obtención de muestras	22
4.2 Trabajo en laboratorio	22
4.2.1 Separación y montaje de minerales.....	22
4.2.2 Preparación de montajes y petrografía.....	23
4.2.3 Microscopio Electrónico de Barrido (SEM)	24
4.2.4 Análisis en Microsonda Electrónica (EMPA).....	24
4.2.5 Espectroscopía Raman.....	24
4.3 Trabajo de gabinete	24

4.3.1 Tratamiento de datos	24
4.3.2 Geotermobarometría.....	25
4.3.3 Modelamiento termodinámico en MELTS	25
Capítulo 5: Resultados	26
5.1 Petrografía mineral de cortes transparentes	26
5.1.1 Muestras	26
5.1.2 Caracterización de fases minerales	26
5.1.3 Análisis en SEM.....	29
5.2 Petrografía de Inclusiones Vítreas	30
5.3 Química Mineral	34
5.3.1 Plagioclasa	34
5.3.2 Olivino.....	35
5.3.3 Piroxeno.....	35
5.3.4 Accesorios	36
5.4 Geoquímica de Inclusiones Vítreas.....	37
5.4.1 Diagrama TAS	37
5.4.2 Diagrama K ₂ O.....	38
5.4.3 Diagramas Harker.....	39
5.5 Espectrometría Raman	45
5.6 Termobarometría	47
5.6.1 Plagioclasa-vidrio.....	47
5.6.2 Termobarómetro de clinopiroxeno-vidrio y ortopiroxeno-vidrio	47
5.6.3 Termómetro de dos piroxenos	47
5.6.4 Clinopiroxeno-ortopiroxeno.....	48
5.6.5 Olivino-Vidrio	49
5.6.6 Óxidos de Fe-Ti	49
5.7 Condiciones de cristalización en MELTS	50
Capítulo 6: Discusiones.....	53
6.1 Petrografía y termometría	53
6.2 Petrología y química de inclusiones vítreas	57
6.3 Variación de volátiles en inclusiones vítreas.....	58
6.4 Modelo de formación.....	59
6.5 Comparación con otros volcanes del Complejo Nevados de Chillán	63
Capítulo 7: Conclusiones	65

Bibliografía	67
Anexo A: Descripción de inclusiones vítreas y sus minerales hospedantes	75
Anexo B: Puntos medidos en Microsonda Electrónica	88
Anexo C: Composición química de inclusiones vítreas, minerales host y otros	111
Anexo D: Fórmulas estructurales	122
Anexo E: Errores asociados a técnicas analíticas.....	133

Índice de tablas

Tabla 1: Composición promedio de la masa fundamental medida en SEM	29
Tabla 2: Análisis de roca total en ICP-MS	37
Tabla 3: Temperaturas y contenidos de agua del termómetro de plagioclasa-vidrio.....	47
Tabla 4: Temperaturas probables para cristales de clinopiroxeno	48
Tabla 5: Temperaturas probables para cristales de ortopiroxeno	48
Tabla 6: Temperaturas del geotermómetro de olivino-vídrío	49
Tabla 7: Parámetros determinados para las fases minerales estudiadas	62
Tabla 8: Área de las coladas de lavas holocenas del Complejo Nevados de Chillán.....	63
Tabla 9: Elementos mayores y volátiles medidos en inclusiones vítreas de plagioclasa a través de EMPA	111
Tabla 10: Elementos mayores y volátiles medidos en inclusiones vítreas de olivino a través de EMPA	111
Tabla 11: Elementos mayores y volátiles medidos en cristales de olivino a través de EMPA	112
Tabla 12: Elementos medidos en cristales de olivino a través de SEM	112
Tabla 13: Elementos mayores y volátiles medidos en cristales de piroxeno a través de EMPA	113
Tabla 14: Elementos medidos en cristales de piroxeno a través de SEM	116
Tabla 15: Elementos mayores y volátiles medidos en cristales de plagioclasa a través de EMPA	117
Tabla 16: Elementos medidos en cristales de plagioclasa a través de SEM.....	119
Tabla 17: Elementos mayores y volátiles medidos en cristales de óxidos de Fe-Ti a través de EMPA	120
Tabla 18: Elementos medidos en cristales de óxidos de Fe-Ti a través de SEM.....	120
Tabla 19: Fórmulas estructurales y miembros extremos de olivinos	122
Tabla 20: Fórmulas estructurales y miembros extremos de plagioclasas	122
Tabla 21: Fórmulas estructurales y miembros extremos de piroxenos	125
Tabla 22: Límites de detección y errores asociados a cada elemento	133
Tabla 23: Estándar de la microsonda electrónica.....	133

Índice de figuras

Figura 1: Mapa del sur de Chile y Argentina que muestra los volcanes de las Zonas Volcánicas Sur y Austral (modificado de Fontijn et al., 2014)	2
Figura 2: Mapa del Complejo Volcánico Nevados de Chillán (tomado de Dixon et al. (1999), el mapa de Chávez (2002) es muy similar). Las lavas del Shangri-La se mapean como LT5c.....	4
Figura 3: Mapa de volcanes del Complejo Volcánico Nevados de Chillán (elaboración propia en basemap de ArcGIS)	6
Figura 4: Diagrama TAS de las muestras de Dixon et al. (1999) y Mee (2004) (Le Bas et al., 1984)	13
Figura 5: Mecanismos comunes de formación de inclusiones vítreas en rocas basálticas, imágenes superiores e inferiores representan fases tempranas y tardías de crecimiento cristalino respectivamente (Roedder, 1979).....	18
Figura 6: Velocidad de enfriamiento vs tamaño de inclusión en la recristalización de inclusiones (Roedder, 1984; tomado de Aracena, 2016).	19
Figura 7: Fotografía en terreno de la colada de lava.....	22
Figura 8: Procedimiento de lavado y secado del material: a) equipo de baño de ultrasonido, b) lámpara de secado	23
Figura 9: Bordos de reabsorción y de reacción en olivino (muestra SL-01, objetivos 10x y 20x respectivamente, luz polarizada cruzada)	26
Figura 10: Maclas simples y textura poikilitica en cristal de clinopiroxeno (muestra SL-01, objetivos 10x y 5x respectivamente, luz polarizada cruzada).....	27
Figura 11: a) Texturas de zonación y poikilitica, cristales de piroxeno y óxidos de Fe-Ti englobados en plagioclasa, b) textura sieve en plagioclasa (muestra SL-01, objetivos 5x y 10x respectivamente, luz polarizada cruzada).....	27
Figura 12: Bordos de reabsorción en óxidos de hierro atrapados en plagioclasa (muestra SL-01, objetivo 25x, luz polarizada plana).....	28
Figura 13: Textura cumulo porfírica entre cristales de plagioclasa y olivino (muestra SL-01, objetivo 50x, luz polarizada plana)	28
Figura 14: Olivino y piroxeno con magnetita y fluorapatita en imagen BSED (muestra SL-02)	29
Figura 15: Inclusiones homogéneas en plagioclasa.....	30
Figura 16: Inclusiones homogéneas con burbuja y mineral en olivino (a) y clinopiroxeno (b) (muestra SL-01, objetivo 10x, luz polarizada plana)	31
Figura 17: Razones de área burbuja/inclusión para plagioclasas y olivinos.....	32
Figura 18: Inclusiones vítreas decrepitadas en ortopiroxeno (muestra SL-01, objetivo 20x, luz polarizada plana)	33
Figura 19: Diagrama ternario de clasificación de feldespatos.	34
Figura 20: Diagrama ternario de clasificación de piroxenos (Morimoto, 1988) y diagrama de olivinos	35
Figura 21: Zoom de composiciones de clinopiroxenos.....	36
Figura 22: Zoom de composiciones de ortopiroxenos.....	36
Figura 23: Diagrama ternario de clasificación de óxidos de Fe-Ti.....	37

Figura 24: Diagrama TAS de inclusiones vítreas y análisis de roca total (Le Bas et al., 1984)	38
Figura 25: Diagrama K ₂ O de las inclusiones vítreas y análisis de roca total	39
Figura 26: Diagrama Harker para Al ₂ O ₃ de inclusiones vítreas y análisis de roca total ..	41
Figura 27: Diagrama Harker para MgO de inclusiones vítreas y análisis de roca total ..	41
Figura 28: Diagrama Harker para CaO de inclusiones vítreas y análisis de roca total ...	42
Figura 29: Diagrama Harker para FeO de inclusiones vítreas y análisis de roca total ...	42
Figura 30: Diagrama Harker para Na ₂ O de inclusiones vítreas y análisis de roca total .	43
Figura 31: Diagrama Harker para K ₂ O de inclusiones vítreas y análisis de roca total....	43
Figura 32: Diagrama Harker para TiO ₂ de inclusiones vítreas y análisis de roca total ...	44
Figura 33: Diagrama Harker para Cl de inclusiones vítreas	44
Figura 34: Diagrama Harker para F de inclusiones vítreas	45
Figura 35: Puntos donde se midió en inclusiones de plagioclasa (en rojo). Ancho de fotos: 40 μm (muestra SL-01)	45
Figura 36: Puntos donde se midió en inclusiones de augita (en rojo). Ancho de fotos: 40 μm (muestra SL-01)	46
Figura 37: Espectros Raman medidos en burbuja, vidrio y minerales hospedantes (muestra SL-01)	46
Figura 38: Isotermas del termómetro de Lindsley (1983) para presiones de 5 kbar.....	48
Figura 39: Temperatura y fugacidad de O ₂ estimadas para los óxidos de Fe-Ti, la leyenda indica donde se encuentran atrapados	50
Figura 40: Modelamiento de la variación de los óxidos principales en función de la variación de MgO en inclusiones vítreas de olivino y plagioclasa	52
Figura 41: Forsterita con borde de reacción a enstatita en imagen BSED (muestra SL-02)	53
Figura 42: Andesina atrapada en augita de baja temperatura (muestra SL-01, objetivo 5x respectivamente, luz polarizada cruzada)	54
Figura 43: Cristal de plagioclasa B4	56
Figura 44: Variación de CaO y Na ₂ O en plagioclasa desde centro a borde	56
Figura 45: Viscosidad del magma en función de su temperatura.....	59
Figura 46: Densidad del magma en función de su temperatura	59
Figura 47: Porcentaje de líquido en el magma en función de su temperatura	60
Figura 48: Modelo propuesto para la formación de la colada del volcán Shangri-La	61
Figura 49: Cristal de plagioclasa A4	75
Figura 50: Cristal de plagioclasa A5	76
Figura 51: Cristal de plagioclasa A6	77
Figura 52: Cristal de plagioclasa B4	78
Figura 53: Cristal de olivino C3	79
Figura 54: Cristal de olivino D1	80
Figura 55: Cristal de olivino D2	81
Figura 56: Cristal de plagioclasa E2	82
Figura 57: Cristal de plagioclasa E3	83
Figura 58: Cristal de plagioclasa E5	84
Figura 59: Cristal de plagioclasa F1	85
Figura 60: Cristal de olivino G1	86

Figura 61: Cristal de Olivino G2	87
Figura 62: Imagen en EMPA del cristal C3	88
Figura 63: Imagen en EMPA del cristal D1	89
Figura 64: Imagen en EMPA del cristal D2	90
Figura 65: Imagen en EMPA del cristal G1	91
Figura 66: Imagen en EMPA del cristal G2	92
Figura 67: Imagen en EMPA del cristal Cpx 1 de la muestra SL-01.....	93
Figura 68: Imagen en EMPA del Opx 1 de la muestra SL-01.....	94
Figura 69: Imagen en EMPA del cristal Cpx 2 de la muestra SL-01.....	95
Figura 70: Imagen en EMPA del cristal Opx 2 de la muestra SL-01	96
Figura 71: Imagen en EMPA del cristal Cpx 3 de la muestra SL-01.....	97
Figura 72: Imagen en EMPA del cristal Opx 3 de la muestra SL-02	98
Figura 73: Imagen en EMPA de los cristales Cpx 4 y 5 de la muestra SL-02	99
Figura 74: Imagen en EMPA del cristal Opx 4 de la muestra SL-02	100
Figura 75: Imagen en EMPA del cristal Opx 5 de la muestra SL-02	101
Figura 76: Imagen en EMPA de los cristales Opx 6 y Cpx 6 de la muestra SL-02.....	102
Figura 77: Imagen en EMPA del cristal A4.....	103
Figura 78: Imagen en EMPA del cristal A5.....	104
Figura 79: Imagen en EMPA del cristal A6.....	105
Figura 80: Imagen en EMPA del cristal B4.....	106
Figura 81: Imagen en EMPA del cristal E2.....	107
Figura 82: Imagen en EMPA del cristal E3.....	108
Figura 83: Imagen en EMPA del cristal E5.....	109
Figura 84: Imagen en EMPA del cristal F1	110

Capítulo 1: Introducción

1.1 Motivación

La Zona Volcánica Sur (ZVS) es un segmento del arco volcánico que abarca 1400 km a lo largo de Chile, entre los 33,3°S y los 46°S e incluye más de 70 volcanes Pleistocenos-Holocenos (figura 1, Stern *et al.*, 2007). En Chile, la ZVS tiene mayor actividad volcánica que las zonas Central y Austral, con una erupción al año en promedio. Su extremo norte coincide con el paso del Ridge de Juan Fernández a través de la fosa oceánica, lo que es acompañado con un notable cambio en el ángulo de subducción entre las placas antes mencionadas, mientras que su extremo sur es la intersección del Ridge de Chile con la fosa.

Tomando como base que la tectónica afecta el transporte de magma a través de la litósfera y por ende la distribución de los centros volcánicos (Cembrano y Lara, 2009), además de consideraciones petrológicas y geoquímicas (Tormey *et al.*, 1991), los volcanes Pleistocenos y Holocenos de la ZVS se dividen en 4 segmentos (López-Escobar *et al.*, 1991; López-Escobar *et al.*, 1993; Stern, 2004): ZVS Norte (33,3–34,4°S), ZVS Transicional (34,4–37°S), ZVS Central (37–42°S) y ZVS Sur (42–46°S).

En particular, la ZVST se caracteriza por estratovolcanes compuestos y grandes complejos volcánicos que sobreyacen volcanes antiguos tipo escudo y calderas gigantes. Las alturas de los edificios volcánicos son menores a 1900 m desde sus bases, y la mayoría de ellos miden entre 1400 y 1700 m (Stern *et al.*, 2007). Uno de los centros de gran interés en esta zona es el Complejo Volcánico Nevados de Chillán, construido sobre un basamento de lavas y rocas graníticas cenozoicas, que presenta diferentes centros de emisión, los cuales se disponen a lo largo de una dorsal de 10 km, alineada en dirección NW. Está ubicado en el arco magmático del extremo sur de la ZVST (Charrier *et al.*, 2007), a 70 km al suroeste de la ciudad de Chillán, Región del Ñuble; este complejo presenta actividad al menos desde hace 640.000 años (Dixon *et al.*, 1999).

El Sernageomin ubica al CVNC en el 5^{to} lugar del ranking de riesgo específico (Sernageomin, 2018a), debido a la presencia de centros turísticos que atraen a un gran número de visitantes y a la constante actividad volcánica; esta situación lo convierte en uno de los centros volcánicos más riesgosos del país. Los principales peligros volcánicos asociados al CVNC corresponden a lahares, flujos de detritos y coladas de lava, canalizados por los valles estero Renegado, estero Shangri-La, río Chillán, estero San José, río Santa Gertrudis, río Gato y río Las Minas (Orozco *et al.*, 2016). La generación de lahares configura el mayor peligro potencial para la población aledaña al volcán, dado su cercanía a los cauces y la cantidad de hielo y nieve en las cumbres del complejo.

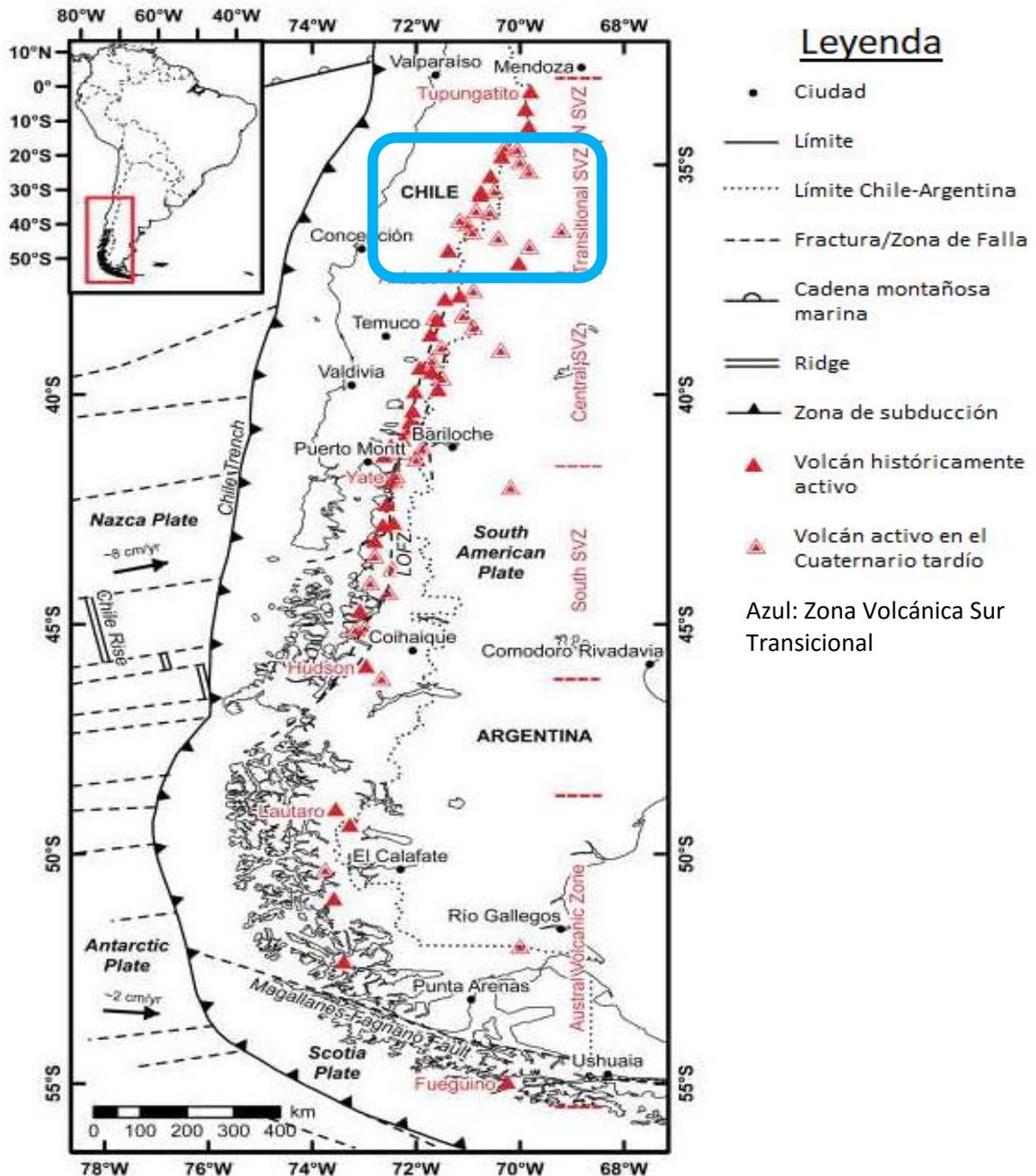


Figura 1: Mapa del sur de Chile y Argentina que muestra los volcanes de las Zonas Volcánicas Sur y Austral (modificado de Fontijn et al., 2014)

Actualmente, el Complejo Volcánico Nevados de Chillán se encuentra en un ciclo eruptivo desde septiembre de 2015 y se manifestó inicialmente como un aumento en la sismicidad. Desde el 9 de enero de 2016 hasta fines de 2017, la actividad volcánica le dio forma al cráter Nicanor y originó un domo de lava dentro de este; desde inicios del 2018 se ha registrado formación y colapso parcial del domo, que actualmente ya no existe.

Este trabajo se enfoca en el estudio de parte de la colada de lava del Volcán Shangri-La, un cono dacítico de 250 m de diámetro (Chávez, 2002; Naranjo et al., 2008)

ubicado en el portezuelo entre los subcomplejos Cerro Blanco y Las Termas (figura 2), Naranjo *et al.* (1994). A pesar de estar en el medio de ambos subcomplejos, se asocia al subcomplejo Las Termas por afinidad composicional con sus productos. Dèruelle y López-Escobar (1999) resumen los productos de los estratovolcanes del Complejo, mostrando que consisten en basaltos ricos en Al, andesitas, dacitas y riolitas. También asegura que estas lavas no indican diferenciación por contaminación cortical, y que esta diferenciación se explica por cristalización fraccionada.

Naranjo describe las lavas del Shangri-La como una sucesión de al menos 5 lavas dacíticas cuyos volúmenes suman un total de casi 1 km³, y litologías del rango de andesitas basálticas (55% SiO₂) a dacitas ricas en potasio (68% SiO₂). Dixon *et al.* (1999) describe la colada simplemente como lavas dacíticas, y Mee (2004) logra distinguir 3 litologías de acuerdo con su química: Nev1c (Andesita a dacita, 61-67% wt SiO₂), Nev1d (Andesita basáltica, 54% wt SiO₂) y SL1 (Andesita a dacita, 62-64% wt SiO₂). Mee (2004) le asigna una edad radiométrica de 7.7 ± 1.4 Ka al depósito reconocido por Dixon *et al.* (1999), y correspondería a la última (y única) erupción del volcán Shangri-La.

1.2 Formulación del problema

La colada de lava descrita por Dixon *et al.* (1999) sería el último evento ocurrido en el volcán Shangri-La, y representa la geología de la zona intermedia entre los subcomplejos Cerro Blanco y Las Termas. Sin embargo, el único estudio en detalle realizado en esta zona corresponde a la edad radiométrica determinada por Mee (2004), y no se dispone de más información sobre tal depósito. Se espera que este trabajo aporte información sobre este volcán, valiéndose del uso de inclusiones vítreas, fases minerales y contenido de volátiles.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar las condiciones pre-eruptivas del magma que formó los productos del volcán Shangri-La a través de análisis en inclusiones vítreas.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar el contenido de elementos mayores en el magma.
- Estimar contenido de volátiles, temperaturas y presiones de cristalización de minerales y de atrapamiento de inclusiones vítreas.
- Elaborar un modelo que explique la evolución del magma.

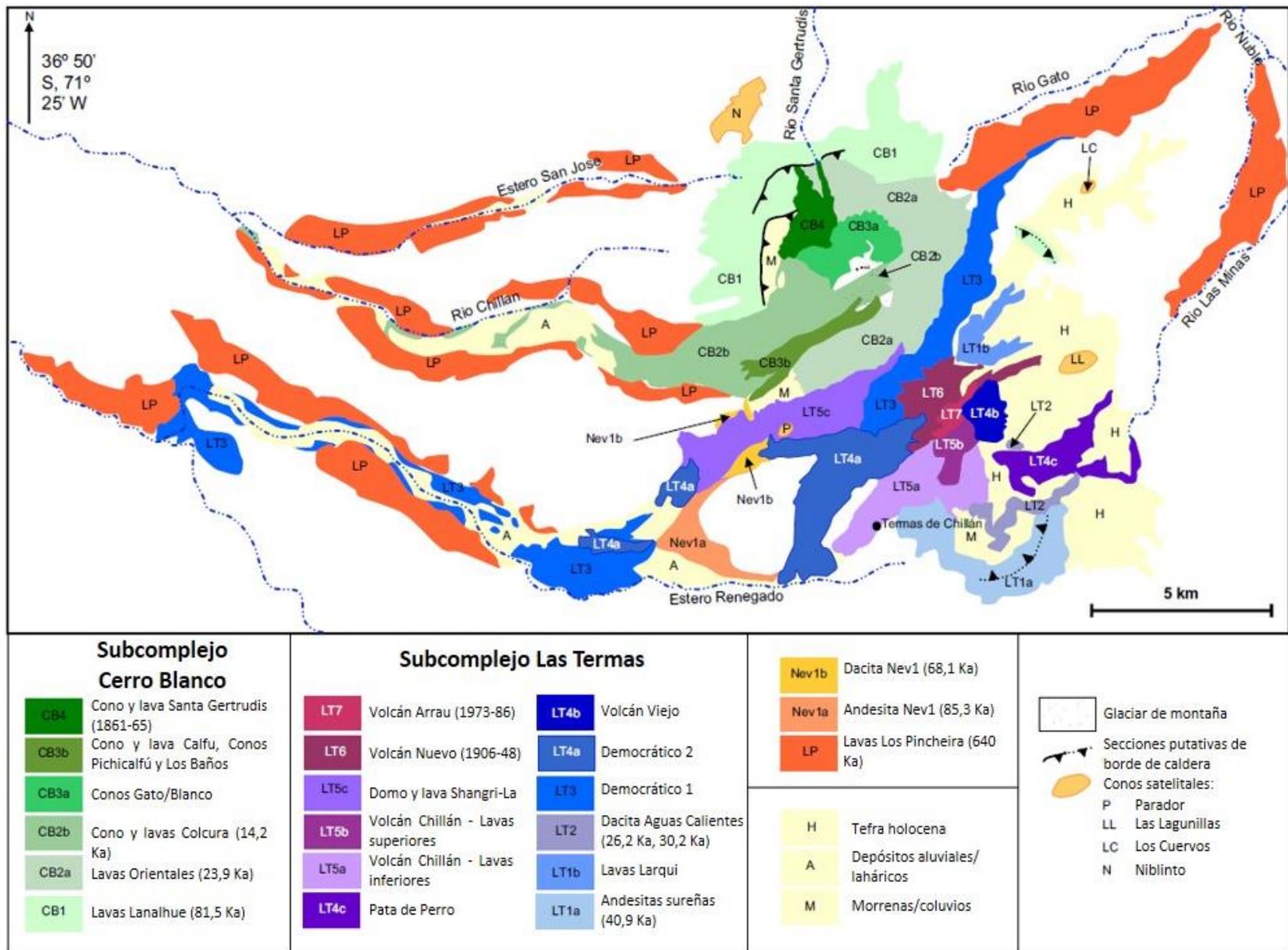


Figura 2: Mapa del Complejo Volcánico Nevados de Chillán (tomado de Dixon et al. (1999), el mapa de Chávez (2002) es muy similar). Las lavas del Shangri-La se mapean como LT5c

Capítulo 2: Marco geológico

2.1 Bibliografía disponible

Como trabajo base, se cuenta con la Carta Geológica Básica del Complejo Volcánico Nevados de Chillán (Naranjo *et al.*, 2008), basado principalmente en el trabajo de Dixon *et al.* (1999). En los trabajos de Dixon *et al.* (1999) y Chávez (2002) se realizó el primer mapeo detallado del Complejo, siendo un poco más completo el mapa del primero. Se dividieron sus unidades principales en el Subcomplejo Cerro Blanco (al NW, de composición andesítica) y el Subcomplejo Las Termas (al SE, de composición dacítica-riolítica). Estos se encuentran separados en 6 Km y se muestran en la figura 3.

Mee (2004) y Mee *et al.* (2009) describen facies subglaciales en lavas del Pleistoceno Superior, datos permiten realizar una reconstrucción de las condiciones paleoambientales del sector NW del Complejo (Lavas Lanalhue, Dixon *et al.*, 1999). Zenteno *et al.* (2004) realizan un análisis de la evolución del glaciar desde 1862 hasta 2003, mostrando una reducción de su superficie en aproximadamente un 78%. Farías *et al.* (2014) investigaron las interacciones entre terremotos y volcanes, particularmente con las réplicas del terremoto del Maule del 2010 en el CVNC. Coppola *et al.* (2016) discutieron sobre una erupción “silenciosa” ocurrida en enero del 2008 y que duró más de 8 meses, a través del análisis de imágenes Landsat (del 2000 al 2016) y el algoritmo MIROVA.

2.2 Geología local

El área de estudio se caracteriza por valles glaciares labrados sobre rocas volcánicas, volcanoclásticas, sedimentarias y plutónicas. Mediante dataciones $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en lavas del basamento, se ha estimado que el CVNC ha evolucionado desde hace 640 Ka (Dixon *et al.*, 1999).

2.2.1 Basamento del Complejo Volcánico Nevados de Chillán

Formación Cura-Mallín (Mioceno inferior-medio)

(González y Vergara, 1962)

Definida como una sucesión subhorizontal con un leve manteo hacia el oeste de rocas piroclásticas, sedimentitas clásticas y coladas de lavas subordinadas de composición intermedia (Muñoz y Niemeyer, 1984). Subyace discordantemente a volcanitas de la Formación Cola de Zorro y es instruida por rocas plutónicas de la unidad Batolito Santa Gertrudis-Bullileo. Suárez y Emparán (1997) le asignan una edad miocena inferior a media.

Volcanes del Complejo Volcánico Nevados de Chillán

9

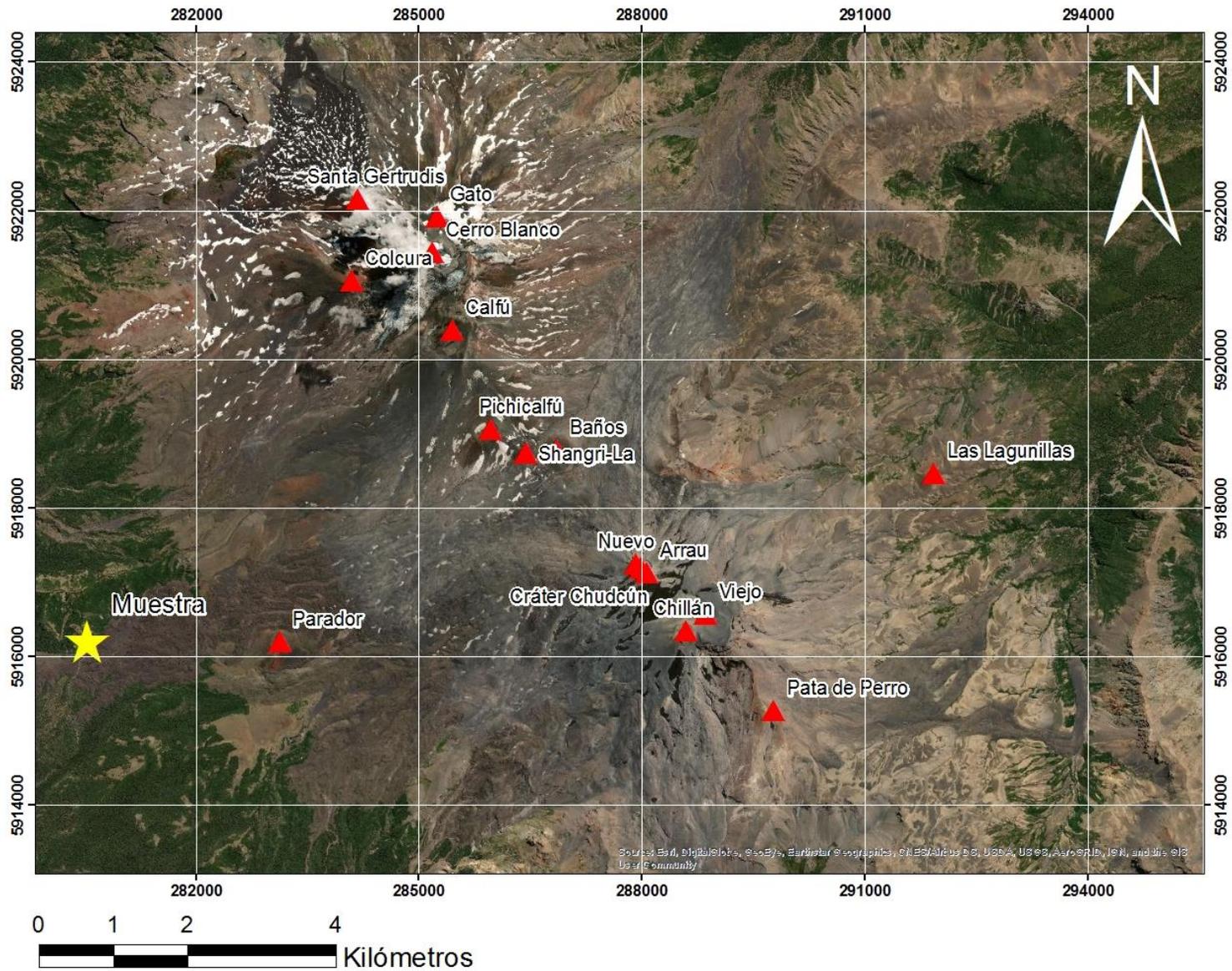


Figura 3: Mapa de volcanes del Complejo Volcánico Nevados de Chillán (elaboración propia en basemap de ArcGIS)

Batolito Santa Gertrudis-Bullileo (Mioceno)

(Muñoz y Niemeyer, 1984)

Estas rocas abarcan varias facies, donde predominan monzodioritas cuarcíferas, con filones tardimagmáticos graníticos y granodioritas subordinadas. Intruyen capas de la Formación Cura-Mallín y, al norte del CVNC, están cubiertas mediante discordancia de erosión por coladas de lava y capas piroclásticas de la Formación Cola de Zorro. Se le asigna una edad miocena (17,2-5,8 Ma).

Formación Cola de Zorro (Plioceno superior-Pleistoceno)

(González y Vergara, 1962)

Formada por lavas y rocas piroclásticas de composición predominantemente andesíticas, se presentan discordantes y en disposición horizontal sobre niveles de la Formación Cura-Mallín. Muñoz y Niemeyer (1984) le asignan una edad pliocena tardía-pleistocena a partir de datos radiométricos. Una edad obtenida de las lavas de este lugar mediante $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dio un valor de $1,8 \pm 0,3$ Ma (Dixon *et al.*, 1999).

2.2.2 Complejo Volcánico Ancestral y Volcanes Satélites

Lavas Los Pincheira (Pleistoceno medio)

Corresponden a extensas y relativamente gruesas coladas de superficie plana, que forman típicamente bancos laterales, limitados por escarpes abruptos en los valles del estero San José, del río Chillán y del estero Renegado, hacia el oeste, y alcanzan distancias de hasta 40 km desde las cimas del actual CVNC, también se extienden hacia el este. En el valle del Estero Renegado, están cubiertas por las denominadas lavas Atacalco y por niveles de la Ignimbrita El Castillo.

Su litología corresponde a lavas andesíticas, principalmente afaníticas de textura muy fina y a menudo de matriz vítrea. Químicamente, corresponden andesitas (58-60,6% wt SiO₂) de piroxeno y olivino. Presenta edades de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ desde 630 ± 50 a 690 ± 40 Ka. (Naranjo *et al.*, 2008).

Presenta espesores de 100 a 200 m y las secciones expuestas están caracterizadas por niveles basales con desarrollo de disyunción columnar arqueada de a 100 m de espesor, cubiertos por niveles de espesor similar y con diaclasamiento irregular caótico de tipo 'hackly' fragmentario (Naranjo *et al.*, 2008). Estas coladas son interpretadas como producto de haber sido Emplazadas y acumuladas bajo hielo, en circunstancias que su avance progresivo fue impedido por la necesidad de fundir el hielo glacial (Lescinsky y Fink, 2000).

Lavas Diguillín (Pleistoceno medio)

Esta unidad corresponde a una secuencia de hasta 150 m de espesor, Emplazadas a lo largo del valle del estero Renegado. Está formada predominantemente por lavas andesíticas y brechas, que en sus facies distales cubren de forma lateral a la

unidad Lavas Los Pincheira y subyacen a lavas e ignimbritas de la unidad Atacalco y El Castillo, respectivamente. En sectores proximales, subyace a las lavas de la unidad Lanalhue.

Litológicamente, en las facies proximales corresponden a andesitas porfíricas (58% wt SiO₂) de piroxeno (con escaso olivino y anfíbolos) y autobrechas de pocos metros de espesor. En las facies distales cercana al pueblo de Recinto corresponden a andesitas de plagioclasa y piroxeno (59% wt SiO₂), afaníticas vítreas y muy vesiculares en superficie (Naranjo *et al.*, 2008).

Lavas Atacalco (Pleistoceno medio–Superior)

Corresponden a uno o más flujos de lava andesítica de tipo bloques y aa que afloran a lo largo del valle del Estero Renegado, que cubren lateralmente a las lavas de las unidades Los Pincheira y Diguillín y que están cubiertas por lavas del volcán Democrático y depósitos de flujos laháricos. Estas lavas se presentan como bancos laterales canalizados a lo largo del estero Renegado, aguas abajo del sector Las Trancas.

Corresponden a andesitas (57-59% wt SiO₂) porfíricas gruesas de plagioclasa, piroxeno y olivino. Generalmente, en superficie muestran textura vesicular, sin rasgos evidentes de erosión (Naranjo *et al.*, 2008).

Lavas Lanalhue (Pleistoceno Superior)

Sucesión de lavas gruesas que exhiben gran diversidad de diaclasamiento fragmentario e incluyen hialoclastitas, así como niveles y centros de emisión de escorias; composicionalmente varían desde andesitas a riolitas. Cubren a la Formación Cola de Zorro y la unidad Los Pincheira. En las nacientes del Estero Renegado cubren las Lavas Diguillín, en este sector se presenta como un apilamiento de lavas de hasta 150 m de potencia. En el norte, las Lavas Lanalhue están lateralmente cortadas o cubiertas por lavas de las unidades más antiguas del Subcomplejo Cerro Blanco (Naranjo *et al.*, 2008).

La unidad Lavas Linalhue comprenden una gran variedad de litologías, ocasionalmente asociadas a centros de emisión subglaciares (Mee *et al.*, 2009). Aquí se encuentran lavas andesíticas con plagioclasa, olivino y escaso clinopiroxeno, brechas soldadas, salpicaduras y bombas escoriáceas, andesítico-basálticas de plagioclasa y olivino. Algunas secciones del sector SW incluyen lavas con altos contenidos de sílice como andesitas-silíceas, dacitas y riolitas (Naranjo *et al.*, 2008), así como cuerpos intrusivos como filones y mantos, que se interpretan como centros de emisión (Mee *et al.*, 2009).

Ignimbrita El Castillo (Pleistoceno superior)

Corresponde a depósitos ignimbríticos de flujos piroclásticos densos, de ceniza, pómez y escoria no soldados, en ocasiones con carbón ligeramente antracítico (Naranjo *et al.*, 2008). Sobreyacen a las lavas Los Pincheira y Diguillín y no han sido reconocidos en facies proximales.

El origen de la Ignimbrita El Castillo, de edad pleistocena superior, podría estar asociado a la formación de los escarpes de caldera construidos en volcanitas de la unidad Lavas Lanalhue.

Conos Piroclásticos Satélites: Volcanes Las Lagunillas y Parador (Holoceno)

Los volcanes Las Lagunillas y Parador corresponden a conos satélites del CVNC, ubicados en los flancos oriental y occidental, respectivamente. El primero se ubica 5 km al este del portezuelo que separa los subcomplejos Cerro Blanco y Las Termas; el cono de escoria Parador se ubica a 4 km al SW de ese portezuelo.

El volcán Las Lagunillas tiene una altura de 90 m y su cráter un diámetro de casi 100 m, el cual está cubierto por depósitos de tefra holocena. El volcán Parador es de aspecto más juvenil con un poco más de 150 m de altura y un cráter de 300 m de diámetro (Naranjo *et al.*, 2008).

2.2.3 Subcomplejo Cerro Blanco

Lavas Orientales (Pleistoceno Superior alto)

Lavas porfíricas andesíticas y dacíticas de bloques, con erosión glacial parcial, y constituyen el volumen principal del edificio del Subcomplejo Cerro Blanco. Se sobreponen a las lavas Lanalhue y están cubiertas discordantemente por depósitos piroclásticos del volcán Gato y lavas del volcán Democrático (Naranjo *et al.*, 2008). Presenta una edad de $23,9 \pm 5,4$ Ka para una lava de la unidad (Dixon *et al.*, 1999).

Volcán Colcura (Pleistoceno Superior alto-Holoceno)

Lo conforman lavas de bloque y aa, y brechas y depósitos de avalanchas de detritos, que cubren discordantemente a la unidad lavas Lanalhue y subyacen a depósitos piroclásticos del volcán Gato y a lavas de los volcanes Calfú, Pichicalfú y Blanco, así como a depósitos morrénicos y piroclásticos de caída.

Sus lavas se emplazaron desde la cabecera del valle del río Chillán en una extensión de 22 km, las cuales están parcialmente cubiertas por depósitos laháricos. También se distribuyen al norte y al este del Subcomplejo Cerro Blanco (Naranjo *et al.*, 2008).

Volcanes Gato y Blanco (Holoceno)

Consisten en dos estratoconos dacíticos de bajo contenido en sílice, sobrepuestos y formados por abundante material piroclástico eyectado (Naranjo *et al.*, 2008). Los volcanes Gato y Blanco están ubicados en la parte superior del Subcomplejo Cerro Blanco, presentan una altura de 500 m y 100 m, y un diámetro de cráter de 650 m y 250 m respectivamente.

Volcanes Calfú, Pichicalfú y Los Baños (Holoceno)

Corresponden a tres volcanes menores de andesitas máficas que se ubican en el flanco sur del Subcomplejo Cerro Blanco. Se encuentran parcialmente cubiertos de nieve por lo que no es posible definir las edades relativas entre ellos. El volcán Calfú corresponde a un cono piroclástico del tipo vulcaniano con un cráter de explosión. Presenta gruesas acumulaciones de escorias andesíticas y salpicaduras con oxidación rojiza y aglutinados soldados (Naranjo *et al.*, 2008). Estos tres volcanes forman un grupo geoquímicamente distintivo de andesitas porfíricas, al cual se le otorgó la denominación de 'tipo Calfú' (Dixon *et al.*, 1999).

Volcán Santa Gertrudis (1861-1865 d.C.)

Consiste en un cono de escorias y un campo de lava andesítica porfídica de bloques, el cual comenzó su formación en agosto de 1861 y corresponde a la actividad más reciente del Subcomplejo Cerro Blanco. Según evidencias, la emisión de lava fue acompañada de explosiones estrombolianas y generó lahares causados por la fusión de hielo y nieve (Naranjo *et al.*, 2008).

Mee *et al.* (2009) muestran evidencias de Emplazamiento subglacial en las lavas de este volcán, que ha permitido concluir que estas se Emplazaron en un valle glacial cubierto de nieve, lo que fue una contribución primordial a la formación del lahar emplazado hacia el río Ñuble (Philippi, 1862).

2.2.4 Subcomplejo Las Termas

Lavas del Sur (Pleistoceno Superior alto)

Corresponde a una sucesión bien estratificada de lavas andesítico-basálticas y andesíticas porfíricas, que cubren lavas de la Formación Cola de Zorro y están cubiertas por las lavas Aguas Calientes. Están ubicadas en el extremo sur del CVNC y presentan un espesor de más de 200 m, conformado por más de 30 capas de lavas y brechas (Naranjo *et al.*, 2008).

Lavas Larqui (Pleistoceno Superior alto)

Esta unidad corresponde a una secuencia de lavas con algún grado de arcillización, niveles desoldados de salpicaduras y tefras, depositadas sobre diferentes unidades del basamento (también alteradas) y lateralmente cortadas por lavas de los volcanes Viejos y Democrático. Afloran al este del Subcomplejo Las Termas, con un espesor de 150 a 200 m (Naranjo *et al.*, 2008).

Lavas Aguas Calientes (Pleistoceno Superior alto)

Está conformada por lavas dacíticas vítreas desvitrificadas con diaclasamiento columnar radial y brechas. Se expone flanqueada y rodeada de los taludes de escarpes de cara al sur del valle de Aguas Calientes, en la parte meridional del CVNC, sobre el flanco sur del volcán Chillán. La composición de estas lavas corresponde a dacitas

silíceas (67,7-69,3% wt SiO₂) de plagioclasa, piroxenos, titanomagnetita e ilmenita (Naranjo *et al.*, 2008).

Volcán Viejo (Holoceno)

Corresponde a un estratovolcán constituido por secuencias de lavas y unidades piroclásticas que incluyen prominentes niveles andesíticos y dacíticos de aglutinados soldados. Es una de las estructuras principales del Subcomplejo Las Termas, con un diámetro basal de 1,5 km y una altura mínima de 500 m. Conforme a radiaciones radiométricas ¹⁴C este volcán se habría mantenido activo hasta poco antes de los 2 Ka (Naranjo *et al.*, 2008).

Volcán Democrático (Holoceno)

Corresponde a una estructura volcánica principalmente efusiva, de lavas de bloques, andesíticas a dacíticas silíceas, la cual ha sido cubierta por la estructura del volcán Arrau. Sus lavas se extienden por 14 km al oeste, cubriendo las unidades Diguillín, Atacalco y Lanalhue, a su vez estas lavas son cubiertas por lavas de los volcanes Chillán y Shangri-La. Su composición varía de andesitas de bajo contenido en sílice a riolitas de bajo contenido en sílice, pobres en fenocristales, con plagioclasas, piroxenos titanomagnetita e ilmenita (Naranjo *et al.*, 2008).

Volcán Chillán y Shangri-La (Holoceno)

El volcán Chillán corresponde a un estratovolcán menor adosado al oeste del volcán Viejo, al cual cubre parcialmente. Está constituido principalmente por lavas dacíticas, con intercalaciones de piroclastos. A partir de correlaciones realizadas por Dixon *et al.* (1999), es posible que sean más jóvenes que 2,27 Ka. El volcán Shangri-La corresponde a un domo de 250 m de diámetro ubicada en el portezuelo entre los subcomplejos, en donde sus lavas fluyeron al oeste-suroeste por el valle homónimo. Estas lavas corresponden a dacitas de bloques muy semejantes a las lavas del volcán Chillán, con las mismas características químicas (Dixon *et al.*, 1999). Conforme a dataciones radiométricas ⁴⁰Ar/³⁹Ar se ha obtenido una edad de 7,7 ± 1,4 Ka (Mee, 2004).

Volcán Pata de Perro (Holoceno)

Está formado por un cono piroclástico de pómez soldadas y una colada de lava dacítica de bloques. Cubre las lavas Aguas Calientes y la unidad de Depósitos Piroclásticos de Caída Indiferenciados. Tiene una composición dacítica de alto contenido de sílice (68,75-69,4% wt SiO₂) y los bloques de lava muestran una textura vítrea típica con desarrollo mixto de fracturas concoidales y ásperas, que corresponde a un rompimiento frágil y dúctil respectivamente (Naranjo *et al.*, 2008).

Volcán Nuevo (1906-1948 d.C.)

Está ubicado al norte del volcán Democrático, presenta una forma cónica de 180 m de alto, creada a partir de la erupción iniciada el 16 de agosto de 1906. Sobre sus flancos se reconocen diversas 'coulée' lavas de poco más de 1,5 km de largo y depósitos

de bloques y cenizas. Las lavas corresponden a dacitas porfíricas (64% wt SiO₂) de plagioclasa y dos piroxenos (Naranjo *et al.*, 2008). La estructura del volcán Nuevo correspondería esencialmente a una lava-domo (Naranjo *et al.*, 1994).

Volcán Arrau (1973-1986 d.C.)

Corresponde a un domo cónico que se edificó sobre la mitad sur del volcán Democrático, entre los volcanes Nuevo y Chillán (Naranjo *et al.*, 1994). Al igual que el volcán Nuevo, su desarrollo se produjo a través de pulsos de lava (<1 km), alternados con explosiones menores, flujos de bloque y de cenizas. Las lavas del volcán Arrau son más ricas en cristales que las dacitas estudiadas del sub-complejo. Corresponden a flujos de dacitas vítreas, porfíricas, de plagioclasa, clino- y ortopiroxeno, titanomagnetita e ilmenita con contenidos de 64,5-65,4% wt SiO₂ (Naranjo *et al.*, 2008).

Cráter Chudcún (2003 d.C.)

Fue generado por una erupción fisural entre el volcán Nuevo y el Arrau entre agosto y septiembre del 2003. Durante esta erupción se hubo ocurrencia de explosiones de baja magnitud con columnas de gas y cenizas que alcanzaron los 400 a 500 m de altura (Naranjo y Lara, 2004).

2.2.5 Depósitos sedimentarios y volcanoclásticos

Depósitos Morrénicos Indiferenciados (Pleistoceno medio-Holoceno)

Estos depósitos alcanzan espesores de 10 a 30 m y se acumularon alrededor de los frentes las lenguas glaciales más antiguas. Se encuentran al oeste del Subcomplejo Cerro Blanco, acumuladas contra el escarpe de caldera labrado en las lavas Lanalhue. De acuerdo con las formas presentes en ese sector, es posible suponer que su acumulación precedió, a lo menos, la formación del volcán Blanco. Las morrenas depositadas al suroeste de ese complejo parecen ser muy recientes y presentan cordones frontales del actual glacial en retroceso (Naranjo *et al.*, 2008).

Depósitos de flujos piroclásticos indiferenciados (Holoceno)

Los depósitos piroclásticos de caída se encuentran principalmente al este del complejo, debido al viento predominante de la zona, en donde la secuencia la componen 4 niveles de pómez, sobre los cuales se reconocen niveles de cenizas ricas en fragmentos líticos, juveniles y accidentales (Naranjo *et al.*, 2008).

Se reconocen al oeste del complejo, en los valles, afloramientos aislados de flujos piroclásticos sin reconocerse facies proximales. Constituyen depósitos de cenizas meteorizadas con fragmentos de lapilli de escoria o pómez parcialmente redondeadas, escasos líticos y carbón. Presentan edades de 2270 ± 70 y 3460 ± 60 A.P. (Naranjo *et al.*, 2008).

Depósitos laháricos-aluviales

Se encuentran remanentes de estos depósitos en la mayoría de los valles que drenan el CVNC. Se presentan en terrazas las cuales han sido incididas por los actuales cursos de agua. Dixon *et al.* (1999) en el Estero Renegado, han estimado edades de 300 a 400 años, en el sector occidental del valle Las Trancas, en una terraza de 10 m elevación usando los anillos de los árboles como medio de datación. Los árboles más jóvenes que crecen en los depósitos inferiores sugieren una edad de pocas decenas de años.

En la figura 4 se observan datos de análisis de roca total elaborados por Dixon *et al.* (1999) y Mee (2004), quienes recopilaron datos de las muestras de roca más representativas del CVNCh, distinguiendo entre cada sub-complejo. Se constata que las composiciones del sub-complejo Las Termas son ciertamente más diferenciadas que las del Subcomplejo Cerro Blanco.

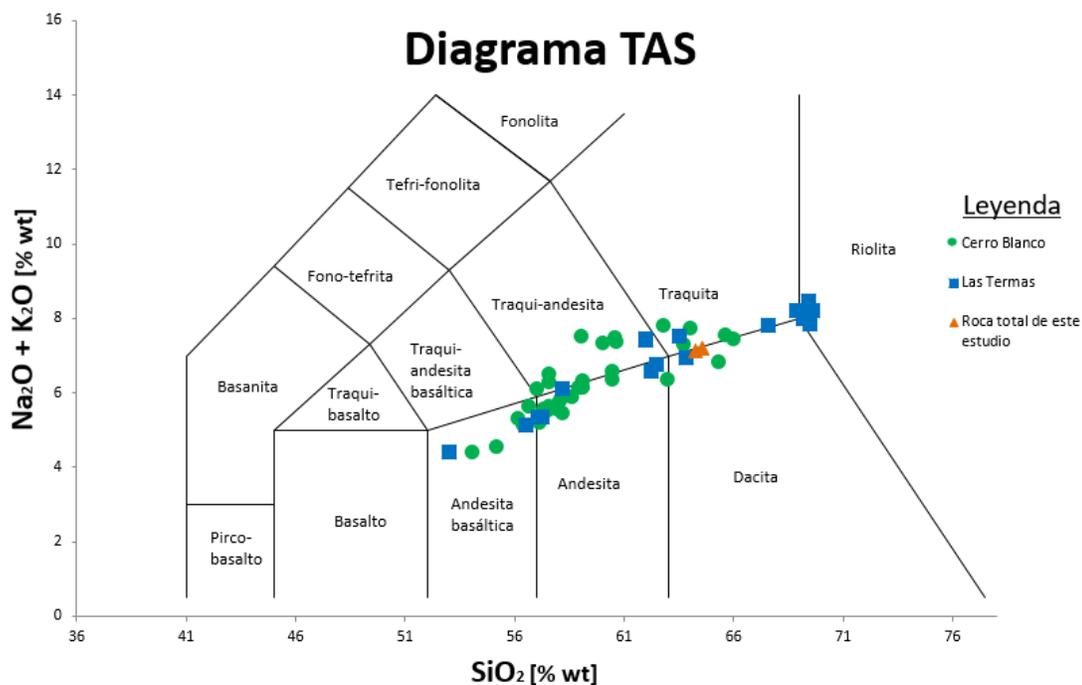


Figura 4: Diagrama TAS de las muestras de Dixon *et al.* (1999) y Mee (2004) (Le Bas *et al.*, 1984)

2.3 Registro reciente de la actividad eruptiva del CVNC

A continuación, se muestra el registro eruptivo de los últimos 100 años en el Complejo Volcánico Nevados de Chillán, basado en el trabajo de Orozco *et al.* (2016).

- 16 agosto de 1906-1948 (IEV 2): inicio de ciclo eruptivo con la formación del volcán Nuevo; este comienzo coincide con el gran terremoto de Valparaíso y Santiago. Actividad de tipo estromboliana, con emisión de flujos de lava a intervalos de 10 a 20 minutos y una gruesa columna eruptiva de más de 3.000 m de altura. Los sismos y explosiones del volcán pudieron ser percibidos desde la ciudad de

Chillán, a unos 70 km del macizo. La intensa actividad duró 4 meses y generó lahares hacia los ríos Chillán y Renegado. Los siguientes años se reportó actividad de menor intensidad con episodios más marcados, hasta que en 1907 se inicia una nueva fase, de carácter más débil que la primera. En 1914, luego de un sismo, se registró un aumento de la actividad, con una gruesa columna eruptiva que fue perceptible desde Talca. Durante los años 1927-1929 se identifican otros períodos de erupciones en el cráter nuevo. En el año 1934 se reconoce una erupción con emisión de ceniza y descargas eléctricas visibles desde Curicó. En 1935 se registró una fase más efusiva, con emisión de lava por el flanco oeste del volcán, la que produjo lahares que bajaron por el valle del estero Renegado. Durante el período 1946-1947 se reporta nueva actividad del volcán Nuevo (Brüggen, 1948; González-Ferrán, 1995; Petit-Breuilh, 2004; Naranjo *et al.*, 2008).

- Agosto 1973-1987 (IEV 2): emisión de lava domo que da origen a la formación del volcán Arrau, ubicado al SE del volcán Nuevo, y deja completamente cubierto el antiguo volcán Democrático. La construcción de este cono comenzó en 1973 y alcanzó su máxima altura en 1983. Durante su formación se generaron sucesivos pulsos eruptivos y colapsos gravitacionales, los cuales dieron origen a depósitos de avalanchas calientes, que, junto con los sedimentos, suavizaron la morfología del volcán. Durante la erupción se emitieron abundantes cantidades de gases y ceniza. Además, hubo explosiones rítmicas cada 2-5 minutos, ruidos subterráneos y lahares (Dèruelle *et al.*, 1977; Naranjo *et al.*, 1994; González-Ferrán, 1995; Petit-Breuilh, 2004; Naranjo *et al.*, 2008).
- 2003 (IEV 0-1): pequeña erupción de tipo vulcaniana producida durante los meses de agosto y septiembre, y poco visible salvo para los lugareños y visitantes del centro de ski del lugar. Se caracterizó por eventos explosivos de baja magnitud, con columna de gases y ceniza de hasta 500 m, con períodos de 20 a 25 minutos en los primeros días, a episodios más distanciados con el paso del tiempo. Como resultado se generó un nuevo cráter doble llamado Chudcún, de 40 m en su diámetro mayor, localizado entre los volcanes Nuevo y Arrau (Naranjo y Lara, 2004; Naranjo *et al.*, 2008).
- 2008 (IEV \leq 1): el 21 de enero de 2009 se emite un reporte por emisión de ceniza (500 m) enviado por VAAC (Centro de Monitoreo de Ceniza Volcánica) Buenos Aires. Por otro lado, mediante imágenes satelitales con fecha de 15 de diciembre 2008, se observa una colada de lava en la zona NE del volcán Nuevo. Este nuevo centro, denominado volcán Sebastián (Naranjo y Moreno, 2009), presenta una colada de lava de no más de 1 km de extensión, sin depósitos piroclásticos asociados. Estudios de anomalías térmicas realizadas con imágenes Landsat establecen dos períodos de actividad: una primera fase a inicios del 2008 y una segunda fase con inicio en abril, la que termina a finales del mes de octubre. Esta

actividad pasó inadvertida para los habitantes de la zona. Según estimaciones, las tasas de emisión serían bajas, con un promedio mínimo de 70.000 m³/mes.

- 2015 (en curso): la actividad pre-eruptiva del actual ciclo eruptivo comenzó aproximadamente en septiembre de 2015, cuando la sismicidad en el CVNC incrementó drásticamente desde un promedio de 210 sismos mensuales hasta un número creciente de eventos que alcanzaron 1259 sismos en diciembre de 2015. En 31 de diciembre de 2015, el Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin), y la Oficina Nacional de Emergencias (Onemi) decretaron Alerta Amarilla para el complejo (Sernageomin, 2016a; Sernageomin, 2016b; Onemi, 2016).

La primera actividad eruptiva se registró el 8 de enero de 2016 y consistió en una emisión breve de ceniza no mayor a 1000 metros de altura, asociada de altura a un evento sísmico de magnitud 2.9 Mw (Sernageomin, 2016c). Esta actividad fue seguida por una serie de explosiones discretas el 9 de enero. Luego de una inspección aérea por parte de Onemi el 9 de enero, una fisura se produjo en el flanco Este del Volcán Nuevo a unos 40 m más abajo del cráter principal de este último, emitiendo fumarolas con temperaturas de unos 120°C (Onemi, 2016). Desde este punto hasta fines de 2017, la actividad volcánica socavó la superficie del Complejo y se le dio forma a un cráter bautizado como Nicanor.

En el reporte del 9 de enero de 2018, se identifica un domo de lava (bautizado como Gil-Cruz) cuyo conducto de salida corresponde a la fisura observada previamente; las temperaturas registradas alcanzaron los 480°C, valores más altos desde el inicio del proceso en enero de 2016 (Sernageomin, 2018a; Sernageomin, 2018b; Sernageomin, 2018c; Sernageomin, 2018d; Sernageomin, 2019a). Se ha constatado la ocurrencia de episodios explosivos en el cráter y colapsos parciales del domo, asociados a dinámica de fluidos y fracturamiento de roca (en menor medida). El colapso parcial en el domo es asociado a fenómenos de taponamiento y presurización bajo el cráter Nicanor.

En el reporte especial del 6 de agosto (Sernageomin, 2019b), se informa de la generación de un lahar en el costado NNE del edificio volcánico, que alcanzó a recorrer 1,5 km aproximadamente. Posteriormente, en el reporte especial del 13 de agosto (Sernageomin, 2019c), se informa de la ocurrencia de sismicidad de muy largo periodo, que relacionan a la movilización de volúmenes de magma al interior del sistema, posiblemente debido a una nueva intrusión de material al sistema. Mediante análisis de imágenes satelitales del área del cráter Nicanor, se identificó un nuevo centro de emisión al interior de éste, adyacente al conducto del domo formado desde diciembre del 2017 hasta parte del 2019 (Sernageomin, 2019d).

2.4 Actividad geotermal del CVNC

En el Nevados de Chillán, se encuentran diversos manantiales (calientes y fríos) y fumarolas activas. La mayoría de las fuentes de agua y fumarolas se distribuyen en el Subcomplejo Las Termas, especialmente en la parte sur. Las fumarolas más destacadas y perennes se ubican sobre el flanco SW, en el sector de las Termas de Chillán, manantiales calientes de donde se extrae el agua termal para el balneario del mismo nombre, y el sector Valle Hermoso. Aunque menores, destacan por su persistencia las fumarolas ubicadas sobre el flanco SW de los volcanes Arrau y Chillán, en las cuales, a comienzos de 2004, se midieron temperaturas superficiales de entre 85 y 90°C (Naranjo *et al.*, 2008).

Emanaciones de aguas calientes destacadas y fumarolas también se encuentran en el sector de Aguas Calientes, en las nacientes del río Diguillín, a los pies del flanco meridional del Subcomplejo Las Termas y en las nacientes del río Las Minas, al SE del volcán Viejo. Por otra parte, en el Subcomplejo Cerro Blanco, sobresalen los Baños del Rafa, en las nacientes del río Chillán, con emanaciones de agua mineral sobre la unidad lavas Lanalhue y las fuentes termales de los baños San Lorenzo y de Cato, al norte y noreste del subcomplejo, respectivamente.

2.5 Peligro volcánico en el Complejo Nevados de Chillán

Orozco *et al.* (2016) evaluaron los peligros volcánicos del Complejo Volcánico Nevados de Chillán, donde concluyeron que las zonas que pueden ser afectadas por procesos volcánicos corresponden a los valles principales en torno al complejo, especialmente aquellos cuyos cauces principales tengan sus nacientes en los centros volcánicos, además de los centros turísticos del sector.

Se estimó que en el actual estadio de evolución del CVNCh, los episodios eruptivos más frecuentes poseen una recurrencia decenal, cuya naturaleza probable consistiría en erupciones de explosividad moderada (IEV 2 a 3), con la generación de lahares con un alcance máximo estimado en 25 km, restringidos a los cauces principales que conectan directamente con los centros de emisión, la efusión de coladas de lava de longitudes menores a 3 km, y eyecciones balísticas, además de la probabilidad de dispersión atmosférica y acumulación de tefra en las localidades cercanas. Frente a eventuales episodios explosivos con desarrollo de columnas eruptivas elevadas (15 a 20 km de altura), parte importante de las regiones del Bio-Bío, Ñuble y del Maule podrían verse en algún grado influidas por la acumulación de al menos 1 cm de ceniza (Orozco *et al.*, 2016), si la erupción aconteciera en otoño. En el resto del año, la dispersión más estable sería hacia el este, reduciendo la región susceptible solo al sector cordillerano.

Capítulo 3: Inclusiones Vítreas

3.1 Introducción

La idea de inclusión vítrea fue introducida por primera vez por Sorby (1858), y se entiende como pequeñas gotas de fundido que son atrapadas en irregularidades de las paredes de los cristales en crecimiento a presiones y temperaturas magmáticas, ayudado por etapas de bajo crecimiento cristalino o disolución del cristal por reequilibrio. En su evolución, además de vidrio, pueden desarrollar fases volátiles (en burbuja) y fases minerales (por recristalización o por atrapamiento).

Estas inclusiones tienen la capacidad de preservar información sobre la composición y evolución de un sistema magmático (Roedder, 1984), que típicamente se pierde por procesos de mezcla, fraccionamiento, desgasificación o contaminación (Sobolev, 1996). Estos fenocristales relativamente incompresibles actúan como cápsulas durante las erupciones, evitando la desgasificación de las inclusiones atrapadas (Lowenstern, 2003).

Su identificación en minerales volcánicos es relativamente sencilla, pero su preservación no siempre es ideal. Esto se debe a que las condiciones termodinámicas en las que se forman las inclusiones pueden variar bastante, particularmente la presión (profundidad).

3.2 Origen y procesos de formación

Roedder (1984) define tres tipos de inclusión vítrea: primarias, secundarias y pseudo-secundarias. Se entiende por inclusión primaria la que se forma durante el crecimiento cristalino. De manera similar, una inclusión pseudo-secundaria se interpreta como una inclusión formada en fracturas mientras se forman nuevos planos cristalinos. Por otro lado, una inclusión secundaria se forma en fracturas posteriores a que terminara el crecimiento del cristal huésped; este último se considera como el tipo menos común.

Para que las inclusiones vítreas sean válidas para su estudio, deben cumplir lo que se conoce como las reglas de Roedder (Bodnar, 2003), las cuales son:

1. La inclusión fue atrapada como una sola fase homogénea.
2. Cada inclusión debe representar un sistema isocórico.
3. Posterior al atrapamiento, nada se ha removido ni ha sido añadido de la inclusión.

Los cristales más comunes para el estudio de inclusiones vítreas en rocas basálticas y otras relacionadas, son olivino, plagioclasa, espinela, clinopiroxeno y ortopiroxeno. Los dos primeros son las fases más usadas en estos estudios, siendo la plagioclasa la fase predominante algunas veces (Hansen *et al.*, 2000; Font *et al.*, 2007).

Existen muchos mecanismos por los que se pueden producir inclusiones vítreas, los que son recopilados por Kent (2008), y son detallados en la figura 5.

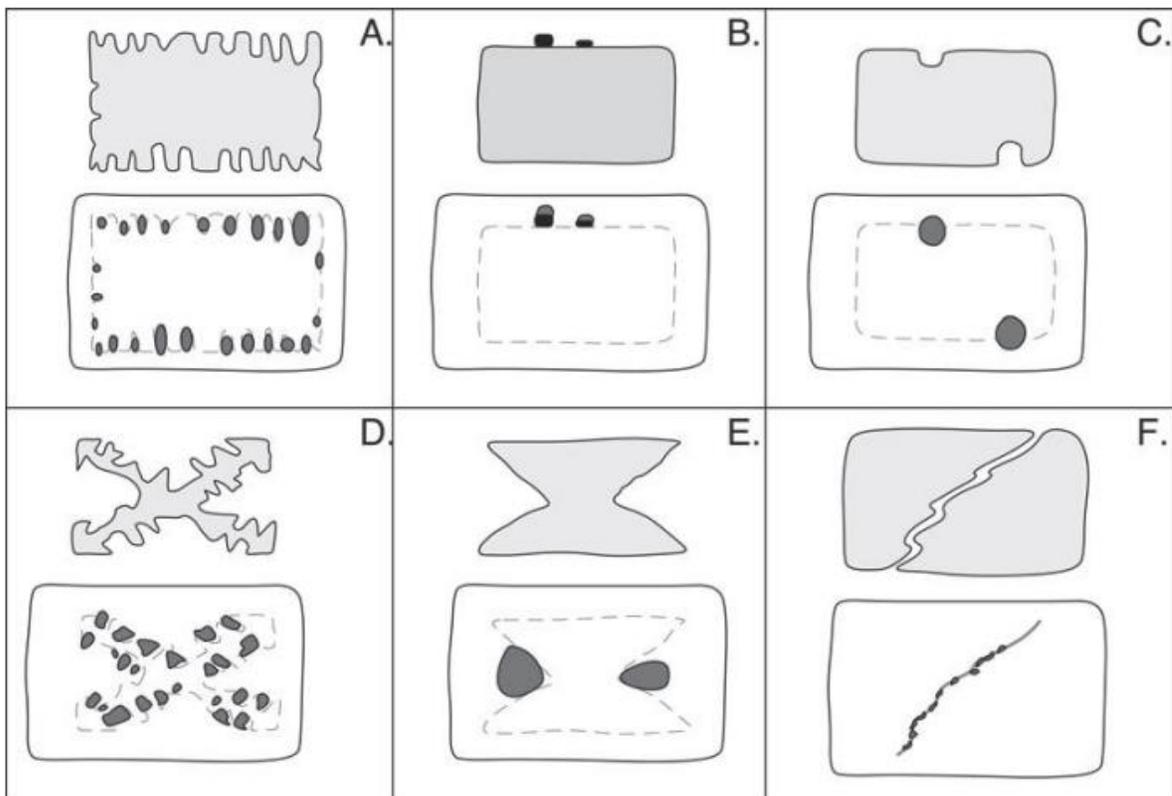


Figura 5: Mecanismos comunes de formación de inclusiones vítreas en rocas basálticas, imágenes superiores e inferiores representan fases tempranas y tardías de crecimiento cristalino respectivamente (Roedder, 1979).

A continuación, el detalle de la figura 5: (A) Crecimiento cristalino seguido de disolución rápida. (B) Formación de inclusiones en minerales que tocan el *host*. (C) Defectos en la interfaz del cristal limitan las tasas de crecimiento, las inclusiones se distribuyen aleatoriamente dentro del *host*. (D) Equilibrio textural y sobrecrecimiento, seguido de un rápido crecimiento dendrítico. (E) Sobrecrecimiento de cristales esqueléticos o “de tolva” (como el bismuto), las inclusiones se forman en posiciones simétricas. (F) Curación de fracturas rellenadas con fundido.

Cuando la inclusión ya se ha formado, el fundido atrapado sigue caliente, por lo que el material puede formar cristales en vez de vidrio. Roedder (1984) muestra que, a velocidades muy lentas de enfriamiento, la inclusión cristalizará independientemente de su tamaño. De manera similar, a una tasa de enfriamiento fija, existe mayor probabilidad de recristalización en inclusiones más grandes. Esto es resumido en la figura 6:

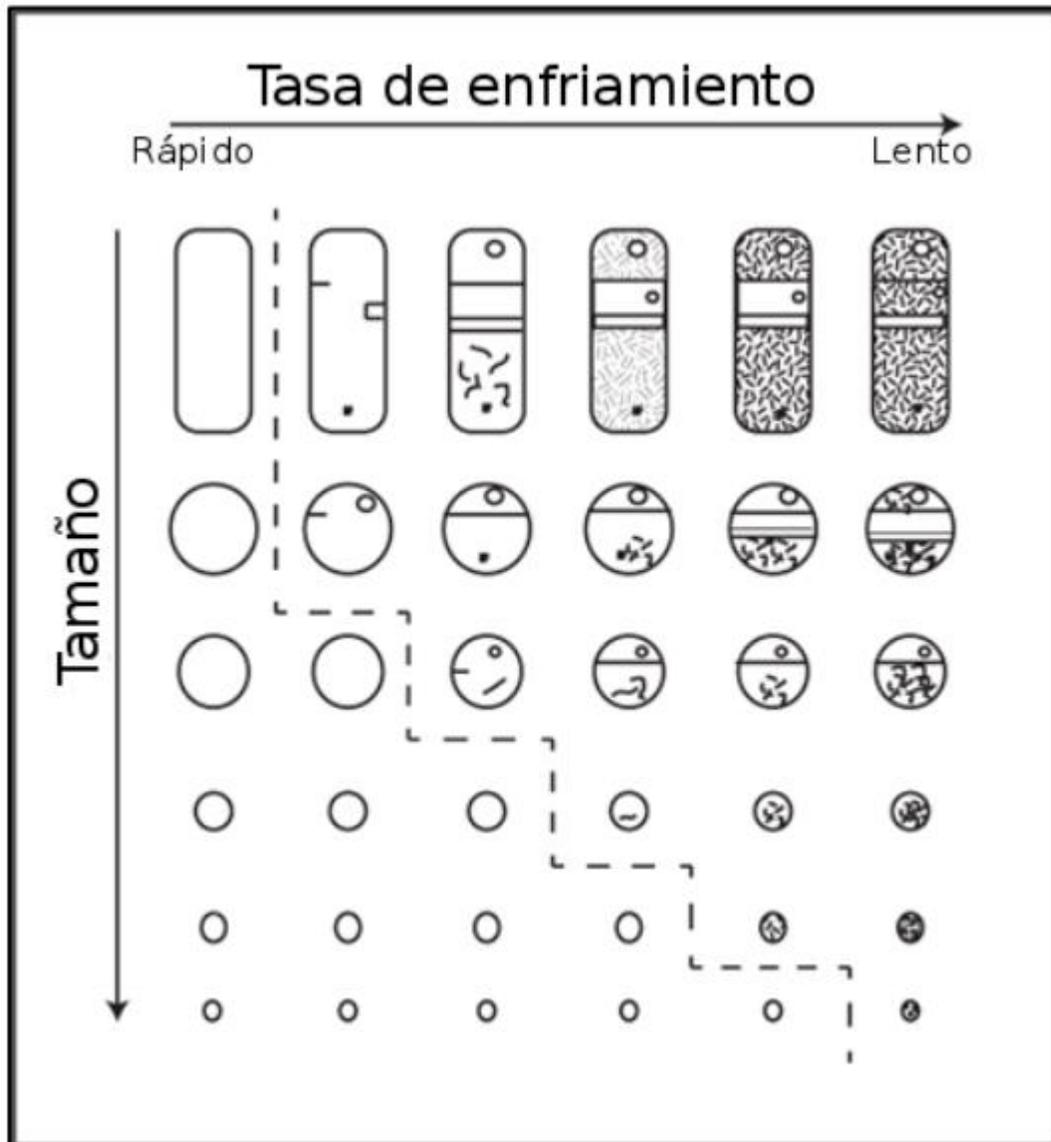


Figura 6: Velocidad de enfriamiento vs tamaño de inclusión en la recristalización de inclusiones (Roedder, 1984; tomado de Aracena, 2016).

3.3 Uso en geología

Procesos magmáticos tales como la desgasificación de un magma, cristalización fraccionada o mezcla de magmas pueden ser estudiados a través de las inclusiones vítreas atrapadas durante el crecimiento de cristales; particularmente, el primero es de gran importancia a la hora de caracterizar fluidos inmiscibles separados de magmas.

Lowenstern (1995) plantea una lista de información que puede obtenerse mediante el estudio de inclusiones vítreas:

1. Concentración de volátiles disueltos en magmas formadores de mena (ore-forming; H₂O, CO₂, Cl, S, F, B, Li).
2. Mínima presión de cristalización.
3. Temperatura aproximada del fundido durante la cristalización.

4. Evidencia de fluidos exseltos durante la cristalización de fenocristales.
5. Composición aproximada y parcial de fluidos exseltos coexistentes.
6. Evidencia de mezcla de magmas.
7. Composición de fase fundida en granitos.
8. Evolución en sistemas magmáticos/volcánicos.

3.4 Metodología enfocada en volcanología

En las últimas décadas, las inclusiones vítreas han sido una gran herramienta para estudiar el contenido pre-eruptivo de volátiles en magmas (Anderson *et al.*, 1989; Audétat y Lowenstern, 2014; De Vivo y Bodnar, 2003; Esposito *et al.*, 2014; Lowenstern, 1995; Métrich y Clocciathi, 1989; Métrich y Wallace, 2008; Robertson *et al.*, 2013; Wallace *et al.*, 2015). En particular, ciertos trabajos aseguran que la variabilidad del contenido de volátiles en inclusiones vítreas de un mismo cristal se debe al crecimiento de los cristales en condiciones de distinta presión (profundidad), es decir, mientras ascienden a través de la corteza (Métrich y Wallace, 2008).

Muchos trabajos se han enfocado en minimizar los principales problemas a la hora de estudiar inclusiones vítreas, los que involucran cambios químicos por reequilibrio, como son los fenómenos de capa límite (*Boundary-Layer Phenomena*; Danyushevsky *et al.*, 2004; Zajacz y Halter, 2007; Severs *et al.*, 2009) y los cambios post-atrapamiento (*Post-Entrapment Changes*; Gaetani y Watson, 2002; Baker, 2008; Kent, 2008; Steele-Macinnis *et al.*, 2011).

El uso de inclusiones vítreas para inferir el historial de volátiles se basa en la premisa de que una inclusión atrapa una muestra representativa del fundido en el que crecía el cristal, y que preserva su composición post-atrapamiento.

Gaetani *et al.* (2012) mostraron que el H⁺ puede escapar rápidamente de una inclusión vítrea atrapada en olivino, si es que existe un gradiente de presión suficiente en el fundido que lo rodea.

En casos más cercanos, y mediante análisis petrográfico y geoquímico de inclusiones vítreas, Hernández (2017) logra reconstruir los procesos ígneos que dieron origen al Cerro La Torta, mientras que Aracena (2016) y Robbiano (2017) determinaron la ocurrencia de procesos eruptivos relacionado a la variación del contenido de volátiles en el Volcán Copahue y Cono Navidad respectivamente. Adicionalmente, Astudillo (2018) reconstruye los procesos que pudieron provocar la erupción del Volcán Calbuco en el año 2015. Finalmente, Cannatelli *et al.* (2016) presentan un resumen sobre estudios en inclusiones vítreas y su aplicación en sistemas volcánicos, además de una guía sobre cómo realizar un correcto estudio de inclusiones, base fundamental de este trabajo.

3.5 Técnicas analíticas

La cantidad de información obtenible a partir de las inclusiones vítreas ha aumentado con el mejoramiento de la tecnología. En esta sección se detallan algunas de ellas, la mayoría de la información de esta sección fue tomada de Cannatelli *et al.* (2016) y complementada con Kent (2008).

Microscopio Electrónico de Barrido (SEM)

Esta técnica puede cumplir varias funciones a la hora del estudio de inclusiones vítreas, como comprobar el grado de homogeneidad de las inclusiones vítreas, crear mapas de distribución de elementos en las inclusiones e identificar fases minerales atrapadas o cristalizadas durante el enfriamiento. Sin embargo, una desventaja de esta técnica es que ciertos elementos se vuelven móviles cuando son expuestos al haz de electrones, como el F, Cl, Ca y P en apatito y vidrio, así como Na y K en vidrio y plagioclasa (Nielsen y Sigurdsson, 1981; Goldoff *et al.*, 2012).

Microsonda Electrónica de Barrido (EMPA)

Esta técnica es muy usada en el estudio de inclusiones vítreas, y comúnmente se utiliza para determinar concentraciones de elementos mayores, menores y volátiles (típicamente Si, Ti, Al, Fe, Mg, Mn, Ca, Na, K, Cr, P, Cl, F y S). La cantidad de H₂O puede conocerse con el método de "agua por diferencia" (Métrich y Wallace, 2008). La resolución espacial más alta alcanzable con EMPA (de diámetro de rayo entre 1 y 2 μm) permite múltiples análisis en inclusiones vítreas relativamente pequeñas (Danyushevsky *et al.*, 2000).

Espectroscopía Raman

Esta técnica no destructiva ha sido usada ampliamente en el análisis de inclusiones fluidas y vítreas, debido a su gran resolución espacial y versatilidad, al ser capaz de medir tanto fases fluidas como sólidas en inclusiones sin exponer. En el caso del estudio de inclusiones vítreas, Raman permite conocer la abundancia de elementos volátiles en vidrio o en una burbuja no expuesta (Cannatelli *et al.* (2016) y referencias dentro).

Capítulo 4: Metodología

4.1 Obtención de muestras

Las muestras estudiadas fueron recolectadas en una salida a terreno encabezada por la Dra. Claudia Cannatelli, en una fase previa al comienzo de este trabajo (figura 7). Estas muestras fueron inicialmente denominadas como 18SL01CC, y fueron tomadas en las coordenadas UTM 19H 280531 5916203, en el centro y en el techo de la colada. A partir de ellas se obtuvieron 6 cortes transparentes pulidos (3 cortes de 30 μm y 3 cortes de 100 μm) y cristales mediante molienda. A priori, se reconocieron dos texturas diferentes en las rocas, una consolidada (centro) y una vesiculada (techo). Por esto, se les renombró SL-01 Y SL-02 respectivamente.



Figura 7: Fotografía en terreno de la colada de lava

4.2 Trabajo en laboratorio

4.2.1 Separación y montaje de minerales

Este proceso se llevó a cabo en el Laboratorio de Separación de Minerales del Departamento de Geología de la Universidad de Chile. En primer lugar, las muestras fueron reducidas con yunque y martillo, para luego ser molidas en mortero. El resultado de este proceso fue tamizado por mallas de nylon #18 y #35, obteniéndose cristales entre tamaños de 1 y 0,5 mm, los que posteriormente fueron lavados (figura 8) e identificados con lupa binocular y agrupados según fase mineral.

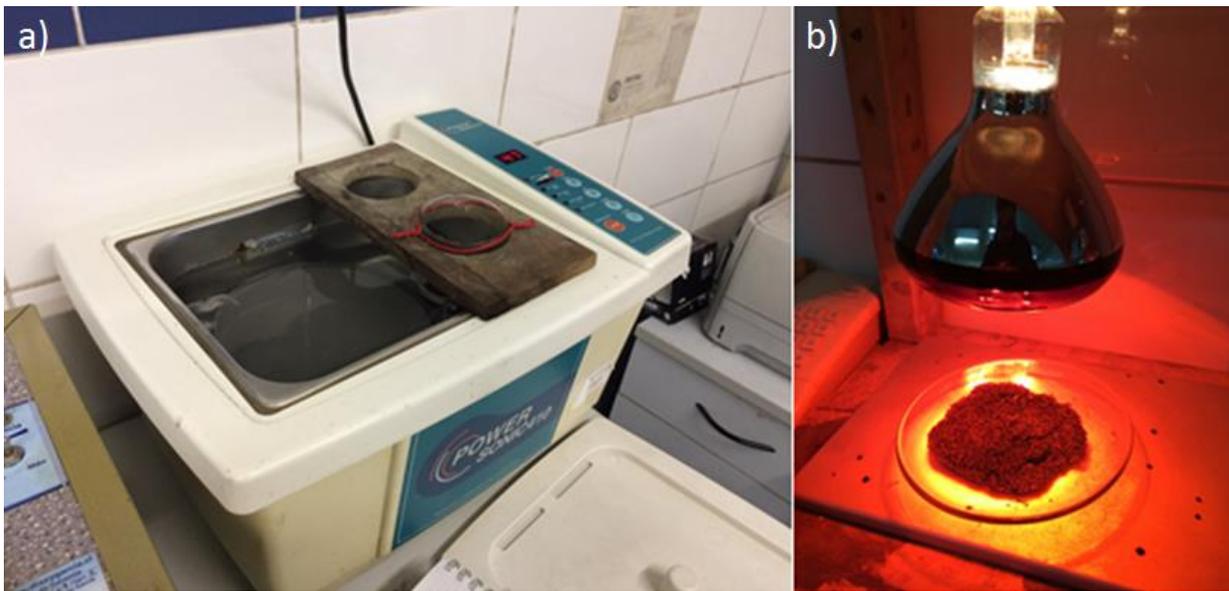


Figura 8: Procedimiento de lavado y secado del material: a) equipo de baño de ultrasonido, b) lámpara de secado

Se obtuvieron cristales de plagioclasa, piroxeno y olivino, siendo la cantidad de plagioclasa mucho mayor en comparación a las otras dos juntas.

4.2.2 Preparación de montajes y petrografía

El montaje se realizó en tubos de PVC de una pulgada de diámetro, pegados con cinta de doble contacto en una placa de cerámica. Una vez hecho esto, se preparó una mezcla de resina y endurecedor con una proporción volumétrica de 15:2. Con los montajes ya endurecidos, se procedió a pulir los montajes con lijas de rugosidad 400 a 5000, donde las más bajas se encargan de desgastar los cristales para exponer las inclusiones, y las más altas se encargan de eliminar rayas del pulido anterior, de modo que se obtenga una imagen clara del cristal en el microscopio. En esta última parte es necesario pulir con una pasta especial de alúmina alfa y agua, que ofrece una fricción lo suficiente baja para no desgastar en exceso.

Siguiendo la metodología propuesta por Cannatelli *et al.* (2016), las observaciones petrográficas consisten en la caracterización de la mineralogía, de las inclusiones vítreas presentes y de la clasificación de estas en asociaciones o familias de inclusiones vítreas (MIA = Melt Inclusions Assemblages), de acuerdo con los criterios propuestos por Moore *et al.* (2015). Para esto se trabajó con un microscopio *Olympus BX-51* del Laboratorio de Inclusiones Fluidas del Departamento de Geología de la Universidad de Chile. Se analizaron 8 montajes de cristales y 6 cortes transparentes pulidos, elaborados a partir de las dos muestras disponibles.

Con las familias ya armadas, se procedió a pulir nuevamente con las lijas mencionadas anteriormente, con el objetivo de llevar a superficie las inclusiones vítreas no expuestas. En esta parte se usó una máquina pulidora *Minitech 233*.

4.2.3 Microscopio Electrónico de Barrido (SEM)

En esta etapa, se trabajó con el Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) del Centro de Excelencia en Geotermia de los Andes (CEGA), en el Departamento de Geología de la Universidad de Chile. Se determinaron, de manera semicuantitativa, la composición de minerales en cortes transparentes, obteniendo además imágenes en alta resolución de inclusiones vítreas y minerales hospedantes, mediante electrones retrodispersados (Backscatter Electron Dispersion - BSED).

4.2.4 Análisis en Microsonda Electrónica (EMPA)

El análisis de elementos mayores se realizó en una microsonda electrónica, modelo *JEOL JXA 8900 RL*, en el Laboratorio de Microsonda Electrónica de la Universidad de Göttingen, Alemania. Los análisis se realizaron en plagioclasa, piroxeno, olivino, óxidos de Fe-Ti e inclusiones vítreas.

Los parámetros utilizados por el equipo son 15 kV de voltaje, 15 nA de corriente del haz y entre 15 y 30 segundos el tiempo de análisis para cada elemento. Los elementos medidos fueron Na, Mg, Ca, Si, K, Ti, Mn, Fe, Al, Cl y F y el estándar y error asociado se encuentran en el anexo E.

4.2.5 Espectroscopía Raman

El análisis de elementos volátiles se realizó en el equipo LabRam Evolution, del laboratorio de Espectroscopía Raman (FONDEQUIP 170103, Resp. Dr. C. Cannatelli) del Departamento de Geología de la Universidad de Chile. La búsqueda se enfocó en determinar la presencia de H₂O y CO₂ en la burbuja y vidrio de inclusiones de plagioclasa y clinopiroxeno.

4.3 Trabajo de gabinete

4.3.1 Tratamiento de datos

Previo a la elaboración de diagramas de clasificación, se realizó una purificación de la base de datos disponible, eliminando datos cuya fórmula estructural presentaba un importante déficit o superávit de sus cationes, así como mediciones con errores altos en comparación a otras en un mismo cristal, ayudado también por una función del *software* IgPet que detecta datos con cierto grado de incongruencia. En el caso de las mediciones inconsistentes en inclusiones vítreas, se filtraron las que no cerraron en 100% y las que presentaban valores incongruentes en ciertos óxidos y que no ocurren en la naturaleza (por ej. 30% Al₂O₃); esto se atribuye errores de medición en la microsonda o imperfecciones en el pulido de las inclusiones.

Posterior a esta limpieza, se elaboraron diagramas ternarios de clasificación de plagioclasas, piroxenos, olivinos y óxidos de Fe-Ti, haciendo la distinción entre datos de SEM y EMPA. Luego, se elaboraron diagramas TAS, K₂O, Harker y Fenner que permiten observar la evolución de la roca en función de su variación de SiO₂ y MgO.

4.3.2 Geotermobarometría

Se realizó una estimación de temperaturas de formación de piroxenos mediante los trabajos de Lindsley (1983) y Lindsley y Anderson (1983), además de la estimación de presión y temperatura de olivino, plagioclasa, clinopiroxeno y ortopiroxeno con hojas de cálculo de Excel, elaboradas por Keith Putirka y explicadas en Putirka (2008).

Se estudió el equilibrio entre clinopiroxeno + ortopiroxeno, olivino + vidrio y plagioclasa + vidrio, clinopiroxeno + vidrio y ortopiroxeno + vidrio. Adicionalmente, se calcularon temperaturas de formación para óxidos de Fe-Ti con el geotermómetro ILMAT de Lepage (2003), considerando el equilibrio entre magnetita e ilmenita.

El cruce de información se hizo considerando la suma de datos de cristales en corte transparente y montajes, tomando cada medición de cada cristal por separado y no como promedio de cada cristal.

4.3.3 Modelamiento termodinámico en MELTS

Para formular una hipótesis sobre la evolución magmática, se procedió a analizar la variación de los elementos mayores según su patrón de fraccionamiento mediante la elaboración de un modelo geoquímico mediante el *software*, y para reportar las condiciones de temperatura, presión o fugacidad de oxígeno en las que habrían ocurrido los procesos magmáticos desde un punto de vista teórico.

El programa MELTS permite modelar esta evolución, siempre y cuando se especifiquen el estado inicial del sistema, la composición del magma parental, el H₂O disuelto contenido en el magma parental, temperatura inicial, presión y fugacidad de oxígeno. Todos estos parámetros se pueden determinar directamente de la geoquímica de las inclusiones vítreas.

Capítulo 5: Resultados

5.1 Petrografía mineral de cortes transparentes

5.1.1 Muestras

La muestra corresponde a una lava de texturas hipocristalina, hialopilitica y cumulo porfírica, presenta microlitos de plagioclasa en la masa fundamental y cúmulos de varias fases minerales. La masa fundamental representa el 80% de la muestra, y las vesículas corresponden al 35% de ésta. Se presentan en su mayoría alargadas en una dirección preferente y el rango de tamaño del eje mayor va de 0,3 a 1,5 mm.

Los fenocristales corresponden al 20% de la muestra, son en general inequigranulares, con tamaños desde 0,1 hasta 3,4 mm con un pequeño *gap* entre 1,6 y 1,8 mm. Estos fenocristales corresponden a plagioclasa (70%), piroxeno (13%), olivino (12%) y accesorios (5%). Cerca del 70% de los fenocristales califican como hipidiomorfos, mientras que algunos cristales de plagioclasa y piroxeno se presentan panidiomorfos (formas tabulares y octaédricas respectivamente).

En la segunda muestra, se encuentran las mismas fases minerales y texturas que la muestra SL-01, pero con la diferencia de que esta muestra presenta un contenido menor de fases cristalinas y mayor tamaño y porcentaje de vesículas con respecto a la muestra SL-01.

5.1.2 Caracterización de fases minerales

Olivino: cristales anhedrales y muy fracturados, el tamaño varía entre 0,1 y 0,9 mm, distinguiéndose tanto microfenocristales como fenocristales. Presentan inclusiones vítreas y opacas, además de texturas de borde de reabsorción y de reacción (figura 9).

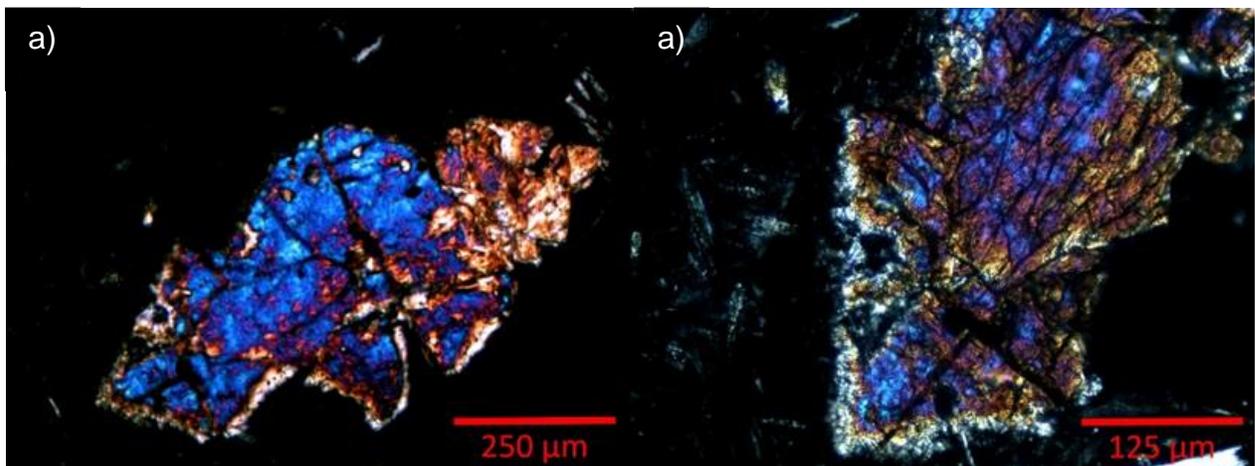


Figura 9: Bordes de reabsorción y de reacción en olivino (muestra SL-01, objetivos 10x y 20x respectivamente, luz polarizada cruzada)

Piroxeno: cristales de forma subhedral y euhedral, de bordes rectos y muy fracturados, varios cristales presentan macla simple (figura 10) y el tamaño de sus ejes

mayores varía entre 0,2 y 1 mm, distinguiéndose tanto microfenocristales como fenocristales. Se encuentran clinopiroxenos y ortopiroxenos, siendo levemente mayor la proporción del primero. Se observan cristales con borde de reabsorción (no todos), textura poikilítica (con plagioclasa) y cristales zonados (figuras 70 a 73, anexo B).

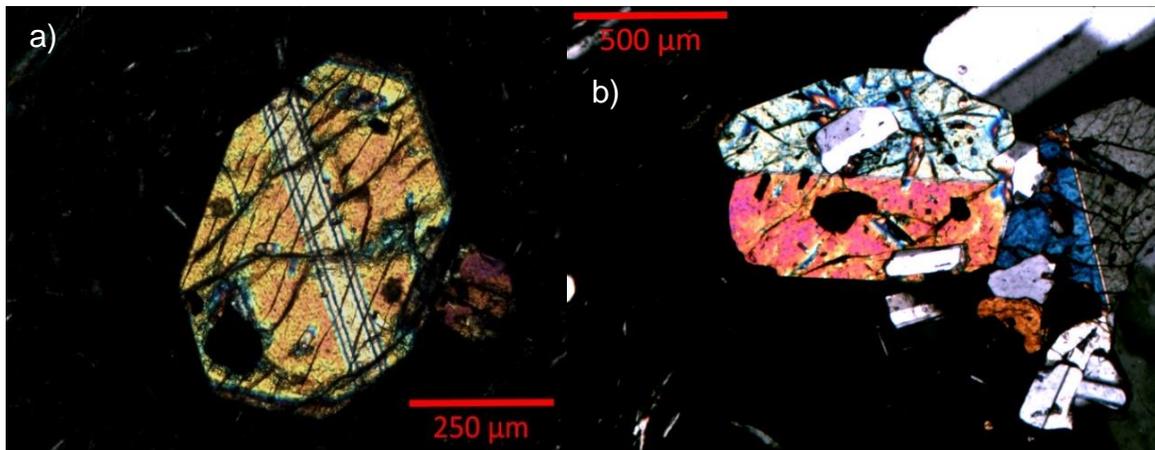


Figura 10: Maclas simples y textura poikilítica en cristal de clinopiroxeno (muestra SL-01, objetivos 10x y 5x respectivamente, luz polarizada cruzada)

Plagioclasa: esta fase presenta un rango de tamaños casi continuo entre 0,5 a 3,4 mm, con una pequeña brecha entre 1,6 y 1,8 mm, sin contar a los microlitos cuyos ejes mayores no superan los 0,2 mm. Es común el hábito tabular y maclas de Carlsbad, de periclina y polisintética. El grado de fracturamiento es relativamente bajo, y es común la presencia de inclusiones opacas y vítreas (homogéneas y heterogéneas). Entre las texturas que presentan las plagioclasas, se cuentan la poikilítica, zonación, *sieve* y bordes de reabsorción (figura 11).

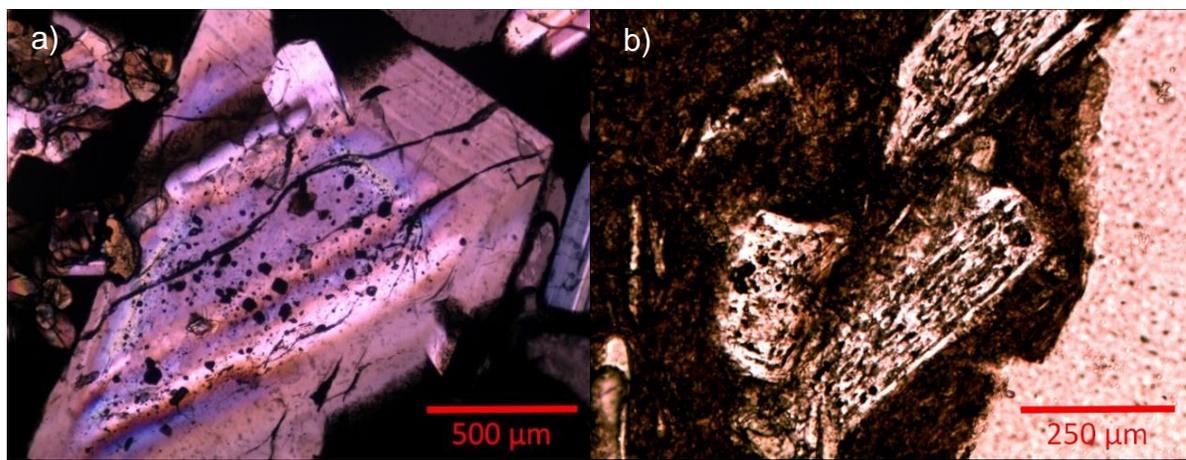


Figura 11: a) Texturas de zonación y poikilítica, cristales de piroxeno y óxidos de Fe-Ti englobados en plagioclasa, b) textura *sieve* en plagioclasa (muestra SL-01, objetivos 5x y 10x respectivamente, luz polarizada cruzada)

Como accesorios se pueden encontrar óxidos de Fe-Ti de tamaño entre 0,1 y 0,5 mm, que presentan forma anhedral, subhedral y euhedral, y bordes de reabsorción (figura

12), se encuentran tanto dentro de cristales como en la masa fundamental; también se tienen cristales de apatito de forma alargada en plagioclasas, piroxenos y masa fundamental.

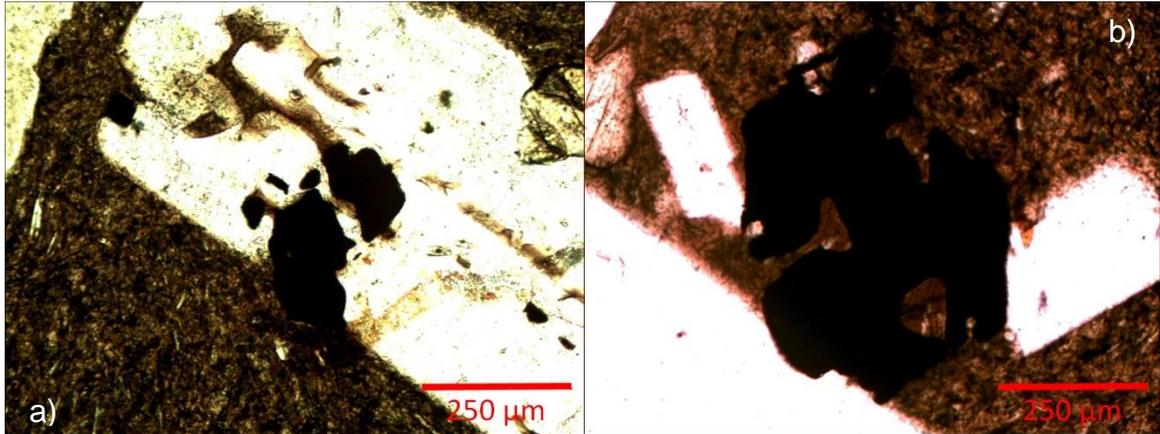


Figura 12: Bordes de reabsorción en óxidos de hierro atrapados en plagioclasa (muestra SL-01, objetivo 25x, luz polarizada plana)

Finalmente, se observan diversos tipos de cúmulos de plagioclasa y olivino (figura 13), tanto hipocristalinos como holocristalinos.

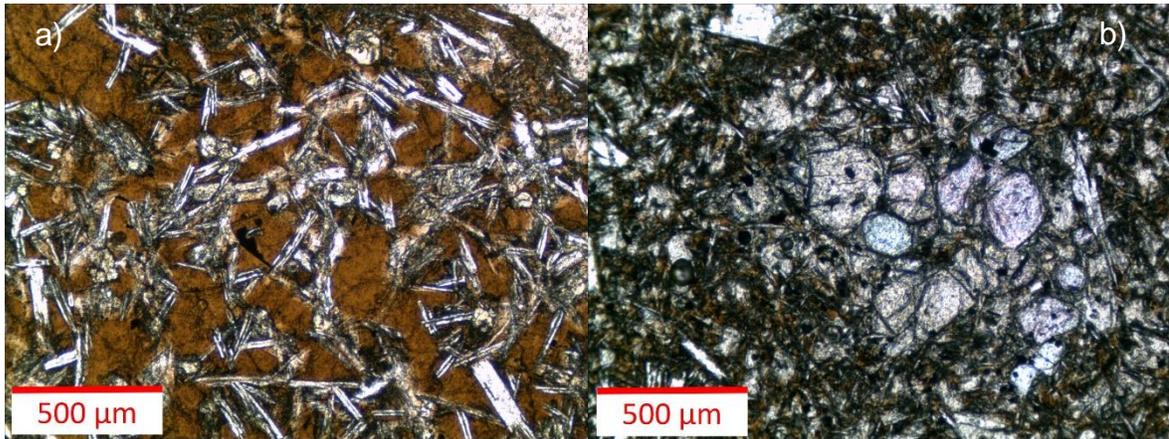


Figura 13: Textura cumuloportirica entre cristales de plagioclasa y olivino (muestra SL-01, objetivo 50x, luz polarizada plana)

5.1.3 Análisis en SEM

A través de SEM, se estimó que la concentración de SiO₂ en la masa fundamental se encuentra en torno al 73% (tabla 1), evidenciando un alto grado de diferenciación en la roca.

Tabla 1: Composición promedio de la masa fundamental medida en SEM

SiO ₂ [%]	Al ₂ O ₃ [%]	Na ₂ O [%]	K ₂ O [%]	CaO [%]	TiO ₂ [%]	FeO [%]	Cl [%]	Total [%]
72,98	14,51	4,43	3,26	1,98	0,61	2,02	0,21	100

Dentro de las fases minerales mayores presentes, se distinguen forsterita, augita (de dos tipos), enstatita y andesina, mientras que dentro de los minerales accesorios se distinguieron titanomagnetita, ilmenita, fluorapatita y cromita (figura 14); también se encontraron pequeños cristales de sulfuros de cobre.

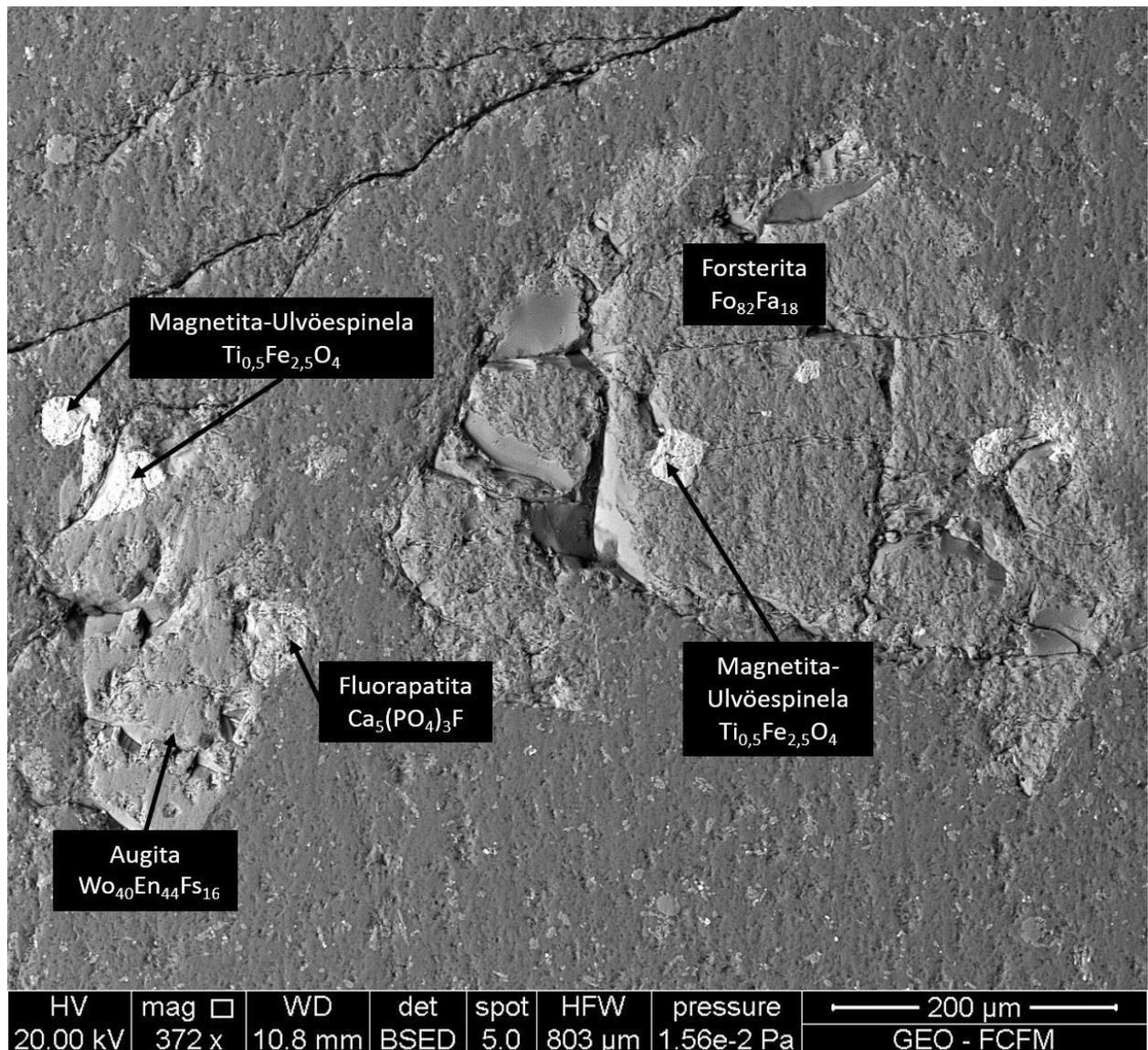


Figura 14: Olivino y piroxeno con magnetita y fluorapatita en imagen BSED (muestra SL-02)

5.2 Petrografía de Inclusiones Vítreas

Como se mencionó en el capítulo 3, es necesario que las inclusiones vítreas cumplan las reglas de Roedder para probar que representan la composición del magma en el momento de su atrapamiento. Para esto, es necesaria la clasificación de inclusiones en familias, asociaciones o MIA (MIA = Melt Inclusions Assemblages), basada en conceptos como forma de la inclusión, presencia de burbuja o minerales hijo y, cuando es posible, razón de tamaño burbuja/inclusión.

En las plagioclasas se encontraron inclusiones de varios tamaños y en alto número que suelen seguir los bordes de crecimiento. El rango promedio de tamaños de sus ejes mayores va de 15 a 30 μm , llegando hasta un máximo de 60 μm ; la forma de las inclusiones generalmente es tabular, con algunas excepciones ovaladas (figura 15). Estas inclusiones corresponden a homogéneas con burbuja y heterogéneas, y su razón burbuja inclusión es del 20%.

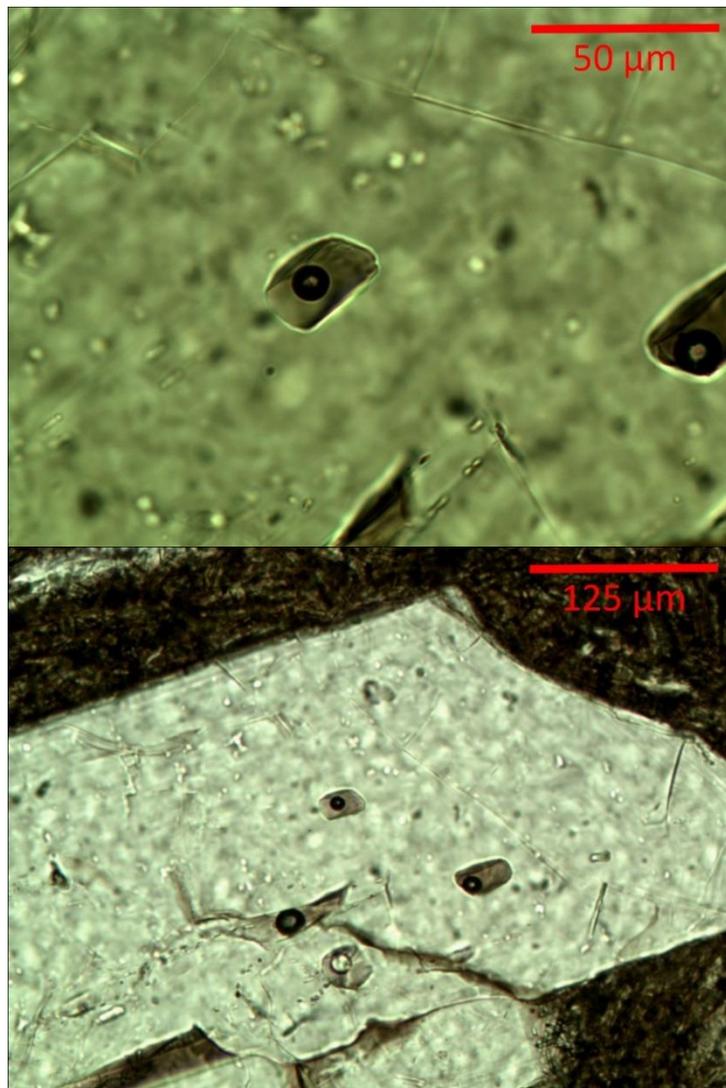


Figura 15: Inclusiones homogéneas en plagioclasa

Las inclusiones en olivino y piroxeno no parecen obedecer una distribución particular en los cristales, ya que no siguen los bordes de crecimiento, sino que ocurren de manera aleatoria dentro de estos. Las inclusiones en ambos minerales presentan muchas similitudes, el rango promedio de tamaños de sus ejes mayores va de 10 a 40 μm , hasta un máximo de 65 μm ; la forma de estas inclusiones es ovalada a circular y corresponden a inclusiones de los tipos homogénea con burbuja, homogénea con burbuja y mineral, y recrystalizadas, con razón burbuja/inclusión de aproximadamente 25%.

Los minerales dentro de las inclusiones son opacos y presentan forma cuadrada a rectangular, y ocurre en la mayoría de las inclusiones que los minerales se encuentran tanto dentro de la inclusión como del mineral hospedante, como si se estuviera escapando (figura 16 inferior). Por esto, cabe la posibilidad que estos minerales hayan sido atrapados durante la formación de las inclusiones y que no sean minerales hijo.

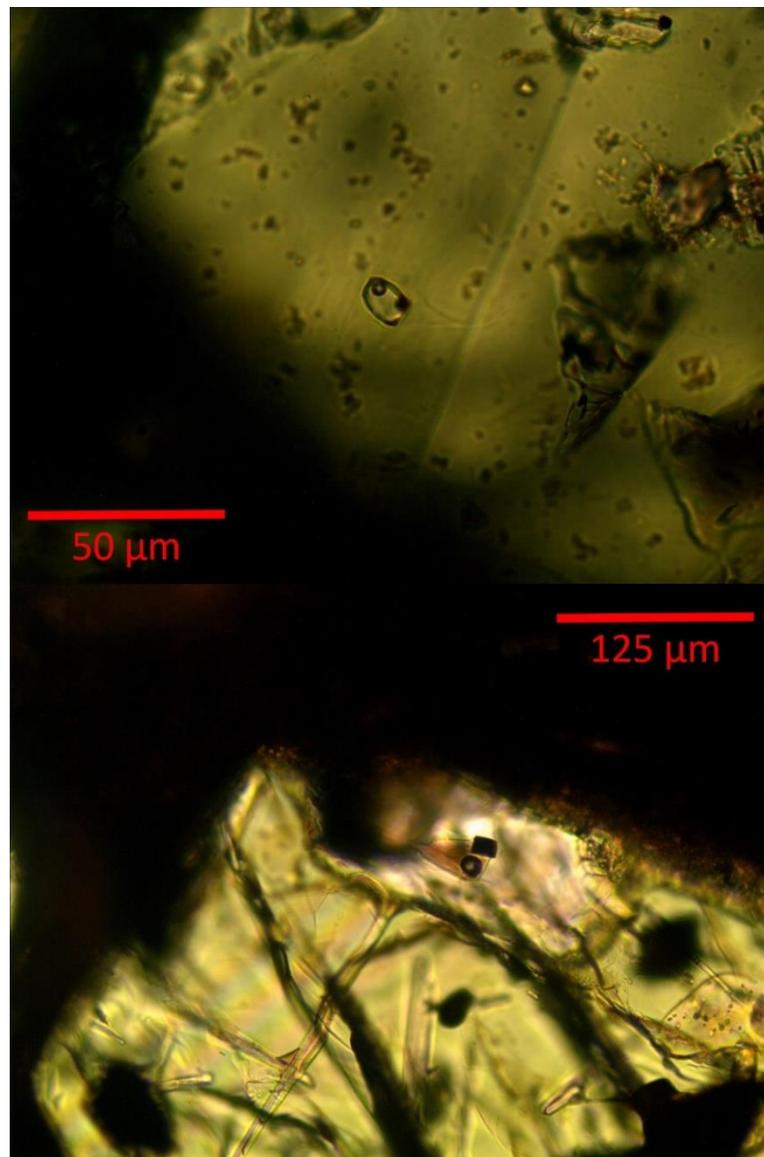


Figura 16: Inclusiones homogéneas con burbuja y mineral en olivino (a) y clinopiroxeno (b) (muestra SL-01, objetivo 10x, luz polarizada plana)

Tanto en las plagioclasas como en los olivinos y piroxenos, la recristalización de inclusiones ocurre en las de mayor tamaño, generalmente en las de diámetro mayor a 30 μm , como se observa en la figura 17, sin haber distinción de si la inclusión se forma cerca del centro o del borde de los cristales hospedantes.

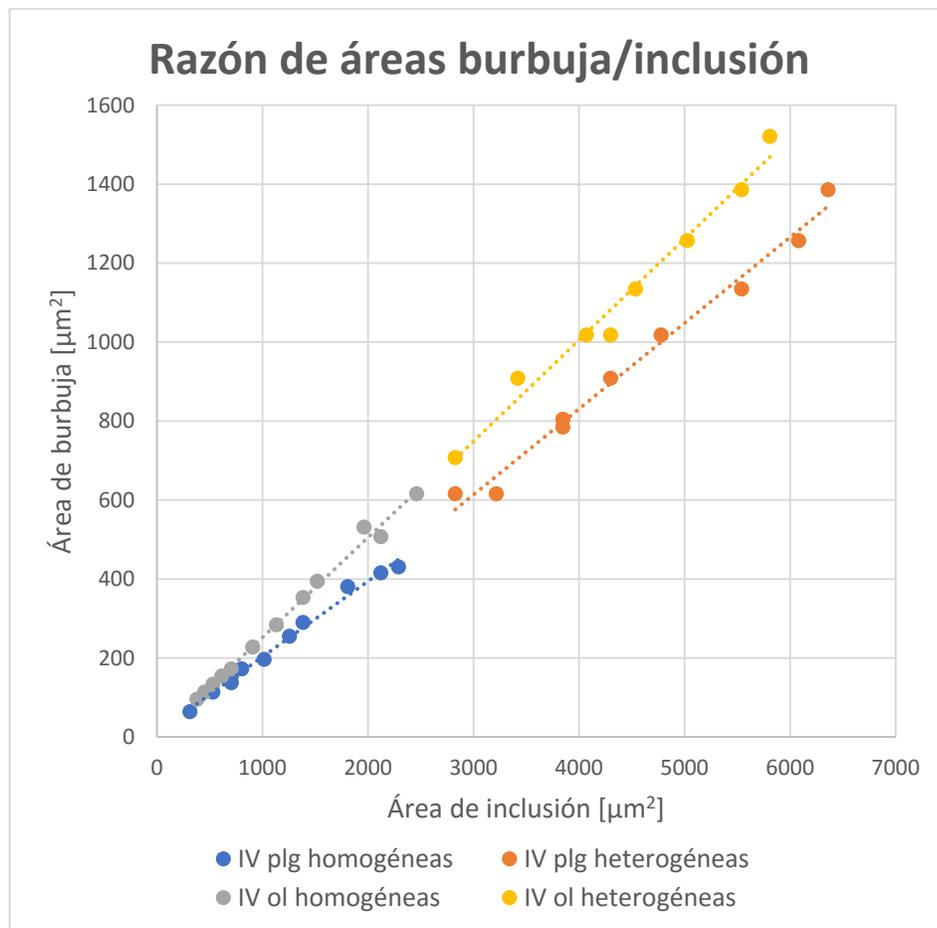


Figura 17: Razones de área burbuja/inclusión para plagioclasas y olivinos

Adicionalmente, se logra observar que muchas inclusiones en ortopiroxeno presentan evidencia de decrepitación, como se observa en la figura 18. En el anexo A se encuentran microfotografías de los cristales que fueron analizados en EMPA, mientras que en anexo B se encuentran microfotografías de estos cristales en EMPA después de otro proceso de pulido.

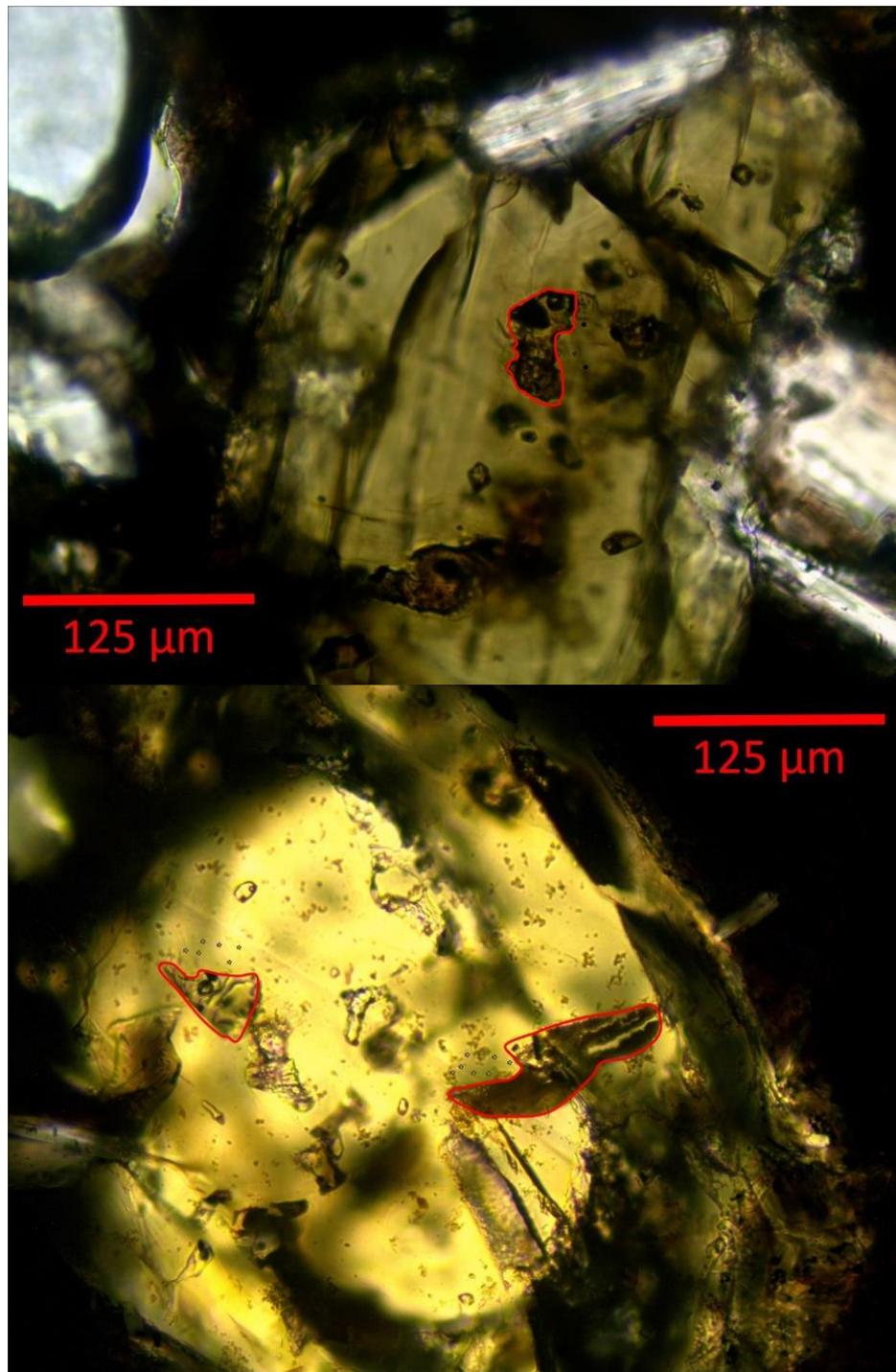


Figura 18: Inclusiones vítreas decrepitadas en ortopiroxeno (muestra SL-01, objetivo 20x, luz polarizada plana)

5.3 Química Mineral

El análisis en microsonda entregó datos de composición de los elementos mayores en plagioclasa, piroxenos, olivinos e inclusiones vítreas hospedadas en estas fases. Los datos se encuentran en el anexo C, y su error asociado en el anexo E.

5.3.1 Plagioclasa

Los datos de composición de plagioclasa se obtuvieron a partir de análisis en EMPA. Estas caen por completo en el campo de la andesina ($An_{30}-An_{50}$) y se ilustran en la figura 19. No se observa una distribución particular de las mediciones más anortíticas o albíticas en centro o borde, sino que es más bien homogénea. Todos los cristales corresponden a fenocristales, con sus ejes mayores superior a 0,5 mm. El detalle de las composiciones y fórmulas estructurales se encuentran en las tablas 13 del anexo C y 18 del anexo D respectivamente.

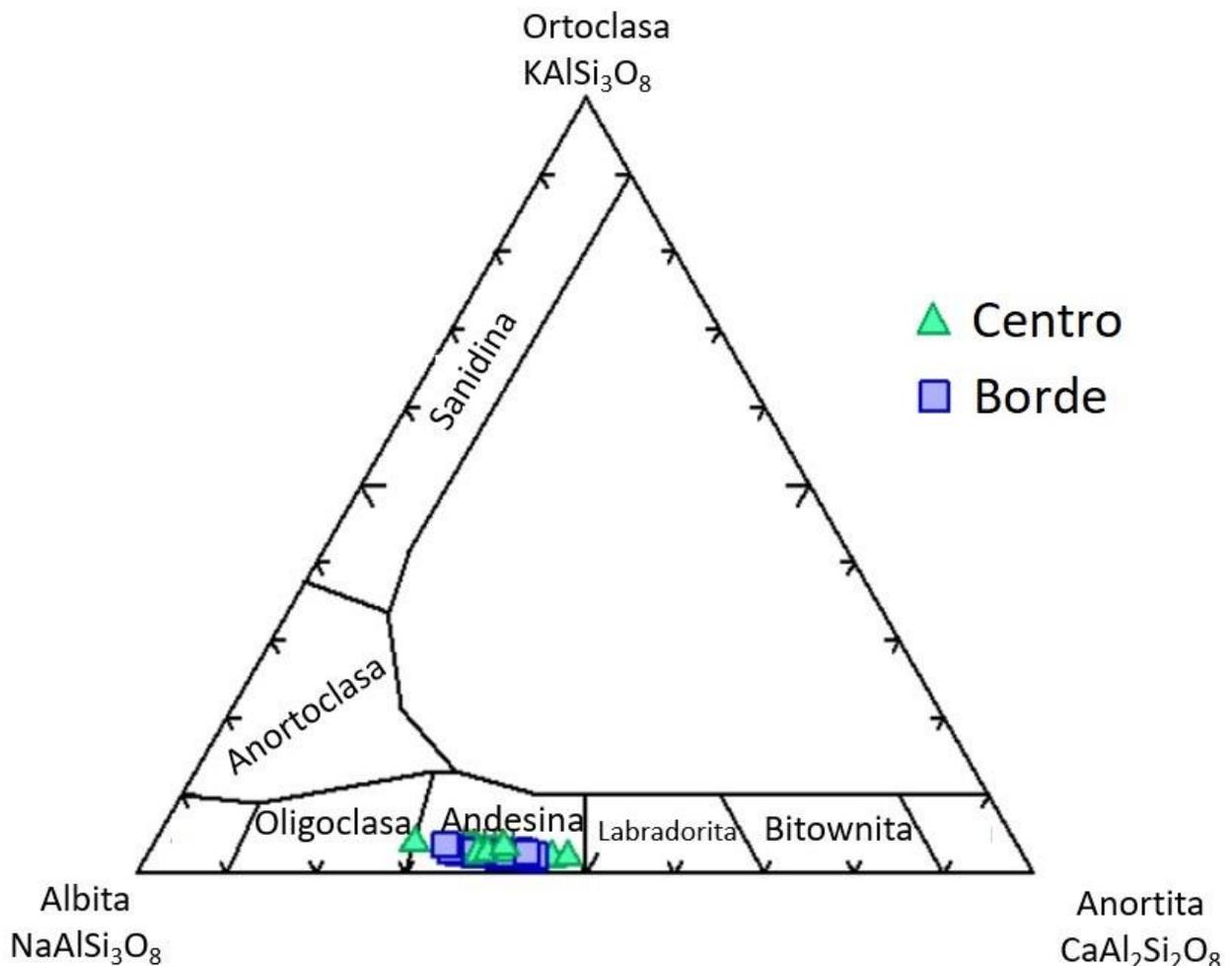


Figura 19: Diagrama ternario de clasificación de feldespatos.

5.3.2 Olivino

Los datos de composición de olivino se obtuvieron a partir de EMPA y SEM, se distinguen dos composiciones principales de forsterita, una Fo₈₃-Fa₁₇ y otra Fo₇₈-Fa₂₂, como se observa en la figura 20. Estas composiciones se presentan en centro y borde respectivamente, indicando zonación normal y todos los cristales corresponden a fenocristales. Las composiciones de los cristales de olivino se encuentran en las tablas 9 para EMPA y 10 para SEM en el anexo C, mientras que sus fórmulas estructurales y miembros extremos se encuentran en la tabla 17 del anexo D.

5.3.3 Piroxeno

Los datos de composición de piroxenos se obtuvieron a partir de los cortes transparentes y montajes mediante EMPA. Se midieron composiciones en 12 cristales en los cortes transparentes y dos atrapados en plagioclasa en los montajes. Dentro de los clinopiroxenos se reconocen dos grupos, ambos correspondientes a augita. Las composiciones promedio de estos grupos corresponden a Wo₄₁En₄₆Fs₁₃ (izquierda) y a Wo₄₁En₃₉Fs₂₁ (derecha), como se observa en la figura 20. Las composiciones de todos estos cristales se encuentran en las tablas 11 para EMPA y 12 para SEM en el anexo C, mientras que sus fórmulas estructurales y miembros extremos se encuentran en la tabla 19 del anexo D.

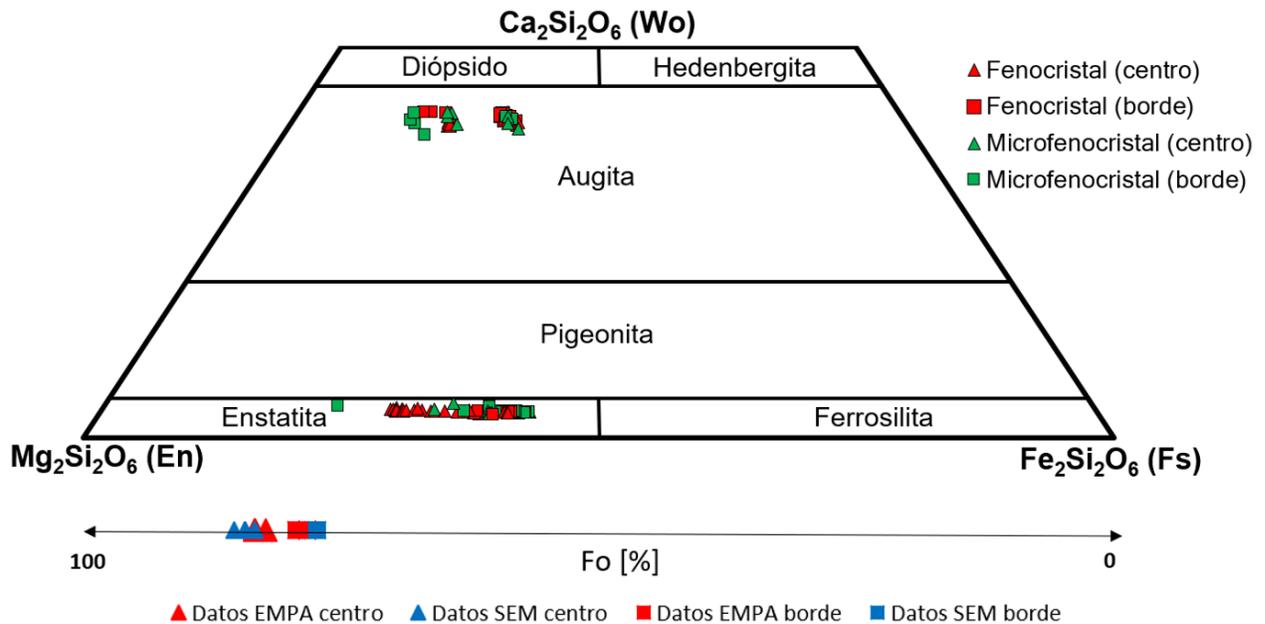


Figura 20: Diagrama ternario de clasificación de piroxenos (Morimoto, 1988) y diagrama de olivinos

Dentro del primer grupo se observa una zonación inversa, con augita más rica en Mg hacia los bordes, mientras que, en el segundo grupo, la composición es relativamente constante en centro y borde (figura 21).

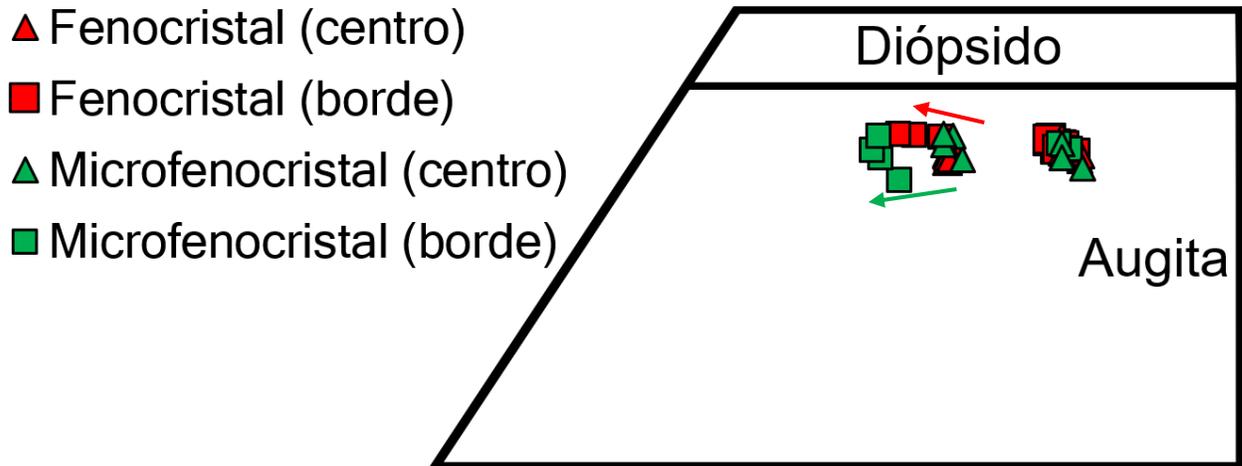


Figura 21: Zoom de composiciones de clinopiroxenos

En cuanto a los ortopiroxenos, todos corresponden a clinoenstatita, en una solución sólida que varía de $Wo_4En_{64}Fs_{32}$ a $Wo_3En_{56}Fs_{41}$. En general, los ortopiroxenos presentan zonación normal, con la excepción de un microfenocristal que presenta zonación inversa (figura 22).

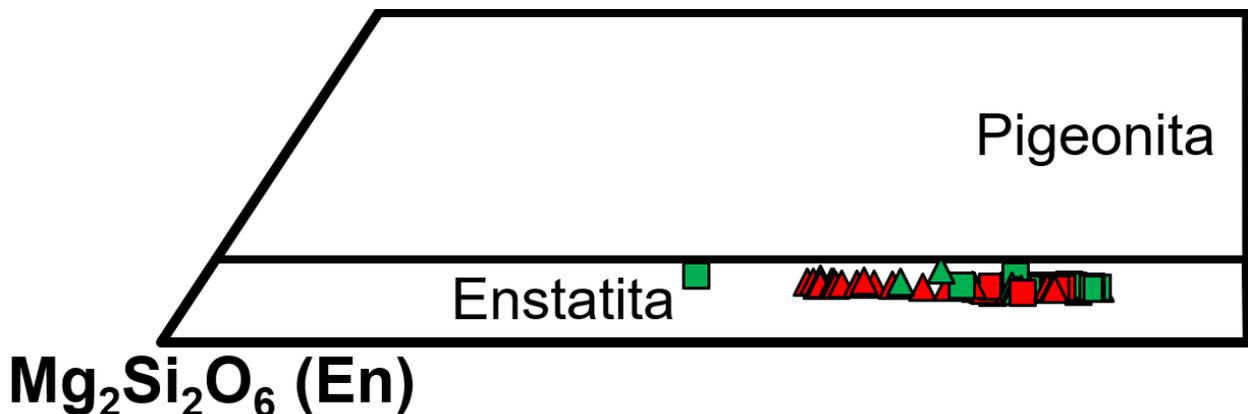


Figura 22: Zoom de composiciones de ortopiroxenos

5.3.4 Accesorios

Se midieron composiciones en SEM y EMPA de minerales opacos, constatándose la presencia de titanomagnetita, ilmenita y fluorapatita. Las composiciones de estos cristales se muestran en las tablas 15 para EMPA y 16 para SEM del anexo C. En la figura 23 se muestra el diagrama para los óxidos de Fe-Ti, los que corresponden a ilmenita y titanomagnetita, y muestran una tendencia con respecto del lugar en que son atrapados; se ve que existe una tendencia a aumentar sus concentraciones de Ti a medida que son atrapados en minerales de cada vez menor temperatura, hasta la última etapa donde se encuentran los óxidos en la masa fundamental.

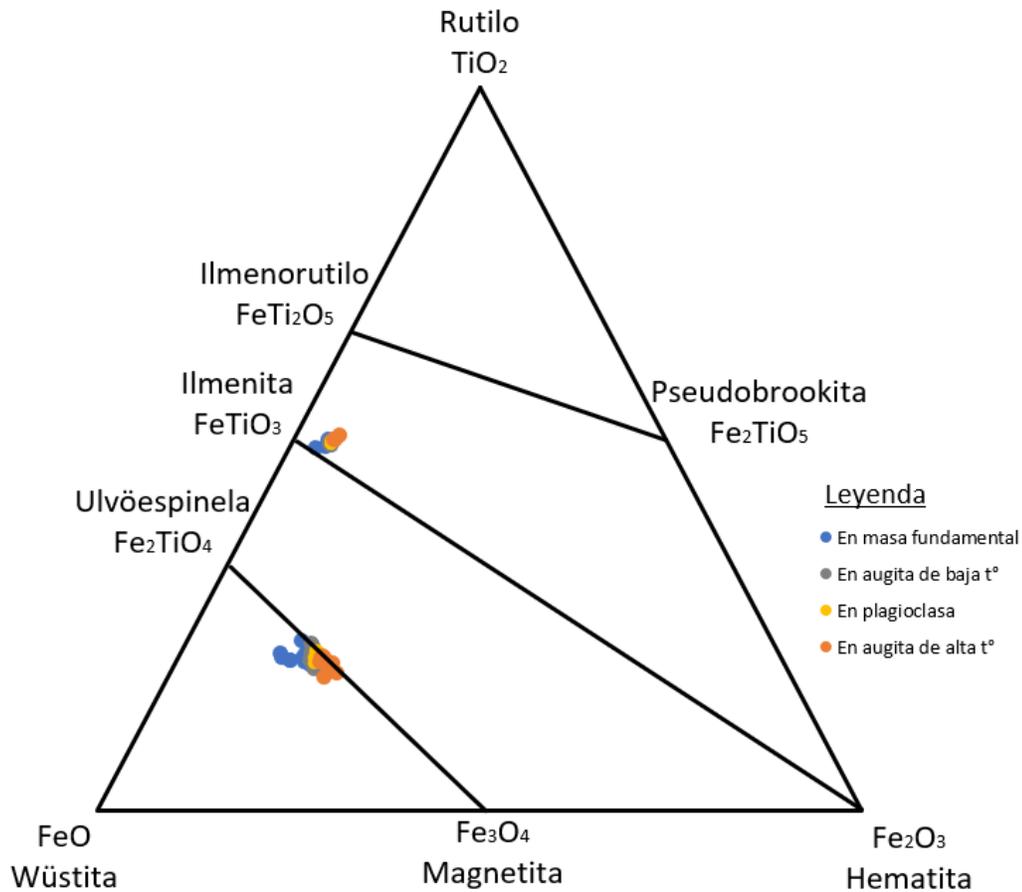


Figura 23: Diagrama ternario de clasificación de óxidos de Fe-Ti

5.4 Geoquímica de Inclusiones Vítreas

5.4.1 Diagrama TAS

El diagrama TAS (Total Alkali Silica) es un esquema de clasificación de rocas volcánicas de acuerdo a su contenido de sílice (SiO_2) y de álcalis (Na_2O y K_2O). En este caso, el diagrama TAS permite que la clasificación de vidrio de las inclusiones represente el tipo de roca que se estudia, resultando más amplio que un análisis de roca total.

A partir de la figura 24, se logra observar una variación notoria en el contenido de SiO_2 y alcalinidad en las inclusiones, pero no se aprecia una correlación entre química y posición de la inclusión dentro del mineral. Las inclusiones en olivino varían desde el campo de traqui-andesitas basálticas hasta el campo de las riolitas, mientras que las inclusiones en plagioclasa caen completamente en el campo de las riolitas. Por su parte, el análisis de roca total (efectuado por el Laboratorio Bureau Veritas) permite clasificar a la roca como una **dacita** (tabla 2).

Tabla 2: Análisis de roca total en ICP-MS

Código de host	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	Cr_2O_3	Total	LOI
RT-SL-1	64,59	0,77	15,67	5,11	0,09	2,02	3,94	4,55	2,65	0,18	0,008	99,92	0,2
RT-SL-2	64,28	0,81	15,71	5,27	0,09	1,91	3,85	4,51	2,63	0,20	0,008	99,92	0,5

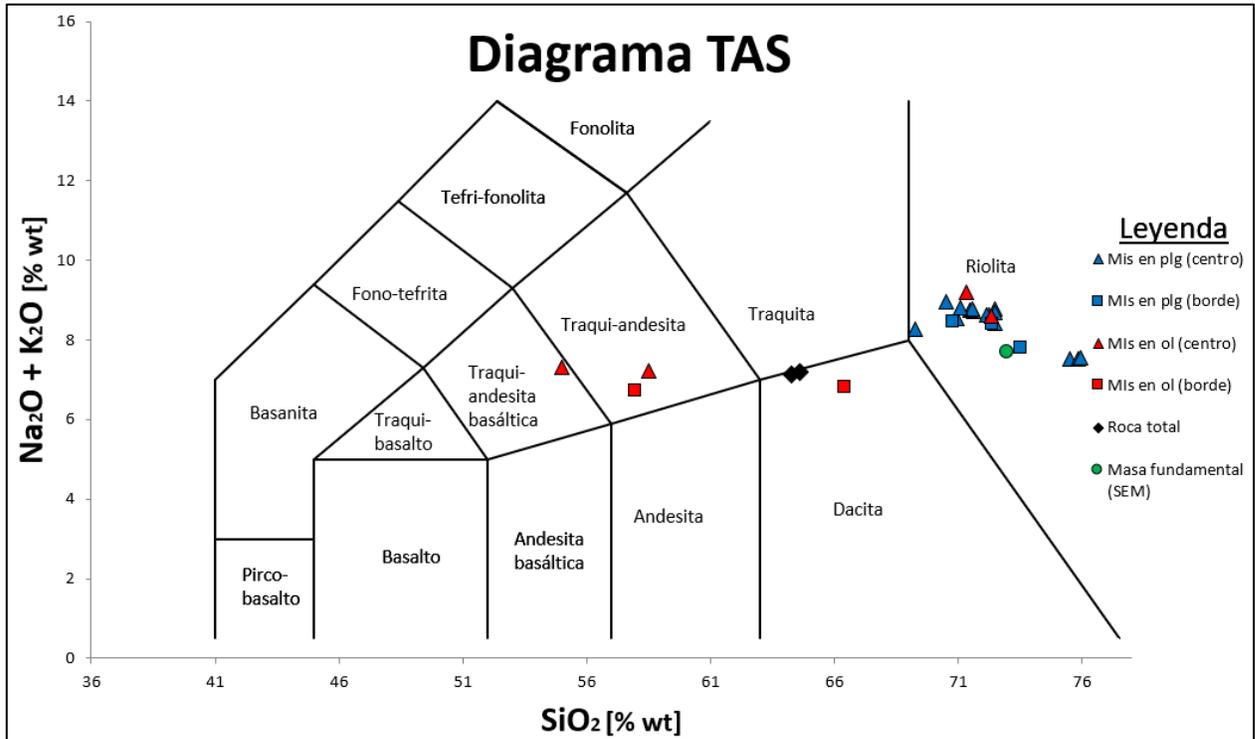


Figura 24: Diagrama TAS de inclusiones vítreas y análisis de roca total (Le Bas et al., 1984)

5.4.2 Diagrama K₂O

También, las inclusiones se pueden clasificar según su contenido de K₂O con respecto al contenido de SiO₂. Este diagrama define las series: alcalina, calco-alcalina rica en K, calco-alcalina y pobre en K.

La figura 25 muestra este diagrama para las inclusiones vítreas y análisis de roca total, y es posible observar tendencias distintas entre inclusiones de olivino y de plagioclasa. En primer lugar, las inclusiones de olivino presentan una variación desde andesita basáltica calco-alcalina pobre en K (1,36% wt K₂O) hasta riolita calco-alcalina rica en K (3,74% wt K₂O), pasando por andesitas y dacitas calco-alcalinas, mientras las inclusiones de plagioclasa se mantienen en el campo de las riolitas con una variación de K₂O entre 3,95 y 4,76% wt, que disminuye con el aumento de SiO₂. De manera similar al diagrama TAS, no se aprecia una correlación entre química y posición de las inclusiones dentro de los minerales. La composición del análisis de roca total se encuentra al medio de las composiciones de los dos grupos de inclusiones.

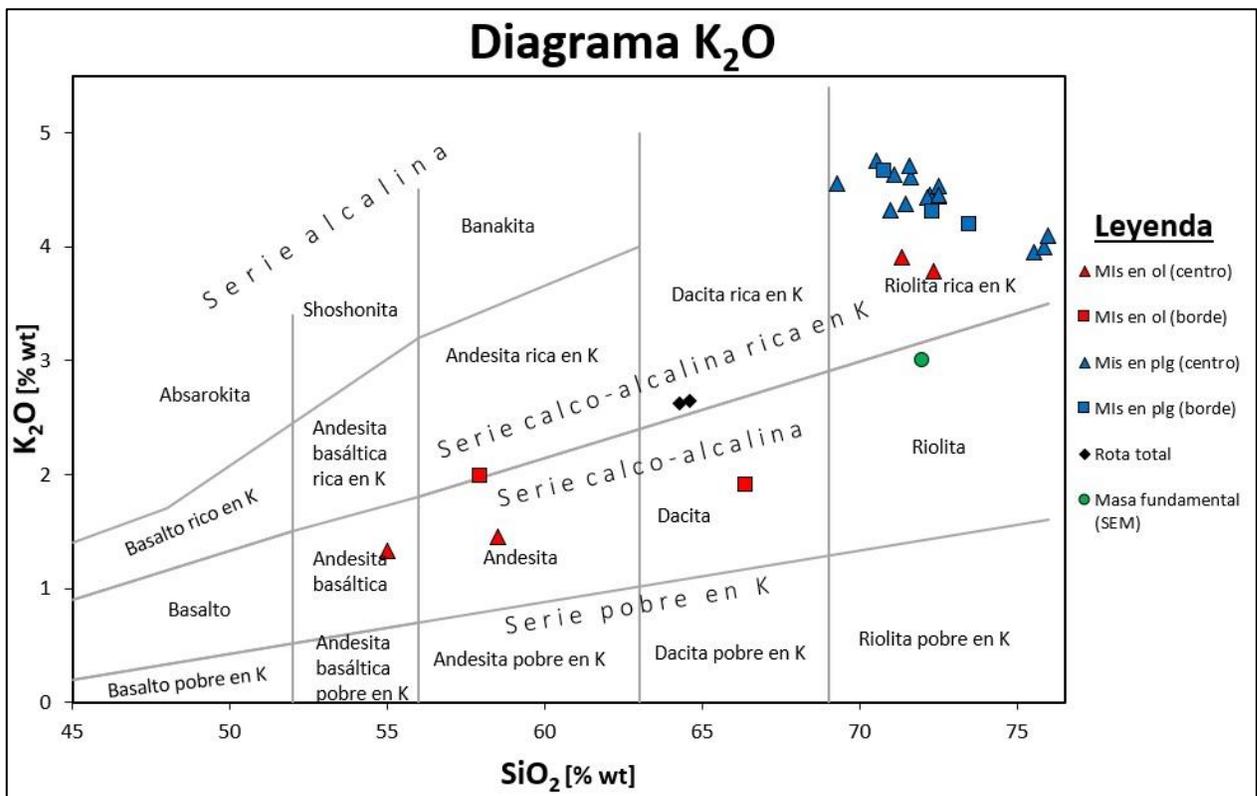


Figura 25: Diagrama K₂O de las inclusiones vítreas y análisis de roca total

5.4.3 Diagramas Harker

Harker (1909) propuso diagramas que representan la variación de los óxidos mayoritarios con respecto al SiO₂, y permiten observar los posibles mecanismos de cristalización fraccionada y fusión parcial. Para ello, ubica en la abscisa a la concentración de SiO₂ (que se encuentra en un rango de 55 a 75,96% wt) y en la ordenada a la concentración de los elementos TiO₂, Al₂O₃, FeO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, Cl, F y H₂O. Se ha omitido la presentación del diagrama de MnO ya que no se observa una evolución clara en su concentración. Se optó por no mostrar los errores relativos de medición, ya que, al estar los datos de plagioclasa tan juntos, las barras de error dificultan la comprensión del diagrama. Al igual que en los diagramas TAS y K₂O, no se aprecia una correlación clara entre química y posición de las inclusiones dentro de los minerales hospedantes.

Se observó que el diagrama Harker de FeO presentaba casi la mitad de este óxido en las inclusiones de olivino con respecto a las de plagioclasa. Se realizaron correcciones en estas inclusiones de olivino mediante el software Petrolog (Danyushevsky y Plechov, 2011) y se observó que, de 6 inclusiones de olivino, las 3 más primitivas (menor SiO₂) aumentaron su concentración de FeO, mientras que en las 3 más evolucionadas (mayor SiO₂) disminuía. Esto se interpretó como que en las 3 más primitivas ocurrían cambios post-atrapamiento, mientras que en las 3 más evolucionadas no.

El diagrama de Al_2O_3 (figura 26) presenta una disminución progresiva e importante de este óxido en las inclusiones de olivino, pasando de un 21,98 a un 14,96% wt. Se observa un ligero aumento de este óxido en las inclusiones de plagioclasa, variando de un 12,21 a un 13,05% wt. En cuanto al diagrama de MgO (figura 27), este muestra una variación grande en las inclusiones de olivino, pasando de un 5,18 a un 0,15% wt. Por otro lado, las inclusiones en plagioclasa muestran una leve tendencia a la baja en el contenido de MgO , cambios no tan grandes como en el olivino, pero muy claros, pasando de 0,63 a 0,31% wt.

La composición de CaO (figura 28) en las inclusiones presenta, al igual que el Al_2O_3 , una importante baja en las inclusiones de olivino, pasando de un 9,45 a un 0,86% wt. Por otro lado, el contenido de este óxido parece disminuir muy levemente en las inclusiones de plagioclasa a mayor contenido de SiO_2 , variando de 1,4 a 0,86% wt. En cuanto al diagrama de FeO (figura 29), este óxido baja de 10,34 a 1,43% wt en las inclusiones de olivino, mientras que las inclusiones de plagioclasa presentan hasta el doble de concentración que el FeO , e indican una disminución progresiva con el aumento del SiO_2 , yendo de 4,06 a 2,43%.

A continuación, el diagrama de Na_2O (figura 30) presenta una disminución de 5,97 a 4,76% wt en las inclusiones de olivino, mientras que, en las inclusiones de plagioclasa, el Na_2O disminuye de 4,37 a 3,46% wt. El diagrama de K_2O (figura 31) presenta un comportamiento muy distinto en comparación a los anteriores, ya que este óxido aumenta su concentración en las inclusiones de olivino, pasando de un 1,33 a un 3,91% wt. En cuanto a las inclusiones de plagioclasa, se observa una disminución de un 4,76 a un 3,95% wt.

En el diagrama de TiO_2 (figura 32), se observa que en las inclusiones de olivino ocurre una leve disminución del contenido de este óxido, pasando de un 1,2 a un 0,55% wt, mientras que en las inclusiones de plagioclasa se observa una disminución de un 0,97 a un 0,41% wt. En cuanto a los volátiles, se logra apreciar que la concentración de Cl (figura 33) en las inclusiones de olivino aumenta progresivamente de aproximadamente 700 a 2000 ppm, y tiende a disminuir drásticamente desde un máximo de 2600 a 1400 ppm en las inclusiones de plagioclasa. En el caso del F (figura 34), no es fácil ver una tendencia concreta en las inclusiones de olivino, pero parece disminuir de 900 a 100 ppm, y por el otro lado, en las de plagioclasa puede interpretarse una súbita pérdida de este volátil con la diferenciación del magma, pasando de 800 a 100 ppm.

El análisis de roca total tiene un contenido de sílice (SiO_2) de aproximadamente 64% wt, siendo un valor intermedio con respecto a la composición de las inclusiones. Todos sus elementos se encuentran dentro del rango de las inclusiones, excepto el Cl y F que no fueron analizados.

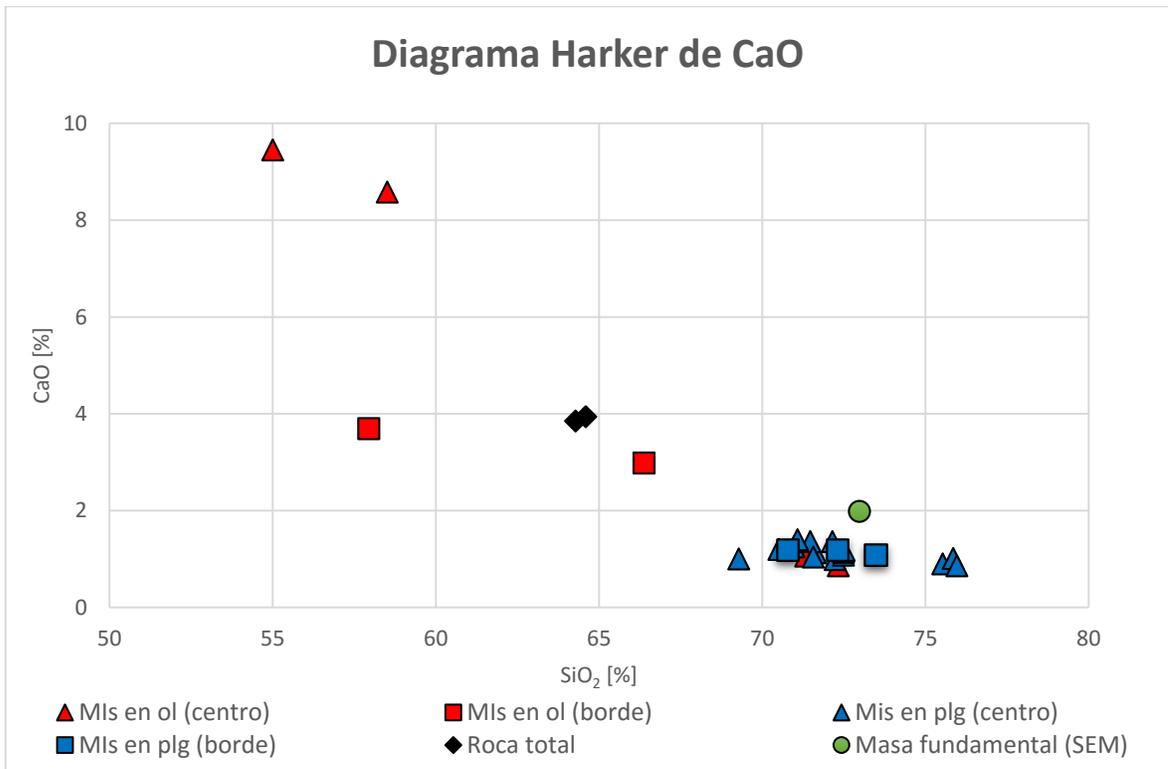


Figura 28: Diagrama Harker para CaO de inclusiones vítreas y análisis de roca total

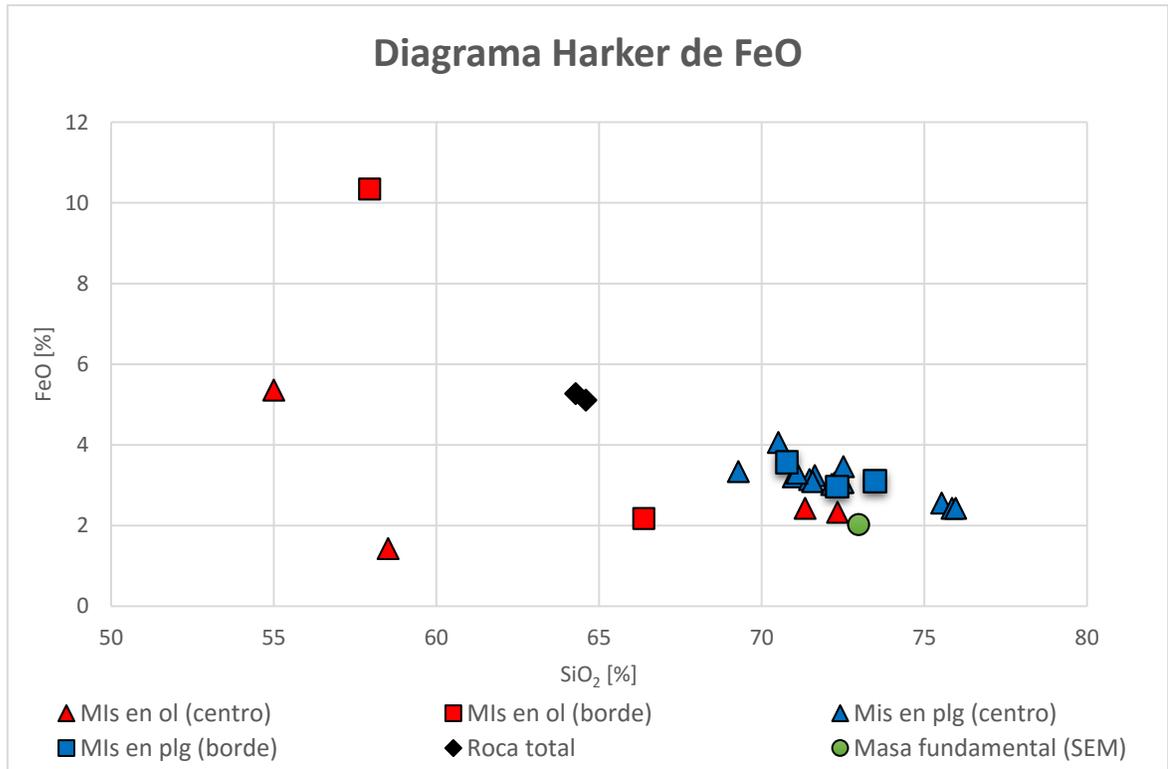


Figura 29: Diagrama Harker para FeO de inclusiones vítreas y análisis de roca total

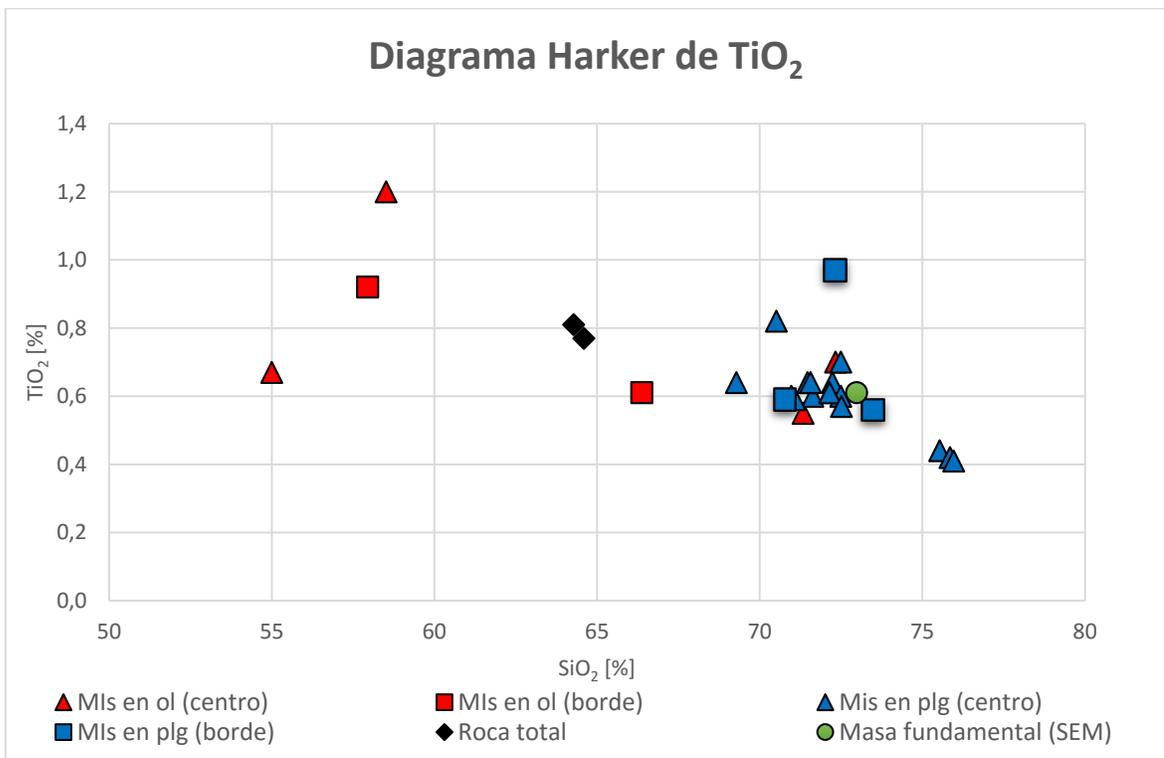


Figura 32: Diagrama Harker para TiO₂ de inclusiones vítreas y análisis de roca total

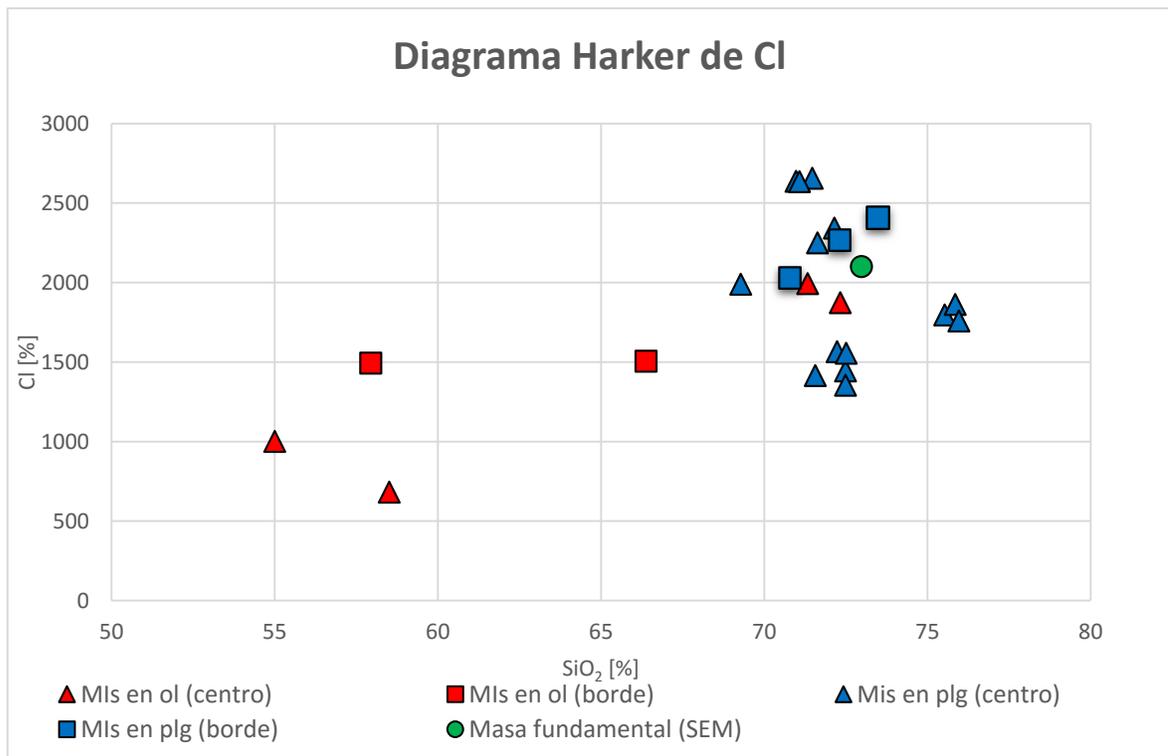


Figura 33: Diagrama Harker para Cl de inclusiones vítreas

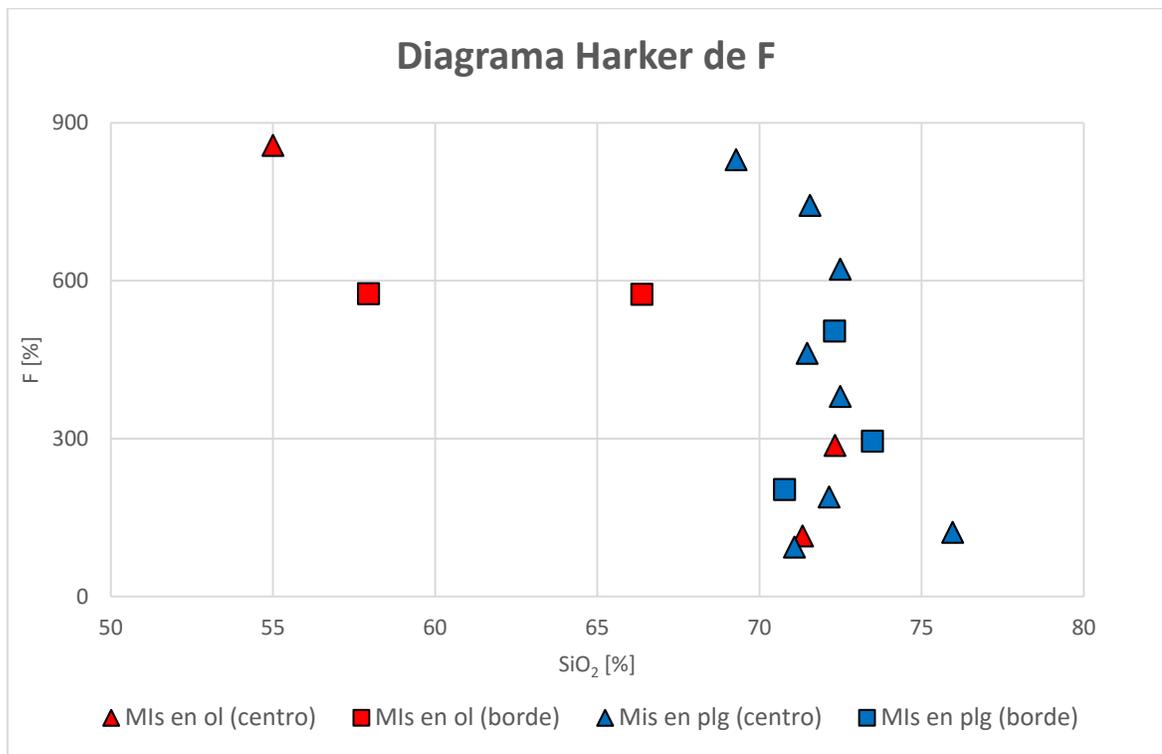


Figura 34: Diagrama Harker para F de inclusiones vítreas

5.5 Espectrometría Raman

Se realizaron mediciones en burbujas y vidrio de inclusiones vítreas en andesina (figura 35) y augita (figura 36), obteniendo espectros mostrados de la figura 37. Los peaks presentes a longitudes de onda entre 0 y 1100 cm^{-1} aproximadamente corresponden a augita, albita y vidrio, mientras que no se observan peaks para CO_2 (1200-1500 cm^{-1}) y H_2O (2800-4000 cm^{-1}).

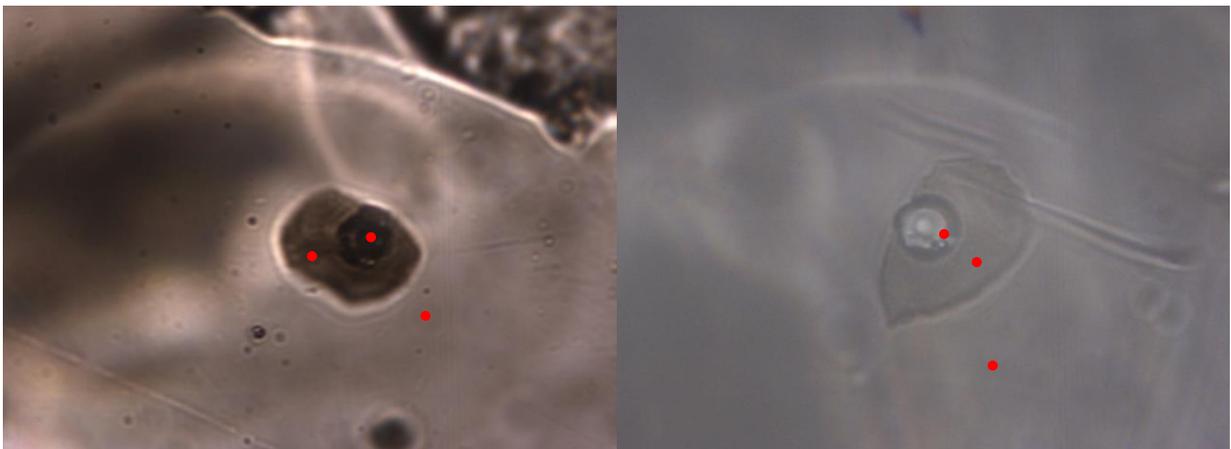


Figura 35: Puntos donde se midió en inclusiones de plagioclasa (en rojo). Ancho de fotos: 40 μm (muestra SL-01)

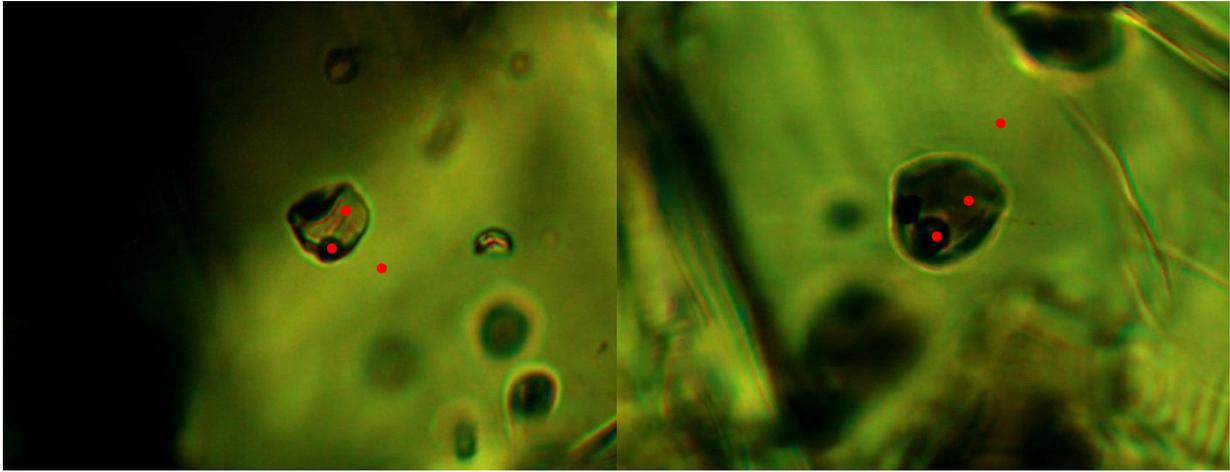


Figura 36: Puntos donde se midió en inclusiones de augita (en rojo). Ancho de fotos: 40 μm (muestra SL-01)

Espectros Raman en augita y andesina

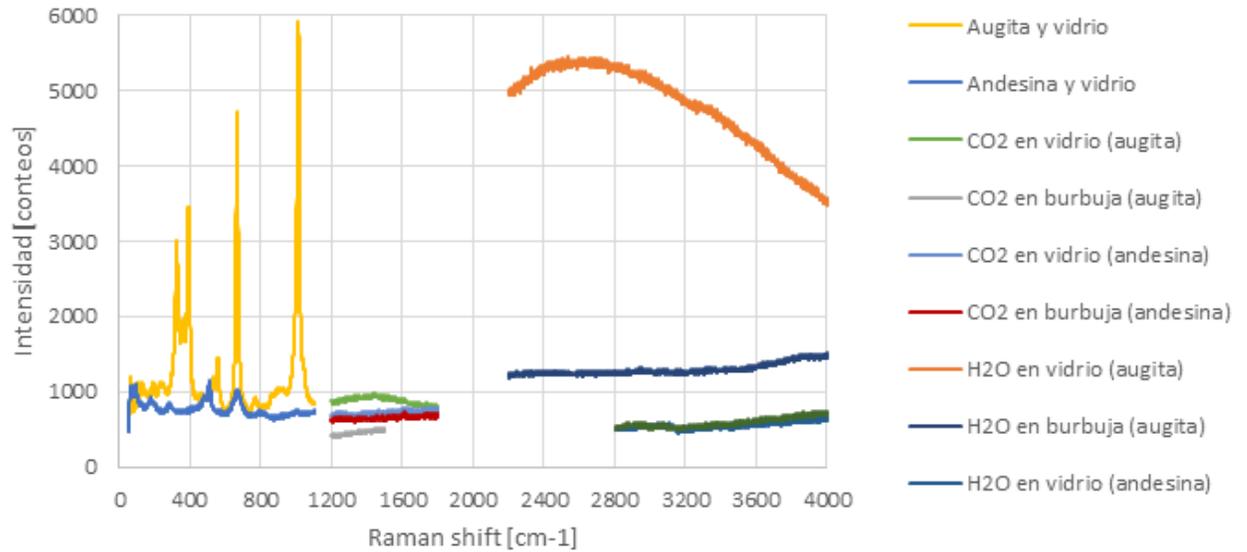


Figura 37: Espectros Raman medidos en burbuja, vidrio y minerales hospedantes (muestra SL-01)

5.6 Termobarometría

5.6.1 Plagioclasa-vidrio

En cuanto al termobarómetro de plagioclasa-vidrio de Putirka (2008), las plagioclasas se habrían formado a temperaturas entre 930 y 960 °C (± 23 °C de error), a presiones entre 1,6 y 2,4 kbar ($\pm 0,7$ kbar de error) y con un contenido de H₂O en el magma entre 1,2 y 1,6 %wt (± 1 %wt de error). El cálculo de la constante de equilibrio en este geotermobarómetro es muy sensible a la temperatura, por lo que Putirka (2008) propone que $K_D = 0.1 \pm 0.05$ para temperaturas menores a 1050 °C, mientras que $K_D = 0.28 \pm 0.11$ para temperaturas mayores a 1050 °C (tabla 3).

Tabla 3: Temperaturas y contenidos de agua del termómetro de plagioclasa-vidrio

T (°C)	H ₂ O (%wt)	P (kbar)
949	1,2	1,7
929	1,5	1,6
934	1,6	2,2
934	1,6	2,2
935	1,5	2,3
924	1,4	1,6
955	1,2	1,6
959	1,3	2,4

5.6.2 Termobarómetro de clinopiroxeno-vidrio y ortopiroxeno-vidrio

Mediante esta herramienta, se estudió el equilibrio entre piroxenos y análisis de roca total, obteniéndose que algunos clinopiroxenos están en equilibrio con este análisis. Los clinopiroxenos más ricos en magnesio se habrían formado a una presión de 6,5 kbar ($\pm 1,5$ kbar de error) y a una temperatura entre 990 y 1000 °C (± 52 °C de error), mientras que los clinopiroxenos más ricos en hierro no muestran equilibrio con el análisis. De manera similar, los ortopiroxenos no presentaron equilibrio con el análisis de roca total, siendo posible catalogarlos como antecristales o xenocristales.

5.6.3 Termómetro de dos piroxenos

Lindsley y Anderson (1983) desarrollaron un termómetro de dos piroxenos, que consiste en el trazado de isoterms sobre el diagrama de piroxenos en función de la presión (a 1 atm). Lindsley (1983) desarrolló este modelo para presiones de 5, 10 y 15 kbar. Este diagrama permite distinguir que los dos grupos de clinopiroxeno se formaron a temperaturas distintas, y que el grupo de menor hierro se forma a una temperatura menor.

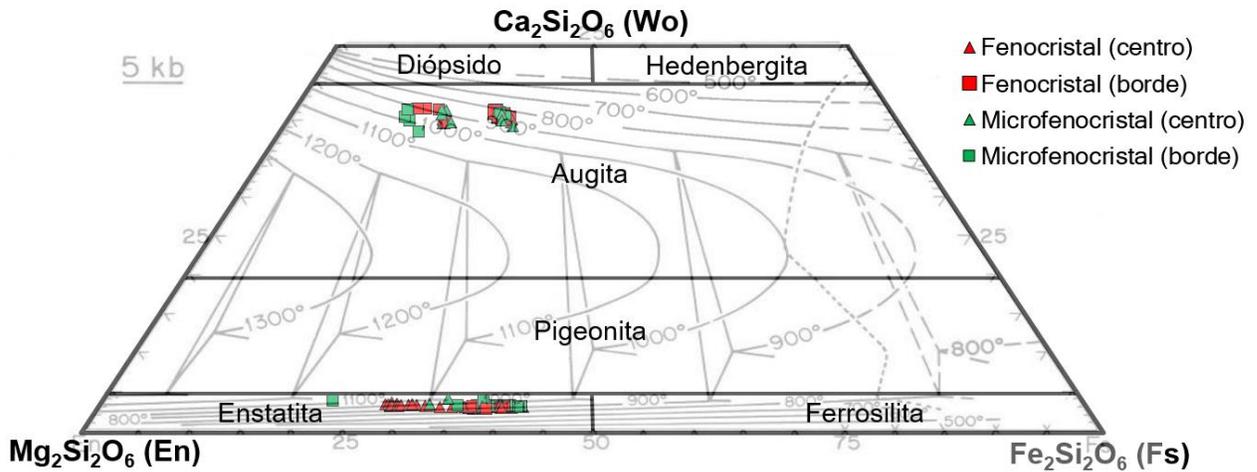


Figura 38: Isotermas del termómetro de Lindsley (1983) para presiones de 5 kbar

A una presión de 5 kbar (figura 38), la augita de mayor temperatura se habría formado a temperaturas entre 900-1000°C , y a la presión estimada en la sección anterior (6,5 kbar), este rango subiría aproximadamente 20 °C. La tabla 3 muestra que temperaturas presentarían los cristales para presiones mayores a 6,5 kbar.

Tabla 4: Temperaturas probables para cristales de clinopiroxeno

Presión [kbar]	Temperatura [°C]
5	900-1000
6,5	920-1020
10	970-1090
15	1030-1150

En el caso de los ortopiroxenos, no es posible entregar un rango de temperaturas fiable, ya que no se tiene un dato de presión determinado previamente, pero si puede entregarse un rango de temperaturas probables para presiones de 5 a 15 kbar, como se muestra en la tabla 4:

Tabla 5: Temperaturas probables para cristales de ortopiroxeno

Presión [kbar]	Temperatura [°C]
5	900-1150
10	980-1200
15	1040-1250

5.6.4 Clinopiroxeno-ortopiroxeno

Al aplicar esta herramienta de Putirka (2008), se observó que el supuesto equilibrio entre augita y clinoenstatita ocurría exclusivamente entre fenocristales y microfenocristales, y no entre fenocristal con fenocristal. Por esto, se descarta que estos hayan crecido en equilibrio y se hayan formado a partir del mismo magma.

5.6.5 Olivino-Vidrio

En el caso del geotermómetro de olivino-vidrio, este funciona con un dato de presión fijado previamente, y se han hecho simulaciones considerando una presión de 4,5 kbar, tomando en cuenta que es la presión más alta sin que aparezcan fases minerales no encontradas en la muestra estudiada. En la tabla 5 se muestran los datos de temperatura (con un error de 27 °C), y los datos interpretados como válidos son los cuyo $K_D = 0.30 \pm 0.03$, como lo propone Putirka (2008). Para estudiar este equilibrio, se consideraron las inclusiones vítreas y el análisis de roca total, pero este último no demostró estar en equilibrio con los olivinos, por lo que al igual que con los ortopiroxenos, los olivinos se catalogan como antecristales o xenocristales. Las inclusiones de olivino que no están en equilibrio con su mineral hospedante corresponden a las más evolucionadas (mayor SiO_2).

Tabla 6: Temperaturas del geotermómetro de olivino-vidrio

Temperatura [°C]	SiO ₂ en inclusión	Presión mínima fijada [kbar]
1104	55	6,5
1110	57,95	6,5
1068	58,51	6,5

Para presiones mayores de 10 o 15 kbar, estas temperaturas aumentan 15 y 35 °C aproximadamente.

5.6.6 Óxidos de Fe-Ti

Lepage (2003) desarrolló la hoja de cálculo ILMAT que permite determinar la temperatura y fugacidad de O₂ de formación de las fases magnetita e ilmenita. Se lograron determinar los parámetros mencionados para titanomagnetita e ilmenita mediante datos obtenidos de EMPA y SEM. Para armar pares en equilibrio, se asumió que este existe entre cristales cercanos, ya que una desventaja de este método es que no considera constantes de equilibrio como Putirka (2008). Se muestran los datos de las herramientas más actuales de ILMAT (figura 39), haciendo distinción según donde se encontraron los óxidos, si en masa fundamental o atrapados en las fases minerales principales, indicando además las líneas de los *buffer* QFM y NiNiO para 6 kbar.

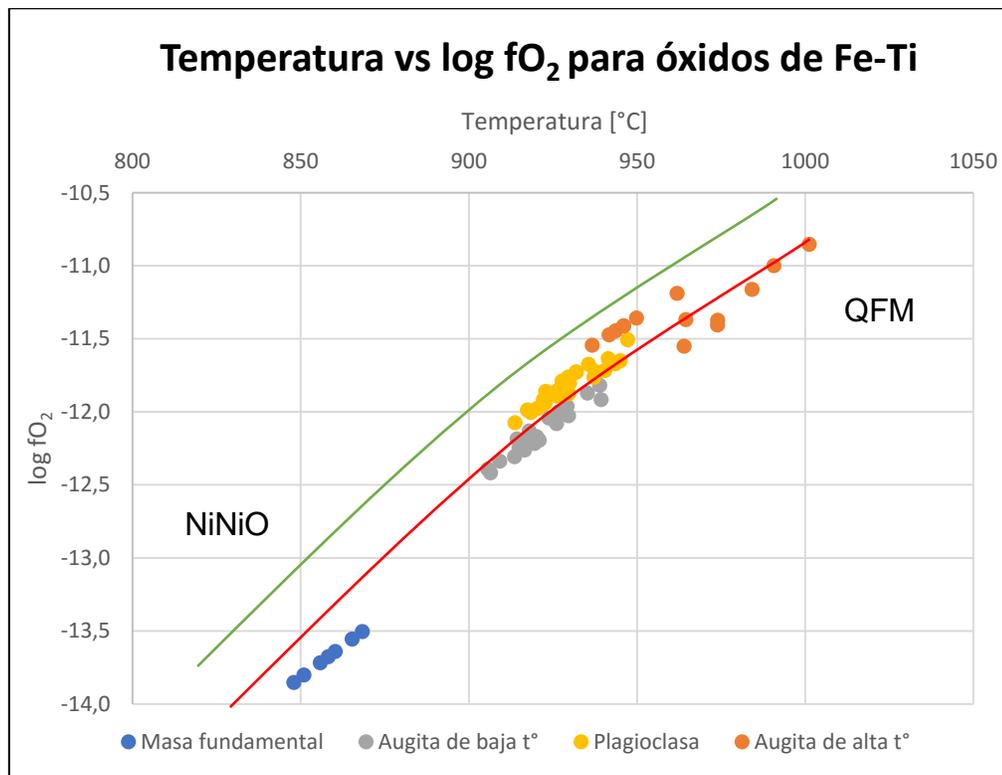


Figura 39: Temperatura y fugacidad de O₂ estimadas para los óxidos de Fe-Ti, la leyenda indica donde se encuentran atrapados

5.7 Condiciones de cristalización en MELTS

Como se explicó anteriormente, para reconstruir la evolución magmática del sistema, se necesita especificar su estado inicial, composición del magma parental (MP), H₂O disuelto en el MP, temperatura inicial, presión y fugacidad de oxígeno. Los resultados que de aquí se presentan son obtenidos con simulaciones en un sistema cerrado y sujeto a cristalización fraccionada isobárica, donde la energía de Gibbs es el potencial termodinámico apropiado para ser minimizado.

Después de establecer la presión, fugacidad de oxígeno y H₂O disuelto, las composiciones propuestas se compararon con las observadas para determinar el rango de condiciones físicas que conducen a la erupción. El "mejor caso" se eligió en base a la correspondencia entre los datos mineralógicos y geoquímicos y los cálculos de equilibrio de fase; en este estudio, se consideró una cristalización fraccionada perfecta.

Los resultados no se ajustan perfectamente al patrón definido por la muestra natural, Kohlstedt y Holtzman (2009) probaron que por situaciones en las que los cristales se eliminan del líquido mediante algún proceso físico impulsado por la gravedad (como sedimentación cristalina o flotación) o estrés desviador (como amasamiento o percolación de fundido), siempre ocurre alguna reacción entre los anticristales formados y el líquido.

Del mismo modo, los cálculos suponen que hay una composición parental única a partir de la cual se desarrollan todos los líquidos diferenciados. Es fácil imaginar que

heterogeneidades composicionales estarían presentes a priori, incluso si la mezcla convectiva es razonablemente eficiente. Finalmente, los cálculos suponen que la cristalización es exactamente isobárica, El punto de realizar cálculos de equilibrio de fase usando un modelo termodinámico imperfecto (ya que ningún modelo termodinámico es perfecto, con restricciones que son claramente aproximadas) es evaluar la razonabilidad general del escenario propuesto.

Haciendo un análisis de la composición química de las inclusiones vítreas hospedadas en olivino, se seleccionaron dos inclusiones (G2-MI3 y G2-MI1) como potencialmente representativas del magma parental. Ambas inclusiones presentan el valor más alto de $\#Mg = 72$, son hospedadas en olivinos con composiciones Fo_{78} (borde) y Fo_{82} (centro) respectivamente. Utilizando la composición de ambas inclusiones vítreas, se simularon escenarios de evolución del magma, entendiendo que los resultados obtenidos serían, en primera instancia, bastante representativos de la evolución magmática.

Variando la fugacidad de oxígeno entre QFM+2 y QFM-2 y la presión entre 1 y 10 kbar, fue posible observar que en ningún caso se alcanza a modelar la fases minerales presentes en la muestra, tanto en composición como en tipos de fases. A pesar de elegir composiciones iniciales, presión y fugacidad de oxígeno diferentes, no se observa nunca la cristalización de olivino ni ortopiroxeno, lo que resulta contradictorio con la mineralogía de la muestra, donde estas fases representan el 12% y el 6% respectivamente, de las fases minerales presentes.

En el caso de magma parental representado por G2-MI3, con una presión variante entre 1 y 4,5 kbar y fugacidad variable entre QFM-2 y QFM+2, la modelización produce fases minerales como biotita (flogopita), que no está presente como fase mineral en la roca por la baja concentración de H_2O . Para ambas composiciones de MP, si se utilizan presiones mayores a 4,5 kbar, se alcanza la cristalización de fases minerales como granate, que no están presentes en la asociación mineralógica de la muestra.

Utilizando como magma parental la composición de la inclusión vítrea G2-MI1, una temperatura de *liquidus* de $1241^{\circ}C$ y una presión de 4,5 kbar y a diferente fugacidad (entre QFM+1 y QFM-1), el modelamiento alcanza a representar la evolución geoquímica del magma y las composiciones de las inclusiones vítreas hospedadas en olivino y plagioclasas (figura 40). Se puede concluir que, con las condiciones mencionadas anteriormente, la asociación mineral de la muestra logra ser muy bien representada, especialmente las plagioclasas y los clinopiroxenos (figuras 19 y 20). En el caso de los oropiroxenos, MELTS no logra simular el rango completo de composiciones.

A $1241^{\circ}C$, la primera fase presente sería el líquido, luego cristalizaría el ortopiroxeno a $1200^{\circ}C$, la magnetita (e ilmenita) a $1071^{\circ}C$, el clinopiroxeno a $1031^{\circ}C$ y la plagioclasa a $991^{\circ}C$. Todas las simulaciones consideraron una cristalización hasta la temperatura de erupción (estimada en $900^{\circ}C$).

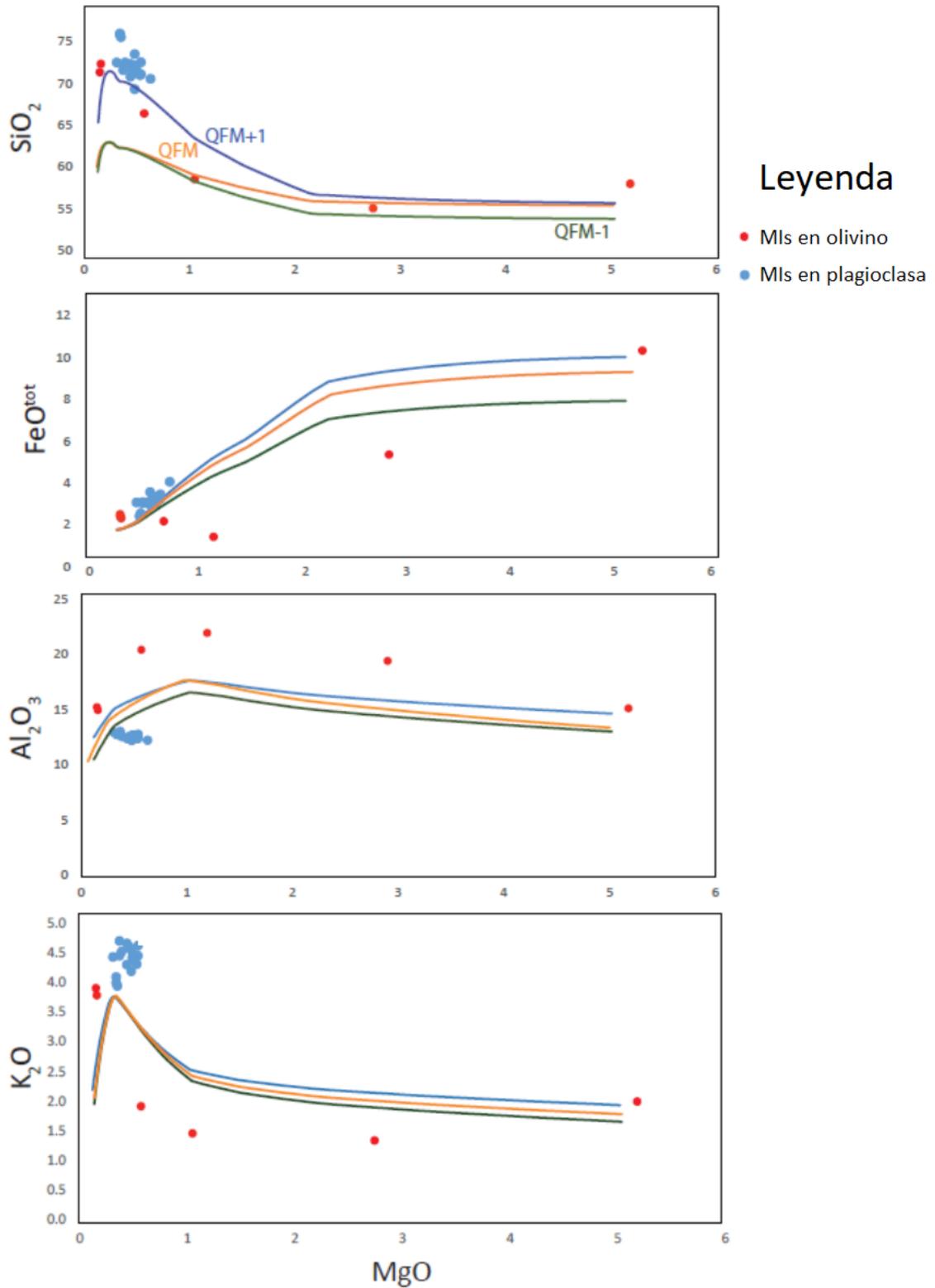


Figura 40: Modelamiento de la variación de los óxidos principales en función de la variación de MgO en inclusiones vítreas de olivino y plagioclasa

Capítulo 6: Discusiones

6.1 Petrografía y termometría

Las mediciones puntuales en olivino muestran un rango de composiciones entre $\text{Fo}_{83}\text{Fa}_{17}$ y $\text{Fo}_{78}\text{Fa}_{22}$. En el capítulo anterior se estimó que esta fase se forma a temperaturas entre 1070 y 1110 °C, con un error estándar de 27 °C (Putirka, 2008). Las mediciones en EMPA del cristal G2 (figura 66, anexo B) indican que estas composiciones representan una zonación en esta fase, de centro $\text{Fo}_{83}\text{Fa}_{17}$ a borde $\text{Fo}_{78}\text{Fa}_{22}$; este cambio puede deberse a que el magma ascendió por la corteza a zonas más frías o que el magma evolucionó a una composición más diferenciada mientras fraccionaba olivino.

También, esta fase presenta un borde de reacción a enstatita ($\text{Wo}_4\text{En}_{71}\text{Fs}_{23}$), como se observa en la figura 41; esto puede ser indicativo de que en ese momento el magma comenzó a saturarse en SiO_2 , o bien, se mezcló con otro saturado en SiO_2 . Por último, el borde de reabsorción en esta fase puede deberse a que en algún momento el magma sufrió un desequilibrio químico o térmico por una sobrepresión (previo a ascender a zonas más frías) o por una mezcla con otro magma más caliente.

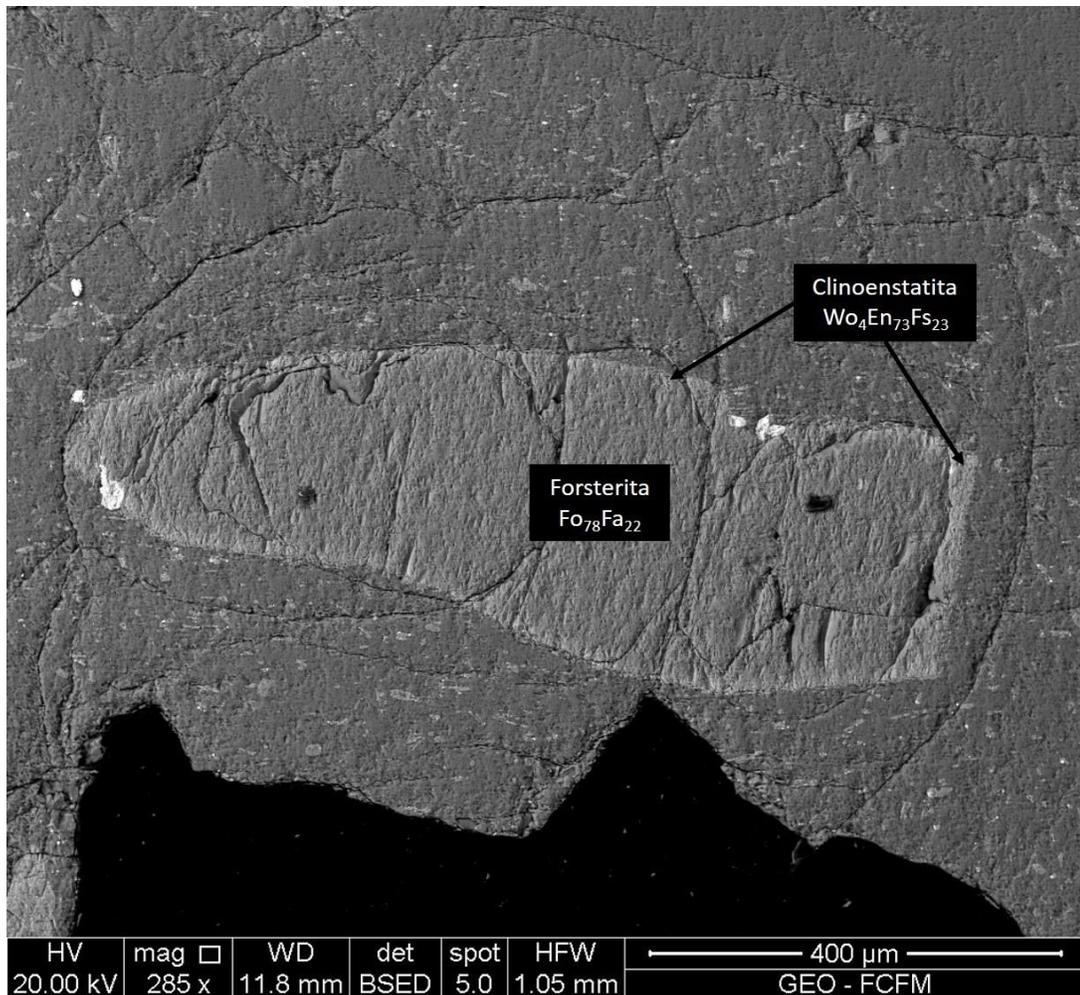


Figura 41: Forsterita con borde de reacción a enstatita en imagen BSED (muestra SL-02)

Los olivinos presentan un bajo número de inclusiones vítreas, lo que según Kent (2008) puede ser producido por un enfriamiento relativamente lento, con crecimiento rápido con baja nucleación, lo que también podría explicar la baja cantidad de cristales. Además, atrapan óxidos de Fe-Ti (figuras 64 a 66, anexo B).

Los piroxenos presentan una gran variedad de texturas, como poikilítica, zonación normal y borde de reabsorción. La textura poikilítica ocurre en andesina ($An_{30-50}Ab_{70-50}$, 930-960 °C por termobarometría, 900-991 °C por MELTS) atrapada en augita de baja temperatura (figura 42, $Wo_{41}En_{38}Fs_{21}$); y en augita de alta temperatura ($Wo_{40}En_{48}Fs_{12}$, 990-1000 °C por termobarometría, 900-1031 °C por MELTS) y clinoenstatita atrapados en andesina ($An_{30-50}Ab_{70-50}$, 900-1200 °C por MELTS). Estas texturas ocurren cuando el magma pasa por un proceso de enfriamiento lento y por ende un crecimiento rápido, privilegiando el crecimiento una fase por sobre la otra (Shelley, 1983; Vernon, 2004).

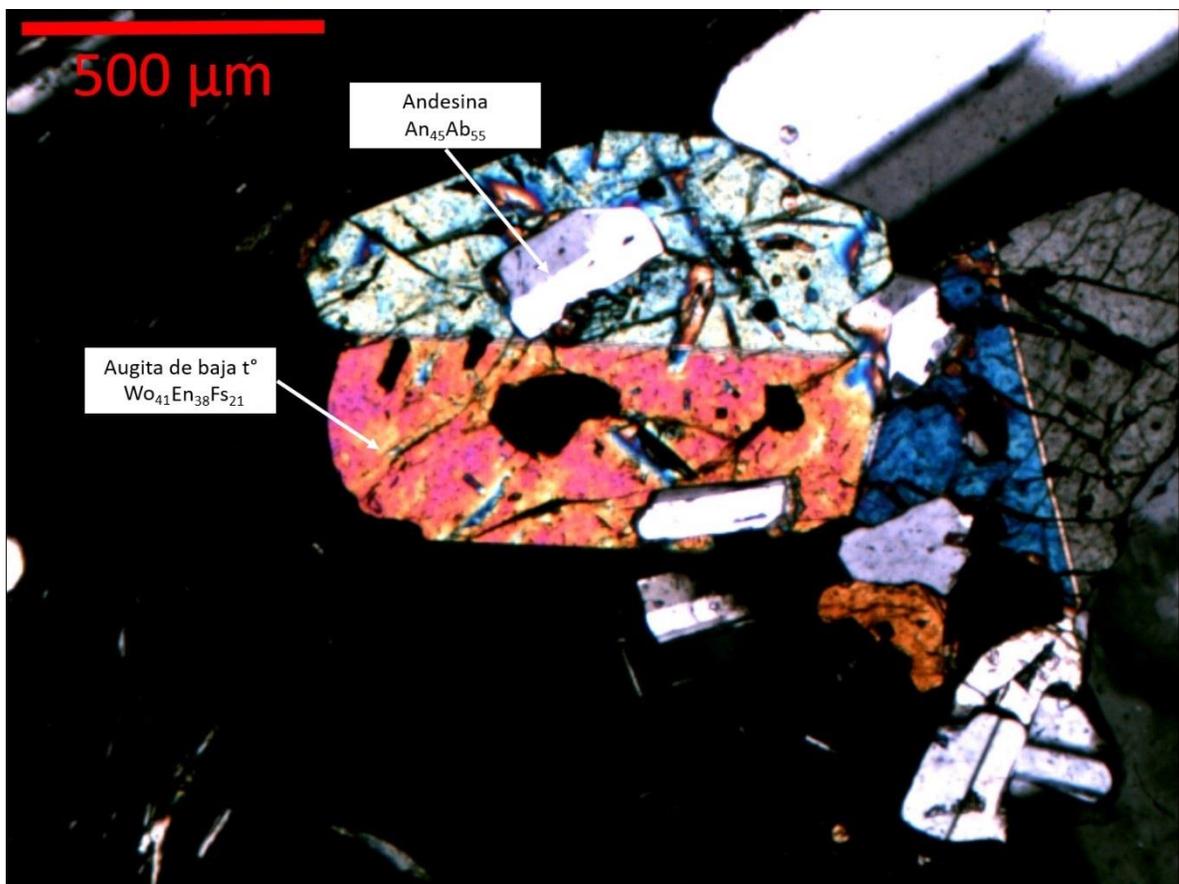


Figura 42: Andesina atrapada en augita de baja temperatura (muestra SL-01, objetivo 5x respectivamente, luz polarizada cruzada)

No se pudo determinar presión ni temperatura de formación para la augita de baja temperatura, pero se puede asegurar que como es posterior a la formación de la primera

plagioclasa, se habría formado a una temperatura máxima de 960 °C y presión máxima de 2,4 kbar.

Se observó en la figura 21, que las augitas de alta temperatura presentan una zonación inversa, donde sus bordes son más ricos en magnesio que el centro. Esto puede deberse a aumentos de temperatura que, en vez de fundir las augitas formadas, comenzaron a formar augitas más estables a esas temperaturas mayores. Por su parte, las augitas de baja temperatura no presentan cambios químicos importantes en sus centros o bordes, por lo que su formación fue en un estado más estable que las augitas de alta temperatura. En cuanto a la clinoenstatita, se constató que, según el modelo geoquímico de MELTS, esta sería la primera fase en cristalizar en torno a los 1200 °C.

También es posible observar que ambos tipos de piroxeno presentan bordes de reabsorción, indicando un desequilibrio (químico o térmico) en alguna parte de su evolución. Las figuras 14 muestran que cristales de augita de alta temperatura ($Wo_{40}En_{44}Fs_{16}$ respectivamente) atrapando fluorapatito, evidenciando que esta fase accesoria debió empezar a formarse a una temperatura mínima cercana a los 1000 °C. Esta fase presenta un muy alto número de inclusiones vítreas y minerales, por lo que de acuerdo a lo propuesto por Kent (2008), y a diferencia del olivino, es muy probable que esta fase haya cristalizado bajo condiciones de enfriamiento relativamente rápido, con poco crecimiento y una alta nucleación.

La andesina presenta temperaturas de formación entre 930 y 960°C de acuerdo a lo estimado por termobarometría y entre 900 y 991 °C de acuerdo al modelo de MELTS. En este rango en el que ocurre tanto zonación normal como oscilatoria en algunos cristales. Esta variación no es exclusivamente debida a cambios en la temperatura del fundido, sino que puede deberse también a cambios composicionales en el magma formador. El rango de composiciones de las plagioclasas (%An entre 30 y 47) es concordante con el hecho de que se hayan formado a partir de un magma diferenciado, en este caso, dacítico (Bryan, 1974). Las texturas de zonación en plagioclasa se relacionan directamente con el contenido de CaO y Na₂O. Como puede observarse en la figura 44, los *peaks* de CaO sobre Na₂O (en el perfil del cristal B4, figura 43) puede asociarse a desequilibrios (Shelley, 1983), donde se favorece la formación de plagioclasa más anortítica (hasta 50% An), ocurriendo en al menos 6 oportunidades.

Se observa que ocurren texturas *sieve* y borde de reabsorción, ambas indicativas de desequilibrio en el magma. La textura *sieve* puede deberse tanto a procesos de mezcla (Nixon y Pearce, 1987) como a una rápida descompresión (Nelson y Montana, 1992; Pearce *et al.*, 1987); estas plagioclasas presentan composiciones en torno a An₃₀Ab₇₀, y la textura de reabsorción puede explicarse por estas mismas razones.

Es posible que estas variaciones se deban a un calentamiento del magma más que a cambios químicos, ya que la difusión térmica en fundidos silicatados es notablemente mayor a la difusión química, superándola hasta un máximo de 11 grados de magnitud (10^{-7} vs 10^{-18} m²/s) (Best, 2002)

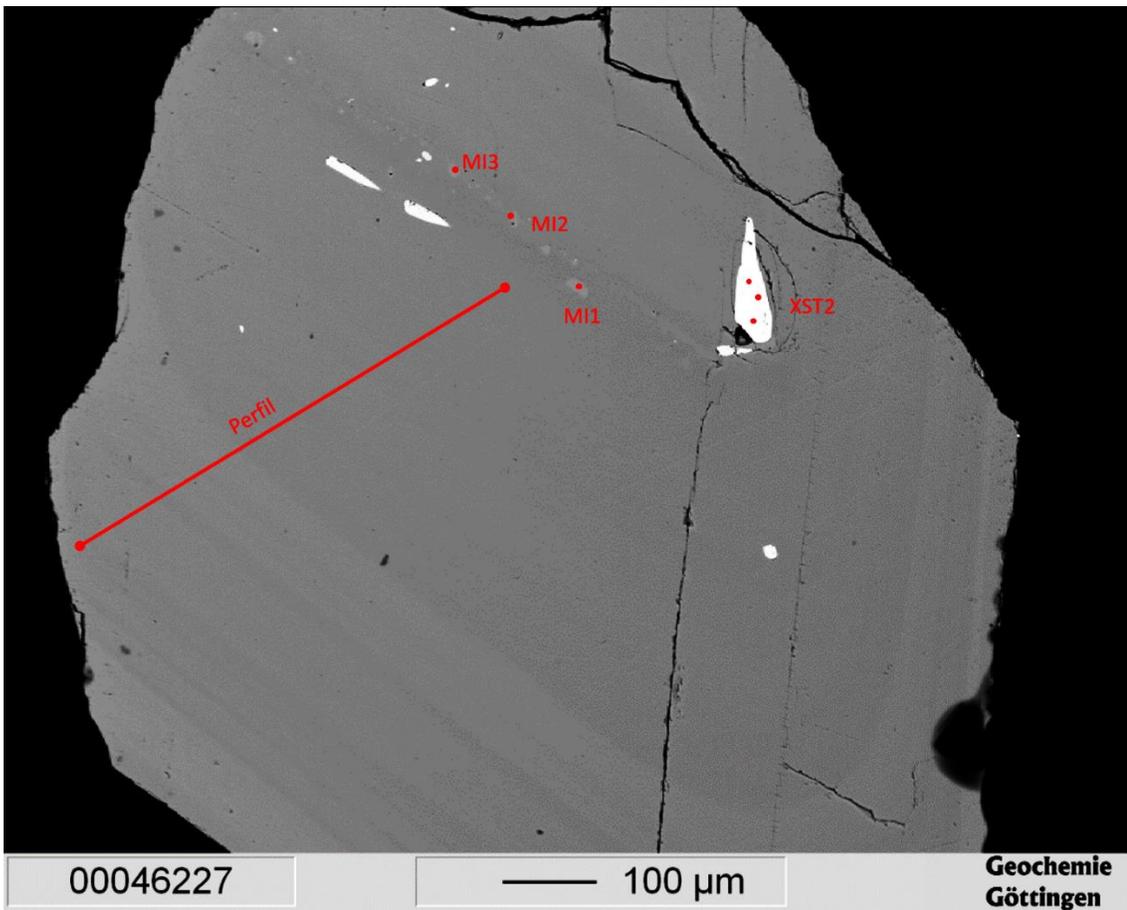


Figura 43: Cristal de plagioclasa B4

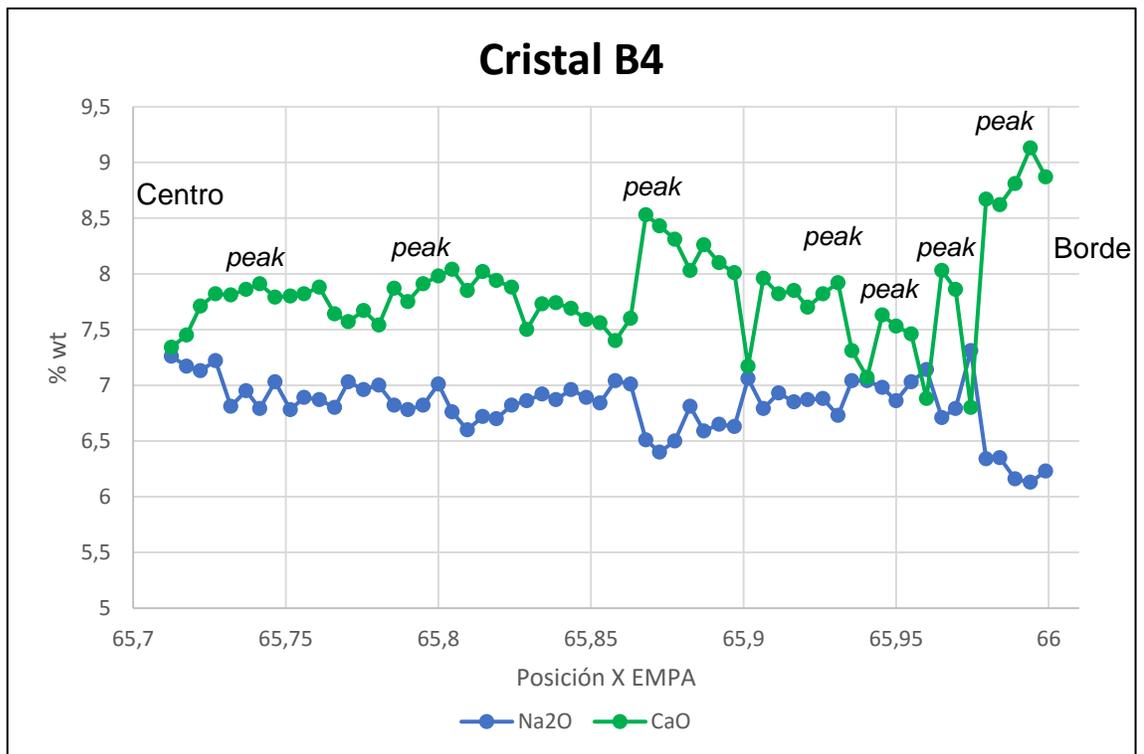


Figura 44: Variación de CaO y Na₂O en plagioclasa desde centro a borde

En cuanto a los óxidos de Fe-Ti, estos son atrapados por todas las fases minerales mencionadas, indicando que estuvieron presentes desde los orígenes del magma (en los olivinos) hasta sus etapas finales de emplazamiento en las zonas más someras de la corteza (en las augitas de baja temperatura). En acuerdo con el modelamiento geoquímico por MELTS, los óxidos de Fe-Ti habrían empezado a cristalizar a 1071°C y habrían continuado a formarse hasta la temperatura de la erupción. La figura 39 indica que estos se formaron en casi todo el rango de temperaturas de formación de las plagioclasas y los piroxenos. Sin embargo, se observan óxidos atrapados en olivino de composición $Fo_{83}Fa_{17}$ de temperaturas de formación en torno a los 1100°C, lo que ampliaría su rango de formación. Según el modelo geoquímico de MELTS, estas fases habrían empezado a cristalizar desde los 1071 °C hasta la temperatura de erupción (en torno a los 900 °C). Además, algunos óxidos presentan textura de reabsorción (figura 12), indicando que pasaron por un desequilibrio químico o térmico con respecto al fundido. Por su parte, el fluorapatito, se habría formado a una temperatura máxima de 1000 °C hasta al menos 930 °C, ya que se encuentra atrapado en la mayoría de las fases minerales tanto como libre en la masa fundamental.

Finalmente, la textura cumulo porfírica (figura 13) es indicativa en algunos casos de cristalización fraccionada (Cox, 1979; Shelley, 1983), consistente con lo obtenido en la reconstrucción de procesos en el software MELTS.

6.2 Petrología y química de inclusiones vítreas

Los diagramas TAS y K_2O indican que el magma evolucionó desde una composición andesítica-basáltica rica en Ca hasta una composición riolítica rica en K. Las inclusiones de olivino (rojas en figuras 26 a 34) presentan una disminución en todos los óxidos excepto en el K_2O , además del Cl y F. La disminución de MgO , FeO y TiO_2 se explica por la cristalización de olivino y óxidos de Fe-Ti, pero la disminución de Al_2O_3 , CaO y Na_2O (levemente) implicaría la cristalización de anortita, mineral esperable al tratarse de un magma más o menos primitivo, pero que no fue encontrado en EMPA ni en SEM. Durante la formación de forsterita (y posiblemente anortita), el magma fue disminuyendo muy lentamente su concentración de Na_2O (que debería ingresar en pocas cantidades a la anortita), lo que sumado al creciente contenido de K_2O , termina dándole el carácter alcalino al magma, como se observa en el diagrama TAS.

Por su parte, las inclusiones de plagioclasa (azules en figuras 26 a 34) presentan una disminución de todos los óxidos (excepto el Al_2O_3 y el MgO) y los halógenos. La disminución de los óxidos es concordante con la cristalización de augita y andesina, y la concentración de Al_2O_3 es concordante con que este óxido es reemplazado por más SiO_2 en los feldespatos.

6.3 Variación de volátiles en inclusiones vítreas

En las inclusiones de olivino, el Cl presenta una concentración de 1000 a 2000 ppm, mientras que el F disminuye su concentración desde 900 hasta 150 ppm aproximadamente. La concentración de Cl indica que los procesos de ascenso y cristalización, en esta etapa, no involucraron la liberación de este halógeno. Por su parte, la exsolución de F pudo conllevar a la temprana formación de fluorapatita.

Los espectros Raman que se encuentran en la figura 37 indican que las inclusiones atrapadas en augita (de alta y baja temperatura) presentan muy bajas cantidades de H₂O y CO₂, lo que implicaría que, en etapas intermedias de la evolución del magma, este ya se encontraba sub-saturado en volátiles. Así mismo, los espectros Raman en burbuja y vidrio de inclusiones en andesina también indican que el magma se encontraba sub-saturado en H₂O y CO₂, lo que es relativamente concordante con el contenido de H₂O teórico de la tabla 3, que muestra que el H₂O varía entre 1,2 y 1,6 % wt. De manera similar, el Cl y F disminuyen drásticamente en las inclusiones en andesina, como se observa en las figuras 33 y 34; parte de este F exsuelto podría haberse destinado a la formación de fluorapatita.

Lo expuesto anteriormente indica que el magma se encontraba muy sub-saturado o empobrecido en volátiles desde sus etapas intermedias a finales, sin poderse conocer el contenido de volátiles principales en las etapas iniciales, cuando se formaron las inclusiones de olivino. De todas maneras, como las inclusiones de olivino demostraron sufrir cambios post-atrapamiento por difusión de FeO, es muy probable que el H₂O, en caso de haber podido ser medido, haya sido un valor inferior a la realidad (Lloyd *et al.*, 2013).

La escasez de H₂O, CO₂, Cl y F en las inclusiones de augita y andesina podría explicarse con que el instante previo al ascenso del magma involucró desgasificaciones intensas, y que, en la etapa final del magma, el contenido de H₂O no era superior al 1,6% wt. Esta desgasificación termina siendo más importante que el hecho de que al formarse fases anhidras, la concentración de H₂O debería aumentar. Como el contenido de volátiles en las burbujas de las inclusiones de augita y plagioclasa es muy bajo (o casi nulo), sería esperable que estas burbujas sean del tipo *shrinkage bubble*.

6.4 Modelo de formación

La colada de lava del volcán Shangri-La presenta las mismas fases minerales que muchos otros volcanes del complejo, pero se agrupa junto con los del sub-complejo Las Termas (andesítico a riolítico) por afinidad composicional. El magma del volcán Shangri-La, en sus últimas etapas de ascenso, presentó un alto contenido de SiO_2 , pudiendo clasificarse como un magma ácido. Esto implica que debió presentar una alta viscosidad, sin embargo, la colada avanzó casi 7 km y emplazó un volumen final de 1 km^3 aproximadamente (Naranjo *et al.*, 1994).

De acuerdo a las figuras 45 y 46, el modelo termodinámico de MELTS indica una disminución de la densidad y un incremento de la viscosidad del fundido desde los $900 \text{ }^\circ\text{C}$. A esta temperatura, todas las fases minerales ya han cristalizado, y el volumen del sistema se encontraba en su punto máximo.

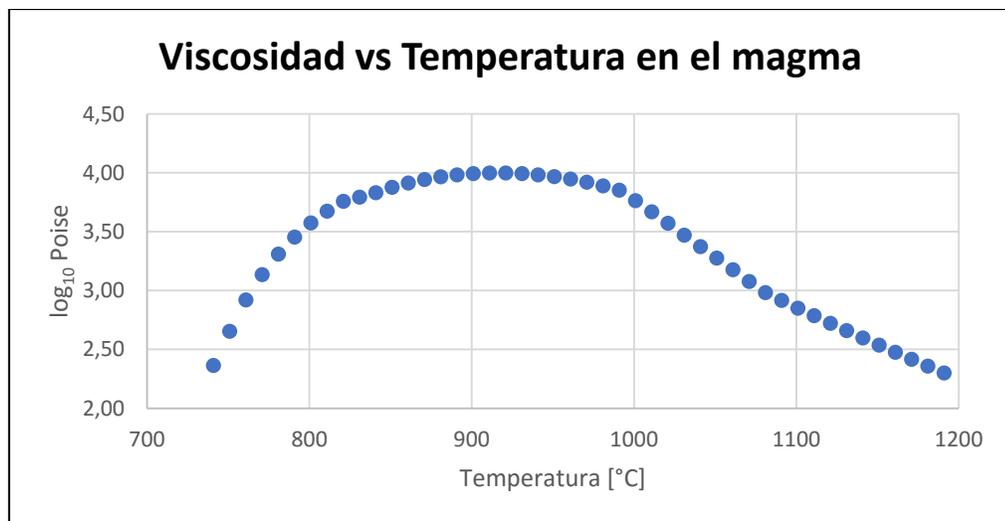


Figura 45: Viscosidad del magma en función de su temperatura

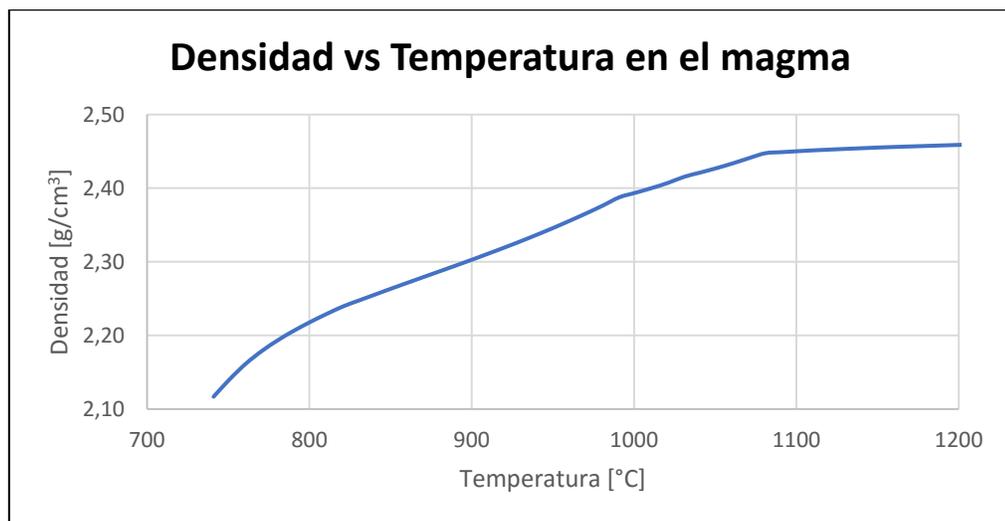


Figura 46: Densidad del magma en función de su temperatura

Así mismo, a esa temperatura el sistema se encontraba con un porcentaje de líquido cristalizado cercano al 50% (figura 47) y en condiciones inestables y favorables para que su contenido fuese extruido.

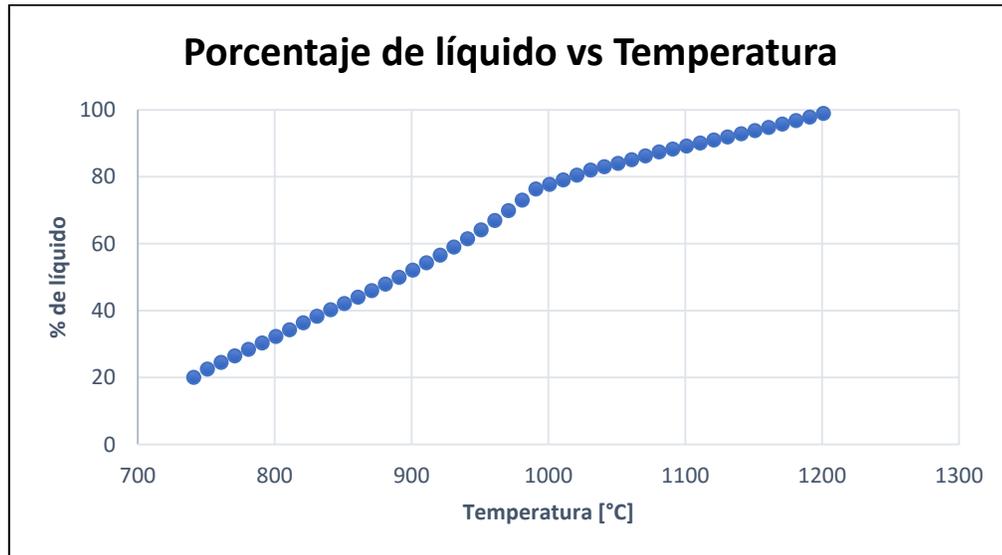


Figura 47: Porcentaje de líquido en el magma en función de su temperatura

La tabla 7 muestra un resumen de temperaturas y texturas de las fases minerales descritas anteriormente. Una desventaja de MELTS es que, como se consideró un sistema de presión constante, no modela bien el comportamiento de las intrusiones en superficie como si lo hace la termobarometría, por lo que es posible proponer un modelo combinando los parámetros obtenidos en ambas metodologías:

El modelo combinado (figura 48), consistiría en al menos 3 etapas:

- i) Magma primitivo que formó forsterita entre 1070 y 1110 °C a una presión mayor a 6,5 kbar.
- ii) El magma anterior se mezcla con otro más caliente, que a presiones entre 4,5 y 6,5 kbar, comenzó a cristalizar clinoenstatita (desde los 1200 °C), óxidos de Fe-Ti (desde los 1071 °C) y augita entre 990 y 1030 °C con un bajo contenido de volátiles (~2% wt de H₂O máximo por modelo de MELTS).
- iii) A presiones entre 1,6 y 2,4 kbar, el magma cristaliza andesina a temperaturas entre 930 y 960 °C, atrapando olivino, piroxenos y óxidos de Fe-Ti en una textura poikilítica. A temperatura similares, el magma comenzó a cristalizar augita nuevamente, de composición más rica en hierro que la formada anteriormente y atrapando andesina; contenido de volátiles muy sub-saturado.

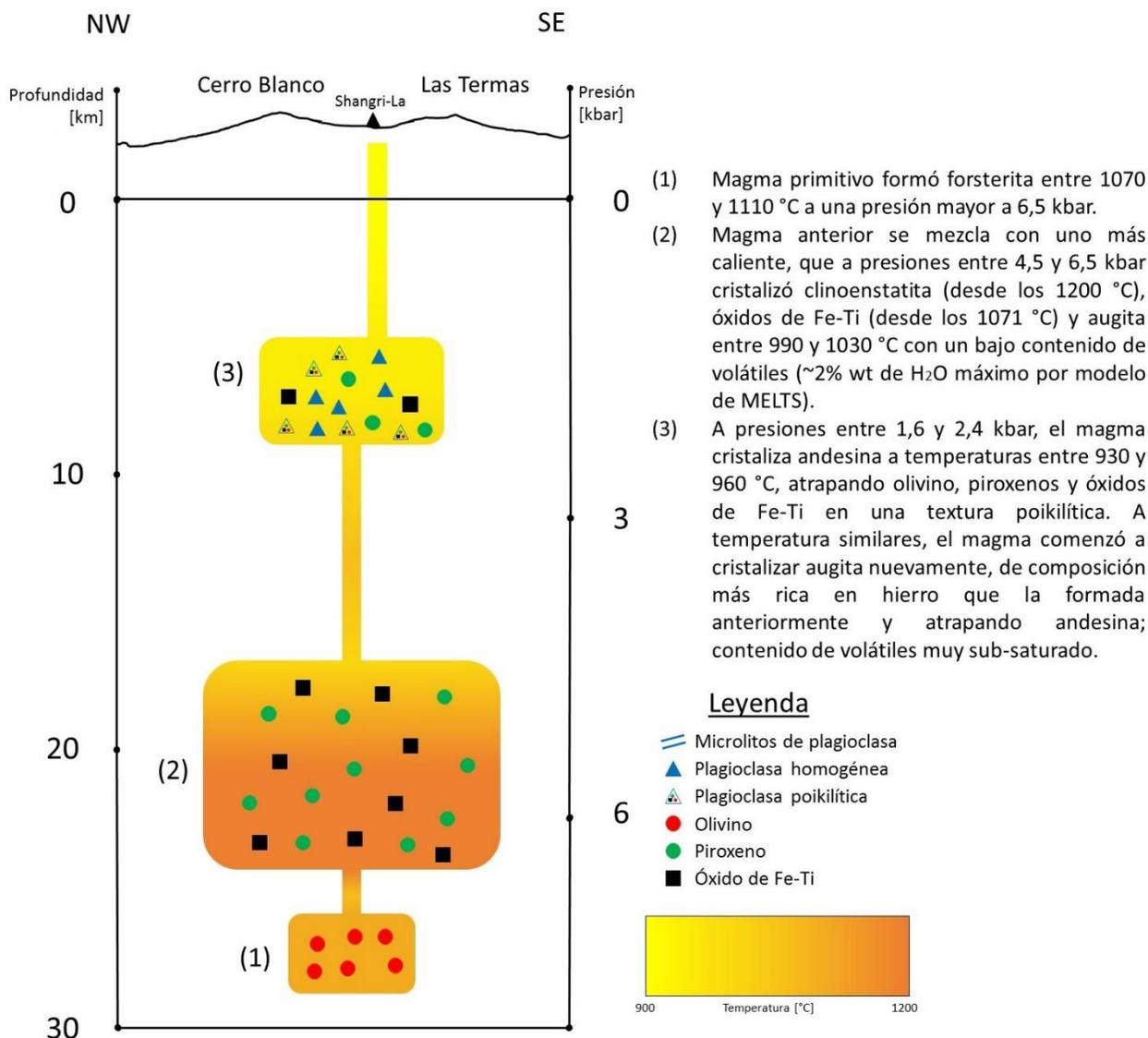


Figura 48: Modelo propuesto para la formación de la colada del volcán Shangri-La

Una vez que el magma llega cerca del punto de erupción, se encuentra empobrecido en volátiles (H₂O, CO₂, Cl y F), posiblemente muy caliente aún (900°C aproximadamente), con una cantidad incierta de cristales, con un alto contenido de SiO₂, con una viscosidad a punto de empezar a descender rápidamente y con una densidad de 2,3 g/cm³. No puede asegurarse que esté totalmente empobrecido en volátiles por la textura vesiculada de la muestra SL-02, además que la muestra SL-01 igual presenta muchas vesículas en su masa fundamental. La suma de todos estos factores debería otorgarle al magma un carácter predominantemente viscoso, haciendo difícil que pueda extruir hacia la superficie.

Es posible suponer que, para que la colada pudiera efectivamente extruir y fluir hasta el punto donde se detuvo, que algo ocurriera en profundidad que provocara un desequilibrio en el magma, como una mezcla con un magma más caliente o que el sistema se sobrepresurizara.

Tabla 7: Parámetros determinados para las fases minerales estudiadas

	Olivino	Ortopiroxeno	Clinopiroxeno	Plagioclasa	Óxido Fe-Ti
Composición	Fo ₈₃ Fa ₁₇ a Fo ₇₈ Fa ₂₂	Wo ₄ En ₆₈ Fs ₂₈ a Wo ₃ En ₅₇ Fs ₃₉ (cristales) Wo ₄ En ₇₁ Fs ₂₅ (borde de reacción)	Wo ₄₀ En ₄₈ Fs ₁₂ (alta T°) Wo ₄₁ En ₃₉ Fs ₂₀ (baja T°)	An ₅₀ Ab ₅₀ a An ₃₀ Ab ₇₀	TiFeO ₃ (magnetita) Ti _{0,5} Fe _{2,5} O ₄ (ilmenita)
Temperatura por termobarometría	1070 °C a 1110 °C	No estimable	990-1000 °C (alta T°) 960 °C máximo (baja T°)	930-960 °C	850 hasta al menos 1070 °C
Temperatura por MELTS	No estimable	900-1200 °C	900-1031 °C	900-991 °C	900-1071 °C
Presión	Mayor a 6,5 kbar (presión mínima asumida de cpx, Putirka, 2008)	No estimable	6,5 kbar (Putirka, 2008)	1,6-2,4 kbar (Putirka, 2008)	log fO ₂ entre -11 y -14
Texturas	Borde de reacción a enstatita (Wo ₄ En ₇₁ Fs ₂₅) Borde de reabsorción Zonación	Zonación normal e inversa Borde de reabsorción	Zonación inversa Poikilítica	Sieve Poikilítica Borde de reabsorción	Borde de reabsorción Poikilítica (atrapados en otras fases minerales)
%SiO ₂	55-72	No estimable	~69-75	69-75	No estimable
Presencia de volátiles en IVs	Sub-saturado en Cl y F H ₂ O y CO ₂ no estimable	No estimable	Sub-saturado en H ₂ O y CO ₂	Sub-saturado en H ₂ O, CO ₂ , Cl y F	No estimable

Este calentamiento hipotético podría explicar algunas texturas de desequilibrio en las etapas finales del magma, como los bordes de reabsorción y *sieve* en plagioclasa. Se ha reportado que la textura *sieve* en las plagioclasas puede deberse a mezcla de magmas (Nixon y Pearce, 1987) o a una rápida descompresión (Nelson y Montana, 1992; Pearce *et al.*, 1987).

Una posible evidencia en terreno de esta supuesta mezcla con otro magma más caliente son las inclusiones máficas y aglomerados de xenocristales máficos, reportadas por Dixon *et al.* (1999); considerando lo anterior, junto con la desgasificación registrada en las inclusiones vítreas, es probable que el ascenso magmático haya sido provocado por una combinación de mezcla de magmas y sobrepresurización. Los parámetros obtenidos por MELTS (viscosidad y densidad del magma) hacen suponer que los procesos ocurridos fueron muy favorables para la erupción.

6.5 Comparación con otros volcanes del Complejo Nevados de Chillán

La colada del volcán Shangri-La corresponde a la segunda colada holocena con mayor área (y posiblemente volumen) de todo el complejo volcánico, solo por detrás de la colada del volcán Democrático (tabla 8). Ésta presenta un área de alrededor de 8,2 km², espesores de 10 a 85 m y un volumen total de alrededor de 1 km³, y las litologías descritas van de andesitas basálticas hasta dacitas de alto potasio (Naranjo *et al.*, 1994).

Tabla 8: Área de las coladas de lavas holocenas del Complejo Nevados de Chillán

Sub-complejo	Volcán	Área [km ²]
Cerro Blanco	Gato	2,42
	Blanco	1
	Santa Gertrudis	2,71
Las Termas	Viejo	3,13
	Democrático	25,76
	Chillán	5,1
	Shangri-La	8,2 (~1 km ³)
	Pata de Perro	3,39
	Nuevo	0,71
	Arrau	0,8
	Sebastián	0,1 (~550.000 m ³)

Naranjo *et al.* (2008) han reportado que la mineralogía del CVNC es anhidra, con algunas excepciones de escasa anfíbola en lavas pleistocenas. Esto concuerda con el hecho que se reportaron intrusiones muy desgasificadas desde los 25 km de profundidad hacia la superficie en la sección anterior. Los volcanes del sub-complejo Las Termas presentan composiciones y mineralogías similares, con predominancia de dacitas a riolitas, y no sería descabellado pensar que las intrusiones que originan las coladas se conecten en algún momento o que incluso sean las mismas.

Un ejemplo de esto son las lavas de los volcanes Chillán y Shangri-La, las que según Dixon *et al.* (1999) presentan bastantes similitudes. Se reporta que las unidades presentan apariencias en terreno similares, ocurren en la misma posición estratigráfica y presentan una geoquímica similar, pero que fueron extruidas de fuentes geográficamente separadas (3,5 km aproximadamente). Además, Naranjo *et al.* (2008) reportan que la colada del volcán Chillán presenta evidencias de mezcla de magmas, con lavas que varían de 58 a 66% SiO₂; esto también es concordante con la posible mezcla de magmas que se propone anteriormente y que habría producido la extrusión de la lava Shangri-La, además de las variaciones de litologías descritas por Mee (2004), donde la colada del Shangri-La varía desde composiciones andesíticas a dacíticas.

Como el magma del Shangri-La no cuenta con los volátiles necesarios para formar una columna eruptiva o un flujo piroclástico, es muy probable que la erupción ocurrida haya sido más probablemente del tipo efusivo (concordante con el hecho de que no se han reportado depósitos piroclásticos para este volcán), como fue la erupción del volcán Sebastián en diciembre del 2008. Naranjo y Moreno (2009) describen la colada del volcán Sebastián como "dacitas porfíricas de plagioclasa y dos piroxenos, con matriz vítrea y microlitos que siguen estructuras de flujo", descripción similar a la que le dan Dixon *et al.*

(1999) a la lava del Shangri-La, con la excepción de que la lava Sebastián no presenta olivino. Este caso muestra como una lava dacítica anhidra puede ser producto de una erupción efusiva, pero con la diferencia no menor de que el volumen total eructado es 2000 veces menor que la lava del Shangri-La.

Por temas de densidad, los magmas basálticos-andesíticos suelen preferir extruir por zonas diferentes a la cima de los centros volcánicos, como es el caso de la lava del volcán Santa Gertrudis, que entre los años 1861 y 1862 emitió lavas andesíticas sobre el flanco NW del subcomplejo Cerro Blanco. Sin embargo, esto no ocurre en el caso del volcán Democrático, cuya composición ha sido reportada como lavas andesíticas a dacíticas (56 a 70% SiO₂) con plagioclasa, dos piroxenos, titanomagnetita e ilmenita y que erupió por donde actualmente se encuentra el volcán Arrau.

Esta diferencia con el volcán Santa Gertrudis podría explicarse en el hecho de que parte de la litología de la lava del volcán Democrático era parte dacítica, y que su menor densidad le habría permitido llegar a la cima. Esto también podría explicar que la lava del Shangri-La (de volumen en torno a 1 km³) haya extruido por la cima y no por un costado del edificio volcánico, como sucedió en el volcán Santa Gertrudis.

Capítulo 7: Conclusiones

Las fases minerales encontradas en la colada del volcán Shangri-La corresponden a forsterita (con borde de enstatita), augita, enstatita, andesina, titanomagnetita, ilmenita y fluorapatita. Las inclusiones vítreas estudiadas corresponden a homogéneas con burbuja y heterogéneas en plagioclasa, y homogéneas con burbuja, con burbuja y mineral y heterogéneas tanto en olivino como en piroxeno. Las familias de inclusiones en olivino y plagioclasa presentan un rango de SiO₂ entre 55 y 76% wt, variando de traqui-andesita basáltica a riolita, y un contenido de K que varía de 1,36 a 4,76% wt. Las principales texturas encontradas corresponden a zonaciones, bordes de reacción, bordes de reabsorción, *sieve*, y poikilítica. Se establecieron temperaturas y presiones mediante termómetros de clinopiroxeno-vidrio, plagioclasa-vidrio, olivino-vidrio y óxidos de Fe-Ti.

Se presenta dos modelos de formación para la lava del volcán Shangri-La y para la o las intrusiones que la originaron bajo el Complejo Volcánico Nevados de Chillán; el primero considerando datos obtenidos por termobarometría y el segundo considerando el modelo geoquímico obtenido en MELTS. El primero modelo consiste en un magma que entre 990 y 1000 °C a 6,5 kbar cristalizó augita y que entre 930 y 960 °C y entre 1,6 y 2,4 kbar cristalizó andesina, con cristales de olivino y ortopiroxeno heredados de un magma más profundo. El segundo modelo consiste en olivino formado a presiones mayores a 4,5 kbar (no especificable), y una intrusión principal donde se formaron ortopiroxeno (desde 1200 °C), óxidos de Fe-Ti (desde 1071 °C), augita (desde 1031 °C) y andesina (desde 991 °C), en texturas poikilíticas y a presiones máximas de 4,5 kbar.

El contenido de volátiles en el magma dacítico se define como muy sub-saturado, donde no se manifestaron los espectros de H₂O y CO₂ en espectrometría Raman, y el contenido de Cl y F determinados en EMPA no permite clasificarlos como saturados. Los procesos de ascenso involucraron exsoluciones grandes y muy tempranas, al menos antes de que el magma llegara a los 25 km de profundidad aproximadamente (6,5 kbar). Se compararon las descripciones en terreno disponibles en la literatura sobre algunos volcanes del Complejo Nevados de Chillán, proponiendo correlaciones entre mineralogías, áreas (en representación de volúmenes eructados) y tipo de erupción ocurridas.

Entre las limitaciones del modelo, se puede contar la incertidumbre de si las inclusiones vítreas estudiadas se formaron en equilibrio y forman una MIA, ya que los montajes enviados a análisis presentaban un pulido imperfecto, y después de ser pulidos nuevamente, se perdieron algunas inclusiones seleccionadas y aparecieron otras no consideradas previamente. También existe la incertidumbre de si la disminución de Al₂O₃, CaO y Na₂O en los diagramas Harker de olivino en los diagramas Harker de olivino es indicativo de cristalización de anortita, ya que la plagioclasa más primitiva encontrada corresponde a An₅₀Ab₅₀. También existe la posibilidad de que tanto los olivinos como los ortopiroxenos correspondan a antecristales o xenocristales, elementos que han sido reportados por Dixon *et al.* (1999) en la colada del volcán Shangri-La como “abundantes

inclusiones máficas y aglomerados de xenocristales máficos”; en ese caso, las temperaturas (y evidentemente presiones) estimadas para olivinos y ortopiroxenos serían mayores.

Entre algunas de las limitantes del modelamiento en MELTS, se encuentra que no se pudo modelar la cristalización de fluorapatito por la no medición de P_2O_5 en EMPA, y el haber forzado su aparición podría haber inducido la aparición de feldespatos potásicos por la incorporación de CaO al fluorapatito; también ocurrió que no se logra modelar bien las intrusiones más superficiales, ya que se asume una presión constante de 4,5 kbar. Los niveles más someros podrían estudiarse considerando a futuro un modelo polibárico. También ocurre que no se logró la cristalización de todo el rango de composiciones de ortopiroxeno, lo que podría ser atribuido a una cristalización a mayores presiones.

Como sugerencia de estudio, se propone la búsqueda de cristales de anortita que complementen el modelo propuesto en este trabajo, además del estudio en SIMS en inclusiones en olivino, piroxeno y plagioclasa, para conocer y cuantificar directamente los volátiles. Como otras sugerencias, se propone un mayor enfoque en inclusiones de clino y ortopiroxeno, que permitan conocer con mayor precisión sus temperaturas y profundidades de formación; sin embargo, se sugiere que este estudio se realice en montajes de cristales y no en cortes transparentes, ya que la abundancia de esta fase con respecto a un corte completo no supera el 3%. También, se sugiere la homogenización de inclusiones vítreas recristalizadas para estudiar las posibles diferencias con las inclusiones homogéneas estudiadas en este trabajo.

De la mano con lo anterior, existe la necesidad de profundizar el estudio de inclusiones vítreas de este volcán, así como de otros volcanes del Nevados de Chillán. Los termobarómetros usados en este trabajo podrían permitir identificar zonas de acumulación comunes entre volcanes del mismo subcomplejo, y si es el caso, zonas comunes entre ambos subcomplejos.

Desde un punto de vista más en terreno, se recomienda la realización de modelos geofísicos que permitan conocer las dimensiones de las intrusiones que originaron la colada estudiada, así como también la posible caldera bajo el Complejo Nevados de Chillán, sugerida por varios autores (Bruggen, 1948; Dèruelle y Dèruelle, 1974; Naranjo et al., 1994). Se sugiere, al menos, la realización de modelos de inversión gravimétrica (2D o 3D) o de modelos de resistividad eléctrica (magnetoteléfica), como los realizados en la Laguna del Maule por Miller *et al.* (2017) y Cordell *et al.* (2018).

Bibliografía

- Anderson, A. T., Newman, S., Williams, S. N., Druitt, T. H., Skirius, C., & Stolper, E. (1989). *H₂O, CO₂, Cl, and gas in Plinian and ash-flow Bishop rhyolite*. *Geology*, 17(3), 221-225.
- Aracena, C. (2016). *Geoquímica del sistema magmático de Copahue a través de inclusiones vítreas*. Memoria de Título, Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- Astudillo, D. (2018). Evolución de volátiles y elementos traza ligeros, a través de inclusiones vítreas, y su rol en la erupción de 2015 del volcán Calbuco, X Región, Chile. Memoria de Título, Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- Audétat, A. & Lowenstern, J.B., (2014). *Melt inclusions*. In: Turekian, H.D., Holland, K.K. (Eds.), *Treatise on Geochemistry*, 2nd ed. Elsevier, Oxford, pp. 143–173.
- Baker, D. R. (2008). *The fidelity of melt inclusions as records of melt composition*. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 156(3), 377-395.
- Best, M. G. (2002). *Igneous and metamorphic petrology* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Bryan, W. B. (1974). *Fe-Mg relationships in sector-zoned submarine basalt plagioclase*. *Earth and Planetary Science Letters*, 24(2), 157-165.
- Brüggen, J. (1948). *Contribución a la geología de los volcanes y termas de Chillán*. *Revista Chilena de Historia y Geografía* 101: 36 p. Santiago.
- Bodnar, R. J. (2003). *Fluid Inclusions: Analysis and Interpretation*. (I. I. Samson, A. Anderson, & D. Marshall, Edits.) Mineralogical Association of Canada.
- Cannatelli, C., Doherty, A. L., Esposito, R., Lima, A., & De Vivo, B. (2016). *Understanding a volcano through a droplet: A melt inclusion approach*. *Journal of Geochemical Exploration*, 171, 4-19.
- Charrier, R., Pinto, L., & Rodríguez, M. P. (2007). *Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile*. In *The geology of Chile*.
- Chávez, R. (2002). *Geología del sistema volcánico Nevados de Chillán*. Memoria de Título, Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- Cembrano, J., & Lara, L. (2009). *The link between volcanism and tectonics in the southern volcanic zone of the Chilean Andes: a review*. *Tectonophysics*, 471(1-2), 96-113.
- Coppola, D., Laiolo, M., Lara, L. E., Cigolini, C., & Orozco, G. (2016). *The 2008 “silent” eruption of Nevados de Chillán (Chile) detected from space: Effusive rates and trends from the MIROVA system*. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 327, 322-329.
- Cordell, D., Unsworth, M. J., & Díaz, D. (2018). *Imaging the Laguna del Maule Volcanic Field, central Chile using magnetotellurics: Evidence for crustal melt regions laterally-*

offset from surface vents and lava flows. Earth and Planetary Science Letters, 488, 168-180.

Cox, K. G. (1979). *The Interpretation of Igneous Rocks (1st ed.)*. Netherlands: Springer Netherlands.

Danyushevsky, L.V., Della-Pasqua, F.N., Sokolov, S., 2000. *Re-equilibration of melt inclusions trapped by magnesian olivine phenocrysts from subduction-related magmas: petrological implications*. Contrib. Mineral. Petrol. 138 (1), 68–83.

Danyushevsky, L. V., Leslie, R. A., Crawford, A. J., & Durante, P. (2004). *Melt inclusions in primitive olivine phenocrysts: the role of localized reaction processes in the origin of anomalous compositions*. Journal of Petrology, 45(12), 2531-2553.

Danyushevsky, L.V., Plechov, P., 2011. *Petrolog3: integrated software for modeling crystallization processes*. Geochem. Geophys. Geosyst. 12 (7), Q07021.

De Vivo, B., & Bodnar, R. J. (Eds.). (2003). *Melt inclusions in volcanic systems: methods, applications and problems (Vol. 5)*. Elsevier.

Dèruelle, B. 1977. *Sur l'activité récente des Nevados de Chillán. Chilli central*. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, série D Sciences Naturelles 284 (17): 1651-1654.

Dèruelle, B., & Dèruelle, J. (1974). *Géologie des volcans quaternaires des Nevados de Chillán (Chili)*. Bulletin Volcanologique, 38(1), 425-444.

Dèruelle, B., & López-Escobar, L. (1999). *Basaltes, andésites, dacites et rhyolites des stratovolcans des Nevados de Chillan et de l'Antuco (Andes méridionales): la remarquable illustration d'une différenciation par cristallisation fractionnée*. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series IIA-Earth and Planetary Science, 329(5), 337-344.

Dixon, H.J., Murphy, M.D., Sparks, S.J., Chávez, R., Naranjo, J.A., Dunkley, P.N., Young, S.R., Gilbert, J.S., & Pringle, M.R. (1999). *The geology of Nevados de Chillán volcano, Chile*. Revista Geológica de Chile, 26(2), 227-253.

Esposito, R., Hunter, J., Schiffbauer, J. D., Shimizu, N., & Bodnar, R. J. (2014). *An assessment of the reliability of melt inclusions as recorders of the pre-eruptive volatile content of magmas*. American Mineralogist, 99(5-6), 976-998.

Farías, C., Lupi, M., Fuchs, F., & Miller, S. A. (2014). *Seismic activity of the Nevados de Chillán volcanic complex after the 2010 Mw 8.8 Maule, Chile, earthquake*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 283, 116-126.

Font, L., Murton, B. J., Roberts, S., & Tindle, A. G. (2007). *Variations in melt productivity and melting conditions along SWIR (70 E–49 E): evidence from olivine-hosted and plagioclase-hosted melt inclusions*. Journal of Petrology, 48(8), 1471-1494.

- Fontijn, K., Lachowycz, S. M., Rawson, H., Pyle, D. M., Mather, T. A., Naranjo, J. A., & Moreno-Roa, H. (2014). *Late Quaternary tephrostratigraphy of southern Chile and Argentina*. *Quaternary Science Reviews*, 89, 70-84.
- Gaetani, G. A., & Watson, E. B. (2002). *Modeling the major-element evolution of olivine-hosted melt inclusions*. *Chemical Geology*, 183(1-4), 25-41.
- Gaetani, G.A., O'Leary, J.A., Shimizu, N., Bucholz, C.E., Newville, M., 2012. *Rapid reequilibration of H₂O and oxygen fugacity in olivine-hosted melt inclusions*. *Geology* 40 (10), 915–918.
- Goldoff, B.A., Webster, J.D., Harlov, D.E., 2012. *Characterization of fluor-chlorapatites by electron probe microanalysis with a focus on time-dependent intensity variation of halogens*. *Am. Mineral.* 97, 1103–1115.
- González-Ferrán, O. (1995). *Volcanes de Chile*. Instituto Geográfico Militar: 640p. Santiago.
- González, O., & Vergara, M. (1962). *Reconocimiento Geológico de la cordillera de los Andes entre los paralelos 35° y 38°S*. Universidad de Chile, Instituto de Geología Publicación, 24: 119 p.
- Hansen, H., & Grönvold, K. (2000). *Plagioclase ultraphyric basalts in Iceland: the mush of the rift*. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 98(1), 1-32.
- Harker, A. (1909). *The natural history of igneous rocks*. Macmillan.
- Hernández, L. (2017). *Evolución geoquímica del domo Cerro La Torta, El Tatio, a través de inclusiones vítreas*. Memoria de Título, Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- Kent, A. J. (2008). *Melt inclusions in basaltic and related volcanic rocks*. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 69(1), 273-331.
- Kohlstedt, D. L., & Holtzman, B. K. (2009). *Shearing melt out of the Earth: An experimentalist's perspective on the influence of deformation on melt extraction*. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 37, 561-593.
- Le Bas, M. L., Maitre, R. L., Streckeisen, A., Zanettin, B., & IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. (1986). *A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram*. *Journal of petrology*, 27(3), 745-750.
- Lepage, L. D. (2003). *ILMAT: an excel worksheet for ilmenite--magnetite geothermometry and geobarometry*. *Computers & Geosciences*, 29(5), 673-678.
- Lescinsky, D.T.; Fink J.H. 2000. *Lava and ice interaction at stratovolcanoes: Use of characteristic features to determine past glacial extents and future volcanic hazards*. *Journal of Geophysical Research* 105 (B10): 23.711-23.726.
- Lindsley, D. H. (1983). *Pyroxene thermometry*. *American Mineralogist*, 68(5-6), 477-493.

- Lindsley, D. H., & Andersen, D. J. (1983). *A two-pyroxene thermometer*. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 88(S02), A887-A906.
- Lloyd, A. S., Plank, T., Ruprecht, P., Hauri, E. H., & Rose, W. (2013). *Volatile loss from melt inclusions in pyroclasts of differing sizes*. Contributions to Mineralogy and Petrology, 165(1), 129-153.
- López-Escobar, L., Tagiri, M., & Vergara, M. (1991). *Geochemical features of southern Andes Quaternary volcanics between 41°50' and 43°00' S*. Geological Society of America Special Papers, 265, 45-56.
- López-Escobar, L., Kilian, R., Kempton, P. D., & Tagiri, M. (1993). *Petrography and geochemistry of Quaternary rocks from the Southern Volcanic Zone of the Andes between 41°30' and 46°00' S, Chile*. Andean Geology, 20(1), 33-55.
- Lowenstern, J. B. (1995). *Applications of silicate-melt inclusions to the study of magmatic volatiles*. Magmas, fluids, and ore deposits, 23, 71-99.
- Lowenstern, J. B. (2003). *Melt inclusions come of age: volatiles, volcanoes, and Sorby's legacy*. In Developments in Volcanology (Vol. 5, pp. 1-21). Elsevier.
- Mee, K. (2004). *The use of volcanic facies as tools for reconstructing former eruptive environments at Nevados de Chillán volcano, Chile* (Doctoral dissertation, University of Lancaster).
- Mee, K., Gilbert, J. S., McGarvie, D. W., Naranjo, J. A., & Pringle, M. S. (2009). *Palaeoenvironment reconstruction, volcanic evolution and geochronology of the Cerro Blanco subcomplex, Nevados de Chillán volcanic complex, central Chile*. Bulletin of volcanology, 71(8), 933-952.
- Métrich, N., & Clocchiatti, R. (1989). *Melt inclusion investigation of the volatile behaviour in historic alkali basaltic magmas of Etna*. Bulletin of Volcanology, 51(3), 185-198.
- Métrich, N., & Wallace, P. J. 2008. *Volatile abundances in basaltic magmas and their degassing paths tracked by melt inclusions*. Reviews in mineralogy and geochemistry, 69(1), 363-402.
- Miller, C. A., Williams-Jones, G., Fournier, D., & Witter, J. (2017). *3D gravity inversion and thermodynamic modelling reveal properties of shallow silicic magma reservoir beneath Laguna del Maule, Chile*. Earth and Planetary Science Letters, 459, 14-27.
- Moore, G., Gazel, E., Tuhoy, R., Lloyd, A.S., Esposito, R., Steele-Macinnis, M., Hauri, E.H., Wallace, P.J., Plank, T., Bodnar, R.J., 2015. *Bubbles matter: an assessment of the contribution of vapor bubbles to melt inclusion volatile budgets*. Am. Mineral. 100, 806–823.
- Morimoto, N. (1988). *Nomenclature of pyroxenes*. Mineralogy and Petrology, 39(1), 55-76.

- Muñoz, J.; Niemeyer, H. 1984. *Hoja Laguna del Maule, Regiones del Maule y del Biobío*. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile 64: 98 p., escala 1:250.000.
- Naranjo, J.A.; Chávez, R.; Sparks, S.J.; Gilbert, J.S.; Dunkley, P. 1994. *Nuevos antecedentes sobre la Evolución cuaternaria del complejo volcánico Nevados de Chillán*. In Congreso Geológico Chile No. 7, Actas I: 342-345. Concepción.
- Naranjo, J.A.; Lara L.E. 2004. *August-September 2003 small vulcanian eruption at the Nevados de Chillán Volcanic Complex (36°50'S), Southern Andes, Chile*. Revista Geológica de Chile 31(2): 359-366.
- Naranjo, J.A.; Gilbert, J.; Sparks, Stephen, 2008. *Geología del Complejo Volcánico Nevados de Chillán, Región del Bio-Bío*. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, No. 114, 32 p., mapa escala 1:50.000, Santiago.
- Naranjo, J.A. & Moreno, H. 2009. *Reciente erupción en el Complejo Volcánico Nevados de Chillán, Región del Biobío*. In Congreso Geológico Chileno, No. 12, Sesión Temática 3. Versión Digital. Santiago.
- Nelson, S. T., & Montana, A. (1992). *Sieve-textured plagioclase in volcanic rocks produced by rapid decompression*. American Mineralogist, 77(11-12), 1242-1249.
- Nielsen, C.H., Sigurdsson, H., 1981. *Quantitative methods for electron microprobe analysis of sodium in natural and synthetic compounds*. Am. Mineral. 66, 547–552.
- Nixon, G. T., & Pearce, T. H. (1987). *Laser-interferometry study of oscillatory zoning in plagioclase; the record of magma mixing and phenocryst recycling in calc-alkaline magma chambers, Iztaccihuatl Volcano, Mexico*. American Mineralogist, 72(11-12), 1144-1162.
- Onemi, 2016. *Se declara Alerta Amarilla para las comunas de Pinto y Coihueco por actividad del complejo volcánico Nevados de Chillán (reporte de 31 de diciembre de 2015)*. Disponible en: <http://www.onemi.cl/alerta/monitoreo-alerta-amarilla-para-las-comunas-de-pinto-coihueco-y-san-fabian-por-actividad-del-complejo-volcanico-nevados-de-chillan/>
- Orozco, G.; Jara, G.; Bertin, D. 2016. *Peligros del Complejo Volcánico Nevados de Chillán, Región del Biobío*. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental 28: 34p., 1 mapa escala 1:75.000, Santiago.
- Pearce, T. H., Russell, J. K., & Wolfson, I. (1987). *Laser-interference and Nomarski interference imaging of zoning profiles in plagioclase phenocrysts from the May 18, 1980, eruption of Mount St. Helens, Washington*. American Mineralogist, 72(11-12), 1131-1143.
- Petit-Breuilh, M.E. 2004. *La historia Eruptiva de los Volcanes Hispanoamericanos (Siglos XVI al XX): el modelo chileno*. Excmo. Cabildo Insular de Lanzarote: 431 p. Huelva.

Philippi, R.A. 1862. *Viaje a los baños i al nuevo volcán Chillán*. Anales de la Universidad de Chile, Tomo XX (1): 279-306.

Putirka, K. D. (2008). *Thermometers and barometers for volcanic systems*. Reviews in mineralogy and geochemistry, 69(1), 61-120.

Robbiano, F. (2017). *Estudio geoquímico del magma a través de inclusiones vítreas: El caso del cono Navidad*, IX Región de La Araucanía, Chile. Memoria de Título, Departamento de Geología, Universidad de Chile.

Robertson, K., Simon, A., Pettke, T., Smith, E., Selyangin, O., Kiryukhin, A., Mulcahy, S.R., & Walker, J. D. (2013). *Melt inclusion evidence for magma evolution at Mutnovsky volcano, Kamchatka*. Geofluids, 13(4), 421-439.

Roedder, E. (1979). *Origin and significance of magmatic inclusions*. Bulletin de Mineralogie, 102, 487-510.

Roedder, E. (1984). *Fluid Inclusions*. Mineral. Soc. Am.

Sernageomin, (2016a). *Reporte de Actividad Volcánica (RAV), Región del Bío-Bío*. Año 2016 Enero – Volumen 1.

Sernageomin, (2016b). *Reporte de Actividad Volcánica (RAV), Región del Bío-Bío*. Año 2016 Enero – Volumen 2.

Sernageomin, (2016c). *Reporte Especial de Actividad Volcánica (REAV), Región del Bío-Bío*. Año 2016 Enero 08 18:00 HL.

Sernageomin, (2018a). Complejo Volcánico Nevados de Chillán [online]. Disponible en: <https://www.sernageomin.cl/complejo-volcanico-nevados-de-chillan/> [Consultado el 31 de Julio de 2019].

Sernageomin, (2018b). *Reporte Especial de Actividad Volcánica (REAV), Región del Ñuble*. Año 2018 Septiembre 12 01:51 HL.

Sernageomin, (2018c). *Reporte Especial de Actividad Volcánica (REAV), Región del Ñuble*. Año 2018 Septiembre 22:50 HL.

Sernageomin, (2018d). *Reporte Especial de Actividad Volcánica (REAV), Región del Ñuble*. Año 2018 Mayo 12 20:03 HL.

Sernageomin, (2019a). *Reporte Especial de Actividad Volcánica (REAV), Región del Ñuble*. Año 2019 Julio 12 07:30 HL.

Sernageomin, (2019b). *Reporte Especial de Actividad Volcánica (REAV), Región del Ñuble*. Año 2019 Agosto 6 13:15 HL

Sernageomin, (2019c). *Reporte Especial de Actividad Volcánica (REAV), Región del Ñuble*. Año 2019 Agosto 13 17:30 HL

- Sernageomin, (2019d). Reporte Especial de Actividad Volcánica (REAV), Región del Ñuble. Año 2019 Octubre 11 12:45 HL
- Severs, M. J., Beard, J. S., Fedele, L., Hanchar, J. M., Mutchler, S. R., & Bodnar, R. J. (2009). *Partitioning behavior of trace elements between dacitic melt and plagioclase, orthopyroxene, and clinopyroxene based on laser ablation ICPMS analysis of silicate melt inclusions*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 73(7), 2123-2141.
- Shelley, D. (1983). *Igneous and metamorphic rocks under the microscope: classification, textures, microstructures and mineral preferred-orientations* (No. 552.3/. 4 SHE). London: Chapman & Hall.
- Sobolev, A. V. (1996). *Melt inclusions in minerals as a source of principle petrological information*. *Petrology*, 4(3), 209-220.
- Sorby, H. C. (1858). *On the microscopical, structure of crystals, indicating the origin of minerals and rocks*. *Quarterly Journal of the Geological Society*, 14(1-2), 453-500.
- Steele-Macinnis, M., Esposito, R., & Bodnar, R. J. (2011). *Thermodynamic model for the effect of post-entrapment crystallization on the H₂O–CO₂ systematics of vapor-saturated, silicate melt inclusions*. *Journal of Petrology*, 52(12), 2461-2482.
- Stern, C. R. (2004). *Active Andean volcanism: its geologic and tectonic setting*. *Revista geológica de Chile*, 31(2), 161-206.
- Stern, C.R., Moreno, H., López-Escobar, L., Clavero, J.E., Lara, P., Luis, E., Naranjo, J.A.S., Parada, M.A., Skewes, M.A., 2007. *Chilean Volcanoes*. In: Moreno, T., Gibbons, W. (Eds.), *The Geology of Chile*, pp.147–178.
- Suárez, M.; Emparán, C. 1997. *Hoja Curacautín, Regiones de La Araucanía y del Biobío*. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile 71: 105 p., 1 mapa escala 1:250.000.
- Tormey, D., Schuller, P., Lopez-Escobar, L., & Frey, F. (1991). *Uranium-thorium activities and disequilibrium in volcanic rocks from the Andes (33-46°S): petrogenetic constraints and environmental consequences*. *Andean Geology*, 18(2), 165-175.
- Wallace, P. J., Kamenetsky, V. S., & Cervantes, P. (2015). *Melt inclusion CO₂ contents, pressures of olivine crystallization, and the problem of shrinkage bubbles*. *American Mineralogist*, 100(4), 787-794.
- Vernon, R. H. (2004). *A practical guide to rock microstructure*. Cambridge university press.
- Zajacz, Z., & Halter, W. (2007). *LA-ICPMS analyses of silicate melt inclusions in co-precipitated minerals: quantification, data analysis and mineral/melt partitioning*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71(4), 1021-1040.
- Zenteno, P., Rivera, A., & García, R. (2004). *Glacier inventory of the Itata basin derived from satellite imagery: historical trends and recent variations at Nevados de Chillán*

volcano (36°56' S–71°20' W). In VIII International Earth Sciences Congress, Santiago (pp. 18-28).

Anexo A: Descripción de inclusiones vítreas y sus minerales hospedantes

En vista de los escasos resultados obtenidos a partir de inclusiones vítreas en los cortes transparentes, es que se omitirá la presentación de estos. Se adjuntan las imágenes de los cristales que fueron medidos en EMPA, y los que quedaron en el camino fue porque se pulió en exceso y se perdieron las inclusiones importantes.

Montajes de cristales con inclusiones homogéneas

SL-01A (Plagioclasa)

Cristal 4: plagioclasa con inclusiones de olivino, óxidos de Fe-Ti y fluorapatita, inclusiones vítreas (dos pequeñas circulares y una grande ovalada) de 0,18 de Razón burbuja/inclusión (RBI), no presentan mineral atrapado.

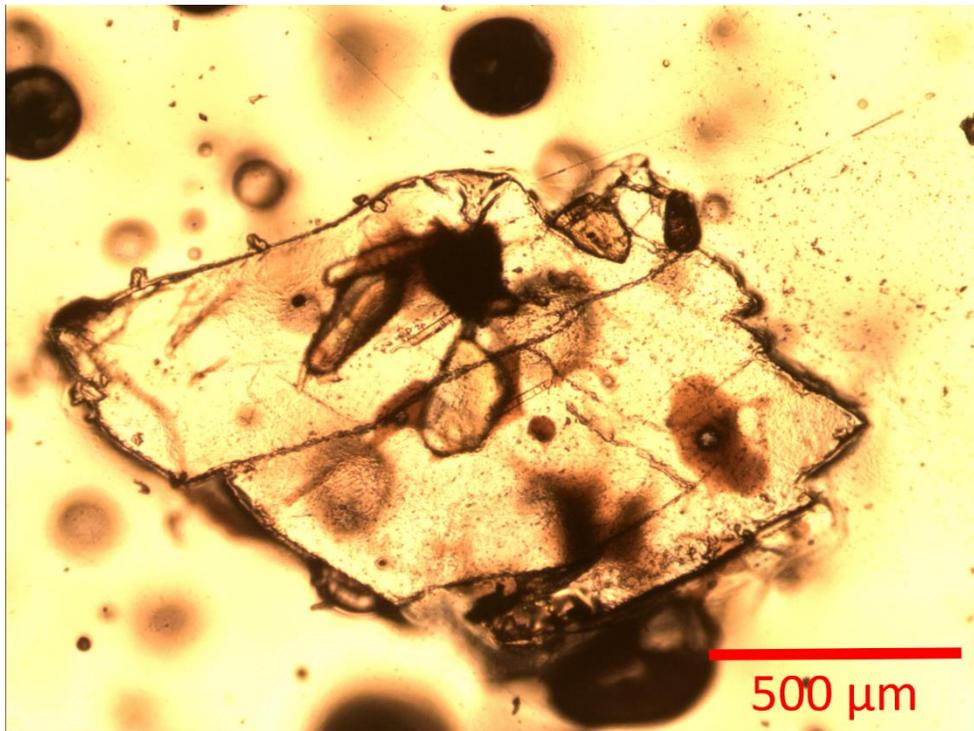


Figura 49: Cristal de plagioclasa A4

Cristal 5: plagioclasa con inclusiones de olivino y óxidos de Fe-Ti, dos inclusiones vítreas grandes ovaladas de 0,21 de RBI y 4 vítreas pequeñas circulares de 0,19 RBI, no presentan mineral atrapado.

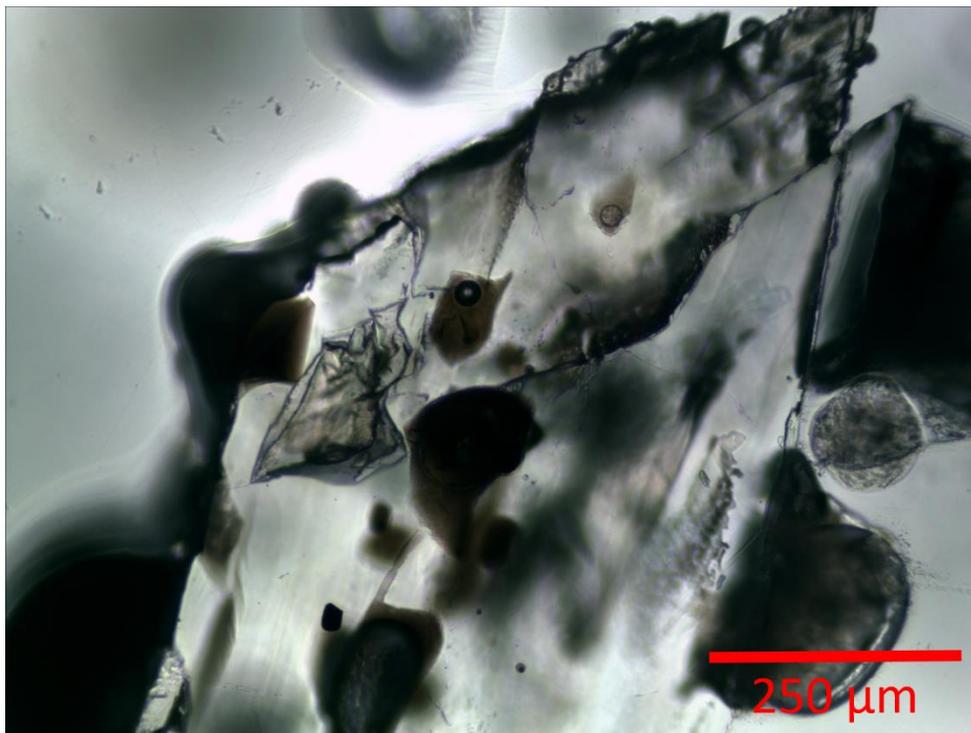


Figura 50: Cristal de plagioclasa A5

Cristal 6: plagioclasa con inclusión de olivino (color amarillento de fondo), 5 inclusiones vítreas alargadas grandes (4 ovaladas) de 0,22 RBI y 3 vítreas muy pequeñas circulares de 0,19 de RBI, no presentan mineral atrapado. Se observan dos inclusiones recristalizadas en el borde izquierdo.



Figura 51: Cristal de plagioclasa A6

SL-01B (Plagioclasa)

Cristal 4: plagioclasa con inclusiones de Fe-Ti y fluorapatita, presenta varias inclusiones vítreas circulares pequeñas (10 μm aproximadamente) y muchas inclusiones vítreas circulares muy pequeñas (1 μm aproximadamente). Las inclusiones pequeñas presentan un 0,20 de RIB y las muy pequeñas crecen siguiendo un borde del cristal. Parece presentar zonación, ninguna inclusión presenta mineral atrapado.

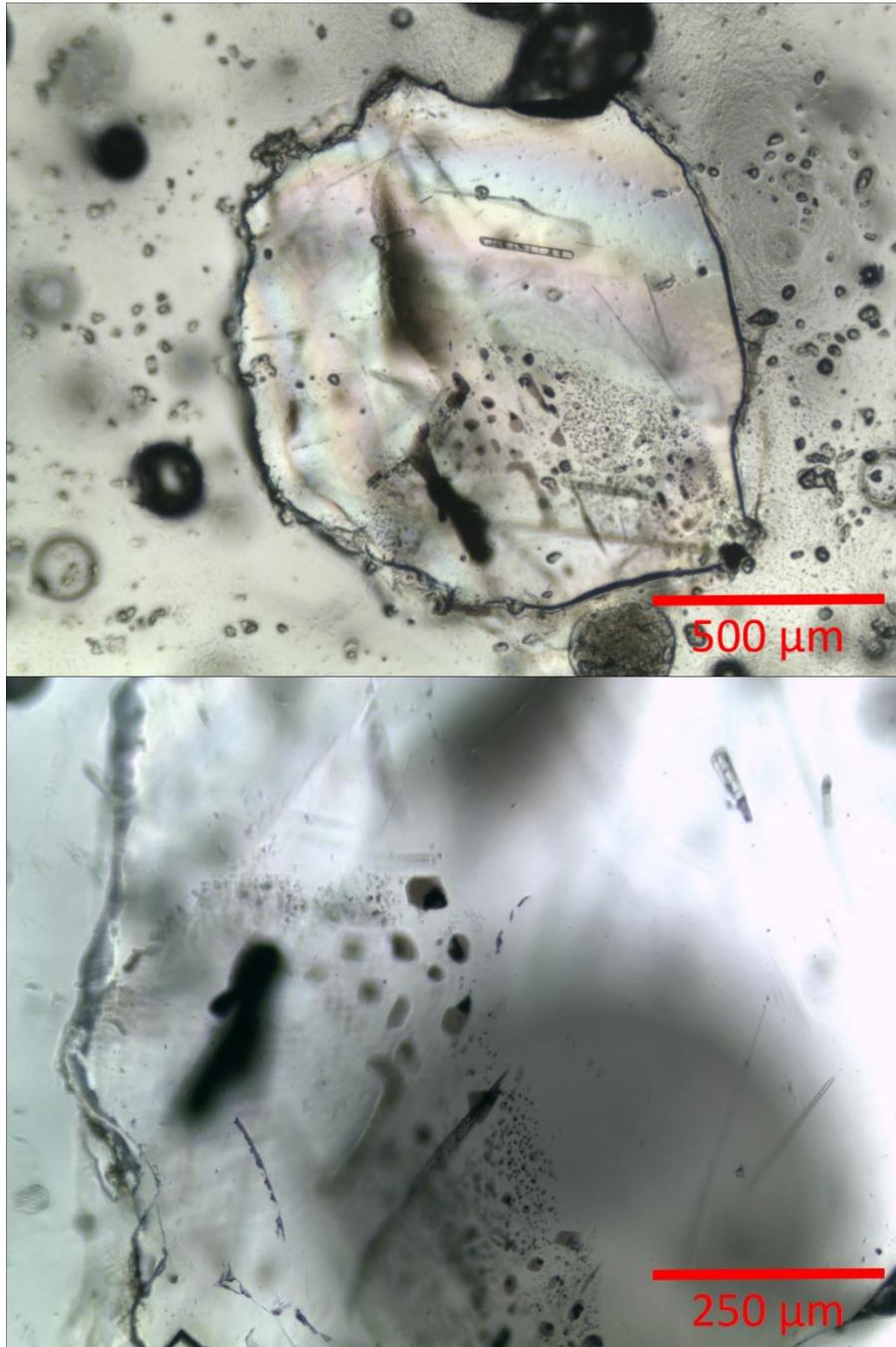


Figura 52: Cristal de plagioclasa B4

SL-01C (Olivino)

Cristal 3: olivino con inclusiones de Fe-Ti, presenta inclusiones vítreas circulares homogéneas y heterogéneas. La RBI de estas inclusiones está en torno a 0,24, se encuentran en una zona intermedia entre el núcleo y al borde del cristal. Presentan mineral atrapado.

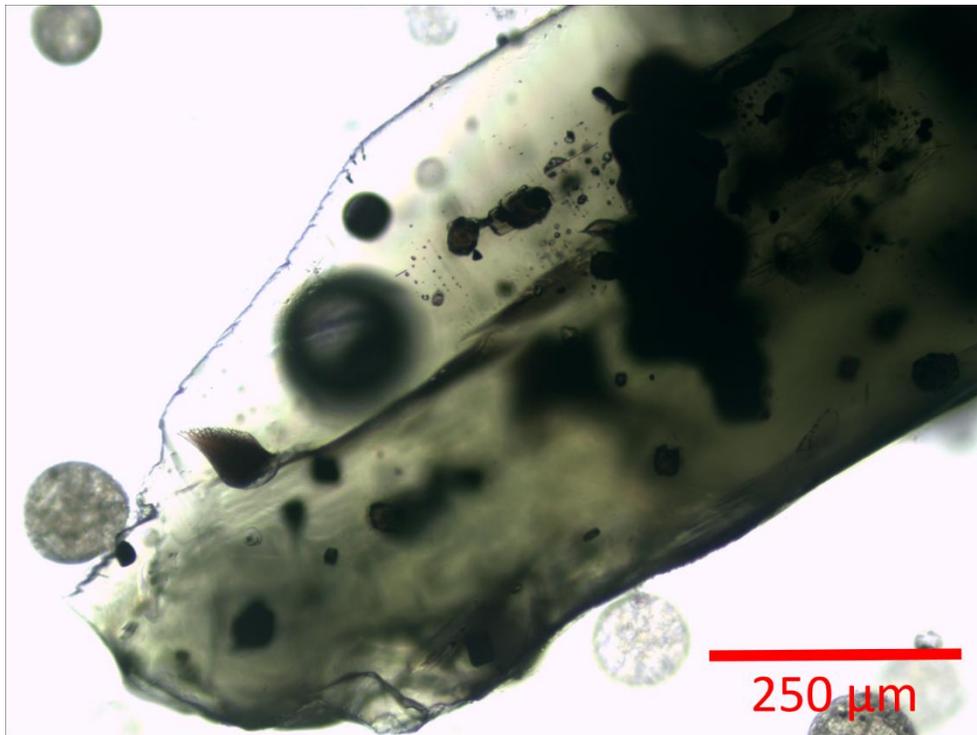


Figura 53: Cristal de olivino C3

SL-01D (Olivino)

Cristal 1: olivino con inclusiones de óxido de Fe-Ti, sus inclusiones vítreas son circulares y de RBI igual a 0,25, presentan mineral atrapado. Presenta inclusiones tanto homogéneas como heterogéneas. No se logra distinguir si se encuentran en el centro o el borde del cristal, no presentan mineral atrapado.

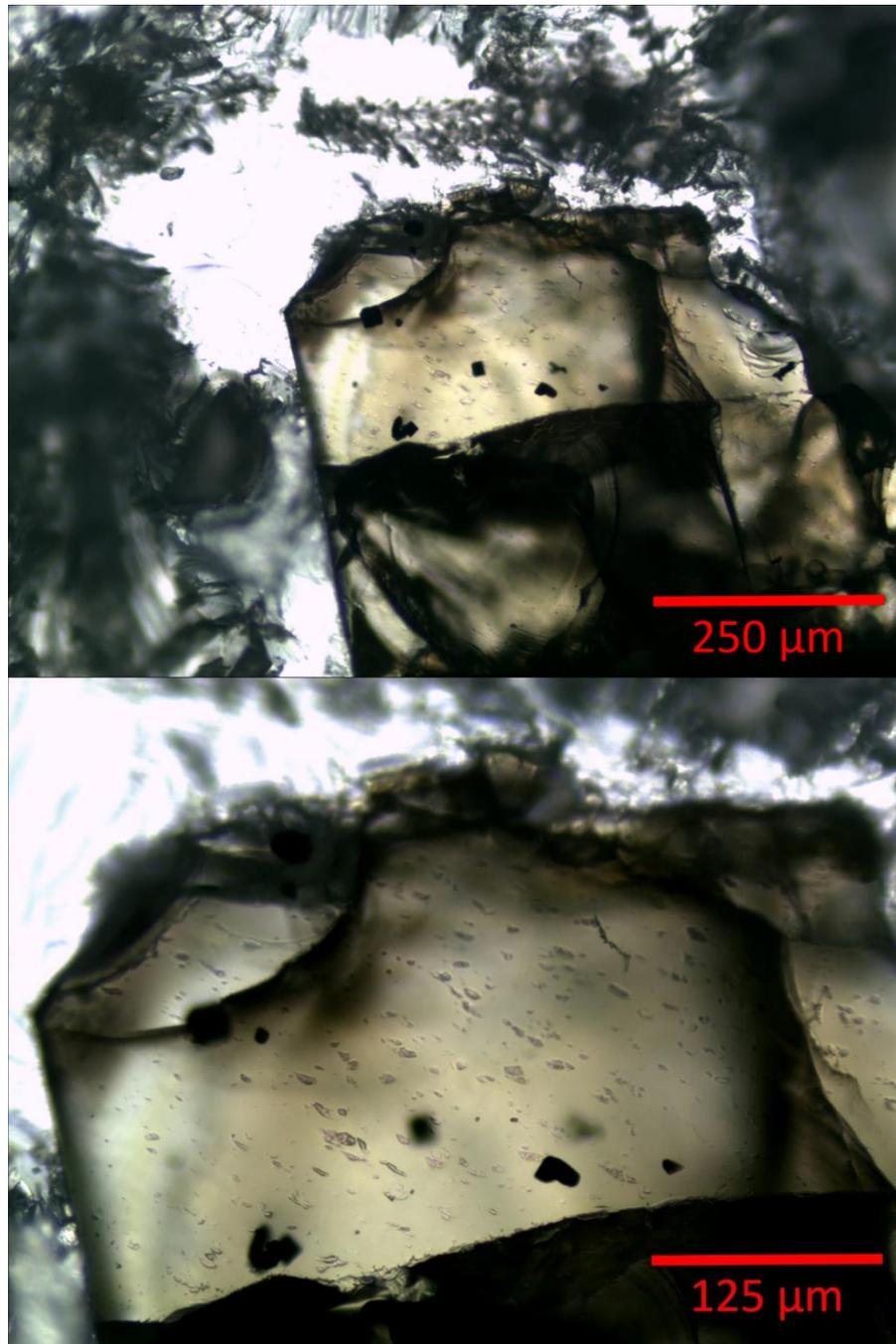


Figura 54: Cristal de olivino D1

Cristal 2: cristal de olivino con inclusión homogénea de RBI igual a 0,24, se encuentra en una zona intermedia entre el núcleo y el borde del cristal, presenta mineral atrapado. Presenta una inclusión fluida alargada en el centro.

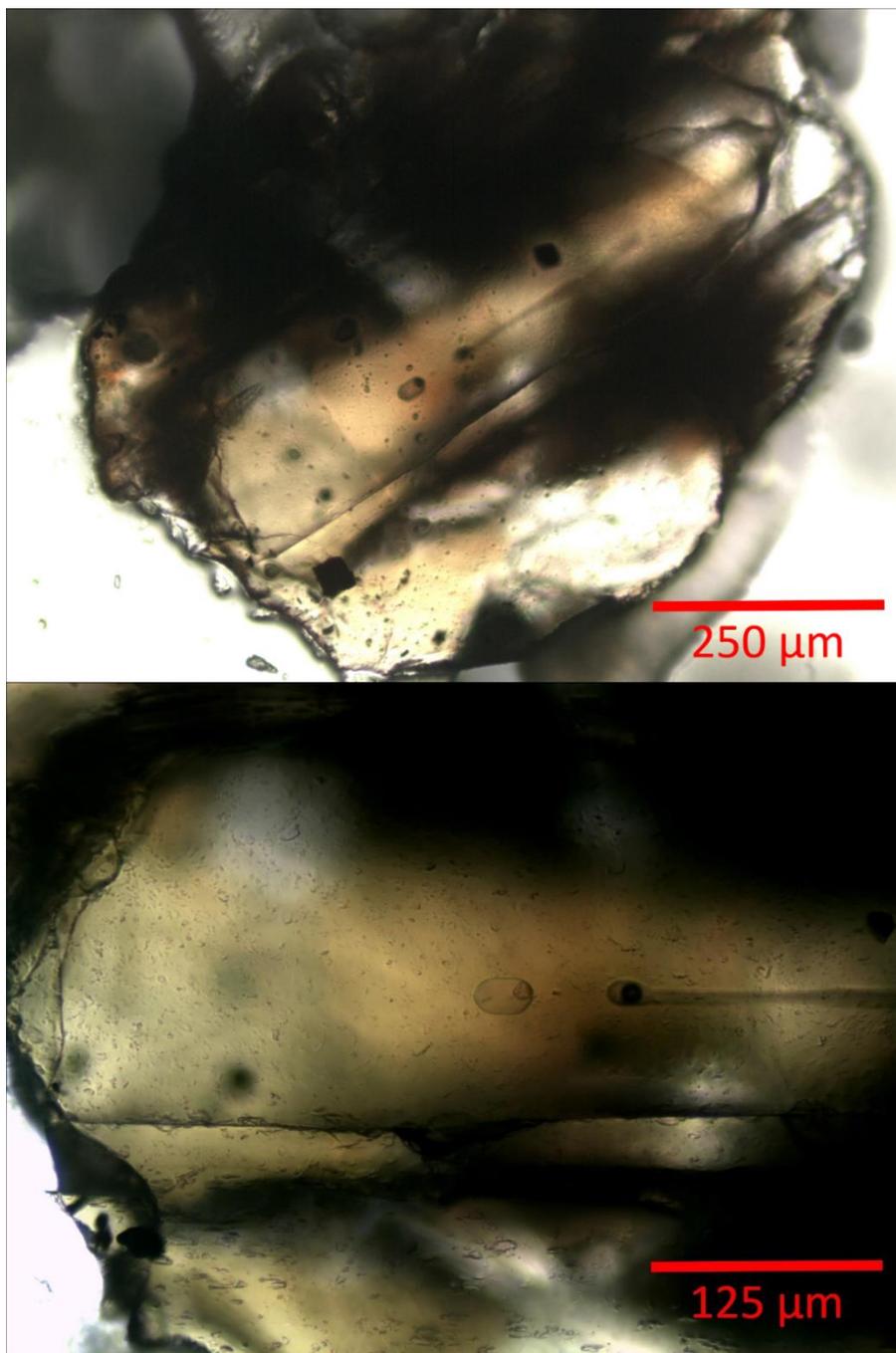


Figura 55: Cristal de olivino D2

SL-02E (Plagioclasa)

Cristal 2: plagioclasa con pocas inclusiones vítreas y muchas inclusiones minerales y de Fe-Ti. Las vítreas presentan una RBI de 0,17 y se encuentran tanto en el centro como en el borde del cristal, no presentan mineral atrapado.

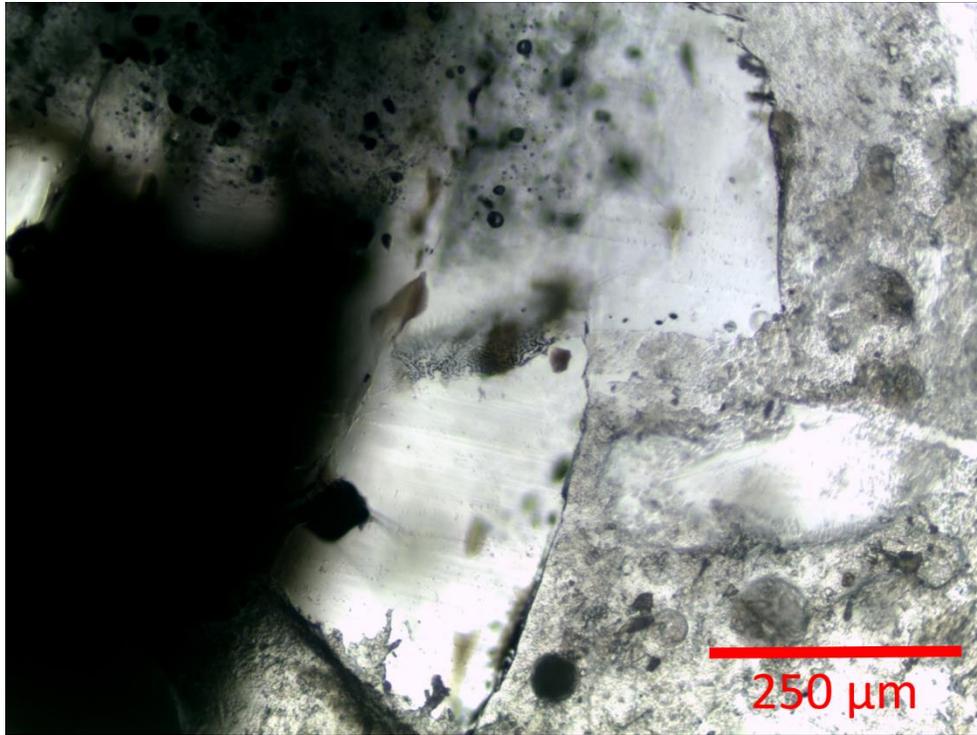


Figura 56: Cristal de plagioclasa E2

Cristal 3: plagioclasa con textura sieve y unas pocas inclusiones de Fe-Ti y vítreas, estas presentan una RBI de 0,21 y se encuentran en el centro y el borde del cristal. No se observan inclusiones minerales, no presentan mineral atrapado.

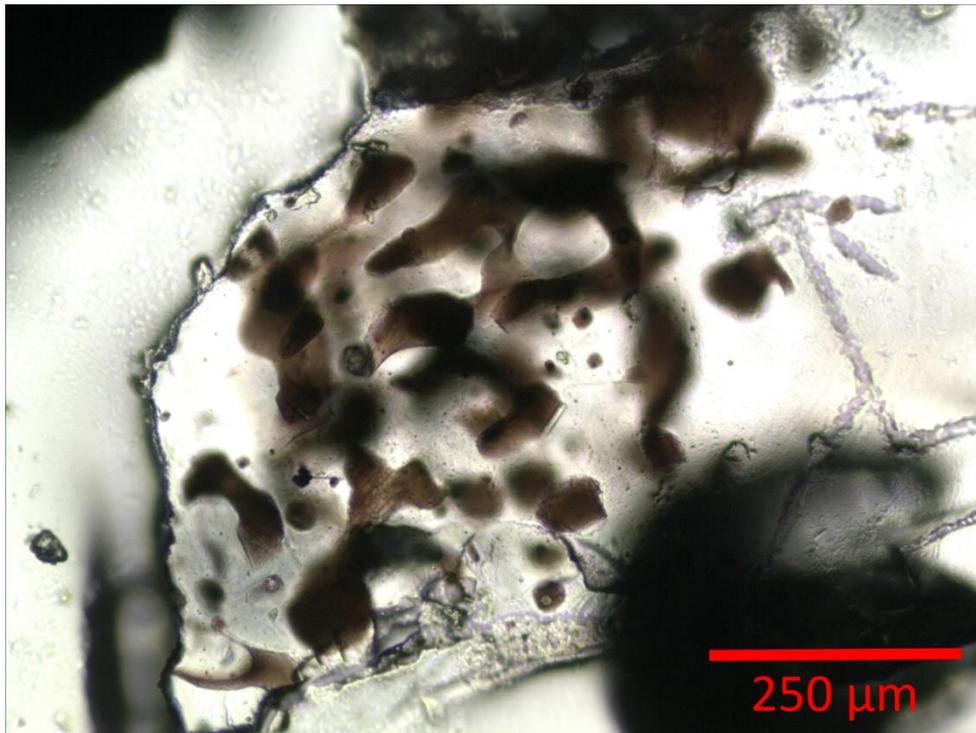


Figura 57: Cristal de plagioclasa E3

Cristal 5: plagioclasa con dos inclusiones vítreas grandes y cuatro inclusiones vítreas pequeñas, todas presentan una RBI de 0,22 y ocurren en todo el cristal. No se observan inclusiones minerales y de Fe-Ti, no presentan mineral atrapado.

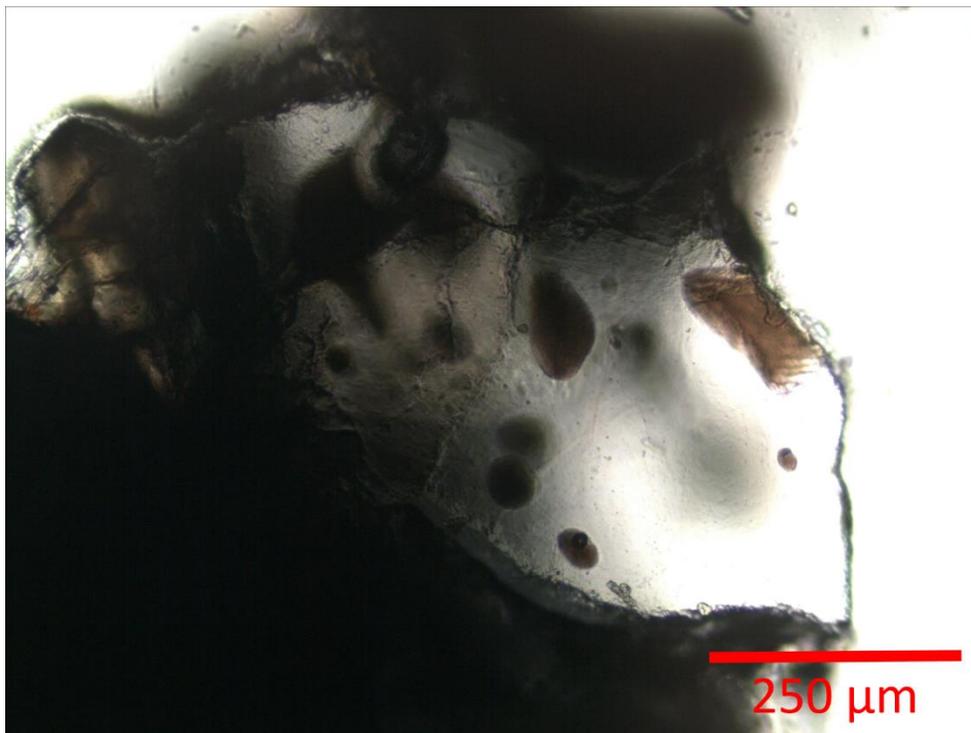


Figura 58: Cristal de plagioclasa E5

SL-02F (Plagioclasa)

Cristal 1: plagioclasa con inclusiones de olivino y fluorapatita, presenta una inclusión vítrea pequeña con una RBI de 0,18, no presenta mineral atrapado.



Figura 59: Cristal de plagioclasa F1

SL-02G (Olivino)

Cristal 1: Olivino con muchas inclusiones minerales y de Fe-Ti, y pocas inclusiones vítreas, estas son pequeñas y presentan un RBI de 0,25. No se logra ver una distribución de centro a borde en el cristal, presentan mineral atrapado.

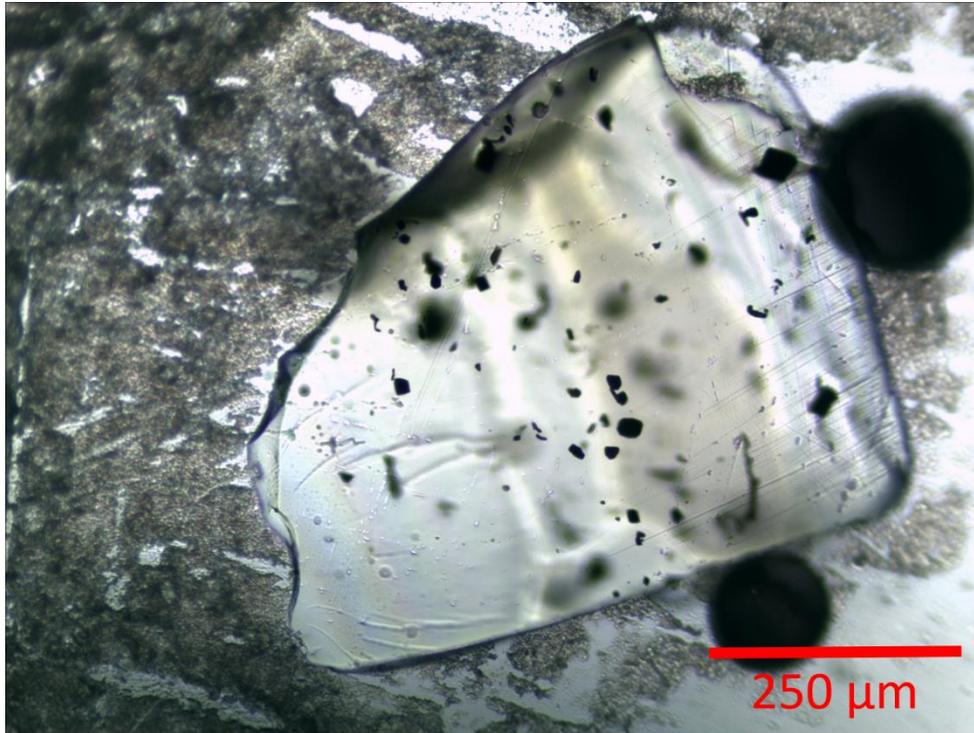


Figura 60: Cristal de olivino G1

Cristal 2: olivino con una inclusión vítrea aparentemente homogénea e inclusiones de Fe-Ti, la inclusión vítrea presenta una RBI de 0,24. No se observan inclusiones minerales ni se logra ver una distribución de centro a borde en el cristal, presenta mineral atrapado.

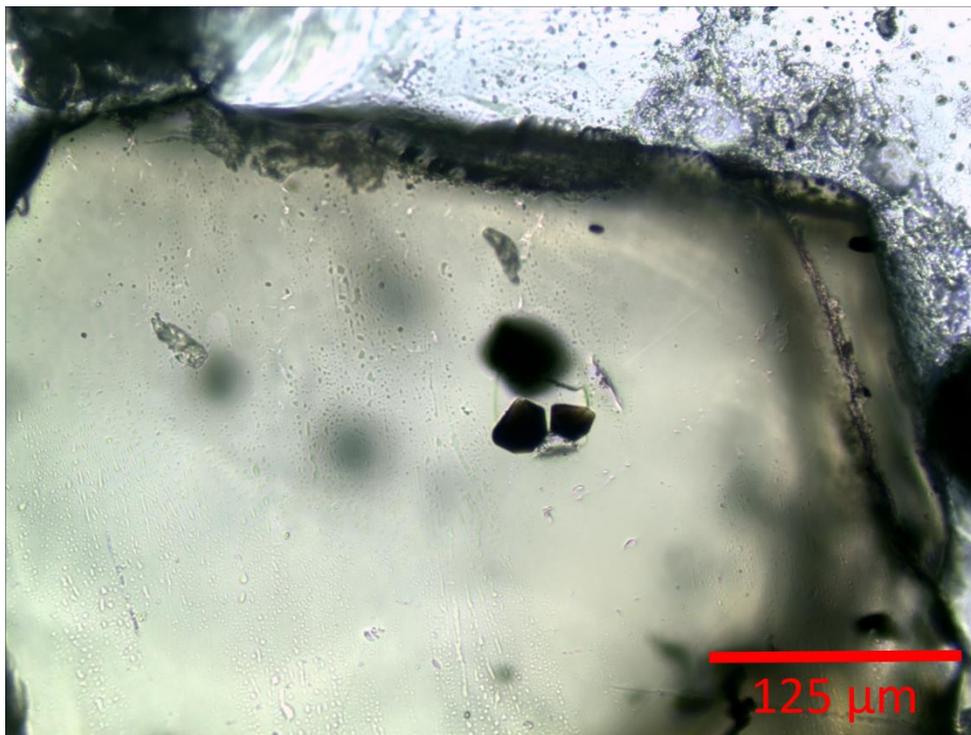


Figura 61: Cristal de Olivino G2

Anexo B: Puntos medidos en Microsonda Electrónica

En esta sección se adjuntan las imágenes de cristales en corte transparente y montaje, obtenidas mediante EMPA. El código de cada imagen se corresponde con la columna “Nombre original” en el anexo C.

B.1 Olivino

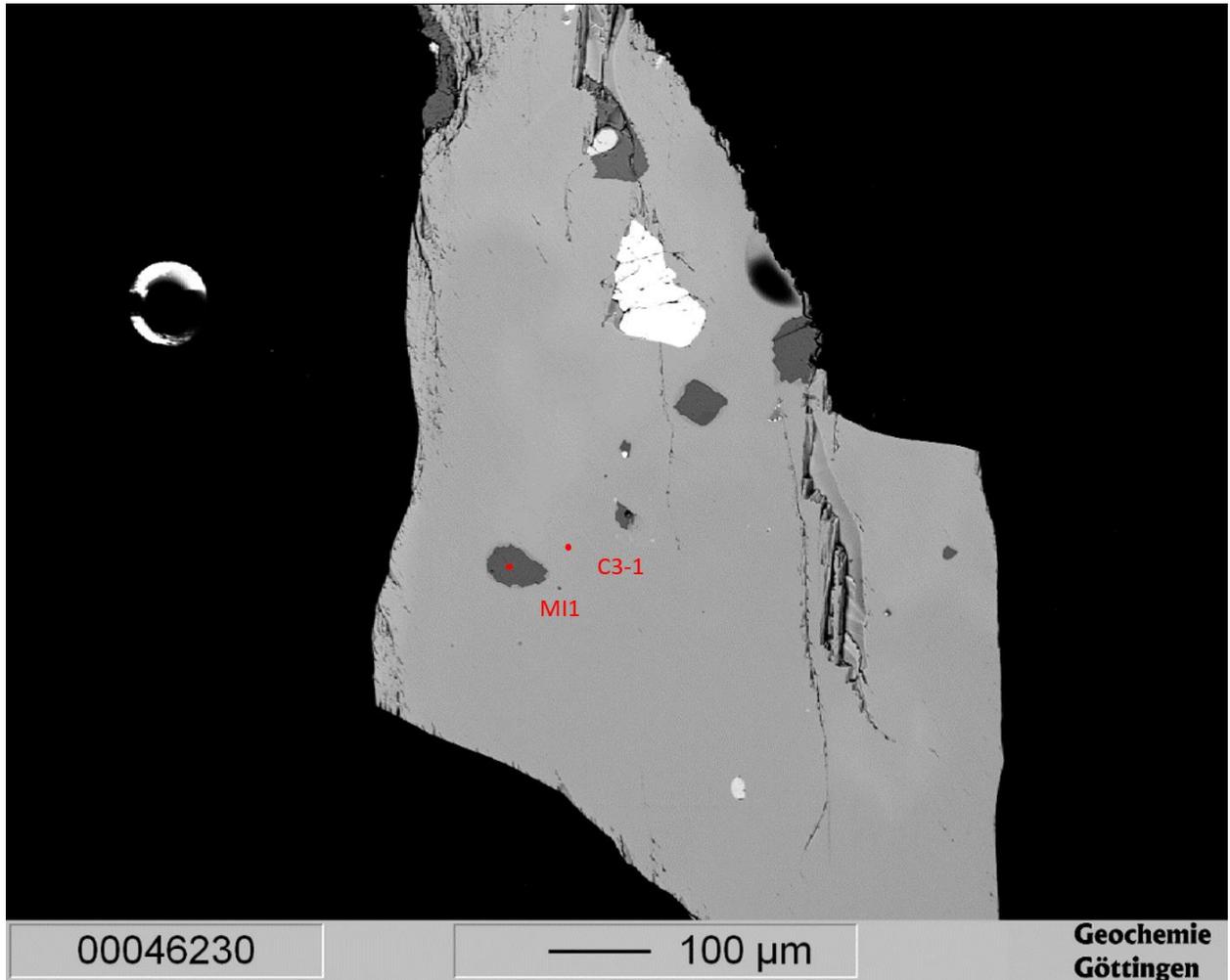


Figura 62: Imagen en EMPA del cristal C3

Fenocristal de forsterita, composición $\text{Fo}_{78}\text{Fa}_{22}$, atrapa una inclusión vítrea (MI1, riolítica) y lo que parece ser óxidos de Fe-Ti.

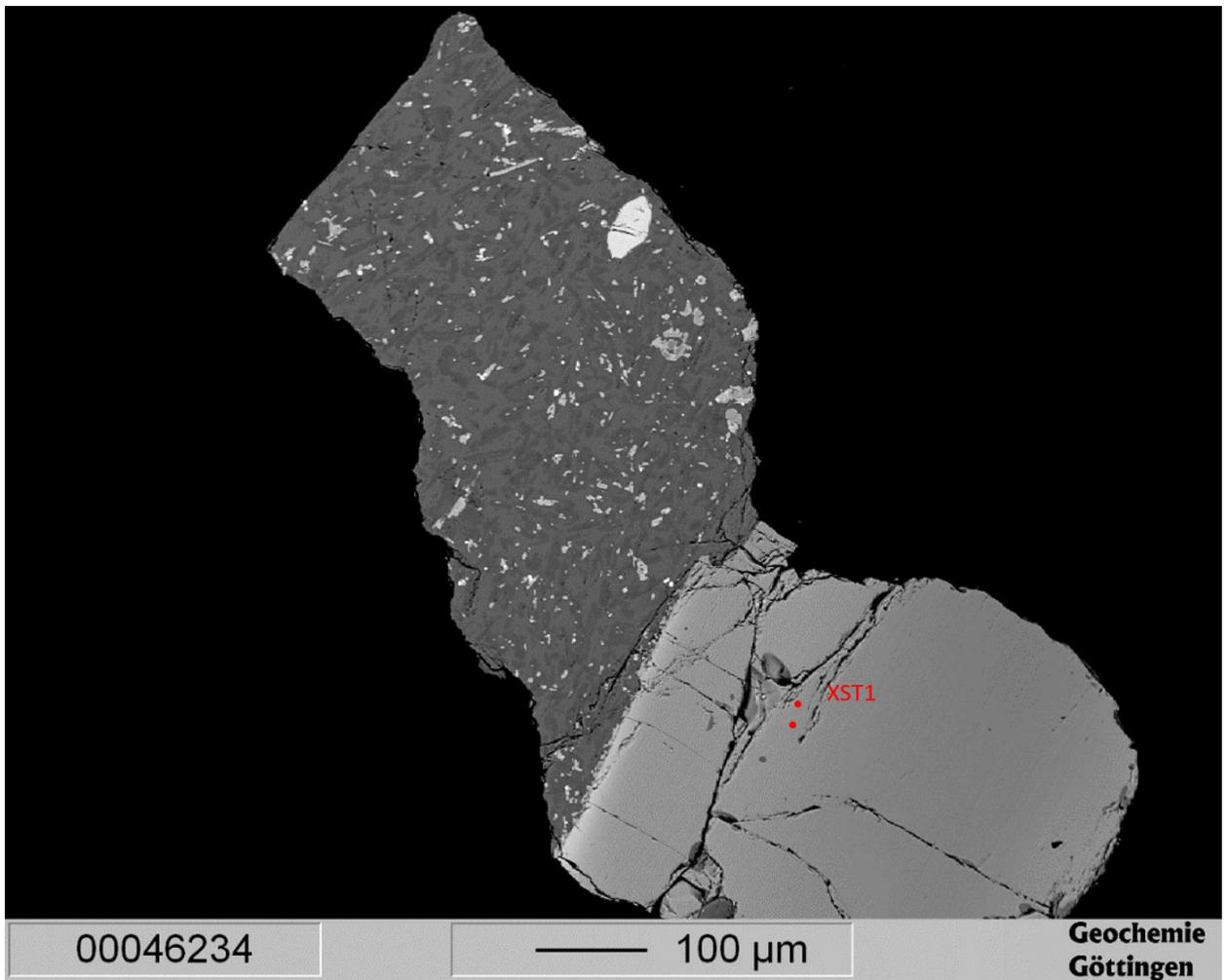


Figura 63: Imagen en EMPA del cristal D1

Fenocristal de forsterita, composición $\text{Fo}_{78}\text{Fa}_{22}$.

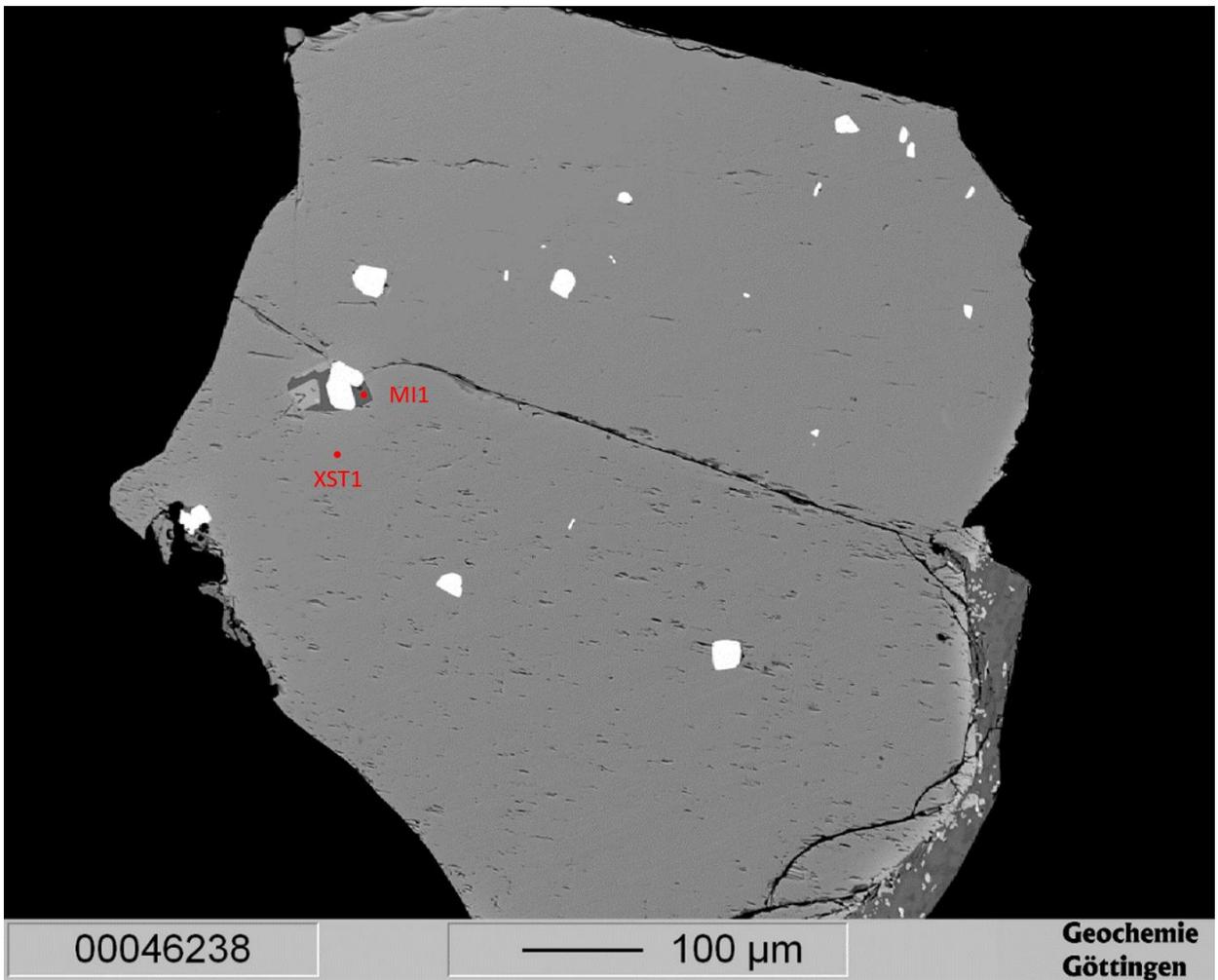


Figura 64: Imagen en EMPA del cristal D2

Fenocristal de forsterita composición $\text{Fo}_{83}\text{Fa}_{17}$, atrapa una inclusión vítrea (MI1, traquiandesítica) y lo que parecen ser óxidos de Fe-Ti.

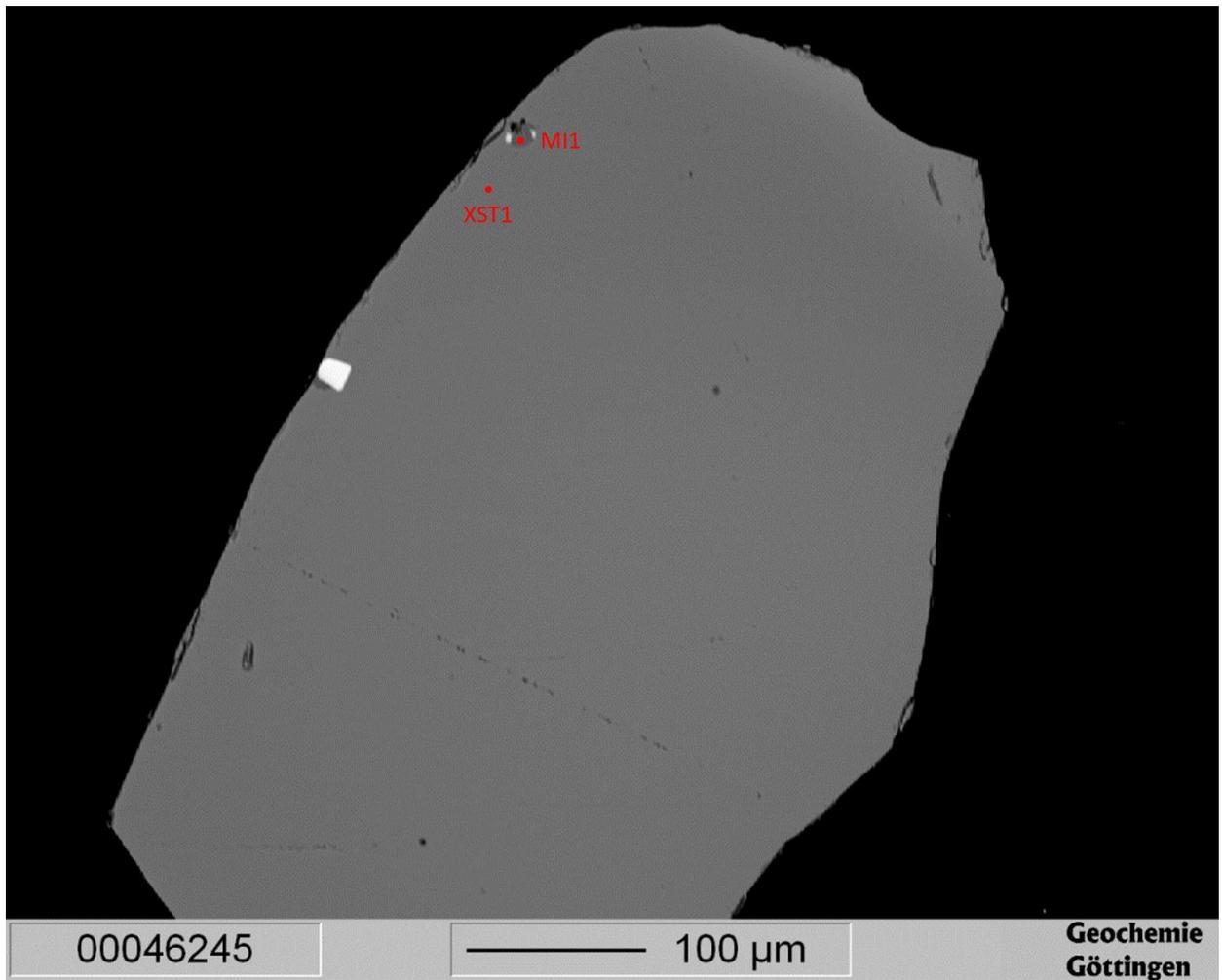


Figura 65: Imagen en EMPA del cristal G1

Fenocristal de forsterita, composición $\text{Fo}_{83}\text{Fa}_{17}$, atrapa una inclusión vítrea (MI1, traquiandesítica).

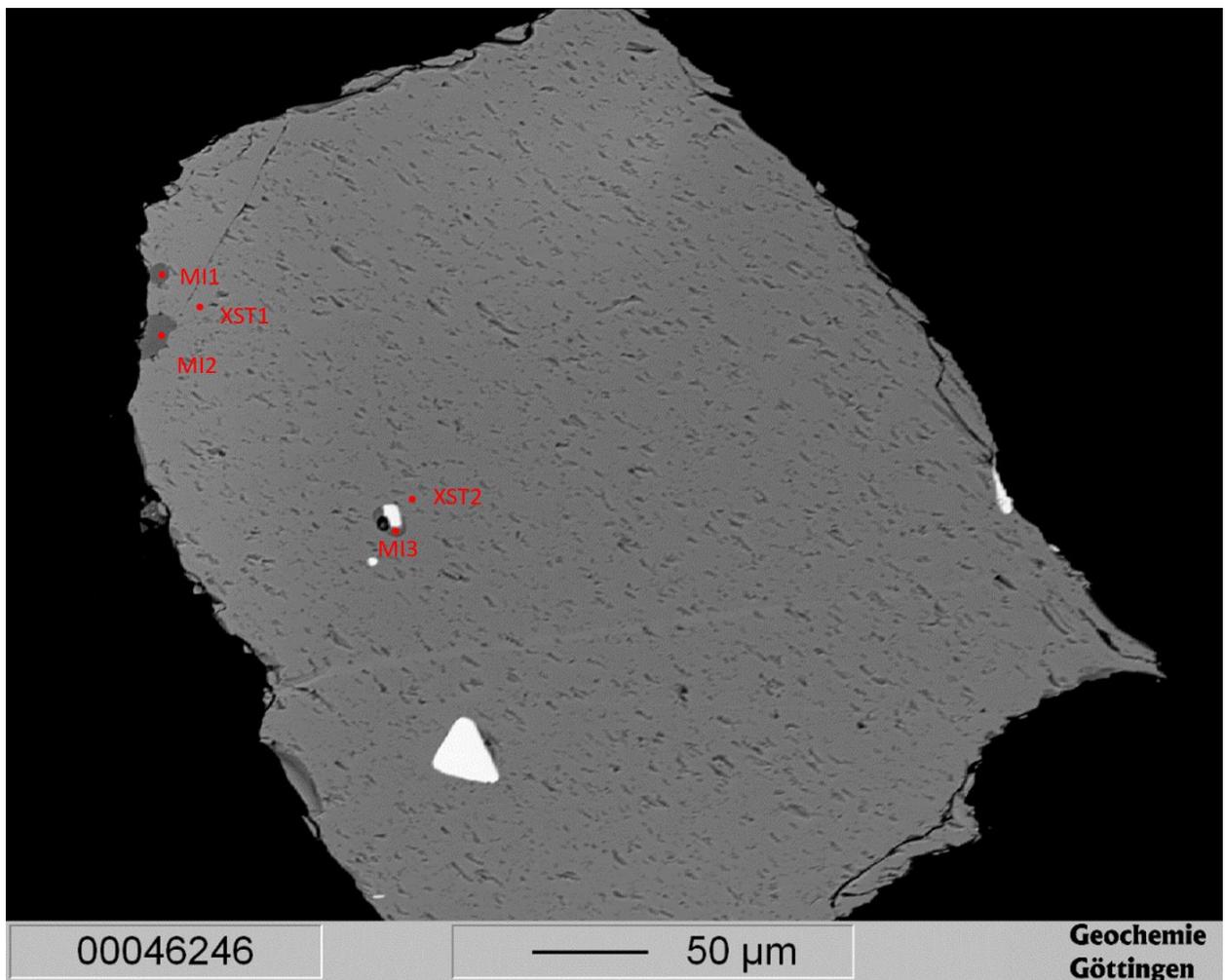


Figura 66: Imagen en EMPA del cristal G2

Fenocristal de forsterita, composición variable entre $\text{Fo}_{82}\text{Fa}_{18}$ y $\text{Fo}_{78}\text{Fa}_{22}$ en lo que parece ser una zonación normal, atrapa 3 inclusiones vítreas (MI1 dacítica, MI2 descartada porque no cerró bien en la microsonda, MI3 traqui-andesítica basáltica) y lo que parecen ser óxidos de Fe-Ti.

B.2 Piroxeno

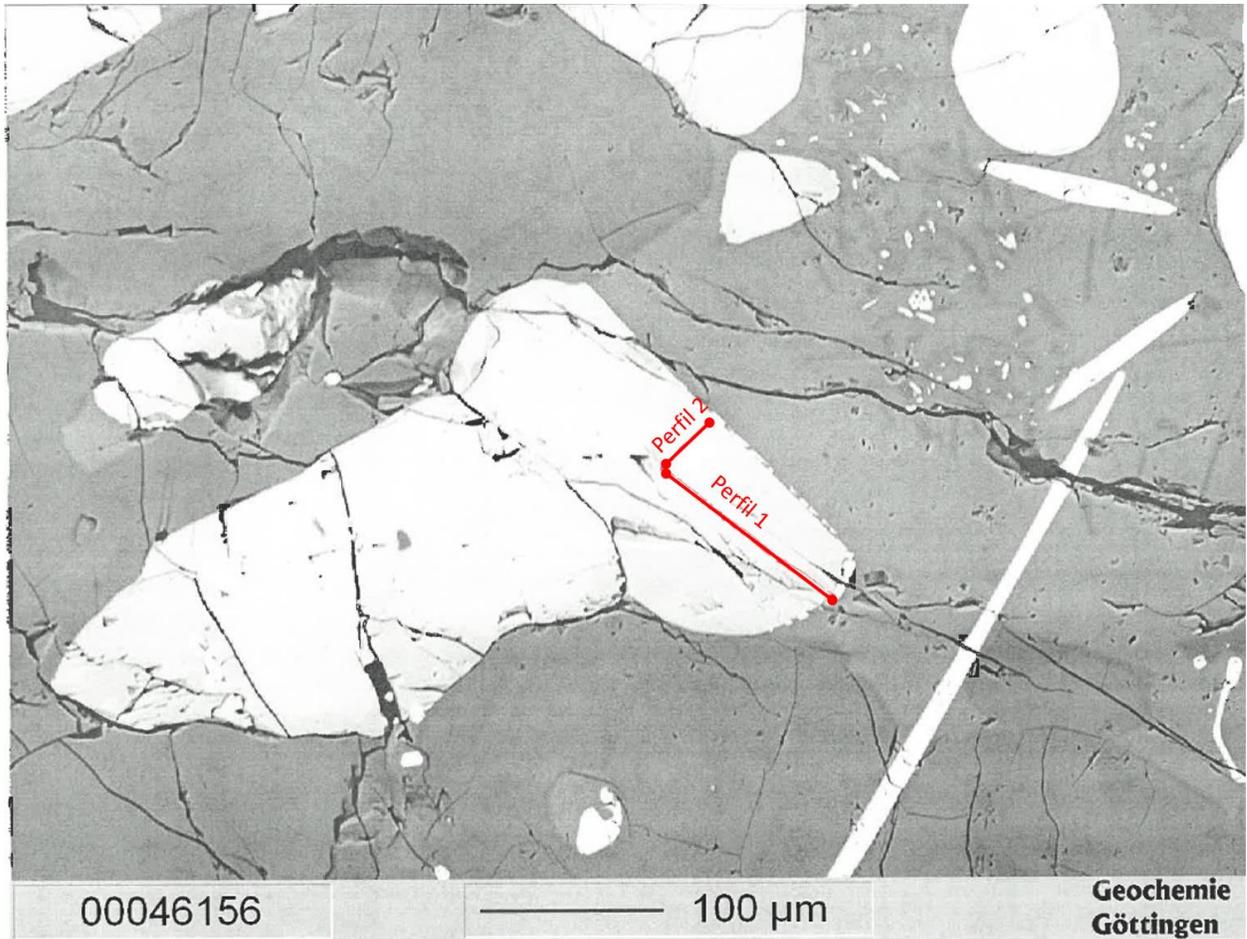


Figura 67: Imagen en EMPA del cristal Cpx 1 de la muestra SL-01

Fenocristal de augita, composición poco variable entre $Wo_{41}En_{39}Fs_{20}$ y $Wo_{40}En_{38}Fs_{22}$, presenta borde de reabsorción.

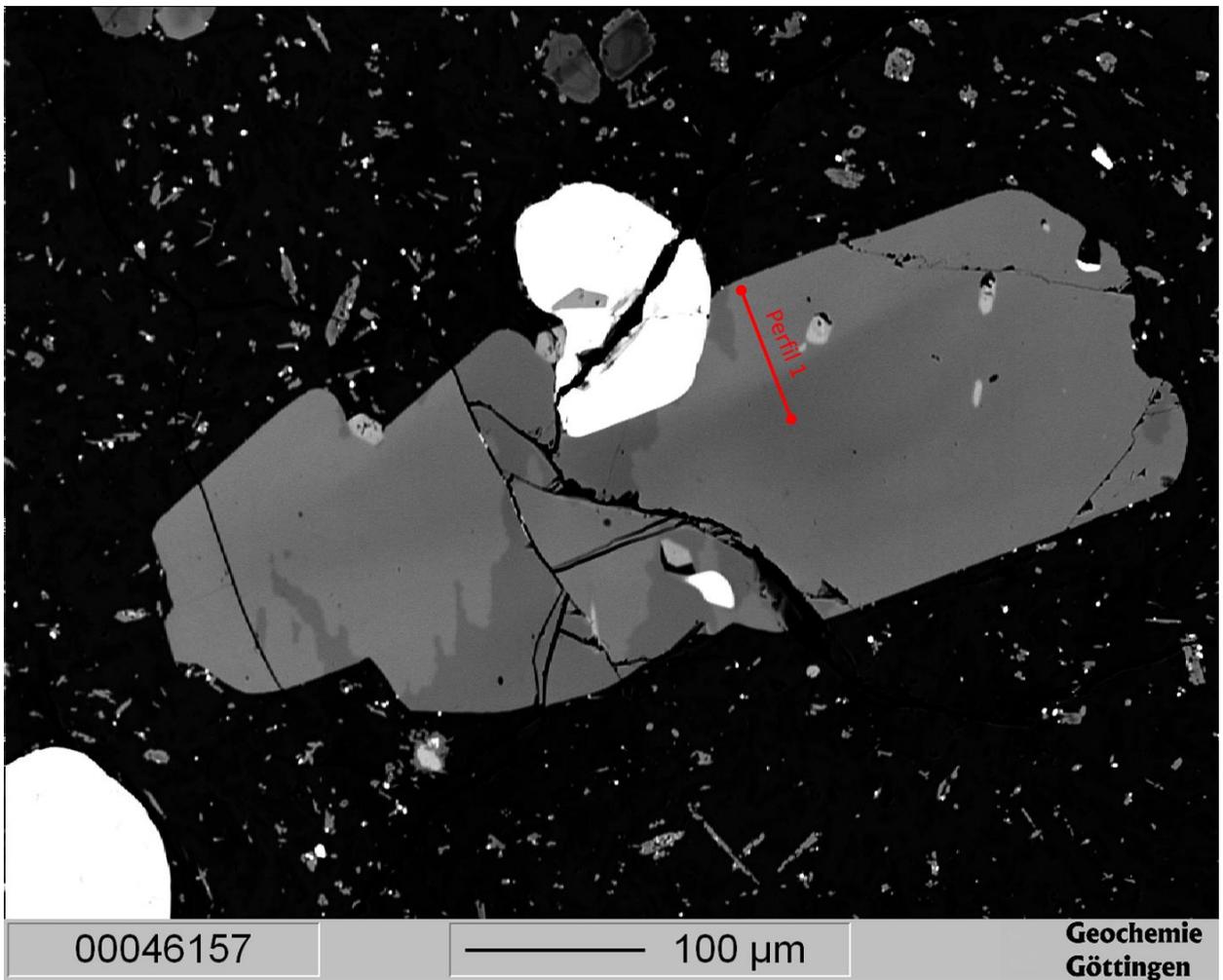


Figura 68: Imagen en EMPA del Opx 1 de la muestra SL-01

Fenocristal de clino-enstatita, composición $Wo_3En_{60}Fs_{37}$ en el centro a $Wo_3En_{56}Fs_{41}$ en el borde, en lo que parece ser una zonación, parece estar atrapando óxidos de Fe-Ti.

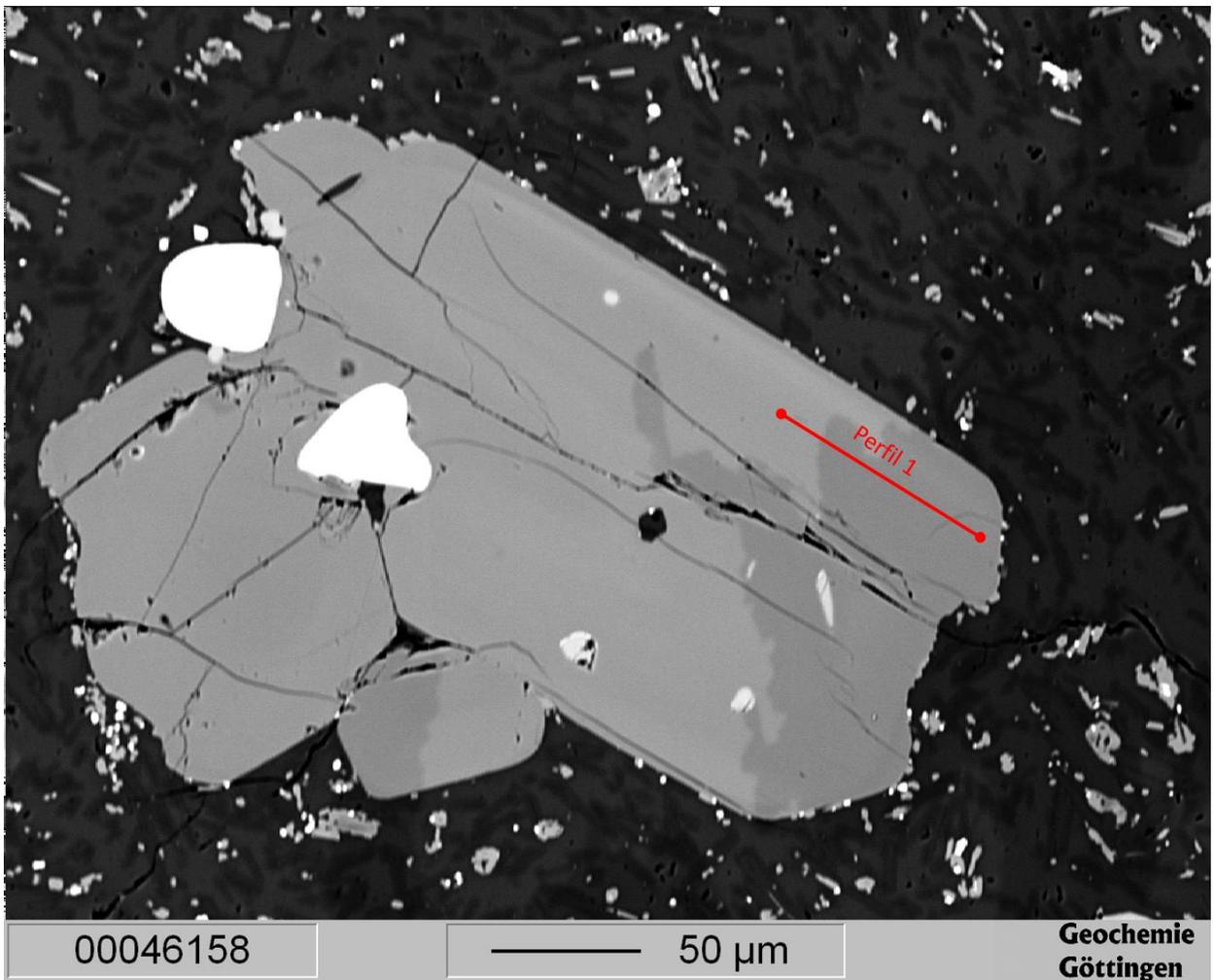


Figura 69: Imagen en EMPA del cristal Cpx 2 de la muestra SL-01

Fenocristal de augita, composición poco variable entre $\text{Wo}_{40}\text{En}_{38}\text{Fs}_{22}$ y $\text{Wo}_{41}\text{En}_{38}\text{Fs}_{21}$.

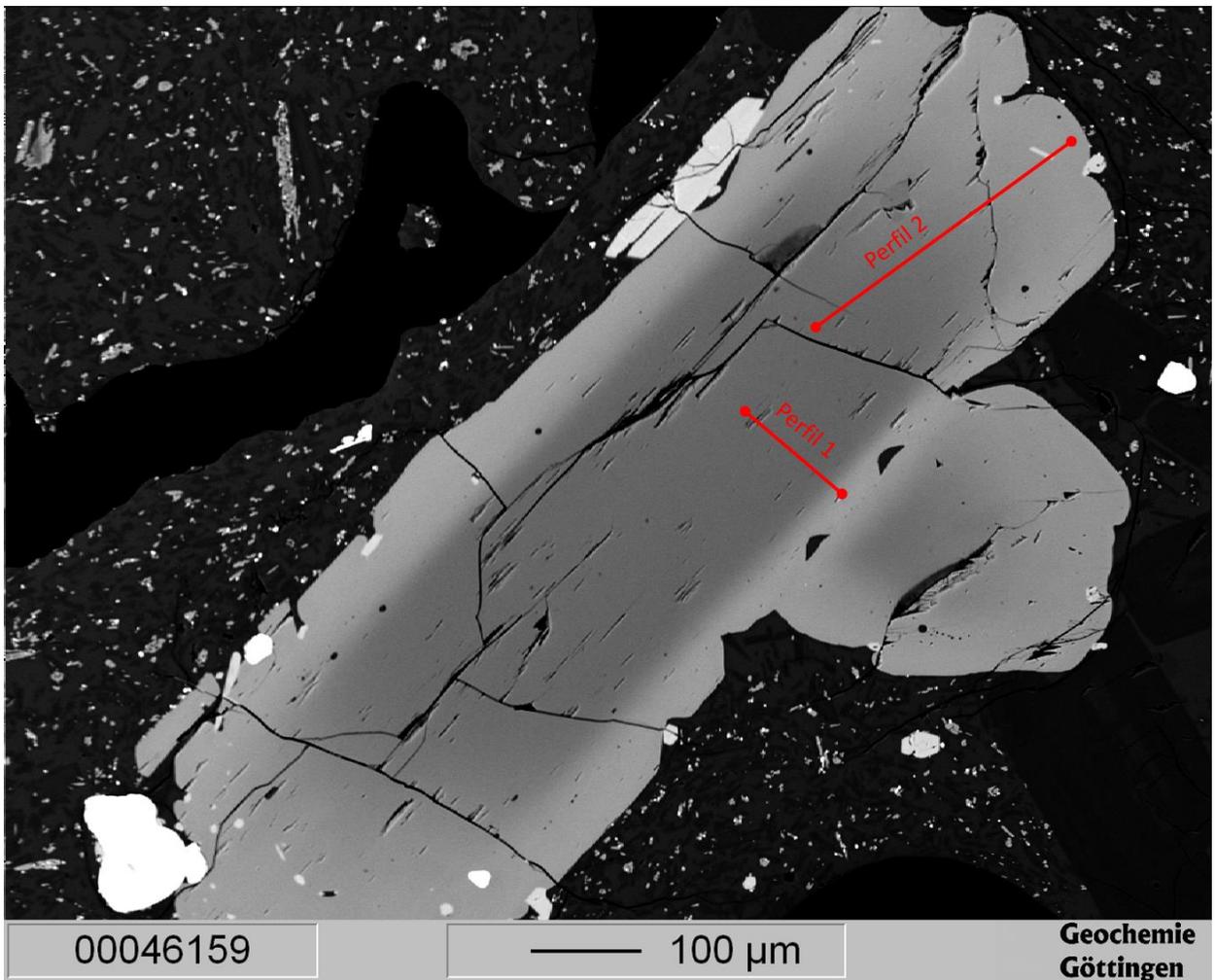


Figura 70: Imagen en EMPA del cristal Opx 2 de la muestra SL-01

Fenocristal de clino-enstatita zonada, composición $Wo_4En_{68}Fs_{28}$ en el centro a $Wo_3En_{56}Fs_{41}$ en el borde.

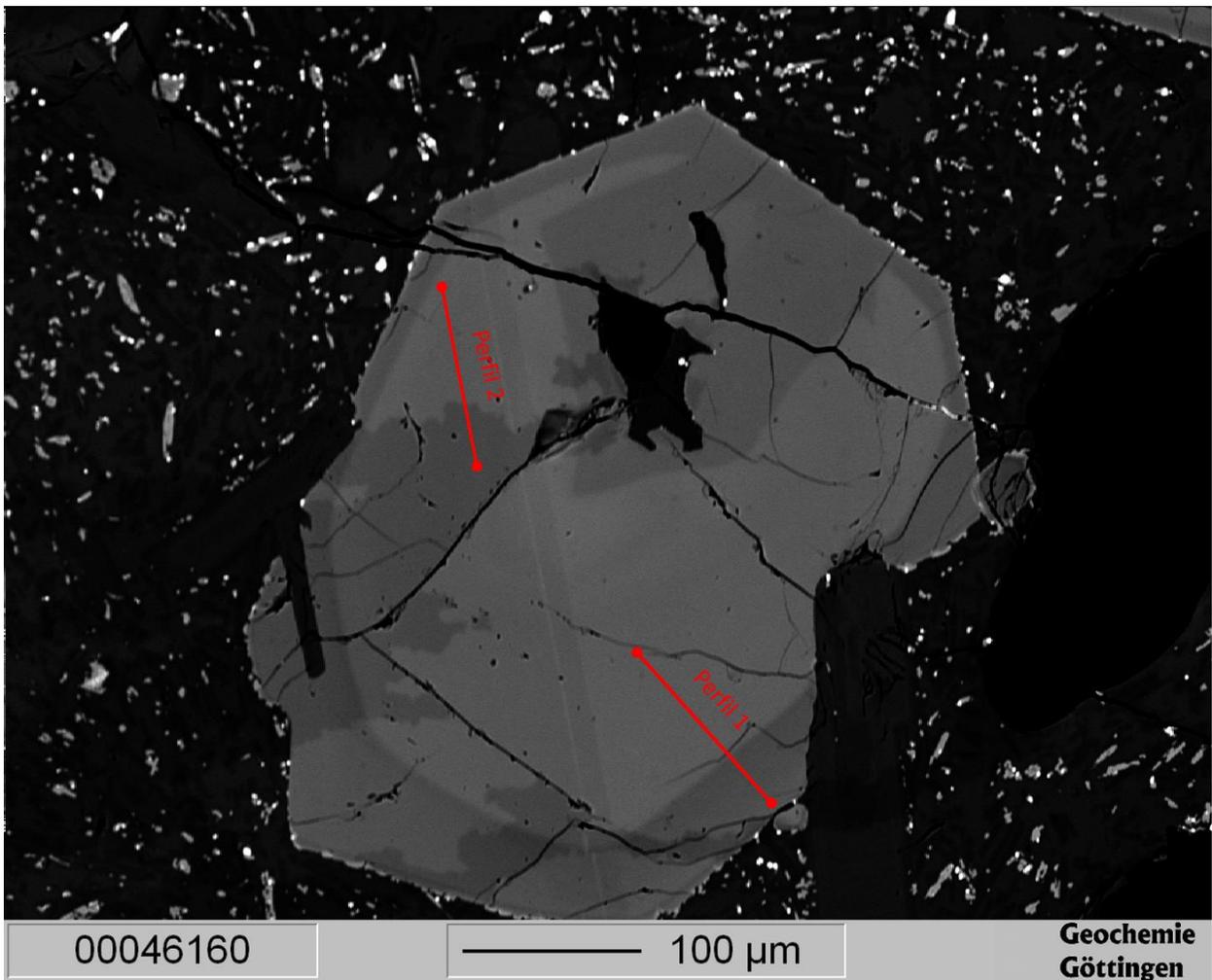


Figura 71: Imagen en EMPA del cristal Cpx 3 de la muestra SL-01

Fenocristal de augita, composición levemente restringida entre $Wo_{42}En_{45}Fs_{13}$ y $Wo_{42}En_{44}Fs_{14}$, parece presentar una zonación en la microfotografía, pero no se refleja en las composiciones. A la izquierda se ve que atrapa lo que sería un cristal de fluorapatito (largo y negro).

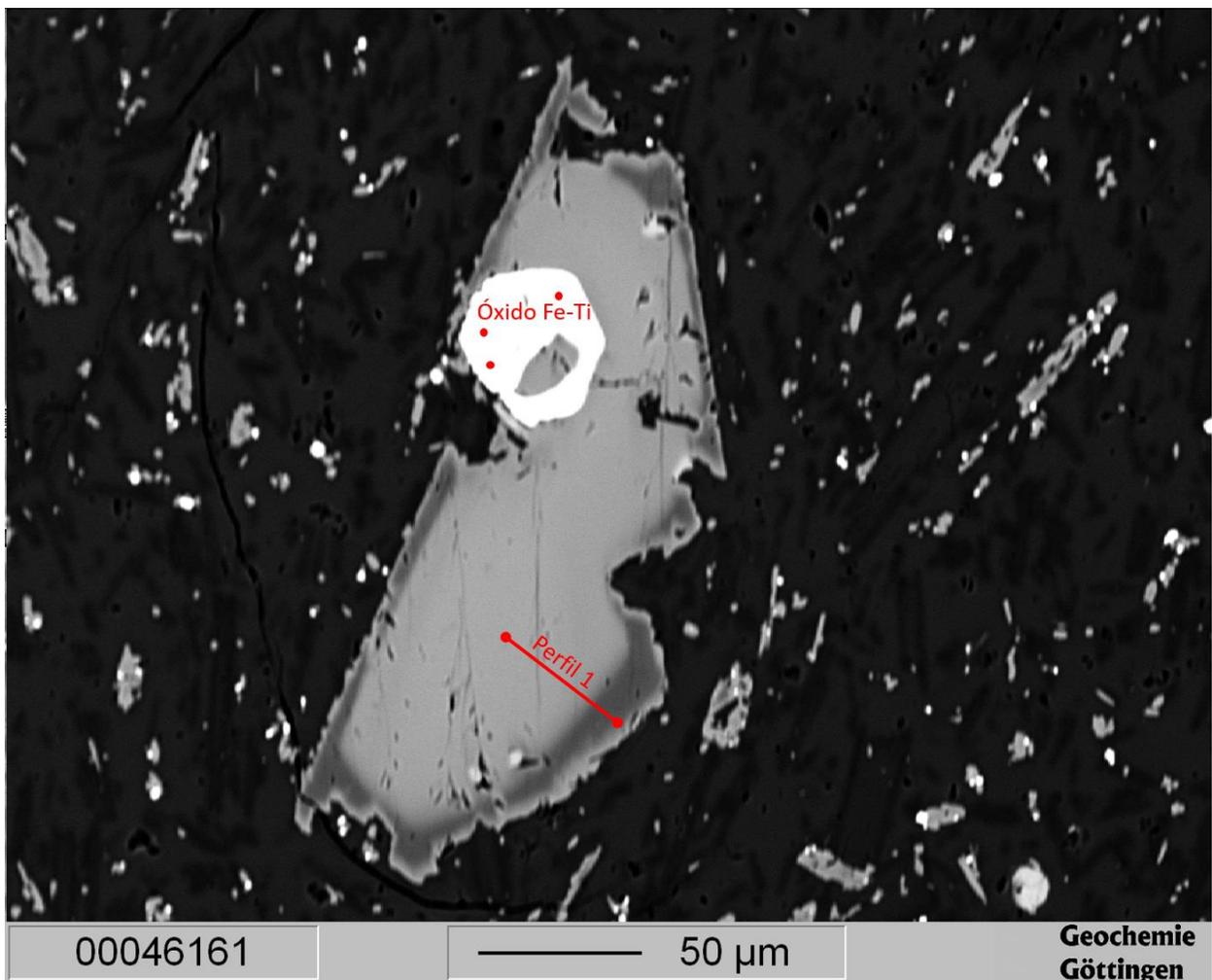


Figura 72: Imagen en EMPA del cristal Opx 3 de la muestra SL-02

Microfenocristal de clino-enstatita zonada, composiciones entre $Wo_3En_{55}Fs_{42}$ en el centro y $Wo_3En_{61}Fs_{35}$ en el borde, presenta un borde de reabsorción y un cristal de titanomagnetita atrapado.

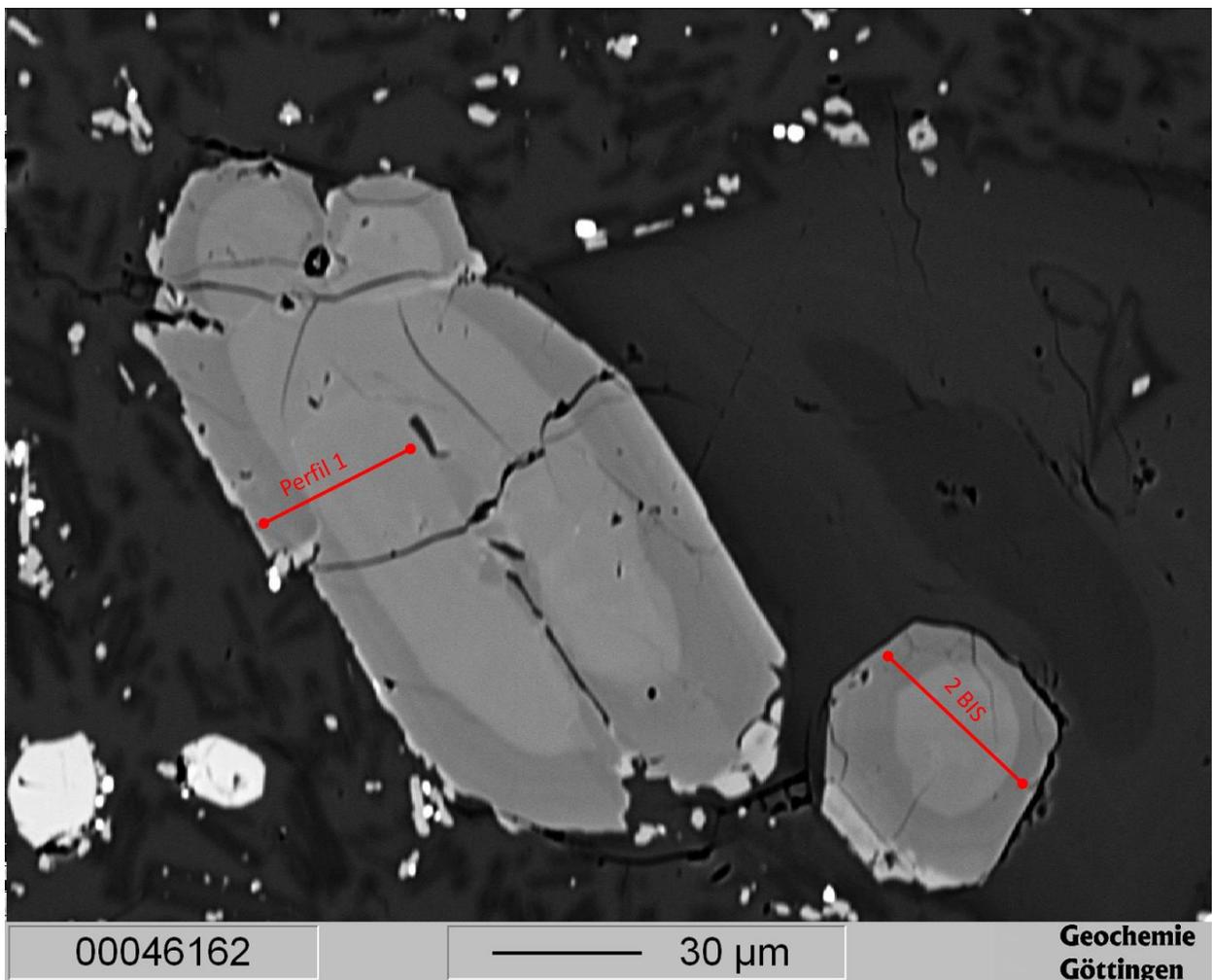


Figura 73: Imagen en EMPA de los cristales Cpx 4 y 5 de la muestra SL-02

Microfenocristales de augita, el de la izquierda presenta composiciones entre $Wo_{42}En_{43}Fs_{15}$ en el centro y $Wo_{40}En_{48}Fs_{12}$ en el borde. El de la derecha presenta composiciones entre $Wo_{41}En_{44}Fs_{15}$ en el centro y $Wo_{41}En_{48}Fs_{11}$ en el borde.

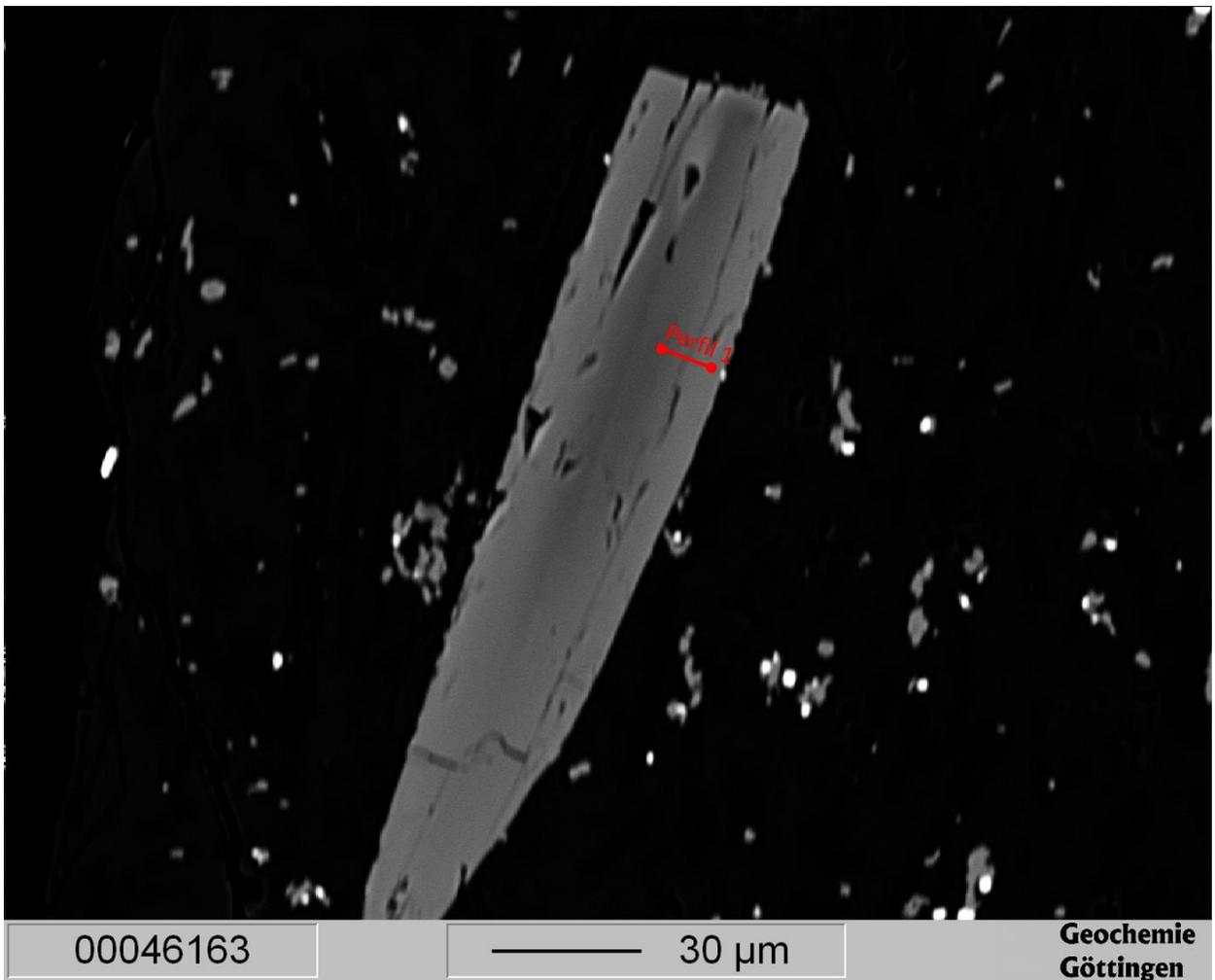


Figura 74: Imagen en EMPA del cristal Opx 4 de la muestra SL-02

Microfenocrystal de clino-enstatita, composición levemente variable entre $Wo_4En_{59}Fs_{37}$ y $Wo_4En_{62}Fs_{34}$.

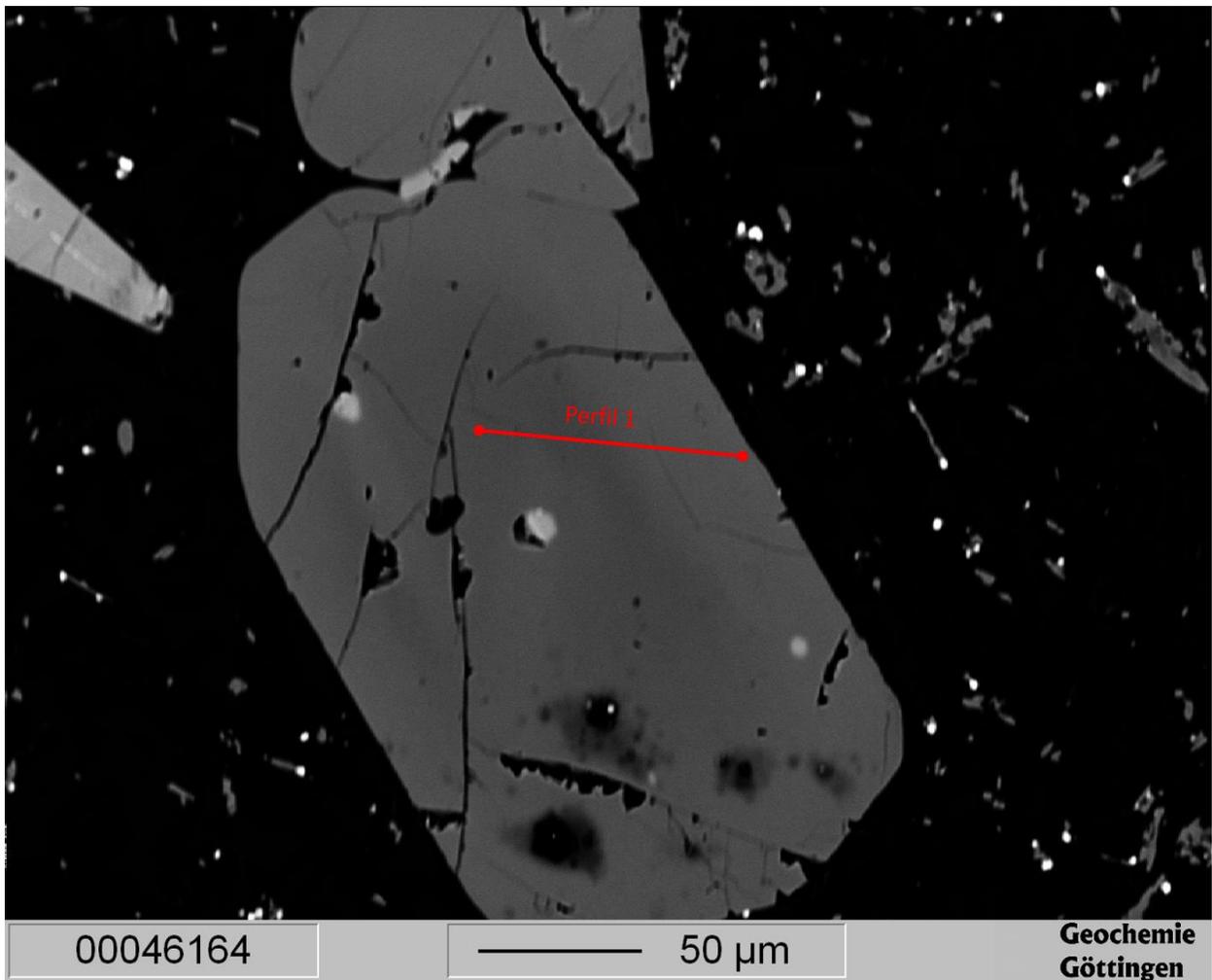


Figura 75: Imagen en EMPA del cristal Opx 5 de la muestra SL-02

Microfenocristal de clino-enstatita, composición entre $\text{Wo}_3\text{En}_{59}\text{Fs}_{38}$ en el centro a $\text{Wo}_3\text{En}_{55}\text{Fs}_{42}$ en el borde.

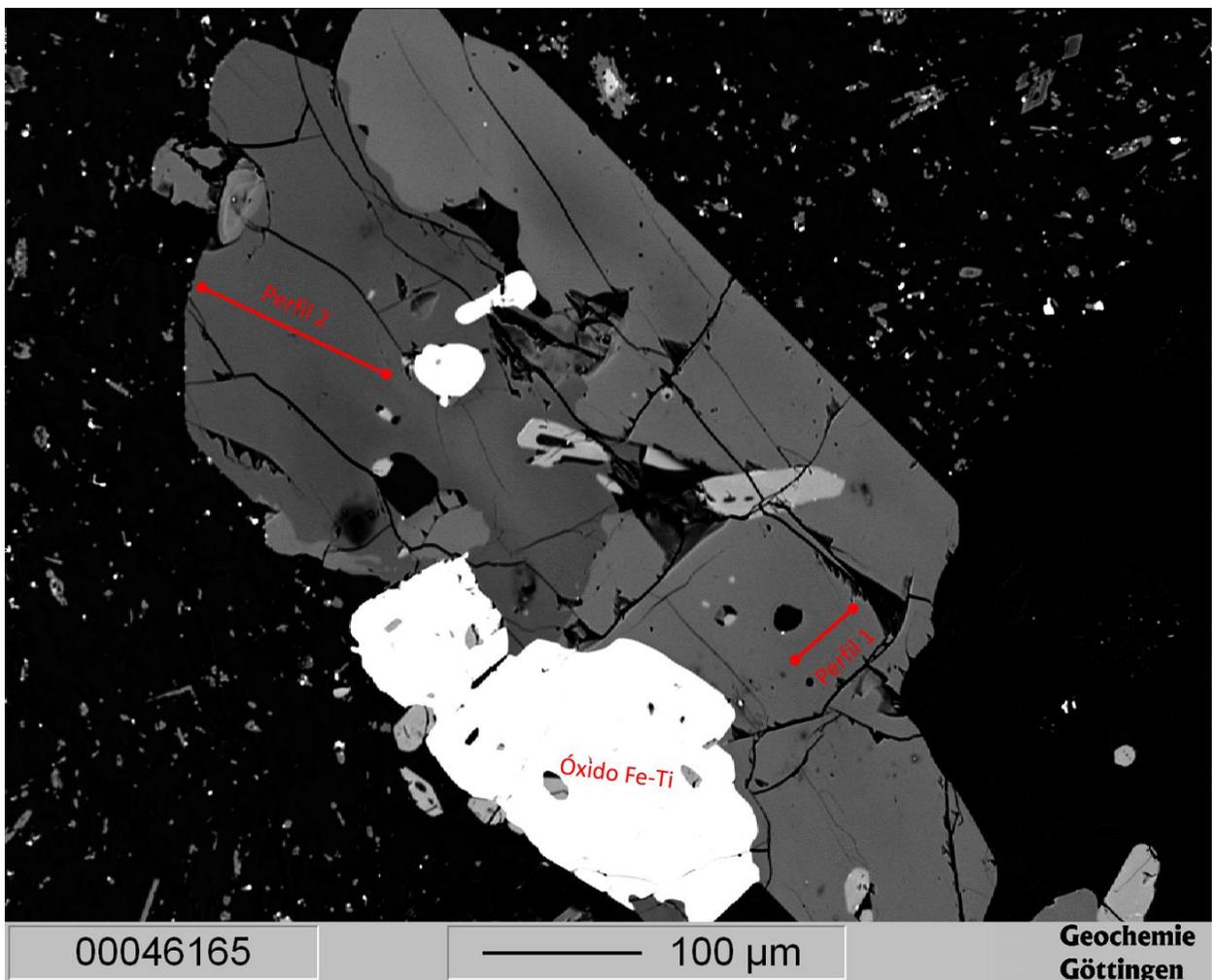


Figura 76: Imagen en EMPA de los cristales Opx 6 y Cpx 6 de la muestra SL-02

Izquierda: fenocristal de clino-enstatita, composición levemente variable entre $Wo_3En_{59}Fs_{38}$ y $Wo_3En_{57}Fs_{40}$

Derecha: fenocristal de augita, composición levemente variable entre $Wo_{41}En_{38}Fs_{21}$ y $Wo_{41}En_{39}Fs_{20}$, encerrando un óxido de Fe-Ti.

B.3 Plagioclasa

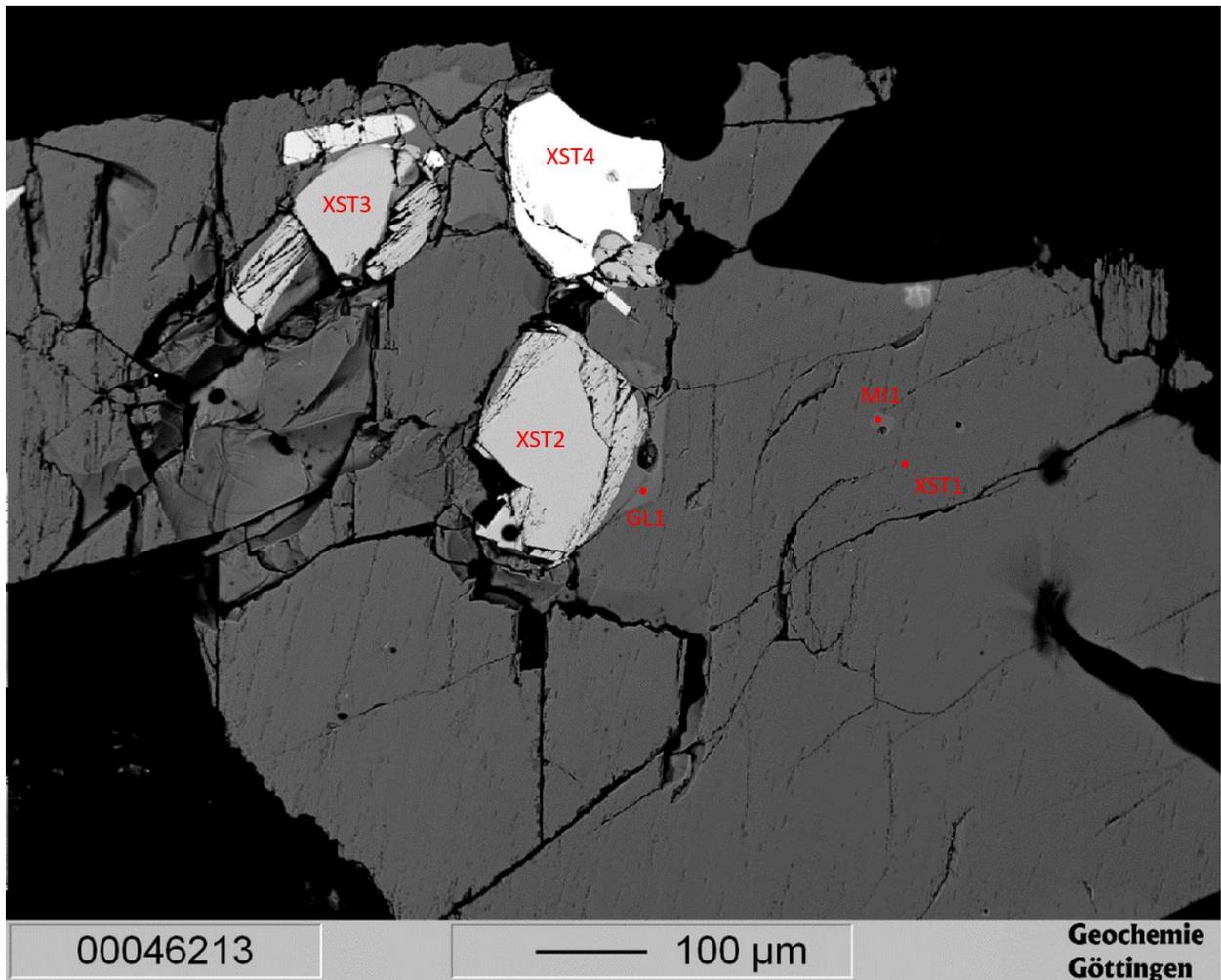


Figura 77: Imagen en EMPA del cristal A4

Fenocristal de andesina, composición $An_{36}Ab_{61}Or_3$ con dos inclusiones vítreas (MI1 y GL1, ambas descartadas porque no cerraron bien en la microsonda), atrapa cristales de titanomagnetita (XST4) y enstatita de composiciones $Wo_3En_{55}Fs_{41}$ (XST2) y $Wo_3En_{56}Fs_{41}$ (XST3).

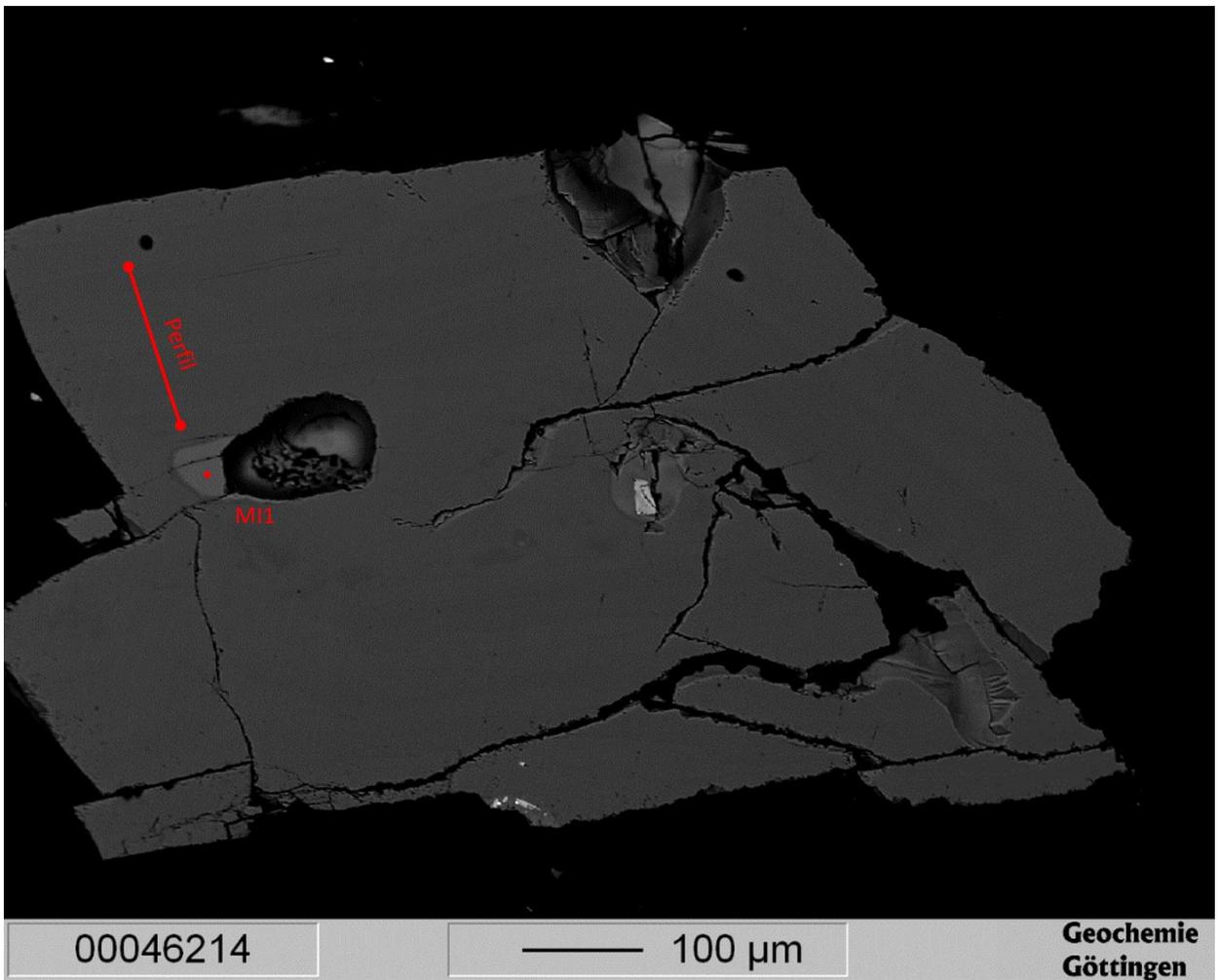


Figura 78: Imagen en EMPA del cristal A5

Fenocristal de andesina, composición levemente variable entre $An_{42}Ab_{56}Or_3$ y $An_{37}Ab_{60}Or_3$ con una inclusión vítrea (MI1, riolítica).

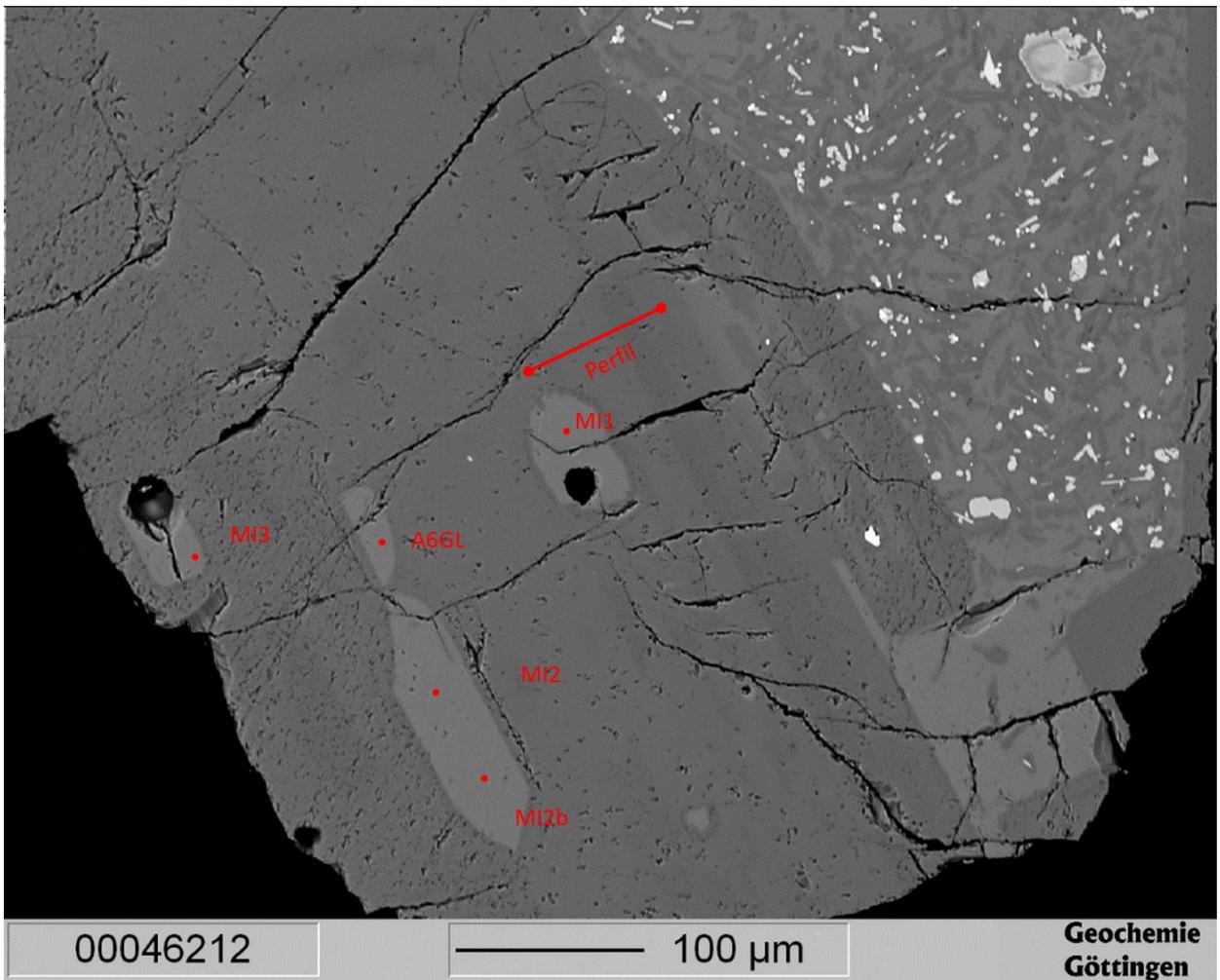


Figura 79: Imagen en EMPA del cristal A6

Fenocristal de andesina zonada, composición muy variable entre $An_{29}Ab_{67}Or_4$ y $An_{42}Ab_{56}Or_2$ con 5 inclusiones vítreas (MI1, MI2, MI2b, MI3, A6GI, todas riolíticas).

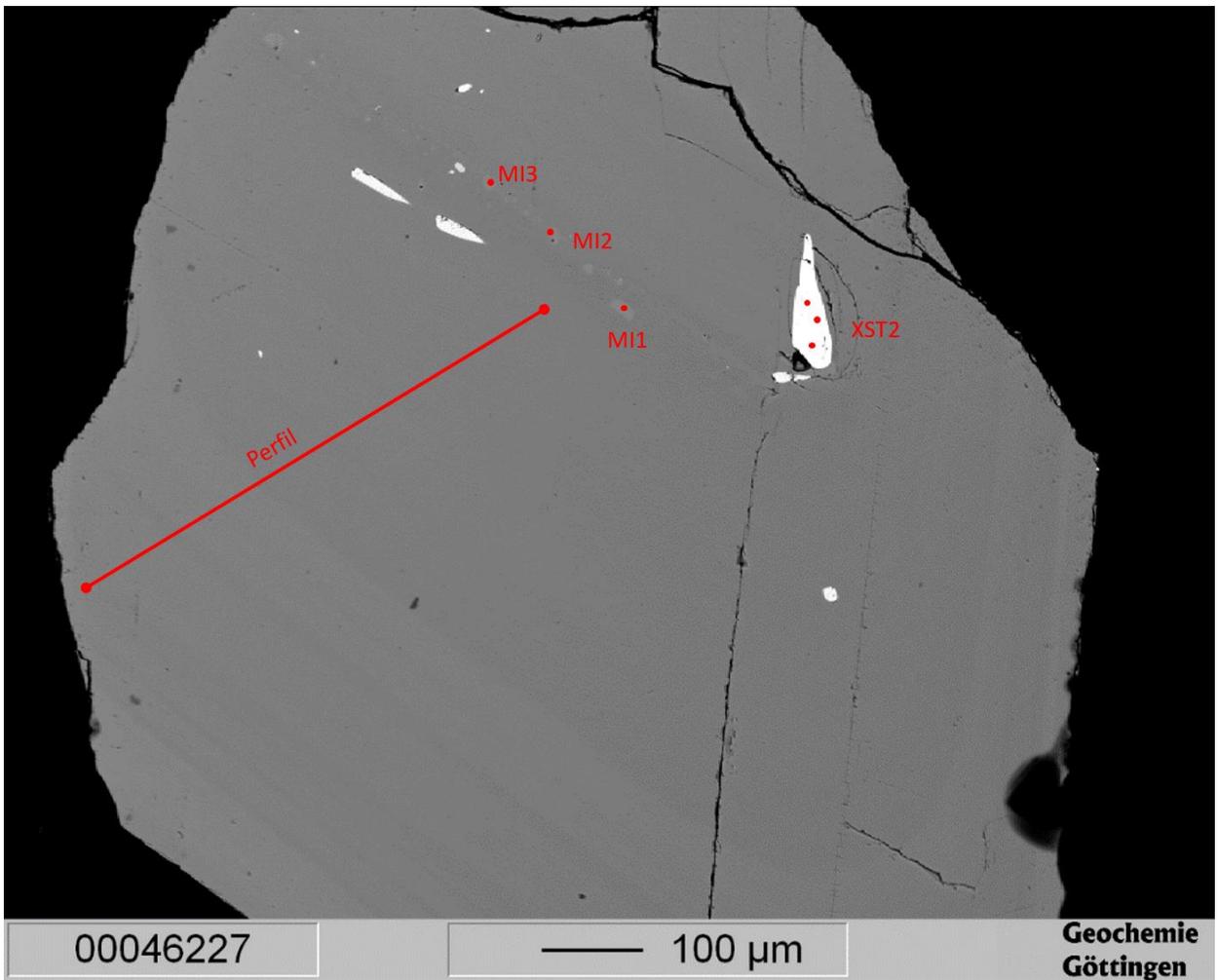


Figura 80: Imagen en EMPA del cristal B4

Fenocristal de andesina zonada, composición muy variable entre $An_{44}Ab_{54}Or_2$ y $An_{33}Ab_{64}Or_3$, con 3 inclusiones vítreas (MI1, MI2, MI3, todas riolíticas), atrapa un cristal de ilmenita (XST2).

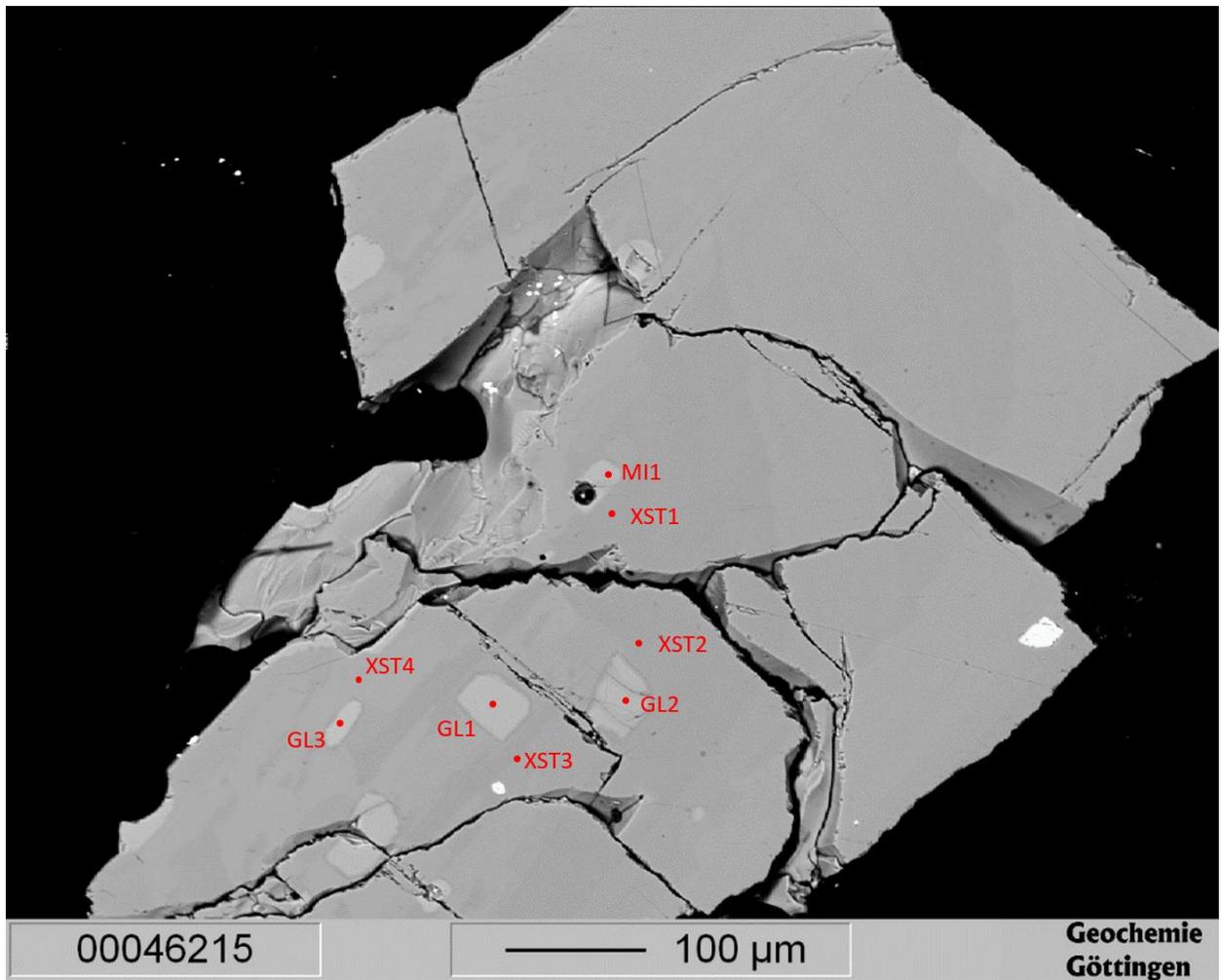


Figura 81: Imagen en EMPA del cristal E2

Fenocristal de andesina, composición variable entre $An_{36}Ab_{61}Or_3$ y $An_{45}Ab_{53}Or_2$, atrapa 4 inclusiones vítreas (MI1, GL1, GL2, GL3, todas riolíticas) y lo que parecen ser óxidos de Fe-Ti.

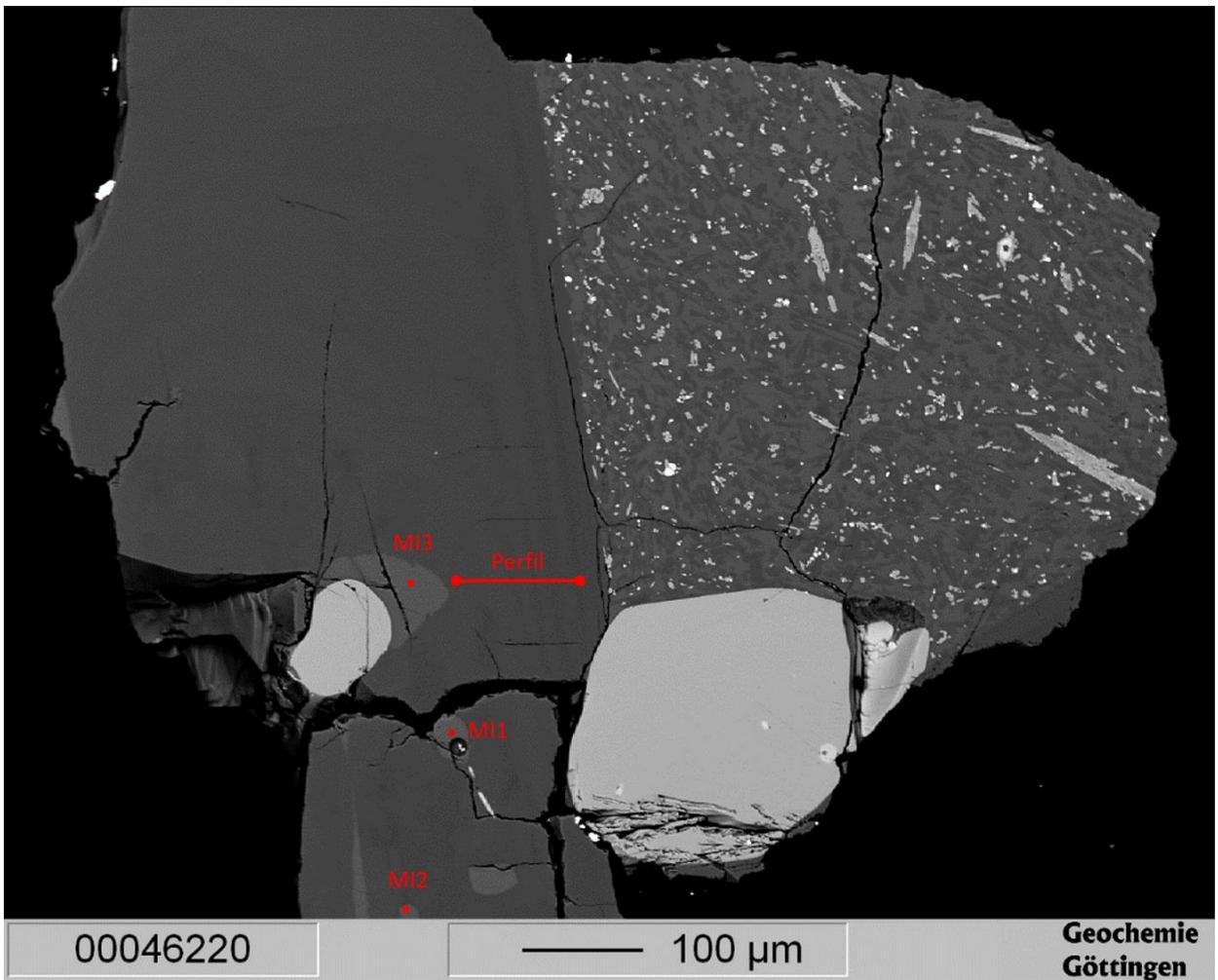


Figura 82: Imagen en EMPA del cristal E3

Fenocristal de andesina, composición variable entre $An_{44}Ab_{54}Or_2$ y $An_{37}Ab_{60}Or_3$, atrapa 3 inclusiones vítreas (MI1, MI2, MI3, todas riolíticas).

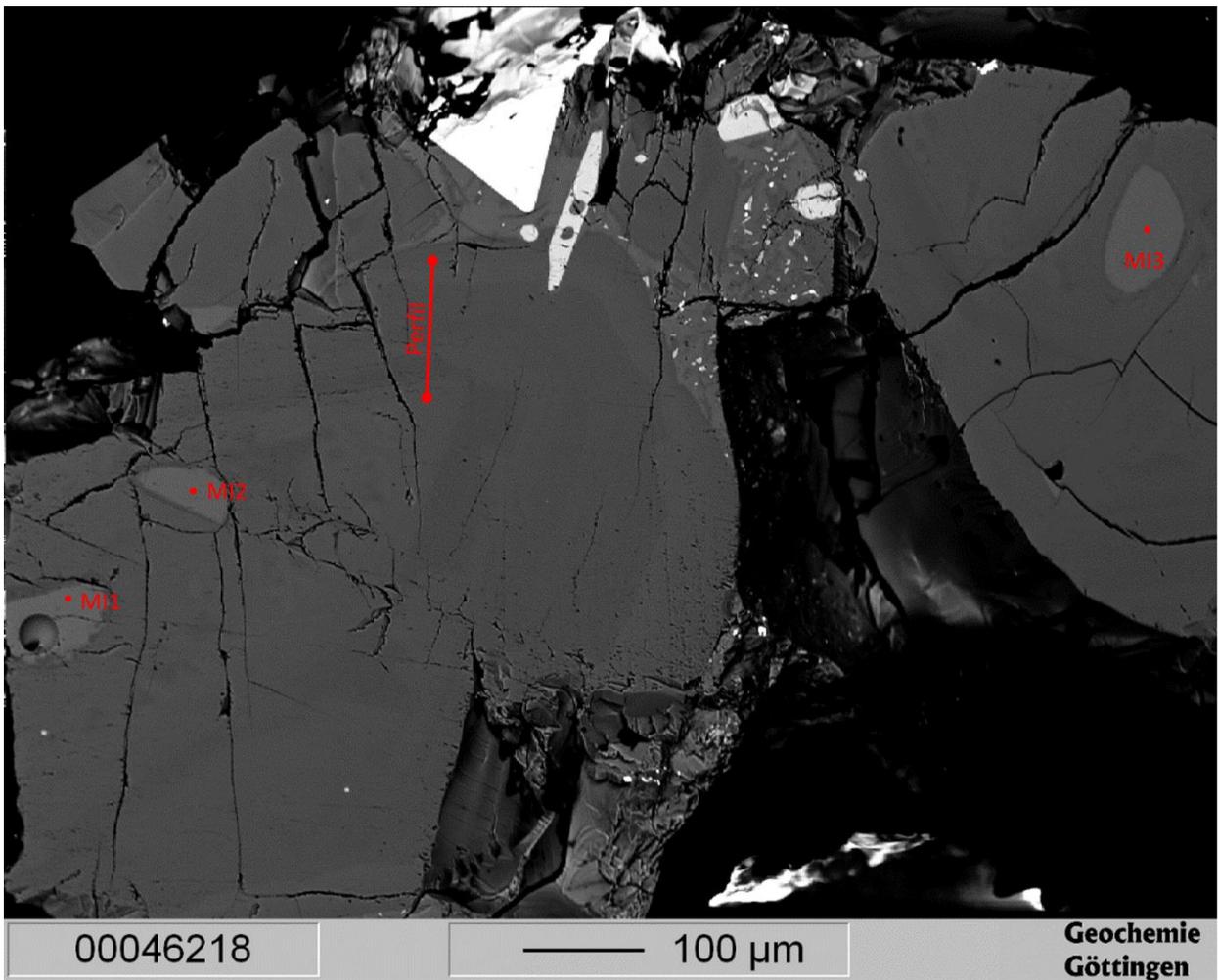


Figura 83: Imagen en EMPA del cristal E5

Fenocristal de andesina, composición variable entre $An_{47}Ab_{51}Or_2$ y $An_{37}Ab_{60}Or_3$, atrapa 3 inclusiones vítreas (MI1, MI2, MI3, todas riolíticas).

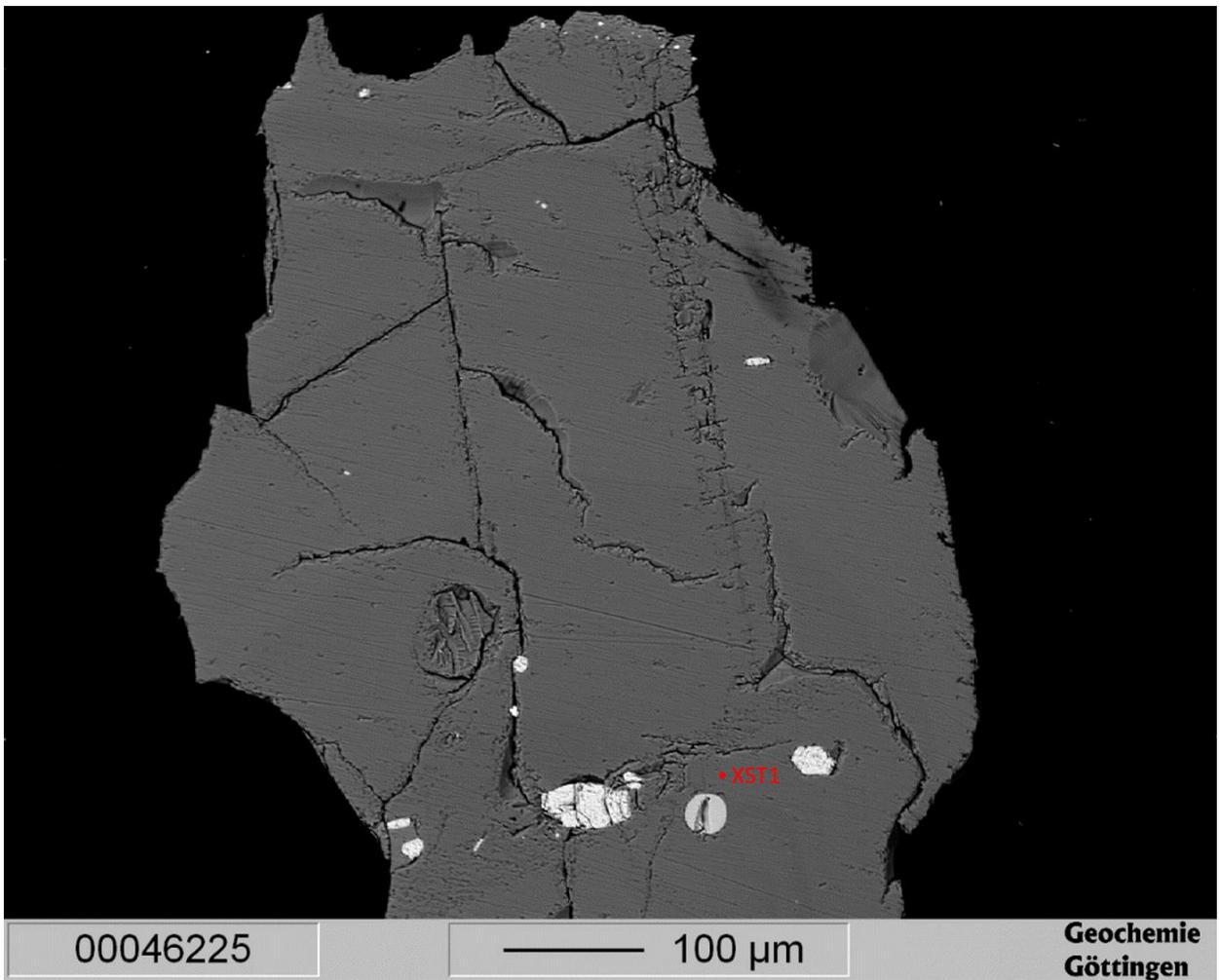


Figura 84: Imagen en EMPA del cristal F1

Fenocristal de andesina, composición $An_{33}Ab_{64}Or_4$.

Anexo C: Composición química de inclusiones vítreas, minerales host y otros

En este anexo se adjuntan las tablas con composiciones de elementos mayores y trazas medidos en EMPA, se hace la distinción entre fases minerales. Las celdas con valor 0 indican una cuantificación del elemento menor al límite de detección.

C.1: Inclusiones Vítreas en plagioclasa

Tabla 9: Elementos mayores y volátiles medidos en inclusiones vítreas de plagioclasa a través de EMPA

Código de host	Nombre original	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	F	Total
IV-A5-1	A5_MI1	71,63	0,6	12,62	3,24	0,07	0,46	1,13	4,1	4,61	0,23	0	98,69
IV-A6-1	A6_MI1	72,32	0,97	12,36	2,96	0,07	0,44	1,18	4,1	4,31	0,23	0,05	98,99
IV-A6-2	A6_MI2	72,23	0,64	13,05	3,05	0,05	0,37	0,99	4,18	4,46	0,16	0	99,18
IV-A6-3	A6_MI2b	72,49	0,6	12,55	3,07	0,07	0,39	1,08	4,25	4,53	0,14	0,04	99,21
IV-A6-4	A6_MI3	73,49	0,56	12,62	3,1	0,07	0,48	1,08	3,63	4,2	0,24	0,03	99,5
IV-A6-5	A6_gl	72,49	0,7	12,96	3,07	0,07	0,31	1,14	3,98	4,44	0,14	0,06	99,36
IV-B4-1	B4_MI1	75,27	0,44	12,76	2,55	0,05	0,35	0,9	3,57	3,94	0,18	0	100
IV-B4-2	B4_MI2	75,38	0,42	12,76	2,41	0,03	0,34	1	3,5	3,97	0,19	0	100
IV-B4-3	B4_MI3	75,56	0,41	12,65	2,42	0,06	0,34	0,86	3,44	4,08	0,18	0,01	100
IV-E2-1	E2_MI1	70,97	0,6	12,37	3,21	0,08	0,53	1,25	4,23	4,32	0,26	0	97,82
IV-E2-2	E2_gl1	71,47	0,64	12,45	3,14	0,09	0,5	1,36	4,37	4,38	0,27	0,05	98,72
IV-E2-3	E2_gl2	72,15	0,61	12,71	3,02	0,08	0,49	1,36	4,21	4,43	0,23	0,02	99,31
IV-E2-4	E2_gl3	70,51	0,82	12,23	4,06	0,11	0,63	1,2	4,2	4,76	0,38	0	98,9
IV-E3-1	E3_MI1	69,28	0,64	12,21	3,34	0,09	0,48	1	3,7	4,56	0,2	0,08	95,58
IV-E3-2	E3_MI2	70,78	0,59	12,42	3,57	0,07	0,44	1,18	3,82	4,67	0,2	0,02	97,76
IV-E3-3	E3_MI3	71,56	0,64	12,7	3,09	0,08	0,37	1,04	4,07	4,71	0,14	0,07	98,47
IV-E5-1	E5_MI1	71,08	0,59	12,39	3,3	0,08	0,54	1,4	4,17	4,63	0,26	0,01	98,45
IV-E5-3	E5_MI3	72,51	0,57	12,79	3,46	0,07	0,54	1,18	4,24	4,46	0,16	0	99,98

C.3: Inclusiones Vítreas en olivino

Tabla 10: Elementos mayores y volátiles medidos en inclusiones vítreas de olivino a través de EMPA

Código de host	Nombre original	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	F	Total
IV-C3-1	C3_MI1	72,18	0,7	14,93	2,33	0,04	0,16	0,86	4,81	3,78	0,19	0,03	100
IV-C3-2	C3_MI1	71,17	0,55	15,21	2,42	0,06	0,15	1,06	5,27	3,9	0,2	0,01	100
IV-D28-1	D2-8_MI1	57,83	0,92	15,11	10,32	0,03	5,17	3,68	4,75	1,99	0,15	0,06	100
IV-G1-1	G1-MI1	58,46	1,2	21,96	1,43	0,03	1,05	8,57	5,77	1,45	0,07	0,01	100
IV-G2-1	G2-MI1	66,24	0,61	20,42	2,17	0,01	0,57	2,97	4,9	1,91	0,15	0,06	100
IV-G2-3	G2-MI3	54,9	0,67	19,4	5,35	0,04	2,73	9,43	5,96	1,33	0,1	0,09	100

C.3: Olivino

Tabla 11: Elementos mayores y volátiles medidos en cristales de olivino a través de EMPA

Código de host	Nombre original	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	F	Total
OI-C3-1	C3-1	38,32	0,03	0,34	20,3	0,35	39,05	0,09	0	0	0	0	98,48
OI-D1-1	D1_xst1	38,49	0,01	0,03	20,62	0,3	39,77	0,13	0	0	0,01	0	99,36
OI-D1-2	D1_xst1	38,69	0,03	0,04	20,06	0,28	40,62	0,13	0	0	0	0	99,85
OI-D1-3	D1_xst1	38,63	0,02	0,01	19,6	0,29	40,98	0,15	0,02	0	0	0	99,7
OI-D28-1	D2_8-xst1	39,15	0	0,05	15,8	0,24	43,83	0,1	0,01	0	0	0	99,18
OI-D28-2	D2_8-xst1	39,24	0,01	0,01	15,71	0,21	43,87	0,13	0,01	0	0	0	99,19
OI-D28-3	D2_8-xst1	39,18	0,03	0	15,7	0,21	43,41	0,17	0	0,01	0	0	98,71
OI-G1-1	G1-xst1	39,37	0,04	0,03	16,12	0,24	43,63	0,13	0,02	0,01	0,01	0	99,6
OI-G1-2	G1-xst1	39,21	0	0	16,42	0,23	43,57	0,15	0	0	0,01	0	99,59
OI-G1-3	G1-xst1	39,16	0,01	0,02	16,24	0,25	43,41	0,13	0,02	0	0	0	99,24
OI-G2-1	G2-xst1	38,61	0	0,02	20,31	0,31	39,79	0,13	0,01	0	0,01	0	99,19
OI-G2-2	G2-xst1	38,49	0,01	0,49	20,35	0,32	39,71	0,15	0,02	0	0,01	0	99,55
OI-G2-3	G2-xst1	39,03	0,02	0,03	20,03	0,34	40,40	0,15	0	0	0	0	100
OI-G2-4	G2-xst2	39,09	0,04	0,98	16,69	0,24	42,42	0,50	0,04	0	0	0	100

Tabla 12: Elementos medidos en cristales de olivino a través de SEM

Código de host	SiO ₂	FeO	MnO	MgO	CaO	Total	Miembros extremos	Observaciones
SEM-OI1-1	41,78	15,64	0,19	42,18	0,21	100	Fe _{0,83} Fa _{1,17}	Tiene borde de reacción a Wo ₅ En _{7,5} Fs ₂₅
SEM-OI1-2	41,68	14,10	0,00	44,11	0,00	100	Fe _{0,85} Fa _{1,15}	Tiene borde de reacción a Wo ₅ En _{7,5} Fs ₂₅
SEM-OI1-3	41,70	15,08	0,25	42,74	0,24	100	Fe _{0,84} Fa _{1,16}	Tiene borde de reacción a Wo ₅ En _{7,5} Fs ₂₅
SEM-OI1-4	41,28	14,62	0,23	43,48	0,19	100	Fe _{0,84} Fa _{1,16}	Tiene borde de reacción a Wo ₅ En _{7,5} Fs ₂₅
SEM-OI1-5	41,06	14,56	0,00	44,21	0,17	100	Fe _{0,84} Fa _{1,16}	Tiene borde de reacción a Wo ₅ En _{7,5} Fs ₂₅
SEM-OI2-1	41,14	16,10	0,00	42,59	0,17	100	Fe _{0,83} Fa _{1,17}	Tiene borde de reacción a Wo ₄ En _{7,3} Fs ₂₃
SEM-OI2-2	41,48	14,37	0,00	43,83	0,16	100	Fe _{0,84} Fa _{1,16}	Tiene borde de reacción a Wo ₄ En _{7,3} Fs ₂₃
SEM-OI3	40,71	20,52	0,00	38,77	0,00	100	Fe _{0,77} Fa _{2,23}	Tiene borde de reacción a Wo ₅ En _{6,8} Fs ₂₇

C.4: Piroxeno

Tabla 13: Elementos mayores y volátiles medidos en cristales de piroxeno a través de EMPA

Código host	Nombre original	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	F	Total
Cpx 1	Line2SL-01C_Cx1-L1	52,14	0,4	1,03	12,03	0,47	13,27	19,74	0,28	0,03	0,02	0	99,41
	Line3SL-01C_Cx1-L1	51,71	0,36	1,05	11,8	0,47	13,4	19,87	0,31	0	0,01	0	98,98
	Line4SL-01C_Cx1-L1	52,32	0,31	0,82	12,24	0,47	13,45	19,7	0,29	0	0,01	0	99,61
	Line5SL-01C_Cx1-L1	52,08	0,37	0,85	12,49	0,45	13,43	20,04	0,29	0	0	0	100
	Line6SL-01C_Cx1-L1	52,39	0,24	0,64	12,67	0,57	13,33	19,65	0,29	0,03	0	0	99,81
	Line7SL-01C_Cx1-L1	52,45	0,29	0,63	12,89	0,54	13,21	19,57	0,33	0,01	0	0	99,92
	Line8SL-01C_Cx1-L1	52,26	0,27	0,68	12,81	0,56	13,12	19,56	0,31	0	0	0	99,57
	Line9SL-01C_Cx1-L1	51,92	0,26	0,68	13,09	0,55	13,15	19,35	0,3	0	0	0	99,3
	Line10SL-01C_Cx1-L1	52,34	0,31	0,77	12,97	0,5	13,25	19,53	0,32	0,02	0	0	100
	Line11SL-01C_Cx1-L1	52,09	0,32	0,8	12,56	0,54	13,44	19,65	0,33	0	0	0	99,73
	Line12SL-01C_Cx1-L1	52,29	0,31	0,79	12,51	0,46	13,32	19,56	0,32	0,02	0	0	99,58
	Line13SL-01C_Cx1-L1	52,25	0,29	0,74	12,75	0,48	13,24	19,55	0,29	0	0	0	99,59
	Line14SL-01C_Cx1-L1	52,3	0,3	0,69	12,52	0,49	13,33	19,44	0,26	0,01	0,01	0	99,35
	Line15SL-01C_Cx1-L1	52,23	0,3	0,72	12,59	0,49	13,23	19,61	0,34	0	0,01	0	99,52
	Line1SL-01C-Cx1-L2	51,87	0,42	1,01	12,2	0,53	13,29	20,3	0,37	0	0,01	0	100
	Line2SL-01C-Cx1-L2	51,95	0,33	1,05	11,89	0,52	13,45	20,11	0,32	0	0	0	99,62
Line3SL-01C-Cx1-L2	51,85	0,4	1,06	11,88	0,46	13,49	20,09	0,32	0,01	0	0	99,56	
Line4SL-01C-Cx1-L2	51,83	0,37	1,02	12,29	0,42	13,33	19,59	0,35	0,02	0	0	99,22	
Opx 1	Line1SL-01C-CX2	52,08	0,24	0,53	24,7	0,9	19,51	1,56	0,03	0,01	0,01	0	99,57
	Line2SL-01C-CX2	51,96	0,37	0,76	24,95	0,8	19,53	1,6	0,03	0	0	0	100
	Line3SL-01C-CX2	51,97	0,35	0,74	24,72	0,8	19,77	1,63	0,03	0	0	0	100
	Line4SL-01C-CX2	51,94	0,35	0,76	24,85	0,83	19,64	1,6	0,05	0	0	0	100
	Line5SL-01C-CX2	51,95	0,31	0,69	24,81	0,88	19,84	1,49	0,02	0	0	0	100
	Line6SL-01C-CX2	52,38	0,34	0,77	23,34	0,72	20,82	1,59	0,05	0	0	0	100
	Line7SL-01C-CX2	52,21	0,32	0,8	22,38	0,76	21,59	1,59	0,04	0	0	0	99,69
	Line8SL-01C-CX2	52,63	0,31	0,79	22,16	0,73	21,72	1,61	0,03	0,01	0,02	0	100
	Line9SL-01C-CX2	52,39	0,32	0,8	22,3	0,72	21,52	1,62	0,05	0	0,01	0	99,73
	Line10SL-01C-CX2	52,36	0,32	0,83	22,33	0,72	21,35	1,55	0,02	0,01	0	0	99,49
	Line11SL-01C-CX2	52,18	0,36	0,86	22,67	0,68	21,35	1,5	0,01	0	0,01	0	99,62
	Line12SL-01C-CX2	52,43	0,35	0,76	22,56	0,7	21,63	1,56	0,02	0	0	0	100
Cpx 2	Line1SL-01C-Cx2bis	51,29	0,39	1,13	12,12	0,48	12,69	19,48	0,33	0,04	0,01	0	97,96
	Line2SL-01C-Cx2bis	51,43	0,43	1,15	12,06	0,45	13,11	19,41	0,26	0	0,01	0	98,31
	Line3SL-01C-Cx2bis	51,31	0,42	1,19	12,38	0,44	13	19,64	0,37	0,02	0,01	0	98,78
	Line4SL-01C-Cx2bis	51,06	0,42	1,19	12,45	0,45	12,9	19,35	0,29	0,03	0	0	98,14
	Line5SL-01C-Cx2bis	51,14	0,41	1,19	12,32	0,49	13,07	19,3	0,32	0,01	0,02	0	98,27
	Line6SL-01C-Cx2bis	51,26	0,37	1,1	12,16	0,45	13,12	19,48	0,32	0,03	0	0	98,29
	Line7SL-01C-Cx2bis	51,03	0,41	1,2	12,61	0,48	13,12	19,33	0,32	0,02	0,01	0	98,53
	Line8SL-01C-Cx2bis	51,48	0,45	1,17	12,98	0,51	12,93	19,33	0,36	0	0,01	0	99,22
	Line9SL-01C-Cx2bis	51,79	0,42	1,24	12,54	0,49	13,28	19,62	0,27	0,04	0	0	99,69
	Line10SL-01C-Cx2bis	51,73	0,43	1,25	12,79	0,48	13,14	19,56	0,3	0,01	0	0	99,69
Line11SL-01C-Cx2bis	51,99	0,43	1,2	12,44	0,52	13,43	19,64	0,35	0,01	0	0	100	
Opx 2	Line1SL-01C-Cx3	52,11	0,27	0,55	24,16	0,81	20,33	1,57	0,01	0	0,02	0	99,83

Código host	Nombre original	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	F	Total
Opx 2	Line2SL-01C-Cx3	52,06	0,32	0,63	24,52	0,86	19,73	1,55	0,02	0	0	0	99,69
	Line3SL-01C-Cx3	51,73	0,35	0,82	24,64	0,86	19,88	1,68	0,01	0,01	0,02	0	100
	Line4SL-01C-Cx3	52,12	0,34	1	22,81	0,75	21,15	1,66	0	0,02	0	0	99,85
	Line5SL-01C-Cx3	52,75	0,4	1,08	19,65	0,43	23,62	1,78	0,02	0	0	0	99,73
	Line6SL-01C-Cx3	53,37	0,39	1,03	18,41	0,42	24,4	1,83	0,03	0	0	0	99,88
	Line7SL-01C-Cx3	53,5	0,37	1,04	18,2	0,37	24,75	1,74	0,03	0,01	0	0	100
	Line8SL-01C-Cx3	53,27	0,4	1,1	17,62	0,43	24,71	1,82	0,04	0	0,01	0	99,4
	Line9SL-01C-Cx3	53,3	0,41	1,16	18,14	0,37	24,72	1,76	0,01	0	0,01	0	99,88
	Line10SL-01C-Cx3	53,25	0,4	1,19	17,94	0,42	24,45	1,93	0,05	0	0	0	99,63
	Line11SL-01C-Cx3	53,43	0,44	1,22	17,78	0,38	24,57	1,82	0	0	0	0	99,64
	Line1SL-01C-Cx3_line2	53,1	0,47	1,25	18,22	0,38	24,71	1,84	0,04	0	0	0	100
	Line2SL-01C-Cx3_line2	53,14	0,45	1,22	18,06	0,42	24,5	1,76	0,04	0	0,01	0	99,6
	Line3SL-01C-Cx3_line2	53,06	0,4	1,23	18,26	0,41	24,1	1,82	0,04	0	0	0	99,32
	Line4SL-01C-Cx3_line2	52,65	0,42	1,19	18,46	0,39	24,15	1,72	0	0	0	0	98,98
	Line5SL-01C-Cx3_line2	53,14	0,41	1,18	18,74	0,4	24,22	1,78	0,03	0	0,01	0	99,91
	Line6SL-01C-Cx3_line2	53,17	0,4	1,16	19,04	0,39	23,76	1,76	0,06	0,01	0	0	99,75
	Line7SL-01C-Cx3_line2	53	0,36	1	19,2	0,38	23,59	1,84	0,04	0	0	0	99,41
	Line8SL-01C-Cx3_line2	53,09	0,33	0,92	20,12	0,48	23,3	1,73	0,02	0,01	0	0	100
	Line9SL-01C-Cx3_line2	53,03	0,34	0,92	20,27	0,46	22,99	1,72	0,02	0	0	0	99,75
	Line10SL-01C-Cx3_line2	52,76	0,35	0,92	20,88	0,49	22,64	1,67	0,02	0	0	0	99,73
Line11SL-01C-Cx3_line2	52,65	0,34	0,89	21,51	0,51	22,15	1,65	0,02	0,01	0	0	99,73	
Line12SL-01C-Cx3_line2	52,42	0,35	0,89	21,99	0,6	21,59	1,71	0,02	0,01	0	0	99,58	
Line13SL-01C-Cx3_line2	52,15	0,31	0,91	22,66	0,65	21,35	1,66	0,02	0	0	0	99,71	
Line14SL-01C-Cx3_line2	52,22	0,33	0,88	22,95	0,69	20,81	1,68	0,01	0	0	0	99,57	
Line15SL-01C-Cx3_line2	52,11	0,31	0,73	23,69	0,72	20,8	1,56	0,04	0	0,01	0	99,97	
Line16SL-01C-Cx3_line2	52,4	0,21	0,48	23,74	0,75	20,78	1,59	0,05	0	0	0	100	
Line17SL-01C-Cx3_line2	52,53	0,23	0,44	24,07	0,81	20,3	1,56	0,05	0	0,01	0	100	
Line18SL-01C-Cx3_line2	52,28	0,25	0,47	24,23	0,83	19,98	1,65	0,03	0,02	0,01	0	99,75	
Line19SL-01C-Cx3_line2	52,46	0,22	0,4	24,34	0,86	19,91	1,57	0,05	0,02	0	0	99,83	
Line20SL-01C-Cx3_line2	52,15	0,21	0,37	24,28	0,79	19,76	1,68	0	0,01	0	0	99,25	
Cpx 3	Line1SL-01C-Cx4	51,91	0,63	2,02	8,82	0,26	15,58	20,47	0,31	0	0	0	100
	Line2SL-01C-Cx4	52,22	0,54	2,07	7,98	0,17	15,93	20,42	0,3	0,01	0	0	99,64
	Line3SL-01C-Cx4	52,34	0,49	2,02	7,54	0,17	16,29	20,58	0,27	0	0,01	0	99,71
	Line4SL-01C-Cx4	52,39	0,5	2,15	7,14	0,14	16,71	20,18	0,23	0,02	0	0	99,46
	Line5SL-01C-Cx4	52,26	0,68	2,01	9,51	0,3	15,34	19,57	0,32	0	0,01	0	100
	Line6SL-01C-Cx4	51,66	0,66	1,83	9,49	0,24	15,34	19,58	0,32	0,02	0	0	99,14
	Line7SL-01C-Cx4	51,81	0,71	1,85	9,52	0,31	15,38	19,79	0,3	0	0	0	99,67
	Line8SL-01C-Cx4	51,9	0,72	1,86	9,58	0,31	15,5	19,79	0,32	0,02	0,01	0	100
	Line9SL-01C-Cx4	51,99	0,73	1,8	9,67	0,28	15,5	19,62	0,36	0,01	0	0	99,96
	Line10SL-01C-Cx4	51,76	0,69	1,9	9,5	0,29	15,49	19,63	0,28	0	0	0	99,54
	Line11SL-01C-Cx4	52,05	0,69	1,83	9,49	0,32	15,41	19,55	0,31	0	0	0	99,65
	Line12SL-01C-Cx4	51,96	0,65	1,86	9,52	0,22	15,53	19,45	0,27	0	0	0	99,46
	Line13SL-01C-Cx4	51,96	0,68	1,8	9,24	0,3	15,46	19,52	0,28	0,02	0,01	0	99,27
	Line1SL-01c_Cx4-line2	52,26	0,66	1,87	9,21	0,29	15,56	19,7	0,3	0	0	0	99,85
	Line2SL-01c_Cx4-line2	52,24	0,66	1,8	9,36	0,28	15,65	19,5	0,32	0,02	0	0	99,83
Line3SL-01c_Cx4-line2	52,03	0,67	1,81	9,31	0,24	15,22	19,74	0,33	0	0	0	99,35	
Line4SL-01c_Cx4-line2	52,18	0,68	1,85	9,28	0,24	15,54	19,8	0,33	0	0	0	99,9	

Código host	Nombre original	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	F	Total
Cpx 3	Line5SL-01c_Cx4-line2	52	0,69	1,88	9,21	0,29	15,45	19,77	0,3	0	0	0	99,59
	Line6SL-01c_Cx4-line2	51,93	0,69	1,83	9,23	0,26	15,52	19,68	0,32	0	0,01	0	99,47
	Line7SL-01c_Cx4-line2	52,15	0,68	1,83	9,37	0,31	15,52	19,59	0,3	0	0,01	0	99,76
	Line8SL-01c_Cx4-line2	51,97	0,67	1,73	9,38	0,29	15,66	19,74	0,31	0	0	0	99,75
	Line9SL-01c_Cx4-line2	51,8	0,72	1,83	9,49	0,31	15,61	19,55	0,29	0	0,02	0	99,62
	Line10SL-01c_Cx4-line2	52,05	0,67	1,75	9,43	0,29	15,56	19,58	0,3	0,02	0	0	99,65
	Line11SL-01c_Cx4-line2	51,92	0,69	1,81	9,57	0,28	15,51	19,37	0,27	0,01	0,01	0	99,44
	Line12SL-01c_Cx4-line2	51,4	0,66	1,69	9,15	0,27	15,33	19,1	0,32	0,01	0,01	0	97,94
	Line13SL-01c_Cx4-line2	51,29	0,74	1,83	9,24	0,27	15,39	19,16	0,3	0	0,01	0	98,23
	Line14SL-01c_Cx4-line2	51,25	0,7	1,86	9,07	0,27	15,34	19,41	0,26	0	0,02	0	98,18
	Line15SL-01c_Cx4-line2	51,01	0,71	1,88	9,4	0,28	15,12	19,49	0,27	0	0	0	98,16
	Line16SL-01c_Cx4-line2	50,64	0,81	2,25	9,52	0,31	14,7	19,34	0,31	0	0	0	97,88
	Line17SL-01c_Cx4-line2	50,71	0,62	2,94	7,63	0,21	16,25	19,28	0,29	0,01	0,02	0	97,96
	Line18SL-01c_Cx4-line2	50,85	0,6	2,41	7,4	0,22	15,97	20,33	0,28	0	0,01	0	98,07
Line19SL-01c_Cx4-line2	51,15	0,66	2,4	8,03	0,25	15,53	19,86	0,3	0,01	0	0	98,19	
Line20SL-01c_Cx4-line2	51,28	0,59	2,28	8,12	0,2	15,39	20,13	0,28	0,01	0	0	98,28	
Opx 3	Line3SL02A-Cx1	52,57	0,28	0,51	21,74	0,7	21,88	1,68	0,01	0,01	0,01	0	99,39
	Line4SL02A-Cx1	51,89	0,27	0,49	23,52	0,78	20,34	1,66	0,01	0,01	0	0	98,97
	Line5SL02A-Cx1	52,22	0,24	0,47	24,48	0,86	19,66	1,61	0,04	0,02	0,01	0	99,61
	Line6SL02A-Cx1	51,81	0,28	0,47	24,39	0,84	19,41	1,59	0,04	0	0	0	98,83
	Line7SL02A-Cx1	51,88	0,21	0,45	24,94	0,92	19,18	1,58	0,05	0	0,01	0	99,22
Cpx 4	Line1SL02A-Cx2	50,16	0,82	3,74	8,19	0,24	16,3	18,53	0,32	0,02	0	0	98,32
	Line2SL02A-Cx2	51,53	0,63	2,84	7,28	0,2	16,56	19,45	0,23	0,03	0,01	0	98,76
	Line3SL02A-Cx2	51,22	0,73	2,37	9,73	0,31	15,15	19,36	0,36	0,02	0	0	99,25
	Line4SL02A-Cx2	52	0,54	1,97	8,99	0,21	15,34	19,96	0,29	0,01	0	0	99,31
	Line5SL02A-Cx2	52,06	0,64	2,26	9,05	0,24	15,11	20,2	0,42	0,01	0,01	0	100
Cpx 5	Line1SL02A-Cx2bis	52,09	0,44	2,1	6,92	0,21	16,75	19,84	0,26	0	0,01	0	98,62
	Line2SL02A-Cx2bis	51,58	0,57	2,53	6,86	0,15	16,41	20,22	0,27	0,03	0	0	98,62
	Line3SL02A-Cx2bis	51,92	0,58	1,94	8,86	0,24	15,25	19,8	0,33	0,03	0,01	0	98,96
	Line4SL02A-Cx2bis	51,56	0,61	1,93	8,82	0,24	15,37	20,4	0,3	0,01	0,01	0	99,25
	Line5SL02A-Cx2bis	51,3	0,7	2,39	8,91	0,24	15,51	20,01	0,34	0,02	0	0	99,42
	Line6SL02A-Cx2bis	51,2	0,96	3,87	8,19	0,17	16,03	19,27	0,29	0,02	0	0	100
Opx 4	Line3SL02A-Cx3	51,9	0,34	0,93	22,45	0,71	20,35	1,94	0,08	0,02	0,01	0	98,73
	Line4SL02A-Cx3	52,51	0,33	0,94	20,6	0,63	21,83	2,14	0,01	0,03	0	0	99,02
	Line5SL02A-Cx3	52,48	0,29	1,12	19,95	0,57	22,84	1,79	0,02	0	0	0	99,06
Opx 5	Line2SL02A-Cx4	51,87	0,26	0,54	24,89	0,88	19,19	1,59	0,03	0,04	0	0	99,29
	Line3SL02A-Cx4	52,17	0,26	0,51	24,71	0,82	19,28	1,6	0,04	0,01	0	0	99,4
	Line4SL02A-Cx4	52,34	0,25	0,51	24,76	0,85	19,4	1,56	0,05	0,02	0	0	99,74
	Line5SL02A-Cx4	51,99	0,25	0,54	24,32	0,84	19,72	1,59	0,01	0	0,01	0	99,27
	Line6SL02A-Cx4	52,02	0,37	0,77	24,28	0,81	19,84	1,67	0,06	0	0	0	99,82
	Line7SL02A-Cx4	52,05	0,34	0,85	23,68	0,78	20,25	1,58	0,04	0,02	0	0	99,59
	Line8SL02A-Cx4	52,59	0,34	0,76	23,19	0,74	20,72	1,58	0,05	0,01	0,02	0	100
	Line9SL02A-Cx4	51,94	0,36	0,89	22,88	0,74	20,82	1,66	0,03	0,02	0,01	0	99,35
	Line10SL02A-Cx4	52,6	0,19	0,44	23,05	0,79	20,94	1,55	0,06	0	0	0	99,62
	Line11SL02A-Cx4	52,57	0,2	0,43	23,14	0,72	20,83	1,54	0,04	0,01	0	0	99,48
Line12SL02A-Cx4	52,85	0,19	0,36	23,08	0,76	20,87	1,52	0,03	0	0	0	99,66	
Opx 6	Line1SL02A-Cxgroup_line1	52,79	0,23	0,56	23,34	0,77	20,81	1,47	0,03	0,02	0	0	100

Código host	Nombre original	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	F	Total
Opx 6	Line2SL02A-Cxgroup_line1	52,32	0,23	0,5	24,3	0,79	20,02	1,6	0,05	0	0	0	99,81
	Line3SL02A-Cxgroup_line1	52,36	0,21	0,44	24,1	0,83	20,25	1,59	0,04	0	0	0	99,82
	Line4SL02A-Cxgroup_line1	52,3	0,21	0,42	23,99	0,87	20,08	1,58	0	0	0	0	99,45
	Line5SL02A-Cxgroup_line1	52,52	0,2	0,41	23,81	0,89	20,3	1,63	0,03	0,02	0	0	99,81
	Line6SL02A-Cxgroup_line1	52,6	0,2	0,37	23,95	0,8	20,15	1,56	0,03	0,01	0	0	99,67
	Line7SL02A-Cxgroup_line1	52,47	0,19	0,39	24,06	0,86	20,23	1,59	0,05	0,02	0	0	99,86
	Line8SL02A-Cxgroup_line1	52,08	0,25	0,46	23,99	0,81	20,08	1,57	0,03	0,03	0	0	99,3
	Line1SL02A-Cxgroup_line2	51,58	0,32	0,88	12,67	0,47	13,15	19,62	0,34	0,02	0	0	99,05
Cpx 6	Line2SL02A-Cxgroup_line2	51,5	0,36	0,97	12,47	0,53	13,05	19,53	0,31	0,01	0	0	98,73
	Line3SL02A-Cxgroup_line2	51,63	0,39	0,99	12,13	0,44	13,21	19,75	0,26	0	0,01	0	98,81
	Line4SL02A-Cxgroup_line2	51,7	0,37	0,98	12,21	0,42	13,39	19,75	0,28	0	0	0	99,1
	Line5SL02A-Cxgroup_line2	51,95	0,35	1	12,18	0,49	13,38	19,69	0,33	0,02	0	0	99,39
	Line6SL02A-Cxgroup_line2	51,65	0,37	0,99	12,27	0,46	13,36	19,73	0,31	0,01	0	0	99,15
	Line7SL02A-Cxgroup_line2	51,95	0,35	0,97	12,04	0,48	13,39	19,43	0,3	0	0	0	98,91
	Line8SL02A-Cxgroup_line2	52,01	0,38	0,96	12,31	0,52	13,5	19,47	0,3	0,03	0	0	99,48
	Line9SL02A-Cxgroup_line2	52,03	0,36	1,01	12,14	0,5	13,56	19,79	0,31	0,01	0	0	99,71
	Line10SL02A-Cxgroup_line2	51,82	0,41	1	12,41	0,48	13,46	19,76	0,27	0,01	0	0	99,62
	Line11SL02A-Cxgroup_line2	51,99	0,39	0,97	12,23	0,45	13,21	19,79	0,31	0,01	0	0	99,35
	Line12SL02A-Cxgroup_line2	51,41	0,53	1,28	12,44	0,49	13,29	19,27	0,34	0	0	0	99,05
	Line13SL02A-Cxgroup_line2	51,85	0,34	0,84	13,37	0,54	13,19	19,12	0,28	0,02	0	0	99,55
	Opx 7	A4_xst2	51,82	0,32	0,61	24,94	0,84	19,35	1,68	0	0,02	0	0
Opx 8	A4_xst3	51,31	0,25	0,5	24,67	0,81	19,44	1,62	0,04	0,01	0	0	98,65

Tabla 14: Elementos medidos en cristales de piroxeno a través de SEM

Código de host	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	Miembros extremos	Observaciones
SEM-Px1	56,96	1,96	4,48	16,35	15,25	3,17	Wo ₄₁ En ₃₈ Fs ₂₁	Atrapan andesina
SEM-Px2	58,99	-	8,87	17,76	14,38	-	Wo ₄₁ En ₃₉ Fs ₂₀	Atrapan andesina
SEM-Px3	59,97	-	6,8	16,61	16,63	-	Wo ₄₀ En ₃₈ Fs ₂₂	Atrapan andesina
SEM-Px4	56,26	4,87	11,4	23,32	2,16	1,99	Wo ₅ En ₇₅ Fs ₂₅	Borde de reacción en Fo ₈₃ Fa ₁₇
SEM-Px5	57,31	4,03	12,43	22,21	1,98	2,04	Wo ₄ En ₇₃ Fs ₂₃	Borde de reacción en Fo ₇₈ Fa ₂₂
SEM-Px6	56	1,46	16,79	19,5	6,25	-	Wo ₅ En ₆₈ Fs ₂₇	Borde de reacción en Fo ₇₆ Fa ₂₄

C.5: Plagioclasa

Tabla 15: Elementos mayores y volátiles medidos en cristales de plagioclasa a través de EMPA

Código host	Nombre original	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	F	Total
PI-A4	A4_xst1	58,17	0,03	25,36	0,44	0,02	0,04	7,5	6,92	0,49	0,01	0	98,98
PI-A5	Line1A5_xst_prof	56,91	0,03	25,86	0,41	0	0,05	8,42	6,24	0,48	0	0	98,4
PI-A5	Line2A5_xst_prof	57,04	0,04	25,89	0,45	0,02	0,03	8,28	6,53	0,42	0,01	0,01	98,72
PI-A5	Line3A5_xst_prof	57,09	0,03	25,66	0,41	0	0,03	8,34	6,51	0,39	0,01	0	98,47
PI-A5	Line4A5_xst_prof	57,71	0,05	25,5	0,43	0,01	0,01	7,87	6,57	0,46	0	0	98,61
PI-A5	Line5A5_xst_prof	58,07	0,05	25,08	0,43	0,01	0,02	7,57	6,95	0,48	0	0	98,66
PI-A5	Line6A5_xst_prof	57,26	0,05	25,73	0,41	0	0,04	8,06	6,56	0,42	0	0	98,53
PI-A5	Line7A5_xst_prof	57,48	0,04	25,43	0,39	0,02	0,03	8,06	6,65	0,43	0	0	98,53
PI-A5	Line8A5_xst_prof	57,05	0,05	26,1	0,46	0,01	0,03	8,51	6,49	0,36	0,01	0	99,07
PI-A5	Line9A5_xst_prof	57,26	0,03	25,68	0,42	0,01	0,04	8,14	6,63	0,39	0	0	98,6
PI-A5	Line10A5_xst_prof	57,39	0,02	25,44	0,4	0	0,06	8,15	6,48	0,45	0,01	0	98,4
PI-A5	Line11A5_xst_prof	57,46	0,03	25,43	0,37	0	0,03	8,12	6,56	0,45	0	0	98,45
PI-A5	Line12A5_xst_prof	57,45	0,03	25,66	0,39	0,03	0,03	8,2	6,58	0,43	0	0	98,8
PI-A5	Line13A5_xst_prof	58,01	0,06	25,13	0,37	0	0,04	7,72	6,68	0,46	0	0	98,47
PI-A5	Line14A5_xst_prof	57,95	0,04	25,34	0,39	0	0,03	7,64	6,76	0,46	0	0	98,61
PI-A5	Line15A5_xst_prof	57,83	0,06	25,1	0,37	0	0,03	7,56	6,74	0,49	0,01	0	98,19
PI-A6	Line1A6xstprofile	58,41	0,03	24,99	0,38	0,02	0,04	7,31	6,94	0,55	0	0	98,67
PI-A6	Line2A6xstprofile	57,01	0,06	25,75	0,45	0,02	0,03	8,37	6,62	0,4	0	0	98,71
PI-A6	Line3A6xstprofile	56,91	0,01	26,1	0,41	0	0,04	8,36	6,42	0,4	0	0,01	98,66
PI-A6	Line4A6xstprofile	57,3	0,03	26,05	0,44	0	0,05	8,32	6,74	0,4	0,01	0	99,34
PI-A6	Line5A6xstprofile	60,22	0,02	23,57	0,45	0,02	0,02	6,01	7,66	0,67	0	0,01	98,65
PI-A6	Line6A6xstprofile	58,12	0,01	25,24	0,4	0	0,06	7,55	6,88	0,5	0	0	98,76
PI-A6	Line7A6xstprofile	58,04	0,02	25,13	0,44	0	0,05	7,56	6,98	0,5	0	0	98,72
PI-A6	Line8A6xstprofile	56,74	0,02	25,95	0,4	0	0,05	8,59	6,28	0,42	0	0	98,45
PI-B4	Line1B4profile	59,13	0,05	25,30	0,49	0	0,04	7,26	7,18	0,53	0	0,01	100
PI-B4	Line2B4profile	59,09	0,05	25,33	0,44	0	0,03	7,42	7,14	0,51	0	0	100
PI-B4	Line3B4profile	58,57	0,08	25,59	0,47	0	0,03	7,66	7,09	0,49	0,01	0,01	100
PI-B4	Line4B4profile	58,48	0,05	25,61	0,47	0	0,02	7,77	7,17	0,44	0	0	100
PI-B4	Line5B4profile	58,74	0,04	25,72	0,42	0,04	0,04	7,79	6,79	0,42	0	0	100
PI-B4	Line6B4profile	58,38	0,04	25,92	0,44	0	0,06	7,81	6,91	0,42	0,01	0,02	100
PI-B4	Line7B4profile	58,58	0,04	25,78	0,45	0	0,03	7,88	6,77	0,45	0	0,03	100
PI-B4	Line8B4profile	58,37	0,05	25,90	0,44	0,04	0,04	7,75	6,99	0,42	0	0	100
PI-B4	Line9B4profile	58,45	0,02	25,96	0,45	0	0,03	7,8	6,78	0,43	0,01	0,03	99,96
PI-B4	Line10B4profile	58,53	0,06	25,65	0,44	0	0,04	7,82	6,89	0,4	0,01	0	99,84
PI-B4	Line11B4profile	58,37	0,07	25,94	0,43	0,01	0,02	7,87	6,86	0,43	0	0,01	100
PI-B4	Line12B4profile	58,87	0,03	25,74	0,46	0	0,02	7,63	6,79	0,45	0,01	0	100
PI-B4	Line13B4profile	58,72	0,04	25,62	0,46	0	0,01	7,57	7,03	0,45	0,01	0	99,91
PI-B4	Line14B4profile	58,50	0,05	25,86	0,48	0	0,04	7,65	6,94	0,48	0	0	100
PI-B4	Line15B4profile	58,81	0,06	25,73	0,42	0,02	0,02	7,50	6,97	0,46	0	0,02	100
PI-B4	Line16B4profile	58,58	0,04	25,62	0,39	0,01	0,06	7,87	6,82	0,42	0	0	99,81
PI-B4	Line17B4profile	58,74	0,06	25,72	0,44	0,02	0,03	7,75	6,78	0,44	0	0	99,98
PI-B4	Line18B4profile	58,74	0,03	25,65	0,38	0	0,05	7,90	6,81	0,44	0	0	100

Código host	Nombre original	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	F	Total
PI-B4	Line19B4profile	58,42	0,04	25,70	0,42	0,02	0,02	7,96	6,99	0,43	0	0	100
PI-B4	Line20B4profile	58	0,03	26,02	0,37	0,03	0,02	8,04	6,76	0,42	0	0	99,69
PI-B4	Line21B4profile	58,21	0,04	25,73	0,41	0	0,03	7,85	6,6	0,41	0	0	99,28
PI-B4	Line22B4profile	58,33	0,06	26,01	0,40	0,02	0,04	8,01	6,71	0,41	0,01	0	100
PI-B4	Line23B4profile	58,37	0,02	25,83	0,41	0,02	0,05	7,94	6,7	0,42	0	0	99,76
PI-B4	Line24B4profile	58,61	0,05	25,69	0,42	0	0,03	7,88	6,82	0,44	0,01	0,01	99,96
PI-B4	Line25B4profile	58,97	0,05	25,55	0,4	0	0,03	7,5	6,86	0,44	0	0	99,8
PI-B4	Line26B4profile	58,59	0,03	25,74	0,46	0,01	0,05	7,72	6,91	0,47	0,01	0	100
PI-B4	Line27B4profile	58,26	0,06	25,81	0,45	0,01	0,03	7,74	6,87	0,44	0	0,03	99,7
PI-B4	Line28B4profile	58,88	0,02	25,59	0,47	0	0,02	7,67	6,94	0,41	0,01	0	100
PI-B4	Line29B4profile	58,69	0,03	25,77	0,37	0,03	0,02	7,59	6,89	0,46	0	0,02	99,87
PI-B4	Line30B4profile	59,11	0,04	25,58	0,41	0	0,03	7,55	6,83	0,44	0	0	100
PI-B4	Line31B4profile	59,17	0,05	25,44	0,40	0	0,05	7,40	7,04	0,45	0	0	100
PI-B4	Line32B4profile	58,55	0,04	25,65	0,42	0	0,03	7,6	7,01	0,44	0	0,01	99,75
PI-B4	Line33B4profile	57,48	0,03	26,56	0,41	0	0,06	8,53	6,51	0,38	0	0,04	100
PI-B4	Line34B4profile	57,33	0,05	26,36	0,41	0,02	0,04	8,43	6,4	0,36	0	0,04	99,44
PI-B4	Line35B4profile	57,65	0,03	26,23	0,43	0,02	0,04	8,31	6,5	0,4	0	0,01	99,62
PI-B4	Line36B4profile	58,18	0,02	26,10	0,42	0	0,04	8,02	6,80	0,42	0	0	100
PI-B4	Line37B4profile	57,67	0,05	26,17	0,37	0	0,04	8,26	6,59	0,41	0	0	99,56
PI-B4	Line38B4profile	58,15	0,04	26,11	0,42	0,01	0,04	8,1	6,65	0,44	0	0	99,96
PI-B4	Line39B4profile	58,4	0,04	25,8	0,41	0	0,04	8,01	6,63	0,43	0	0	99,76
PI-B4	Line40B4profile	59,41	0,01	25,39	0,41	0,01	0,06	7,16	7,05	0,47	0,01	0,01	100
PI-B4	Line41B4profile	58,42	0,04	25,9	0,39	0,01	0,03	7,96	6,79	0,41	0	0	99,95
PI-B4	Line42B4profile	58,63	0,04	25,66	0,46	0	0,05	7,80	6,91	0,45	0	0	100
PI-B4	Line43B4profile	58,65	0,04	25,87	0,33	0,03	0,05	7,81	6,81	0,42	0	0	100
PI-B4	Line44B4profile	58,4	0,04	25,73	0,38	0	0,05	7,7	6,87	0,42	0,01	0	99,6
PI-B4	Line45B4profile	58,79	0,03	25,65	0,36	0,01	0,04	7,81	6,87	0,43	0,01	0	100
PI-B4	Line46B4profile	58,27	0,05	25,92	0,36	0	0,03	7,92	6,73	0,44	0	0	99,72
PI-B4	Line47B4profile	59,40	0,03	25,24	0,44	0,01	0,04	7,30	7,03	0,50	0	0	100
PI-B4	Line48B4profile	59,39	0,04	25,17	0,34	0	0,03	7,07	7,04	0,47	0	0	99,55
PI-B4	Line49B4profile	58,92	0,06	25,48	0,41	0	0,03	7,62	6,97	0,51	0,01	0	100
PI-B4	Line50B4profile	58,91	0,05	25,62	0,37	0	0,04	7,53	6,86	0,47	0	0	99,85
PI-B4	Line51B4profile	59,09	0,06	25,45	0,44	0,02	0,03	7,45	7,02	0,44	0	0	100
PI-B4	Line52B4profile	59,85	0,06	24,86	0,36	0	0,06	6,88	7,14	0,52	0	0	99,73
PI-B4	Line53B4profile	58,52	0,04	25,90	0,40	0	0,04	8,01	6,69	0,40	0	0	100
PI-B4	Line54B4profile	58,72	0,04	25,71	0,40	0,01	0,07	7,83	6,77	0,42	0,01	0,02	100
PI-B4	Line55B4profile	59,91	0,02	24,91	0,44	0,01	0,04	6,8	7,31	0,52	0,01	0	99,97
PI-B4	Line56B4profile	57,38	0,06	26,70	0,43	0	0,04	8,66	6,34	0,39	0	0	100
PI-B4	Line57B4profile	57,53	0,06	26,51	0,46	0	0,05	8,62	6,35	0,36	0,01	0	99,95
PI-B4	Line58B4profile	57,13	0,08	26,91	0,53	0,01	0,04	8,80	6,15	0,34	0,01	0	100
PI-B4	Line59B4profile	56,85	0,04	26,78	0,54	0	0,05	9,13	6,13	0,31	0	0	99,83
PI-B4	Line60B4profile	57,03	0,05	26,65	0,47	0	0,04	8,87	6,23	0,37	0	0	99,71
PI-E2	E2_xst1	58,45	0,04	25,31	0,38	0	0,05	7,41	6,88	0,47	0	0	98,99
PI-E2	E2_xst2	58,44	0,04	25,15	0,36	0	0,05	7,53	6,92	0,51	0	0	99
PI-E2	E2_xst3	56,03	0,03	26,87	0,42	0,03	0,03	9,3	5,98	0,32	0	0,01	99,02
PI-E2	E2_xst4	58,49	0,03	24,96	0,42	0	0,04	7,38	7,01	0,47	0	0,01	98,81
PI-E3	Line1E3-xstprof	56,71	0,02	26,48	0,47	0	0,03	8,86	6,12	0,37	0,01	0	99,07

Código host	Nombre original	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	F	Total
PI-E3	Line2E3-xstprof	57,35	0,03	26,25	0,44	0,01	0,03	8,44	6,47	0,39	0	0	99,41
PI-E3	Line3E3-xstprof	56,89	0,03	26,37	0,42	0,01	0,02	8,53	6,29	0,35	0	0	98,91
PI-E3	Line4E3-xstprof	56,89	0,06	26,47	0,45	0,02	0,03	8,75	6,38	0,36	0	0	99,41
PI-E3	Line5E3-xstprof	57,32	0,04	26,29	0,46	0,02	0,03	8,26	6,63	0,38	0,01	0	99,44
PI-E3	Line6E3-xstprof	56,75	0,05	26,09	0,43	0	0,03	8,46	6,34	0,42	0	0,01	98,58
PI-E3	Line7E3-xstprof	58,41	0,04	25,04	0,44	0	0,02	7,56	6,85	0,45	0	0	98,81
PI-E3	Line8E3-xstprof	57,56	0,02	25,89	0,43	0,02	0,03	8,27	6,76	0,37	0	0	99,35
PI-E3	Line9E3-xstprof	58,61	0,05	25,31	0,44	0,01	0,04	7,59	6,92	0,42	0	0	99,39
PI-E3	Line10E3-xstprof	57,68	0,04	25,64	0,53	0,03	0,03	8,14	6,64	0,39	0	0	99,12
PI-E3	Line11E3-xstprof	57,75	0,02	25,75	0,52	0	0,03	7,97	6,8	0,44	0	0	99,28
PI-E5	Line1E5-xstprof	57,02	0,04	26,29	0,41	0	0,04	8,77	6,28	0,39	0	0,02	99,26
PI-E5	Line2E5-xstprof	57,02	0,03	26,23	0,43	0,01	0	8,61	6,52	0,38	0	0	99,23
PI-E5	Line3E5-xstprof	57,32	0,03	26,11	0,42	0	0,05	8,26	6,47	0,39	0,01	0	99,06
PI-E5	Line4E5-xstprof	59,28	0,05	24,77	0,43	0	0,03	7,03	7,27	0,52	0	0	99,38
PI-E5	Line5E5-xstprof	59,42	0,06	24,7	0,44	0	0,03	6,85	7,12	0,5	0	0	99,12
PI-E5	Line6E5-xstprof	56,95	0,03	26,2	0,43	0,01	0,05	8,56	6,38	0,33	0	0,01	98,95
PI-E5	Line7E5-xstprof	57,94	0,04	25,6	0,42	0,01	0,05	8,2	6,58	0,43	0	0	99,27
PI-E5	Line8E5-xstprof	58,16	0,07	25,52	0,46	0,01	0,06	7,83	6,8	0,44	0	0,01	99,36
PI-E5	Line9E5-xstprof	57,47	0,05	26,06	0,43	0,02	0,05	8,34	6,56	0,42	0	0	99,4
PI-E5	Line10E5-xstprof	57,28	0,05	26,14	0,42	0,02	0,05	8,37	6,59	0,44	0	0	99,36
PI-E5	Line11E5-xstprof	56,81	0,05	26,41	0,5	0,01	0,06	8,84	6,13	0,38	0	0	99,19
PI-E5	Line12E5-xstprof	55,32	0,06	27,07	0,58	0	0,04	9,66	5,78	0,36	0	0	98,87
PI-E5	Line13E5-xstprof	56,8	0,06	26,17	0,48	0,01	0,03	8,74	6,28	0,45	0,01	0	99,03
PI-E5	Line14E5-xstprof	57,74	0,05	25,5	0,54	0	0,02	7,96	6,41	0,58	0	0,01	98,81
PI-F1	F1_xst1	60,30	0,07	24,67	0,44	0	0,05	6,66	7,17	0,63	0	0,01	100

Tabla 16: Elementos medidos en cristales de plagioclasa a través de SEM

Código de host	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	Total	Miembros extremos	Observaciones
SEM-Plg1-1	62,32	24,82	5,14	7,72	100	An ₄₅ Ab ₅₅	Atrapado en augita de baja t°
SEM-Plg1-2	59,93	26,91	5,15	8,55	100	An ₄₈ Ab ₅₂	Atrapado en augita de baja t°
SEM-Plg1-3	61,63	24,85	4,56	8,97	100	An ₅₂ Ab ₄₈	Atrapado en augita de baja t°
SEM-Plg1-4	60,53	24,9	4,98	9,59	100	An ₅₂ Ab ₄₈	Atrapado en augita de baja t°
SEM-Plg2-1	57,73	29,09	5,1	8,09	100	An ₄₇ Ab ₅₃	Atrapado en augita de baja t°

C.6: Óxidos Fe-Ti

Tabla 17: Elementos mayores y volátiles medidos en cristales de óxidos de Fe-Ti a través de EMPA

Medición	Código de host	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	F	Total
Punto 1	SL-02A-Sp	0,155	15,44	2,18	75,73	0,435	2,01	0,024	0,03	0	0	0	96
Punto 2	SL-02A-Sp	0,148	15,35	2,11	75,7	0,418	1,94	0,06	0,065	0,02	0	0	95,81
Punto 3	SL-02A-Sp	0,115	15,11	2,19	76	0,438	2,04	0,043	0	0,012	0,009	0	95,96
Punto 4	SL-02A-Cxgroup Sp	0,103	18,47	1,725	74,2	0,522	2,1	0,015	0,079	0	0,016	0	97,23
Punto 5	SL-02A-Cxgroup Sp	0,107	18,2	1,827	73,95	0,528	2,1	0,03	0	0	0,007	0	96,75
Punto 6	SL-02A-Cxgroup Sp	0,076	18,11	1,835	74	0,57	2,15	0,07	0,048	0	0	0	96,86
Punto 7	Ox-A4	0,11	16,43	1,569	74,78	0,588	2,29	0,012	0	0,014	0,01	0	95,80
Punto 8	Ox-B4-1	0,02	47,74	0,388	47,15	0,593	2,79	0,068	0,025	0,009	0	0	98,78
Punto 9	Ox-B4-2	0,01	47,86	0,187	47,04	0,626	2,81	0,047	0,021	0,019	0	0	98,62
Punto 10	Ox-B4-3	0,022	47,66	0,195	47,29	0,617	2,8	0,101	0,021	0,009	0,012	0	98,73

Tabla 18: Elementos medidos en cristales de óxidos de Fe-Ti a través de SEM

Código de host	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	Cr ₂ O ₃	V ₂ O ₅	Total
SEM-OFT2-1	1,00	16,82	1,56	78,23	0,69	0,99	0	0	0	0,72	100
SEM-OFT2-2	0,79	17,34	2,11	76,39	0,57	2,08	0	0	0	0,72	100
SEM-OFT2-3	0,64	17,23	1,95	77,14	0,56	1,48	0	0,39	0	0,62	100
SEM-OFT2-4	0,67	17,86	2,09	75,72	0,37	2,08	0	0,48	0	0,60	100
SEM-OFT2-5	0,56	17,78	2,14	75,50	0,56	2,04	0	0,60	0	0,64	100
SEM-OFT2-6	0,71	17,34	1,57	77,15	0,45	1,82	0,30	0,00	0	0,65	100
SEM-OFT2-7	3,17	17,56	2,22	72,89	0,41	2,30	0,17	0,46	0	0,67	100
SEM-OFT2-8	0,68	17,46	2,18	76,54	0,50	1,88	0,20	0	0	0,57	100
SEM-OFT3-1	0,69	20,25	2,70	72,46	0,51	2,79	0	0	0	0,46	100
SEM-OFT3-2	0,74	18,79	2,53	73,72	0,48	3,09	0	0	0,26	0,37	100
SEM-OFT3-3	0,62	18,69	2,15	75,42	0,46	1,84	0	0	0	0,82	100
SEM-OFT3-4	0,56	18,98	1,55	76,41	0,53	1,24	0	0	0	0,73	100
SEM-OFT3-5	3,58	18,68	1,97	72,21	0,46	2,47	0	0	0	0,49	100
SEM-OFT3-6	0,71	18,75	2,08	74,53	0,38	2,59	0	0	0	0,76	100
SEM-OFT3-7	1,63	17,70	1,74	76,18	0,50	1,56	0	0	0	0,54	100
SEM-OFT3-8	3,09	17,66	2,43	73,10	0,51	2,43	0	0	0	0,78	100
SEM-OFT3-9	0,74	18,31	0,00	77,21	0,60	2,44	0	0	0	0,69	100
SEM-OFT3-10	1,54	47,39	0,00	46,49	0,59	3,10	0,22	0	0	0,67	100
SEM-OFT3-11	0,57	48,25	0,00	46,94	0,46	3,28	0	0	0	0,49	100
SEM-OFT4-1	0,65	18,23	2,41	75,05	0,43	2,83	0	0	0	0,42	100
SEM-OFT4-2	0,62	18,04	1,98	76,93	0,27	1,70	0	0	0	0,46	100
SEM-OFT4-3	0,80	18,00	2,20	75,41	0,53	2,11	0	0,55	0	0,41	100
SEM-OFT4-4	1,59	17,52	2,57	74,40	0,53	2,64	0,17	0	0	0,58	100

Código de host	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	Cr ₂ O ₃	V ₂ O ₅	Total
SEM-OFT7-5	0,61	17,20	3,20	75,28	0,64	2,52	0	0	0,00	0,41	100
SEM-OFT7-6	0,81	15,37	2,72	78,35	0,43	1,60	0	0	0,00	0,71	100
SEM-OFT7-7	0,56	18,38	2,56	74,56	0,61	2,63	0	0	0,00	0,52	100
SEM-OFT7-8	0,62	16,94	2,97	75,36	0,50	2,73	0	0	0,00	0,74	100
SEM-OFT7-9	0	17,70	2,24	76,54	0,48	2,37	0	0	0,00	0,67	100
SEM-OFT7-10	0,55	17,27	2,40	76,12	0,34	2,46	0	0	0,00	0,68	100
SEM-OFT7-11	0,94	17,34	1,73	76,35	0,61	2,26	0	0	0,00	0,77	100
SEM-OFT7-12	0,65	17,83	0	78,46	0,37	2,11	0	0	0,00	0,57	100
SEM-OFT7-13	0,56	16,53	3,10	75,73	0,65	2,81	0	0	0,00	0,47	100
SEM-OFT8-1	0,74	17,19	3,73	73,70	0,56	3,15	0	0	0,00	0,76	100
SEM-OFT8-2	0,48	17,58	2,80	74,62	0,70	2,97	0	0	0,00	0,68	100
SEM-OFT8-3	0,00	17,59	3,65	74,78	0,44	3,00	0	0	0,00	0,54	100
SEM-OFT8-4	0,45	17,27	3,42	75,14	0,62	2,35	0	0	0,00	0,75	100
SEM-OFT8-5	1,14	17,28	2,86	74,37	0,59	2,87	0	0	0,00	0,72	100
SEM-OFT8-6	0,60	48,43	0	46,40	0,36	4,08	0	0	0,00	0	100
SEM-OFT8-7	0	49,11	0	46,73	0,49	3,67	0	0	0,00	0	100
SEM-OFT8-8	0	48,92	0	46,10	0,66	4,32	0	0	0,00	0	100
SEM-OFT8-9	0,49	48,20	0	46,87	0,70	3,21	0,23	0	0,00	0	100
SEM-OFT8-10	0,69	20,34	0	75,30	0,49	2,73	0	0	0,00	0,46	100
SEM-OFT8-11	1,14	16,23	0	72,40	0,65	1,50	0	0,88	3,90	0,42	100
SEM-OFT9-1	0	49,55	0	46,57	0,56	3,32	0	0	0	0	100
SEM-OFT9-2	0,58	18,35	2,08	75,86	0,63	1,45	0	0	0	0,60	100
SEM-OFT9-3	0,40	18,30	2,90	74,99	0,65	1,98	0	0	0	0,63	100
SEM-OFT9-4	0,47	18,38	3,27	74,63	0,56	2,04	0	0	0	0,65	100
SEM-OFT9-5	0,61	18,30	2,37	75,65	0,39	1,99	0	0	0	0,53	100
SEM-OFT9-6	0,40	49,00	0	46,54	0,55	3,50	0	0	0	0	100
SEM-OFT9-7	4,13	17,68	2,77	70,71	0,49	3,14	0,21	0	0	0,69	100
SEM-OFT9-8	0,83	17,72	2,33	76,10	0,44	1,63	0,17	0	0	0,78	100
SEM-OFT9-9	0,41	49,44	0	47,64	0,65	1,86	0	0	0	0,00	100
SEM-OFT9-10	0,69	19,77	0	75,59	0,64	2,47	0	0	0	0,84	100
SEM-OFT9-11	1,33	18,26	2,16	75,18	0,54	1,78	0	0	0	0,74	100

Anexo D: Fórmulas estructurales

D.1 Olivinos calculados en base a 4 oxígenos

Las fórmulas estructurales de los olivinos fueron armadas siguiendo la estructura $M1_1M2_1SiO_4$, con $M1 = Mg, Fe, Ni, Cr$ y $M2 = Ca, Mn, Mg, Fe, Ni, Cr$

Tabla 19: Fórmulas estructurales y miembros extremos de olivinos

Código de host	Nombre original	Si	Fe (ii)	Mn	Mg	Ca	Fórmula estructural	Miembros extremos
OI-C3-1	C3-1	1,006	0,445	0,008	1,528	0,003	$Mg(Ca_{0,003}, Mn_{0,008}, Mg_{0,528}, Fe_{0,445})Si_{1,006}O_4$	$Fe_{78}Fa_{22}$
OI-D1-1	D1_xst1	1,000	0,448	0,007	1,540	0,004	$Mg(Ca_{0,004}, Mn_{0,007}, Mg_{0,540}, Fe_{0,448})Si_{1,000}O_4$	$Fe_{78}Fa_{22}$
OI-D1-2	D1_xst1	0,997	0,432	0,006	1,560	0,004	$Mg(Ca_{0,004}, Mn_{0,006}, Mg_{0,560}, Fe_{0,432})Si_{0,997}O_4$	$Fe_{78}Fa_{22}$
OI-D1-3	D1_xst1	0,994	0,422	0,006	1,573	0,004	$Mg(Ca_{0,004}, Mn_{0,006}, Mg_{0,573}, Fe_{0,422})Si_{0,994}O_4$	$Fe_{79}Fa_{21}$
OI-D28-1	D2_8-xst1	0,995	0,336	0,005	1,660	0,003	$Mg(Ca_{0,003}, Mn_{0,005}, Mg_{0,660}, Fe_{0,336})Si_{0,995}O_4$	$Fe_{83}Fa_{17}$
OI-D28-2	D2_8-xst1	0,997	0,334	0,005	1,661	0,004	$Mg(Ca_{0,004}, Mn_{0,005}, Mg_{0,661}, Fe_{0,334})Si_{0,997}O_4$	$Fe_{83}Fa_{17}$
OI-D28-3	D2_8-xst1	1,001	0,335	0,005	1,654	0,005	$Mg(Ca_{0,005}, Mn_{0,005}, Mg_{0,654}, Fe_{0,335})Si_{1,001}O_4$	$Fe_{83}Fa_{17}$
OI-G1-1	G1-xst1	0,998	0,342	0,005	1,649	0,004	$Mg(Ca_{0,004}, Mn_{0,005}, Mg_{0,649}, Fe_{0,342})Si_{0,998}O_4$	$Fe_{83}Fa_{17}$
OI-G1-2	G1-xst1	0,995	0,348	0,005	1,648	0,004	$Mg(Ca_{0,004}, Mn_{0,005}, Mg_{0,648}, Fe_{0,348})Si_{0,995}O_4$	$Fe_{83}Fa_{17}$
OI-G1-3	G1-xst1	0,997	0,346	0,005	1,648	0,004	$Mg(Ca_{0,004}, Mn_{0,005}, Mg_{0,648}, Fe_{0,346})Si_{0,997}O_4$	$Fe_{83}Fa_{17}$
OI-G2-1	G2-xst1	1,004	0,442	0,007	1,543	0,004	$Mg(Ca_{0,004}, Mn_{0,007}, Mg_{0,543}, Fe_{0,442})Si_{1,004}O_4$	$Fe_{78}Fa_{22}$
OI-G2-2	G2-xst1	0,998	0,441	0,007	1,535	0,004	$Mg(Ca_{0,004}, Mn_{0,007}, Mg_{0,535}, Fe_{0,441})Si_{0,998}O_4$	$Fe_{78}Fa_{22}$
OI-G2-3	G2-xst1	1,005	0,431	0,007	1,551	0,004	$Mg(Ca_{0,004}, Mn_{0,007}, Mg_{0,551}, Fe_{0,431})Si_{1,005}O_4$	$Fe_{78}Fa_{22}$
OI-G2-4	G2-xst2	0,992	0,354	0,005	1,605	0,014	$Mg(Ca_{0,014}, Mn_{0,005}, Mg_{0,605}, Fe_{0,354})Si_{0,992}O_4$	$Fe_{82}Fa_{18}$

124

D.2 Plagioclasas calculadas en base a 8 oxígenos

Las fórmulas estructurales de las plagioclasas fueron armadas siguiendo la estructura $A_1T_2Si_2O_8$, con $A = Na, K, Ca, Sr, Ba, Rb, Pb, Eu$ y $T = Si, Al, Fe$.

Tabla 20: Fórmulas estructurales y miembros extremos de plagioclasas

Código host	Nombre original	Si	Al	Fe (ii)	Na	K	Ca	Fórmula estructural	Miembros extremos
PI-A4	A4_xst1	2,630	1,351	0,017	0,607	0,028	0,363	$(Na_{0,607}, K_{0,028}, Ca_{0,363})(Si_{0,630}, Al_{1,351}, Fe_{0,017})Si_2O_8$	$An_{36}Ab_{61}Or_3$
PI-A5	Line1A5_xst_prof	2,597	1,391	0,016	0,552	0,028	0,412	$(Na_{0,552}, K_{0,028}, Ca_{0,412})(Si_{0,597}, Al_{1,391}, Fe_{0,016})Si_2O_8$	$An_{42}Ab_{56}Or_3$
PI-A5	Line2A5_xst_prof	2,591	1,386	0,017	0,575	0,024	0,403	$(Na_{0,575}, K_{0,024}, Ca_{0,403})(Si_{0,591}, Al_{1,386}, Fe_{0,017})Si_2O_8$	$An_{40}Ab_{57}Or_2$
PI-A5	Line3A5_xst_prof	2,600	1,377	0,016	0,575	0,023	0,407	$(Na_{0,575}, K_{0,023}, Ca_{0,407})(Si_{0,600}, Al_{1,377}, Fe_{0,016})Si_2O_8$	$An_{41}Ab_{57}Or_2$
PI-A5	Line4A5_xst_prof	2,625	1,367	0,016	0,579	0,027	0,383	$(Na_{0,579}, K_{0,027}, Ca_{0,383})(Si_{0,625}, Al_{1,367}, Fe_{0,016})Si_2O_8$	$An_{39}Ab_{59}Or_3$
PI-A5	Line5A5_xst_prof	2,633	1,340	0,016	0,611	0,028	0,368	$(Na_{0,611}, K_{0,028}, Ca_{0,368})(Si_{0,633}, Al_{1,340}, Fe_{0,016})Si_2O_8$	$An_{37}Ab_{61}Or_3$
PI-A5	Line6A5_xst_prof	2,605	1,379	0,016	0,579	0,024	0,393	$(Na_{0,579}, K_{0,024}, Ca_{0,393})(Si_{0,605}, Al_{1,379}, Fe_{0,016})Si_2O_8$	$An_{39}Ab_{58}Or_2$
PI-A5	Line7A5_xst_prof	2,614	1,363	0,015	0,586	0,025	0,393	$(Na_{0,586}, K_{0,025}, Ca_{0,393})(Si_{0,614}, Al_{1,363}, Fe_{0,015})Si_2O_8$	$An_{39}Ab_{58}Or_2$

Código host	Nombre original	Si	Al	Fe (ii)	Na	K	Ca	Fórmula estructural	Miembros extremos
PI-A5	Line8A5_xst_prof	2,583	1,393	0,017	0,570	0,021	0,413	(Na _{0,570} ,K _{0,021} ,Ca _{0,413})(Si _{0,583} ,Al _{1,393} ,Fe _{0,017})Si ₂ O ₈	An ₄₁ Ab ₅₇ Or ₂
PI-A5	Line9A5_xst_prof	2,602	1,375	0,016	0,584	0,023	0,396	(Na _{0,584} ,K _{0,023} ,Ca _{0,396})(Si _{0,602} ,Al _{1,375} ,Fe _{0,016})Si ₂ O ₈	An ₄₀ Ab ₅₈ Or ₂
PI-A5	Line10A5_xst_prof	2,616	1,367	0,015	0,573	0,026	0,398	(Na _{0,573} ,K _{0,026} ,Ca _{0,398})(Si _{0,616} ,Al _{1,367} ,Fe _{0,015})Si ₂ O ₈	An ₄₀ Ab ₅₇ Or ₃
PI-A5	Line11A5_xst_prof	2,617	1,365	0,014	0,579	0,026	0,396	(Na _{0,579} ,K _{0,026} ,Ca _{0,396})(Si _{0,617} ,Al _{1,365} ,Fe _{0,014})Si ₂ O ₈	An ₄₀ Ab ₅₈ Or ₃
PI-A5	Line12A5_xst_prof	2,607	1,372	0,015	0,579	0,025	0,399	(Na _{0,579} ,K _{0,025} ,Ca _{0,399})(Si _{0,607} ,Al _{1,372} ,Fe _{0,015})Si ₂ O ₈	An ₄₀ Ab ₅₈ Or ₂
PI-A5	Line13A5_xst_prof	2,640	1,348	0,014	0,590	0,027	0,376	(Na _{0,590} ,K _{0,027} ,Ca _{0,376})(Si _{0,640} ,Al _{1,348} ,Fe _{0,014})Si ₂ O ₈	An ₃₈ Ab ₅₉ Or ₃
PI-A5	Line14A5_xst_prof	2,632	1,356	0,015	0,595	0,027	0,372	(Na _{0,595} ,K _{0,027} ,Ca _{0,372})(Si _{0,632} ,Al _{1,356} ,Fe _{0,015})Si ₂ O ₈	An ₃₇ Ab ₆₀ Or ₃
PI-A5	Line15A5_xst_prof	2,638	1,349	0,014	0,596	0,029	0,370	(Na _{0,596} ,K _{0,029} ,Ca _{0,370})(Si _{0,638} ,Al _{1,349} ,Fe _{0,014})Si ₂ O ₈	An ₃₇ Ab ₆₀ Or ₃
PI-A6	Line1A6xstprofile	2,649	1,335	0,014	0,610	0,032	0,355	(Na _{0,610} ,K _{0,032} ,Ca _{0,355})(Si _{0,649} ,Al _{1,335} ,Fe _{0,014})Si ₂ O ₈	An ₃₆ Ab ₆₁ Or ₃
PI-A6	Line2A6xstprofile	2,588	1,378	0,017	0,583	0,023	0,407	(Na _{0,583} ,K _{0,023} ,Ca _{0,407})(Si _{0,588} ,Al _{1,378} ,Fe _{0,017})Si ₂ O ₈	An ₄₀ Ab ₅₈ Or ₂
PI-A6	Line3A6xstprofile	2,587	1,398	0,016	0,566	0,023	0,407	(Na _{0,566} ,K _{0,023} ,Ca _{0,407})(Si _{0,587} ,Al _{1,398} ,Fe _{0,016})Si ₂ O ₈	An ₄₁ Ab ₅₇ Or ₂
PI-A6	Line4A6xstprofile	2,582	1,383	0,017	0,589	0,023	0,402	(Na _{0,589} ,K _{0,023} ,Ca _{0,402})(Si _{0,582} ,Al _{1,383} ,Fe _{0,017})Si ₂ O ₈	An ₄₀ Ab ₅₈ Or ₂
PI-A6	Line5A6xstprofile	2,723	1,256	0,017	0,672	0,039	0,291	(Na _{0,672} ,K _{0,039} ,Ca _{0,291})(Si _{0,723} ,Al _{1,256} ,Fe _{0,017})Si ₂ O ₈	An ₂₉ Ab ₆₇ Or ₄
PI-A6	Line6A6xstprofile	2,633	1,348	0,015	0,604	0,029	0,366	(Na _{0,604} ,K _{0,029} ,Ca _{0,366})(Si _{0,633} ,Al _{1,348} ,Fe _{0,015})Si ₂ O ₈	An ₃₇ Ab ₆₀ Or ₃
PI-A6	Line7A6xstprofile	2,629	1,342	0,017	0,613	0,029	0,367	(Na _{0,613} ,K _{0,029} ,Ca _{0,367})(Si _{0,629} ,Al _{1,342} ,Fe _{0,017})Si ₂ O ₈	An ₃₆ Ab ₆₁ Or ₃
PI-A6	Line8A6xstprofile	2,587	1,394	0,015	0,555	0,024	0,420	(Na _{0,555} ,K _{0,024} ,Ca _{0,420})(Si _{0,587} ,Al _{1,394} ,Fe _{0,015})Si ₂ O ₈	An ₄₂ Ab ₅₆ Or ₂
PI-B4	Line1B4profile	2,644	1,333	0,018	0,622	0,030	0,348	(Na _{0,622} ,K _{0,030} ,Ca _{0,348})(Si _{0,644} ,Al _{1,333} ,Fe _{0,018})Si ₂ O ₈	An ₃₆ Ab ₆₂ Or ₃
PI-B4	Line2B4profile	2,642	1,335	0,016	0,619	0,029	0,355	(Na _{0,619} ,K _{0,029} ,Ca _{0,355})(Si _{0,642} ,Al _{1,335} ,Fe _{0,016})Si ₂ O ₈	An ₃₆ Ab ₆₂ Or ₃
PI-B4	Line3B4profile	2,620	1,349	0,017	0,615	0,028	0,367	(Na _{0,615} ,K _{0,028} ,Ca _{0,367})(Si _{0,620} ,Al _{1,349} ,Fe _{0,017})Si ₂ O ₈	An ₃₆ Ab ₆₁ Or ₃
PI-B4	Line4B4profile	2,613	1,348	0,017	0,621	0,025	0,372	(Na _{0,621} ,K _{0,025} ,Ca _{0,372})(Si _{0,613} ,Al _{1,348} ,Fe _{0,017})Si ₂ O ₈	An ₃₇ Ab ₆₁ Or ₂
PI-B4	Line5B4profile	2,632	1,358	0,016	0,590	0,024	0,374	(Na _{0,590} ,K _{0,024} ,Ca _{0,374})(Si _{0,632} ,Al _{1,358} ,Fe _{0,016})Si ₂ O ₈	An ₃₈ Ab ₆₀ Or ₂
PI-B4	Line6B4profile	2,613	1,367	0,016	0,599	0,024	0,375	(Na _{0,599} ,K _{0,024} ,Ca _{0,375})(Si _{0,613} ,Al _{1,367} ,Fe _{0,016})Si ₂ O ₈	An ₃₈ Ab ₆₀ Or ₂
PI-B4	Line7B4profile	2,626	1,362	0,017	0,588	0,026	0,379	(Na _{0,588} ,K _{0,026} ,Ca _{0,379})(Si _{0,626} ,Al _{1,362} ,Fe _{0,017})Si ₂ O ₈	An ₃₈ Ab ₅₉ Or ₃
PI-B4	Line8B4profile	2,611	1,366	0,016	0,606	0,024	0,371	(Na _{0,606} ,K _{0,024} ,Ca _{0,371})(Si _{0,611} ,Al _{1,366} ,Fe _{0,016})Si ₂ O ₈	An ₃₇ Ab ₆₁ Or ₂
PI-B4	Line9B4profile	2,620	1,372	0,017	0,589	0,025	0,375	(Na _{0,589} ,K _{0,025} ,Ca _{0,375})(Si _{0,620} ,Al _{1,372} ,Fe _{0,017})Si ₂ O ₈	An ₃₈ Ab ₆₀ Or ₂
PI-B4	Line10B4profile	2,625	1,356	0,017	0,599	0,023	0,376	(Na _{0,599} ,K _{0,023} ,Ca _{0,376})(Si _{0,625} ,Al _{1,356} ,Fe _{0,017})Si ₂ O ₈	An ₃₈ Ab ₆₀ Or ₂
PI-B4	Line11B4profile	2,614	1,369	0,016	0,595	0,025	0,377	(Na _{0,595} ,K _{0,025} ,Ca _{0,377})(Si _{0,614} ,Al _{1,369} ,Fe _{0,016})Si ₂ O ₈	An ₃₈ Ab ₆₀ Or ₂
PI-B4	Line12B4profile	2,638	1,359	0,017	0,590	0,026	0,367	(Na _{0,590} ,K _{0,026} ,Ca _{0,367})(Si _{0,638} ,Al _{1,359} ,Fe _{0,017})Si ₂ O ₈	An ₃₇ Ab ₆₀ Or ₃
PI-B4	Line13B4profile	2,629	1,352	0,017	0,610	0,026	0,363	(Na _{0,610} ,K _{0,026} ,Ca _{0,363})(Si _{0,629} ,Al _{1,352} ,Fe _{0,017})Si ₂ O ₈	An ₃₆ Ab ₆₁ Or ₃
PI-B4	Line14B4profile	2,618	1,364	0,018	0,602	0,027	0,367	(Na _{0,602} ,K _{0,027} ,Ca _{0,367})(Si _{0,618} ,Al _{1,364} ,Fe _{0,018})Si ₂ O ₈	An ₃₇ Ab ₆₀ Or ₃
PI-B4	Line15B4profile	2,632	1,357	0,016	0,605	0,026	0,360	(Na _{0,605} ,K _{0,026} ,Ca _{0,360})(Si _{0,632} ,Al _{1,357} ,Fe _{0,016})Si ₂ O ₈	An ₃₆ Ab ₆₁ Or ₃
PI-B4	Line16B4profile	2,629	1,355	0,015	0,593	0,024	0,378	(Na _{0,593} ,K _{0,024} ,Ca _{0,378})(Si _{0,629} ,Al _{1,355} ,Fe _{0,015})Si ₂ O ₈	An ₃₈ Ab ₆₀ Or ₂
PI-B4	Line17B4profile	2,633	1,359	0,016	0,589	0,025	0,372	(Na _{0,589} ,K _{0,025} ,Ca _{0,372})(Si _{0,633} ,Al _{1,359} ,Fe _{0,016})Si ₂ O ₈	An ₃₈ Ab ₆₀ Or ₃
PI-B4	Line18B4profile	2,631	1,354	0,014	0,592	0,025	0,379	(Na _{0,592} ,K _{0,025} ,Ca _{0,379})(Si _{0,631} ,Al _{1,354} ,Fe _{0,014})Si ₂ O ₈	An ₃₈ Ab ₅₉ Or ₃
PI-B4	Line19B4profile	2,613	1,355	0,016	0,607	0,024	0,382	(Na _{0,607} ,K _{0,024} ,Ca _{0,382})(Si _{0,613} ,Al _{1,355} ,Fe _{0,016})Si ₂ O ₈	An ₃₈ Ab ₆₀ Or ₂
PI-B4	Line20B4profile	2,605	1,378	0,014	0,589	0,024	0,387	(Na _{0,589} ,K _{0,024} ,Ca _{0,387})(Si _{0,605} ,Al _{1,378} ,Fe _{0,014})Si ₂ O ₈	An ₃₈ Ab ₅₉ Or ₂
PI-B4	Line21B4profile	2,630	1,370	0,015	0,578	0,024	0,380	(Na _{0,578} ,K _{0,024} ,Ca _{0,380})(Si _{0,630} ,Al _{1,370} ,Fe _{0,015})Si ₂ O ₈	An ₃₈ Ab ₅₉ Or ₂
PI-B4	Line22B4profile	2,615	1,374	0,015	0,583	0,023	0,385	(Na _{0,583} ,K _{0,023} ,Ca _{0,385})(Si _{0,615} ,Al _{1,374} ,Fe _{0,015})Si ₂ O ₈	An ₃₈ Ab ₅₉ Or ₂
PI-B4	Line23B4profile	2,622	1,368	0,015	0,584	0,024	0,382	(Na _{0,584} ,K _{0,024} ,Ca _{0,382})(Si _{0,622} ,Al _{1,368} ,Fe _{0,015})Si ₂ O ₈	An ₃₈ Ab ₅₉ Or ₂
PI-B4	Line24B4profile	2,627	1,357	0,016	0,593	0,025	0,378	(Na _{0,593} ,K _{0,025} ,Ca _{0,378})(Si _{0,627} ,Al _{1,357} ,Fe _{0,016})Si ₂ O ₈	An ₃₈ Ab ₅₉ Or ₃
PI-B4	Line25B4profile	2,647	1,352	0,015	0,597	0,025	0,361	(Na _{0,597} ,K _{0,025} ,Ca _{0,361})(Si _{0,647} ,Al _{1,352} ,Fe _{0,015})Si ₂ O ₈	An ₃₇ Ab ₆₁ Or ₃
PI-B4	Line26B4profile	2,623	1,358	0,017	0,600	0,027	0,370	(Na _{0,600} ,K _{0,027} ,Ca _{0,370})(Si _{0,623} ,Al _{1,358} ,Fe _{0,017})Si ₂ O ₈	An ₃₇ Ab ₆₀ Or ₃
PI-B4	Line27B4profile	2,617	1,366	0,017	0,598	0,025	0,372	(Na _{0,598} ,K _{0,025} ,Ca _{0,372})(Si _{0,617} ,Al _{1,366} ,Fe _{0,017})Si ₂ O ₈	An ₃₇ Ab ₆₀ Or ₃
PI-B4	Line28B4profile	2,636	1,350	0,018	0,603	0,023	0,368	(Na _{0,603} ,K _{0,023} ,Ca _{0,368})(Si _{0,636} ,Al _{1,350} ,Fe _{0,018})Si ₂ O ₈	An ₃₇ Ab ₆₁ Or ₂
PI-B4	Line29B4profile	2,631	1,362	0,014	0,599	0,026	0,365	(Na _{0,599} ,K _{0,026} ,Ca _{0,365})(Si _{0,631} ,Al _{1,362} ,Fe _{0,014})Si ₂ O ₈	An ₃₇ Ab ₆₁ Or ₃
PI-B4	Line30B4profile	2,649	1,351	0,015	0,594	0,025	0,363	(Na _{0,594} ,K _{0,025} ,Ca _{0,363})(Si _{0,649} ,Al _{1,351} ,Fe _{0,015})Si ₂ O ₈	An ₃₇ Ab ₆₀ Or ₃
PI-B4	Line31B4profile	2,648	1,341	0,015	0,611	0,026	0,355	(Na _{0,611} ,K _{0,026} ,Ca _{0,355})(Si _{0,648} ,Al _{1,341} ,Fe _{0,015})Si ₂ O ₈	An ₃₆ Ab ₆₂ Or ₃

Código host	Nombre original	Si	Al	Fe (ii)	Na	K	Ca	Fórmula estructural	Miembros extremos
PI-B4	Line32B4profile	2,626	1,356	0,016	0,609	0,025	0,365	(Na _{0,609} ,K _{0,025} ,Ca _{0,365})(Si _{0,626} ,Al _{1,356} ,Fe _{0,016})Si ₂ O ₈	An ₃₇ Ab ₆₁ Or ₃
PI-B4	Line33B4profile	2,578	1,404	0,015	0,566	0,022	0,410	(Na _{0,566} ,K _{0,022} ,Ca _{0,410})(Si _{0,578} ,Al _{1,404} ,Fe _{0,015})Si ₂ O ₈	An ₄₁ Ab ₅₇ Or ₂
PI-B4	Line34B4profile	2,588	1,403	0,015	0,560	0,021	0,408	(Na _{0,560} ,K _{0,021} ,Ca _{0,408})(Si _{0,588} ,Al _{1,403} ,Fe _{0,015})Si ₂ O ₈	An ₄₁ Ab ₅₇ Or ₂
PI-B4	Line35B4profile	2,596	1,392	0,016	0,567	0,023	0,401	(Na _{0,567} ,K _{0,023} ,Ca _{0,401})(Si _{0,596} ,Al _{1,392} ,Fe _{0,016})Si ₂ O ₈	An ₄₀ Ab ₅₇ Or ₂
PI-B4	Line36B4profile	2,605	1,377	0,016	0,590	0,024	0,385	(Na _{0,590} ,K _{0,024} ,Ca _{0,385})(Si _{0,605} ,Al _{1,377} ,Fe _{0,016})Si ₂ O ₈	An ₃₉ Ab ₅₉ Or ₂
PI-B4	Line37B4profile	2,596	1,388	0,014	0,575	0,024	0,398	(Na _{0,575} ,K _{0,024} ,Ca _{0,398})(Si _{0,596} ,Al _{1,388} ,Fe _{0,014})Si ₂ O ₈	An ₄₀ Ab ₅₈ Or ₂
PI-B4	Line38B4profile	2,608	1,380	0,016	0,578	0,025	0,389	(Na _{0,578} ,K _{0,025} ,Ca _{0,389})(Si _{0,608} ,Al _{1,380} ,Fe _{0,016})Si ₂ O ₈	An ₃₉ Ab ₅₈ Or ₃
PI-B4	Line39B4profile	2,625	1,367	0,015	0,578	0,025	0,386	(Na _{0,578} ,K _{0,025} ,Ca _{0,386})(Si _{0,625} ,Al _{1,367} ,Fe _{0,015})Si ₂ O ₈	An ₃₉ Ab ₅₈ Or ₂
PI-B4	Line40B4profile	2,659	1,339	0,015	0,612	0,027	0,343	(Na _{0,612} ,K _{0,027} ,Ca _{0,343})(Si _{0,659} ,Al _{1,339} ,Fe _{0,015})Si ₂ O ₈	An ₃₅ Ab ₆₂ Or ₃
PI-B4	Line41B4profile	2,618	1,368	0,015	0,590	0,023	0,382	(Na _{0,590} ,K _{0,023} ,Ca _{0,382})(Si _{0,618} ,Al _{1,368} ,Fe _{0,015})Si ₂ O ₈	An ₃₈ Ab ₅₉ Or ₂
PI-B4	Line42B4profile	2,624	1,354	0,017	0,600	0,026	0,374	(Na _{0,600} ,K _{0,026} ,Ca _{0,374})(Si _{0,624} ,Al _{1,354} ,Fe _{0,017})Si ₂ O ₈	An ₃₇ Ab ₆₀ Or ₃
PI-B4	Line43B4profile	2,627	1,365	0,012	0,592	0,024	0,375	(Na _{0,592} ,K _{0,024} ,Ca _{0,375})(Si _{0,627} ,Al _{1,365} ,Fe _{0,012})Si ₂ O ₈	An ₃₉ Ab ₆₀ Or ₂
PI-B4	Line44B4profile	2,625	1,363	0,014	0,599	0,024	0,371	(Na _{0,599} ,K _{0,024} ,Ca _{0,371})(Si _{0,625} ,Al _{1,363} ,Fe _{0,014})Si ₂ O ₈	An ₃₇ Ab ₆₀ Or ₂
PI-B4	Line45B4profile	2,633	1,354	0,013	0,597	0,025	0,375	(Na _{0,597} ,K _{0,025} ,Ca _{0,375})(Si _{0,633} ,Al _{1,354} ,Fe _{0,013})Si ₂ O ₈	An ₃₈ Ab ₆₀ Or ₂
PI-B4	Line46B4profile	2,618	1,372	0,014	0,586	0,025	0,381	(Na _{0,586} ,K _{0,025} ,Ca _{0,381})(Si _{0,618} ,Al _{1,372} ,Fe _{0,014})Si ₂ O ₈	An ₃₈ Ab ₅₉ Or ₃
PI-B4	Line47B4profile	2,659	1,332	0,016	0,610	0,029	0,350	(Na _{0,610} ,K _{0,029} ,Ca _{0,350})(Si _{0,659} ,Al _{1,332} ,Fe _{0,016})Si ₂ O ₈	An ₃₅ Ab ₆₂ Or ₃
PI-B4	Line48B4profile	2,670	1,333	0,013	0,614	0,027	0,340	(Na _{0,614} ,K _{0,027} ,Ca _{0,340})(Si _{0,670} ,Al _{1,333} ,Fe _{0,013})Si ₂ O ₈	An ₃₅ Ab ₆₃ Or ₃
PI-B4	Line49B4profile	2,637	1,344	0,015	0,605	0,029	0,365	(Na _{0,605} ,K _{0,029} ,Ca _{0,365})(Si _{0,637} ,Al _{1,344} ,Fe _{0,015})Si ₂ O ₈	An ₃₇ Ab ₆₁ Or ₃
PI-B4	Line50B4profile	2,642	1,354	0,014	0,597	0,027	0,362	(Na _{0,597} ,K _{0,027} ,Ca _{0,362})(Si _{0,642} ,Al _{1,354} ,Fe _{0,014})Si ₂ O ₈	An ₃₇ Ab ₆₁ Or ₃
PI-B4	Line51B4profile	2,644	1,342	0,016	0,609	0,025	0,357	(Na _{0,609} ,K _{0,025} ,Ca _{0,357})(Si _{0,644} ,Al _{1,342} ,Fe _{0,016})Si ₂ O ₈	An ₃₈ Ab ₆₁ Or ₃
PI-B4	Line52B4profile	2,685	1,314	0,014	0,621	0,030	0,331	(Na _{0,621} ,K _{0,030} ,Ca _{0,331})(Si _{0,685} ,Al _{1,314} ,Fe _{0,014})Si ₂ O ₈	An ₃₄ Ab ₆₃ Or ₃
PI-B4	Line53B4profile	2,624	1,369	0,015	0,581	0,023	0,385	(Na _{0,581} ,K _{0,023} ,Ca _{0,385})(Si _{0,624} ,Al _{1,369} ,Fe _{0,015})Si ₂ O ₈	An ₃₉ Ab ₅₉ Or ₂
PI-B4	Line54B4profile	2,632	1,358	0,015	0,588	0,024	0,376	(Na _{0,588} ,K _{0,024} ,Ca _{0,376})(Si _{0,632} ,Al _{1,358} ,Fe _{0,015})Si ₂ O ₈	An ₃₉ Ab ₆₀ Or ₂
PI-B4	Line55B4profile	2,678	1,312	0,016	0,634	0,030	0,326	(Na _{0,634} ,K _{0,030} ,Ca _{0,326})(Si _{0,678} ,Al _{1,312} ,Fe _{0,016})Si ₂ O ₈	An ₃₃ Ab ₆₄ Or ₃
PI-B4	Line56B4profile	2,576	1,413	0,016	0,551	0,022	0,417	(Na _{0,551} ,K _{0,022} ,Ca _{0,417})(Si _{0,576} ,Al _{1,413} ,Fe _{0,016})Si ₂ O ₈	An ₄₄ Ab ₅₆ Or ₂
PI-B4	Line57B4profile	2,585	1,404	0,017	0,553	0,021	0,415	(Na _{0,553} ,K _{0,021} ,Ca _{0,415})(Si _{0,585} ,Al _{1,404} ,Fe _{0,017})Si ₂ O ₈	An ₄₂ Ab ₅₆ Or ₂
PI-B4	Line58B4profile	2,569	1,426	0,020	0,536	0,019	0,424	(Na _{0,536} ,K _{0,019} ,Ca _{0,424})(Si _{0,569} ,Al _{1,426} ,Fe _{0,020})Si ₂ O ₈	An ₄₃ Ab ₅₅ Or ₂
PI-B4	Line59B4profile	2,560	1,421	0,020	0,535	0,018	0,441	(Na _{0,535} ,K _{0,018} ,Ca _{0,441})(Si _{0,560} ,Al _{1,421} ,Fe _{0,020})Si ₂ O ₈	An ₄₄ Ab ₅₄ Or ₂
PI-B4	Line60B4profile	2,569	1,415	0,018	0,544	0,021	0,428	(Na _{0,544} ,K _{0,021} ,Ca _{0,428})(Si _{0,569} ,Al _{1,415} ,Fe _{0,018})Si ₂ O ₈	An ₄₃ Ab ₅₅ Or ₂
PI-E2	E2_xst1	2,643	1,349	0,014	0,603	0,027	0,359	(Na _{0,603} ,K _{0,027} ,Ca _{0,359})(Si _{0,643} ,Al _{1,349} ,Fe _{0,014})Si ₂ O ₈	An ₃₆ Ab ₆₁ Or ₃
PI-E2	E2_xst2	2,641	1,340	0,014	0,606	0,029	0,365	(Na _{0,606} ,K _{0,029} ,Ca _{0,365})(Si _{0,641} ,Al _{1,340} ,Fe _{0,014})Si ₂ O ₈	An ₃₆ Ab ₆₁ Or ₃
PI-E2	E2_xst3	2,544	1,438	0,016	0,526	0,019	0,452	(Na _{0,526} ,K _{0,019} ,Ca _{0,452})(Si _{0,544} ,Al _{1,438} ,Fe _{0,016})Si ₂ O ₈	An ₄₅ Ab ₅₃ Or ₂
PI-E2	E2_xst4	2,648	1,332	0,016	0,615	0,027	0,358	(Na _{0,615} ,K _{0,027} ,Ca _{0,358})(Si _{0,648} ,Al _{1,332} ,Fe _{0,016})Si ₂ O ₈	An ₃₆ Ab ₆₂ Or ₃
PI-E3	Line1E3-xstprof	2,573	1,416	0,018	0,538	0,021	0,431	(Na _{0,538} ,K _{0,021} ,Ca _{0,431})(Si _{0,573} ,Al _{1,416} ,Fe _{0,018})Si ₂ O ₈	An ₄₃ Ab ₅₄ Or ₂
PI-E3	Line2E3-xstprof	2,588	1,396	0,017	0,566	0,022	0,408	(Na _{0,566} ,K _{0,022} ,Ca _{0,408})(Si _{0,588} ,Al _{1,396} ,Fe _{0,017})Si ₂ O ₈	An ₄₁ Ab ₅₇ Or ₂
PI-E3	Line3E3-xstprof	2,582	1,411	0,016	0,554	0,020	0,415	(Na _{0,554} ,K _{0,020} ,Ca _{0,415})(Si _{0,582} ,Al _{1,411} ,Fe _{0,016})Si ₂ O ₈	An ₄₂ Ab ₅₆ Or ₂
PI-E3	Line4E3-xstprof	2,568	1,408	0,017	0,558	0,021	0,423	(Na _{0,558} ,K _{0,021} ,Ca _{0,423})(Si _{0,568} ,Al _{1,408} ,Fe _{0,017})Si ₂ O ₈	An ₄₂ Ab ₅₆ Or ₂
PI-E3	Line5E3-xstprof	2,583	1,396	0,017	0,579	0,022	0,399	(Na _{0,579} ,K _{0,022} ,Ca _{0,399})(Si _{0,583} ,Al _{1,396} ,Fe _{0,017})Si ₂ O ₈	An ₄₀ Ab ₅₈ Or ₂
PI-E3	Line6E3-xstprof	2,583	1,400	0,016	0,560	0,024	0,413	(Na _{0,560} ,K _{0,024} ,Ca _{0,413})(Si _{0,583} ,Al _{1,400} ,Fe _{0,016})Si ₂ O ₈	An ₄₁ Ab ₅₆ Or ₂
PI-E3	Line7E3-xstprof	2,648	1,338	0,017	0,602	0,026	0,367	(Na _{0,602} ,K _{0,026} ,Ca _{0,367})(Si _{0,648} ,Al _{1,338} ,Fe _{0,017})Si ₂ O ₈	An ₃₇ Ab ₆₀ Or ₃
PI-E3	Line8E3-xstprof	2,594	1,375	0,016	0,591	0,021	0,399	(Na _{0,591} ,K _{0,021} ,Ca _{0,399})(Si _{0,594} ,Al _{1,375} ,Fe _{0,016})Si ₂ O ₈	An ₃₉ Ab ₅₈ Or ₂
PI-E3	Line9E3-xstprof	2,640	1,344	0,017	0,604	0,024	0,366	(Na _{0,604} ,K _{0,024} ,Ca _{0,366})(Si _{0,640} ,Al _{1,344} ,Fe _{0,017})Si ₂ O ₈	An ₃₇ Ab ₆₁ Or ₂
PI-E3	Line10E3-xstprof	2,609	1,367	0,020	0,582	0,023	0,395	(Na _{0,582} ,K _{0,023} ,Ca _{0,395})(Si _{0,609} ,Al _{1,367} ,Fe _{0,020})Si ₂ O ₈	An ₃₉ Ab ₅₈ Or ₂
PI-E3	Line11E3-xstprof	2,604	1,369	0,020	0,595	0,025	0,385	(Na _{0,595} ,K _{0,025} ,Ca _{0,385})(Si _{0,604} ,Al _{1,369} ,Fe _{0,020})Si ₂ O ₈	An ₃₈ Ab ₅₉ Or ₃
PI-E5	Line1E5-xstprof	2,580	1,402	0,016	0,551	0,023	0,425	(Na _{0,551} ,K _{0,023} ,Ca _{0,425})(Si _{0,580} ,Al _{1,402} ,Fe _{0,016})Si ₂ O ₈	An ₄₃ Ab ₅₅ Or ₂
PI-E5	Line2E5-xstprof	2,576	1,397	0,016	0,571	0,022	0,417	(Na _{0,571} ,K _{0,022} ,Ca _{0,417})(Si _{0,576} ,Al _{1,397} ,Fe _{0,016})Si ₂ O ₈	An ₄₁ Ab ₅₇ Or ₂
PI-E5	Line3E5-xstprof	2,595	1,393	0,016	0,568	0,023	0,401	(Na _{0,568} ,K _{0,023} ,Ca _{0,401})(Si _{0,595} ,Al _{1,393} ,Fe _{0,016})Si ₂ O ₈	An ₄₀ Ab ₅₇ Or ₂

Código host	Nombre original	Si	Al	Fe (ii)	Na	K	Ca	Fórmula estructural	Miembros extremos
PI-E5	Line4E5-xstprof	2,665	1,313	0,016	0,634	0,030	0,339	(Na _{0,634} K _{0,030} Ca _{0,339})(Si _{0,665} Al _{1,313} Fe _{0,016})Si ₂ O ₆	An ₃₄ Ab ₆₃ Or ₃
PI-E5	Line5E5-xstprof	2,682	1,314	0,017	0,623	0,029	0,331	(Na _{0,623} K _{0,029} Ca _{0,331})(Si _{0,682} Al _{1,314} Fe _{0,017})Si ₂ O ₆	An ₃₄ Ab ₆₃ Or ₃
PI-E5	Line6E5-xstprof	2,583	1,400	0,016	0,561	0,019	0,416	(Na _{0,561} K _{0,019} Ca _{0,416})(Si _{0,583} Al _{1,400} Fe _{0,016})Si ₂ O ₆	An ₄₂ Ab ₅₆ Or ₂
PI-E5	Line7E5-xstprof	2,618	1,363	0,016	0,576	0,025	0,397	(Na _{0,576} K _{0,025} Ca _{0,397})(Si _{0,618} Al _{1,363} Fe _{0,016})Si ₂ O ₆	An ₄₀ Ab ₅₈ Or ₂
PI-E5	Line8E5-xstprof	2,622	1,356	0,017	0,594	0,025	0,378	(Na _{0,594} K _{0,025} Ca _{0,378})(Si _{0,622} Al _{1,356} Fe _{0,017})Si ₂ O ₆	An ₃₈ Ab ₆₀ Or ₃
PI-E5	Line9E5-xstprof	2,592	1,385	0,016	0,574	0,024	0,403	(Na _{0,574} K _{0,024} Ca _{0,403})(Si _{0,592} Al _{1,385} Fe _{0,016})Si ₂ O ₆	An ₄₀ Ab ₅₇ Or ₂
PI-E5	Line10E5-xstprof	2,583	1,389	0,016	0,576	0,025	0,404	(Na _{0,576} K _{0,025} Ca _{0,404})(Si _{0,583} Al _{1,389} Fe _{0,016})Si ₂ O ₆	An ₄₀ Ab ₅₇ Or ₃
PI-E5	Line11E5-xstprof	2,575	1,411	0,019	0,539	0,022	0,429	(Na _{0,539} K _{0,022} Ca _{0,429})(Si _{0,575} Al _{1,411} Fe _{0,019})Si ₂ O ₆	An ₄₃ Ab ₅₄ Or ₂
PI-E5	Line12E5-xstprof	2,518	1,452	0,022	0,510	0,021	0,471	(Na _{0,510} K _{0,021} Ca _{0,471})(Si _{0,518} Al _{1,452} Fe _{0,022})Si ₂ O ₆	An ₄₇ Ab ₅₁ Or ₂
PI-E5	Line13E5-xstprof	2,576	1,399	0,018	0,552	0,026	0,425	(Na _{0,552} K _{0,026} Ca _{0,425})(Si _{0,576} Al _{1,399} Fe _{0,018})Si ₂ O ₆	An ₄₂ Ab ₅₅ Or ₃
PI-E5	Line14E5-xstprof	2,624	1,366	0,021	0,565	0,034	0,388	(Na _{0,565} K _{0,034} Ca _{0,388})(Si _{0,624} Al _{1,366} Fe _{0,021})Si ₂ O ₆	An ₃₉ Ab ₅₇ Or ₃
PI-F1	F1_xst1	2,699	1,301	0,016	0,622	0,036	0,319	(Na _{0,622} K _{0,036} Ca _{0,319})(Si _{0,699} Al _{1,301} Fe _{0,016})Si ₂ O ₆	An ₃₃ Ab ₆₄ Or ₄

D.3 Piroxenos calculados en base a 6 oxígenos

Las fórmulas estructurales de los piroxenos fueron armadas siguiendo la estructura M₂M₁M₂T₂O₆, con M₁= Al, Cr, Fe, Mg, Mn, Sc, Ti, V; M₂= Ca, Na, Mn, Mg, Fe, Ni y T= Si, Al.

127

Tabla 21: Fórmulas estructurales y miembros extremos de piroxenos

Código host	Nombre original	M2					M1					T		Fórmulas estructurales	Miembros extremos
		Ca	Na	Mn	Mg	Fe2+	Al	Fe3+	Fe2+	Mg	Ti	Si	Al		
Cpx 1	Line2SL-01C_Cx1-L1	0,792	0,024	0,017	0,110	0,057	0,008	0,019	0,331	0,634	0,008	1,980	0,020	(Ca _{0,792} Na _{0,024} Mn _{0,017} Mg _{0,110} Fe _{0,057}) _{Σ=1} (Al _{0,008} Fe _{0,019} Fe _{0,331} Mg _{0,634} Ti _{0,008}) _{Σ=1} (Si _{1,980} Al _{0,020}) _{Σ=2} O ₆	Wo ₄₁ En ₃₈ Fs ₂₀
Cpx 1	Line3SL-01C_Cx1-L1	0,808	0,023	0,015	0,106	0,048	0,010	0,029	0,298	0,653	0,010	1,963	0,037	(Ca _{0,808} Na _{0,023} Mn _{0,015} Mg _{0,106} Fe _{0,048}) _{Σ=1} (Al _{0,010} Fe _{0,029} Fe _{0,298} Mg _{0,653} Ti _{0,010}) _{Σ=1} (Si _{1,963} Al _{0,037}) _{Σ=2} O ₆	Wo ₄₁ En ₃₉ Fs ₂₀
Cpx 1	Line4SL-01C_Cx1-L1	0,797	0,021	0,015	0,111	0,055	0,013	0,014	0,318	0,646	0,009	1,977	0,023	(Ca _{0,797} Na _{0,021} Mn _{0,015} Mg _{0,111} Fe _{0,055}) _{Σ=1} (Al _{0,013} Fe _{0,014} Fe _{0,318} Mg _{0,646} Ti _{0,009}) _{Σ=1} (Si _{1,977} Al _{0,023}) _{Σ=2} O ₆	Wo ₄₁ En ₃₉ Fs ₂₁
Cpx 1	Line5SL-01C_Cx1-L1	0,809	0,021	0,014	0,106	0,050	-	0,041	0,303	0,647	0,010	1,961	0,038	(Ca _{0,809} Na _{0,021} Mn _{0,014} Mg _{0,106} Fe _{0,050}) _{Σ=1} (Fe _{0,041} Fe _{0,303} Mg _{0,647} Ti _{0,010}) _{Σ=1} (Si _{1,961} Al _{0,038}) _{Σ=1,999} O ₆	Wo ₄₁ En ₃₈ Fs ₂₁
Cpx 1	Line6SL-01C_Cx1-L1	0,795	0,021	0,018	0,110	0,055	0,008	0,021	0,324	0,641	0,007	1,979	0,021	(Ca _{0,795} Na _{0,021} Mn _{0,018} Mg _{0,110} Fe _{0,055}) _{Σ=1} (Al _{0,008} Fe _{0,021} Fe _{0,324} Mg _{0,641} Ti _{0,007}) _{Σ=1} (Si _{1,979} Al _{0,021}) _{Σ=2} O ₆	Wo ₄₀ En ₃₈ Fs ₂₁
Cpx 1	Line7SL-01C_Cx1-L1	0,792	0,024	0,017	0,110	0,057	0,008	0,019	0,331	0,634	0,008	1,980	0,020	(Ca _{0,792} Na _{0,024} Mn _{0,017} Mg _{0,110} Fe _{0,057}) _{Σ=1} (Al _{0,008} Fe _{0,019} Fe _{0,331} Mg _{0,634} Ti _{0,008}) _{Σ=1} (Si _{1,980} Al _{0,020}) _{Σ=2} O ₆	Wo ₄₀ En ₃₈ Fs ₂₂
Cpx 1	Line8SL-01C_Cx1-L1	0,794	0,023	0,018	0,108	0,057	0,011	0,017	0,332	0,633	0,008	1,980	0,020	(Ca _{0,794} Na _{0,023} Mn _{0,018} Mg _{0,108} Fe _{0,057}) _{Σ=1} (Al _{0,011} Fe _{0,017} Fe _{0,332} Mg _{0,633} Ti _{0,008}) _{Σ=1} (Si _{1,980} Al _{0,020}) _{Σ=2} O ₆	Wo ₄₁ En ₃₈ Fs ₂₂
Cpx 1	Line9SL-01C_Cx1-L1	0,788	0,022	0,018	0,113	0,059	0,004	0,030	0,327	0,632	0,007	1,973	0,027	(Ca _{0,788} Na _{0,022} Mn _{0,018} Mg _{0,113} Fe _{0,059}) _{Σ=1} (Al _{0,004} Fe _{0,030} Fe _{0,327} Mg _{0,632} Ti _{0,007}) _{Σ=1} (Si _{1,973} Al _{0,027}) _{Σ=2} O ₆	Wo ₄₀ En ₃₈ Fs ₂₂
Cpx 1	Line10SL-01C_Cx1-L1	0,789	0,023	0,016	0,113	0,059	0,009	0,023	0,328	0,632	0,009	1,974	0,026	(Ca _{0,789} Na _{0,023} Mn _{0,016} Mg _{0,113} Fe _{0,059}) _{Σ=1} (Al _{0,009} Fe _{0,023} Fe _{0,328} Mg _{0,632} Ti _{0,009}) _{Σ=1} (Si _{1,974} Al _{0,026}) _{Σ=2} O ₆	Wo ₄₀ En ₃₈ Fs ₂₂
Cpx 1	Line11SL-01C_Cx1-L1	0,795	0,024	0,017	0,111	0,053	0,002	0,038	0,306	0,645	0,009	1,966	0,034	(Ca _{0,795} Na _{0,024} Mn _{0,017} Mg _{0,111} Fe _{0,053}) _{Σ=1} (Al _{0,002} Fe _{0,038} Fe _{0,306} Mg _{0,645} Ti _{0,009}) _{Σ=1} (Si _{1,966} Al _{0,034}) _{Σ=2} O ₆	Wo ₄₀ En ₃₈ Fs ₂₁

Código host	Nombre original	M2					M1					T		Fórmulas estructurales	Miembros extremos
		Ca	Na	Mn	Mg	Fe2+	Al	Fe3+	Fe2+	Mg	Ti	Si	Al		
Cpx 1	Line12SL-01C-Cx1-L1	0,793	0,023	0,015	0,112	0,057	0,013	0,014	0,324	0,639	0,009	1,978	0,022	$(Ca_{0,793}, Na_{0,023}, Mn_{0,015}, Mg_{0,112}, Fe^{2+}_{0,057})_{\Sigma=1} (Al_{0,013}, Fe^{3+}_{0,014}, Fe^{2+}_{0,324}, Mg_{0,639}, Ti_{0,009})_{\Sigma=1} (Si_{1,978}, Al_{0,022})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₁ En ₃₈ Fs ₂₁
Cpx 1	Line13SL-01C-Cx1-L1	0,793	0,021	0,015	0,112	0,058	0,011	0,016	0,330	0,635	0,008	1,978	0,022	$(Ca_{0,793}, Na_{0,021}, Mn_{0,015}, Mg_{0,112}, Fe^{2+}_{0,058})_{\Sigma=1} (Al_{0,011}, Fe^{3+}_{0,016}, Fe^{2+}_{0,330}, Mg_{0,635}, Ti_{0,008})_{\Sigma=1} (Si_{1,978}, Al_{0,022})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₀ En ₃₈ Fs ₂₁
Cpx 1	Line14SL-01C-Cx1-L1	0,790	0,019	0,016	0,115	0,060	0,015	0,003	0,335	0,639	0,009	1,984	0,016	$(Ca_{0,790}, Na_{0,019}, Mn_{0,016}, Mg_{0,115}, Fe^{2+}_{0,060})_{\Sigma=1} (Al_{0,015}, Fe^{3+}_{0,003}, Fe^{2+}_{0,335}, Mg_{0,639}, Ti_{0,009})_{\Sigma=1} (Si_{1,984}, Al_{0,016})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₀ En ₃₉ Fs ₂₁
Cpx 1	Line15SL-01C-Cx1-L1	0,796	0,025	0,016	0,109	0,055	0,010	0,020	0,323	0,638	0,009	1,978	0,022	$(Ca_{0,796}, Na_{0,025}, Mn_{0,016}, Mg_{0,109}, Fe^{2+}_{0,055})_{\Sigma=1} (Al_{0,010}, Fe^{3+}_{0,020}, Fe^{2+}_{0,323}, Mg_{0,638}, Ti_{0,009})_{\Sigma=1} (Si_{1,978}, Al_{0,022})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₁ En ₃₈ Fs ₂₁
Cpx 1	Line1SL-01C-Cx1-L2	0,819	0,027	0,017	0,096	0,042	-	0,055	0,287	0,650	0,012	1,952	0,045	$(Ca_{0,819}, Na_{0,027}, Mn_{0,017}, Mg_{0,096}, Fe^{2+}_{0,042})_{\Sigma=1} (Fe^{3+}_{0,055}, Fe^{2+}_{0,287}, Mg_{0,650}, Ti_{0,012})_{\Sigma=1} (Si_{1,952}, Al_{0,045})_{\Sigma=1,997} O_6$	Wo ₄₂ En ₃₈ Fs ₂₀
Cpx 1	Line2SL-01C-Cx1-L2	0,813	0,023	0,017	0,102	0,045	0,006	0,039	0,291	0,654	0,009	1,960	0,040	$(Ca_{0,813}, Na_{0,023}, Mn_{0,017}, Mg_{0,102}, Fe^{2+}_{0,045})_{\Sigma=1} (Al_{0,006}, Fe^{3+}_{0,039}, Fe^{2+}_{0,291}, Mg_{0,654}, Ti_{0,009})_{\Sigma=1} (Si_{1,960}, Al_{0,040})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₁ En ₃₉ Fs ₂₀
Cpx 1	Line3SL-01C-Cx1-L2	0,812	0,023	0,015	0,104	0,046	0,004	0,040	0,290	0,655	0,011	1,957	0,043	$(Ca_{0,812}, Na_{0,023}, Mn_{0,015}, Mg_{0,104}, Fe^{2+}_{0,046})_{\Sigma=1} (Al_{0,004}, Fe^{3+}_{0,040}, Fe^{2+}_{0,290}, Mg_{0,655}, Ti_{0,011})_{\Sigma=1} (Si_{1,957}, Al_{0,043})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₁ En ₃₉ Fs ₂₀
Cpx 1	Line4SL-01C-Cx1-L2	0,796	0,026	0,013	0,111	0,053	0,011	0,028	0,308	0,642	0,011	1,965	0,035	$(Ca_{0,796}, Na_{0,026}, Mn_{0,013}, Mg_{0,111}, Fe^{2+}_{0,053})_{\Sigma=1} (Al_{0,011}, Fe^{3+}_{0,028}, Fe^{2+}_{0,308}, Mg_{0,642}, Ti_{0,011})_{\Sigma=1} (Si_{1,965}, Al_{0,035})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₁ En ₃₉ Fs ₂₁
Opx 1	Line1SL-01C-CX2	0,064	0,002	0,029	0,530	0,376	0,006	0,001	0,409	0,577	0,007	1,982	0,018	$(Ca_{0,064}, Na_{0,002}, Mn_{0,029}, Mg_{0,530}, Fe^{2+}_{0,376})_{\Sigma=1} (Al_{0,006}, Fe^{3+}_{0,001}, Fe^{2+}_{0,409}, Mg_{0,577}, Ti_{0,007})_{\Sigma=1} (Si_{1,982}, Al_{0,018})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₃ En ₅₆ Fs ₄₁
Opx 1	Line2SL-01C-CX2	0,065	0,002	0,026	0,531	0,376	0,003	0,009	0,405	0,572	0,011	1,969	0,031	$(Ca_{0,065}, Na_{0,002}, Mn_{0,026}, Mg_{0,531}, Fe^{2+}_{0,376})_{\Sigma=1} (Al_{0,003}, Fe^{3+}_{0,009}, Fe^{2+}_{0,405}, Mg_{0,572}, Ti_{0,011})_{\Sigma=1} (Si_{1,969}, Al_{0,031})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₃ En ₅₆ Fs ₄₁
Opx 1	Line3SL-01C-CX2	0,066	0,002	0,026	0,537	0,369	-	0,017	0,396	0,578	0,010	1,966	0,033	$(Ca_{0,066}, Na_{0,002}, Mn_{0,026}, Mg_{0,537}, Fe^{2+}_{0,369})_{\Sigma=1} (Fe^{3+}_{0,017}, Fe^{2+}_{0,396}, Mg_{0,578}, Ti_{0,010})_{\Sigma=1} (Si_{1,966}, Al_{0,033})_{\Sigma=1,999} O_6$	Wo ₃ En ₅₆ Fs ₄₁
Opx 1	Line4SL-01C-CX2	0,065	0,004	0,027	0,534	0,371	-	0,017	0,398	0,574	0,010	1,966	0,034	$(Ca_{0,065}, Na_{0,004}, Mn_{0,027}, Mg_{0,534}, Fe^{2+}_{0,371})_{\Sigma=1} (Fe^{3+}_{0,017}, Fe^{2+}_{0,398}, Mg_{0,574}, Ti_{0,010})_{\Sigma=1} (Si_{1,966}, Al_{0,034})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₃ En ₅₆ Fs ₄₁
Opx 1	Line5SL-01C-CX2	0,060	0,001	0,028	0,541	0,369	-	0,022	0,395	0,578	0,009	1,966	0,031	$(Ca_{0,060}, Na_{0,001}, Mn_{0,028}, Mg_{0,541}, Fe^{2+}_{0,369})_{\Sigma=1} (Fe^{3+}_{0,022}, Fe^{2+}_{0,395}, Mg_{0,578}, Ti_{0,009})_{\Sigma=1} (Si_{1,966}, Al_{0,031})_{\Sigma=1,997} O_6$	Wo ₃ En ₅₆ Fs ₄₁
Opx 1	Line6SL-01C-CX2	0,064	0,004	0,023	0,563	0,347	0,001	0,016	0,371	0,603	0,010	1,967	0,033	$(Ca_{0,064}, Na_{0,004}, Mn_{0,023}, Mg_{0,563}, Fe^{2+}_{0,347})_{\Sigma=1} (Al_{0,001}, Fe^{3+}_{0,016}, Fe^{2+}_{0,371}, Mg_{0,603}, Ti_{0,010})_{\Sigma=1} (Si_{1,967}, Al_{0,033})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₃ En ₅₉ Fs ₃₈
Opx 1	Line7SL-01C-CX2	0,064	0,003	0,024	0,586	0,323	-	0,036	0,342	0,621	0,009	1,957	0,035	$(Ca_{0,064}, Na_{0,003}, Mn_{0,024}, Mg_{0,586}, Fe^{2+}_{0,323})_{\Sigma=1} (Fe^{3+}_{0,036}, Fe^{2+}_{0,342}, Mg_{0,621}, Ti_{0,009})_{\Sigma=1} (Si_{1,957}, Al_{0,035})_{\Sigma=1,992} O_6$	Wo ₃ En ₆₁ Fs ₃₆
Opx 1	Line8SL-01C-CX2	0,065	0,002	0,023	0,585	0,325	-	0,019	0,348	0,624	0,009	1,966	0,034	$(Ca_{0,065}, Na_{0,002}, Mn_{0,023}, Mg_{0,585}, Fe^{2+}_{0,325})_{\Sigma=1} (Fe^{3+}_{0,019}, Fe^{2+}_{0,348}, Mg_{0,624}, Ti_{0,009})_{\Sigma=1} (Si_{1,966}, Al_{0,034})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₃ En ₆₁ Fs ₃₆
Opx 1	Line9SL-01C-CX2	0,065	0,004	0,023	0,582	0,327	-	0,024	0,348	0,620	0,009	1,963	0,035	$(Ca_{0,065}, Na_{0,004}, Mn_{0,023}, Mg_{0,582}, Fe^{2+}_{0,327})_{\Sigma=1} (Fe^{3+}_{0,024}, Fe^{2+}_{0,348}, Mg_{0,620}, Ti_{0,009})_{\Sigma=1} (Si_{1,963}, Al_{0,035})_{\Sigma=1,998} O_6$	Wo ₃ En ₆₀ Fs ₃₆
Opx 1	Line10SL-01C-CX2	0,062	0,001	0,023	0,578	0,335	0,005	0,009	0,358	0,618	0,009	1,969	0,031	$(Ca_{0,062}, Na_{0,001}, Mn_{0,023}, Mg_{0,578}, Fe^{2+}_{0,335})_{\Sigma=1} (Al_{0,005}, Fe^{3+}_{0,009}, Fe^{2+}_{0,358}, Mg_{0,618}, Ti_{0,009})_{\Sigma=1} (Si_{1,969}, Al_{0,031})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₃ En ₆₀ Fs ₃₇
Opx 1	Line11SL-01C-CX2	0,060	0,001	0,022	0,581	0,336	-	0,021	0,355	0,615	0,010	1,961	0,038	$(Ca_{0,060}, Na_{0,001}, Mn_{0,022}, Mg_{0,581}, Fe^{2+}_{0,336})_{\Sigma=1} (Fe^{3+}_{0,021}, Fe^{2+}_{0,355}, Mg_{0,615}, Ti_{0,010})_{\Sigma=1} (Si_{1,961}, Al_{0,038})_{\Sigma=1,999} O_6$	Wo ₃ En ₆₀ Fs ₃₇
Opx 1	Line12SL-01C-CX2	0,063	0,001	0,022	0,585	0,329	-	0,029	0,348	0,620	0,010	1,960	0,033	$(Ca_{0,063}, Na_{0,001}, Mn_{0,022}, Mg_{0,585}, Fe^{2+}_{0,329})_{\Sigma=1} (Fe^{3+}_{0,029}, Fe^{2+}_{0,348}, Mg_{0,620}, Ti_{0,010})_{\Sigma=1} (Si_{1,960}, Al_{0,033})_{\Sigma=1,993} O_6$	Wo ₃ En ₆₀ Fs ₃₆
Cpx 2	Line1SL-01C-Cx2bis	0,804	0,025	0,016	0,102	0,054	0,026	0,001	0,335	0,627	0,011	1,975	0,025	$(Ca_{0,804}, Na_{0,025}, Mn_{0,016}, Mg_{0,102}, Fe^{2+}_{0,054})_{\Sigma=1} (Al_{0,026}, Fe^{3+}_{0,001}, Fe^{2+}_{0,335}, Mg_{0,627}, Ti_{0,011})_{\Sigma=1} (Si_{1,975}, Al_{0,025})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₁ En ₃₈ Fs ₂₁
Cpx 2	Line2SL-01C-Cx2bis	0,797	0,019	0,015	0,112	0,057	0,022	0,002	0,327	0,637	0,012	1,970	0,030	$(Ca_{0,797}, Na_{0,019}, Mn_{0,015}, Mg_{0,112}, Fe^{2+}_{0,057})_{\Sigma=1} (Al_{0,022}, Fe^{3+}_{0,002}, Fe^{2+}_{0,327}, Mg_{0,637}, Ti_{0,012})_{\Sigma=1} (Si_{1,970}, Al_{0,030})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₁ En ₃₈ Fs ₂₁
Cpx 2	Line3SL-01C-Cx2bis	0,802	0,027	0,014	0,105	0,051	0,010	0,037	0,307	0,634	0,012	1,957	0,043	$(Ca_{0,802}, Na_{0,027}, Mn_{0,014}, Mg_{0,105}, Fe^{2+}_{0,051})_{\Sigma=1} (Al_{0,010}, Fe^{3+}_{0,037}, Fe^{2+}_{0,307}, Mg_{0,634}, Ti_{0,012})_{\Sigma=1} (Si_{1,957}, Al_{0,043})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₁ En ₃₈ Fs ₂₁

Código host	Nombre original	M2					M1					T		Fórmulas estructurales	Miembros extremos
		Ca	Na	Mn	Mg	Fe2+	Al	Fe3+	Fe2+	Mg	Ti	Si	Al		
Cpx 2	Line4SL-01C-Cx2bis	0,797	0,022	0,015	0,110	0,057	0,016	0,019	0,324	0,629	0,012	1,962	0,038	$(Ca_{0,797}, Na_{0,022}, Mn_{0,015}, Mg_{0,110}, Fe^{2+}_{0,057})_{\Sigma=1} (Al_{0,016}, Fe^{3+}_{0,019}, Fe^{2+}_{0,324}, Mg_{0,629}, Ti_{0,012})_{\Sigma=1} (Si_{1,962}, Al_{0,038})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₁ En ₃₈ Fs ₂₁
Cpx 2	Line5SL-01C-Cx2bis	0,793	0,024	0,016	0,112	0,055	0,014	0,026	0,314	0,635	0,012	1,960	0,040	$(Ca_{0,793}, Na_{0,024}, Mn_{0,016}, Mg_{0,112}, Fe^{2+}_{0,055})_{\Sigma=1} (Al_{0,014}, Fe^{3+}_{0,026}, Fe^{2+}_{0,314}, Mg_{0,635}, Ti_{0,012})_{\Sigma=1} (Si_{1,960}, Al_{0,040})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₁ En ₃₈ Fs ₂₁
Cpx 2	Line6SL-01C-Cx2bis	0,799	0,024	0,015	0,109	0,053	0,013	0,026	0,310	0,640	0,011	1,963	0,037	$(Ca_{0,799}, Na_{0,024}, Mn_{0,015}, Mg_{0,109}, Fe^{2+}_{0,053})_{\Sigma=1} (Al_{0,013}, Fe^{3+}_{0,026}, Fe^{2+}_{0,310}, Mg_{0,640}, Ti_{0,011})_{\Sigma=1} (Si_{1,963}, Al_{0,037})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₁ En ₃₈ Fs ₂₁
Cpx 2	Line7SL-01C-Cx2bis	0,792	0,024	0,016	0,114	0,055	0,006	0,043	0,305	0,634	0,012	1,952	0,048	$(Ca_{0,792}, Na_{0,024}, Mn_{0,016}, Mg_{0,114}, Fe^{2+}_{0,055})_{\Sigma=1} (Al_{0,006}, Fe^{3+}_{0,043}, Fe^{2+}_{0,305}, Mg_{0,634}, Ti_{0,012})_{\Sigma=1} (Si_{1,952}, Al_{0,048})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₀ En ₃₈ Fs ₂₁
Cpx 2	Line8SL-01C-Cx2bis	0,788	0,027	0,016	0,111	0,058	0,010	0,032	0,323	0,622	0,013	1,958	0,042	$(Ca_{0,788}, Na_{0,027}, Mn_{0,016}, Mg_{0,111}, Fe^{2+}_{0,058})_{\Sigma=1} (Al_{0,010}, Fe^{3+}_{0,032}, Fe^{2+}_{0,323}, Mg_{0,622}, Ti_{0,013})_{\Sigma=1} (Si_{1,958}, Al_{0,042})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₀ En ₃₈ Fs ₂₂
Cpx 2	Line9SL-01C-Cx2bis	0,795	0,020	0,016	0,114	0,056	0,013	0,025	0,315	0,635	0,012	1,958	0,042	$(Ca_{0,795}, Na_{0,020}, Mn_{0,016}, Mg_{0,114}, Fe^{2+}_{0,056})_{\Sigma=1} (Al_{0,013}, Fe^{3+}_{0,025}, Fe^{2+}_{0,315}, Mg_{0,635}, Ti_{0,012})_{\Sigma=1} (Si_{1,958}, Al_{0,042})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₁ En ₃₈ Fs ₂₁
Cpx 2	Line10SL-01C-Cx2bis	0,793	0,022	0,015	0,113	0,057	0,012	0,029	0,319	0,628	0,012	1,957	0,043	$(Ca_{0,793}, Na_{0,022}, Mn_{0,015}, Mg_{0,113}, Fe^{2+}_{0,057})_{\Sigma=1} (Al_{0,012}, Fe^{3+}_{0,029}, Fe^{2+}_{0,319}, Mg_{0,628}, Ti_{0,012})_{\Sigma=1} (Si_{1,957}, Al_{0,043})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₁ En ₃₈ Fs ₂₁
Cpx 2	Line11SL-01C-Cx2bis	0,792	0,026	0,017	0,113	0,053	0,009	0,036	0,303	0,640	0,012	1,956	0,044	$(Ca_{0,792}, Na_{0,026}, Mn_{0,017}, Mg_{0,113}, Fe^{2+}_{0,053})_{\Sigma=1} (Al_{0,009}, Fe^{3+}_{0,036}, Fe^{2+}_{0,303}, Mg_{0,640}, Ti_{0,012})_{\Sigma=1} (Si_{1,956}, Al_{0,044})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₁ En ₃₉ Fs ₂₁
Opx 2	Line1SL-01C-Cx3	0,064	0,001	0,026	0,552	0,357	-	0,023	0,383	0,593	0,008	1,969	0,024	$(Ca_{0,064}, Na_{0,001}, Mn_{0,026}, Mg_{0,552}, Fe^{2+}_{0,357})_{\Sigma=1} (Fe^{3+}_{0,023}, Fe^{2+}_{0,383}, Mg_{0,593}, Ti_{0,008})_{\Sigma=1} (Si_{1,969}, Al_{0,024})_{\Sigma=1,993} O_6$	Wo ₃ En ₅₇ Fs ₃₉
Opx 2	Line2SL-01C-Cx3	0,063	0,001	0,028	0,536	0,372	0,004	0,003	0,403	0,581	0,009	1,976	0,024	$(Ca_{0,063}, Na_{0,001}, Mn_{0,028}, Mg_{0,536}, Fe^{2+}_{0,372})_{\Sigma=1} (Al_{0,004}, Fe^{3+}_{0,003}, Fe^{2+}_{0,403}, Mg_{0,581}, Ti_{0,009})_{\Sigma=1} (Si_{1,976}, Al_{0,024})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₃ En ₅₆ Fs ₄₁
Opx 2	Line3SL-01C-Cx3	0,068	0,001	0,028	0,542	0,362	-	0,031	0,387	0,579	0,010	1,957	0,037	$(Ca_{0,068}, Na_{0,001}, Mn_{0,028}, Mg_{0,542}, Fe^{2+}_{0,362})_{\Sigma=1} (Fe^{3+}_{0,031}, Fe^{2+}_{0,387}, Mg_{0,579}, Ti_{0,010})_{\Sigma=1} (Si_{1,957}, Al_{0,037})_{\Sigma=1,994} O_6$	Wo ₃ En ₅₆ Fs ₄₀
Opx 2	Line4SL-01C-Cx3	0,067	-	0,024	0,574	0,336	-	0,024	0,356	0,609	0,010	1,956	0,044	$(Ca_{0,067}, Mn_{0,024}, Mg_{0,574}, Fe^{2+}_{0,336})_{\Sigma=1} (Fe^{3+}_{0,024}, Fe^{2+}_{0,356}, Mg_{0,609}, Ti_{0,010})_{\Sigma=1} (Si_{1,956}, Al_{0,044})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₃ En ₆₀ Fs ₃₇
Opx 2	Line5SL-01C-Cx3	0,070	0,001	0,013	0,635	0,279	-	0,035	0,293	0,666	0,011	1,949	0,047	$(Ca_{0,070}, Na_{0,001}, Mn_{0,013}, Mg_{0,635}, Fe^{2+}_{0,279})_{\Sigma=1} (Fe^{3+}_{0,035}, Fe^{2+}_{0,293}, Mg_{0,666}, Ti_{0,011})_{\Sigma=1} (Si_{1,949}, Al_{0,047})_{\Sigma=1,996} O_6$	Wo ₄ En ₆₅ Fs ₃₁
Opx 2	Line6SL-01C-Cx3	0,072	0,002	0,013	0,648	0,265	0,003	0,020	0,280	0,686	0,011	1,958	0,042	$(Ca_{0,072}, Na_{0,002}, Mn_{0,013}, Mg_{0,648}, Fe^{2+}_{0,265})_{\Sigma=1} (Al_{0,003}, Fe^{3+}_{0,020}, Fe^{2+}_{0,280}, Mg_{0,686}, Ti_{0,011})_{\Sigma=1} (Si_{1,958}, Al_{0,042})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄ En ₆₇ Fs ₂₉
Opx 2	Line7SL-01C-Cx3	0,068	0,002	0,011	0,658	0,260	0,002	0,023	0,273	0,692	0,010	1,957	0,043	$(Ca_{0,068}, Na_{0,002}, Mn_{0,011}, Mg_{0,658}, Fe^{2+}_{0,260})_{\Sigma=1} (Al_{0,002}, Fe^{3+}_{0,023}, Fe^{2+}_{0,273}, Mg_{0,692}, Ti_{0,010})_{\Sigma=1} (Si_{1,957}, Al_{0,043})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₃ En ₆₈ Fs ₂₉
Opx 2	Line8SL-01C-Cx3	0,072	0,003	0,013	0,657	0,255	0,006	0,017	0,270	0,696	0,011	1,958	0,042	$(Ca_{0,072}, Na_{0,003}, Mn_{0,013}, Mg_{0,657}, Fe^{2+}_{0,255})_{\Sigma=1} (Al_{0,006}, Fe^{3+}_{0,017}, Fe^{2+}_{0,270}, Mg_{0,696}, Ti_{0,011})_{\Sigma=1} (Si_{1,958}, Al_{0,042})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄ En ₆₈ Fs ₂₈
Opx 2	Line9SL-01C-Cx3	0,069	0,001	0,011	0,659	0,260	0,002	0,024	0,272	0,691	0,011	1,952	0,048	$(Ca_{0,069}, Na_{0,001}, Mn_{0,011}, Mg_{0,659}, Fe^{2+}_{0,260})_{\Sigma=1} (Al_{0,002}, Fe^{3+}_{0,024}, Fe^{2+}_{0,272}, Mg_{0,691}, Ti_{0,011})_{\Sigma=1} (Si_{1,952}, Al_{0,048})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₃ En ₆₈ Fs ₂₉
Opx 2	Line10SL-01C-Cx3	0,076	0,004	0,013	0,649	0,258	0,007	0,019	0,274	0,689	0,011	1,955	0,045	$(Ca_{0,076}, Na_{0,004}, Mn_{0,013}, Mg_{0,649}, Fe^{2+}_{0,258})_{\Sigma=1} (Al_{0,007}, Fe^{3+}_{0,019}, Fe^{2+}_{0,274}, Mg_{0,689}, Ti_{0,011})_{\Sigma=1} (Si_{1,955}, Al_{0,045})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄ En ₆₈ Fs ₂₈
Opx 2	Line11SL-01C-Cx3	0,072	-	0,012	0,652	0,265	0,014	-	0,281	0,692	0,012	1,961	0,039	$(Ca_{0,072}, Mn_{0,012}, Mg_{0,652}, Fe^{2+}_{0,265})_{\Sigma=1} (Al_{0,014}, Fe^{2+}_{0,281}, Mg_{0,692}, Ti_{0,012})_{\Sigma=1} (Si_{1,961}, Al_{0,039})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄ En ₆₈ Fs ₂₈
Opx 2	Line1SL-01C-Cx3_line2	0,072	0,003	0,012	0,660	0,254	-	0,039	0,265	0,688	0,013	1,942	0,054	$(Ca_{0,072}, Na_{0,003}, Mn_{0,012}, Mg_{0,660}, Fe^{2+}_{0,254})_{\Sigma=1} (Fe^{3+}_{0,039}, Fe^{2+}_{0,265}, Mg_{0,688}, Ti_{0,013})_{\Sigma=1} (Si_{1,942}, Al_{0,054})_{\Sigma=1,996} O_6$	Wo ₄ En ₆₈ Fs ₂₉
Opx 2	Line2SL-01C-Cx3_line2	0,069	0,003	0,013	0,654	0,261	0,005	0,020	0,274	0,688	0,012	1,953	0,047	$(Ca_{0,069}, Na_{0,003}, Mn_{0,013}, Mg_{0,654}, Fe^{2+}_{0,261})_{\Sigma=1} (Al_{0,005}, Fe^{3+}_{0,020}, Fe^{2+}_{0,274}, Mg_{0,688}, Ti_{0,012})_{\Sigma=1} (Si_{1,953}, Al_{0,047})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄ En ₆₈ Fs ₂₉
Opx 2	Line3SL-01C-Cx3_line2	0,072	0,003	0,013	0,644	0,268	0,012	0,011	0,284	0,682	0,011	1,958	0,042	$(Ca_{0,072}, Na_{0,003}, Mn_{0,013}, Mg_{0,644}, Fe^{2+}_{0,268})_{\Sigma=1} (Al_{0,012}, Fe^{3+}_{0,011}, Fe^{2+}_{0,284}, Mg_{0,682}, Ti_{0,011})_{\Sigma=1} (Si_{1,958}, Al_{0,042})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄ En ₆₇ Fs ₂₉
Opx 2	Line4SL-01C-Cx3_line2	0,068	-	0,012	0,652	0,268	0,002	0,024	0,280	0,682	0,012	1,950	0,050	$(Ca_{0,068}, Mn_{0,012}, Mg_{0,652}, Fe^{2+}_{0,268})_{\Sigma=1} (Al_{0,002}, Fe^{3+}_{0,024}, Fe^{2+}_{0,280}, Mg_{0,682}, Ti_{0,012})_{\Sigma=1} (Si_{1,950}, Al_{0,050})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₃ En ₆₇ Fs ₂₉

Código host	Nombre original	M2					M1					T		Fórmulas estructurales	Miembros extremos
		Ca	Na	Mn	Mg	Fe2+	Al	Fe3+	Fe2+	Mg	Ti	Si	Al		
Opx 2	Line5SL-01C-Cx3_line2	0,070	0,002	0,012	0,647	0,268	0,003	0,025	0,282	0,679	0,011	1,951	0,049	$(Ca_{0,070}, Na_{0,002}, Mn_{0,012}, Mg_{0,647}, Fe^{2+}_{0,268})_{\Sigma=1} (Al_{0,003}, Fe^{3+}_{0,025}, Fe^{2+}_{0,282}, Mg_{0,679}, Ti_{0,011})_{\Sigma=1} (Si_{1,951}, Al_{0,049})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄ En ₆₇ Fs ₃₀
Opx 2	Line6SL-01C-Cx3_line2	0,070	0,004	0,012	0,635	0,279	0,010	0,012	0,296	0,671	0,011	1,960	0,040	$(Ca_{0,070}, Na_{0,004}, Mn_{0,012}, Mg_{0,635}, Fe^{2+}_{0,279})_{\Sigma=1} (Al_{0,010}, Fe^{3+}_{0,012}, Fe^{2+}_{0,296}, Mg_{0,671}, Ti_{0,011})_{\Sigma=1} (Si_{1,960}, Al_{0,040})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄ En ₆₆ Fs ₃₀
Opx 2	Line7SL-01C-Cx3_line2	0,073	0,003	0,012	0,631	0,281	0,006	0,015	0,299	0,671	0,010	1,962	0,038	$(Ca_{0,073}, Na_{0,003}, Mn_{0,012}, Mg_{0,631}, Fe^{2+}_{0,281})_{\Sigma=1} (Al_{0,006}, Fe^{3+}_{0,015}, Fe^{2+}_{0,299}, Mg_{0,671}, Ti_{0,010})_{\Sigma=1} (Si_{1,962}, Al_{0,038})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄ En ₆₆ Fs ₃₁
Opx 2	Line8SL-01C-Cx3_line2	0,068	0,001	0,015	0,623	0,292	0,001	0,021	0,309	0,660	0,009	1,961	0,039	$(Ca_{0,068}, Na_{0,001}, Mn_{0,015}, Mg_{0,623}, Fe^{2+}_{0,292})_{\Sigma=1} (Al_{0,001}, Fe^{3+}_{0,021}, Fe^{2+}_{0,309}, Mg_{0,660}, Ti_{0,009})_{\Sigma=1} (Si_{1,961}, Al_{0,039})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₃ En ₆₅ Fs ₃₂
Opx 2	Line9SL-01C-Cx3_line2	0,068	0,001	0,014	0,616	0,300	0,007	0,009	0,319	0,655	0,009	1,967	0,033	$(Ca_{0,068}, Na_{0,001}, Mn_{0,014}, Mg_{0,616}, Fe^{2+}_{0,300})_{\Sigma=1} (Al_{0,007}, Fe^{3+}_{0,009}, Fe^{2+}_{0,319}, Mg_{0,655}, Ti_{0,009})_{\Sigma=1} (Si_{1,967}, Al_{0,033})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₃ En ₆₄ Fs ₃₂
Opx 2	Line10SL-01C-Cx3_line2	0,067	0,001	0,015	0,610	0,307	0,002	0,018	0,325	0,645	0,010	1,962	0,038	$(Ca_{0,067}, Na_{0,001}, Mn_{0,015}, Mg_{0,610}, Fe^{2+}_{0,307})_{\Sigma=1} (Al_{0,002}, Fe^{3+}_{0,018}, Fe^{2+}_{0,325}, Mg_{0,645}, Ti_{0,010})_{\Sigma=1} (Si_{1,962}, Al_{0,038})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₃ En ₆₃ Fs ₃₃
Opx 2	Line11SL-01C-Cx3_line2	0,066	0,001	0,016	0,598	0,319	0,004	0,014	0,338	0,634	0,010	1,965	0,035	$(Ca_{0,066}, Na_{0,001}, Mn_{0,016}, Mg_{0,598}, Fe^{2+}_{0,319})_{\Sigma=1} (Al_{0,004}, Fe^{3+}_{0,014}, Fe^{2+}_{0,338}, Mg_{0,634}, Ti_{0,010})_{\Sigma=1} (Si_{1,965}, Al_{0,035})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₃ En ₆₂ Fs ₃₅
Opx 2	Line12SL-01C-Cx3_line2	0,069	0,001	0,019	0,583	0,328	0,005	0,012	0,350	0,624	0,010	1,965	0,035	$(Ca_{0,069}, Na_{0,001}, Mn_{0,019}, Mg_{0,583}, Fe^{2+}_{0,328})_{\Sigma=1} (Al_{0,005}, Fe^{3+}_{0,012}, Fe^{2+}_{0,350}, Mg_{0,624}, Ti_{0,010})_{\Sigma=1} (Si_{1,965}, Al_{0,035})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₃ En ₆₁ Fs ₃₆
Opx 2	Line13SL-01C-Cx3_line2	0,067	0,001	0,021	0,580	0,331	-	0,030	0,350	0,614	0,009	1,957	0,040	$(Ca_{0,067}, Na_{0,001}, Mn_{0,021}, Mg_{0,580}, Fe^{2+}_{0,331})_{\Sigma=1} (Fe^{3+}_{0,030}, Fe^{2+}_{0,350}, Mg_{0,614}, Ti_{0,009})_{\Sigma=1} (Si_{1,957}, Al_{0,040})_{\Sigma=1,997} O_6$	Wo ₃ En ₆₀ Fs ₃₇
Opx 2	Line14SL-01C-Cx3_line2	0,068	0,001	0,022	0,564	0,346	0,007	0,006	0,371	0,606	0,009	1,968	0,032	$(Ca_{0,068}, Na_{0,001}, Mn_{0,022}, Mg_{0,564}, Fe^{2+}_{0,346})_{\Sigma=1} (Al_{0,007}, Fe^{3+}_{0,006}, Fe^{2+}_{0,371}, Mg_{0,606}, Ti_{0,009})_{\Sigma=1} (Si_{1,968}, Al_{0,032})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₃ En ₅₉ Fs ₃₈
Opx 2	Line15SL-01C-Cx3_line2	0,063	0,003	0,023	0,566	0,345	-	0,034	0,366	0,600	0,009	1,959	0,032	$(Ca_{0,063}, Na_{0,003}, Mn_{0,023}, Mg_{0,566}, Fe^{2+}_{0,345})_{\Sigma=1} (Fe^{3+}_{0,034}, Fe^{2+}_{0,366}, Mg_{0,600}, Ti_{0,009})_{\Sigma=1} (Si_{1,959}, Al_{0,032})_{\Sigma=1,991} O_6$	Wo ₃ En ₅₈ Fs ₃₈
Opx 2	Line16SL-01C-Cx3_line2	0,064	0,004	0,024	0,563	0,346	-	0,030	0,370	0,602	0,006	1,970	0,021	$(Ca_{0,064}, Na_{0,004}, Mn_{0,024}, Mg_{0,563}, Fe^{2+}_{0,346})_{\Sigma=1} (Fe^{3+}_{0,030}, Fe^{2+}_{0,370}, Mg_{0,602}, Ti_{0,006})_{\Sigma=1} (Si_{1,970}, Al_{0,021})_{\Sigma=1,991} O_6$	Wo ₃ En ₅₈ Fs ₃₈
Opx 2	Line17SL-01C-Cx3_line2	0,063	0,004	0,026	0,548	0,360	0,001	0,009	0,390	0,594	0,007	1,981	0,019	$(Ca_{0,063}, Na_{0,004}, Mn_{0,026}, Mg_{0,548}, Fe^{2+}_{0,360})_{\Sigma=1} (Al_{0,001}, Fe^{3+}_{0,009}, Fe^{2+}_{0,390}, Mg_{0,594}, Ti_{0,007})_{\Sigma=1} (Si_{1,981}, Al_{0,019})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₃ En ₅₇ Fs ₃₉
Opx 2	Line18SL-01C-Cx3_line2	0,067	0,002	0,027	0,540	0,364	0,001	0,006	0,397	0,588	0,007	1,980	0,020	$(Ca_{0,067}, Na_{0,002}, Mn_{0,027}, Mg_{0,540}, Fe^{2+}_{0,364})_{\Sigma=1} (Al_{0,001}, Fe^{3+}_{0,006}, Fe^{2+}_{0,397}, Mg_{0,588}, Ti_{0,007})_{\Sigma=1} (Si_{1,980}, Al_{0,020})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₃ En ₅₇ Fs ₄₀
Opx 2	Line19SL-01C-Cx3_line2	0,064	0,004	0,028	0,537	0,368	0,004	0,001	0,402	0,587	0,006	1,986	0,014	$(Ca_{0,064}, Na_{0,004}, Mn_{0,028}, Mg_{0,537}, Fe^{2+}_{0,368})_{\Sigma=1} (Al_{0,004}, Fe^{3+}_{0,001}, Fe^{2+}_{0,402}, Mg_{0,587}, Ti_{0,006})_{\Sigma=1} (Si_{1,986}, Al_{0,014})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₃ En ₅₇ Fs ₄₀
Opx 2	Line20SL-01C-Cx3_line2	0,069	-	0,025	0,536	0,370	0,004	-	0,404	0,586	0,006	1,987	0,013	$(Ca_{0,069}, Mn_{0,025}, Mg_{0,536}, Fe^{2+}_{0,370})_{\Sigma=1} (Al_{0,004}, Fe^{2+}_{0,404}, Mg_{0,586}, Ti_{0,006})_{\Sigma=1} (Si_{1,987}, Al_{0,013})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₃ En ₅₆ Fs ₄₀
Cpx 3	Line1SL-01C-Cx4	0,812	0,022	0,008	0,127	0,032	0,008	0,059	0,183	0,733	0,017	1,920	0,080	$(Ca_{0,812}, Na_{0,022}, Mn_{0,008}, Mg_{0,127}, Fe^{2+}_{0,032})_{\Sigma=1} (Al_{0,008}, Fe^{3+}_{0,059}, Fe^{2+}_{0,183}, Mg_{0,733}, Ti_{0,017})_{\Sigma=1} (Si_{1,920}, Al_{0,080})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₂ En ₄₄ Fs ₁₄
Cpx 3	Line2SL-01C-Cx4	0,810	0,022	0,005	0,132	0,032	0,023	0,036	0,179	0,747	0,015	1,932	0,068	$(Ca_{0,810}, Na_{0,022}, Mn_{0,005}, Mg_{0,132}, Fe^{2+}_{0,032})_{\Sigma=1} (Al_{0,023}, Fe^{3+}_{0,036}, Fe^{2+}_{0,179}, Mg_{0,747}, Ti_{0,015})_{\Sigma=1} (Si_{1,932}, Al_{0,068})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₂ En ₄₅ Fs ₁₃
Cpx 3	Line3SL-01C-Cx4	0,814	0,019	0,005	0,133	0,028	0,019	0,041	0,163	0,763	0,014	1,931	0,069	$(Ca_{0,814}, Na_{0,019}, Mn_{0,005}, Mg_{0,133}, Fe^{2+}_{0,028})_{\Sigma=1} (Al_{0,019}, Fe^{3+}_{0,041}, Fe^{2+}_{0,163}, Mg_{0,763}, Ti_{0,014})_{\Sigma=1} (Si_{1,931}, Al_{0,069})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₂ En ₄₆ Fs ₁₂
Cpx 3	Line4SL-01C-Cx4	0,798	0,016	0,004	0,150	0,031	0,027	0,028	0,161	0,770	0,014	1,934	0,066	$(Ca_{0,798}, Na_{0,016}, Mn_{0,004}, Mg_{0,150}, Fe^{2+}_{0,031})_{\Sigma=1} (Al_{0,027}, Fe^{3+}_{0,028}, Fe^{2+}_{0,161}, Mg_{0,770}, Ti_{0,014})_{\Sigma=1} (Si_{1,934}, Al_{0,066})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₁ En ₄₇ Fs ₁₂
Cpx 3	Line5SL-01C-Cx4	0,778	0,023	0,009	0,143	0,047	0,027	0,019	0,230	0,706	0,019	1,939	0,061	$(Ca_{0,778}, Na_{0,023}, Mn_{0,009}, Mg_{0,143}, Fe^{2+}_{0,047})_{\Sigma=1} (Al_{0,027}, Fe^{3+}_{0,019}, Fe^{2+}_{0,230}, Mg_{0,706}, Ti_{0,019})_{\Sigma=1} (Si_{1,939}, Al_{0,061})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₀ En ₄₄ Fs ₁₆
Cpx 3	Line6SL-01C-Cx4	0,785	0,023	0,008	0,142	0,043	0,013	0,040	0,214	0,714	0,019	1,933	0,067	$(Ca_{0,785}, Na_{0,023}, Mn_{0,008}, Mg_{0,142}, Fe^{2+}_{0,043})_{\Sigma=1} (Al_{0,013}, Fe^{3+}_{0,040}, Fe^{2+}_{0,214}, Mg_{0,714}, Ti_{0,019})_{\Sigma=1} (Si_{1,933}, Al_{0,067})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₀ En ₄₄ Fs ₁₆
Cpx 3	Line7SL-01C-Cx4	0,789	0,022	0,010	0,138	0,041	0,010	0,044	0,212	0,715	0,020	1,929	0,071	$(Ca_{0,789}, Na_{0,022}, Mn_{0,010}, Mg_{0,138}, Fe^{2+}_{0,041})_{\Sigma=1} (Al_{0,010}, Fe^{3+}_{0,044}, Fe^{2+}_{0,212}, Mg_{0,715}, Ti_{0,020})_{\Sigma=1} (Si_{1,929}, Al_{0,071})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₁ En ₄₄ Fs ₁₆

Código host	Nombre original	M2					M1					T		Fórmulas estructurales	Miembros extremos
		Ca	Na	Mn	Mg	Fe2+	Al	Fe3+	Fe2+	Mg	Ti	Si	Al		
Cpx 3	Line8SL-01C-Cx4	0,787	0,023	0,010	0,140	0,040	0,007	0,051	0,206	0,717	0,020	1,925	0,075	$(Ca_{0,787}, Na_{0,023}, Mn_{0,010}, Mg_{0,140}, Fe^{2+}_{0,040})_{\Sigma=1} (Al_{0,007}, Fe^{3+}_{0,051}, Fe^{2+}_{0,206}, Mg_{0,717}, Ti_{0,020})_{\Sigma=1} (Si_{1,925}, Al_{0,075})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₀ En ₄₄ Fs ₁₆
Cpx 3	Line9SL-01C-Cx4	0,780	0,026	0,009	0,143	0,042	0,008	0,049	0,209	0,714	0,020	1,929	0,071	$(Ca_{0,780}, Na_{0,026}, Mn_{0,009}, Mg_{0,143}, Fe^{2+}_{0,042})_{\Sigma=1} (Al_{0,008}, Fe^{3+}_{0,049}, Fe^{2+}_{0,209}, Mg_{0,714}, Ti_{0,020})_{\Sigma=1} (Si_{1,929}, Al_{0,071})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₀ En ₄₄ Fs ₁₆
Cpx 3	Line10SL-01C-Cx4	0,783	0,020	0,009	0,144	0,043	0,012	0,042	0,212	0,716	0,019	1,928	0,072	$(Ca_{0,783}, Na_{0,020}, Mn_{0,009}, Mg_{0,144}, Fe^{2+}_{0,043})_{\Sigma=1} (Al_{0,012}, Fe^{3+}_{0,042}, Fe^{2+}_{0,212}, Mg_{0,716}, Ti_{0,019})_{\Sigma=1} (Si_{1,928}, Al_{0,072})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₀ En ₄₄ Fs ₁₆
Cpx 3	Line11SL-01C-Cx4	0,780	0,022	0,010	0,143	0,045	0,018	0,028	0,222	0,712	0,019	1,938	0,062	$(Ca_{0,780}, Na_{0,022}, Mn_{0,010}, Mg_{0,143}, Fe^{2+}_{0,045})_{\Sigma=1} (Al_{0,018}, Fe^{3+}_{0,028}, Fe^{2+}_{0,222}, Mg_{0,712}, Ti_{0,019})_{\Sigma=1} (Si_{1,938}, Al_{0,062})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₀ En ₄₄ Fs ₁₆
Cpx 3	Line12SL-01C-Cx4	0,777	0,020	0,007	0,150	0,047	0,019	0,027	0,223	0,713	0,018	1,937	0,063	$(Ca_{0,777}, Na_{0,020}, Mn_{0,007}, Mg_{0,150}, Fe^{2+}_{0,047})_{\Sigma=1} (Al_{0,019}, Fe^{3+}_{0,027}, Fe^{2+}_{0,223}, Mg_{0,713}, Ti_{0,018})_{\Sigma=1} (Si_{1,937}, Al_{0,063})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₀ En ₄₄ Fs ₁₆
Cpx 3	Line13SL-01C-Cx4	0,781	0,020	0,009	0,144	0,045	0,020	0,021	0,223	0,717	0,019	1,941	0,059	$(Ca_{0,781}, Na_{0,020}, Mn_{0,009}, Mg_{0,144}, Fe^{2+}_{0,045})_{\Sigma=1} (Al_{0,020}, Fe^{3+}_{0,021}, Fe^{2+}_{0,223}, Mg_{0,717}, Ti_{0,019})_{\Sigma=1} (Si_{1,941}, Al_{0,059})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₀ En ₄₄ Fs ₁₅
Cpx 3	Line1SL-01c_Cx4-line2	0,783	0,022	0,009	0,143	0,043	0,021	0,024	0,218	0,718	0,018	1,939	0,061	$(Ca_{0,783}, Na_{0,022}, Mn_{0,009}, Mg_{0,143}, Fe^{2+}_{0,043})_{\Sigma=1} (Al_{0,021}, Fe^{3+}_{0,024}, Fe^{2+}_{0,218}, Mg_{0,718}, Ti_{0,018})_{\Sigma=1} (Si_{1,939}, Al_{0,061})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₀ En ₄₄ Fs ₁₅
Cpx 3	Line2SL-01c_Cx4-line2	0,775	0,023	0,009	0,148	0,045	0,018	0,029	0,216	0,718	0,018	1,939	0,061	$(Ca_{0,775}, Na_{0,023}, Mn_{0,009}, Mg_{0,148}, Fe^{2+}_{0,045})_{\Sigma=1} (Al_{0,018}, Fe^{3+}_{0,029}, Fe^{2+}_{0,216}, Mg_{0,718}, Ti_{0,018})_{\Sigma=1} (Si_{1,939}, Al_{0,061})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₀ En ₄₅ Fs ₁₅
Cpx 3	Line3SL-01c_Cx4-line2	0,790	0,024	0,008	0,136	0,043	0,022	0,021	0,226	0,711	0,019	1,943	0,057	$(Ca_{0,790}, Na_{0,024}, Mn_{0,008}, Mg_{0,136}, Fe^{2+}_{0,043})_{\Sigma=1} (Al_{0,022}, Fe^{3+}_{0,021}, Fe^{2+}_{0,226}, Mg_{0,711}, Ti_{0,019})_{\Sigma=1} (Si_{1,943}, Al_{0,057})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₁ En ₄₄ Fs ₁₅
Cpx 3	Line4SL-01c_Cx4-line2	0,787	0,024	0,008	0,141	0,041	0,016	0,035	0,212	0,719	0,019	1,935	0,065	$(Ca_{0,787}, Na_{0,024}, Mn_{0,008}, Mg_{0,141}, Fe^{2+}_{0,041})_{\Sigma=1} (Al_{0,016}, Fe^{3+}_{0,035}, Fe^{2+}_{0,212}, Mg_{0,719}, Ti_{0,019})_{\Sigma=1} (Si_{1,935}, Al_{0,065})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₁ En ₄₄ Fs ₁₅
Cpx 3	Line5SL-01c_Cx4-line2	0,788	0,022	0,009	0,139	0,042	0,018	0,030	0,215	0,718	0,019	1,935	0,065	$(Ca_{0,788}, Na_{0,022}, Mn_{0,009}, Mg_{0,139}, Fe^{2+}_{0,042})_{\Sigma=1} (Al_{0,018}, Fe^{3+}_{0,030}, Fe^{2+}_{0,215}, Mg_{0,718}, Ti_{0,019})_{\Sigma=1} (Si_{1,935}, Al_{0,065})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₁ En ₄₄ Fs ₁₅
Cpx 3	Line6SL-01c_Cx4-line2	0,785	0,023	0,008	0,142	0,041	0,015	0,036	0,211	0,720	0,019	1,934	0,066	$(Ca_{0,785}, Na_{0,023}, Mn_{0,008}, Mg_{0,142}, Fe^{2+}_{0,041})_{\Sigma=1} (Al_{0,015}, Fe^{3+}_{0,036}, Fe^{2+}_{0,211}, Mg_{0,720}, Ti_{0,019})_{\Sigma=1} (Si_{1,934}, Al_{0,066})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₀ En ₄₄ Fs ₁₅
Cpx 3	Line7SL-01c_Cx4-line2	0,780	0,022	0,010	0,144	0,044	0,018	0,027	0,220	0,716	0,019	1,938	0,062	$(Ca_{0,780}, Na_{0,022}, Mn_{0,010}, Mg_{0,144}, Fe^{2+}_{0,044})_{\Sigma=1} (Al_{0,018}, Fe^{3+}_{0,027}, Fe^{2+}_{0,220}, Mg_{0,716}, Ti_{0,019})_{\Sigma=1} (Si_{1,938}, Al_{0,062})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₀ En ₄₄ Fs ₁₅
Cpx 3	Line8SL-01c_Cx4-line2	0,786	0,022	0,009	0,143	0,040	0,006	0,049	0,203	0,724	0,019	1,930	0,070	$(Ca_{0,786}, Na_{0,022}, Mn_{0,009}, Mg_{0,143}, Fe^{2+}_{0,040})_{\Sigma=1} (Al_{0,006}, Fe^{3+}_{0,049}, Fe^{2+}_{0,203}, Mg_{0,724}, Ti_{0,019})_{\Sigma=1} (Si_{1,930}, Al_{0,070})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₀ En ₄₄ Fs ₁₅
Cpx 3	Line9SL-01c_Cx4-line2	0,780	0,021	0,010	0,147	0,043	0,008	0,045	0,208	0,719	0,020	1,928	0,072	$(Ca_{0,780}, Na_{0,021}, Mn_{0,010}, Mg_{0,147}, Fe^{2+}_{0,043})_{\Sigma=1} (Al_{0,008}, Fe^{3+}_{0,045}, Fe^{2+}_{0,208}, Mg_{0,719}, Ti_{0,020})_{\Sigma=1} (Si_{1,928}, Al_{0,072})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₀ En ₄₄ Fs ₁₆
Cpx 3	Line10SL-01c_Cx4-line2	0,781	0,022	0,009	0,145	0,044	0,013	0,034	0,216	0,718	0,019	1,937	0,063	$(Ca_{0,781}, Na_{0,022}, Mn_{0,009}, Mg_{0,145}, Fe^{2+}_{0,044})_{\Sigma=1} (Al_{0,013}, Fe^{3+}_{0,034}, Fe^{2+}_{0,216}, Mg_{0,718}, Ti_{0,019})_{\Sigma=1} (Si_{1,937}, Al_{0,063})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₀ En ₄₄ Fs ₁₆
Cpx 3	Line11SL-01c_Cx4-line2	0,774	0,020	0,009	0,150	0,047	0,017	0,027	0,224	0,713	0,019	1,937	0,063	$(Ca_{0,774}, Na_{0,020}, Mn_{0,009}, Mg_{0,150}, Fe^{2+}_{0,047})_{\Sigma=1} (Al_{0,017}, Fe^{3+}_{0,027}, Fe^{2+}_{0,224}, Mg_{0,713}, Ti_{0,019})_{\Sigma=1} (Si_{1,937}, Al_{0,063})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₀ En ₄₄ Fs ₁₆
Cpx 3	Line12SL-01c_Cx4-line2	0,774	0,023	0,009	0,148	0,046	0,020	0,021	0,223	0,717	0,019	1,945	0,055	$(Ca_{0,774}, Na_{0,023}, Mn_{0,009}, Mg_{0,148}, Fe^{2+}_{0,046})_{\Sigma=1} (Al_{0,020}, Fe^{3+}_{0,021}, Fe^{2+}_{0,223}, Mg_{0,717}, Ti_{0,019})_{\Sigma=1} (Si_{1,945}, Al_{0,055})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₀ En ₄₅ Fs ₁₅
Cpx 3	Line13SL-01c_Cx4-line2	0,775	0,022	0,009	0,149	0,045	0,017	0,028	0,218	0,716	0,021	1,935	0,065	$(Ca_{0,775}, Na_{0,022}, Mn_{0,009}, Mg_{0,149}, Fe^{2+}_{0,045})_{\Sigma=1} (Al_{0,017}, Fe^{3+}_{0,028}, Fe^{2+}_{0,218}, Mg_{0,716}, Ti_{0,021})_{\Sigma=1} (Si_{1,935}, Al_{0,065})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₀ En ₄₅ Fs ₁₅
Cpx 3	Line14SL-01c_Cx4-line2	0,785	0,019	0,009	0,144	0,043	0,018	0,027	0,216	0,719	0,020	1,935	0,065	$(Ca_{0,785}, Na_{0,019}, Mn_{0,009}, Mg_{0,144}, Fe^{2+}_{0,043})_{\Sigma=1} (Al_{0,018}, Fe^{3+}_{0,027}, Fe^{2+}_{0,216}, Mg_{0,719}, Ti_{0,020})_{\Sigma=1} (Si_{1,935}, Al_{0,065})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₀ En ₄₄ Fs ₁₅
Cpx 3	Line15SL-01c_Cx4-line2	0,789	0,020	0,009	0,139	0,042	0,012	0,039	0,216	0,713	0,020	1,928	0,072	$(Ca_{0,789}, Na_{0,020}, Mn_{0,009}, Mg_{0,139}, Fe^{2+}_{0,042})_{\Sigma=1} (Al_{0,012}, Fe^{3+}_{0,039}, Fe^{2+}_{0,216}, Mg_{0,713}, Ti_{0,020})_{\Sigma=1} (Si_{1,928}, Al_{0,072})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₁ En ₄₄ Fs ₁₆
Cpx 3	Line16SL-01c_Cx4-line2	0,787	0,023	0,010	0,136	0,044	0,023	0,031	0,227	0,696	0,023	1,923	0,077	$(Ca_{0,787}, Na_{0,023}, Mn_{0,010}, Mg_{0,136}, Fe^{2+}_{0,044})_{\Sigma=1} (Al_{0,023}, Fe^{3+}_{0,031}, Fe^{2+}_{0,227}, Mg_{0,696}, Ti_{0,023})_{\Sigma=1} (Si_{1,923}, Al_{0,077})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₁ En ₄₃ Fs ₁₆
Cpx 3	Line17SL-01c_Cx4-line2	0,775	0,021	0,007	0,164	0,034	0,032	0,052	0,154	0,745	0,017	1,902	0,098	$(Ca_{0,775}, Na_{0,021}, Mn_{0,007}, Mg_{0,164}, Fe^{2+}_{0,034})_{\Sigma=1} (Al_{0,032}, Fe^{3+}_{0,052}, Fe^{2+}_{0,154}, Mg_{0,745}, Ti_{0,017})_{\Sigma=1} (Si_{1,902}, Al_{0,098})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₀ En ₄₇ Fs ₁₃

Código host	Nombre original	M2					M1					T		Fórmulas estructurales	Miembros extremos
		Ca	Na	Mn	Mg	Fe2+	Al	Fe3+	Fe2+	Mg	Ti	Si	Al		
Cpx 3	Line18SL-01c_Cx4-line2	0,817	0,020	0,007	0,131	0,024	0,014	0,066	0,142	0,762	0,017	1,907	0,093	(Ca _{0,817} ,Na _{0,020} ,Mn _{0,007} ,Mg _{0,131} ,Fe ²⁺ _{0,024}) $\Sigma=1$ (Al _{0,014} ,Fe ³⁺ _{0,066} ,Fe ²⁺ _{0,142} ,Mg _{0,762} ,Ti _{0,017}) $\Sigma=1$ (Si _{1,907} ,Al _{0,093}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₄₂ En ₄₆ Fs ₁₂
Cpx 3	Line19SL-01c_Cx4-line2	0,800	0,022	0,008	0,136	0,034	0,029	0,033	0,185	0,734	0,019	1,923	0,077	(Ca _{0,800} ,Na _{0,022} ,Mn _{0,008} ,Mg _{0,136} ,Fe ²⁺ _{0,034}) $\Sigma=1$ (Al _{0,029} ,Fe ³⁺ _{0,033} ,Fe ²⁺ _{0,185} ,Mg _{0,734} ,Ti _{0,019}) $\Sigma=1$ (Si _{1,923} ,Al _{0,077}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₄₁ En ₄₅ Fs ₁₃
Cpx 3	Line20SL-01c_Cx4-line2	0,811	0,020	0,006	0,129	0,034	0,028	0,031	0,190	0,733	0,017	1,927	0,073	(Ca _{0,811} ,Na _{0,020} ,Mn _{0,006} ,Mg _{0,129} ,Fe ²⁺ _{0,034}) $\Sigma=1$ (Al _{0,028} ,Fe ³⁺ _{0,031} ,Fe ²⁺ _{0,190} ,Mg _{0,733} ,Ti _{0,017}) $\Sigma=1$ (Si _{1,927} ,Al _{0,073}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₄₂ En ₄₅ Fs ₁₃
Opx 3	Line3SL02A-Cx1	0,068	0,001	0,022	0,589	0,320	-	0,017	0,345	0,635	0,008	1,973	0,023	(Ca _{0,068} ,Na _{0,001} ,Mn _{0,022} ,Mg _{0,589} ,Fe ²⁺ _{0,320}) $\Sigma=1$ (Fe ³⁺ _{0,017} ,Fe ²⁺ _{0,345} ,Mg _{0,635} ,Ti _{0,008}) $\Sigma=1$ (Si _{1,973} ,Al _{0,023}) $\Sigma=1,996$ O ₆	Wo ₃ En ₆₁ Fs ₃₅
Opx 3	Line4SL02A-Cx1	0,068	0,001	0,025	0,554	0,352	-	0,014	0,382	0,600	0,008	1,974	0,022	(Ca _{0,068} ,Na _{0,001} ,Mn _{0,025} ,Mg _{0,554} ,Fe ²⁺ _{0,352}) $\Sigma=1$ (Fe ³⁺ _{0,014} ,Fe ²⁺ _{0,382} ,Mg _{0,600} ,Ti _{0,008}) $\Sigma=1$ (Si _{1,974} ,Al _{0,022}) $\Sigma=1,996$ O ₆	Wo ₃ En ₅₆ Fs ₃₉
Opx 3	Line5SL02A-Cx1	0,066	0,003	0,028	0,532	0,372	0,005	-	0,406	0,582	0,007	1,984	0,016	(Ca _{0,066} ,Na _{0,003} ,Mn _{0,028} ,Mg _{0,532} ,Fe ²⁺ _{0,372}) $\Sigma=1$ (Al _{0,005} ,Fe ²⁺ _{0,406} ,Mg _{0,582} ,Ti _{0,007}) $\Sigma=1$ (Si _{1,984} ,Al _{0,016}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₃ En ₅₆ Fs ₄₁
Opx 3	Line6SL02A-Cx1	0,065	0,003	0,027	0,531	0,374	0,006	-	0,408	0,578	0,008	1,985	0,015	(Ca _{0,065} ,Na _{0,003} ,Mn _{0,027} ,Mg _{0,531} ,Fe ²⁺ _{0,374}) $\Sigma=1$ (Al _{0,006} ,Fe ²⁺ _{0,408} ,Mg _{0,578} ,Ti _{0,008}) $\Sigma=1$ (Si _{1,985} ,Al _{0,015}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₃ En ₅₆ Fs ₄₁
Opx 3	Line7SL02A-Cx1	0,065	0,004	0,030	0,522	0,380	0,004	0,003	0,415	0,571	0,006	1,984	0,016	(Ca _{0,065} ,Na _{0,004} ,Mn _{0,030} ,Mg _{0,522} ,Fe ²⁺ _{0,380}) $\Sigma=1$ (Al _{0,004} ,Fe ³⁺ _{0,003} ,Fe ²⁺ _{0,415} ,Mg _{0,571} ,Ti _{0,006}) $\Sigma=1$ (Si _{1,984} ,Al _{0,016}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₃ En ₅₅ Fs ₄₂
Cpx 4	Line1SL02A-Cx2	0,742	0,023	0,008	0,187	0,040	0,040	0,062	0,154	0,721	0,023	1,875	0,125	(Ca _{0,742} ,Na _{0,023} ,Mn _{0,008} ,Mg _{0,187} ,Fe ²⁺ _{0,040}) $\Sigma=1$ (Al _{0,040} ,Fe ³⁺ _{0,062} ,Fe ²⁺ _{0,154} ,Mg _{0,721} ,Ti _{0,023}) $\Sigma=1$ (Si _{1,875} ,Al _{0,125}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₃₉ En ₄₇ Fs ₁₄
Cpx 4	Line2SL02A-Cx2	0,775	0,017	0,006	0,166	0,036	0,040	0,025	0,165	0,752	0,018	1,916	0,084	(Ca _{0,775} ,Na _{0,017} ,Mn _{0,006} ,Mg _{0,166} ,Fe ²⁺ _{0,036}) $\Sigma=1$ (Al _{0,040} ,Fe ³⁺ _{0,025} ,Fe ²⁺ _{0,165} ,Mg _{0,752} ,Ti _{0,018}) $\Sigma=1$ (Si _{1,916} ,Al _{0,084}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₄₀ En ₄₈ Fs ₁₂
Cpx 4	Line3SL02A-Cx2	0,776	0,026	0,010	0,145	0,044	0,019	0,051	0,210	0,699	0,021	1,915	0,085	(Ca _{0,776} ,Na _{0,026} ,Mn _{0,010} ,Mg _{0,145} ,Fe ²⁺ _{0,044}) $\Sigma=1$ (Al _{0,019} ,Fe ³⁺ _{0,051} ,Fe ²⁺ _{0,210} ,Mg _{0,699} ,Ti _{0,021}) $\Sigma=1$ (Si _{1,915} ,Al _{0,085}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₄₀ En ₄₄ Fs ₁₆
Cpx 4	Line4SL02A-Cx2	0,798	0,021	0,007	0,134	0,040	0,026	0,025	0,215	0,719	0,015	1,940	0,060	(Ca _{0,798} ,Na _{0,021} ,Mn _{0,007} ,Mg _{0,134} ,Fe ²⁺ _{0,040}) $\Sigma=1$ (Al _{0,026} ,Fe ³⁺ _{0,025} ,Fe ²⁺ _{0,215} ,Mg _{0,719} ,Ti _{0,015}) $\Sigma=1$ (Si _{1,940} ,Al _{0,060}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₄₁ En ₄₄ Fs ₁₅
Cpx 4	Line5SL02A-Cx2	0,802	0,030	0,008	0,124	0,036	0,027	0,038	0,206	0,710	0,018	1,929	0,071	(Ca _{0,802} ,Na _{0,030} ,Mn _{0,008} ,Mg _{0,124} ,Fe ²⁺ _{0,036}) $\Sigma=1$ (Al _{0,027} ,Fe ³⁺ _{0,038} ,Fe ²⁺ _{0,206} ,Mg _{0,710} ,Ti _{0,018}) $\Sigma=1$ (Si _{1,929} ,Al _{0,071}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₄₂ En ₄₃ Fs ₁₅
Cpx 5	Line1SL02A-Cx2bis	0,790	0,019	0,007	0,154	0,031	0,029	0,029	0,155	0,775	0,012	1,937	0,063	(Ca _{0,790} ,Na _{0,019} ,Mn _{0,007} ,Mg _{0,154} ,Fe ²⁺ _{0,031}) $\Sigma=1$ (Al _{0,029} ,Fe ³⁺ _{0,029} ,Fe ²⁺ _{0,155} ,Mg _{0,775} ,Ti _{0,012}) $\Sigma=1$ (Si _{1,937} ,Al _{0,063}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₄₁ En ₄₈ Fs ₁₁
Cpx 5	Line2SL02A-Cx2bis	0,806	0,019	0,005	0,142	0,027	0,030	0,038	0,148	0,768	0,016	1,919	0,081	(Ca _{0,806} ,Na _{0,019} ,Mn _{0,005} ,Mg _{0,142} ,Fe ²⁺ _{0,027}) $\Sigma=1$ (Al _{0,030} ,Fe ³⁺ _{0,038} ,Fe ²⁺ _{0,148} ,Mg _{0,768} ,Ti _{0,016}) $\Sigma=1$ (Si _{1,919} ,Al _{0,081}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₄₂ En ₄₇ Fs ₁₁
Cpx 5	Line3SL02A-Cx2bis	0,794	0,024	0,008	0,134	0,041	0,029	0,018	0,219	0,718	0,016	1,944	0,056	(Ca _{0,794} ,Na _{0,024} ,Mn _{0,008} ,Mg _{0,134} ,Fe ²⁺ _{0,041}) $\Sigma=1$ (Al _{0,029} ,Fe ³⁺ _{0,018} ,Fe ²⁺ _{0,219} ,Mg _{0,718} ,Ti _{0,016}) $\Sigma=1$ (Si _{1,944} ,Al _{0,056}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₄₁ En ₄₄ Fs ₁₅
Cpx 5	Line4SL02A-Cx2bis	0,815	0,022	0,008	0,124	0,032	0,008	0,056	0,188	0,731	0,017	1,923	0,077	(Ca _{0,815} ,Na _{0,022} ,Mn _{0,008} ,Mg _{0,124} ,Fe ²⁺ _{0,032}) $\Sigma=1$ (Al _{0,008} ,Fe ³⁺ _{0,056} ,Fe ²⁺ _{0,188} ,Mg _{0,731} ,Ti _{0,017}) $\Sigma=1$ (Si _{1,923} ,Al _{0,077}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₄₂ En ₄₄ Fs ₁₄
Cpx 5	Line5SL02A-Cx2bis	0,798	0,025	0,008	0,136	0,034	0,013	0,064	0,180	0,724	0,020	1,909	0,091	(Ca _{0,798} ,Na _{0,025} ,Mn _{0,008} ,Mg _{0,136} ,Fe ²⁺ _{0,034}) $\Sigma=1$ (Al _{0,013} ,Fe ³⁺ _{0,064} ,Fe ²⁺ _{0,180} ,Mg _{0,724} ,Ti _{0,020}) $\Sigma=1$ (Si _{1,909} ,Al _{0,091}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₄₁ En ₄₄ Fs ₁₅
Cpx 5	Line6SL02A-Cx2bis	0,761	0,021	0,005	0,170	0,043	0,054	0,027	0,181	0,710	0,026	1,886	0,114	(Ca _{0,761} ,Na _{0,021} ,Mn _{0,005} ,Mg _{0,170} ,Fe ²⁺ _{0,043}) $\Sigma=1$ (Al _{0,054} ,Fe ³⁺ _{0,027} ,Fe ²⁺ _{0,181} ,Mg _{0,710} ,Ti _{0,026}) $\Sigma=1$ (Si _{1,886} ,Al _{0,114}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₄₀ En ₄₆ Fs ₁₄
Opx 4	Line3SL02A-Cx3	0,079	0,006	0,023	0,551	0,341	0,015	-	0,373	0,602	0,010	1,973	0,027	(Ca _{0,079} ,Na _{0,006} ,Mn _{0,023} ,Mg _{0,551} ,Fe ²⁺ _{0,341}) $\Sigma=1$ (Al _{0,015} ,Fe ²⁺ _{0,373} ,Mg _{0,602} ,Ti _{0,010}) $\Sigma=1$ (Si _{1,973} ,Al _{0,027}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₄ En ₅₉ Fs ₃₇
Opx 4	Line4SL02A-Cx3	0,086	0,001	0,020	0,584	0,309	0,014	-	0,338	0,639	0,009	1,973	0,027	(Ca _{0,086} ,Na _{0,001} ,Mn _{0,020} ,Mg _{0,584} ,Fe ²⁺ _{0,309}) $\Sigma=1$ (Al _{0,014} ,Fe ²⁺ _{0,338} ,Mg _{0,639} ,Ti _{0,009}) $\Sigma=1$ (Si _{1,973} ,Al _{0,027}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₄ En ₆₂ Fs ₃₄
Opx 4	Line5SL02A-Cx3	0,072	0,001	0,018	0,616	0,293	0,008	0,019	0,311	0,654	0,008	1,958	0,042	(Ca _{0,072} ,Na _{0,001} ,Mn _{0,018} ,Mg _{0,616} ,Fe ²⁺ _{0,293}) $\Sigma=1$ (Al _{0,008} ,Fe ³⁺ _{0,019} ,Fe ²⁺ _{0,311} ,Mg _{0,654} ,Ti _{0,008}) $\Sigma=1$ (Si _{1,958} ,Al _{0,042}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₄ En ₆₄ Fs ₃₂
Opx 5	Line2SL02A-Cx4	0,065	0,002	0,028	0,523	0,381	0,007	-	0,415	0,570	0,007	1,983	0,017	(Ca _{0,065} ,Na _{0,002} ,Mn _{0,028} ,Mg _{0,523} ,Fe ²⁺ _{0,381}) $\Sigma=1$ (Al _{0,007} ,Fe ²⁺ _{0,415} ,Mg _{0,570} ,Ti _{0,007}) $\Sigma=1$ (Si _{1,983} ,Al _{0,017}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₃ En ₅₅ Fs ₄₂

Código host	Nombre original	M2					M1					T		Fórmulas estructurales	Miembros extremos
		Ca	Na	Mn	Mg	Fe2+	Al	Fe3+	Fe2+	Mg	Ti	Si	Al		
Opx 5	Line3SL02A-Cx4	0,065	0,003	0,026	0,527	0,379	0,013	-	0,410	0,570	0,007	1,990	0,010	(Ca _{0,065} Na _{0,003} Mn _{0,026} Mg _{0,527} Fe ²⁺ _{0,379}) $\Sigma=1$ (Al _{0,013} Fe ²⁺ _{0,410} Mg _{0,570} Ti _{0,007}) $\Sigma=1$ (Si _{1,990} Al _{0,010}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₃ En ₅₅ Fs ₄₁
Opx 5	Line4SL02A-Cx4	0,064	0,004	0,027	0,528	0,378	0,012	-	0,409	0,572	0,007	1,989	0,011	(Ca _{0,064} Na _{0,004} Mn _{0,027} Mg _{0,528} Fe ²⁺ _{0,378}) $\Sigma=1$ (Al _{0,012} Fe ²⁺ _{0,409} Mg _{0,572} Ti _{0,007}) $\Sigma=1$ (Si _{1,989} Al _{0,011}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₃ En ₅₆ Fs ₄₁
Opx 5	Line5SL02A-Cx4	0,065	0,001	0,027	0,536	0,371	0,005	-	0,404	0,584	0,007	1,981	0,019	(Ca _{0,065} Na _{0,001} Mn _{0,027} Mg _{0,536} Fe ²⁺ _{0,371}) $\Sigma=1$ (Al _{0,005} Fe ²⁺ _{0,404} Mg _{0,584} Ti _{0,007}) $\Sigma=1$ (Si _{1,981} Al _{0,019}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₃ En ₅₆ Fs ₄₀
Opx 5	Line6SL02A-Cx4	0,068	0,004	0,026	0,538	0,364	0,003	0,011	0,394	0,582	0,011	1,969	0,031	(Ca _{0,068} Na _{0,004} Mn _{0,026} Mg _{0,538} Fe ²⁺ _{0,364}) $\Sigma=1$ (Al _{0,003} Fe ³⁺ _{0,011} Fe ²⁺ _{0,394} Mg _{0,582} Ti _{0,011}) $\Sigma=1$ (Si _{1,969} Al _{0,031}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₃ En ₅₇ Fs ₄₀
Opx 5	Line7SL02A-Cx4	0,064	0,003	0,025	0,550	0,358	0,007	0,007	0,384	0,592	0,010	1,969	0,031	(Ca _{0,064} Na _{0,003} Mn _{0,025} Mg _{0,550} Fe ²⁺ _{0,358}) $\Sigma=1$ (Al _{0,007} Fe ³⁺ _{0,007} Fe ²⁺ _{0,384} Mg _{0,592} Ti _{0,010}) $\Sigma=1$ (Si _{1,969} Al _{0,031}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₃ En ₅₆ Fs ₃₉
Opx 5	Line8SL02A-Cx4	0,064	0,004	0,024	0,559	0,351	0,010	-	0,378	0,602	0,010	1,976	0,024	(Ca _{0,064} Na _{0,004} Mn _{0,024} Mg _{0,559} Fe ²⁺ _{0,351}) $\Sigma=1$ (Al _{0,010} Fe ²⁺ _{0,378} Mg _{0,602} Ti _{0,010}) $\Sigma=1$ (Si _{1,976} Al _{0,024}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₃ En ₅₉ Fs ₃₈
Opx 5	Line9SL02A-Cx4	0,067	0,002	0,024	0,567	0,340	0,002	0,018	0,364	0,606	0,010	1,962	0,038	(Ca _{0,067} Na _{0,002} Mn _{0,024} Mg _{0,567} Fe ²⁺ _{0,340}) $\Sigma=1$ (Al _{0,002} Fe ³⁺ _{0,018} Fe ²⁺ _{0,364} Mg _{0,606} Ti _{0,010}) $\Sigma=1$ (Si _{1,962} Al _{0,038}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₃ En ₅₉ Fs ₃₈
Opx 5	Line10SL02A-Cx4	0,063	0,004	0,025	0,565	0,343	0,001	0,012	0,371	0,611	0,005	1,981	0,019	(Ca _{0,063} Na _{0,004} Mn _{0,025} Mg _{0,565} Fe ²⁺ _{0,343}) $\Sigma=1$ (Al _{0,001} Fe ³⁺ _{0,012} Fe ²⁺ _{0,371} Mg _{0,611} Ti _{0,005}) $\Sigma=1$ (Si _{1,981} Al _{0,019}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₃ En ₅₉ Fs ₃₈
Opx 5	Line11SL02A-Cx4	0,062	0,003	0,023	0,563	0,349	0,003	0,004	0,378	0,609	0,006	1,984	0,016	(Ca _{0,062} Na _{0,003} Mn _{0,023} Mg _{0,563} Fe ²⁺ _{0,349}) $\Sigma=1$ (Al _{0,003} Fe ³⁺ _{0,004} Fe ²⁺ _{0,378} Mg _{0,609} Ti _{0,006}) $\Sigma=1$ (Si _{1,984} Al _{0,016}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₃ En ₅₉ Fs ₃₈
Opx 5	Line12SL02A-Cx4	0,061	0,002	0,024	0,563	0,349	0,007	-	0,378	0,609	0,005	1,991	0,009	(Ca _{0,061} Na _{0,002} Mn _{0,024} Mg _{0,563} Fe ²⁺ _{0,349}) $\Sigma=1$ (Al _{0,007} Fe ²⁺ _{0,378} Mg _{0,609} Ti _{0,005}) $\Sigma=1$ (Si _{1,991} Al _{0,009}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₃ En ₅₉ Fs ₃₈
Opx 6	Line1SL02A-Cxgroup_line1	0,059	0,002	0,024	0,561	0,353	0,009	-	0,380	0,604	0,007	1,984	0,016	(Ca _{0,059} Na _{0,002} Mn _{0,024} Mg _{0,561} Fe ²⁺ _{0,353}) $\Sigma=1$ (Al _{0,009} Fe ²⁺ _{0,380} Mg _{0,604} Ti _{0,007}) $\Sigma=1$ (Si _{1,984} Al _{0,016}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₃ En ₅₉ Fs ₃₈
Opx 6	Line2SL02A-Cxgroup_line1	0,065	0,004	0,025	0,542	0,364	0,002	0,010	0,395	0,587	0,007	1,979	0,021	(Ca _{0,065} Na _{0,004} Mn _{0,025} Mg _{0,542} Fe ²⁺ _{0,364}) $\Sigma=1$ (Al _{0,002} Fe ³⁺ _{0,010} Fe ²⁺ _{0,395} Mg _{0,587} Ti _{0,007}) $\Sigma=1$ (Si _{1,979} Al _{0,021}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₃ En ₅₇ Fs ₄₀
Opx 6	Line3SL02A-Cxgroup_line1	0,064	0,003	0,027	0,548	0,359	-	0,015	0,388	0,593	0,006	1,978	0,020	(Ca _{0,064} Na _{0,003} Mn _{0,027} Mg _{0,548} Fe ²⁺ _{0,359}) $\Sigma=1$ (Fe ³⁺ _{0,015} Fe ²⁺ _{0,388} Mg _{0,593} Ti _{0,006}) $\Sigma=1$ (Si _{1,978} Al _{0,020}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₃ En ₅₇ Fs ₄₀
Opx 6	Line4SL02A-Cxgroup_line1	0,064	-	0,028	0,544	0,364	0,004	-	0,397	0,593	0,006	1,985	0,015	(Ca _{0,064} Mn _{0,028} Mg _{0,544} Fe ²⁺ _{0,364}) $\Sigma=1$ (Al _{0,004} Fe ²⁺ _{0,397} Mg _{0,593} Ti _{0,006}) $\Sigma=1$ (Si _{1,985} Al _{0,015}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₃ En ₅₇ Fs ₄₀
Opx 6	Line5SL02A-Cxgroup_line1	0,066	0,002	0,028	0,546	0,357	0,002	0,005	0,390	0,597	0,006	1,984	0,016	(Ca _{0,066} Na _{0,002} Mn _{0,028} Mg _{0,546} Fe ²⁺ _{0,357}) $\Sigma=1$ (Al _{0,002} Fe ³⁺ _{0,005} Fe ²⁺ _{0,390} Mg _{0,597} Ti _{0,006}) $\Sigma=1$ (Si _{1,984} Al _{0,016}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₃ En ₅₇ Fs ₃₉
Opx 6	Line6SL02A-Cxgroup_line1	0,063	0,002	0,026	0,545	0,364	0,008	-	0,395	0,592	0,006	1,991	0,009	(Ca _{0,063} Na _{0,002} Mn _{0,026} Mg _{0,545} Fe ²⁺ _{0,364}) $\Sigma=1$ (Al _{0,008} Fe ²⁺ _{0,395} Mg _{0,592} Ti _{0,006}) $\Sigma=1$ (Si _{1,991} Al _{0,009}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₃ En ₅₇ Fs ₄₀
Opx 6	Line7SL02A-Cxgroup_line1	0,064	0,004	0,028	0,546	0,359	-	0,011	0,390	0,594	0,005	1,982	0,017	(Ca _{0,064} Na _{0,004} Mn _{0,028} Mg _{0,546} Fe ²⁺ _{0,359}) $\Sigma=1$ (Fe ³⁺ _{0,011} Fe ²⁺ _{0,390} Mg _{0,594} Ti _{0,005}) $\Sigma=1$ (Si _{1,982} Al _{0,017}) $\Sigma=1,999$ O ₆	Wo ₃ En ₅₇ Fs ₄₀
Opx 6	Line8SL02A-Cxgroup_line1	0,064	0,002	0,026	0,546	0,362	-	0,008	0,393	0,592	0,007	1,980	0,020	(Ca _{0,064} Na _{0,002} Mn _{0,026} Mg _{0,546} Fe ²⁺ _{0,362}) $\Sigma=1$ (Fe ³⁺ _{0,008} Fe ²⁺ _{0,393} Mg _{0,592} Ti _{0,007}) $\Sigma=1$ (Si _{1,980} Al _{0,020}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₃ En ₅₇ Fs ₄₀
Cpx 6	Line1SL02A-Cxgroup_line2	0,800	0,025	0,015	0,108	0,052	0,002	0,042	0,309	0,638	0,009	1,962	0,038	(Ca _{0,800} Na _{0,025} Mn _{0,015} Mg _{0,108} Fe ²⁺ _{0,052}) $\Sigma=1$ (Al _{0,002} Fe ³⁺ _{0,042} Fe ²⁺ _{0,309} Mg _{0,638} Ti _{0,009}) $\Sigma=1$ (Si _{1,962} Al _{0,038}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₄₁ En ₃₈ Fs ₂₁
Cpx 6	Line2SL02A-Cxgroup_line2	0,799	0,023	0,017	0,107	0,054	0,010	0,026	0,318	0,635	0,010	1,966	0,034	(Ca _{0,799} Na _{0,023} Mn _{0,017} Mg _{0,107} Fe ²⁺ _{0,054}) $\Sigma=1$ (Al _{0,010} Fe ³⁺ _{0,026} Fe ²⁺ _{0,318} Mg _{0,635} Ti _{0,010}) $\Sigma=1$ (Si _{1,966} Al _{0,034}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₄₁ En ₃₈ Fs ₂₁
Cpx 6	Line3SL02A-Cxgroup_line2	0,806	0,019	0,014	0,107	0,053	0,012	0,017	0,316	0,643	0,011	1,968	0,032	(Ca _{0,806} Na _{0,019} Mn _{0,014} Mg _{0,107} Fe ²⁺ _{0,053}) $\Sigma=1$ (Al _{0,012} Fe ³⁺ _{0,017} Fe ²⁺ _{0,316} Mg _{0,643} Ti _{0,011}) $\Sigma=1$ (Si _{1,968} Al _{0,032}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₄₁ En ₃₈ Fs ₂₀
Cpx 6	Line4SL02A-Cxgroup_line2	0,803	0,021	0,014	0,110	0,052	0,007	0,030	0,305	0,647	0,011	1,963	0,037	(Ca _{0,803} Na _{0,021} Mn _{0,014} Mg _{0,110} Fe ²⁺ _{0,052}) $\Sigma=1$ (Al _{0,007} Fe ³⁺ _{0,030} Fe ²⁺ _{0,305} Mg _{0,647} Ti _{0,011}) $\Sigma=1$ (Si _{1,963} Al _{0,037}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₄₁ En ₃₉ Fs ₂₀
Cpx 6	Line5SL02A-Cxgroup_line2	0,799	0,024	0,016	0,110	0,052	0,011	0,027	0,307	0,645	0,010	1,966	0,034	(Ca _{0,799} Na _{0,024} Mn _{0,016} Mg _{0,110} Fe ²⁺ _{0,052}) $\Sigma=1$ (Al _{0,011} Fe ³⁺ _{0,027} Fe ²⁺ _{0,307} Mg _{0,645} Ti _{0,010}) $\Sigma=1$ (Si _{1,966} Al _{0,034}) $\Sigma=2$ O ₆	Wo ₄₁ En ₃₉ Fs ₂₀

Código host	Nombre original	M2					M1					T		Fórmulas estructurales	Miembros extremos
		Ca	Na	Mn	Mg	Fe2+	Al	Fe3+	Fe2+	Mg	Ti	Si	Al		
Cpx 6	Line6SL02A-Cxgroup_line2	0,802	0,023	0,015	0,109	0,051	0,004	0,037	0,301	0,647	0,011	1,960	0,040	$(Ca_{0,802}, Na_{0,023}, Mn_{0,015}, Mg_{0,109}, Fe^{2+}_{0,051})_{\Sigma=1} (Al_{0,004}, Fe^{3+}_{0,037}, Fe^{2+}_{0,301}, Mg_{0,647}, Ti_{0,011})_{\Sigma=1} (Si_{1,960}, Al_{0,040})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₁ En ₃₉ Fs ₂₁
Cpx 6	Line7SL02A-Cxgroup_line2	0,792	0,022	0,015	0,114	0,056	0,019	0,008	0,319	0,645	0,010	1,975	0,025	$(Ca_{0,792}, Na_{0,022}, Mn_{0,015}, Mg_{0,114}, Fe^{2+}_{0,056})_{\Sigma=1} (Al_{0,019}, Fe^{3+}_{0,008}, Fe^{2+}_{0,319}, Mg_{0,645}, Ti_{0,010})_{\Sigma=1} (Si_{1,975}, Al_{0,025})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₁ En ₃₉ Fs ₂₀
Cpx 6	Line8SL02A-Cxgroup_line2	0,789	0,022	0,017	0,116	0,056	0,010	0,022	0,311	0,645	0,011	1,968	0,032	$(Ca_{0,789}, Na_{0,022}, Mn_{0,017}, Mg_{0,116}, Fe^{2+}_{0,056})_{\Sigma=1} (Al_{0,010}, Fe^{3+}_{0,022}, Fe^{2+}_{0,311}, Mg_{0,645}, Ti_{0,011})_{\Sigma=1} (Si_{1,968}, Al_{0,032})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₀ En ₃₉ Fs ₂₁
Cpx 6	Line9SL02A-Cxgroup_line2	0,799	0,023	0,016	0,111	0,051	0,007	0,034	0,298	0,651	0,010	1,962	0,038	$(Ca_{0,799}, Na_{0,023}, Mn_{0,016}, Mg_{0,111}, Fe^{2+}_{0,051})_{\Sigma=1} (Al_{0,007}, Fe^{3+}_{0,034}, Fe^{2+}_{0,298}, Mg_{0,651}, Ti_{0,010})_{\Sigma=1} (Si_{1,962}, Al_{0,038})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₁ En ₃₉ Fs ₂₀
Cpx 6	Line10SL02A-Cxgroup_line2	0,800	0,020	0,015	0,112	0,053	0,003	0,036	0,304	0,646	0,012	1,958	0,042	$(Ca_{0,800}, Na_{0,020}, Mn_{0,015}, Mg_{0,112}, Fe^{2+}_{0,053})_{\Sigma=1} (Al_{0,003}, Fe^{3+}_{0,036}, Fe^{2+}_{0,304}, Mg_{0,646}, Ti_{0,012})_{\Sigma=1} (Si_{1,958}, Al_{0,042})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₁ En ₃₉ Fs ₂₁
Cpx 6	Line11SL02A-Cxgroup_line2	0,804	0,023	0,014	0,106	0,053	0,014	0,016	0,319	0,640	0,011	1,971	0,029	$(Ca_{0,804}, Na_{0,023}, Mn_{0,014}, Mg_{0,106}, Fe^{2+}_{0,053})_{\Sigma=1} (Al_{0,014}, Fe^{3+}_{0,016}, Fe^{2+}_{0,319}, Mg_{0,640}, Ti_{0,011})_{\Sigma=1} (Si_{1,971}, Al_{0,029})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₁ En ₃₈ Fs ₂₁
Cpx 6	Line12SL02A-Cxgroup_line2	0,785	0,025	0,016	0,118	0,057	0,011	0,030	0,308	0,635	0,015	1,954	0,046	$(Ca_{0,785}, Na_{0,025}, Mn_{0,016}, Mg_{0,118}, Fe^{2+}_{0,057})_{\Sigma=1} (Al_{0,011}, Fe^{3+}_{0,030}, Fe^{2+}_{0,308}, Mg_{0,635}, Ti_{0,015})_{\Sigma=1} (Si_{1,954}, Al_{0,046})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₀ En ₃₉ Fs ₂₁
Cpx 6	Line13SL02A-Cxgroup_line2	0,777	0,021	0,017	0,121	0,064	0,005	0,029	0,331	0,625	0,010	1,967	0,033	$(Ca_{0,777}, Na_{0,021}, Mn_{0,017}, Mg_{0,121}, Fe^{2+}_{0,064})_{\Sigma=1} (Al_{0,005}, Fe^{3+}_{0,029}, Fe^{2+}_{0,331}, Mg_{0,625}, Ti_{0,010})_{\Sigma=1} (Si_{1,967}, Al_{0,033})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₄₀ En ₃₈ Fs ₂₂
Opx 7	A4_xst2	0,069	-	0,027	0,526	0,378	0,002	0,006	0,411	0,572	0,009	1,974	0,026	$(Ca_{0,069}, Mn_{0,027}, Mg_{0,526}, Fe^{2+}_{0,378})_{\Sigma=1} (Al_{0,002}, Fe^{3+}_{0,006}, Fe^{2+}_{0,411}, Mg_{0,572}, Ti_{0,009})_{\Sigma=1} (Si_{1,974}, Al_{0,026})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₃ En ₅₅ Fs ₄₁
Opx 8	A4_xst3	0,069	-	0,027	0,526	0,378	0,002	0,006	0,411	0,572	0,009	1,974	0,026	$(Ca_{0,069}, Mn_{0,027}, Mg_{0,526}, Fe^{2+}_{0,378})_{\Sigma=1} (Al_{0,002}, Fe^{3+}_{0,006}, Fe^{2+}_{0,411}, Mg_{0,572}, Ti_{0,009})_{\Sigma=1} (Si_{1,974}, Al_{0,026})_{\Sigma=2} O_6$	Wo ₃ En ₅₆ Fs ₄₁

Anexo E: Errores asociados a técnicas analíticas

En esta sección se exponen los errores asociados a la microsonda electrónica modelo *JEOL JXA 8900 RL*, del Laboratorio de Microsonda Electrónica de la Universidad de Göttingen, Alemania.

Tabla 22: Límites de detección y errores asociados a cada elemento

Elemento	Mineral	Límite de detección (%)	Error (%)
Si	Wollastonita	0,0175	0,24
Ti	TiO ₂	0,0123	0,28
Al	Anortita	0,0147	0,36
Fe	Hematita	0,0216	0,34
Mn	Rodonita	0,0123	2,94
Mg	Olivino	0,0125	0,37
Ca	Wollastonita	0,0138	0,59
Na	Albita	0,0172	1,14
K	Sanidina	0,0124	1,21
F	Topacio	0,0177	2,66
Cl	NaCl	0,0053	3,76

Tabla 23: Estándar de la microsonda electrónica

Mineral	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	F
Albita	67,42	0	19,51	0,01	0	0	0,1	11,68	0,16	0	0
Sanidina	63,78	0	18,71	0,14	0,02	0,01	0	1,66	14,24	0	0
Wollastonita	51,65	0	0	0,39	0,09	0,06	48,11	0	0	0	0
TiO ₂	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rodonita	47,45	0	0	1,01	41,86	0,55	7,18	0	0	0	0
Hematita	0	0	0	89,64	0	0,01	0,0123	0	0	0	0
NaCl	0	0	0	0	0	0	0	56,96	0	60,46	0
Olivino	40,14	0	0	9,17	0,12	48,96	0,07	0	0	0	0
Anortita	43,56	0	35,6	0,44	0,03	0	19,27	0,58	0,01	0	0
Topacio	31,14	0,13	56,47	0,02	0,01	0	0,0119	0	0,02	0	21,45