



ESCUELA DE  
GEOLOGÍA

**MODELAMIENTO TERMODINÁMICO DEL RESERVORIO  
MAGMÁTICO BAJO EL COMPLEJO VOLCÁNICO MOCHO-  
CHOSHUENCO ASOCIADO A LA ERUPCIÓN DE 1864**

Memoria entregada a la Universidad Mayor en cumplimiento con  
los requisitos para optar al Título de Geóloga

VALENTINA MONTSERRAT CIFUENTES VERGARA

Profesor guía:

EDUARDO ESTEBAN MORGADO BRAVO

Miembros de la Comisión Evaluadora de Examen:

FRANCISCA CONSTANZA MALLEA LILLO

JORGE EDUARDO ROMERO MOYANO

SANTIAGO, CHILE

JULIO, 2023

## Resumen

El Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco (CVMCh) es un volcán compuesto ubicado en el segmento central de la Zona Volcánica Sur de Los Andes, segmento que alberga los volcanes de alto riesgo y peligro en Chile. Este se compone de dos cimas, un edificio volcánico ancestral (Mocho) y uno adyacente (Choshuenco). La última erupción del CVMCh corresponde a la ocurrida en 1864, la cual fue de carácter explosivo. En este trabajo se estudiaron muestras provenientes de la erupción de 1864 de composición dacítica (62.81 – 63.03 wt.% SiO<sub>2</sub>) y que, en su mayoría, presentan un bajo porcentaje de cristalinidad (7.1 – 13.4 vol.%). Mediante un microscopio electrónico de barrido, se determinó la mineralogía de las rocas las cuales se componen de fenocristales de plagioclasa, clinopiroxeno, ortopiroxeno, titanomagnetita, ilmenita y apatito. Respecto a la química mineral, se definieron dos zonas composicionales para cristales de plagioclasa (Zona 1, An<sub>25-49</sub> y Zona 2, An<sub>50-61</sub>), clinopiroxenos ricos y bajos en Ca (Wo<sub>36-42</sub>En<sub>44-41</sub>Fs<sub>18-15</sub> / Wo<sub>6-13</sub>En<sub>52-49</sub>Fs<sub>41-37</sub>), y, por último, composiciones de núcleo para los fenocristales de ortopiroxeno (Wo<sub>2-4</sub>En<sub>57-68</sub>Fs<sub>28-38</sub>). Mediante simulaciones realizadas en el *software* rhyolite-MELTS v.1.0.2, se calcularon las condiciones pre-eruptivas interpretándose un reservorio magmático situado en corteza superior. Se determinó un contenido de agua disuelta de hasta 3 wt.% y condiciones de oxidación entre  $\Delta$ QFM+1,  $\Delta$ NNO y QFM. Por otra parte, a pesar del bajo porcentaje de cristalinidad de las muestras, se sugiere un reservorio tipo *mush*, debido a la existencia de cúmulos cristalinos con vidrio intersticial de composición diferente al resto de la masa fundamental. Las texturas de desequilibrio y variaciones composicionales presentes en las fases minerales podrían ser atribuidas a la llegada de un *input* de magma con una temperatura mayor que la presente en el reservorio. Esta variación termal provocaría una rápida exsolución de volátiles en el sistema (en una escala geológica de tiempo), desencadenado el evento explosivo de 1864.

SOLO USO ACADÉMICO

A mis abuelos, madre y hermano.

## Agradecimientos

En primer lugar, gracias inconmesurables a mi mamá por nunca dudar de mí y de mis capacidades, por siempre enseñarme que en la vida todo es posible si lo deseas. Eres la mejor maestra que la vida pudo darme, gracias por tu apoyo y amor infinito. A mi hermano Osvaldo, mi refugio, quien siempre sabe cómo sacarme una sonrisa y seguir adelante, quien deseaba mucho que llegara este momento y nunca dudó que lo lograría. También agradecer a mi perrita Nala, quien considero miembro de mi familia y que sin su compañía nada sería igual.

Gracias a mi amiga del alma, mi mejor amiga. Coni, quien siempre ha estado ahí, con quien he tenido de muchas maneras conexiones profundas. Por escuchar tu risa contagiosa desde los 3 años, que ojalá siempre tenga el privilegio de hacerlo y nunca la cambies, pues es simplemente serotonina. Por tu apoyo incondicional, en momentos difíciles y felices. Infaltable mencionar a mis amigas de toda la vida, Cami, Vale, Maira, Thalía, Lore, Luer y Mile quienes siempre endulzaban las jornadas escolares y con quienes nunca la pasé mal. Por siempre seguir mis estupideces y aceptarme como soy. Ustedes saben lo importante que son para mí, no bastaría solo con mencionarlas aquí.

Me gustaría agradecer a Eduardo Morgado Bravo, mi profesor guía, quien siempre confió en mi trabajo, capacidades y perseverancia, además de potenciar mis conocimientos sobre la petrología ígnea y adquirir nuevos en cuanto a la modelación termodinámica. Por siempre alentar y presentar una excelente disposición a lo largo del proyecto. Gracias a Francisca Mallea Lillo, mi profesora co-guía, quien fue un excelente apoyo y mentora desde el comienzo de mi tesis, siempre atenta a cualquiera de mis dudas, por muy puntuales que fuesen.

Agradezco profundamente a mis amigos desde primer año Nacho, Jeni, Pablito y Sebita quienes siempre me apañaron, donde las risas y buenos momentos nunca faltaron. Gracias a ti Jona que, aunque llegaras más tarde, fue bacán conocerte y formar esta amistad. Agradezco también a personas bacanes que Geología me permitió conocer a la Isi, Feña, Seba y Mati, con quienes compartí breaks, puchitos, carretes y copuchas infaltables. A Fer y Jorge, por

dar cara siendo el mejor grupo de campo I, que hasta el momento ha sido mi mejor terreno durante la carrera.

Además, y no menos importante, agradecer al cuerpo docente de la Escuela de Geología, por la excelente disposición siempre, pasión por la docencia y por siempre dar lo mejor de sí mismos para nuestra formación y futuro como profesionales. Gracias por todos los terrenos e instancias de aprendizaje, por las tallas e imprevistos de terreno que hacían más amenas las largas jornadas de trabajo.

Quiero agradecer especialmente a Ignacio Aguirre, por tu amor y apoyo incondicional estos últimos 3 años, por las risas, viajes, aprendizajes y perseverancia. Por siempre creer en mí, por siempre recordarnos la admiración que tenemos por el otro y por nunca rendirte. Espero poder acompañarte siempre en tus grandes y peores momentos.

En fin, darle gracias a la vida por haber permitido que tomara este camino, donde crecí mucho personalmente y pretendo seguir haciéndolo.

## Tabla de Contenidos

1.Introducción.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Hipótesis .....	4
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo general .....	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.4 Ubicación y accesos .....	4
1.5 Metodología .....	5
1.5.1 Recopilación de antecedentes geológicos .....	5
1.5.2 Preparación de muestras.....	6
1.5.3 Métodos analíticos.....	6
2.Marco Teórico .....	6
2.1 Microscopio Electrónico de Barrido.....	6
2.2 Modelación termodinámica mediante software rhyolite-MELTS .....	7
3.Marco Geológico.....	8
3.1 Zona Volcánica Sur.....	8
3.2 Estructuras regionales: Zona de Falla Liquiñe-Ofqui (ZFLO) .....	9
3.3 Geología Regional .....	10
3.3.1 Unidades metamórficas.....	10
3.3.2 Unidades estratificadas.....	11
3.3.3 Intrusivos.....	12
3.3.4 Depósitos sedimentarios.....	13
3.4 Marco geológico volcánico.....	15
3.4.1 Volcán compuesto Mocho-Choshuenco.....	16
3.4.2 Otros volcanes del área .....	19
3.4.3 Erupción subpliniana de 1864.....	19
4.Resultados.....	21
4.1 Composición de productos volcánicos.....	21
4.2 Petrografía.....	25
4.3 Química mineral.....	31
4.3.1 Plagioclasa.....	31
4.3.2 Clinopiroxeno.....	32
4.3.3 Ortopiroxeno .....	32

5. Discusiones.....	34
5.1 Condiciones magmáticas intensivas .....	34
5.1.1 Modelación termodinámica para la erupción de 1864 .....	34
5.2 Condiciones pre-eruptivas y una aproximación del reservorio magmático.....	36
5.2.1 Otros casos de estudio similares al CVMCh.....	37
5.3 Análisis textural: Composiciones y texturas de fases minerales .....	38
5.4 Mush cristalino: Evidencias texturales y mineralógicas.....	41
5.5 Modelo pre-eruptivo .....	43
5.Conclusiones.....	45
Referencias .....	47
Anexos .....	52
A.1 Ubicación de muestras .....	52
A.2 Geoquímica de roca total .....	53
A.3 Petrografía.....	55
A.4 Química mineral.....	60
Tabla A.4.1 .....	60
Tabla A.4.2.....	62
Tabla A.4.3.....	64
A.5 Condiciones pre-eruptivas.....	65

## Índice de figuras

Figura 1. a) Mapa que muestra las zonas volcánicas, señalando la ZVS (Extraído de Stern, 2004). b) Mapa que señala la ZVSC y en específico el CVMCh. Este fue elaborado con “Imagery” basemap en el software ArcGIS v.10.8. c) Mapa de volcán Mocho-Choshuenco, que señala la colada de lava emitida en 1864, cráteres y ubicación de muestras. Este fue elaborado con “Imagery” basemap en el software ArcGIS v.10.8. ....	3
Figura 2: Ubicación y localidades cercanas al Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco. Mapa elaborado con “Imagery” basemap en el software ArcGIS v.10.8.....	5
Figura 3. Esquema de las partes que conforman un microscopio electrónico de barrido (SEM) (Extraído de Zhou et al.,2006).....	7
Figura 4: Lineamientos pertenecientes a la ZFLO que se ubican en el CVMCh. Mapa elaborado con “Imagery” basemap en el software ArcGIS v-10.8.....	10
Figura 5. Mapa geológico simplificado de CVMCh (Extraído de Mallea-Lillo, 2021 y modificado de Moreno y Lara, 2007).....	15
Figura 6. Diagrama Total Alkalís vs Sílice (TAS) de muestras analizadas para el Grupo Fui	

y CVMCh, y datos obtenidos de Rawson et al. (2016) (Extraído de Mallea-Lillo et al., 2022).	20
Figura 7. a) Total Alcalis vs Sílice (TAS) extraído de Le Bas et al. (1986) y elementos mayores (b-i) de las muestras estudiadas, junto con los datos publicados por Rawson et al. (2016).	23
Figura 8. Diagramas de elementos trazas. a) Spider y b) Patrón de REE, los datos fueron normalizados con la composición del manto primitivo de Sun & Mc Donough (1989).	24
Figura 9. Imagen de la izquierda a nícoles paralelos de la muestra 1864-4 contiene las distintas familias de plagioclasa y la presencia de textura traquítica en masa fundamental. Imagen de la derecha a nícoles cruzados.	26
Figura 10. Familias de plagioclasa de la muestra 1864-2 correspondiente a una colada de lava dacítica. A) Fenocristal aislado de plagioclasa. B) Cúmulo cristalino correspondiente a la familia 2. C) Cúmulo cristalino de plagioclasa conformando la familia 3. D) Cúmulo cristalino de plagioclasa y clinopiroxeno que corresponden a la familia 4.	27
Figura 11. Imágenes de electrones retrodispersados de cristales seleccionados de la muestra de lava 1864-2. a) Cúmulo aislado de plagioclasa que presenta zonación inversa y patchy. b) Cúmulo cristalino conformado por fenocristales de plagioclasa y ortopiroxeno, y fenocristal de clinopiroxeno aislado que presenta zonación oscilatoria.	28
Figura 12. Imágenes de electrones retrodispersados de cristales seleccionados de la muestra de lava 1864-2.	29
a) Fenocristal aislado de clinopiroxeno que presenta textura coronítica (conformada por ortopiroxenos y óxidos de Fe-Ti) y zonación oscilatoria. b) Cúmulo cristalino conformado por fenocristales de plagioclasa, clinopiroxeno, ortopiroxeno y óxidos de Fe-Ti.	29
Figura 13. Fenocristal de plagioclasa que presenta bordes de reabsorción. Imagen superior a nícoles paralelos. Imagen inferior a nícoles cruzados.	30
Figura 14. Composiciones para fenocristales de plagioclasa.	31
Figura 15. Esquema que muestra la relación entre las variaciones composicionales y los subgrupos de fenocristales de plagioclasa.	32
Figura 16. Composiciones para fenocristales de clinopiroxeno y ortopiroxeno.	33
Figura 17. Campos de estabilidad de P-T para las composiciones de las Zonas 1 y 2 de plagioclasa, clinopiroxenos y ortopiroxenos obtenidas por rhyolite-MELTS a diferentes condiciones de fugacidad de oxígeno para la muestra de lava 1864-2. El contenido de agua utilizado para las simulaciones es de 1 – 7 wt. %.	35
Figura 18. A) Variaciones composicionales en fenocristales de plagioclasa presente en cúmulos cristalinos. B) Variaciones composicionales en fenocristales de plagioclasa aislados. Puntos amarillos representan los espectros medidos.	39

Figura 19. Ilustración esquemática de la evolución de un reservorio magmático tipo <i>mush</i> (Modificado de Bachmann y Bergantz, 2004; Hildreth, 2004; Elaborado por Bachmann y Bergantz, 2008). A) Estado de baja cristalinidad (<45 vol.% cristales), la mayoría de los cristales están en suspensión por corrientes de convección. B) Estado de mediana cristalinidad (~45-60 vol.% cristales): la ausencia de convección y la alta permeabilidad promueve de manera eficiente la separación del fundido y cristales. C) Estado de alta cristalinidad (>60 vol.% cristales): la permeabilidad del fundido es muy lenta por su alta viscosidad para extraer cristales por compactación.....	41
Figura 20. Muestra de lava 1864-2: Cúmulo cristalino que posee vidrio intersticial (recuadro rojo) de textura diferente al resto de la masa fundamental. ....	42
Figura 21. Representación esquemática y evolución en el tiempo del reservorio magmático bajo el CVMCh. a) Muestra el reservorio magmático sin perturbaciones, además del <i>mush</i> cristalino. b) Representa la llegada de un nuevo magma de temperatura diferente. c) Representa el comienzo de la erupción. ....	44

## Índice de tablas

Tabla 1. Conteo modal en porcentaje de vesículas y minerales correspondientes a las muestras estudiadas. El porcentaje de cristalinidad no considera el volumen de vesículas .	25
Tabla 2. Rangos composicionales de fenocristales de plagioclasa, clinopiroxenos y ortopiroxenos pertenecientes a la muestra 1864-2. ....	33
Tabla 3. Resumen de condiciones magmáticas intensivas y características petrográficas del CVMCh y otros casos de estudio en Chile y el mundo. ....	38

## Lista de Abreviaturas

CEM: Centros Eruptivos Menores.

CVMC: Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco.

CVQ: Complejo Volcánico Quetrupillán.

NNO: Níquel-Níquel-Oxido.

REE: Rare Earth Elements

SEM: Scanning Electron Microscope

SERNAGEOMIN: Servicio Nacional de Geología y Minería.

QFM: Quartz-Fayalita-Magnetita

ZVA: Zona Volcánica Austral.

ZVC: Zona Volcánica Central.

ZVN: Zona Volcánica Norte.

ZVS: Zona Volcánica Sur.

ZVSC: Zona Volcánica Sur Central.

ZVSN: Zona Volcánica Sur Norte.

ZVSS: Zona Volcánica Sur Sur.

ZVST: Zona Volcánica Sur Transicional.

ZFLO: Zona de Falla Liquiñe-Ofqui.

SOLO USO ACADÉMICO

## **1. Introducción**

El cordón montañoso de los Andes de América del Sur posee una longitud de 10.000 km y se sitúa en el borde occidental de este continente, considerándose la cordillera más extensa del planeta (Wilson, 1989). Su extremo sur correspondiente a Los Andes del Sur de Chile es un segmento que mantiene un volcanismo activo desde el Triásico Tardío a Jurásico Temprano (Dalziel, 1986), cuya génesis es atribuida a la subducción de la placa de Nazca y Antártica (oceánicas) bajo la placa Sudamericana (continental) (DeMets *et al.*, 1994). Este arco se dispone en franjas volcánicas conocidas como Zona Volcánica Norte (ZVN), Central (ZVC), Sur (ZVS) y Austral (ZVA), las cuales se encuentran separadas por segmentos sin volcanismo activo del cordón andino (Stern, 2004).

Según Stern (2004), la ZVS se subdivide en los segmentos Norte (ZVSN, 33 – 34,5°S; Stern *et al.*, 1984; Hildreth y Moorbath, 1988), Transicional (ZVST, 34,5-37°S; Tormey *et al.*, 1991; Dungan *et al.*, 2001), Central (ZVSC, 37-41,5°S; Hickey-Vargas *et al.*, 1984, 1986, 1989; López-Escobar *et al.*, 1995a) y Sur (ZVSS, 41,5 – 46°S; López-Escobar *et al.*, 1993; Naranjo and Stern, 2004). La ZVSC se caracteriza por tener una corteza relativamente delgada (<30 km; Tašárová, 2007), donde los productos volcánicos emitidos por los volcanes compuestos y centros eruptivos menores son predominantemente basaltos toleíticos y andesitas basálticas (Stern, 2004). Sin embargo, en menor ocurrencia se tienen andesitas, dacitas y riolitas (Stern, 2004), como es el caso de la mayoría de los productos volcánicos holocenos pertenecientes al Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco (CVMCh).

### **1.1 Planteamiento del problema**

El CVMCh pertenece a la ZVSC y se sitúa en la Región de Los Ríos (39°55'S/72°02'O), precisamente en el borde oriental de Valdivia y Ranco (Figura 1). Este alberga diversas morfologías volcánicas, como volcanes compuestos y centros eruptivos menores (CEM), junto a otros volcanes externos como el Grupo Fui y volcanes Chanchán. El complejo volcánico consta de una morfología volcánica compuesta conformada por un edificio ancestral (Mocho) y un edificio adyacente (Choshuenco) (Moreno y Lara, 2007).

El Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco ha tenido una actividad eruptiva explosiva

constante durante los últimos 11.000 años (Moreno y Lara, 2007), donde ocurre un evento eruptivo explosivo cada 150 años aproximadamente (Rawson *et al.*, 2015). A lo largo de su historia eruptiva, se han registrado erupciones plinianas, entre ellas: Neltume (10,7 - 9,7 ka; Moreno *et al.*, 1994; Pérez, 2005; Moreno y Clavero, 2006), Pirihueico (8,2 - 6,7 ka; Lara y Moreno, 2004; Pérez, 2005) y Enco (1,7 ka; Echegaray, 2004; Lara y Moreno, 2004; Pérez, 2005). Por otra parte, se tiene el registro histórico de 5 erupciones holocenas correspondientes a las de 1759 y 1777 de carácter explosivo, junto con las de 1822 y 1863 de tipo estromboliano (Petit-Breuilh, 2004). Por último, se tiene la última erupción volcánica confirmada que corresponde a la ocurrida en 1864, la cual fue de tipo subpliniano (Petit-Breuilh, 2004).

La erupción de 1864 se caracterizó por la emisión de productos volcánicos de composición diferenciada, dispuestos principalmente en el flanco NO del volcán (Moreno y Lara, 2007), como también depósitos de escoria dispersados al E, flujos y oleadas piroclásticas, además de lahares (Rawson *et al.*, 2015). El estudio tefroestratigráfico de Rawson *et al.* (2015) describe la unidad MC25 Riñihue como un depósito de escoria, el cual se encuentra principalmente en la superficie del edificio y en ciertos sectores al E. Se reconoce a esta unidad como la más joven del CVMCh, infiriéndose que se habría formado durante la erupción de 1864.

Por otra parte, el trabajo estructural de Peña *et al.* (2021), sugiere de forma aproximada las características del reservorio magmático bajo el CVMCh en base a una caracterización cinemática y dinámica de las estructuras del basamento. Con la caracterización se generó un modelo volcanotectónico 3D, el cual ilustra la influencia de los sistemas de fallas NO con el emplazamiento del reservorio magmático, el cual se encontraría en corteza superior.

Respecto al riesgo volcánico del CVMCh, este se sitúa en el lugar número 7 (de un total de 92 sistemas volcánicos activos en Chile) en el ranking de riesgo específico de volcanes activos en Chile, realizado por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN, 2019). Las localidades más cercanas a este complejo son Puerto Fuy, Neltume, Choshuenco (~11 km al NO del cráter) y Panguipulli (41 km al NO del cráter), donde habitan aproximadamente 400.000 personas en un área de 100 km<sup>2</sup> alrededor del volcán (Rawson *et al.*, 2015). Por lo tanto, considerando la historia eruptiva del volcán y su

explosividad, existe un alto potencial de riesgo volcánico para las comunidades.

Para los depósitos de CEM correspondientes al Grupo Fui (ubicados 8 km al NE del CVMCh), un estudio reciente (Mallea-Lillo et al., 2022), determinó condiciones intensivas propias de un reservorio magmático somero (entre 7,6 – 18,9 km) mediante geotermobarometría y modelos termodinámicos realizados en el *software* Rhyolite-MELTS. Así mismo, existen otros volcanes pertenecientes a la ZVSC que han emitido depósitos volcánicos holocenos de composición más diferenciada, como el Complejo Volcánico Quetrupillán (CVQ), donde Brahm *et al.* (2018) utilizaron una metodología similar al descrito anteriormente para los CEM del Grupo Fui. Los depósitos volcánicos del CVQ muestran evidencias químicas y texturales que sugieren un reservorio magmático con un *mush* cristalino (Brahm *et al.*, 2018), cuyas condiciones de almacenamiento indican que se encuentra ubicado en corteza superior (Brahm *et al.*, 2018).

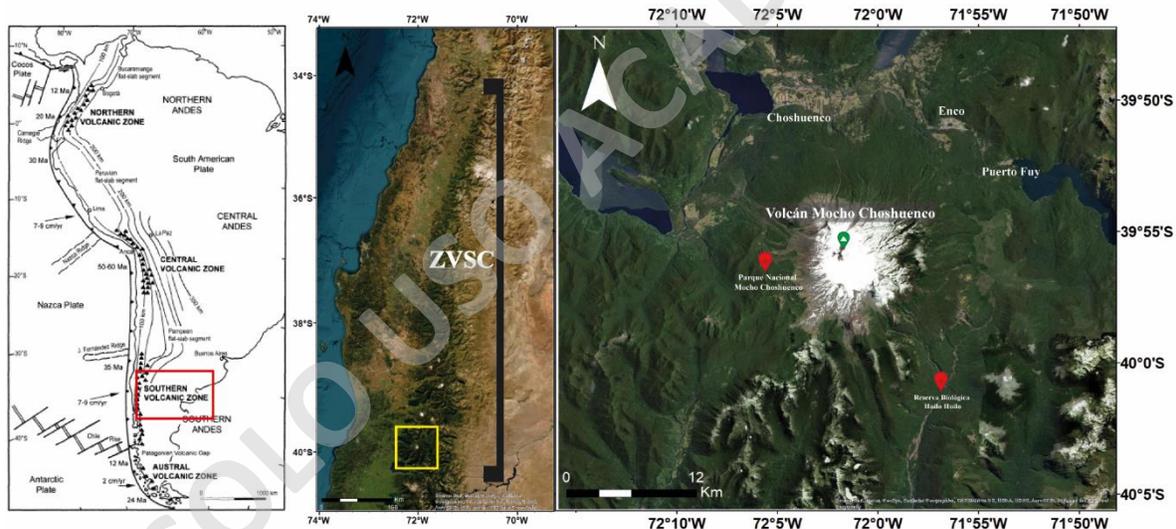


Figura 1. a) Mapa que muestra las zonas volcánicas, señalando la ZVSC (Extraído de Stern, 2004). b) Mapa que señala la ZVSC y en específico el CVMCh. Este fue elaborado con “Imagery” basemap en el software ArcGIS v.10.8. c) Mapa de volcán Mocho-Choshuenco, que señala la colada de lava emitida en 1864, cráteres y ubicación de muestras. Este fue elaborado con “Imagery” basemap en el software ArcGIS v.10.8.

El CVMCh ha sido escasamente estudiado en el ámbito petrológico y geoquímico, por lo que se desconoce el comportamiento y las características de su reservorio magmático, su ubicación espacial, y sus procesos internos. Además, la erupción de 1864 no ha sido objeto de estudio, desconociendo sus condiciones pre-eruptivas y eventos magmáticos que

desencadenaron la erupción. Esto convierte al volcán Mocho-Choshuenco en un lugar interesante de estudiar, donde el aporte de nuevos datos sobre su última erupción a partir de modelación termodinámica permitiría conocer las características de su reservorio magmático.

## **1.2 Hipótesis**

El reservorio magmático situado bajo el Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco se encuentra en corteza media-inferior, donde los productos emitidos durante la erupción de 1864 entregan valores de buffer de fugacidad de oxígeno entre  $\Delta QFM - \Delta QFM+1$ , con una presión desde 3 a 10 kbar, temperaturas de cristalización alrededor de los 900°C y hasta un 3 wt.% de contenido agua disuelta, explicando la alta explosividad de la erupción ocurrida en 1864.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

El objetivo del presente estudio es establecer las condiciones termodinámicas (T, P,  $fO_2$  y contenido disuelto de  $H_2O$ ) pre-eruptivas del reservorio magmático bajo el Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco y sus implicancias en la erupción de 1864.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Determinar la mineralogía, texturas y asociaciones de minerales presentes en el sistema, mediante microscopía óptica y electrónica.
- Determinar la composición química de fases sólidas (vidrio y/o minerales) de materiales volcánicos holocenos asociados a la erupción de 1864, mediante el uso de SEM.
- Realizar modelación termodinámica para reproducir las condiciones de cristalización de fases que se encuentren en equilibrio con una composición química equivalente al fundido magmático.
- Interpretar procesos pre-eruptivos del sistema.
- Comparar los análisis texturales con los resultados obtenidos de la modelación termodinámica.

## **1.4 Ubicación y accesos**

El CVMCh se encuentra en el sector E de la provincia de Valdivia y esta circundado por las

localidades de Panguipulli, Choshuenco, Neltume y Puerto Fuy (Figura 2). El complejo volcánico pertenece a dos reservas nacionales en primer lugar a la Reserva Nacional Mocho-Choshuenco y en el extremo oriental a la Reserva Huilo-Huilo. Su acceso principal es a través de la ruta 203 hasta llegar a Choshuenco. Llegando a este punto, se puede acceder al volcán dirigiéndose hacia la Reserva Nacional Mocho-Choshuenco, o bien, por la carretera entre los pueblos de Puerto Fuy y Neltume, a través de la Reserva Huilo-Huilo. En cualquier caso, se requiere la autorización por parte de las instituciones, para realizar el ingreso o recolectar muestras.

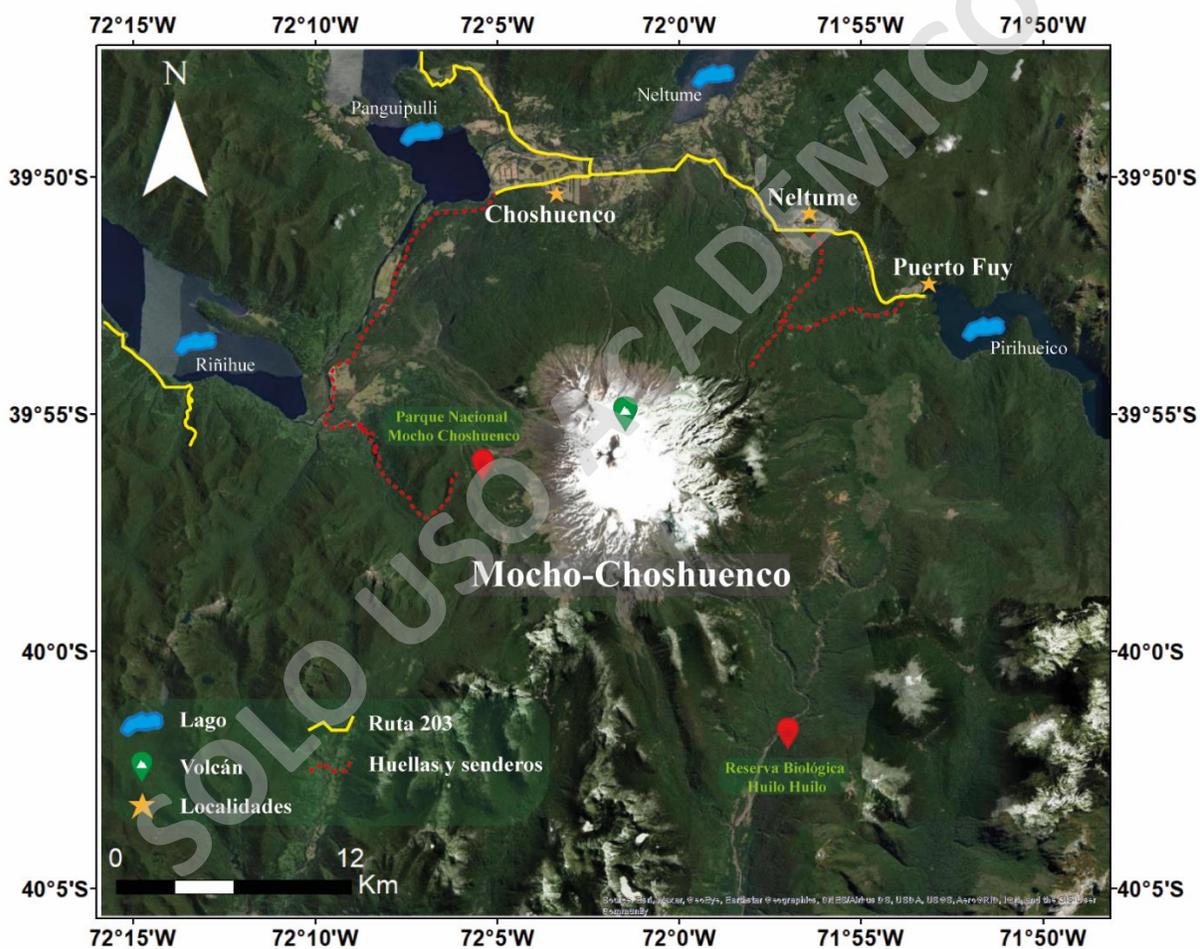


Figura 2: Ubicación y localidades cercanas al Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco. Mapa elaborado con “Imagery” basemap en el software ArcGIS v.10.8.

## 1.5 Metodología

### 1.5.1 Recopilación de antecedentes geológicos

Recopilación bibliográfica de aspectos geológicos del CVMCh, con énfasis en la geología

del sector en estudio, evolución morfoestructural, geoquímica, condiciones pre-eruptivas y registro eruptivo histórico.

### **1.5.2 Preparación de muestras**

Las muestras proporcionadas por la Escuela de Geología de la Universidad Mayor conforman un total de 5 cortes transparente-pulidos donados por Francisca Mallea Lillo. De ellos, se escogieron 2 cortes transparentes (1864-2 y 1864-4), los cuales fueron metalizados con carbono (~24nm y ~32nm) en el laboratorio de SERNAGEOMIN.

### **1.5.3 Métodos analíticos**

Los cortes transparentes fueron descritos petrográficamente en un microscopio óptico (Nikon Eclipse E200) en la Escuela de Geología de la Universidad Mayor. Además, estos fueron escaneados y las imágenes resultantes fueron trabajadas en el *freeware* JMicroVision, cuantificando el contenido de cristales, vesículas y masa fundamental de las muestras con conteo modal en una base de 500 puntos al azar para cada corte (Tabla 1).

Por otra parte, mediante el uso del microscopio electrónico de barrido (SEM) modelo ZEISS de la Universidad Tecnológica Metropolitana (UTEM), se realizó un análisis químico semicuantitativo de cristales de plagioclasa, clinopiroxeno, ortopiroxeno y óxidos de Fe-Ti correspondientes a una muestra representativa (1864-2). Finalmente, la química de roca total de esa muestra fue modelada en el *freeware* rhyolite-MELTS.

## **2. Marco Teórico**

### **2.1 Microscopio Electrónico de Barrido**

Es un instrumento analítico que se caracteriza por tener la posibilidad de observar muestras íntegras sólidas en dos dimensiones, siendo imprescindible para distintas ramas de la ciencia, ya sea para el estudio de materiales orgánicos o inorgánicos (Renau-Piqueras y Faura, 1994). El funcionamiento de este microscopio consta del bombardeo con un haz de electrones en la superficie de la muestra que se desee estudiar, cuya interacción genera electrones retrodispersados los cuales, al ser captados por detectores, son incididos en un “scintillator” donde los electrones darán origen a fotones (Figura 3) (Renau-Piqueras y Faura, 1994). Para ellos las muestras deben estar completamente pulidas, de lo contrario se obtendrán

alteraciones.

Los electrones retrodispersados poseen un ángulo de deflexión mayor a  $90^\circ$  y mayor energía que los electrones secundarios. El volumen que excitan del espécimen sólido depende de la masa por lo que permiten obtener imágenes que representan las diferencias de densidad en una muestra (Zhou *et al.*, 2006). A diferencia de los electrones retrodispersados, los del tipo secundarios poseen menor energía, por lo que logran penetrar la superficie de la muestra tan solo unos nanómetros, siendo útil para la observación de la morfología de la especie en estudio (Zhou *et al.*, 2006).

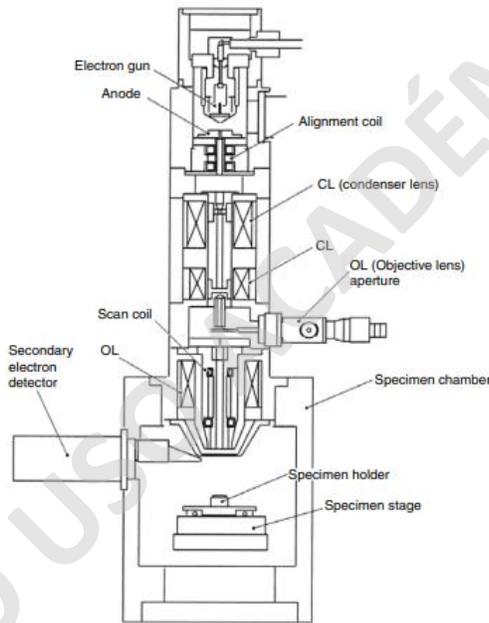


Figura 3. Esquema de las partes que conforman un microscopio electrónico de barrido (SEM) (Extraído de Zhou *et al.*, 2006).

## 2.2 Modelación termodinámica mediante software rhyolite-MELTS

La modelación termodinámica es una herramienta que permite calcular los parámetros termodinámicos en sistemas magmáticos y de esta forma comprender de manera gráfica el comportamiento de fluidos bajo la corteza terrestre. MELTS (Ghiorso y Sack, 1995) es un *software* para cálculos termodinámicos en sistemas magmáticos, que permite modelar fundidos polibásicos hidratados, a diferencia de otros softwares que solo modelan en condiciones anhidras. Además, la base de datos que MELTS utiliza para calibrar se encuentra

calibrada para estudios a presión atmosférica, haciendo que sea más adecuado para investigaciones de procesos en reservorios magmáticos, como la cristalización fraccionada o cristalización en equilibrio (Smith y Asimow, 2005).

Las propiedades de fundidos silicatados se calibran con una amplia variedad de componentes en el sistema, tales como:  $\text{SiO}_2$ - $\text{TiO}_2$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ - $\text{Cr}_2\text{O}_3$ - $\text{FeO}$ - $\text{MnO}$ - $\text{MgO}$ - $\text{NiO}$ - $\text{CoO}$ - $\text{CaO}$ - $\text{Na}_2\text{O}$ - $\text{K}_2\text{O}$ - $\text{P}_2\text{O}_5$ - $\text{H}_2\text{O}$ , sumado a rangos de presión de hasta 3 GPa (Ghiorso y Sack, 1995). Una de las características destacadas de MELTS es su versatilidad, ya que puede simular reacciones en equilibrio bajo condiciones hidratadas, tomando el  $\text{H}_2\text{O}$  como un óxido el cual puede trabajarse como parte del fundido, vapor exsuelto o formando parte de la estructura de minerales hidratados (incluyendo anfíboles y micas) (Smith y Asimow, 2005).

La calibración para sistemas magmáticos ricos en sílice es Rhyolite-MELTS (Gualda *et al.*, 2012), donde se corrige la superficie de saturación, temperatura, presión y espacio para cuarzo y feldespatos alcalinos. Además, se diferencia de MELTS solo en la estabilidad del cuarzo y sanidina.

### **3. Marco Geológico**

#### **3.1 Zona Volcánica Sur**

La configuración tectónica en la zona de estudio comprende parte de la ZVS, la cual se caracteriza por una convergencia levemente dextral oblicua entre las placas de Nazca (oceánica) y Sudamericana (continental), con una tasa de convergencia entre los 7-9 cm/año (Cembrano y Lara, 2009), la cual ha sido constante durante los últimos 20 Ma y con una tendencia promedio NNE-SSW (*e.g.* Pardo-Casas y Molnar, 1987; Somoza, 1998; Angermann *et al.*, 1999). Sumado a esto, el espesor cortical entre los 33°- 46°S (ZVS) varía desde 50 km en el sector septentrional a 35 km en el extremo sur (Tassara y Yañez, 2003). Además, según el modelamiento de densidad 3D de la corteza continental realizado por Tašárová (2007), el espesor cortical a los 39°S varía en un rango de 40-45 km.

Al menos 60 volcanes activos forman parte de la ZVS, la cual se subdivide en 4 segmentos que corresponden a: Norte (ZVSN), Transicional (ZVST), Centro (ZVSC) y Sur (ZVSS) (Stern, 2004). El área de estudio se encuentra en la ZVSC, que se caracteriza por tener un

espesor cortical ~30 km y con rocas de composición basáltica-andesítica (Stern, 2004), a excepción de ciertos depósitos del CVMCh, CVQ, volcán Lanín y el volcán Puyehue-Cordón Caulle (Lara *et al.*, 2004; Jay *et al.*, 2014; Brahm *et al.*, 2018).

### **3.2 Estructuras regionales: Zona de Falla Liquiñe-Ofqui (ZFLO)**

Respecto al dominio estructural de la zona, existe una estructura regional conocida como la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui (ZFLO), que corresponde a un sistema de fallas tipo rumbo dextral (Hervé, 1976; Cembrano *et al.*, 1996) orientado en dirección NNE-SSW con una extensión de ~1.200 km abarcando el segmento intra-arco dentro de la ZVS entre los 38° a 46°S (Cembrano y Lara, 2009). Estas estructuras son conocidas como fallas de intra-arco, correspondientes a zonas de cizalle dentro de la corteza continental, cuya génesis se encuentra asociada al adelgazamiento cortical producto del calentamiento proveniente del arco (Lavenu *et al.*, 1999).

El ascenso y estancamiento magmático son procesos que tienen variadas interpretaciones desde el punto de vista petrológico y geoquímico. No obstante, la influencia de la tectónica en estos procesos ha sido un enigma a lo largo de los años. Lavenu y Cembrano (1999) sugieren una vinculación entre la generación de volcanismo y la presencia de estructuras regionales, determinando que la distribución de edificios volcánicos presentes en un arco magmático estaría asociada de forma directa con regímenes de esfuerzos, cuyo control proviene de la convergencia entre placas.

La disposición del CVMCh se ve influenciada por la existencia de la ZFLO, pues el volcán compuesto se encuentra alineado a estructuras de tendencia ONO (Figura 4), caso contrario de los centros eruptivos menores, cuya distribución se relaciona con la traza principal del sistema (de orientación NE). Además, existen otros volcanes asociados a este sistema de fallas o cercanos a este, como el volcán Hornopirén, CEM pertenecientes al Grupo Fui, Puyuhuapi, entre otros (Cembrano y Moreno, 1994; López-Escobar *et al.* 1995; Lavenu y Cembrano, 1999; Cembrano y Lara, 2009).

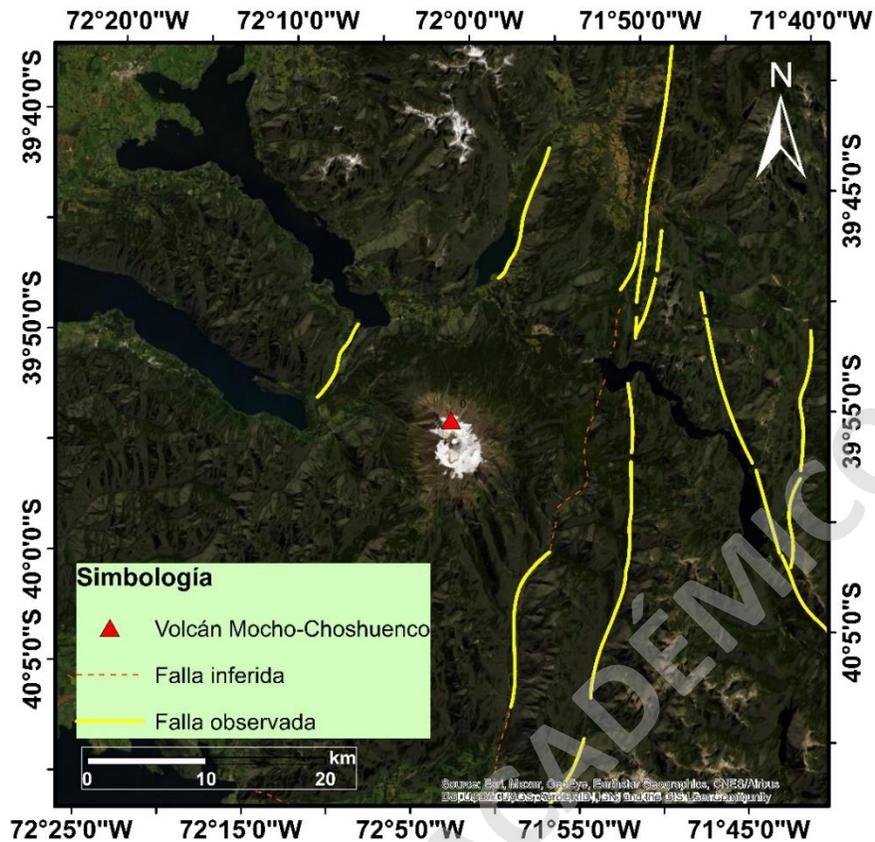


Figura 4: Lineamientos pertenecientes a la ZFLO que se ubican en el CVMCh. Mapa elaborado con “Imagery” basemap en el software ArcGIS v-10.8.

### 3.3 Geología Regional

La geología en la cual se emplaza el CVMCh está conformada por un conjunto diverso de rocas, las cuales reflejan la evolución geológica del lugar. A continuación, se presenta un resumen de las unidades litológicas del área de estudio (Figura 5), basada en el trabajo realizado por Moreno y Lara (2007).

#### 3.3.1 Unidades metamórficas

##### *Complejo Metamórfico Trafún (Devónico-Carbonífero)*

Unidad aflorante en el sector occidental y suroccidental cuyos afloramientos se encuentran cercanos al lago Riñihue. Este complejo está constituido por metareniscas, cuarcitas, pizarras y filitas verdosas, asignadas según González-Bonorino (1970) a las Zonas I y II de la Serie Curepto y, además forman parte de la Serie Oriental del Basamento Metamórfico de la Costa

de Chile central-sur (Aguirre *et al.*, 1972). La edad máxima datada en circones en meta conglomerados es de ca. 383 Ma. Por el contrario, la edad mínima se encuentra restringida por el Batolito Futrono-Riñihue a ca. 300 Ma intruyendo a esta unidad (Campos *et al.*, 1998).

### **3.3.2 Unidades estratificadas**

#### ***Formación Panguipulli (Triásico Superior)***

Secuencia rítmica reconocida en el sector noroccidental del área de estudio, principalmente en las riberas del lago Calafquén y Panguipulli y en el extremo suroriental del lago Riñihue (*emend.* Aguirre y Levi, 1964; Rodríguez *et al.*, 1999). Se trata de una sucesión fuertemente plegada de areniscas, lutitas, conglomerados cuarcíferos y cuarcitas. Según Herbst *et al.* (2005), la flora fósil reunida en esta unidad dataría al Carniense-Noriense.

#### ***Estratos de lago Ranco (Oligoceno-Mioceno)***

Unidad que aflora en el sector sur y suroccidental del área de estudio, distinguida por ser una sucesión volcanosedimentaria plegada compuesta por tobas, conglomerados, brechas volcánicas, lavas andesitas porfídicas y tufitas de tonalidades grisáceas verdosas (Campos *et al.*, 1998). Fuera del área en estudio se encontraron edades de ca. 13 Ma (K-Ar en roca total) según García *et al.* (1988) en rocas hipabisales y volcánicas que conforman la secuencia. Sin embargo, Campos *et al.* (1998) reporta una edad de ca. 20 Ma, sin el descarte que se puedan encontrar edades oligocenas en la base.

#### ***Secuencias volcánicas indiferenciadas (Pleistoceno Inferior a Medio)***

Se encuentra conformada por remanentes de antiguos estratovolcanes intensamente desgastados por erosión glacial (Lara y Moreno, 2004). Esta secuencia consta principalmente de lavas andesítico-basálticas de olivino y clinopiroxeno, escasas andesitas, dacitas con algunas intercalaciones de brechas y conglomerados volcánicos. Esta unidad aflora en el extremo nororiental de la zona de estudio y se encuentra cubierta parcialmente por los depósitos volcánicos de los centros eruptivos Fui y Chanchán (Lara y Moreno, 2004). Respecto a las edades, estas fueron determinadas en una lava del sector suroccidental que arrojó un valor K-Ar menor a 1 Ma (Campos *et al.*, 1998) que sostiene su asignación al

Pleistoceno Inferior a Medio. Además, en áreas vecinas y hacia el este del sector estudiado se determinaron edades menores a 1,5 Ma en K-Ar (Lara *et al.*, 2001; Lara y Moreno, 2004) y 0,6-0,7 Ma en  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  masa fundamental, para secuencia volcánicas semejantes que se encuentran en la zona fronteriza a similar latitud (Lara y Folguera, 2006).

### **3.3.3 Intrusivos**

#### ***Batolito Futrono-Riñihue (Carbonífero Superior-Pérmico Inferior)***

Unidad plutónica que aflora en el sector O del CVMC al oeste del río Enco y se compone por granitos, tonalitas de biotita y hornblenda de carácter metaluminoso y peraluminoso y granodioritas. Fuera del área de estudio, Munizaga *et al.* (1988), Beck *et al.* (1991), Campos *et al.* (1998) y Rodríguez *et al.* (1999) reportaron edades de K-Ar y  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  de ca. 282-307 Ma. También, edades U-Pb (circones) de cristalización de esta unidad definen un intervalo concordante entre ca. 282-304 Ma (Campos *et al.*, 1998).

#### ***Plutón Panguipulli (Jurásico)***

Unidad plutónica que forma una franja NO-SE entre los lagos Panguipulli, Riñihue y Pirihueico (Lara y Moreno, 2004). Está conformado principalmente por tonalitas de hornblenda y biotita, granodioritas y granitos (Moreno y Lara, 2007). Se han reportado edades de enfriamiento de K-Ar y  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  entre 142-184 Ma para esta unidad según Munizaga *et al.* (1988), Rodríguez *et al.* (1999) y Lara y Moreno *et al.* (2004). Además, Rodríguez *et al.* (1999) asigna una edad de ca. 176 Ma (U-Pb en circones).

#### ***Plutón Choshuenco (Cretácico Inferior)***

Cuerpo intrusivo localizado al sur y este de la localidad de Choshuenco, constituido principalmente por dioritas y tonalitas de hornblenda (Rodríguez *et al.*, 1999). Las edades de enfriamiento extraídas de una diorita cuarcífera al sur de la localidad de Choshuenco, fueron de ca. 142 Ma (K-Ar en biotita) y ca. 134 Ma ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  plateau en biotita) (Rodríguez *et al.*, 1999). Por el contrario, al norte del río Llanquihue una edad K-Ar en anfíbola de una tonalita, arrojó un valor de  $74\pm 8$  Ma, interpretada como mínima debido a su proximidad con el cuerpo porfídico del Mioceno Superior.

### ***Granitoides miocenos (Mioceno)***

Conjunto de cuerpos intrusivos que poseen una distribución en franjas longitudinales de orientación NNE y restringidas por la traza principal de la ZFLO o algunas estructuras subsidiarias a ella (Campos *et al.*, 1998; Rodríguez *et al.*, 1999; Lara y Moreno, 2004). Esta unidad se constituye de granitos, granodioritas a dioritas, tonalitas de biotita y hornblenda, además de cuerpos hipabisales andesítico dacíticos subordinados., Estos granitoides tienen un rango de edad asignada entre 5 y 18 Ma (Lara y Moreno, 2004; Munizaga *et al.*, 1988; Campos *et al.*, 1998).

### ***Pórfidos Miocenos (Mioceno)***

Intrusivos porfíricos que afloran principalmente en el extremo norte del sector en estudio, al oeste del lago Neltume (Rodríguez *et al.*, 1999; Lara y Moreno, 2004). Corresponden a cuerpos de tipo stock con diques asociados de composición andesítica a dacítica, siendo algunos de estos datados en 9 Ma en K-Ar en roca total según Rodríguez *et al.* (1999).

### **3.3.4 Depósitos sedimentarios**

Los procesos erosivos junto con eventos de glaciación ocurridos en la zona, dieron cabida a la formación de los depósitos sedimentarios actuales en el CVMCh (Moreno y Lara, 2007).

#### ***Depósitos glaciales, glaciofluviales y deltaicos (Pleistoceno Superior)***

En primer lugar, se tienen los depósitos glaciales y glaciofluviales los cuales se componen de morrenas y abanicos fluvio-glaciales conformados por diamictos de bolones, arena y limo, en conjunto con bancos de arenas y gravas moderadamente consolidadas (Moreno y Lara, 2007), cuya génesis se debe a los avances y retrocesos del hielo durante la Glaciación Llanquihue, acotando el primer máximo glacial a 110-14 ka (Clapperton, 1993; Clayton *et al.*, 1997) y el último máximo glacial a 32-14 ka (Lowell *et al.*, 1995).

#### ***Depósitos Fluviales Antiguos (Pleistoceno Superior – Holoceno)***

Por otra parte, los depósitos fluviales antiguos (Pleistoceno Superior-Holoceno) se componen de bancos de arenas y gravas con intercalaciones de limos y arcillas, como remanentes de

terrazas antiguas superiores al nivel actual del lago Panguipulli. En su mayoría se encuentran intercalados con depósitos lacustres (Moreno y Lara, 2007).

#### ***Depósitos glaciales recientes (Holoceno)***

En cuanto a los depósitos glaciales relacionados al CVMC, estos se conforman de diamictos de bolones volcánicos inmersos en una matriz gravo-arenosa dando lugar a morrenas frontales, laterales y de fondo, que se encuentran en la parte alta del edificio volcánico (Moreno y Lara, 2007).

#### ***Depósitos de remoción en masa y coluviales (Holoceno)***

Se caracterizan por tener mala selección, con fragmentos angulosos tamaño grava, con o sin matriz de arena y arcilla-limo, con morfologías de conos o lóbulos con pendientes superiores a 20° (Moreno y Lara, 2007). Estos fueron generados por flujo de detritos, coluviales y de deslizamiento de roca, donde estos últimos se originaron por colapso gravitacional de taludes en condiciones inestables, mientras que los flujos de detritos, se habrían gatillado principalmente por lluvias torrenciales (Moreno y Lara, 2007).

#### ***Depósitos deltaicos y de playas lacustres actuales (Holoceno tardío)***

Los depósitos deltaicos se disponen predominantemente en la desemboradura del río Llanquihue en el lago Panguipulli y en el sector de la entrada del río Enco en el lago Riñihue, están conformados por gravas medias e intercalaciones de arenas (Moreno y Lara, 2007). Por otro lado, los depósitos de playas lacustres se ubican en el sector NO del lago Piriñueico y en el litoral del lago Panguipulli, los cuales se componen de sedimentos finos tamaño arena media a fina bien seleccionados y en su mayoría de origen volcánico (Moreno y Lara, 2007).

#### ***Depósitos fluviales actuales (Holoceno tardío)***

Corresponden a los cauces de los ríos Blanco-Pillanleufú, Fui, Neltume, Llanquihue y Enco. Los depósitos clásticos se encuentran bien seleccionados y se conforman de gravas con intercalaciones de arenas, dispuestos en niveles de espesor variable (desde cm a m) (Moreno y Lara, 2007).

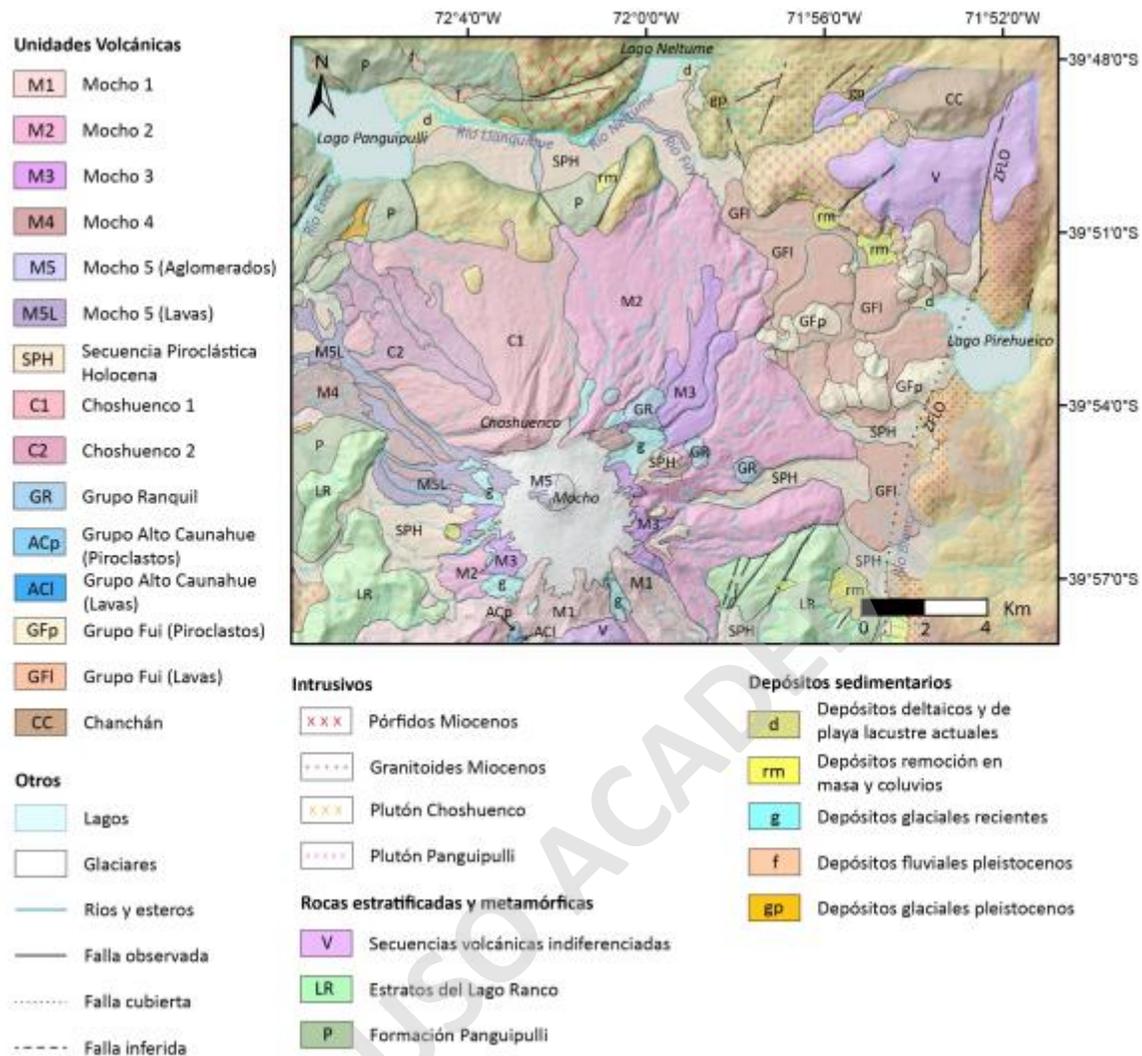


Figura 5. Mapa geológico simplificado de CVMCh (Extraído de Mallea-Lillo, 2021 y modificado de Moreno y Lara, 2007).

### 3.4 Marco geológico volcánico

El estudio tefroestratigráfico de Rawson *et al.* (2015) establece que el volcán Mocho-Choshuenco ha generado más de treinta y cuatro erupciones explosivas y alrededor de cuarenta erupciones efusivas, las que generaron CEM durante los últimos 18 ka, convirtiéndolo en el centro volcánico con el mayor número de erupciones explosivas post-glaciales de la ZVS. Las unidades volcánicas del CVMCh, fueron clasificadas por Moreno y Lara (2007) en ocho unidades, según su edad y procedencia, donde cinco pertenecen al cono de escoria (volcán Mocho), dos corresponden al volcán Choshuenco, más una sucesión

piroclástica que se superpone a las unidades descritas. A continuación, se presentan cada uno de los niveles volcánicos mencionados anteriormente (resumen de Moreno y Lara, 2007), junto con centros eruptivos adventicios y otros volcanes pertenecientes al área.

### **3.4.1 Volcán compuesto Mocho-Choshuenco**

#### ***Unidad Mocho 1 (Pleistoceno Medio)***

Corresponde a una sucesión de conglomerados volcánicos, lavas y tobas, con un leve manteo hacia el SO y SE, la cual aflora principalmente en la sección sur del complejo volcánico. Sus composiciones principales varían de andesitas basálticas a andesitas (52-59 wt.% SiO<sub>2</sub>; Moreno y Lara, 2007). Además, en algunos sectores, se presentan diques andesítico basálticos y dacíticos (55-65 wt.% SiO<sub>2</sub>), los cuales cortan la secuencia principal e indican una edad de 86±17 ka (Moreno y Lara, 2007). Por otro lado, las dataciones <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar en lavas arrojaron edades de 350±20 ka, 220±78 ka y 202±54 ka, determinándose para esta unidad la época correspondiente al Pleistoceno Medio (Moreno y Lara, 2007).

#### ***Unidad Mocho 2 (Pleistoceno Medio-Superior)***

Sucesión de lavas, brechas, tobas y conglomerados volcánicos con inyecciones filoneanas y lacolíticas, conformando predominante a la etapa pre-caldera del edificio volcánico y cuya exposición se restringe principalmente a los flancos E y NE del CVMCh (Moreno y Lara, 2007). Los productos volcánicos pertenecientes a esta unidad tienen composiciones andesitas basálticas a dacitas (52-68 wt.% SiO<sub>2</sub>; Moreno y Lara, 2007). Mediante el método <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar se obtuvieron edades de 130±30 ka en lavas cercanas al techo de la secuencia (Moreno y Lara, 2007). Se desconoce la edad máxima para la unidad, aun así, esta puede acotarse ~200 ka, correspondiente a la edad mínima para la Unidad Mocho I (Moreno y Lara, 2007).

#### ***Unidad Mocho 3 (Pleistoceno Superior)***

Conjunto de lavas presentes principalmente en la periferia de la caldera, específicamente en el sector O y en algunos sectores del flanco E (Moreno y Lara, 2007). Sus composiciones son andesíticas y dacíticas (56-66 wt.% SiO<sub>2</sub>; Moreno y Lara, 2007). No se determinó una edad máxima, sin embargo, con las edades mínimas de las unidades precedentes, es restringida a la etapa intra-glacial (Moreno y Lara, 2007). Dado esto, una dacita del flanco oriental fue

datada en  $60 \pm 20$  ka, mediante el método de  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  “plateau” en masa fundamental (Moreno y Lara, 2007). Luego de esta unidad, el edificio ancestral sufrió un colapso dando génesis a la caldera, durante la última glaciación ( $> ca$  14 ka; Moreno y Lara, 2007).

#### ***Unidad Mocho 4 (Holoceno)***

Conjunto de lavas expuestas principalmente en el sector occidental y en algunos lugares del flanco E del edificio (Moreno y Lara, 2007). Constituye parte de la secuencia de coladas post-caldera emitidas desde el interior de la caldera y mediante fisuras presentes en los flancos (Moreno y Lara, 2007). Junto con lo anterior, esta unidad representa la primera etapa de construcción del cono holoceno (Moreno y Lara, 2007). Posee composiciones desde andesítico basálticas a dacíticas (52-67 wt.%  $\text{SiO}_2$ ) y su edad es de  $<ca.$  11 ka, determinada a través de relaciones estratigráficas y un análisis de eventos simultáneos con la Secuencia Piroclástica Holocena (Echegaray, 2004; Pérez, 2005).

#### ***Unidad Mocho 5 (Holoceno Tardío e Histórico)***

Corresponde a un conjunto de lavas, aglomerados volcánicos, depósitos laháricos asociados, los cuales representan las emisiones más recientes del CVMCh y construye el cono central Mocho (Moreno y Lara, 2007). Las composiciones de sus depósitos son desde andesíticas a dacíticas (57-65 wt.%  $\text{SiO}_2$ ; Moreno y Lara, 2007). La unidad se restringe a una edad  $<ca.$  1.7 ka, pues la edad máxima se infiere a partir de la ausencia de depósitos de la Ignimbrita Enco (perteneciente a la Secuencia Piroclástica Holocena) sobre las coladas holocenas (Moreno y Lara, 2007).

#### ***Secuencia Piroclástica (Holoceno)***

Sucesión estratificada que comprende los depósitos piroclásticos de flujo, caída y oleadas, como efecto de erupciones explosivas holocenas que en conjunto conforman  $\sim 11.000$  años de actividad eruptiva post-glacial (Moreno y Lara, 2007). La unidad se expone ampliamente sobre los flancos del CVMCh y hacia E, aflora sobre rocas del basamento. Existen ciertos depósitos dentro de esta secuencia que son relevantes como las Ignimbritas Neltume (edad entre 10.7-9.7 ka; volumen de 2.5-2.9  $\text{km}^3$ ), Pirihueico (edad entre 8.2-6.7 ka; volumen  $\sim 1 \text{ km}^3$ ) y por último, Enco (edad de 1.7 ka).

### ***Unidad Choshuenco 1 (Pleistoceno Medio)***

Esta secuencia forma parte de la secuencia pre-caldera del complejo volcánico y se conforma principalmente por lavas de composición andesítico basálticas a andesitas (52-59% SiO<sub>2</sub>) constituyendo el edificio principal del volcán Choshuenco. Este edificio se encuentra intensamente intruido por diques subverticales y algunos de disposición radial. Se dataron lavas de base y techo, datando la primera en 200±60 ka mediante <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar. En cambio, la lava cercana al techo arrojó una edad de 170±70 ka mediante el mismo método.

### ***Unidad Choshuenco 2 (Pleistoceno Superior)***

Conjunto de lavas emitidas por dos centros eruptivos presentes en el flanco NO del volcán Choshuenco. Las lavas poseen composiciones andesíticas y dacíticas (59-66% SiO<sub>2</sub>). Se obtuvieron dos edades utilizando el método <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar en la sección distal de las coladas del flanco NO, datando 53±30 ka y 46±20 ka lo cual indica que esta unidad podría correlacionarse al techo de la Unidad Mocho 3. No obstante, existe la posibilidad de que se hayan reactivado los centros emisores de los flancos luego de la formación de la caldera en el periodo Tardiglacial.

#### **3.4.1.1 Centros volcánicos adventicios**

Alrededor del CVMCh específicamente en los flancos E y SE se distribuyen ~18 centros volcánicos adventicios, los cuales conforman dos grupos: Grupo Alto Caunahue y Grupo Ranquil. En primer lugar, el Grupo Alto Caunahue se conforma de 13 conos de piroclastos y lavas asociadas, dispuestos en dos subgrupos que consisten en 8 y 5 CEM, ubicados en el flanco SO del volcán Mocho. Sus productos tienen composiciones andesíticas (55-58% SiO<sub>2</sub>).

Por otra parte, el Grupo Ranquil se conforma de un conjunto de 4 conos de piroclastos post-glaciales, localizados sobre el flanco NE del volcán Mocho, en una distribución espacial de dirección NO-SE. Los productos eruptivos consisten en andesitas de olivino y piroxeno (55-58% SiO<sub>2</sub>).

### **3.4.2 Otros volcanes del área**

#### ***Grupo Fui (Pleistoceno Superior Tardío-Holoceno)***

Corresponde a un conjunto de conos piroclásticos post-glaciales, conformado por 20 CEM, los cuales se disponen al pie NE del complejo volcánico. El grupo se encuentra dispuesto en tres cadenas menores, las cuales conforman alineamientos de dirección NE-SO y NNE-SO, adyacentes al O de la ZFLO. Los productos volcánicos del Grupo Fui poseen composiciones desde basálticas a dacíticas (50-64 wt.% SiO<sub>2</sub>). Este grupo se subdivide en dos subgrupos debido a sus variaciones composicionales, siendo uno de estos Fui Norte y Fui Sur, respectivamente. A Fui Norte se le asignó una edad promedio de 1700 AP, mientras que Fui Sur tiene un rango de edad desde 1100 a 5780 AP, en base a dataciones con el método de <sup>14</sup>C de Echeragay (2004), Pérez (2005) y Moreno y Lara (2007).

#### ***Volcanes Chanchán (Pleistoceno Superior Tardío-Holoceno)***

Conjunto de conos y centros emisores post-glaciales localizados 16 km al NO del CVMCh y que constituyen una cadena de dirección NE-SO. Sus alturas máximas no superan los 600 m y tienen base hasta de 3 km de diámetro. Sus productos volcánicos corresponden principalmente a basaltos de olivino y clinopiroxeno (48-50% SiO<sub>2</sub>), siendo los más primitivos de la zona (Moreno y Lara, 2007; Rawson *et al.*, 2016b).

### **3.4.3 Erupción subpliniana de 1864**

El CVMCh tuvo su último evento eruptivo en 1864 reconocido por ser de carácter explosivo, cuyos depósitos volcánicos se basan en un conjunto de lavas de tipo “aa” y bloques de composición andesítica a dacítica, emitidas desde el volcán Mocho o desde centros emisores de flanco. En la ladera NO del volcán, se reconoce una lava dacítica de bloques con una extensión de 4 km y un espesor medio de 30 m, la cual fue emitida desde un centro eruptivo lateral. Además, existen depósitos laháricos mal seleccionados que rellenan el valle del río Enco, cuyo origen se dio en la erupción de 1864 (Moreno y Lara, 2007). Por otra parte, existen testimonios que describen flujos piroclásticos como arroyos de fuego que corrían por las quebradas del volcán, los cuales se asocian a la erupción más reciente (Vidal Gormaz, 1869; Petit-Breuilh, 2004). Si bien no hay registro de actividad explosiva o efusiva hace más

de 100 años, Rawson *et al.* (2015) mediante una investigación tefroestratigráfica, proponen que el complejo posee una frecuencia eruptiva explosiva de ~150 años. En cuanto a la petrología y geoquímica, recientemente en el trabajo realizado por Mallea-Lillo *et al.* (2022), se realizó una comparación del análisis geoquímico entre los datos del Grupo Fui, en contraste con bombas y lavas de la erupción de 1864.

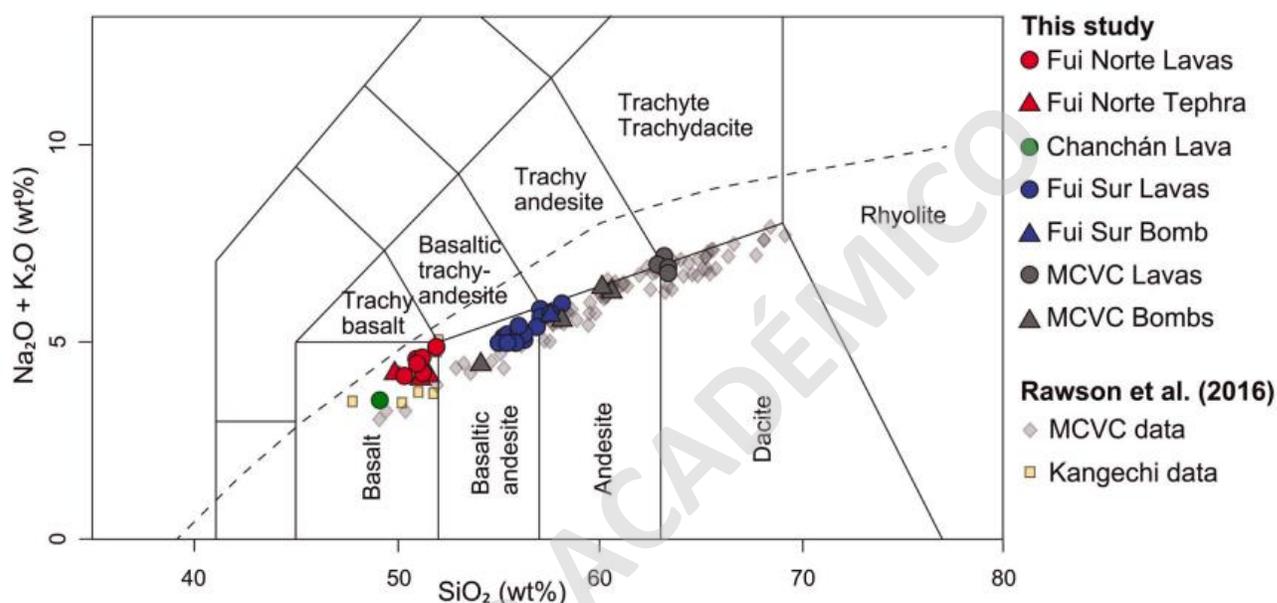


Figura 6. Diagrama Total Alkalis vs Sílice (TAS) de muestras analizadas para el Grupo Fui y CVMCh, y datos obtenidos de Rawson *et al.* (2016) (Extraído de Mallea-Lillo *et al.*, 2022).

A través del diagrama TAS (Figura 7) se obtuvo que las muestras del CVMCh alcanzan composiciones desde andesita-basálticas a dacíticas (53.52–63.03 wt.% SiO<sub>2</sub>). Además, las tendencias composicionales para elementos mayores y traza del CVMCh y Fui Sur son similares, a diferencia del Fui Norte que muestra una tendencia diferente.

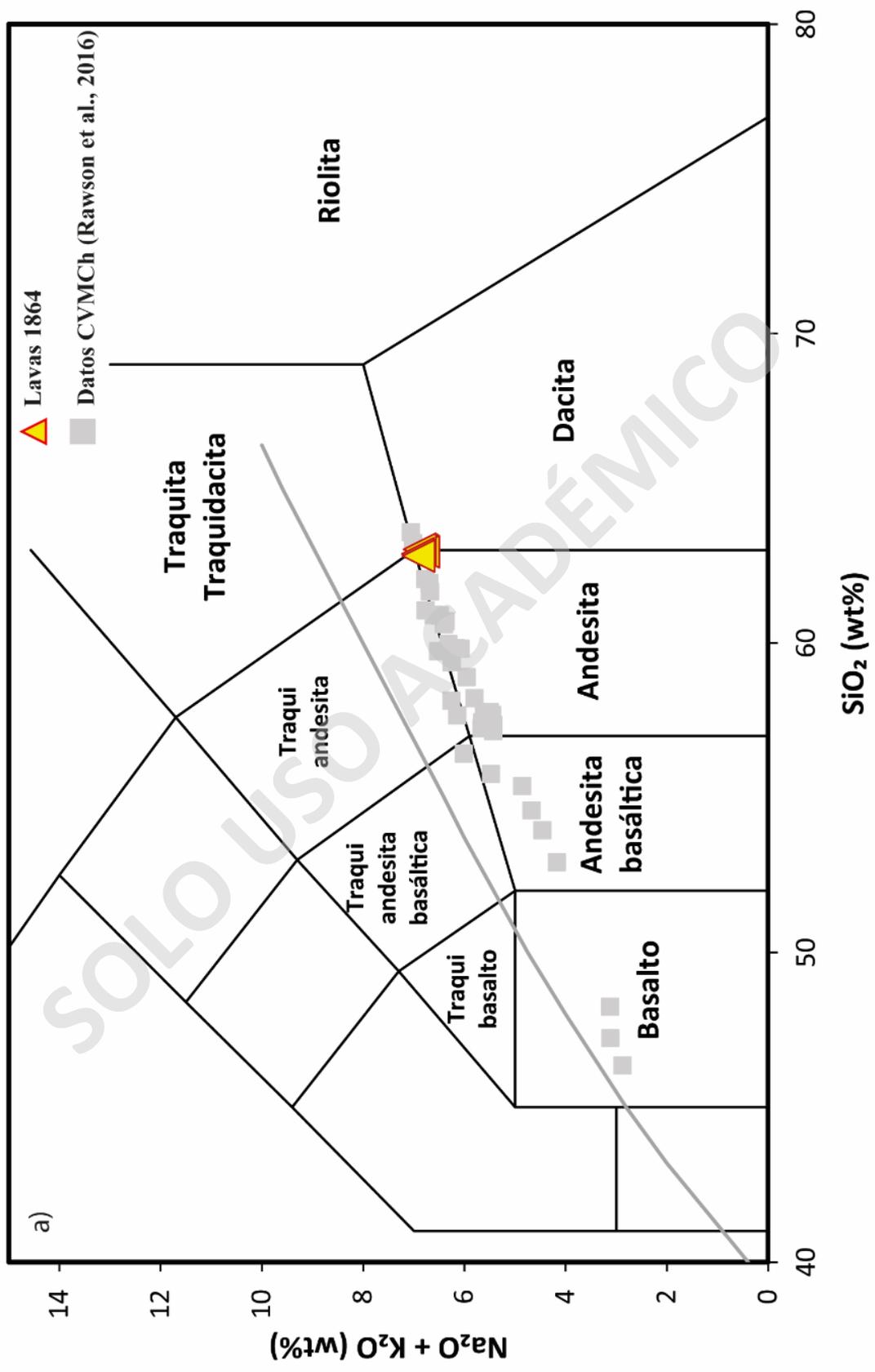
Respecto a los diagramas spidergram, las muestras del CVMCh presentan anomalías de Nb-Ta, Ti y Zr, lo cual refleja una signatura calcoalcalina típica de magmas en ambientes de subducción (Mallea-Lillo *et al.*, 2022).

## 4. Resultados

### 4.1 Composición de productos volcánicos

De acuerdo al diagrama TAS Le Bas et al. (1986), las 5 muestras estudiadas presentan composiciones dacíticas (62.81 – 63.03 wt.% SiO<sub>2</sub>) (Figura 7a). Respecto a los elementos mayores, los diagramas de Na<sub>2</sub>O (wt.%) y K<sub>2</sub>O (wt.%) (Figura 7b y c; Rawson et al., 2016a) presentan una correlación positiva respecto al SiO<sub>2</sub> (wt.%), mientras que en los diagramas de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (wt.%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (wt.%) y TiO<sub>2</sub> (wt.%) respecto al SiO<sub>2</sub> (wt.%) existe una correlación negativa (Figura 7f, g e i). La geoquímica de roca total se encuentra en el anexo A.2.

Todas las muestras presentan anomalías negativas de Nb-Ta y Ti en el diagrama de multielementos (Figura 8a), además de un enriquecimiento en tierras raras livianas (siglas en inglés LREE) con signatura calcoalcalina de ambientes de subducción. Por otro lado, en el diagrama de patrón de REE solo se identifica una anomalía negativa de Eu, además de una concentración normalizada relativamente constante de las tierras raras pesadas (Figura 8b).



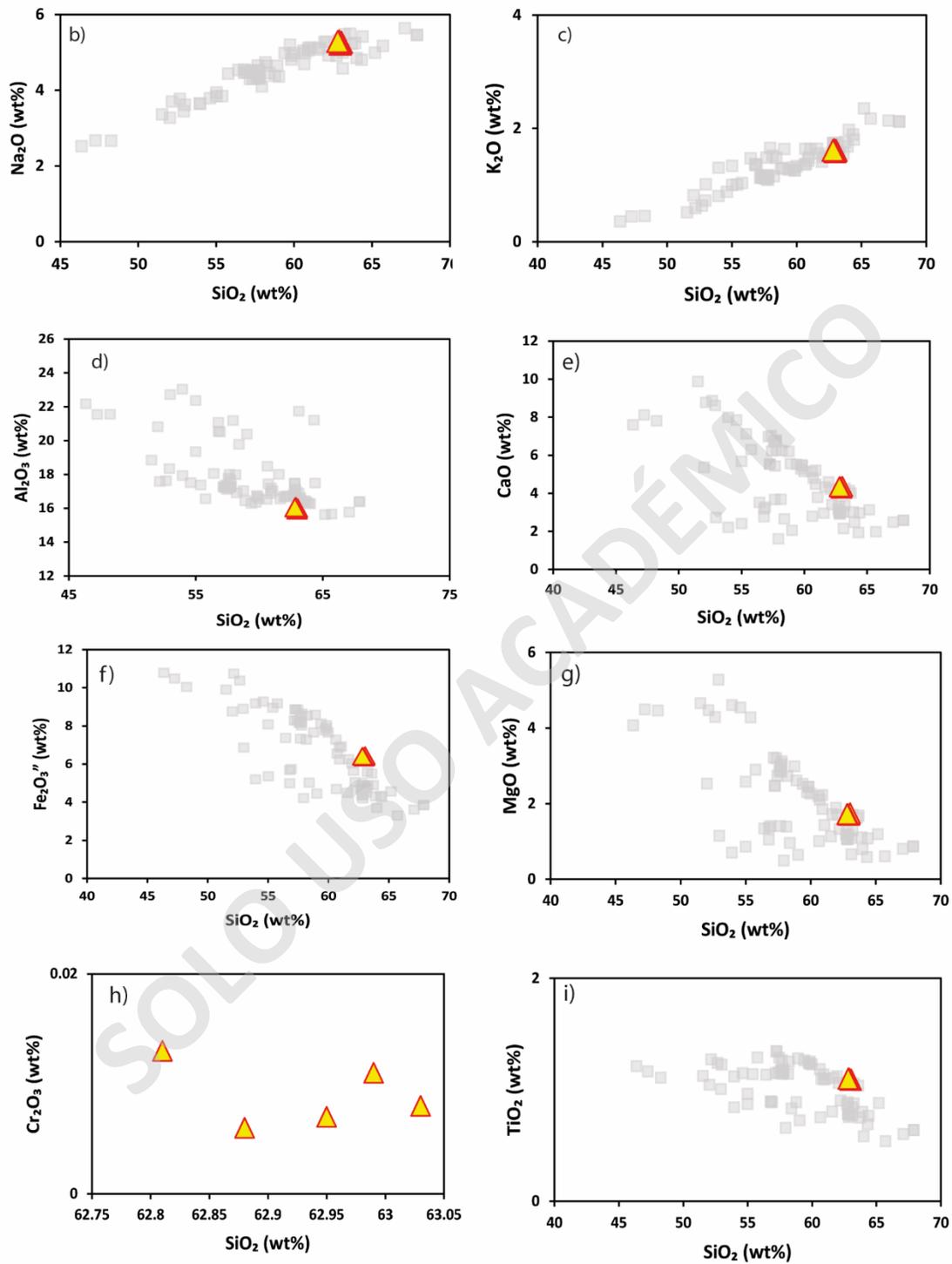


Figura 7. a) Total Alcalis vs Sílice (TAS) extraído de Le Bas et al. (1986) y elementos mayores (b-i) de las muestras estudiadas, junto con los datos publicados por Rawson et al. (2016).

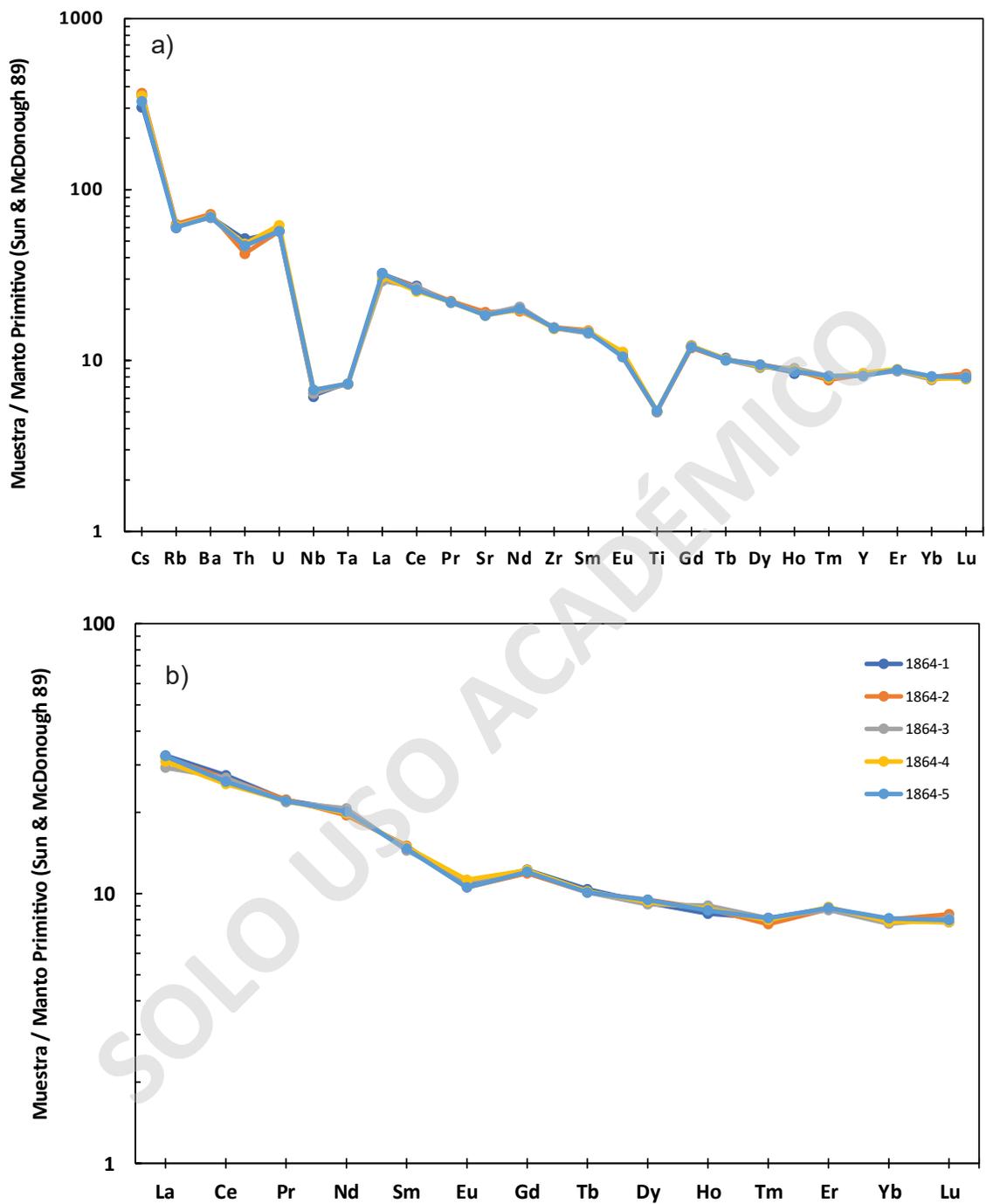


Figura 8. Diagramas de elementos trazas. a) Spider y b) Patrón de REE, los datos fueron normalizados con la composición del manto primitivo de Sun & Mc Donough (1989).

## 4.2 Petrografía

La descripción petrográfica (A.3) de lavas correspondientes a la erupción de 1864, se realizó mediante un microscopio óptico, junto con un microscopio electrónico de barrido, resultando cada una de estas en dacitas de clinopiroxeno. Todas presentan textura glomeroporfírica y contienen desde un 7 – 13 vol.% de fenocristales y microfenocristales inmersos en una abundante masa fundamental cristalina (Tabla 1). Los fenocristales corresponden a plagioclasa (80-96.6 vol.% de fenocristales), clinopiroxeno (2.9-8.1 vol.% de fenocristales), ortopiroxeno (2.9-8.8 vol.% de fenocristales) y óxidos de Fe-Ti (2.7-11.4 vol.% de fenocristales).

La muestra 1864-2 es la que contiene un mayor porcentaje de cristalinidad junto con una abundancia de fenocristales de clinopiroxeno. Respecto a la masa fundamental, esta se caracteriza por ser hialopilítica (conformada por microlitos de plagioclasa y óxidos de Fe-Ti) y en algunos sectores de las muestras se aprecia textura traquítica (Figura 9).

Tabla 1. Conteo modal en porcentaje de vesículas y minerales correspondientes a las muestras estudiadas. El porcentaje de cristalinidad no considera el volumen de vesículas.

Muestra	1864-1	1864-2	1864-3	1864-4	1864-5
Masa fundamental (vol.%)	79.2	85.6	90.6	91.8	92.1
Plagioclasa (vol.%)	5.6	11	6.0	6.5	6.9
Clinopiroxeno (vol.%)	0.4	1	0.0	0.6	0.2
Ortopiroxeno (vol.%)	0.2	0.6	0.6	0.6	0.0
Óxidos (vol.%)	0.8	0.6	0.4	0.2	0.0
Vesículas (vol.%)	13.8	1.2	2.3	0.2	0.8
<b>Cristalinidad (%)</b>	8.1	13.4	7.2	8.0	7.1

Los fenocristales y microfenocristales de plagioclasa son los de mayor abundancia (11 vol.%), existiendo cuatro familias: la primera corresponde a fenocristales aislados de ~1 – 1.5 mm (Figura 10a), la segunda se trata de cúmulos cristalinos con un tamaño máximo de 2.5 mm (Figura 10b). La tercera familia corresponde a cúmulos cristalinos más pequeños (0.5 – 1 mm) (Figura 10c) y, por último, la cuarta familia se conforma de cúmulos cristalinos con tamaños entre 1 – 1.5 mm (Figura 10d).

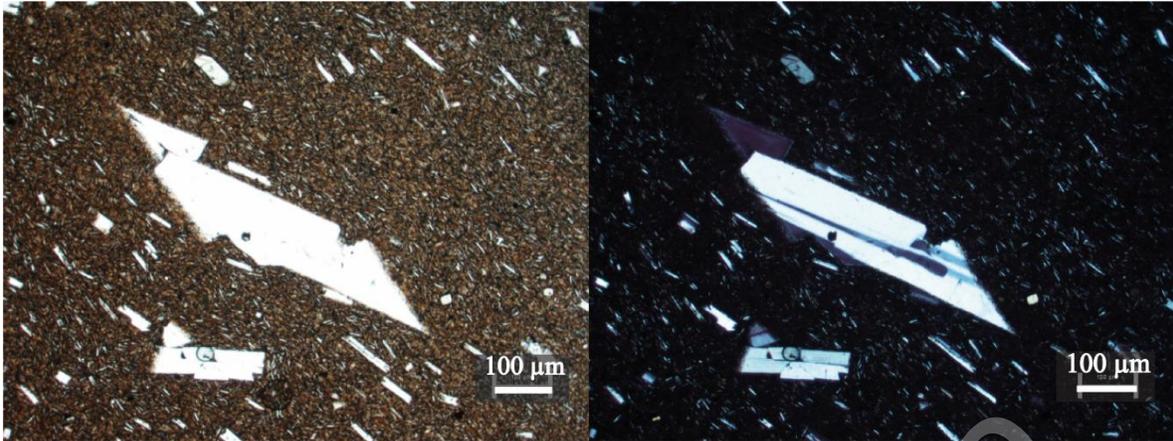


Figura 9. Imagen de la izquierda a nícoles paralelos de la muestra 1864-4 contiene las distintas familias de plagioclasa y la presencia de textura traquíutica en masa fundamental. Imagen de la derecha a nícoles cruzados.

Por otra parte, los fenocristales de clinopiroxeno y ortopiroxeno presentan tamaños que varían entre 0.03 – 1.2 mm, se presentan en su mayoría, formando cúmulos cristalinos o aislados (Figura 11b). En cuanto al contenido de vesículas, este varía entre 0.2 y 13.8 vol.%, con formas irregulares y alargadas.

Los cúmulos cristalinos se encuentran bien preservados y se componen de fenocristales de plagioclasa, clinopiroxeno, ortopiroxeno, titanomagnetita, ilmenita y apatito (Figura 12b). La mayoría de los fenocristales de plagioclasa que conforman cúmulos cristalinos presentan zonación normal, mientras que los fenocristales aislados presentan zonación inversa y patchy (Figura 11a). Además, se reconoce que algunos fenocristales de plagioclasa presentan texturas de desequilibrio: de reabsorción y sieve (Figura 13).

Por otro lado, gran parte de los fenocristales de clinopiroxeno y ortopiroxeno poseen zonación oscilatoria ( $Mg\# = 0.61 - 0.77$ ) y textura coronítica conformada por microfenocristales de ortopiroxeno, clinopiroxeno y óxidos de Fe-Ti (Figura 12a). Además, algunos fenocristales de clino- y ortopiroxeno presentan bordes de descomposición.

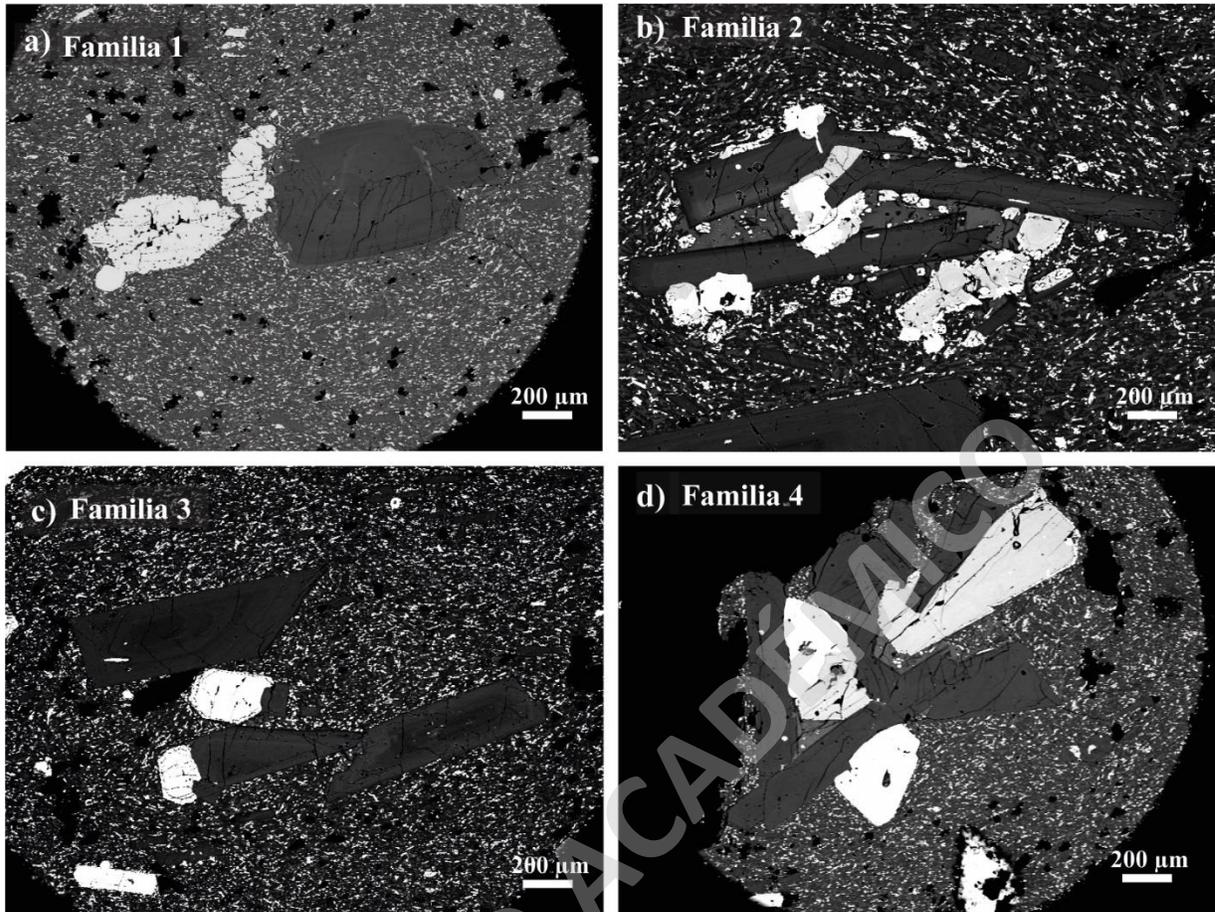


Figura 10. Familias de plagioclasa de la muestra 1864-2 correspondiente a una colada de lava dacítica. A) Fenocristal aislado de plagioclasa. B) Cúmulo cristalino correspondiente a la familia 2. C) Cúmulo cristalino de plagioclasa conformando la familia 3. D) Cúmulo cristalino de plagioclasa y clinopiroxeno que corresponden a la familia 4.

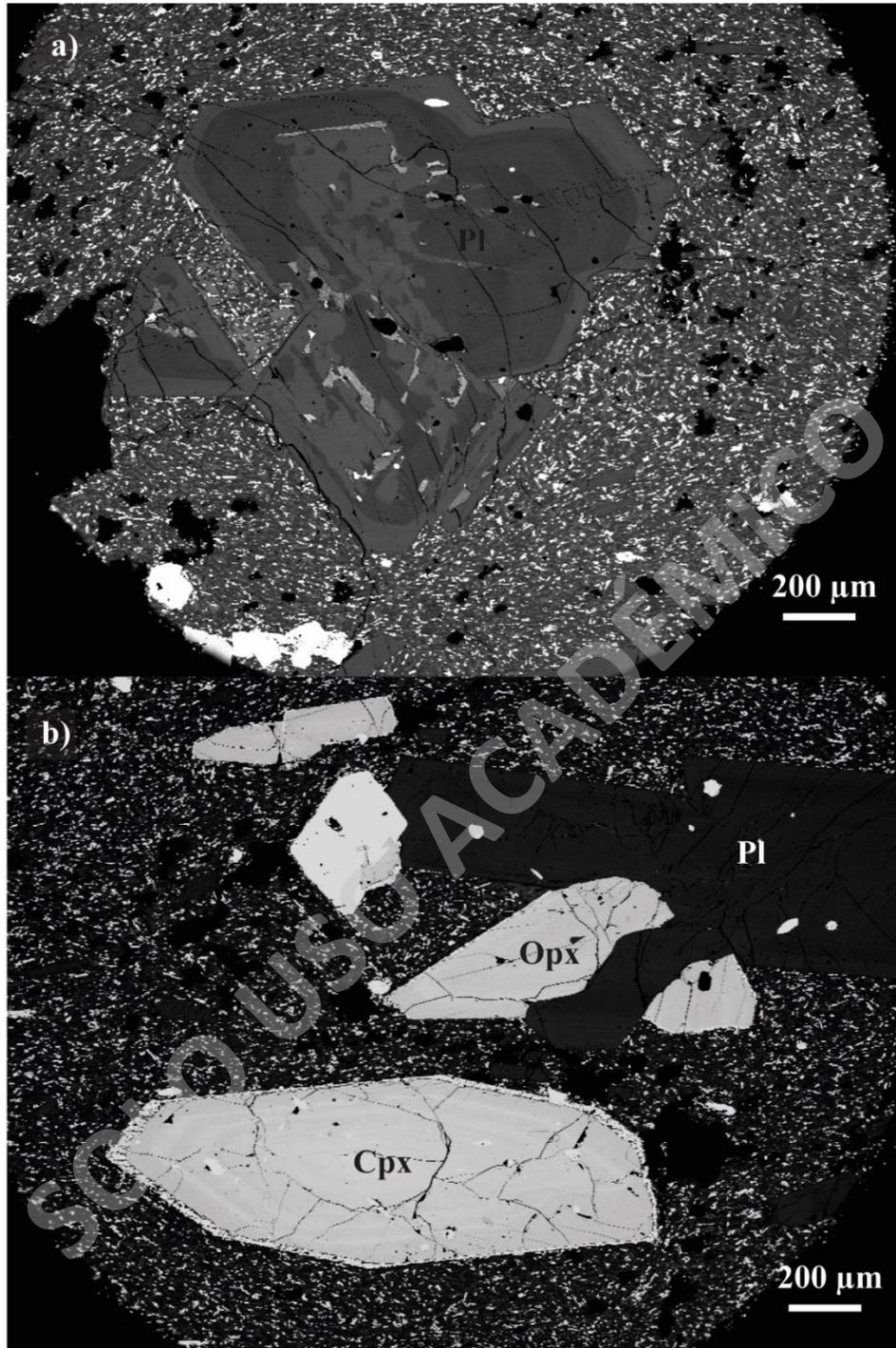


Figura 11. Imágenes de electrones retrodispersados de cristales seleccionados de la muestra de lava 1864-2. a) Cúmulo aislado de plagioclasa que presenta zonación inversa y patchy. b) Cúmulo cristalino conformado por fenocristales de plagioclasa y ortopiroxeno, y fenocristal de clinopiroxeno aislado que presenta zonación oscilatoria.

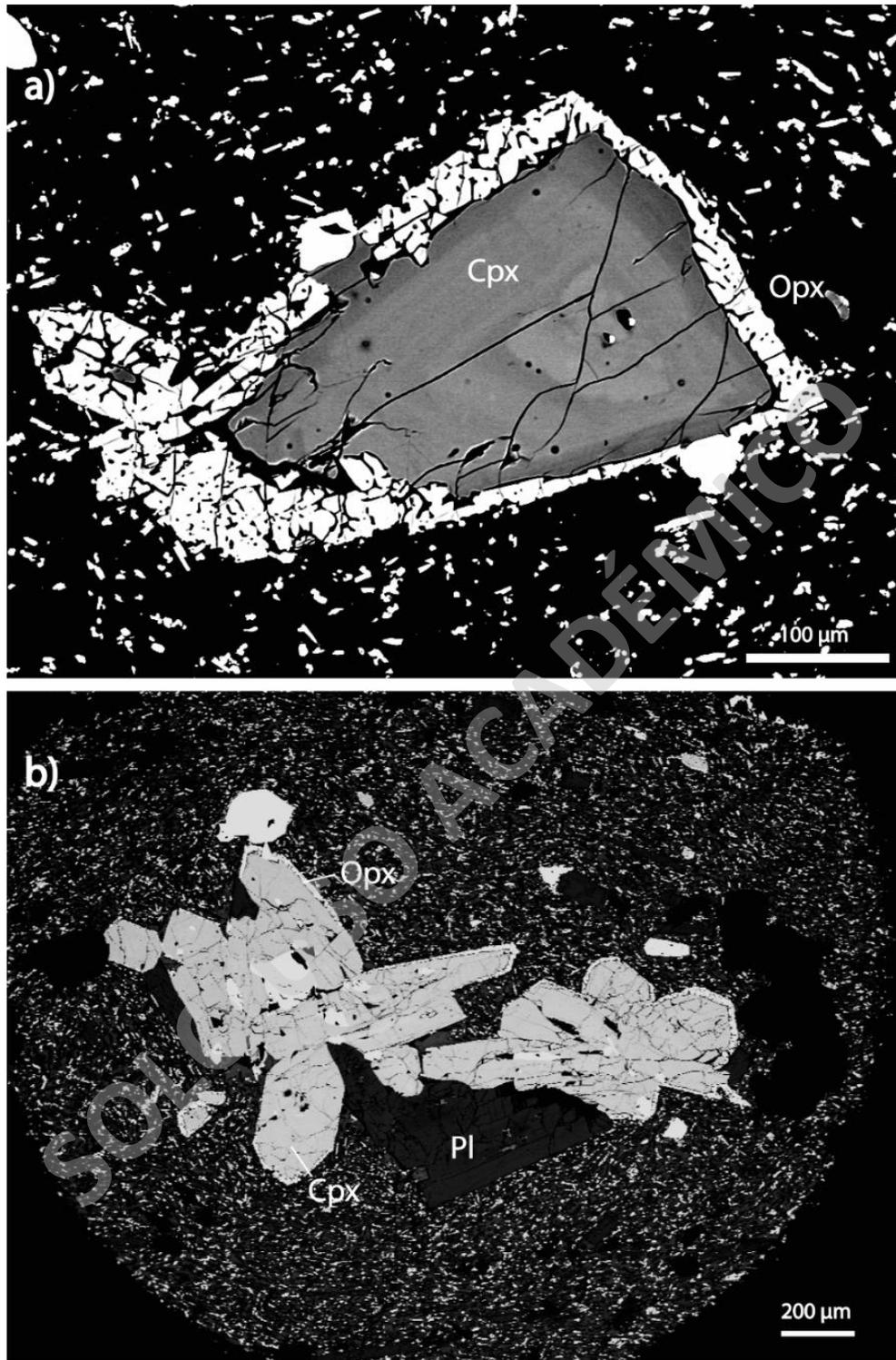


Figura 12. Imágenes de electrones retrodispersados de cristales seleccionados de la muestra de lava 1864-2. a) Fenocristal aislado de clinopiroxeno que presenta textura coronítica (conformada por ortopiroxenos y óxidos de Fe-Ti) y zonación oscilatoria. b) Cúmulo cristalino conformado por fenocristales de plagioclasa, clinopiroxeno, ortopiroxeno y óxidos de Fe-Ti.



Figura 13. Fenocristal de plagioclasa que presenta bordes de reabsorción. Imagen superior a nícoles paralelos. Imagen inferior a nícoles cruzados.

### 4.3 Química mineral

A partir del set de muestras, se seleccionó las más representativa según el mayor porcentaje de cristalinidad y composición primitiva, correspondiendo a la muestra 1864-2.

#### 4.3.1 Plagioclasa

Se identificaron dos tipos de zonas composicionales de plagioclasa de la muestra 1864-2: La zona 1 corresponde a composiciones de  $An_{25-49}$  y la zona 2 a  $An_{50-61}$  (Figura 14). Estas composiciones fueron obtenidas a partir de fenocristales y microfenocristales, donde ambas zonas se encuentran tanto en núcleos como en bordes (Tabla 2). A partir de las familias de plagioclasa descritas anteriormente (Capítulo 4.2) se estableció una relación entre las variaciones composicionales de borde a núcleo y las familias cristalinas, las cuales se resumen en la Figura 15.

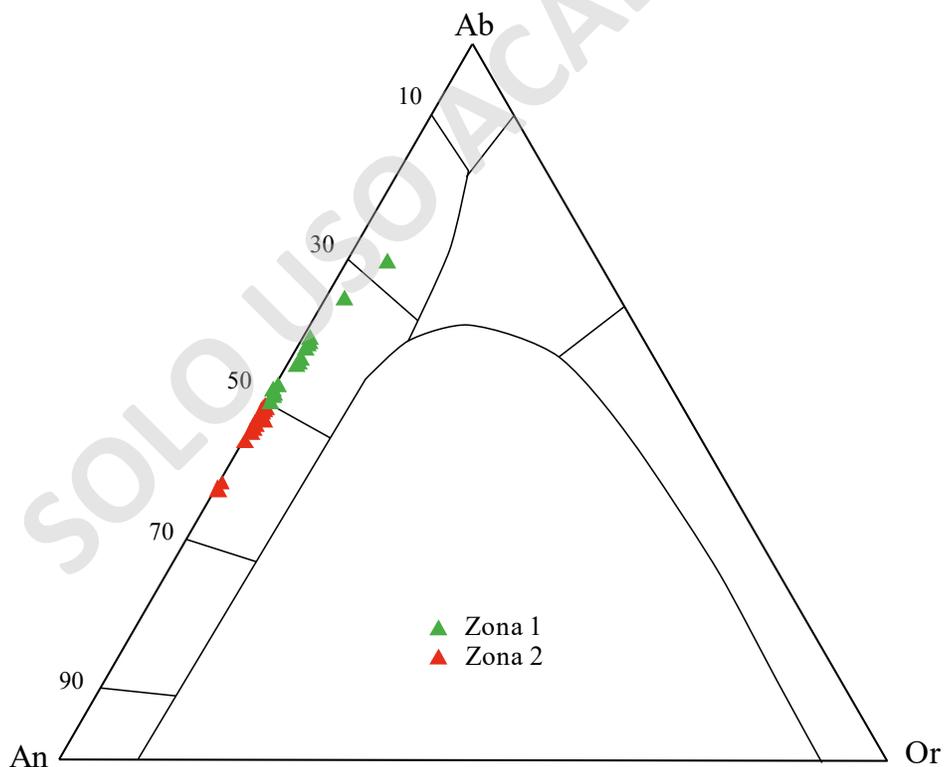
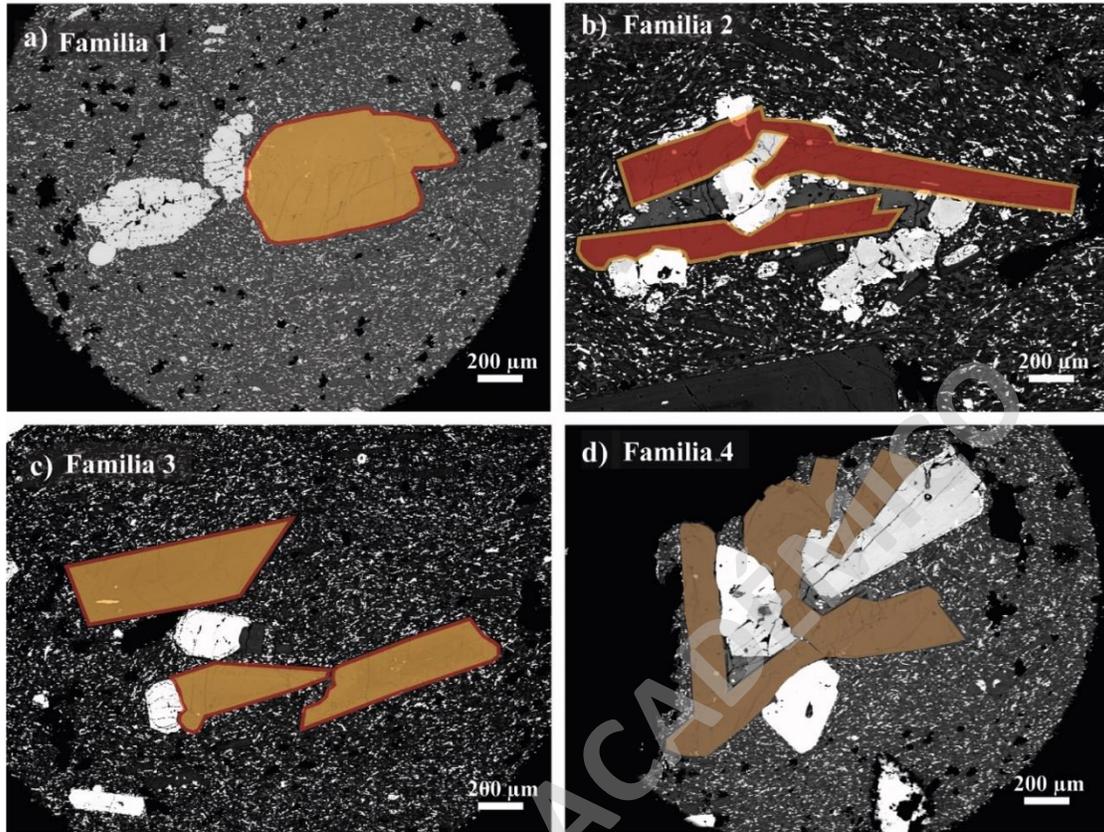


Figura 14. Composiciones para fenocristales de plagioclasa.

## Zonas composicionales de plagioclasa



Zona 1 = An 25-49

Zona 2 = An 50-61

Sin variación composicional

Figura 15. Esquema que muestra la relación entre las variaciones composicionales y los subgrupos de fenocristales de plagioclasa.

### 4.3.2 Clinopiroxeno

Se reconocieron dos rangos composicionales de clinopiroxeno. El primero representado por los bordes bajo en Ca ( $W_{06-13} En_{52-49} Fs_{41-37}$ ) que, de acuerdo con el diagrama composicional, corresponderían a pigeonitas. El segundo rango establecido se restringe principalmente a los núcleos ricos en Ca ( $W_{036-42} En_{44-41} Fs_{18-15}$ ) de augita (Figura 16). En su mayoría, los fenocristales de clinopiroxeno presentan zonación oscilatoria.

### 4.3.3 Ortopiroxeno

Por otra parte, se definió una zona composicional para los fenocristales de ortopiroxeno, correspondiendo a los núcleos de Enstatita ( $W_{02-4} En_{57-68} Fs_{28-38}$ ) (Figura 16).

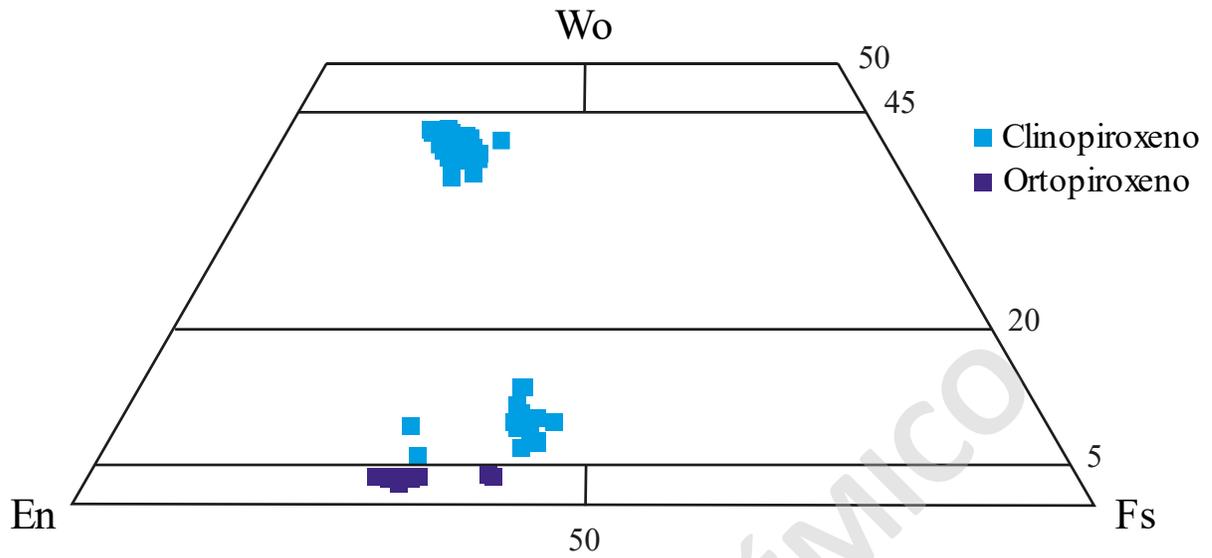


Figura 16. Composiciones para fenocristales de clinopiroxeno y ortopiroxeno.

Tabla 2. Rangos composicionales de fenocristales de plagioclasa, clinopiroxenos y ortopiroxenos pertenecientes a la muestra 1864-2.

Mineral	Zonas/ Rangos composicionales	
Plagioclasa	Zona 1	An25 - An49
	Zona 2	An50 - An61
Clinopiroxeno	Bajo Ca	Wo6-13 En52-49 Fs41-37
	Rico Ca	Wo36-42 En44-41 Fs18-15
Ortopiroxeno	Núcleo	Wo2-4 En57-68 Fs28-38

## 5. Discusiones

### 5.1 Condiciones magmáticas intensivas

#### 5.1.1 Modelación termodinámica para la erupción de 1864

Se utilizó el *software* rhyolite-MELTS (v 1.0.2, Gualda *et al.*,2012) para realizar las modelaciones termodinámicas, tomando como composición inicial del fundido una equivalente a la de la muestra 1864-2, pues contiene las texturas y mineralogía más representativas de las demás muestras. Las simulaciones fueron generadas bajo condiciones isobáricas y mediante cristalización en equilibrio. Las presiones van desde 1 a 10 kbar (con incrementos de 1 kbar). Las temperaturas de cristalización de las simulaciones fueron desde 1,100 a 800°C con una disminución de 0.5°C entre las iteraciones realizadas. También se utilizaron diferentes condiciones de fugacidad de oxígeno (QFM,  $\Delta\text{NNO}$  y  $\Delta\text{QFM}+1$ ), junto con contenidos iniciales de H<sub>2</sub>O desde 1 – 7 wt.% (con incrementos de 1 wt.%). Además, las iteraciones que se consideraron como válidas, son aquellas en que se reprodujeron como máximo un 20% de fases sólidas, siempre y cuando estas correspondieran a las fases observadas, con composiciones equivalentes a las medidas (Capítulo 4.3).

Las condiciones de equilibrio de P-T del periodo previo a la erupción, corresponden a la intersección de los campos de estabilidad de las zonas composicionales de plagioclasa, clinopyroxeno y ortopiroxeno (Figura 17). El resumen de todas las simulaciones se encuentra en el apartado A.5 Condiciones pre-eruptivas.

Los campos de estabilidad de P-T correspondientes a las zonas composicionales de plagioclasa, clinopyroxeno y ortopiroxeno, se lograron reproducir en todo el rango de contenido de agua disuelta (1 – 7 wt.% de H<sub>2</sub>O). Sin embargo, pudieron determinarse ciertas observaciones a medida que varía la temperatura y la fugacidad de oxígeno.

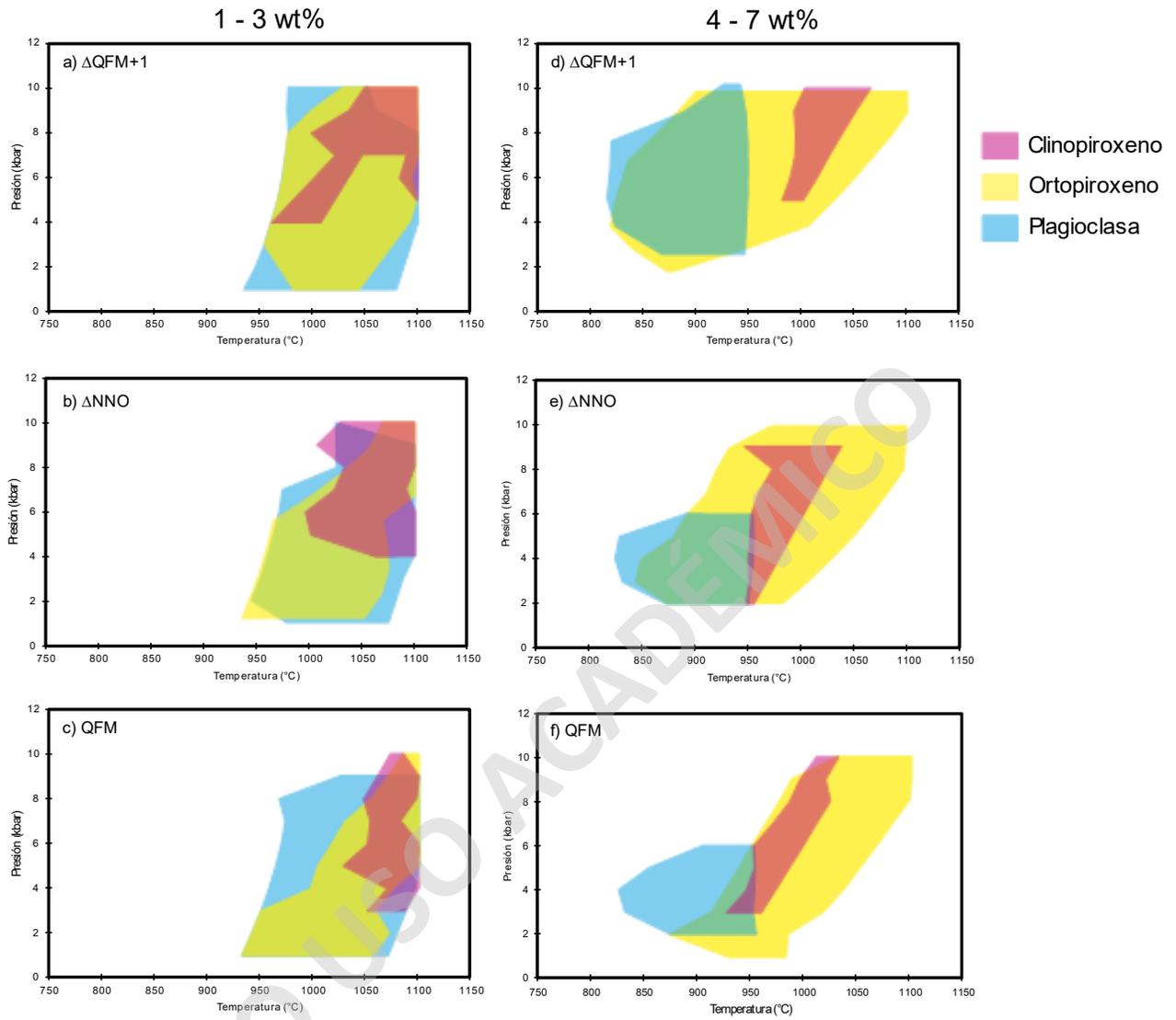


Figura 17. Campos de estabilidad de P-T para las composiciones de las Zonas 1 y 2 de plagioclasa, clinopiroxenos y ortopiroxenos obtenidas por rhyolite-MELTS a diferentes condiciones de fugacidad de oxígeno para la muestra de lava 1864-2. El contenido de agua utilizado para las simulaciones es de 1 – 7 wt.%.

En primer lugar, con contenidos más altos de agua disuelta (4 - 7 wt.% H<sub>2</sub>O), los campos de estabilidad de las fases solo logran intersectarse entre los 928 a 959°C, desde 2 – 10 kbar de presión y con *buffers* de fugacidad de oxígeno entre QFM y  $\Delta NNO$  (Figura 17 e y f). En segundo lugar, las interacciones se generan entre 1 - 3 wt.% H<sub>2</sub>O, donde los campos de estabilidad se reproducen en rangos de presión desde 3 – 10 kbar, temperaturas entre 961 – 1,100°C y en un sistema controlado entre los *buffers* de fugacidad de oxígeno QFM y  $\Delta QFM+1$ , además de observarse una intersección más definida de los campos de estabilidad

(Figura 17 a, b y c). Por último, el campo de estabilidad del clinopiroxeno parece delimitar (independiente del *buffer* de fugacidad de oxígeno) los límites de P-T, además de ser el campo de estabilidad más restringido. Este último permite interpretar de forma clara el campo P-T de mayor probabilidad de la cristalización de las fases minerales, la cual representaría las condiciones pre-eruptivas de la erupción de 1864.

## 5.2 Condiciones pre-eruptivas y una aproximación del reservorio magmático

Los campos de estabilidad de plagioclasa, clinopiroxeno y ortopiroxeno obtenidos en las simulaciones mediante rhyolite-MELTS, permiten estimar las condiciones magmáticas intensivas de los productos volcánicos de la erupción de 1864. Respecto a los rangos de temperatura y el contenido de agua disuelta, se puede establecer una intersección relativamente acotada de las fases minerales (Plg + Cpx + Opx) entre 1 – 3 wt.% de H<sub>2</sub>O y entre 961 – 1100°C.

Caso contrario sucede cuando el contenido de agua disuelta aumenta entre un 4 y 7 wt.% de H<sub>2</sub>O, favoreciendo que los campos de estabilidad de ortopiroxeno y plagioclasa se reproduzcan en un rango amplio de temperatura (838 – 1100°C). Sin embargo, esto no aplica para el campo de estabilidad del clinopiroxeno, pues este se genera en rangos de temperatura más altos (961 – 1,100°C).

Comparando la química mineral con las simulaciones en rhyolite-MELTS, se infiere que es posible reproducir ambas zonas de plagioclasa, junto con las composiciones de ortopiroxeno en un rango de presión entre 1 – 10 kbar. Sin embargo, para el clinopiroxeno sus composiciones son reproducidas desde los 3 kbar. Dado esto, se sugieren presiones con mayor probabilidad en el rango de 3 – 10 kbar. Teniendo en cuenta los valores de presión obtenidos, 3 kbar corresponden a ~ 10 km, mientras que 10 kbar equivalen a ~33 km. Estos valores pueden asociarse al espesor cortical presente en el área de estudio. El espesor bajo el CVMCh es de 40 – 45 km en el segmento norte, mientras que hacia el sur decrece gradualmente a ~35 km (Tašárová, 2007), lo cual podría dar indicios de un sistema magmático complejo, donde su ubicación estaría sobre los 3 kbar (~10 km).

### 5.2.1 Otros casos de estudio similares al CVMCh

Existen otros sistemas magmáticos, tanto en Chile como en el mundo, que son comparables a las condiciones intensivas y composiciones minerales de la erupción de 1864. Por una parte, el CVQ donde sus productos volcánicos holocenos corresponden a traquidacitas. Brahm *et al.* (2018) calcularon las condiciones pre-eruptivas de las traquidacitas mediante el método de dos piroxenos y simulaciones con rhyolite-MELTS, obteniendo temperaturas entre 920-960°C, presiones < 1 kbar, contenidos de agua disuelta con un máximo de 3.3 wt.% y condiciones de fugacidad de oxígeno entre los *buffers* QFM y NNO, por lo que proponen un reservorio magmático situado en corteza superior (3 – 4 km de profundidad).

Un caso similar se encuentra en el monte Shasta ubicado en el estado de California, Estados Unidos. Este posee domos lobulares dacíticos en unos de sus flancos donde fueron calculadas sus condiciones magmáticas intensivas en el trabajo de McCanta *et al.* (2007). Se estimaron rangos de temperatura entre 890 – 910°C, presiones desde 1 – 3 kbar y 1 wt.% H<sub>2</sub>O. Por último, se tienen las dacitas emitidas durante la erupción de 2004 - 2006 del Monte Santa Helena, ubicado en Washington, Estados Unidos. En el trabajo de Rutherford y Devine (2008), se estimaron rangos de temperatura entre 820 – 900°C, presiones de hasta 2 kbar y contenidos de agua disuelta de hasta un 4 wt.%. Se propone que la profundidad de la zona superior del reservorio magmático se encuentre entre 4 – 5 km. En la Tabla 3 se encuentra la información detallada de cada uno de los casos de estudio.

Los resultados del presente estudio sugieren que el reservorio (o los reservorios) en que cristalizaron los fenocristales del material volcánico de la erupción de 1864 del CVMCh están entre ~ 10 y ~ 33 km. El CVMCh se ubica en una zona donde el espesor cortical es de ~30 km, por lo que tener un reservorio magmático en el límite corteza superior/manto superior es consistente con los rangos de presión indicados anteriormente, interpretándose como un sistema polibárico. Respecto al tipo de reservorio, con los datos trabajados no se puede asegurar la presencia de un sistema magmático que se componga de dos cámaras magmáticas o bien un sistema aún más complejo de tipo *plumbing system*.

Dadas las composiciones minerales obtenidas y las condiciones pre-eruptivas estimadas del reservorio magmático bajo el CVMCh, la zona de máxima probabilidad donde las fases

minerales pudieron cristalizar es en un sistema controlado por los *buffers* de  $fO_2$  entre QFM y  $\Delta QFM+1$ , temperaturas entre 962 – 1,100°C, sumado a un contenido de agua disuelta de hasta un 3 wt.%. Estas condiciones denotarían un reservorio magmático en corteza inferior situado aproximadamente en rangos de 3 a 10 kbar (~10 – 33 km de profundidad).

Tabla 3. Resumen de condiciones magmáticas intensivas y características petrográficas del CVMCh y otros casos de estudio en Chile y el mundo.

Caso de estudio	CVMCh	CVQ	Black Butte, Monte Shasta	Monte Santa Helena
País	Chile	Chile	EEUU	EEUU
SiO <sub>2</sub> (wt.%)	62.8 - 63	64.2 - 65.8	64.6 - 64.6	62.5 - 64.8
T (°C)	962-1,100	900-960	890-910	820-900
P (kbar)	3 a 10	< 1	1 a 3	~2 a 3
Buffer $fO_2$	QFM+1 - QFM	NNO-QFM	NNO+1	NNO+1
wt.% H <sub>2</sub> O	1-3%	2.9-3.3%	1%	4%
Cristalinidad	7 - 13 vol.%	6 - 14 vol.%	20 vol.%	40-50 vol.%
Mineralogía	Plg, Cpx, Opx, Ti-Mag, Ilm y Apat	Plg, Cpx, Opx, Ti-Mag, Ilm y Apat	Plg, Amph, Ti-Mag	Plg, Opx, Amph, Mgt, Ilm

### 5.3 Análisis textural: Composiciones y texturas de fases minerales

En primer lugar, los fenocristales de plagioclasa en cúmulos cristalinos presentan núcleos de composición correspondiente a la zona 2 (An<sub>50-61</sub>), mientras que los bordes cristalinos a la zona 1 (An<sub>25-49</sub>). A partir de estas composiciones se infiere una zonación normal (Figura 18a). Los contenidos de anortita pueden variar ya sea por temperatura, contenido de agua disuelta, composición del fundido o presión (Streck, 2008; Lange *et al.*, 2009; Waters *et al.*, 2015). En este caso, los cristales no lograron reequilibrarse completamente con el medio, producto de variaciones termales y cambios en el contenido de agua disuelta en el sistema, generando el tipo de textura anteriormente descrita.

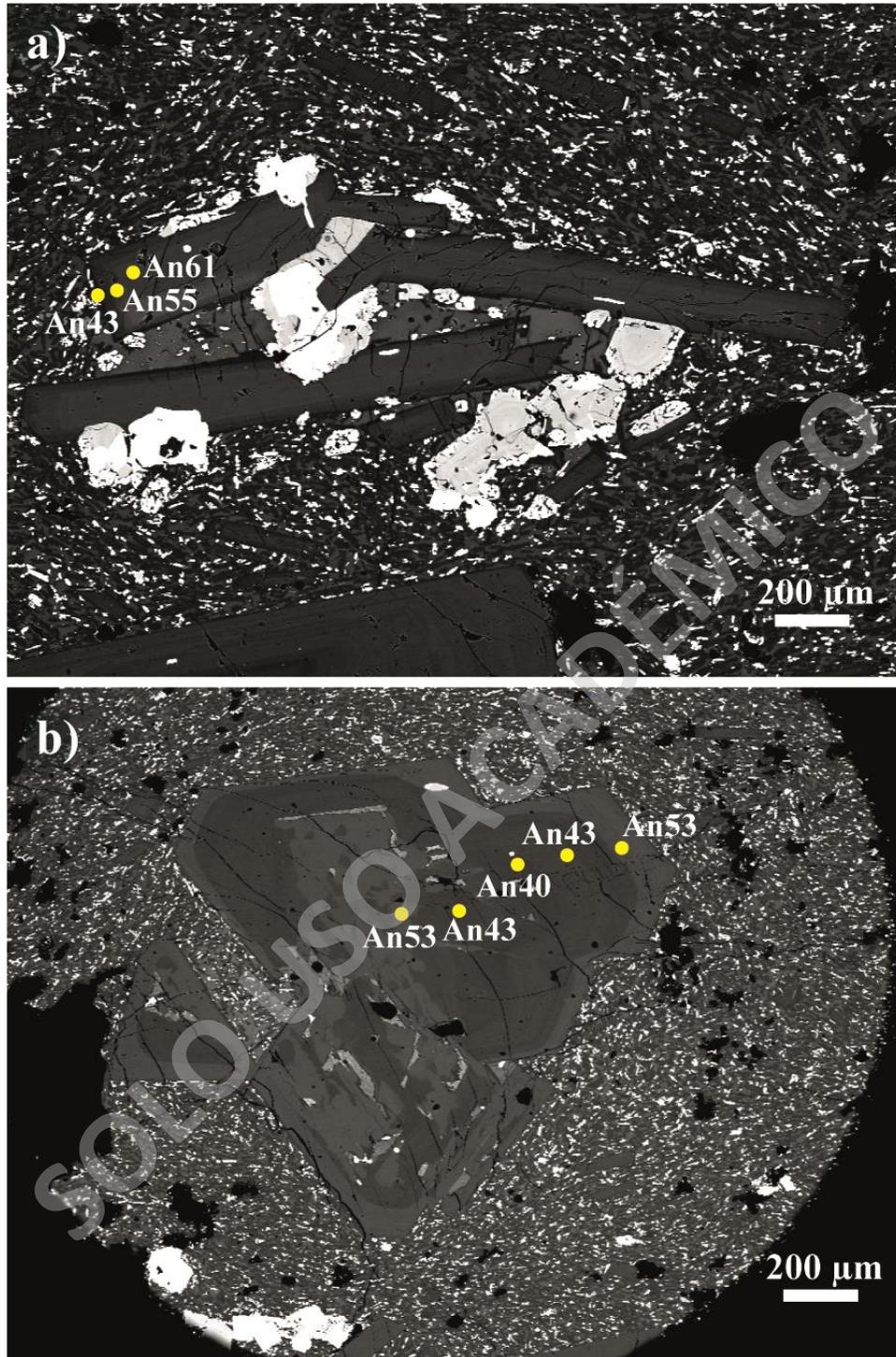


Figura 18. A) Variaciones composicionales en fenocristales de plagioclasa presente en cúmulos cristalinos. B) Variaciones composicionales en fenocristales de plagioclasa aislados. Puntos amarillos representan los espectros medidos.

Por su parte, los fenocristales de plagioclasa aislados presentan núcleos de composición correspondiente a la zona 1, mientras que sus bordes a la zona 2, interpretándose como zonación inversa y, además, poseen parches más cálcicos cercanos al núcleo ( $An_{43-53}$ ) lo cual se infiere como zonación tipo *patchy* (Figura 18b). Estas texturas reflejan las variaciones composicionales entre las familias de plagioclasa, donde los factores principales de su generación son la temperatura y contenido de agua disuelta (Waters *et al.*, 2015), afectando con mayor influencia a los fenocristales aislados.

De la misma forma, los fenocristales de clinopiroxeno que conforman cúmulos cristalinos poseen textura coronítica y estas coronas se encuentran en gran parte, conformadas por clinopiroxenos pobres en Ca ( $Wo_{6-13} En_{52-49} Fs_{41-37}$ ) y óxidos de Fe-Ti (ilmenita > titanomagnetita). Sumado a lo anterior, los fenocristales de clinopiroxeno presentan zonación oscilatoria sutil, lo cual indicaría procesos de reequilibrio reiterativos, pero sin variaciones significativas. Los fenocristales de enstatita también poseen textura coronítica y zonación oscilatoria, sin embargo, esta última es menos definida que la observada en clinopiroxenos.

Las texturas de desequilibrio como zonación, coronas y bordes de reabsorción, podrían estar asociadas a cambios de las condiciones magmáticas, tales como: variaciones en la concentración de agua del magma, acompañado de un cambio de presión por el ascenso hacia la superficie o la interacción composicional y termal de magmas diferentes (Vernon *et al.*, 2004; Streck, 2008, Morgado *et al.*, 2019). Además, el *input* de un magma de mayor temperatura a reservorios corticales y cristalinos ha sido sugerida para diversas erupciones a lo largo de la ZVSC (*e.g.* Quizapu, Ruprecht y Bachmann, 2010; Villarrica, Morgado *et al.*, 2015; Quetripillán, Brahm *et al.*, 2018). Debido a esto, la generación de las texturas de desequilibrio y composiciones mencionadas anteriormente, podrían atribuirse a la llegada de un magma de mayor temperatura con un contenido diferente de volátiles, cambiando el contenido de agua disuelta en el sistema previo a la erupción. Esta variación termal no ocurrió de forma homogénea, por lo que afectó de manera más directa a aquellos fenocristales aislados que se encontraban más cercanos a este *input* (zonación inversa y oscilatoria), mientras que los cúmulos cristalinos más alejados no sufrieron una gran variación composicional evidenciado en la zonación normal de los fenocristales de plagioclasa presentes en la otra familia de cúmulos.

#### 5.4 Mush cristalino: Evidencias texturales y mineralógicas

Según Marsh (1996) existen cámaras magmáticas que se encuentran reológicamente divididas por frentes de solidificación. Estos frentes corresponden a zonas del magma fundidas a parcialmente cristalinas que se encuentran contenidas entre isothermas de *solidus* y *liquidus* (siendo estas últimas más cercanas). Por otra parte, un reservorio magmático tipo *mush*, es aquel que contiene entre un ~45 - 60 vol.% de cristales (Hildreth, 2004; Bachmann y Bergantz, 2004; 2008) y se caracteriza por contener un magma poco móvil y eruptable (Miller *et al.*, 2011).

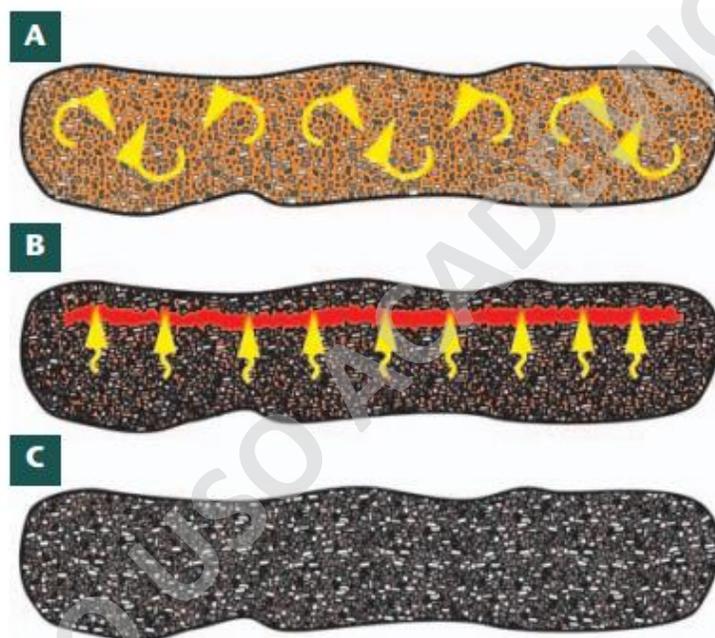


Figura 19. Ilustración esquemática de la evolución de un reservorio magmático tipo *mush* (Modificado de Bachmann y Bergantz, 2004; Hildreth, 2004; Elaborado por Bachmann y Bergantz, 2008). A) Estado de baja cristalinidad (<45 vol.% cristales), la mayoría de los cristales están en suspensión por corrientes de convección. B) Estado de mediana cristalinidad (~45-60 vol.% cristales): la ausencia de convección y la alta permeabilidad promueve de manera eficiente la separación del fundido y cristales. C) Estado de alta cristalinidad (>60 vol.% cristales): la permeabilidad del fundido es muy lenta por su alta viscosidad para extraer cristales por compactación.

Cuando la densidad de cristales es de ~65 vol.%, la separación del fundido y los cristales ocurre solo por compactación, donde la separación es extremadamente lenta, incluso a escalas de tiempo geológicas en sistemas viscosos y de baja permeabilidad (McKenzie,

1985). Por lo tanto, la separación física de los cristales y el líquido debería ser más eficiente cuando la convección se detiene (Figura 19b), deteniendo el efecto de agitación disruptiva. En este punto, el fundido presente en el *mush* es suficiente para una combinación de mecanismos, como la compactación cristalina, micro-compactación y compactación de alta permeabilidad, y de esta forma, lograr la separación eficaz de los cristales del fundido (Bachmann y Bergantz, 2004; 2008; Dufek y Bachmann, 2010). Un ejemplo cercano al CVMCh, son los CEM del Grupo Fui, específicamente los de Fui Sur, donde se propuso un reservorio tipo *mush* en profundidades someras (1.5 – 5 kbar; Mallea-Lillo *et al.*, 2022). De la misma manera, diferentes trabajos han atribuido un *mush* cristalino en reservorios magmáticos bajo estratovolcanes en la ZVSC (*e.g.* volcán Quetrupillán, Brahm *et al.*, 2018; volcán Calbuco, Morgado *et al.*, 2019; volcán Villarrica, Boschetty *et al.*, 2022).

Los productos volcánicos de la erupción de 1864 son coladas de lavas dacíticas que poseen numerosos cúmulos cristalinos junto con diversas texturas de desequilibrio, evidencias sugerentes de un reservorio tipo *mush*. Los fenocristales de plagioclasa, clinopiroxeno y ortopiroxeno que componen los cúmulos cristalinos contienen vidrio intersticial bien preservado que texturalmente difiere del resto de la masa fundamental (Figura 20). A pesar de que se desconozca la composición de ese fundido, no se puede descartar que este sea diferente.

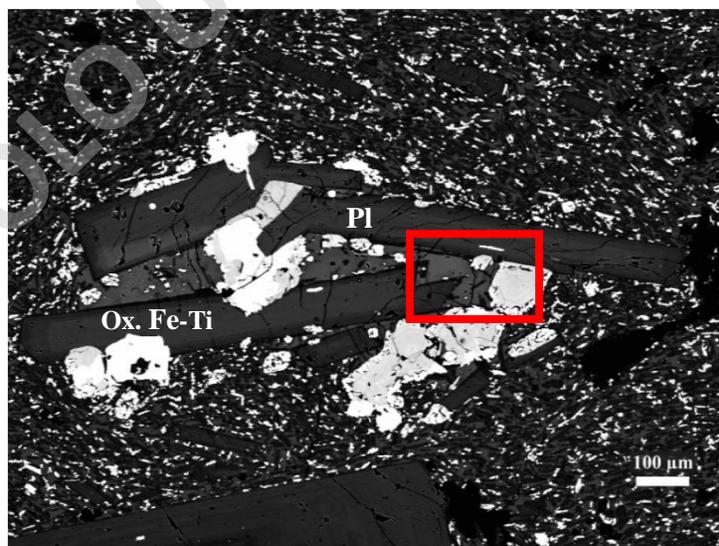


Figura 20. Muestra de lava1864-2: Cúmulo cristalino que posee vidrio intersticial (recuadro rojo) de textura diferente al resto de la masa fundamental.

Por otra parte, las muestras presentan un bajo porcentaje de cristalinidad (7.1 – 13.4 vol.%), comparado con los rangos establecidos que definen un *mush* cristalino (~45 – 60 vol.%). Sin embargo, esto no descartaría la existencia de este último dentro de un reservorio magmático, ya que los fluidos residuales son eficientes para la extracción del frente del *mush* cuando el rango de cristalinidad se encuentra entre 50 – 70 vol.% (Dufek y Bachmann, 2010). Así mismo, el proceso de removilización de magma desde el *mush* también explicaría las texturas de desequilibrio (Brahm *et al.*, 2018). De acuerdo con esto, los cúmulos cristalinos y cristales aislados observados en las muestras, posiblemente fueron extraídos mediante la disgregación del frente cristalino, gracias a fluidos residuales ascendentes que derivaron del conjunto cristalino hasta una zona de acumulación de fundido eruptable dentro del reservorio magmático.

### 5.5 Modelo pre-eruptivo

Tomando en consideración las condiciones pre-eruptivas que serían más probables y acordes a los resultados obtenidos en este trabajo, se puede interpretar que el reservorio magmático se encontraría entre 3 – 10 kbar (~9 - 33 km de profundidad), correspondiendo a un *mush* cristalino (Figura 21a) en corteza media-inferior. Junto con esto, la composición del fundido es diferenciada (62.81 – 63.03 wt.% SiO<sub>2</sub>) y de una temperatura entre 961- 1,100°C. Posteriormente, la llegada de un *input* de magma de diferente temperatura (probablemente mayor), genera una variación termal y propicia la exsolución de volátiles dentro del reservorio. Esto generaría las texturas de desequilibrio observadas en los fenocristales de plagioclasa, como zonación inversa, patchy, bordes de reabsorción y coronas. Además, produjo las coronas y zonaciones oscilatorias en clino y ortopiroxenos (Figura 21b).

A medida que aumenta la exsolución de volátiles en el sistema, continúan cristalizando las fases minerales mencionadas anteriormente y comienza la removilización de fluidos residuales del *mush*. Estos fluidos provocan la disgregación del frente del *mush*, extrayendo consigo cúmulos cristalinos y fenocristales aislados hacia una zona de acumulación de fundido eruptable. Cuando ya el sistema alcanza su máximo estado de exsolución de volátiles, comienza el proceso de fragmentación del magma, desencadenando la erupción (Figura 21c).

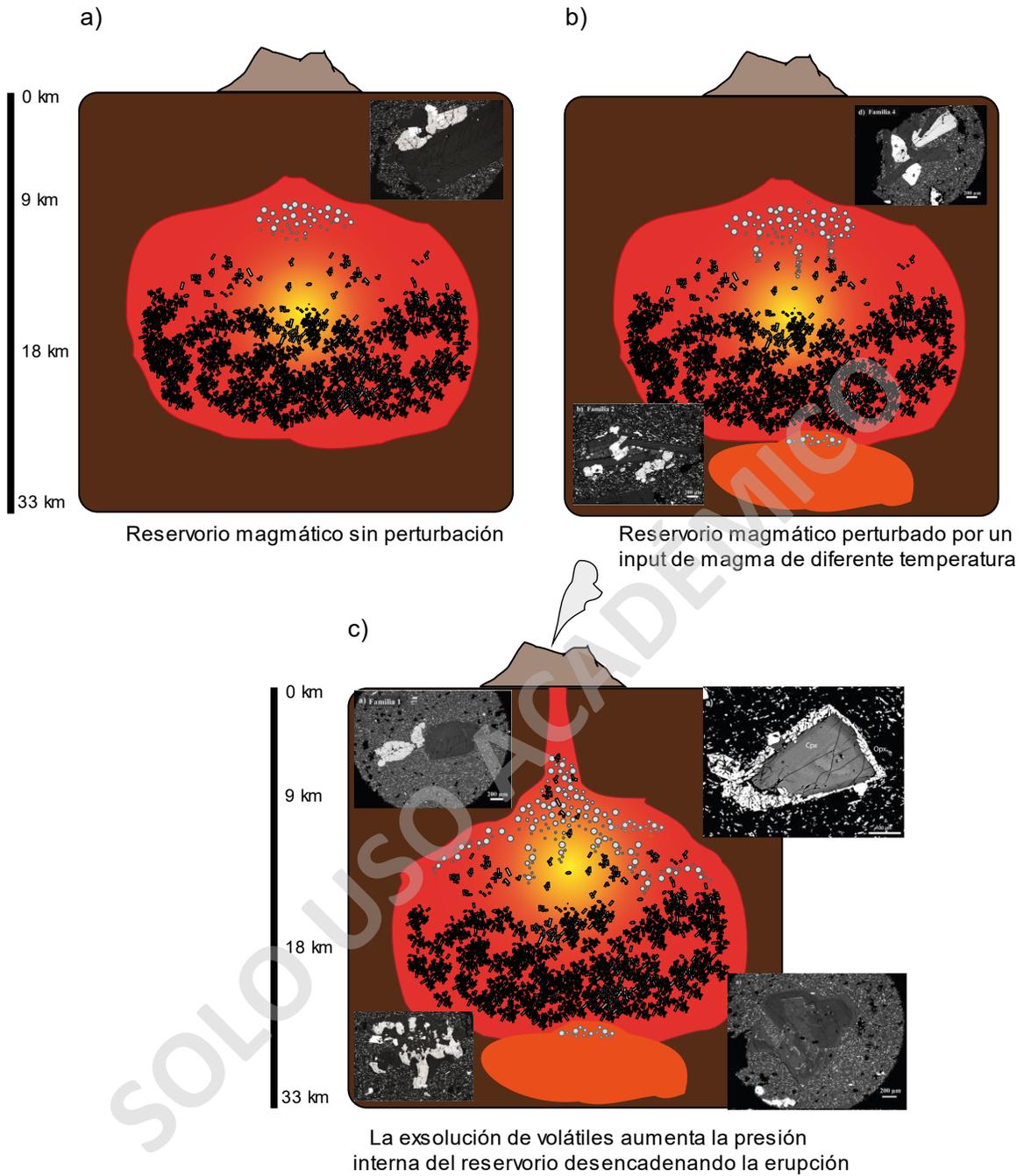


Figura 21. Representación esquemática y evolución en el tiempo del reservorio magmático bajo el CVMCh. a) Muestra el reservorio magmático sin perturbaciones, además del *mush* cristalino. b) Representa la llegada de un nuevo magma de temperatura diferente. c) Representa el comienzo de la erupción.

## 5. Conclusiones

El CVMCh tuvo su último evento eruptivo en 1864, el cual fue de carácter efusivo. En este trabajo se estudiaron muestras de lava provenientes de la erupción de 1864 de composición dacítica (62.81 – 63.03 wt.% SiO<sub>2</sub>) las que, petrográficamente, tienen un bajo porcentaje de cristalinidad (7 – 13 vol.%). Respecto a las fases minerales, se reconoció presencia de fenocristales de plagioclasa, clinopiroxeno y ortopiroxeno que presentan texturas de desequilibrio. Las variaciones composicionales de los fenocristales de plagioclasa fueron divididas en zonas de acuerdo con su ubicación y composición: las zonas de plagioclasa representan zonación normal (An<sub>25-49</sub> en bordes y An<sub>50-61</sub> en núcleos), zonación inversa (An<sub>25-49</sub> en núcleos y An<sub>50-61</sub> en bordes) y *patchy* (An<sub>43-53</sub>). Por otra parte, los cristales de clino- y ortopiroxenos presentan textura coronítica (clinopiroxenos bajos en Ca conformando coronas en núcleos de augita) y zonación oscilatoria.

En cuanto a las condiciones pre-eruptivas, a partir de las simulaciones en rhyolite-MELTS se estima que las condiciones de cristalización de las fases minerales muestran una máxima probabilidad de ocurrencia entre 961 – 1,100°C, con rangos de presión desde 3 - 10 kbar, entre 1 - 3 wt.% de contenido de agua disuelta y bajo un sistema controlado por los *buffers* de fugacidad de oxígeno desde QFM a ΔQFM+1. De esta manera se refuta la hipótesis propuesta al comienzo de este trabajo. Estas condiciones podrían relacionarse con un reservorio magmático situado en corteza superior a profundidades máximas de 9 km (según los rangos de presión). Además, la presencia de cúmulos cristalinos con vidrio intersticial aparentemente diferente al resto de la masa fundamental sugiere la presencia de un *mush* cristalino dentro del reservorio magmático.

Finalmente, la erupción de 1864 se habría desencadenado por la llegada de un *input* de magma de temperatura mayor a la presente en el reservorio, generando una variación termal en el sistema. Esto habría originado las texturas de desequilibrio, variaciones composicionales de las fases minerales (en particular, zonación inversa en cristales de plagioclasa), junto a una mayor exsolución de volátiles.

Para trabajos futuros complementarios, se sugiere realizar análisis de microsonda a las muestras de lavas para así obtener la composición del fundido que se encuentra en los

cúmulos cristalinos. Además, se sugiere realizar estudios petrológicos, geoquímicos y termodinámicos acerca de otras erupciones del CVMCh, tales como: Enco, Neltume y Pirihueico, y de esta forma, tener una noción más concreta y completa del reservorio magmático y su evolución temporal.

SOLO USO ACADÉMICO

## Referencias

- Aguirre, L; Hervé, F; Godoy, E. (1972).** Distribution of metamorphic facies in Chile, an outline. *Krystallinikum* 9: 7-19.
- Angermann, D., Klotz, J., Reigber, Ch., (1999).** Space-geodetic estimation of the Nazca– South America Euler vector. *Earth and Planetary Science Letters* 171 (3), 329–334.
- Asimow, P. D., Dixon, J. E., & Langmuir, C. H. (2004).** A hydrous melting and fractionation model for mid-ocean ridge basalts: Application to the Mid-Atlantic Ridge near the Azores. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 5(1), n/a–n/a. doi:10.1029/2003gc000568.
- Bachmann, O., & Bergantz, G. W. (2004).** Gas percolation in upper-crustal silicic crystal mushes as a mechanism for upward heat advection and rejuvenation of near-solidus magma bodies. *Journal of Volcanology and Geothermal research*, 149(1-2), 85-102.
- Bachmann, O., Bergantz, G.W., (2008).** The magma reservoirs that feed super-eruptions. *Elements* 4, 19–23.
- Beck Jr, M. E., García R, A., Burmester, R. F., Munizaga H, F., Hervé A, F., & Drake, R. E. (1991).** Paleomagnetism and geochronology of late Paleozoic granitic rocks from the Lake District of southern Chile: Implications for accretionary tectonics. *Geology*, 19(4), 332-335.
- Berman, R. G. (1988).** Internally-consistent thermodynamic data for minerals in the system Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O-CaO-MgO-FeO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>. *Journal of petrology*, 29(2), 445-522.
- Brahm, R., Parada, M. A., Morgado, E., Contreras, C., & McGee, L. E. (2018).** Origin of Holocene trachyte lavas of the Quetrupillán volcanic complex, Chile: examples of residual melts in a rejuvenated crystalline mush reservoir. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 357, 163-176.
- Boschetti, F. O., Ferguson, D. J., Cortés, J. A., Morgado, E., Ebmeier, S. K., Morgan, D. J., & Silva Parejas, C. (2022).** Insights into magma storage beneath a frequently erupting arc volcano (Villarrica, Chile) from unsupervised machine learning analysis of mineral compositions. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 23(4), e2022GC010333.
- Campos, A., Moreno, H., Muñoz, J., Antinao, J., Clayton, J., & Martin, M. (1998).** Área de Futrono-Lago Ranco, Región de los Lagos. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos, 8(1).
- Cembrano, J., Hervé, F., Moreno, H., Parada, M., Thiele, R., & Varela, J. (1993).** Compilación Geológica Actualizada de la X Región. *Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Geología, scale, 1(100.000).*
- Cembrano, J. & Moreno, H. (1994).** Geometría y naturaleza contrastante del volcanismo cuaternario entre los 38°S y 46°S. ¿Dominios compresionales y tensionales en un régimen transcurrente? 7° Congreso Geológico chileno. Actas Vol. 1: 240-244p.
- Cembrano, J., Hervé, F., & Lavenue, A. (1996).** The Liquiñe Ofqui fault zone: a long-lived intra-arc fault system in southern Chile. *Tectonophysics*, 259(1-3), 55-66.
- Cembrano, J.; Schermer, E.; Lavenue, A. y Sanhueza, A. (2000).** Contrasting nature of deformation along an intra-arc shear zone, the Liquiñe-Ofqui Fault Zone, Southern Chilean Andes. *Tectonophysics*. Vol. 319: 129-149.
- Clapperton, C. (1993).** Quaternary geology and geomorphology of South America. Elsevier Science Publishers 779.
- Clayton, J. D., Clapperton, C. M., & Antinao, J. L. (1997).** Las glaciaciones pleistocenas en la cuenca del

Iago Villarrica, Andes del Sur. Congreso Geológico Chileno, 8, 307-311.

**Dalziel, I. W. D. (1986).** Collision and Cordilleran orogenesis: an Andean perspective. *Geological Society, London, Special Publications*, 19(1), 389-404.

**DeMets, C., Gordon, R. G., Argus, D. F., & Stein, S. (1994).** Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions. *Geophysical research letters*, 21(20), 2191-2194.

**Dufek, J., & Bachmann, O. (2010).** Quantum magmatism: Magmatic compositional gaps generated by melt-crystal dynamics. *Geology*, 38(8), 687-690.

**Dungan, M. A., Wulff, A., & Thompson, R. E. N. (2001).** Eruptive stratigraphy of the Tatará–San Pedro complex, 36 S, Southern Volcanic Zone, Chilean Andes: reconstruction method and implications for magma evolution at long-lived arc volcanic centers. *Journal of Petrology*, 42(3), 555-626.

**Eichelberger, J. C., & Westrich, H. R. (1981).** Magmatic volatiles in explosive rhyolitic eruptions. *Geophysical research letters*, 8(7), 757-760.

**Feignon, J. G., Cluzel, N., Schiavi, F., Moune, S., Roche, O., Clavero, J., Schiano, P. & Auxerre, M. (2022).** High CO<sub>2</sub> content in magmas of the explosive andesitic Enco eruption of Mocho-Choshuencho volcano (Chile). *Bulletin of Volcanology*, 84(4), 1-20.

**Forte, P., & Castro, J. M. (2019).** H<sub>2</sub>O-content and temperature limit the explosive potential of rhyolite magma during Plinian eruptions. *Earth and Planetary Science Letters*, 506, 157-167.

**García, A., Beck, M., Burmester, R., Munizaga, F., Hervé, F. (1988).** Paleomagnetic Reconnaissance of the Región de Los Lagos, Southern Chile and its tectonic implications. *Revista Geológica de Chile* 15(1), 13-30.

**Ghiorso, M. S., & Sack, R. O. (1995).** Chemical mass transfer in magmatic processes IV. A revised and internally consistent thermodynamic model for the interpolation and extrapolation of liquid-solid equilibria in magmatic systems at elevated temperatures and pressures. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 119(2), 197-212.

**González-Bonorino, F. (1970).** Serie Metamórficas del Basamento Cristalino de la Cordillera de la Costa, Chile Central. Universidad de Chile, Departamento de Geología, Publicación 37: 80p. Santiago.

**Gualda, G. A., Ghiorso, M. S., Lemons, R. V., & Carley, T. L. (2012).** Rhyolite-MELTS: a modified calibration of MELTS optimized for silica-rich, fluid-bearing magmatic systems. *Journal of Petrology*, 53(5), 875-890.

**Herbst, R., Troncoso, A., & Muñoz, J. (2005).** The Triassic taphofloras from the Lake District, Xth Region, Chile. *Ameghiniana*, 42(2), 377-394.

**Hervé, M. (1976).** Estudio geológico de la falla Liquine-Reloncavi en el área de Liquine: antecedentes de un movimiento transcurrente (Provincia de Valdivia). *Actas Congr. Geol. Chil*, 1, B39-B56.

**Hickey, R. L., Gerlach, D. C., & Frey, F. A. (1984).** Geochemical variations in volcanic rocks from central-south Chile (33–42° S). In *Andean Magmatism* (pp. 72-95). Birkhäuser Boston.

**Hickey, R. L., Frey, F. A., Gerlach, D. C., & Lopez-Escobar, L. (1986).** Multiple sources for basaltic arc rocks from the southern volcanic zone of the Andes (34–41 S): Trace element and isotopic evidence for contributions from subducted oceanic crust, mantle, and continental crust. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 91(B6), 5963-5983.

**Hickey-Vargas, R., Roa, H. M., Escobar, L. L., & Frey, F. A. (1989).** Geochemical variations in Andean basaltic and silicic lavas from the Villarrica-Lanin volcanic chain (39.5 S): an evaluation of source

heterogeneity, fractional crystallization and crustal assimilation. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 103(3), 361-386.

**Hildreth, W., & Moorbath, S. (1988).** Crustal contributions to arc magmatism in the Andes of central Chile. *Contributions to mineralogy and petrology*, 98(4), 455-489.

**Hildreth, W. (2004).** Volcanological perspectives on Long Valley, Mammoth Mountain, and Mono Craters: several contiguous but discrete systems. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 136(3-4), 169-198.

**Hofmann, A. W. (1997).** Mantle geochemistry: The message from oceanic volcanism, *Nature*, 385, 219–229.

**Lange, R. A., Frey, H. M., & Hector, J. (2009).** A thermodynamic model for the plagioclase-liquid hygrometer/thermometer. *American Mineralogist*, 94(4), 494-506.

**Lara, L., Rodríguez, C., Moreno, H., & Pérez de Arce, C. (2001).** Geocronología K-Ar y geoquímica del volcanismo plioceno superior-pleistoceno de los Andes del sur (39-42 S). *Revista geológica de Chile*, 28(1), 67-90.

**Lara, L., & Moreno, H. (2004).** Geología del Área Liquiñe-Neltume, Regiones de Los Lagos y de la Araucanía. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, 83, 1. Scale 1: 100.000.

**Lara, L. E., & Folguera, A. (2006).** The Pliocene to Quaternary narrowing of the Southern Andean volcanic arc between 37° and 41°S latitude. *Special Papers-Geological Society of America*, 407, 299-315.

**Lavenu, A. & Cembrano, J. (1999).** Compressional- and transpressional-stress pattern for Pliocene and Quaternary brittle deformation in the fore arc and intra-arc zones (Andes of Central and Southern Chile). *Journal of Structural Geology*. Vol. 21: 1669-1691.

**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.

**López-Escobar, L., Cembrano, J., & Moreno, H. (1995).** Geochemistry and tectonics of the Chilean Southern Andes basaltic Quaternary volcanism (37-46 S). *Andean geology*, 22(2), 219-234.

**Lowell, T. V., Heusser, C. J., Andersen, B. G., Moreno, P. I., Hauser, A., Heusser, L. E., Schluchter, C., Marchant, D. R., & Denton, G. H. (1995).** Interhemispheric correlation of late Pleistocene glacial events. *Science*, 269(5230), 1541-1549.

**Mallea-Lillo, F. C. (2021).** Shallow reservoir conditions in the Fui Group small eruptive centres in the southern volcanic zone (Chilean Andes). Tesis de Magíster, Universidad de Chile.

**Mallea-Lillo, F., Parada, M. A., Morgado, E., Contreras, C., & Hübner, D. (2022).** Contrasting sources and conditions of shallow magmatic reservoirs of the Fui Group small eruptive centres associated with the Liquiñe-Ofqui Fault Zone (Chilean Andes). *Journal of South American Earth Sciences*, 103875.

**Marsh, B. D. (1996).** Solidification fronts and magmatic evolution. *Mineralogical Magazine*, 60(398), 5-40.

**McCanta, M. C., Rutherford, M. J., & Hammer, J. E. (2007).** Pre-eruptive and syn-eruptive conditions in the Black Butte, California dacite: Insight into crystallization kinetics in a silicic magma system. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 160(3-4), 263-284.

**McGuire, W.J., Howarth, R.J., Firth, C.R., Solow, A.R., Pullen, A.D., Saunders, S.J., Steward, I.S., and Vita-Finzi, C., (1997).** Correlation between rate of sealevel change and frequency of explosive volcanism in the Mediterranean: *Nature*, v. 389, p. 473–476, doi:10.1038/38998.

Miller, C.F., Furbish, D.J., Walker, B.A., Claiborne, L.L., Koteas, G.C., Bleick, H.A., Miller, J.S., (2011). Growth of plutons by incremental emplacement of sheets in crystal-rich host: Evidence from Miocene intrusions of the Colorado River region, Nevada, USA. *Tectonophysics* 500, 65–77. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.07.011>

Morgado, E., Parada, M. A., Contreras, C., Castruccio, A., Gutiérrez, F., & McGee, L. E. (2015). Contrasting records from mantle to surface of Holocene lavas of two nearby arc volcanic complexes: Caburgua-Huelemolle Small Eruptive Centers and Villarrica Volcano, Southern Chile. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 306, 1-16.

Morgado, E., Morgan, D. J., Harvey, J., Parada, M. Á., Castruccio, A., Brahm, R., Gutiérrez, F., Georgiev, B. & Hammond, S. J. (2019). Localised heating and intensive magmatic conditions prior to the 22–23 April 2015 Calbuco volcano eruption (Southern Chile). *Bulletin of Volcanology*, 81, 1-21.

Moreno, H., & Lara, L. (2007). Geología del Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco: Carta Geológica de Chile. Serie Geología Básica, 107, 1-27.

Munizaga, F., Hervé, F., Drake, R., Pankhurst, R. J., Brook, M., & Snelling, N. (1988). Geochronology of the Lake Region of south-central Chile (39–42 S): Preliminary results. *Journal of South American Earth Sciences*, 1(3), 309-316.

Naranjo, J. A., & Stern, C. R. (2004). Holocene tephrochronology of the southernmost part (42 30'-45 S) of the Andean Southern Volcanic Zone. *Revista geológica de Chile*, 31(2), 224-240.

Pardo-Casas, F., Molnar, P., (1987). Relative motion of the Nazca (Farallón) and South American plates since late Cretaceous times. *Tectonics* 6, 233–248.

Petit-Breuilh, M. E. (2004). La historia eruptiva de los volcanes hispanoamericanos (siglos XVI al XX). *Servicio de Publicaciones del Exmo. Cabildo Insular de Lanzarote-Casa de los volcanes*.

Rawson H, Naranjo JA, Smith V, Fontijn K, Pyle DM, Mather TA, Moreno H. (2015). The frequency and magnitude of post-glacial explosive eruptions at Volcán Mocho-Choshuenco, southern Chile. *J Volcanol Geotherm Res* 299:103–129.

Rawson, H., Pyle, D. M., Mather, T. A., Smith, V. C., Fontijn, K., Lachowycz, S. M., & Naranjo, J. A. (2016a). The magmatic and eruptive response of arc volcanoes to deglaciation: Insights from southern Chile. *Geology*, 44(4), 251-254.

Rawson, H., Keller, T., Fontijn, K., Pyle, D. M., Mather, T. A., Smith, V. C., & Naranjo, J. A. (2016b). Compositional variability in mafic arc magmas over short spatial and temporal scales: evidence for the signature of mantle reactive melt channels. *Earth and Planetary Science Letters*, 456, 66-77.

Renau-Piqueras, J. & Faura, M. (1994). Principios básicos del microscopio electrónico de barrido.

Rodríguez, C., Pérez, Y., Moreno, H., Clayton, J., Antinao, J. L., Duhart, P., & Martín, M. (1999). Área de Panguipulli-Riñihue, Región de Los Lagos. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos*, 10(1).

Rutherford, M. J., Devine, J. D., & Sherrod, D. R. (2004). Magmatic conditions and processes in the storage zone of the 2004–2006 Mount St. Helens dacite. *A volcano rekindled: the renewed eruption of Mount St. Helens, 2006(1750)*, 703-725.

SERNAGEOMIN (2019). Ranking de Riesgo Específico de Volcanes Activos en Chile.

SERNAGEOMIN (2020). Mapa libro Volcanes activos de Chile – Ranking Volcánico 2020.

- Singer, B.S., Jicha, B.R., Harper, M.A., Naranjo, J.A., Lara, L.E., and MorenoRoa, H., (2008).** Eruptive history, geochronology, and magmatic evolution of the Puyehue-Cordón Caulle volcanic complex, Chile: *Geological Society of America Bulletin*, v. 120, p. 599–618, doi:10.1130/B26276.1.
- Smith, P. M., & Asimow, P. D. (2005).** Adibat 1ph: A new public front-end to the MELTS, pMELTS, and pHMELTS models. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 6(2).
- Somoza, R., (1998).** Updated Nazca (Farallon)-South America relative motions during the last 40 My: implications for the mountain building in the central Andean region. *Journal of South American Earth Sciences* 11, 211–215.
- Stern, C. R., Futa, K., Muehlenbachs, K., Dobbs, F. M., Munoz, J., Godoy, E., & Charrier, R. (1984).** Sr, Nd, Pb and O isotope composition of Late Cenozoic volcanics, northernmost SVZ (33–34° S). In *Andean magmatism* (pp. 96-105). Birkhäuser Boston.
- Stern, C. (2004).** Active Andean volcanism: its geologic and tectonic setting. *Revista Geológica de Chile*, vol. 31, No.2, pp. 161-206.
- Streck, M. J. (2008).** Mineral textures and zoning as evidence for open system processes. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 69(1), 595-622.
- Tassara, A., Yáñez, G., (2003).** Relación entre el espesor elástico de la litósfera y la segmentación tectónica del margen andino (15–47°S). *Revista Geológica de Chile* 30, 159–186.
- Tašárová, Z. A. (2007).** Towards understanding the lithospheric structure of the southern Chilean subduction zone (36 S–42 S) and its role in the gravity field. *Geophysical Journal International*, 170(3), 995-1014.
- Tormey, D. R., Hickey-Vargas, R., Frey, F. A., & López-Escobar, L. (1991).** Recent lavas from the Andean volcanic front (33 to 42 S); interpretations of along-arc compositional variations. *Geological Society of America special paper*, 265, 57-77.
- Vernon, R.H., Johnson, S.E., Melis, E.A., (2004).** Emplacement-related microstructures in the margin of a deformed tonalite pluton: the San José pluton, Baja California, México. *J. Struct. Geol.* 26, 1867–1884.
- Vidal Gormaz, F. (1869).** Exploración del río Calle-Calle, provincia de Valdivia. XXXII. In *Anales de la Universidad de Chile* (pp. 34-35).
- Waters, L.E., Andrews, B.J., and Lange, R.A. (2015).** Rapid crystallization of plagioclase phenocrysts in silicic melts during fluid-saturated ascent: Phase equilibrium and decompression experiments. *Journal of Petrology*, 56, 981–1006.
- Watt, S.F.L., Pyle, D.M., and Mather, T.A., (2013).** The volcanic response to deglaciation: Evidence from glaciated arcs and a reassessment of global eruption records: *Earth-Science Reviews*, v. 122, p. 77–102, doi:10.1016/j.earscirev.2013.03.007.
- Wilson, M. (Ed.). (1989).** *Igneous petrogenesis*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Zhou, W., Apkarian, R., Wang, Z. L., & Joy, D. (2006).** Fundamentals of scanning electron microscopy (SEM). In *Scanning microscopy for nanotechnology* (pp. 1-40). Springer, New York, NY.

## Anexos

### A.1 Ubicación de muestras

**Tabla A.1:** Ubicación de las muestras de la erupción de 1864 (Modificado de Mallea-Lillo *et al.*, 2021).

Código	Corte	Unidad	Material	Este (m)	Norte (m)	Huso	Ubicación relativa
1864-1	Lava 1864-1	Erupción 1864	Lava	749848	5575477	19H	Lava tipo bloque erupción 1864
1864-2	Lava 1864-2	Erupción 1864	Lava	749848	5575477	19H	Lava tipo bloque erupción 1864
1864-3	Lava 1864-3	Erupción 1864	Lava	749842	5575428	19H	Lava tipo bloque erupción 1864
1864-4	Lava 1864-4	Erupción 1864	Lava	749396	5575498	19H	Lava tipo bloque erupción 1864
1864-5	Lava 1864-5	Erupción 1864	Lava	749353	5575401	19H	Lava tipo bloque erupción 1864

SOLO USO ACADÉMICO

## A.2 Geoquímica de roca total

**Tabla A.2:** Análisis de geoquímica de roca total de las cinco muestras de lava correspondientes a la erupción de 1864. FeO determinado por Titration. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\* corresponde al Fe total expresado como Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (resultado entregado por laboratorio) (Extraído de Mallea-Lillo *et al.*, 2021).

	DL	1864-1	1864-2	1864-3	1864-4	1864-5
SiO <sub>2</sub>	0.01 (%)	62.99	62.95	63.03	62.88	62.81
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01 (%)	15.91	15.93	16.02	16.09	16.05
FeO	0.2 (%)	4.46	3.81	4.41	4.5	4.45
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	0.04 (%)	6.37	6.37	6.44	6.4	6.41
MgO	0.01 (%)	1.7	1.71	1.74	1.71	1.72
CaO	0.01 (%)	4.28	4.33	4.36	4.32	4.35
Na <sub>2</sub> O	0.01 (%)	5.24	5.22	5.27	5.3	5.29
K <sub>2</sub> O	0.01 (%)	1.6	1.59	1.61	1.62	1.61
TiO <sub>2</sub>	0.01(%)	1.09	1.09	1.09	1.1	1.1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01 (%)	0.35	0.35	0.36	0.36	0.35
MnO	0.01 (%)	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.002 (%)	0.011	0.007	0.008	0.006	0.013
LOI		0.1	0.1	-0.3	-0.2	-0.1
Cs	0.1 (ppm)	2.4	2.9	2.8	2.8	2.6
Rb	0.1 (ppm)	38.1	39.9	38.9	38.9	38.2
Ba	1 (ppm)	492	502	479	487	483
Th	0.2 (ppm)	4.4	3.6	4	4.1	4
U	0.1 (ppm)	1.2	1.2	1.2	1.3	1.2
Nb	0.1 (ppm)	4.4	4.6	4.6	4.8	4.8
Ta	0.1 (ppm)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
La	0.1 (ppm)	22.3	22	20.1	21.2	22.2
Ce	0.1 (ppm)	48.7	47.4	47.6	45.2	46.1
Pr	0.02 (ppm)	6.12	6.15	6.02	6.08	6.08
Sr	0.5 (ppm)	391.3	405.6	392.8	387.9	388.7
Nd	0.3 (ppm)	27.6	26.4	28	26.9	27.2
Zr	0.1 (ppm)	174.4	174.9	173.1	172.7	174.2
Sm	0.05 (ppm)	6.46	6.67	6.41	6.59	6.51
Eu	0.02 (ppm)	1.84	1.77	1.86	1.89	1.77
Gd	0.05 (ppm)	7.3	7.08	7.23	7.27	7.17
Tb	0.01 (ppm)	1.12	1.09	1.09	1.1	1.09
Dy	0.05 (ppm)	6.81	6.99	6.72	6.87	6.98
Ho	0.02 (ppm)	1.38	1.44	1.48	1.44	1.42
Tm	0.01 (ppm)	0.6	0.57	0.6	0.59	0.6
Y	0.1 (ppm)	37.8	37.6	37.3	38.5	37

Er	0.03 (ppm)	4.23	4.2	4.17	4.28	4.24
Yb	0.05 (ppm)	3.89	3.95	3.81	3.87	3.99
Lu	0.01 (ppm)	0.58	0.62	0.6	0.58	0.59

---

SOLO USO ACADÉMICO

### A.3 Petrografía

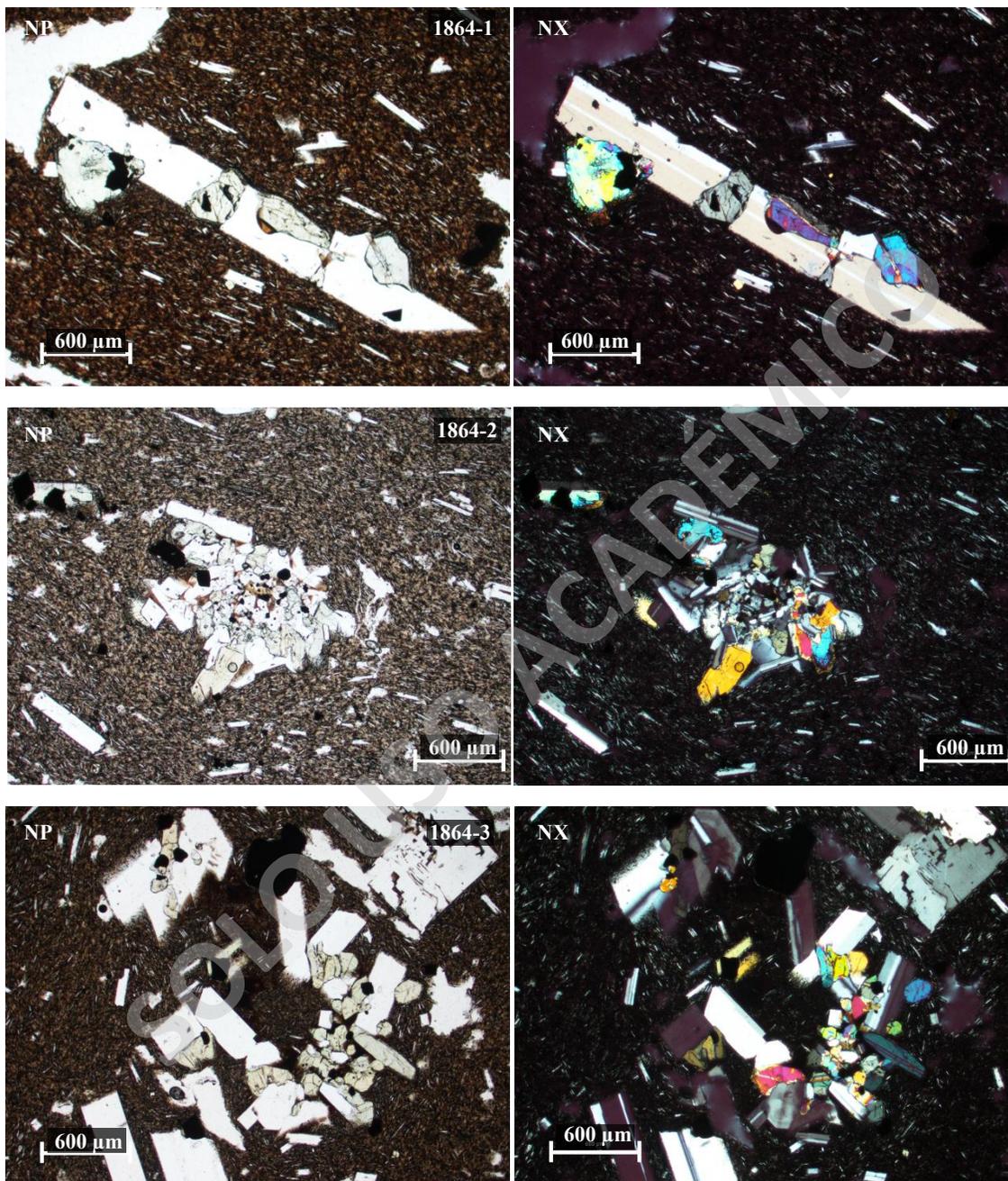
**Tabla A.3:** Descripciones petrográficas de las muestras de lava correspondientes a la erupción de 1864, mediante microscopio óptico.

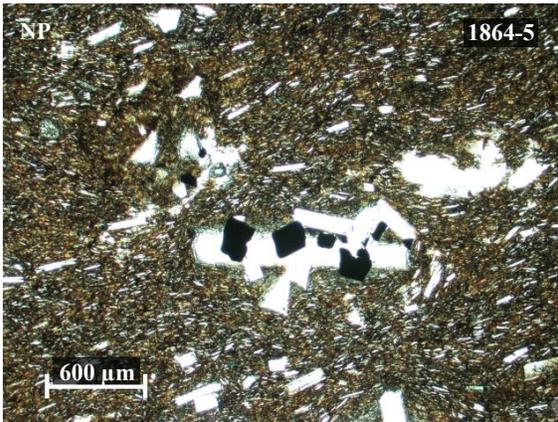
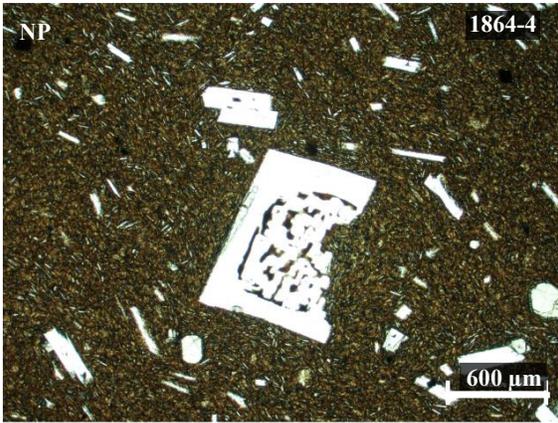
Corte	Fenocristales (%)	Masa fundamental (%)	Vidrio (%)	Vesículas (%)	Texturas	Mineralogía	%
Lava 1864-1	25	45	10	20	Porfírica, inequigranular, hipocristalina, hipidiomórfica, glomeroporfírica, vesicular, poiquilítica	Plagioclasa Clinopiroxeno Ortopiroxeno Óxidos de Fe-Ti	60 20 10 10
Lava 1864-2	35	50	15	0	Porfírica, Hipocristalina, inequigranular, hipidiomórfica, glomeroporfírica, zonación, vesicular, poiquilítica, bordes de decomposición, bordes de reabsorción	Plagioclasa Clinopiroxeno Ortopiroxeno Óxidos de Fe-Ti	60 20 10 10
Lava 1864-3	25	55	5	15	Porfírica, Hipocristalina, inequigranular, hipidiomórfica, glomeroporfírica, zonación, vesicular, poiquilítica, bordes de decomposición	Plagioclasa Clinopiroxeno Ortopiroxeno Óxidos de Fe-Ti	60 20 10 10
Lava 1864-4	25	55	15	5	Porfírica, Hipocristalina, inequigranular, hipidiomórfica, glomeroporfírica, zonación, vesicular, poiquilítica, bordes de decomposición, coronítica	Plagioclasa Clinopiroxeno Ortopiroxeno Óxidos de Fe-Ti	60 25 5 10
Lava 1864-5	35	50	10	5	Porfírica, Hipocristalina, inequigranular, hipidiomórfica, glomeroporfírica, zonación, vesicular, poiquilítica, bordes de decomposición, coronítica, traquítica	Plagioclasa Clinopiroxeno Ortopiroxeno Óxidos de Fe-Ti	70 15 5 10

Familias	Tamaño moda	Diámetro mayor	Diámetro menor	Observaciones específicas
2	0,5 mm	2,5 mm	0,5 mm	Macla de carlsbad, piroxenos dentro de fenocristales de plg
1	1 mm	1 mm	0,125 mm	Cxs euhedrales en general con presencia de bordes de reacción
1	0,4 mm	0,9 mm	0,125 mm	Cxs subhedrales
1	0,08 mm	0,25 mm	0,03 mm	Euhedrales y en su mayoría cúbicos.
2	0,07 mm	< 2,5 mm	0,04 mm	Zonación, cxs euhedrales, macla de carlsbad, bordes de reabsorción
2	0,125 mm	0,6 mm	0,04 mm	Macla de carlsbad, cxs euhedrales
1	0,08 mm	0,125 mm	0,08 mm	Cxs subhedrales
1	0,05 mm	0,06 mm	0,025 mm	Euhedrales, en su mayoría.
2	0,45 mm	2 mm	0,3 mm	Zonación oscilatoria, maclas carlsbad y polisintética.
1	0,3 mm	1,1 mm	0,1 mm	Macla carlsbad, bordes de descomposición Euhedrales
1	0,08 mm	0,2 mm	0,05 mm	Bordes de descomposición. Subhedrales
1	0,06 mm	0,25 mm	0,03 mm	Subhedrales en su mayoría.
2	0,3 mm	1,75 mm	0,35 mm	Maclas polisintéticas y carlsbad. Zonación y cxs subhedrales.
1	0,4 mm	0,83 mm	0,05 mm	Cxs euhedrales, textura coronítica, bordes de descomposición y maclas carlsbad.
1	0,23 mm	0,35 mm	0,1 mm	Maclas carlsbad, subhedrales.
1	0,06 mm	0,23 mm	0,03 mm	Subhedrales en su mayoría.
2	0,4 mm	2,8 mm	0,5 mm	Maclas polisintéticas y carlsbad. Subhedrales. Zonación
1	0,45 mm	1,2 mm	0,1 mm	Textura coronítica y bordes de descomposición, maclas carlsbad. Euhedrales
1	0,15 mm	0,4 mm	0,035 mm	Maclas carlsbad, subhedrales.
1	0,1 mm	0,3 mm	0,03 mm	

Observaciones generales	Nombre
Cúmulos cristalinos de plg y piroxenos. Cpx = Opx. Piroxenos con textura coronítica. Vesículas irregulares y alargadas. Las más pequeñas siguen la misma dirección de la textura traquítica presente en la masa fundamental.	Andesita de cpx y opx.
Cúmulos cristalinos de plagioclasa y piroxenos. Textura traquítica en masa fundamental. Plagioclasas con textura de reabsorción. Cpx > Opx. Textura coronítica en Cpx. Xenolitos de rocas de igual composición.	Andesita de clinopiroxeno.
Cúmulos cristalinos de Plg y Piroxenos. Cpx > Opx. Piroxenos inmersos en fenocristales de Plg. Óxidos abundantes en la masa fundamental. Numerosas vesículas irregulares y alargadas. Textura traquítica en ciertos sectores de masa fundamental. Cxs de plg en su mayoría con sieve y textura de reabsorción. Xenolitos de roca con composición similar. Cpx con textura coronítica.	Andesita de clinopiroxeno.
Cúmulos cristalinos de Plg y Piroxenos. Piroxenos inmersos en fenocristales de Plg. Cpx = Opx. Óxidos abundantes en la masa fundamental. Vesículas irregulares y alargadas. Presencia de xenolitos de composición similar a la muestra. Plg con textura de reabsorción.	Andesita de cpx y opx.
Cúmulos cristalinos de Plg y Piroxenos. Piroxenos inmersos en fenocristales de Plg. Cpx > Opx. Óxidos abundantes en la masa fundamental. Vesículas irregulares y alargadas. Textura traquítica en masa fundamental donde algunas vesículas siguen la misma dirección. Plg con texturas de reabsorción.	Andesita de clinopiroxeno.

**Figura A.3:** Fotografías de las muestras de lava correspondientes a la erupción de 1864, mediante microscopio óptico (Nikon Eclipse E200).





SOLO USO ACADÉMICO

## A.4 Química mineral

**Tabla A.4.1:** Análisis de química mineral mediante microscopio electrónico de barrido (SEM) de fenocristales de plagioclasa.

Espectro	Proporción peso óxidos (wt.%)							Anortita	Albita	Ortoclasa	Total	Ubicación
	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	FeO	K <sub>2</sub> O	Total					
15	10.68	28.41	5.22	54.82	0.44	0.14	99.70	52.62	46.57	0.81	100	Borde
16	10.68	28.41	5.22	54.58	0.44	0.14	99.46	52.62	46.57	0.81	100	Centro
17	10.86	28.47	5.08	54.46	0.44	0.14	99.45	53.72	45.47	0.81	100	Centro
18	10.32	27.86	5.44	55.21	0.44	0.14	99.41	50.77	48.42	0.81	100	Borde
19	8.21	26.31	6.52	57.36	0.44	0.28	99.12	40.38	58.00	1.62	100	Centro
20	8.37	26.31	6.52	57.36	0.30	0.28	99.13	40.85	57.54	1.61	100	Centro
21	8.37	26.53	6.36	56.87	0.44	0.28	98.85	41.42	56.95	1.63	100	Centro
29	10.55	28.06	5.32	54.35	0.75	0.28	99.30	51.44	46.93	1.62	100	Borde
30	9.74	27.40	5.63	55.84	0.75	0.14	99.50	48.46	50.71	0.83	100	Centro
31	9.62	27.31	5.82	55.85	0.45	0.14	99.18	47.37	51.81	0.82	100	Centro
32	4.72	21.09	7.06	62.93	1.35	0.84	97.99	25.52	69.07	5.41	100	Centro
40	9.91	27.65	5.48	54.66	0.60	0.28	98.59	49.16	49.19	1.65	100	Borde
41	10.45	28.02	5.27	54.59	0.59	0.14	99.06	51.87	47.32	0.82	100	Centro
42	10.53	27.77	5.31	54.72	0.60	0.14	99.06	51.87	47.32	0.82	100	Centro
50	10.78	28.45	5.12	54.34	0.44	0.14	99.27	53.35	45.83	0.82	100	Borde
51	10.65	28.33	5.13	54.28	0.45	0.14	98.98	52.98	46.20	0.82	100	Centro
52	10.69	28.21	5.31	54.72	0.45	0.14	99.51	52.25	46.94	0.81	100	Centro
53	10.66	28.15	5.29	54.10	0.45	0.28	98.93	51.83	46.56	1.61	100	Borde
54	10.16	27.86	5.44	54.71	0.59	0.14	98.90	50.37	48.81	0.82	100	Centro
55	10.84	28.61	5.06	53.98	0.60	0.14	99.24	53.73	45.44	0.83	100	Borde
56	8.86	26.80	6.17	56.43	0.30	0.28	98.84	43.52	54.82	1.65	100	Centro
57	8.25	26.07	6.52	57.27	0.30	0.28	98.69	40.47	57.87	1.66	100	Centro
58	8.70	26.61	6.17	56.75	0.30	0.28	98.82	43.06	55.27	1.67	100	Centro
59	10.84	28.60	5.14	53.80	0.46	0.14	98.99	53.35	45.81	0.84	100	Centro
60	10.74	28.33	5.25	54.56	0.46	0.14	99.48	52.60	46.57	0.83	100	Borde
61	8.61	26.39	6.22	56.96	0.46	0.29	98.92	42.60	55.72	1.68	100	Centro
78	10.98	28.54	5.05	53.86	0.60	0.14	99.17	54.10	45.07	0.83	100	Borde
79	10.37	28.01	5.39	54.61	0.45	0.14	98.98	51.08	48.08	0.83	100	Centro
80	10.66	28.13	5.22	54.17	0.45	0.14	98.78	52.60	46.57	0.83	100	Centro
106	10.53	28.22	5.16	54.44	0.46	0.14	98.95	52.57	46.57	0.86	100	Borde
107	10.17	27.93	5.46	54.82	0.46	0.14	98.99	50.28	48.88	0.84	100	Centro
108	9.52	27.28	5.79	55.65	0.46	0.14	98.85	47.18	51.97	0.85	100	Centro
109	9.54	27.12	5.81	55.53	0.46	0.14	98.60	47.18	51.97	0.85	100	Centro
110	9.87	27.57	5.65	55.53	0.46	0.14	99.23	48.73	50.42	0.85	100	Centro
111	11.17	28.60	4.98	54.31	0.61	0.14	99.82	54.88	44.28	0.84	100	Borde
132	8.78	26.44	6.18	56.51	0.78	0.29	98.98	43.22	55.08	1.70	100	Borde
133	11.21	28.58	4.95	54.26	0.72	0.13	99.84	55.14	44.08	0.78	100	Centro
134	12.55	30.13	4.33	52.36	0.71	0.00	100.08	61.56	38.44	0.00	100	Centro
135	12.61	29.98	4.21	51.94	0.62	0.14	99.51	61.79	37.36	0.84	100	Centro
155	11.02	28.40	5.07	53.94	0.47	0.15	99.04	54.13	45.02	0.85	100	Borde
156	10.33	28.14	5.39	54.91	0.47	0.15	99.38	51.01	48.13	0.86	100	Centro

157	10.50	28.14	5.22	54.13	0.62	0.15	98.76	52.17	46.96	0.86	100	Borde
204	10.28	27.77	5.52	55.16	0.46	0.15	99.35	50.28	48.88	0.84	100	Centro
205	10.46	28.26	5.21	54.45	0.62	0.15	99.15	52.17	46.96	0.86	100	Borde
206	6.58	24.39	6.99	59.09	0.78	0.44	98.27	33.31	64.06	2.63	100	Centro
207	9.96	27.58	5.53	55.48	0.62	0.15	99.32	49.45	49.70	0.86	100	Centro
208	10.27	27.97	5.36	55.09	0.62	0.14	99.45	51.01	48.13	0.86	100	Centro

SOLO USO ACADÉMICO

## A.4 Química mineral

**Tabla A.4.2:** Análisis de química mineral mediante microscopio electrónico de barrido (SEM) de fenocristales de clinopiroxeno.

Espectro	Proporción peso óxidos (wt.%)										Wo	En	Fs	Total	Ubicación_
	FeO	MgO	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Total					
1	10.12	14.90	52.16	20.12	1.91	0.00	0.75	0.44	0.00	100.40	41.27	42.53	16.20	100	Centro
2	24.83	17.03	51.19	3.22	0.00	0.00	0.38	1.31	0.00	97.95	6.95	51.18	41.87	100	Borde
3	10.23	15.41	52.22	19.90	1.48	0.00	0.56	0.58	0.34	100.72	40.34	43.47	16.19	100	Centro
6	10.01	14.95	52.10	20.35	1.70	0.00	0.75	0.58	0.00	100.44	41.56	42.49	15.95	100	Centro
7	10.16	15.34	52.15	19.58	1.71	0.00	0.56	0.58	0.17	100.27	40.07	43.69	16.24	100	Centro
8	24.54	16.84	50.71	4.58	0.00	0.00	0.38	1.17	0.00	98.20	9.71	49.68	40.61	100	Borde
9	10.11	15.26	52.10	19.63	1.91	0.00	0.75	0.58	0.00	100.33	40.27	43.55	16.18	100	Centro
10	9.96	15.07	52.10	20.26	1.91	0.00	0.56	0.43	0.00	100.30	41.34	42.79	15.87	100	Centro
11	10.26	15.09	51.92	19.81	1.91	0.00	0.75	0.44	0.00	100.17	40.58	43.01	16.41	100	Centro
12	9.96	15.07	52.10	20.10	1.91	0.00	0.75	0.43	0.00	100.33	41.15	42.93	15.92	100	Centro
13	10.14	15.12	52.04	19.85	2.13	0.00	0.75	0.58	0.00	100.61	40.68	43.11	16.22	100	Centro
14	9.97	15.27	52.40	20.12	1.49	0.00	0.56	0.58	0.00	100.40	40.93	43.23	15.84	100	Centro
26	23.63	17.70	50.84	4.18	0.00	0.00	0.38	1.19	0.00	97.92	8.84	52.12	39.04	100	Borde
27	10.01	15.36	52.14	20.01	1.73	0.00	0.57	0.44	0.00	100.26	40.67	43.45	15.88	100	Centro
28	13.04	12.84	51.41	19.60	1.72	0.00	0.57	0.74	0.17	100.09	41.14	37.50	21.36	100	Centro
33	18.00	22.05	48.82	4.33	0.87	0.00	0.38	0.74	0.00	95.19	8.83	62.54	28.63	100	Centro
43	23.84	17.83	50.67	4.00	0.00	0.00	0.38	1.18	0.00	97.91	8.44	52.31	39.25	100	Borde
44	11.15	15.31	52.45	18.83	1.29	0.00	0.57	0.59	0.00	100.18	38.55	43.63	17.82	100	Centro
62	10.77	15.40	52.50	19.25	1.30	0.00	0.57	0.59	0.00	100.39	39.23	43.65	17.13	100	Borde
63	11.21	14.26	51.76	19.74	1.95	0.00	0.77	0.59	0.00	100.28	40.84	41.05	18.11	100	Centro
64	11.84	14.12	51.70	19.48	1.96	0.00	0.58	0.59	0.00	100.27	40.28	40.61	19.11	100	Centro
65	23.56	17.76	51.02	4.35	0.00	0.00	0.38	1.19	0.00	98.27	9.17	52.07	38.76	100	Borde
66	23.68	17.74	50.71	4.35	0.00	0.00	0.38	1.19	0.00	98.06	9.15	51.95	38.91	100	Borde
67	23.79	17.63	50.45	4.21	0.00	0.00	0.58	1.19	0.00	97.86	8.89	51.85	39.26	100	Borde
68	9.83	15.31	52.20	20.10	1.72	0.00	0.57	0.44	0.35	100.53	40.96	43.41	15.63	100	Centro
75	23.46	17.52	50.44	4.23	0.00	0.00	0.58	1.20	0.00	97.42	9.01	51.96	39.03	100	Borde
76	10.26	14.76	51.44	20.06	1.97	0.00	0.77	0.60	0.00	99.85	41.27	42.25	16.48	100	Centro
77	9.98	14.97	51.75	20.08	1.97	0.00	0.77	0.60	0.00	100.11	41.24	42.77	15.99	100	Centro
85	23.98	17.49	50.66	4.43	0.00	0.00	0.39	1.21	0.00	98.16	9.33	51.25	39.42	100	Borde
86	10.03	15.05	52.05	20.52	1.98	0.00	0.58	0.45	0.00	100.67	41.63	42.48	15.89	100	Centro
87	11.07	14.46	51.24	19.69	2.42	0.00	0.97	0.60	0.00	100.44	40.64	41.53	17.84	100	Centro
88	10.93	14.09	51.30	20.20	2.42	0.47	0.78	0.60	0.00	100.79	41.79	40.56	17.66	100	Centro
89	12.58	14.47	50.06	18.08	2.64	0.00	0.97	0.60	0.00	99.40	37.64	41.92	20.44	100	Centro
90	10.60	14.23	51.12	20.13	2.41	0.31	0.77	0.60	0.00	100.18	41.76	41.08	17.16	100	Centro
93	11.06	14.83	51.43	19.18	1.98	0.00	0.77	0.60	0.00	99.84	39.59	42.59	17.82	100	Centro
98	24.24	17.12	50.59	4.03	0.68	0.00	0.40	1.24	0.00	98.31	8.62	50.92	40.46	100	Borde
99	9.69	14.63	51.09	20.74	2.45	0.32	0.98	0.46	0.00	100.34	42.63	41.83	15.54	100	Centro
100	10.00	14.64	51.15	20.44	2.67	0.32	0.79	0.46	0.00	100.46	42.03	41.91	16.06	100	Centro
102	23.04	17.31	50.50	5.31	0.00	0.00	0.59	1.23	0.00	97.98	11.21	50.82	37.97	100	Borde
103	10.62	14.66	50.45	19.96	3.12	0.32	1.18	0.46	0.00	100.77	41.03	41.93	17.04	100	Centro
104	10.47	14.86	51.46	19.80	2.67	0.32	0.79	0.46	0.00	100.82	40.70	42.50	16.80	100	Centro
112	24.84	18.07	50.44	2.98	0.00	0.00	0.40	1.22	0.00	97.96	6.28	52.91	40.81	100	Borde
115	19.38	22.22	51.01	2.66	1.34	0.00	0.59	0.92	0.00	98.12	5.45	63.49	31.06	100	Centro
116	24.20	17.37	50.17	4.16	0.00	0.00	0.40	1.23	0.00	97.53	8.82	51.18	40.00	100	Borde
119	23.58	17.37	50.68	4.83	0.00	0.00	0.40	1.08	0.00	97.93	10.19	50.98	38.83	100	Borde
120	10.13	15.00	51.79	20.22	1.55	0.32	0.59	0.61	0.18	100.38	41.27	42.59	16.13	100	Centro
121	10.48	15.07	51.52	19.66	2.23	0.00	0.79	0.46	0.00	100.21	40.28	42.96	16.76	100	Centro
131	11.01	15.18	51.38	19.30	2.25	0.00	0.79	0.46	0.00	100.37	39.37	43.09	17.54	100	Borde

138	9.73	14.70	50.32	20.34	3.57	0.00	0.99	0.31	0.36	100.32	42.04	42.26	15.70	100	Centro
139	9.93	14.77	50.56	20.44	3.37	0.32	0.99	0.46	0.00	100.83	41.94	42.16	15.91	100	Centro
144	12.37	13.98	51.07	19.11	2.24	0.32	0.79	0.61	0.00	100.50	39.63	40.34	20.03	100	Borde
145	8.95	15.25	51.46	20.62	2.67	0.32	0.79	0.30	0.36	100.73	42.24	43.45	14.31	100	Centro
146	9.17	15.16	51.07	20.61	3.14	0.00	0.79	0.46	0.00	100.39	42.18	43.18	14.65	100	Centro
152	9.99	15.05	51.88	20.39	2.03	0.00	0.60	0.46	0.00	100.41	41.51	42.62	15.87	100	Centro
153	23.63	17.71	50.59	4.03	0.00	0.00	0.40	1.24	0.00	97.60	8.56	52.30	39.14	100	Borde
161	23.57	17.27	50.47	4.36	0.45	0.00	0.40	1.24	0.00	97.76	9.31	51.36	39.32	100	Centro
162	10.89	14.82	51.76	19.51	2.03	0.00	0.80	0.62	0.00	100.42	40.12	42.40	17.47	100	Borde
163	11.19	13.83	50.49	19.85	3.15	0.48	1.19	0.46	0.00	100.64	41.49	40.24	18.27	100	Centro
167	22.62	16.66	50.16	6.19	0.68	0.00	0.40	1.08	0.00	97.78	13.17	49.28	37.55	100	Borde
168	11.71	15.68	52.27	18.10	1.36	0.00	0.40	0.77	0.00	100.29	36.89	44.48	18.63	100	Centro
189	10.25	15.38	52.66	19.63	1.35	0.00	0.40	0.61	0.00	100.27	40.04	43.64	16.32	100	Centro
194	10.21	14.93	51.96	20.23	2.01	0.00	0.79	0.46	0.00	100.59	41.30	42.42	16.28	100	Centro
195	23.76	17.59	50.49	4.17	0.00	0.00	0.40	1.08	0.00	97.48	8.84	51.85	39.31	100	Borde
196	10.07	14.95	52.28	20.25	2.02	0.32	0.59	0.46	0.00	100.93	41.40	42.52	16.08	100	Centro
197	23.98	17.63	50.61	4.01	0.00	0.00	0.40	1.23	0.00	97.85	8.49	51.90	39.61	100	Borde
198	11.49	14.80	51.19	18.82	2.47	0.32	0.79	0.61	0.00	100.50	38.90	42.57	18.53	100	Centro
199	24.80	15.68	50.47	4.19	0.68	0.00	0.40	1.24	0.00	97.46	9.23	48.10	42.67	100	Borde
201	10.50	14.32	50.89	20.20	2.68	0.00	0.99	0.46	0.00	100.04	41.80	41.23	16.97	100	Centro
202	10.82	14.34	50.95	20.23	2.69	0.48	0.99	0.46	0.00	100.95	41.60	41.03	17.37	100	Centro
203	10.21	14.93	52.21	20.39	1.79	0.00	0.59	0.46	0.00	100.59	41.50	42.27	16.22	100	Centro

## A.4 Química mineral

**Tabla A.4.3:** Análisis de química mineral mediante microscopio electrónico de barrido (SEM) de fenocristales de ortopiroxeno.

Espectro	Proporción de Óxidos (wt.%)							Wo	En	Fs	Total	Ubicación	
	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>						
22	51.76	1.60	23.57	18.88	0.87	0.89	0.38	97.96	3.26	66.74	29.99	100	Centro
23	51.71	1.60	23.36	19.01	0.65	0.89	0.38	97.59	3.27	66.41	30.32	100	Centro
25	51.76	1.61	23.87	18.23	0.65	0.89	0.19	97.21	3.29	67.71	29.00	100	Centro
34	51.61	1.47	23.38	18.74	0.88	0.90	0.39	97.37	3.02	66.90	30.09	100	Centro
45	51.62	1.46	22.89	19.70	0.88	0.90	0.19	97.64	3.00	65.41	31.59	100	Centro
73	51.30	1.63	23.35	19.02	1.10	0.75	0.39	97.54	3.33	66.35	30.32	100	Centro
74	51.30	1.63	23.35	19.02	0.88	0.90	0.39	97.47	3.33	66.35	30.32	100	Centro
94	51.28	1.48	22.79	19.65	0.89	0.76	0.39	97.24	3.05	65.34	31.61	100	Centro
95	51.04	1.47	23.46	19.11	1.10	0.76	0.39	97.33	3.00	66.58	30.42	100	Centro
96	51.16	1.31	23.52	19.30	1.11	0.91	0.39	97.70	2.67	66.64	30.69	100	Centro
97	51.36	1.63	22.99	19.34	0.88	0.75	0.39	97.35	3.35	65.66	30.99	100	Centro
101	51.08	1.98	23.91	17.64	1.34	0.76	0.39	97.11	4.05	67.86	28.09	100	Centro
105	51.58	1.66	24.22	17.72	1.35	0.61	0.40	97.53	3.38	68.50	28.12	100	Centro
113	51.51	1.67	22.72	20.24	0.90	0.92	0.40	98.36	3.40	64.42	32.19	100	Borde
114	51.77	1.66	23.21	19.84	0.67	0.77	0.40	98.31	3.36	65.32	31.33	100	Centro
122	51.52	1.49	23.21	19.07	1.12	0.92	0.40	97.72	3.07	66.34	30.59	100	Centro
150	51.63	1.50	23.57	19.06	0.68	0.77	0.20	97.41	3.06	66.69	30.25	100	Centro
172	51.56	1.51	23.26	19.28	0.91	0.93	0.40	97.84	3.09	66.15	30.77	100	Centro
173	50.35	1.84	19.61	23.82	0.00	1.08	0.40	97.10	3.85	57.18	38.97	100	Centro
174	51.18	1.51	23.40	19.08	0.90	0.77	0.40	97.24	3.08	66.50	30.42	100	Centro
176	51.81	1.51	23.85	18.66	0.00	0.77	0.20	96.81	3.06	67.36	29.57	100	Centro
179	50.98	1.68	22.63	19.87	0.91	0.93	0.40	97.40	3.44	64.69	31.87	100	Centro
183	51.56	1.51	23.65	18.97	0.68	0.77	0.40	97.55	3.07	66.85	30.08	100	Centro
184	51.50	1.51	23.23	19.26	0.91	0.77	0.40	97.57	3.09	66.15	30.77	100	Centro
192	52.08	1.67	23.34	19.03	0.00	0.77	0.20	97.10	3.41	66.27	30.32	100	Centro
200	51.18	1.51	22.80	19.54	1.13	0.77	0.40	97.33	3.11	65.44	31.46	100	Centro

## A.5 Condiciones pre-eruptivas

**Tabla A.5:** Resumen de modelamiento termodinámico de la muestra 1864-2, mediante el *software* rhyolite-MELTS.

Buffer de fO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O (%)	P (kbar)	T (°C)	Total sólidos (%)	Composición mineral
QFM+1	1	1	1079	2.89	Pl An46
QFM+1	1	1	1039.5	20.05	Pl An40
QFM+1	1	2	1087	2.61	Pl An45
QFM+1	1	2	1050	20.04	Pl An39
QFM+1	1	3	1094.5	2.29	Pl An43
QFM+1	1	3	1059.5	20.08	Pl An38
QFM+1	1	4	1100	2.7	Pl An42
QFM+1	1	4	1068	20.18	Pl An37
QFM+1	1	5	1100	6.58	Pl An39
QFM+1	1	5	1076	20.12	Pl An36
QFM+1	1	6	1100	11.02	Pl An37
QFM+1	1	6	1083	20.23	Pl An35
QFM+1	1	7	1100	14.74	Pl An36
QFM+1	1	7	1089.5	20.24	Pl An34
QFM+1	1	8	1100	17.82	Pl An34
QFM+1	1	8	1095.5	20.11	Pl An34
QFM+1	1	5	1100	6.58	Cpx Wo6.9 En58.5 Fs34.6
QFM+1	1	5	1098.5	7.54	Cpx Wo6.9 En58.5 Fs34.6
QFM+1	1	6	1100	11.02	Cpx Wo7.5 En56.3 Fs36.3
QFM+1	1	6	1083	20.23	Cpx Wo7.4 En55.5 Fs37.2
QFM+1	1	7	1100	14.74	Cpx Wo8.3 En53.9 Fs37.9
QFM+1	1	7	1089.5	20.24	Cpx Wo8.2 En53.4 Fs38.4
QFM+1	1	8	1100	17.82	Cpx Wo9.2 En51.5 Fs39.3
QFM+1	1	8	1095.5	20.11	Cpx Wo9.2 En51.2 Fs39.6
QFM+1	1	1	1044	17.94	Opx Wo2.4 En70.3 Fs27.3
QFM+1	1	1	1039.5	20.05	Opx Wo2.4 En70.1 Fs27.6
QFM+1	1	2	1061	14.56	Opx Wo2.5 En69.2 Fs28.3
QFM+1	1	2	1050	20.04	Opx Wo2.5 En68.6 Fs28.9
QFM+1	1	3	1077	10.84	Opx Wo2.6 En68.1 Fs29.3
QFM+1	1	3	1059.5	20.08	Opx Wo2.6 En67.1 Fs30.3
QFM+1	1	4	1092	6.81	Opx Wo2.7 En67.1 Fs30.2
QFM+1	1	4	1068	20.18	Opx Wo2.7 En65.6 Fs31.7
QFM+1	1	5	1099	7.22	Opx Wo2.8 En65.6 Fs31.6
QFM+1	1	5	1076	20.12	Opx Wo2.8 En64.1 Fs33.1
QFM+1	2	1	1027	5.18	Pl An51
QFM+1	2	1	983.5	20.04	Pl An44
QFM+1	2	2	1034.5	4.96	Pl An49

Buffer de fO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O (%)	P (kbar)	T (°C)	Total sólidos (%)	Composición mineral
QFM+1	2	2	993.5	20.04	Pl An43
QFM+1	2	3	1041	4.89	Pl An47
QFM+1	2	3	1002.5	20.06	Pl An42
QFM+1	2	4	1047.5	4.3	Pl An46
QFM+1	2	4	1010.5	20.12	Pl An41
QFM+1	2	5	1054	5.11	Pl An44
QFM+1	2	5	1018	20.05	Pl An40
QFM+1	2	6	1058.5	5.92	Pl An43
QFM+1	2	6	1024.5	20.03	Pl An39
QFM+1	2	7	1058	5.38	Pl An42
QFM+1	2	7	1022.5	20.03	Pl An38
QFM+1	2	8	1061.5	8.58	Pl An39
QFM+1	2	8	1033	20.02	Pl An35
QFM+1	2	9	1060	10.36	Pl An36
QFM+1	2	9	1035.5	20.06	Pl An33
QFM+1	2	10	1053	13.22	Pl An32
QFM+1	2	10	1033.5	20.01	Pl An30
QFM+1	2	8	1100	3.76	Cpx Wo9 En55.6 Fs35.4
QFM+1	2	8	1033	20.02	Cpx Wo11.4 En51.5 Fs37.1
QFM+1	2	9	1100	4.94	Cpx Wo10.9 En 52.8 Fs36.3
QFM+1	2	9	1035.5	20.06	Cpx Wo11.6 En49.7 Fs38.7
QFM+1	2	10	1100	6.21	Cpx Wo13.7 En 49.5 Fs36.7
QFM+1	2	10	1053	20.01	Cpx Wo41.6 En35 Fs23.4
QFM+1	2	1	1000	14.12	Opx Wo2.6 En71.7 Fs25.7
QFM+1	2	1	983.5	20.04	Opx Wo2.6 En71.7 Fs26.3
QFM+1	2	2	1018	10.77	Opx Wo2.8 En70.5 Fs26.8
QFM+1	2	2	993.5	20.04	Opx Wo2.7 En69.6 Fs27.7
QFM+1	2	3	1035	7.12	Opx Wo2.9 En69.4 Fs27.7
QFM+1	2	3	1002.5	20.06	Opx Wo2.9 En68 Fs29.1
QFM+1	2	4	1053	4.3	Opx Wo3 En68.4 Fs28.7
QFM+1	2	4	1010.5	20.12	Opx Wo3 En66.5 Fs30.5
QFM+1	2	5	1074	3.3	Opx Wo2.9 En67.7 Fs29.5
QFM+1	2	5	1018	20.05	Opx Wo3.1 En65 Fs31.9
QFM+1	2	6	1094	2.23	Opx Wo2.8 En67 Fs30.2
QFM+1	2	6	1064	5.29	Opx Wo3.2 En65.5 Fs31.3
QFM+1	2	7	1100	2.16	Opx Wo2.8 En57.3 Fs39.9
QFM+1	2	7	1099	2.23	Opx Wo2.8 En57.1 Fs40
QFM+1	3	1	982.5	6.62	Pl An54
QFM+1	3	1	937.5	20.06	Pl An48
QFM+1	3	2	989.5	6.45	Pl An52

Buffer de fO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O (%)	P (kbar)	T (°C)	Total sólidos (%)	Composición mineral
QFM+1	3	2	947	20.08	Pl An46
QFM+1	3	3	996.5	6.51	Pl An51
QFM+1	3	3	955.5	20.11	Pl An45
QFM+1	3	4	1000.5	7.41	Pl An48
QFM+1	3	4	962.5	20.03	Pl An43
QFM+1	3	5	1002	8.73	Pl An45
QFM+1	3	5	968	20.03	Pl An41
QFM+1	3	6	1002.5	10.05	Pl An42
QFM+1	3	6	972.5	20	Pl An39
QFM+1	3	7	1002	11.36	Pl An40
QFM+1	3	7	975.5	20.11	Pl An37
QFM+1	3	8	1000	12.82	Pl An37
QFM+1	3	8	978	20.05	Pl An35
QFM+1	3	9	992	15.59	Pl An33
QFM+1	3	9	977	20.05	Pl An31
QFM+1	3	10	979	19.72	Pl An29
QFM+1	3	10	978	20	Pl An29
QFM+1	3	4	1007.5	6.49	Cpx Wo43.7 En41.9 Fs14.4
QFM+1	3	4	962.5	20.03	Cpx Wo44 En41.6 Fs14.4
QFM+1	3	5	1021	6.28	Cpx Wo43.2 En41.4 Fs15.4
QFM+1	3	5	1002	8.73	Cpx Wo44 En40.6 Fs15.4
QFM+1	3	6	1034	6.08	Cpx Wo42.6 En41 Fs16.5
QFM+1	3	6	1002.5	10.05	Cpx Wo44 En39.5 Fs16.5
QFM+1	3	7	1047.5	5.76	Cpx Wo41.8 En40.6 Fs17.6
QFM+1	3	7	1022	11.36	Cpx Wo44 En38.4 Fs17.6
QFM+1	3	8	1060.5	5.53	Cpx Wo12 En54.9 Fs33.1
QFM+1	3	8	1000	12.82	Cpx Wo44.1 En37.2 Fs18.7
QFM+1	3	9	1080.5	4.52	Cpx Wo10.7 En55.1 Fs34.2
QFM+1	3	9	1054.5	14.47	Cpx Wo44 En36.1 Fs19.9
QFM+1	3	10	1099	3.65	Cpx Wo9.8 En55 Fs35.2
QFM+1	3	10	1050	13.03	Cpx Wo42.3 En36.7 Fs21
QFM+1	3	3	1006	5.82	Opx Wo3 En70.4 Fs26.6
QFM+1	3	3	955.5	20.11	Opx Wo3.1 En68.6 Fs28.3
QFM+1	3	4	1028	5	Opx Wo2.9 En69.7 Fs27.4
QFM+1	3	4	962.5	20.03	Opx Wo3.1 En67.1 Fs29.9
QFM+1	3	5	1049	4.11	Opx Wo2.8 En69 Fs28.2
QFM+1	3	5	968	20.03	Opx Wo3 En65.5 Fs31.5
QFM+1	3	6	1069	3.16	Opx Wo2.7 En68.3 Fs28.9
QFM+1	3	6	972.5	20	Opx Wo2.9 En63.9 Fs33.2
QFM+1	3	7	1088	2.19	Opx Wo2.7 En67.8 Fs29.6

Buffer de fO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O (%)	P (kbar)	T (°C)	Total sólidos (%)	Composición mineral
QFM+1	3	7	975.5	20.11	Opx Wo2.8 En62.2 Fs35
QFM+1	3	8	1100	1.85	Opx Wo2.7 En66.9 Fs30.5
QFM+1	3	8	978	20.05	Opx Wo2.7 En60.5 Fs36.9
QFM+1	3	9	1100	2.71	Opx Wo2.9 En65.2 Fs31.9
QFM+1	3	9	1000	14.47	Opx Wo3.2 En64 Fs32.8
QFM+1	3	10	1100	3.52	Opx Wo3.1 En63.6 Fs33.3
QFM+1	3	10	1029	13.03	Opx Wo3.1 En63.6 Fs33.3
QFM+1	4	1	960	7.5	Pl An56
QFM+1	4	1	934.5	20.19	Pl An48
QFM+1	4	2	948	8.55	Pl An54
QFM+1	4	2	907	20.03	Pl An48
QFM+1	4	3	950	9.67	Pl An50
QFM+1	4	3	913.5	20.11	Pl An45
QFM+1	4	4	951.5	10.76	Pl An47
QFM+1	4	4	919.5	20.03	Pl An43
QFM+1	4	5	952	11.91	Pl An44
QFM+1	4	5	924	20.06	Pl An41
QFM+1	4	6	951.5	13.06	Pl An41
QFM+1	4	6	927.5	20.06	Pl An38
QFM+1	4	7	950	14.2	Pl An38
QFM+1	4	7	930	20.05	Pl An36
QFM+1	4	8	944.5	16.03	Pl An34
QFM+1	4	8	929.5	20.08	Pl An32
QFM+1	4	5	1001.5	6.56	Cpx Wo44.2 En4.7 Fs14.1
QFM+1	4	5	983.5	8.71	Cpx Wo44.9 En41 Fs14.1
QFM+1	4	6	1014.5	6.36	Cpx Wo43.7 En41.2 Fs15
QFM+1	4	6	994	8.85	Cpx Wo44.6 En40.4 Fs15
QFM+1	4	7	1027	6.18	Cpx Wo43.3 En40.8 Fs15.9
QFM+1	4	7	1000.5	9.42	Cpx Wo44.4 En39.6 Fs16
QFM+1	4	8	1040	5.88	Cpx Wo42.7 En40.5 Fs16.9
QFM+1	4	8	1014.5	9.12	Cpx Wo43.8 En39.2 Fs17
QFM+1	4	9	1052.5	5.62	Cpx Wo42 En40.1 Fs17.9
QFM+1	4	9	1022.5	9.49	Cpx Wo43.4 En38.6 Fs18
QFM+1	4	10	1065.5	5.24	Cpx Wo41.1 En40 Fs18.9
QFM+1	4	10	1005.5	13.29	Cpx Wo44.1 En36.9 Fs19
QFM+1	4	3	948.5	10.08	Opx Wo2.9 En70.1 Fs27
QFM+1	4	3	913.5	20.11	Opx Wo2.8 En68.9 Fs28.3
QFM+1	4	4	1007.5	5.45	Opx Wo2.9 En70.7 Fs26.4
QFM+1	4	4	919.5	20.03	Opx Wo2.7 En67.3 Fs29.9
QFM+1	4	5	1028.5	4.63	Opx Wo2.8 En70.1 Fs27.2

Buffer de fO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O (%)	P (kbar)	T (°C)	Total sólidos (%)	Composición mineral
QFM+1	4	5	924	20.06	Opx Wo2.7 En65.6 Fs31.7
QFM+1	4	6	1048	3.82	Opx Wo2.7 En69.4 Fs27.9
QFM+1	4	6	927.5	20.06	Opx Wo2.6 En63.8 Fs33.6
QFM+1	4	7	1067	2.93	Opx Wo2.6 En68.9 Fs28.5
QFM+1	4	7	930	20.05	Opx Wo2.5 En62 Fs35.5
QFM+1	4	8	1085	2.02	Opx Wo2.5 En68.4 Fs29.1
QFM+1	4	8	947.5	15.66	Opx Wo3.3 En65.7 Fs31
QFM+1	4	9	1100	1.36	Opx Wo2.5 En67.8 Fs29.7
QFM+1	4	9	928	20.69	Opx Wo3.3 En64.9 Fs31.9
QFM+1	4	10	1100	2.19	Opx Wo2.7 En66.3 Fs31
QFM+1	4	10	1005.5	13.29	Opx Wo3.3 En64.1 Fs32.7
QFM+1	5	1	960	8.43	Pl An56
QFM+1	5	1	936	20.24	Pl An49
QFM+1	5	2	908.5	10.88	Pl An54
QFM+1	5	2	874	20.02	Pl An48
QFM+1	5	3	910	11.79	Pl An50
QFM+1	5	3	877.5	20.06	Pl An45
QFM+1	5	4	910	12.86	Pl An46
QFM+1	5	4	882.5	20.06	Pl An43
QFM+1	5	5	909.5	13.84	Pl An43
QFM+1	5	5	886.5	20	Pl An40
QFM+1	5	6	908.5	14.8	Pl An40
QFM+1	5	6	889.5	20	Pl An37
QFM+1	5	7	906	15.96	Pl An36
QFM+1	5	7	891	20.08	Pl An35
QFM+1	5	6	997	6.66	Cpx Wo44.6 En41.5 Fs13.9
QFM+1	5	6	990	8.08	Cpx Wo45 En41 Fs14
QFM+1	5	7	1010	6.41	Cpx Wo44.2 En41.1 Fs14.8
QFM+1	5	7	995	8.22	Cpx Wo44.7 En40.4 Fs14.8
QFM+1	5	8	1022.5	6.18	Cpx Wo43.8 En40.7 Fs15.6
QFM+1	5	8	1010.5	7.69	Cpx Wo44.2 En40.1 Fs15.6
QFM+1	5	9	1035	5.91	Cpx Wo43.3 En40.3 Fs16.4
QFM+1	5	9	995.5	10.55	Cpx Wo44.9 En38.5 Fs16.7
QFM+1	5	10	1047	5.68	Cpx Wo42.7 En40 Fs17.3
QFM+1	5	10	1023.5	13.51	Cpx Wo45.3 En37.1 Fs17.6
QFM+1	5	4	971.5	6.96	Opx Wo3.1 En70.7 Fs26.2
QFM+1	5	4	927	11.43	Opx Wo2.8 En68.9 Fs28.3
QFM+1	5	5	1011	5.02	Opx Wo2.7 En71 Fs26.3
QFM+1	5	5	909.5	6.8	Opx Wo3.1 En69.6 Fs27.3
QFM+1	5	6	1031	4.22	Opx Wo2.6 En70.4 Fs27

Buffer de fO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O (%)	P (kbar)	T (°C)	Total sólidos (%)	Composición mineral
QFM+1	5	6	889.5	20	Opx Wo2.3 En63.4 Fs34.3
QFM+1	5	7	1049.5	3.43	Opx Wo2.6 En69.9 Fs27.6
QFM+1	5	7	891	20.08	Opx Wo2.2 En61.3 Fs36.5
QFM+1	5	8	1067	2.64	Opx Wo2.5 En69.3 Fs28.2
QFM+1	5	8	927.5	15.71	Opx Wo3.2 En66.7 Fs30.1
QFM+1	5	9	1084	1.81	Opx Wo2.5 En68.9 Fs28.7
QFM+1	5	9	957	14.65	Opx Wo3.2 En65.9 Fs30.9
QFM+1	5	10	1100	1.03	Opx Wo2.4 En68.5 Fs29.1
QFM+1	5	10	985	13.51	Opx Wo3.2 En65.1 Fs31.7
QFM+1	6	1	960	9.49	Pl An56
QFM+1	6	1	938	20.16	Pl An49
QFM+1	6	2	892	12.27	Pl An54
QFM+1	6	2	875.5	20.11	Pl An48
QFM+1	6	3	870	13.5	Pl An49
QFM+1	6	3	842	20.07	Pl An44
QFM+1	6	4	869	14.47	Pl An45
QFM+1	6	4	846.5	20.06	Pl An42
QFM+1	6	5	867.5	15.45	Pl An41
QFM+1	6	5	854	19.01	Pl An40
QFM+1	6	8	1005	6.46	Cpx Wo44.6 En40.9 Fs14.5
QFM+1	6	8	996.5	7.48	Cpx Wo45.2 En40.2 Fs14.6
QFM+1	6	9	1017	6.25	Cpx Wo44.3 En40.5 Fs15.2
QFM+1	6	9	1001	8.17	Cpx Wo45.4 En39.2 Fs15.5
QFM+1	6	10	1029	6.01	Cpx Wo43.9 En40.2 Fs16
QFM+1	6	10	1010.5	8.27	Cpx Wo44.6 En39.3 Fs16.1
QFM+1	6	5	995	5.27	Opx Wo2.6 En71.9 Fs25.5
QFM+1	6	5	854	19.01	Opx Wo2.2 En64.3 Fs33.5
QFM+1	6	6	1014	4.59	Opx Wo2.5 En71.3 Fs26.1
QFM+1	6	6	895	14.43	Opx Wo2.4 En65 Fs32.6
QFM+1	6	7	1032.5	3.85	Opx Wo2.5 En70.8 Fs26.7
QFM+1	6	7	853	19.83	Opx Wo3.1 En68.5 Fs28.4
QFM+1	6	8	1050	3.11	Opx Wo2.4 En70.3 Fs27.2
QFM+1	6	8	874.5	20.01	Opx Wo3.1 En67.7 Fs29.2
QFM+1	6	9	1066.5	2.37	Opx Wo2.4 En69.9 Fs27.7
QFM+1	6	9	899.5	19.58	Opx Wo3.1 En66.8 Fs30
QFM+1	6	10	1082.5	1.61	Opx Wo2.4 En69.5 Fs28.2
QFM+1	6	10	971.5	12.51	Opx Wo2.7 En62.8 Fs34.6
QFM+1	7	1	960	10.38	Pl An56
QFM+1	7	1	939.5	20.19	Pl An50
QFM+1	7	2	892	13.13	Pl An54

Buffer de fO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O (%)	P (kbar)	T (°C)	Total sólidos (%)	Composición mineral
QFM+1	7	2	877	20.07	Pl An49
QFM+1	7	3	838	14.75	Pl An47
QFM+1	7	3	828	20.29	Pl An44
QFM+1	7	4	838	15.53	Pl An43
QFM+1	7	4	820.5	20.01	Pl An41
QFM+1	7	5	838	16.26	Pl An40
QFM+1	7	5	823.5	20.05	Pl An38
QFM+1	7	6	836.5	17.16	Pl An37
QFM+1	7	6	825.5	20.09	Pl An36
QFM+1	7	9	1003.5	6.47	Cpx Wo44.9 En40.7 Fs14.4
QFM+1	7	9	998	7.12	Cpx Wo45.1 En40.4 Fs14.5
QFM+1	7	10	1015.5	6.22	Cpx Wo44.6 En40.3 Fs15.1
QFM+1	7	10	1008.5	7.07	Cpx Wo45.2 En39.6 Fs15.3
QFM+1	7	4	838	15.53	Opx Wo2.2 En66.2 Fs31.6
QFM+1	7	4	820.5	20.01	Opx Wo2.1 En65 Fs32.8
QFM+1	7	5	838	16.26	Opx Wo2.1 En63.8 Fs34.1
QFM+1	7	5	823.5	20.05	Opx Wo2 En62.8 Fs35.2
QFM+1	7	6	967	7.05	Opx Wo3.2 En69.9 Fs26.9
QFM+1	7	6	959.5	17.16	Opx Wo2 En61.2 Fs36.8
QFM+1	7	7	1020	4.11	Opx Wo2.4 En71.5 Fs26.1
QFM+1	7	7	837.5	20.01	Opx Wo3 En69.1 Fs27.8
QFM+1	7	8	1037.5	3.4	Opx Wo2.4 En71 Fs26.6
QFM+1	7	8	860.5	20.05	Opx Wo3.1 En68.3 Fs28.6
QFM+1	7	9	1054	2.69	Opx Wo2.3 En70.6 Fs27
QFM+1	7	9	882.5	20.01	Opx Wo3.1 En67.5 Fs29.4
QFM+1	7	10	1069.5	2.01	Opx Wo2.3 En70.2 Fs27.5
QFM+1	7	10	902.5	20.04	Opx Wo3.1 En66.8 Fs30
NNO	1	1	1075	1.68	Pl An46
NNO	1	1	1037	20	Pl An40
NNO	1	2	1082.5	0.95	Pl An44
NNO	1	2	1047	7.88	Pl An42
NNO	1	3	1089.5	0.46	Pl An43
NNO	1	3	1055.5	10.85	Pl An40
NNO	1	4	1096.5	0.76	Pl An41
NNO	1	4	1063.5	20.21	Pl An37
NNO	1	5	1100	3.83	Pl An40
NNO	1	5	1071	20.11	Pl An36
NNO	1	6	1100	8.29	Pl An38
NNO	1	6	1077.5	20.18	Pl An35
NNO	1	7	1100	12.19	Pl An36

Buffer de fO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O (%)	P (kbar)	T (°C)	Total sólidos (%)	Composición mineral
NNO	1	7	1084	20.08	Pl An34
NNO	1	8	1100	15.58	Pl An34
NNO	1	8	1090.5	20.06	Pl An33
NNO	1	9	1100	18.58	Pl An33
NNO	1	9	1096.5	20.11	Pl An33
NNO	1	4	1100	0.76	Cpx Wo6.1 En55.8 Fs38.1
NNO	1	4	1063.5	20.21	Cpx Wo6 En56.4 Fs37.6
NNO	1	5	1100	3.83	Cpx Wo6.5 En53.4 Fs40.1
NNO	1	5	1071	20.11	Cpx Wo6.2 En49.2 Fs44.6
NNO	1	6	1100	8.29	Cpx Wo6.9 En50.4 Fs42.7
NNO	1	6	1077.5	20.18	Cpx Wo6.7 En46.7 Fs46.7
NNO	1	1	1051.5	12.63	Opx Wo2.4 En66.5 Fs31
NNO	1	1	1037	20	Opx Wo2.4 En65.5 Fs32.1
NNO	1	2	1068.5	7.88	Opx Wo2.5 En64.8 Fs32.7
NNO	1	2	1047	20	Opx Wo2.5 En62.9 Fs34.6
NNO	1	3	1074.5	9.32	Opx Wo2.6 En62.3 Fs35.1
NNO	1	3	1055.5	20.1	Opx Wo2.6 En60.4 Fs37.1
NNO	2	1	1024	4.18	Pl An51
NNO	2	1	982.5	20.01	Pl An44
NNO	2	2	1031	3.57	Pl An49
NNO	2	2	992	20	Pl An43
NNO	2	3	1038	3.67	Pl An47
NNO	2	3	1000	20.17	Pl An42
NNO	2	4	1044.5	3.8	Pl An46
NNO	2	4	1007.5	20.18	Pl An41
NNO	2	5	1049	4.76	Pl An44
NNO	2	5	1014.5	20.09	Pl An40
NNO	2	6	1053.5	5.36	Pl An43
NNO	2	6	1020.5	20.1	Pl An39
NNO	2	7	1057	6.26	Pl An41
NNO	2	7	1025.5	20.17	Pl An37
NNO	2	8	1061	7.28	Pl An40
NNO	2	8	1026.5	20.12	Pl An36
NNO	2	9	1061	8.79	Pl An38
NNO	2	9	1026.5	20.15	Pl An32
NNO	2	10	1027	19.49	Pl An28
NNO	2	10	1026	20.04	Pl An28
NNO	2	5	1065	2.74	Cpx Wo7.2 En 53.3 Fs39.6
NNO	2	5	1014.5	20.09	Cpx Wo7.9 En49 Fs43.1
NNO	2	6	1081	2.34	Cpx Wo7.1 En52.8 Fs40.1

Buffer de fO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O (%)	P (kbar)	T (°C)	Total sólidos (%)	Composición mineral
NNO	2	6	1053.5	20.1	Cpx Wo8.7 En46 Fs45.4
NNO	2	7	1091.5	2.71	Cpx Wo7.3 En52 Fs40.7
NNO	2	7	1057	20.17	Cpx Wo9.5 En43 Fs47.4
NNO	2	8	1099.5	3.29	Cpx Wo7.8 En50.8 Fs41.4
NNO	2	8	1081	20.12	Cpx Wo10.7 En40.2 Fs49.2
NNO	2	9	1100	4.55	Cpx Wo8.9 En48.3 Fs42.8
NNO	2	9	1095	20.15	Cpx Wo42.8 En28.8 Fs28.4
NNO	2	10	1100	5.87	Cpx Wo10.3 En45.7 Fs44
NNO	2	10	1076.5	20.04	Cpx Wo45 En27.9 Fs27.1
NNO	2	1	1010	9.26	Opx Wo2.7 En67.7 Fs29.6
NNO	2	1	982.5	20.01	Opx Wo2.6 En66.2 Fs31.1
NNO	2	2	1028.5	4.64	Opx Wo2.9 En65.8 Fs31.4
NNO	2	2	992	20	Opx Wo2.7 En63.5 Fs33.7
NNO	2	3	1051.5	2.16	Opx Wo2.8 En64.4 Fs32.8
NNO	2	3	1000	20.17	Opx Wo2.8 En60.8 Fs36.4
NNO	2	4	1073.5	0.64	Opx Wo2.6 En63.6 Fs33.8
NNO	2	4	1007.5	20.18	Opx Wo2.9 En58.1 Fs39
NNO	2	5	1065.5	2.38	Opx Wo2.9 En60 Fs37.1
NNO	2	5	1065	2.74	Opx Wo2.9 En60 Fs37.1
NNO	2	6	1100	0.6	Opx Wo2.7 En62.3 Fs35.1
NNO	2	6	1081	2.34	Opx Wo2.9 En59.5 Fs37.6
NNO	2	7	1100	1.63	Opx Wo2.8 En60 Fs37.2
NNO	2	7	1091.5	2.71	Opx Wo2.9 En58.7 Fs38.3
NNO	2	8	1100	2.62	Opx Wo3 En57.8 Fs39.2
NNO	2	8	1099.5	3.29	Opx Wo3 En57.8 Fs39.2
NNO	3	1	980.5	5.73	Pl An54
NNO	3	1	937.5	20.01	Pl An48
NNO	3	2	988	5.89	Pl An53
NNO	3	2	946.5	20.08	Pl An47
NNO	3	3	995	6	Pl An51
NNO	3	3	955	20	Pl An45
NNO	3	4	1001	6.18	Pl An50
NNO	3	4	961.5	20.25	Pl An44
NNO	3	5	1002.5	7.44	Pl An47
NNO	3	5	967.5	20.04	Pl An42
NNO	3	6	1003	8.72	Pl An44
NNO	3	6	972.5	20	Pl An40
NNO	3	7	1002.5	10.5	Pl An42
NNO	3	7	976	20.04	Pl An38
NNO	3	5	1010	6.28	Cpx Wo42 En37.3 Fs20.7

Buffer de fO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O (%)	P (kbar)	T (°C)	Total sólidos (%)	Composición mineral
NNO	3	5	1002.5	20.04	Cpx Wo43.6 En35.2 Fs21.2
NNO	3	6	1002.5	5.95	Cpx Wo41.2 En36.3 Fs22.5
NNO	3	6	998	20	Cpx Wo43.7 En33.5 Fs22.9
NNO	3	7	1033.5	6.35	Cpx Wo10.2 En47 Fs42.8
NNO	3	7	1024.5	20.04	Cpx Wo44 En31.3 Fs24.7
NNO	3	8	1057.5	4.95	Cpx Wo9 En48 Fs43.1
NNO	3	8	1034	19.38	Cpx Wo44.9 En28.7 Fs26.4
NNO	3	9	1069.5	5.05	Cpx Wo9 En48 Fs43.1
NNO	3	9	1007.5	20	Cpx Wo44.9 En28.7 Fs26.4
NNO	3	10	1081	5.21	Cpx Wo9 En48 Fs43.1
NNO	3	10	1029.5	20.05	Cpx Wo44.9 En28.7 Fs26.4
NNO	3	1	978	6.58	Opx Wo3 En68.4 Fs28.6
NNO	3	1	937.5	20.01	Opx Wo2.8 En66.6 Fs30.6
NNO	3	2	1003	4.53	Opx Wo2.9 En66.9 Fs30.2
NNO	3	2	946.5	20.08	Opx Wo2.9 En63.8 Fs33.3
NNO	3	3	1027.5	3.08	Opx Wo2.7 En 65.6 Fs31.7
NNO	3	3	955	20	Opx Wo3 En61 Fs36
NNO	3	4	1049	1.69	Opx Wo2.6 En64.5 Fs32.9
NNO	3	4	961.5	20.25	Opx Wo3.1 En58.1 Fs38.8
NNO	3	5	1069.5	0.44	Opx Wo2.5 En63.9 Fs33.6
NNO	3	5	967.5	20.04	Opx Wo2.9 En55.1 Fs41.9
NNO	3	6	1086	0.14	Opx Wo2.5 En63.8 Fs33.7
NNO	3	6	1002.5	8.72	Opx Wo3 En54.6 Fs42.4
NNO	3	7	1100	0.19	Opx Wo2.5 En63.7 Fs33.8
NNO	3	7	1033.5	6.35	Opx Wo3 En54.6 Fs42.4
NNO	3	8	1100	1.16	Opx Wo2.7 En61.6 Fs35.8
NNO	3	8	1057.5	4.95	Opx Wo3 En54.6 Fs42.4
NNO	3	9	1100	2.08	Opx Wo2.8 En59.5 Fs37.7
NNO	3	9	1069.5	5.05	Opx Wo3 En54.6 Fs42.4
NNO	4	1	958	7.08	Pl An56
NNO	4	1	934.5	20.07	Pl An49
NNO	4	2	949	7.94	Pl An55
NNO	4	2	908.5	20.01	Pl An49
NNO	4	3	952	8.91	Pl An52
NNO	4	3	915	20.12	Pl An47
NNO	4	4	954	9.9	Pl An49
NNO	4	4	921	20.06	Pl An45
NNO	4	5	954.5	11.08	Pl An46
NNO	4	5	925.5	20.12	Pl An42
NNO	4	6	954	12.29	Pl An43

Buffer de fO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O (%)	P (kbar)	T (°C)	Total sólidos (%)	Composición mineral
NNO	4	6	929.5	20.04	Pl An40
NNO	4	2	955.5	7.1	Cpx Wo44.6 En41 Fs14.4
NNO	4	2	949	20.01	Cpx Wo44.8 En40.8 Fs14.4
NNO	4	3	967.5	6.98	Cpx Wo44.2 En39.9 Fs15.9
NNO	4	3	952	8.91	Cpx Wo44.7 En39.2 Fs16.1
NNO	4	4	979	6.85	Cpx Wo43.8 En38.7 Fs17.5
NNO	4	4	954	9.9	Cpx Wo44.7 En37.4 Fs17.9
NNO	4	5	990.5	6.66	Cpx Wo43.4 En37.6 Fs19
NNO	4	5	954.5	11.08	Cpx Wo44.8 En35.4 Fs19.8
NNO	4	6	1002.5	6.34	Cpx Wo42.9 En36.5 Fs20.6
NNO	4	6	954	12.29	Cpx Wo44.9 En33.2 Fs21.8
NNO	4	7	1014	6.05	Cpx Wo42.4 En35.6 Fs22
NNO	4	7	1000	8.29	Cpx Wo43.5 En34.5 Fs22.1
NNO	4	8	1025.5	6.37	Cpx Wo10.1 En47 Fs42.9
NNO	4	8	1018	7.18	Cpx Wo43.2 En33.8 Fs22.9
NNO	4	9	1037	6.23	Cpx Wo10.2 En45.9 Fs44
NNO	4	9	1027.5	7.26	Cpx Wo43.2 En32.8 Fs24
NNO	4	1	964.5	6.43	Opx Wo3 En68.9 Fs28
NNO	4	1	934.5	20.07	Opx Wo2.9 En66.7 Fs30.4
NNO	4	2	983.5	4.99	Opx Wo2.8 En67.8 Fs29.3
NNO	4	2	908.5	20.01	Opx Wo3 En63.8 Fs33.2
NNO	4	3	1007.5	3.71	Opx Wo2.7 En66.6 Fs30.8
NNO	4	3	915	20.12	Opx Wo2.9 En60.7 Fs36.4
NNO	4	4	1030	2.34	Opx Wo2.6 En65.5 Fs31.9
NNO	4	4	921	20.06	Opx Wo2.7 En57.6 Fs39.7
NNO	4	5	1050	1.08	Opx Wo2.5 En64.7 Fs32.9
NNO	4	5	925.5	20.12	Opx Wo2.6 En54.2 Fs43.2
NNO	4	6	1067.5	0.31	Opx Wo2.4 En64.3 Fs33.3
NNO	4	6	929.5	20.04	Opx Wo2.4 En50.8 Fs46.9
NNO	4	7	1083	0.12	Opx Wo2.4 En64.3 Fs33.3
NNO	4	7	1000	8.29	Opx Wo3.1 En55.7 Fs41.2
NNO	4	8	1097.5	0.15	Opx Wo2.4 En64.4 Fs33.2
NNO	4	8	1025.5	6.37	Opx Wo3.1 En55.7 Fs41.2
NNO	4	9	1100	0.9	Opx Wo2.6 En 62.8 Fs34.7
NNO	4	9	1037	6.23	Opx Wo3.1 En55.7 Fs41.2
NNO	4	10	1100	1.76	Opx Wo2.7 En60.8 Fs36.5
NNO	4	10	1037	9.13	Opx Wo3.1 En55.7 Fs41.2
NNO	5	1	958	8.02	Pl An56
NNO	5	1	936	20.09	Pl An49
NNO	5	2	909	10.51	Pl An54

Buffer de fO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O (%)	P (kbar)	T (°C)	Total sólidos (%)	Composición mineral
NNO	5	2	876	20.09	Pl An49
NNO	5	3	911.5	11.4	Pl An51
NNO	5	3	880.5	20.01	Pl An47
NNO	5	4	913	12.31	Pl An48
NNO	5	4	885.5	20.1	Pl An44
NNO	5	5	913	13.41	Pl An45
NNO	5	5	890	20.05	Pl An42
NNO	5	6	912	14.55	Pl An42
NNO	5	6	893	20.11	Pl An40
NNO	5	4	962.5	7.08	Cpx Wo44.5 En39.1 Fs16.4
NNO	5	4	951.5	20.1	Cpx Wo43.2 En32.8 Fs24
NNO	5	5	974	6.9	Cpx Wo44.3 En37.9 Fs17.8
NNO	5	5	956	20.05	Cpx Wo43.2 En32.8 Fs24
NNO	5	6	985.5	6.67	Cpx Wo44 En36.8 Fs19.2
NNO	5	6	959.5	14.55	Cpx Wo43.8 En38.7 Fs17.5
NNO	5	7	997	6.39	Cpx Wo43.7 En35.8 Fs20.5
NNO	5	7	962	15.65	Cpx Wo43.8 En38.7 Fs17.5
NNO	5	8	1008.5	6.07	Cpx Wo43.4 En34.9 Fs21.7
NNO	5	8	974.5	18.27	Cpx Wo43.2 En32.8 Fs24
NNO	5	9	1019.5	6.65	Cpx Wo10.3 En46.6 Fs43.1
NNO	5	9	971.5	16.16	Cpx Wo43.8 En38.7 Fs17.5
NNO	5	1	964.5	7.38	Opx Wo3 En68.9 Fs28
NNO	5	1	936	20.09	Opx Wo2.9 En66.8 Fs30.3
NNO	5	2	967	5.32	Opx Wo2.8 En68.6 Fs28.6
NNO	5	2	876	20.09	Opx Wo2.7 En63.4 Fs33.9
NNO	5	3	991	4.14	Opx Wo2.6 En67.4 Fs30
NNO	5	3	880.5	20.01	Opx Wo2.6 En60.1 Fs37.3
NNO	5	4	1013	2.91	Opx Wo2.5 En66.3 Fs31.2
NNO	5	4	885.5	20.1	Opx Wo2.4 En56.6 Fs40.9
NNO	5	5	1033.5	1.67	Opx Wo2.4 En65.4 Fs32.1
NNO	5	5	890	20.05	Opx Wo2.3 En53 Fs44.8
NNO	5	6	1052	0.62	Opx Wo2.4 En64.9 Fs32.7
NNO	5	6	893	20.11	Opx Wo2 En49 Fs49
NNO	5	7	1068	0.18	Opx Wo2.3 En64.8 Fs32.9
NNO	5	7	912	19.33	Opx Wo2.5 En50.2 Fs47.5
NNO	5	8	1082	0.15	Opx Wo2.3 En64.8 Fs32.9
NNO	5	8	940.5	18.27	Opx Wo3 En55 Fs41.9
NNO	5	9	1096	0.16	Opx Wo2.4 En64.9 Fs32.7
NNO	5	9	1017.5	6.65	Opx Wo2.9 En53.9 Fs43.2
NNO	5	10	1100	0.76	Opx Wo2.5 En63.6 Fs33.9

Buffer de fO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O (%)	P (kbar)	T (°C)	Total sólidos (%)	Composición mineral
NNO	5	10	1016.5	10.21	Opx Wo2.9 En53.9 Fs43.2
NNO	6	1	958	9.08	Pl An56
NNO	6	1	937.5	20.24	Pl An50
NNO	6	2	891.5	11.99	Pl An54
NNO	6	2	877.5	20.16	Pl An49
NNO	6	3	872	13.24	Pl An50
NNO	6	3	846	20.11	Pl An46
NNO	6	4	873	14.14	Pl An47
NNO	6	4	851	20.09	Pl An44
NNO	6	5	873	15.08	Pl An44
NNO	6	5	855	20.06	Pl An42
NNO	6	6	968.5	6.96	Cpx Wo44.8 En37.1 Fs18.1
NNO	6	6	958.5	8.17	Cpx Wo44.8 En31.5 Fs23.7
NNO	6	7	980	6.7	Cpx Wo44.7 En36 Fs19.3
NNO	6	7	970	7.95	Cpx Wo44.8 En31.5 Fs23.7
NNO	6	8	991	6.46	Cpx Wo44.6 En35 Fs20.4
NNO	6	8	984.5	18.71	Cpx Wo44.8 En31.5 Fs23.7
NNO	6	9	1002.5	6.06	Cpx Wo44.2 En34.1 Fs21.7
NNO	6	9	948	17.3	Cpx Wo44.8 En31.5 Fs23.7
NNO	6	1	964.5	8.44	Opx Wo3 En68.9 Fs28
NNO	6	1	937.5	20.24	Opx Wo2.9 En67 Fs30.2
NNO	6	2	960	6	Opx Wo2.7 En69 Fs28.3
NNO	6	2	877.5	20.16	Opx Wo2.7 En63.6 Fs33.7
NNO	6	3	975.5	4.44	Opx Wo2.6 En68.2 Fs29.3
NNO	6	3	846	20.11	Opx Wo2.3 En59.1 Fs38.6
NNO	6	4	997	3.34	Opx Wo2.5 En67.1 Fs30.4
NNO	6	4	851	20.09	Opx Wo2.1 En55 Fs42.9
NNO	6	5	1017	2.22	Opx Wo2.4 En66.3 Fs31.4
NNO	6	5	938	9.33	Opx Wo2.9 En59.3 Fs37.8
NNO	6	6	1036	1.12	Opx Wo2.3 En65.7 Fs32
NNO	6	6	958.5	8.17	Opx Wo2.9 En58.1 Fs39
NNO	6	7	1052.5	0.38	Opx Wo2.3 En65.7 Fs32
NNO	6	7	970	7.95	Opx Wo2.9 En56.2 Fs40.9
NNO	6	8	1067	0.15	Opx Wo2.3 En65.7 Fs32
NNO	6	8	921	18.71	Opx Wo2.2 En47.7 Fs50
NNO	6	9	1081	0.14	Opx Wo2.3 En65.7 Fs32
NNO	6	9	948	17.3	Opx Wo2.9 En54.1 Fs42.9
NNO	6	10	1094	0.17	Opx Wo2.3 En65.7 Fs32
NNO	6	10	974	15.72	Opx Wo2.8 En51.9 Fs45.3
NNO	7	1	958	9.98	Pl An56

Buffer de fO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O (%)	P (kbar)	T (°C)	Total sólidos (%)	Composición mineral
NNO	7	1	939	20.25	Pl An50
NNO	7	2	891.5	12.86	Pl An54
NNO	7	2	879	20.1	Pl An50
NNO	7	3	843	14.37	Pl An49
NNO	7	3	832.5	20	Pl An46
NNO	7	4	844	15.2	Pl An46
NNO	7	4	826	20.02	Pl An44
NNO	7	5	843.5	16.27	Pl An43
NNO	7	5	830	20	Pl An41
NNO	7	1	964.5	9.35	Opx Wo3 En68.9 Fs28
NNO	7	1	939	20.25	Opx Wo2.9 En67.1 Fs30
NNO	7	2	960	6.92	Opx Wo2.7 En69 Fs28.3
NNO	7	2	929	9.1	Opx Wo3.1 En67.2 Fs29.7
NNO	7	3	964.5	4.63	Opx Wo2.5 En68.8 Fs28.7
NNO	7	3	916.5	8.16	Opx Wo3 En65.4 Fs31.7
NNO	7	4	985.5	3.59	Opx Wo2.4 En67.7 Fs29.9
NNO	7	4	930.5	7.78	Opx Wo3 En63.3 Fs33.6
NNO	7	5	1005.5	2.52	Opx Wo2.3 En66.9 Fs30.8
NNO	7	5	881	13.37	Opx Wo2.3 En55.1 Fs42.6
NNO	7	6	1024	1.51	Opx Wo2.3 En66.3 Fs31.5
NNO	7	6	900	12.78	Opx Wo2.3 En53.4 Fs44.3
NNO	7	7	1040.5	0.68	Opx Wo2.2 En65.8 Fs32
NNO	7	7	967	6.92	Opx Wo3 En57.8 Fs39.2
NNO	7	8	1056	0.14	Opx Wo2.2 En65.7 Fs32.1
NNO	7	8	1008	6.7	Opx Wo2.9 En56.2 Fs40.9
NNO	7	9	1069.5	0.15	Opx Wo2.2 En65.8 Fs32
NNO	7	9	933.5	17.56	Opx Wo2.4 En49.1 Fs48.5
NNO	7	10	1082.5	0.17	Opx Wo2.2 En65.9 Fs31.9
NNO	7	10	1028	3.78	Opx Wo2.7 En57.4 Fs39.9
QFM	1	1	1071	0.22	Pl An46
QFM	1	1	1032.5	20.18	Pl An40
QFM	1	2	1079.5	0.27	Pl An44
QFM	1	2	1042.5	20.21	Pl An39
QFM	1	3	1088	0.13	Pl An43
QFM	1	3	1052.5	20.11	Pl An37
QFM	1	4	1096.5	0.92	Pl An41
QFM	1	4	1061	20.2	Pl An36
QFM	1	5	1100	3.52	Pl An40
QFM	1	5	1069	20.17	Pl An35
QFM	1	6	1100	8.43	Pl An38

Buffer de fO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O (%)	P (kbar)	T (°C)	Total sólidos (%)	Composición mineral
QFM	1	6	1076.5	20.15	Pl An35
QFM	1	7	1100	12.29	Pl An36
QFM	1	7	1083.5	20.22	Pl An34
QFM	1	8	1100	15.63	Pl An34
QFM	1	8	1090.5	20.09	Pl An33
QFM	1	9	1100	18.19	Pl An33
QFM	1	9	1096.5	20.1	Pl An33
QFM	1	3	1086.5	0.94	Cpx Wo5.6 En55.5 Fs39
QFM	1	3	1052.5	20.11	Cpx Wo5.3 En50 Fs44.7
QFM	1	4	1100	0.43	Cpx Wo5.8 En55.2 Fs39
QFM	1	4	1071	0.92	Cpx Wo5.7 En49.6 Fs44.7
QFM	1	5	1099.5	4.28	Cpx Wo6.3 En52.4 Fs41.3
QFM	1	5	1085.5	6.02	Cpx Wo6.2 En49.5 Fs44.4
QFM	1	6	1100	8.43	Cpx Wo6.8 En49.7 Fs43.5
QFM	1	6	1096.5	10.22	Cpx Wo6.7 En49 Fs44.3
QFM	1	1	1057	5.94	Opx Wo2.4 En61.7 Fs35.9
QFM	1	1	1032.5	20.18	Opx Wo2.3 En58.5 Fs39.1
QFM	1	2	1072	3.04	Opx Wo2.5 En61.4 Fs36.1
QFM	1	2	1042.5	20.21	Opx Wo2.4 En57 Fs40.6
QFM	1	5	1100	3.52	Opx Wo2.8 En58.9 Fs38.3
QFM	1	5	1099.5	4.28	Opx Wo2.4 En57 Fs40.6
QFM	2	1	1019.5	2.5	Pl An50
QFM	2	1	980	19.93	Pl An44
QFM	2	2	1028	1.22	Pl An49
QFM	2	2	989	20.16	Pl An43
QFM	2	3	1035.5	3.02	Pl An47
QFM	2	3	998	20.07	Pl An42
QFM	2	4	1042	3.53	Pl An46
QFM	2	4	1022.5	13.1	Pl An43
QFM	2	5	1047.5	4.55	Pl An44
QFM	2	5	1030	13	Pl An42
QFM	2	6	1052.5	5.35	Pl An43
QFM	2	6	1036	13.13	Pl An40
QFM	2	7	1056.5	6.36	Pl An41
QFM	2	7	1055	7.03	Pl An41
QFM	2	8	1060	7.28	Pl An40
QFM	2	8	1030	20.08	Pl An36
QFM	2	9	1061	8.74	Pl An38
QFM	2	9	1027.5	20.06	Pl An32
QFM	2	5	1049	4.26	Cpx Wo8 En49.3 Fs42.7

Buffer de fO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O (%)	P (kbar)	T (°C)	Total sólidos (%)	Composición mineral
QFM	2	5	1030	13	Cpx Wo7.8 En47.4 Fs44.7
QFM	2	6	1068	3.64	Cpx Wo7.7 En49.8 Fs42.4
QFM	2	6	1052.5	13.13	Cpx Wo8.6 En45.4 Fs45.9
QFM	2	7	1083	3.55	Cpx Wo7.8 En50 Fs42.2
QFM	2	7	1055	7.03	Cpx Wo9.9 En44.9 Fs45.2
QFM	2	8	1097.5	3.51	Cpx Wo7.9 En50.3 Fs41.8
QFM	2	8	1081.5	7.28	Cpx Wo11.4 En43 Fs45.5
QFM	2	9	1100	4.54	Cpx Wo8.9 En48.3 Fs42.8
QFM	2	9	1092.5	8.21	Cpx Wo13 En41.2 Fs45.8
QFM	2	1	1019.5	2.5	Opx Wo2.8 En62.4 Fs34.8
QFM	2	1	980	19.93	Opx Wo2.6 En58.9 Fs38.5
QFM	2	2	1040.5	1.22	Opx Wo2.7 En62.1 Fs35.3
QFM	2	2	989	20.16	Opx Wo2.6 En57.2 Fs40.2
QFM	2	3	1059.5	0.43	Opx Wo2.6 En61.9 Fs35.5
QFM	2	3	998	20.07	Opx Wo2.7 En55.6 Fs41.7
QFM	2	4	1076.5	0.21	Opx Wo2.6 En62.1 Fs35.3
QFM	2	4	1022.5	13.1	Opx Wo2.8 En55.5 Fs41.6
QFM	2	5	1092.5	0.16	Opx Wo2.6 En62.4 Fs35
QFM	2	5	1049	4.26	Opx Wo2.8 En55.5 Fs41.6
QFM	2	6	1100	0.7	Opx Wo2.7 En61.5 Fs35.8
QFM	2	6	1068	3.64	Opx Wo2.8 En55.5 Fs41.6
QFM	2	7	1100	1.7	Opx Wo2.8 En59.5 Fs37.7
QFM	2	7	1083	3.55	Opx Wo2.8 En55.5 Fs41.6
QFM	2	8	1100	2.65	Opx Wo3 En57.5 Fs39.5
QFM	2	8	1097.5	3.51	Opx Wo2.8 En55.5 Fs41.6
QFM	3	1	978.5	5.05	Pl An55
QFM	3	1	936	20.08	Pl An48
QFM	3	2	986.5	5.22	Pl An53
QFM	3	2	945	20.15	Pl An47
QFM	3	3	993.5	5.49	Pl An51
QFM	3	3	953.5	20.11	Pl An46
QFM	3	4	999.5	5.87	Pl An50
QFM	3	4	961	20.1	Pl An45
QFM	3	5	1002.5	6.89	Pl An47
QFM	3	5	967	20.06	Pl An43
QFM	3	6	1003	8.87	Pl An45
QFM	3	6	972.5	20.01	Pl An41
QFM	3	7	1002.5	10.42	Pl An42
QFM	3	7	976	20.04	Pl An39
QFM	3	8	972	19.11	Pl An32

Buffer de fO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O (%)	P (kbar)	T (°C)	Total sólidos (%)	Composición mineral
QFM	3	8	969	20.04	Pl An31
QFM	3	8	1055.5	19.11	Cpx Wo9.1 En47.5 Fs43.4
QFM	3	8	1049	20.04	Cpx Wo10.2 En45.6 Fs44.2
QFM	3	9	1071	4.89	Cpx Wo9.1 En47.5 Fs43.4
QFM	3	9	1061.5	18.98	Cpx Wo45.3 En28.6 Fs26.1
QFM	3	10	1085.5	4.75	Cpx Wo9.2 En48.3 Fs42.6
QFM	3	10	1074	10.41	Cpx Wo12.2 En42.9 Fs44.9
QFM	3	1	996	3.24	Opx Wo2.7 En63.5 Fs33.7
QFM	3	1	936	20.08	Opx Wo2.7 En59.2 Fs38.1
QFM	3	2	1017	2.2	Opx Wo2.6 En63.1 Fs34.3
QFM	3	2	945	20.15	Opx Wo2.8 En57.4 Fs39.8
QFM	3	3	1037	1.18	Opx Wo2.6 En62.8 Fs34.7
QFM	3	3	953.5	20.11	Opx Wo2.8 En55.7 Fs41.4
QFM	3	4	1055	0.46	Opx Wo2.5 En62.7 Fs34.8
QFM	3	4	999.5	5.87	Opx Wo2.9 En54 Fs43
QFM	3	5	1071.5	0.21	Opx Wo2.5 En62.9 Fs34.6
QFM	3	5	1006	6.33	Opx Wo2.9 En52.2 Fs45
QFM	3	6	1087	0.14	Opx Wo2.5 En63.2 Fs34.3
QFM	3	6	1019	6.01	Opx Wo3.2 En54.4 Fs42.4
QFM	3	7	1100	0.27	Opx Wo2.5 En63.2 Fs34.3
QFM	3	7	1032	6.43	Opx Wo2.9 En52.2 Fs45
QFM	3	8	1100	1.2	Opx Wo2.7 En61.4 Fs36
QFM	3	8	1055.5	5.15	Opx Wo2.9 En52.2 Fs45
QFM	3	9	1100	2.08	Opx Wo2.8 En59.5 Fs37.7
QFM	3	9	1071	4.89	Opx Wo2.9 En52.2 Fs45
QFM	3	10	1100	2.91	Opx Wo3 En57.5 Fs39.5
QFM	3	10	1085.5	4.75	Opx Wo2.9 En52.2 Fs45
QFM	4	1	956.5	6.45	Pl An57
QFM	4	1	933	20.19	Pl An49
QFM	4	2	956.5	6.45	Pl An57
QFM	4	2	933	20.19	Pl An49
QFM	4	3	953	8.27	Pl An53
QFM	4	3	915.5	20.09	Pl An48
QFM	4	4	954.5	9.51	Pl An50
QFM	4	4	921.5	20	Pl An45
QFM	4	5	955	10.78	Pl An47
QFM	4	5	926	20.04	Pl An43
QFM	4	6	954.5	12.06	Pl An43
QFM	4	6	929.5	20.07	Pl An40
QFM	4	3	961	7.14	Cpx Wo44 En37.5 Fs18.6

Buffer de fO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O (%)	P (kbar)	T (°C)	Total sólidos (%)	Composición mineral
QFM	4	3	928.5	20.09	Cpx Wo44.2 En37 Fs18.7
QFM	4	4	974	6.93	Cpx Wo43.7 En36.7 Fs19.6
QFM	4	4	954.5	9.51	Cpx Wo44.4 En35.6 Fs20.1
QFM	4	5	987	6.68	Cpx Wo43.3 En36.1 Fs20.6
QFM	4	5	955	10.78	Cpx Wo44.6 En34 Fs21.4
QFM	4	6	999.5	6.45	Cpx Wo42.9 En35.5 Fs21.6
QFM	4	6	954.5	12.06	Cpx Wo44.9 En32.3 Fs22.8
QFM	4	7	1012.5	6.09	Cpx Wo42.4 En35 Fs22.5
QFM	4	7	1000	8.18	Cpx Wo10.6 En46.1 Fs43.3
QFM	4	8	1025	6.41	Cpx Wo10.1 En 46.8 Fs43.1
QFM	4	8	1019.5	15.19	Cpx Wo9.7 En43.1 Fs47.2
QFM	4	1	983.5	4.02	Opx Wo2.7 En64.1 Fs33.2
QFM	4	1	933	20.19	Opx Wo2.7 En59.3 Fs37.9
QFM	4	2	983.5	4.02	Opx Wo2.7 En64.1 Fs33.2
QFM	4	2	933	20.19	Opx Wo2.7 En59.3 Fs37.9
QFM	4	3	1017.5	1.93	Opx Wo2.5 En63.7 Fs33.8
QFM	4	3	915.5	20.09	Opx Wo2.8 En55.6 Fs41.6
QFM	4	4	1036.5	1	Opx Wo2.4 En63.5 Fs34.1
QFM	4	4	974	6.93	Opx Wo3.2 En57.6 Fs39.2
QFM	4	5	1053.5	0.4	Opx Wo2.4 En63.5 Fs34.1
QFM	4	5	987	6.68	Opx Wo3.1 En56.6 Fs40.3
QFM	4	6	1069	0.15	Opx Wo2.4 En63.6 Fs34
QFM	4	6	999.5	6.45	Opx Wo3.1 En55.6 Fs41.3
QFM	4	7	1083.5	0.17	Opx Wo2.4 En63.9 Fs33.7
QFM	4	7	1040	6.09	Opx Wo2.8 En57.4 Fs39.8
QFM	4	8	1098	0.15	Opx Wo2.4 En64.2 Fs33.3
QFM	4	8	1025	6.41	Opx Wo3.1 En56.6 Fs40.3
QFM	4	9	1100	0.89	Opx Wo2.6 En62.8 Fs34.7
QFM	4	9	1038	6.15	Opx Wo3.1 En56.6 Fs40.3
QFM	4	10	1100	1.71	Opx Wo2.7 En61 Fs36.3
QFM	4	10	1050.5	6.03	Opx Wo3.1 En56.6 Fs40.3
QFM	5	1	956.5	7.39	Pl An57
QFM	5	1	934.5	20.17	Pl An49
QFM	5	2	911.5	9.87	Pl An56
QFM	5	2	877	20.27	Pl An50
QFM	5	3	913.5	10.9	Pl An52
QFM	5	3	881.5	20.07	Pl An48
QFM	5	4	914.5	11.95	Pl An49
QFM	5	4	886.5	20.08	Pl An45
QFM	5	5	914	13.19	Pl An46

Buffer de fO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O (%)	P (kbar)	T (°C)	Total sólidos (%)	Composición mineral
QFM	5	5	890.5	20.08	Pl An43
QFM	5	6	912.5	14.45	Pl An42
QFM	5	6	906.5	16.28	Pl An42
QFM	5	4	957.5	7.21	Cpx Wo44.4 En37.2 Fs18.4
QFM	5	4	947.5	11.95	Cpx Wo44.8 En36.6 Fs18.7
QFM	5	5	970.5	6.96	Cpx Wo44.2 En36.5 Fs19.3
QFM	5	5	960.5	13.19	Cpx Wo44.6 En35.8 Fs19.6
QFM	5	9	1020.5	6.13	Cpx Wo10.5 En47 Fs42.4
QFM	5	9	1016	6.81	Cpx Wo10.3 En44.5 Fs45.2
QFM	5	10	1033	6.05	Cpx Wo10.2 En46.8 Fs42.9
QFM	5	10	1028	6.6	Cpx Wo10.8 En45.2 Fs44
QFM	5	1	983.5	4.99	Opx Wo2.7 En64.1 Fs33.2
QFM	5	1	934.5	20.17	Opx Wo2.8 En59.5 Fs37.7
QFM	5	2	982	3.32	Opx Wo2.6 En64.8 Fs32.6
QFM	5	2	877	20.27	Opx Wo2.6 En57.2 Fs40.2
QFM	5	3	1001.5	2.46	Opx Wo2.5 En64.5 Fs33
QFM	5	3	945	7.34	Opx Wo3.1 En59.7 Fs37.2
QFM	5	4	1020	1.61	Opx Wo2.4 En64.3 Fs33.3
QFM	5	4	957.5	7.21	Opx Wo3.1 En58.5 Fs38.4
QFM	5	5	1037.5	0.83	Opx Wo2.4 En64.1 Fs33.5
QFM	5	5	970.5	6.96	Opx Wo3.1 En57.5 Fs39.4
QFM	5	6	1053.5	0.34	Opx Wo2.3 En64.1 Fs33.5
QFM	5	6	983	6.73	Opx Wo3.1 En56.6 Fs40.3
QFM	5	7	1068.5	0.15	Opx Wo2.3 En64.1 Fs33.5
QFM	5	7	995.5	6.46	Opx Wo3.1 En55.6 Fs41.3
QFM	5	8	1082.5	0.15	Opx Wo2.4 En64.7 Fs33.6
QFM	5	8	1062.5	6.14	Opx Wo2.5 En61.7 Fs35.8
QFM	5	9	1096	0.16	Opx Wo2.4 En64.9 Fs32.7
QFM	5	9	1076.5	6.13	Opx Wo2.5 En62 Fs35.4
QFM	5	10	1100	0.73	Opx Wo2.5 En63.9 Fs33.7
QFM	5	10	1033	6.05	Opx Wo2.9 En54.3 Fs42.8
QFM	6	1	956.5	8.46	Pl An57
QFM	6	1	936.5	20	Pl An50
QFM	6	2	893	11.67	Pl An55
QFM	6	2	879	20.04	Pl An51
QFM	6	3	874.5	12.92	Pl An52
QFM	6	3	848	20.09	Pl An48
QFM	6	4	874.5	14.02	Pl An48
QFM	6	4	852.5	20.04	Pl An45
QFM	6	5	873.5	15.13	Pl An44

Buffer de fO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O (%)	P (kbar)	T (°C)	Total sólidos (%)	Composición mineral
QFM	6	5	856	20.02	Pl An42
QFM	6	7	979	6.73	Cpx Wo44.7 En35.6 Fs19.7
QFM	6	7	972	7.62	Cpx Wo44.7 En34.8 Fs20.5
QFM	6	8	991.5	6.41	Cpx Wo44.6 En35.1 Fs20.3
QFM	6	8	988	6.88	Cpx Wo44.7 En34.8 Fs20.5
QFM	6	9	1003.5	6.13	Cpx Wo44.4 En34.6 Fs21
QFM	6	9	997.5	6.94	Cpx Wo44.6 En34.2 Fs21.3
QFM	6	10	1016	5.73	Cpx Wo44 En34.3 Fs21.6
QFM	6	10	1013	6.16	Cpx Wo44.2 En34.1 Fs21.8
QFM	6	1	983.5	6.09	Opx Wo2.7 En64.1 Fs33.2
QFM	6	1	936.5	20	Opx Wo2.8 En59.5 Fs37.7
QFM	6	2	974	4.13	Opx Wo2.5 En65.2 Fs32.3
QFM	6	2	879	20.04	Opx Wo2.6 En57.3 Fs40
QFM	6	3	985.5	2.94	Opx Wo2.4 En65.3 Fs32.3
QFM	6	3	928.5	7.58	Opx Wo3.1 En60.4 Fs36.5
QFM	6	4	1004	2.14	Opx Wo2.4 En65.1 Fs32.6
QFM	6	4	941	7.45	Opx Wo3 En59.3 Fs37.7
QFM	6	5	1021.5	1.37	Opx Wo2.3 En64.9 Fs32.8
QFM	6	5	954	7.21	Opx Wo3 En58.3 Fs38.6
QFM	6	6	1038	0.69	Opx Wo2.3 En64.8 Fs32.9
QFM	6	6	966.5	6.99	Opx Wo3 En57.4 Fs39.5
QFM	6	7	1053.5	0.25	Opx Wo2.3 En65 Fs32.8
QFM	6	7	979	6.73	Opx Wo3 En56.6 Fs40.4
QFM	6	8	1067.5	0.14	Opx Wo2.3 En65.2 Fs32.5
QFM	6	8	1055.5	6.41	Opx Wo2.4 En63.4 Fs34.3
QFM	6	9	1080.5	0.17	Opx Wo2.3 En65.4 Fs32.5
QFM	6	9	1003.5	6.13	Opx Wo3 En55.3 Fs41.8
QFM	6	10	1094	0.14	Opx Wo2.3 En65.8 Fs32
QFM	6	10	1079.5	5.73	Opx Wo2.4 En63.6 Fs34
QFM	7	1	956.5	9.36	Pl An57
QFM	7	1	937.5	20.24	Pl An50
QFM	7	2	893	12.54	Pl An55
QFM	7	2	880	20.25	Pl An51
QFM	7	3	845.5	14.21	Pl An51
QFM	7	3	834	20.15	Pl An48
QFM	7	4	845.5	15.17	Pl An47
QFM	7	4	827.5	20.05	Pl An44
QFM	7	1	983.5	7.01	Opx Wo2.7 En64.1 Fs33.2
QFM	7	1	937.5	20.24	Opx Wo2.8 En59.9 Fs37.3
QFM	7	2	974	5.08	Opx Wo2.5 En65.2 Fs32.3
QFM	7	2	880	20.25	Opx Wo2.7 En57.4 Fs39.9

QFM	7	3	974.5	3.2	Opx Wo2.4 En65.9 Fs31.7
QFM	7	3	916	7.75	Opx Wo3 En60.9 Fs36.1
QFM	7	4	992.5	2.46	Opx Wo2.3 En65.7 Fs32
QFM	7	4	928.5	7.62	Opx Wo3 En59.8 Fs37.2
QFM	7	5	1009.5	1.77	Opx Wo2.3 En65.5 Fs32.2
QFM	7	5	941	7.44	Opx Wo3 En58.9 Fs38.2
QFM	7	6	1026	1.07	Opx Wo2.2 En65.4 Fs32.3
QFM	7	6	953.5	7.23	Opx Wo3 En58 Fs39.1
QFM	7	7	1041.5	0.5	Opx Wo2.2 En65.4 Fs32.3
QFM	7	7	966	6.97	Opx Wo3 En57.2 Fs39.8
QFM	7	8	1056	0.16	Opx Wo2.2 En65.4 Fs32.3
QFM	7	8	978.5	6.67	Opx Wo2.9 En56.5 Fs40.5
QFM	7	9	1069.5	0.14	Opx Wo2.2 En65.9 Fs31.9
QFM	7	9	990.5	6.33	Opx Wo2.9 En55.5 Fs41.6
QFM	7	10	1082	0.16	Opx Wo2.2 En66.1 Fs31.7
QFM	7	10	1065.5	0.73	Opx Wo2.4 En63.6 Fs34

SOLO USO ACADÉMICO