



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
Facultad de Ciencias Químicas
Departamento Ciencias de la Tierra



PATRONES TEXTURALES Y COMPOSICIONALES EN FENOCRISTALES DE OLIVINO DEL VOLCÁN APAGADO (~41.9°S), REGIÓN DE LOS LAGOS, CHILE: IMPLICANCIAS EN LA DINÁMICA ERUPTIVA

Memoria para optar al Título de Geólogo

Kimberly Aline Hernández Muñoz

Profesora Patrocinante:	Dra. Verónica Oliveros Clavijo.
Profesional Guía:	Dr. Pablo Salas Reyes.
Profesores Comisión:	Dra. Javiera González Alarcón. Dr. Osvaldo González Maurel.

Concepción, 2024

*A Nadia, Amanda, Cristian y Luna;
sus ojos atentos son mi motivación en cada paso.*

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo General	3
1.2.2. Objetivos Específicos	3
1.3. Ubicación y Accesos	3
1.4. Trabajos previos	3
1.5. Agradecimientos	5
2. MARCO GEOLÓGICO	7
2.1. Generalidades	7
2.2. Geología local	8
2.2.1. Cenozoico	8
2.2.1.1. Formación Ayacara	8
2.2.1.2. Volcán Yate	9
2.2.1.3. Centros Eruptivos Cordón Cabrera (CECC)	10
2.2.1.4. Volcán Hornopirén	10
2.2.1.5. Volcán Hualaihué	11
2.3. Geología estructural	13
2.4. Marco teórico	15
2.4.1. Olivinos	15
3. METODOLOGÍA Y MATERIALES	19
3.1. Etapa gabinete I	19
3.2. Etapa de terreno	19
3.3. Etapa gabinete 2	19
3.3.1. Lupa binocular	19
3.3.2. Análisis de química mineral	21
4. RESULTADOS	22
4.1. Observaciones de terreno	22
4.2. Observaciones en fenocristales de olivino	22
4.2.1. Morfología y texturas	22
4.2.2. Inclusiones fluidas, fundidas y minerales	26
4.2.3. Organización de unidades cristalinas	28
4.3. Microsonda electrónica (EPMA)	29
4.3.1. Perfiles composicionales	30
4.4. Termometría en olivinos	33
4.5. Modelos de difusión	34
5. DISCUSIÓN	39
5.1. Geoquímica de roca total	39
5.2. Texturas minerales	42
5.3. Geoquímica y zonación de olivinos	46
5.4. Tasas de ascenso	48

5.5. Modelo eruptivo	49
6. CONCLUSIONES	51
7. REFERENCIAS	53
ANEXOS	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1.1. Mapa de ubicación y accesos del área de estudio	4
2.1. Mapa geológico del Complejo Volcánico Yate	8
2.2. Contexto tectónico del segmento sur de la SVZ	13
2.3. Hillshade de la península de Hualaihué	14
2.4. Modelo de crecimiento tri-dimensional para el olivino	16
3.1. Mapa del área de estudio y puntos de muestreo	20
3.2. Equipos para la prospección de fenocristales de olivino	20
3.3. Sección de muestreo S1	21
4.1. Esquema de grupos de olivino encontrados	23
4.2. Inclusiones minerales en fenocristales de olivino	27
4.3. Inclusiones fluidas y fundidas en olivinos	27
4.4. Organización en unidades cristalinas	28
4.5. Concentraciones de Ni, Cr, Ca y Mn (ppm) vs %Fo	30
4.6. Diagramas de zonación elemental en olivinos	31
4.7. Tipos de zonaciones composicionales encontradas en olivinos	32
4.8. Perfiles de difusión para diferentes bandas composicionales en olivinos	36
5.1. Diagrama multielemental normalizado a N-MORB	39
5.2. La/Yb vs U/Th para centros eruptivos de las CSVZ y TSVZ	40
5.3. Datos isotópicos de Sr, Nd y Pb para centros eruptivos de las CSVZ y TSVZ	41
5.4. Textura en cristales de olivino para diferentes grados de <i>undercooling</i>	43
5.5. Esquema de la formación de Cr-espinela en CBL	44
5.6. Formación de patrones de organización en olivinos	45
5.7. Esquema simplificado del modelo eruptivo de Ap-1	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
4.1. Detalle estadístico de los fenocristales de olivino en muestras de tefra	25
4.2. Resumen del cálculo de concentraciones en datos puntuales en olivino	29
4.3. Composiciones de roca total utilizadas en el cálculo de temperatura	33
4.4. Composición de los puntos analíticos en olivino para el cálculo de temperatura	34
4.5. Resultados de la termometría en olivinos para diferentes contenidos de agua	34

RESUMEN

El volcán Apagado ($\sim 41,9^{\circ}\text{S}$), ubicado en la península de Hualaihué, Región de Los Lagos, Chile, es un cono de escoria con un diámetro basal de 2 km y una altura promedio de 400 m. Los depósitos de tefra que componen el cono están constituidos casi completamente por piroclastos de tamaño lapilli fino y ceniza. La alta fragmentación del magma implica que estos depósitos fueron formados por un evento eruptivo altamente explosivo. A estos depósitos se les ha llamado Ap-1 en trabajos previos (Watt *et al.*, 2011; Mella, 2013).

Mella (2013) sugiere una magnitud por sobre 5,3 (4-5 IEV) para este evento, y describe una columna eruptiva que habría alcanzado una altura de 13 a 24 km por sobre el cono piroclástico. De acuerdo con este autor, Ap-1 es la erupción holocena más grande en el área de Hualaihué, y no se relaciona a los principales estratovolcanes de la región (*e.g.* Yate u Hornopirén).

Trabajos previos han demostrado que la composición de roca total de algunos productos eruptivos de Ap-1 tienen contenidos de MgO por sobre 12% wt, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de 0,70353 y $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ de 0,51290.

El objetivo de este trabajo es estimar las tasas de ascenso del magma emitido por el volcán Apagado. Para esto, se propone un estudio detallado de las texturas y morfologías en el olivino, la ocurrencia de inclusiones fluidas y minerales, y de los patrones de organización en estos fenocristales, junto a un estudio de la zonación química mediante microsonda electrónica (EPMA). En resultados de química mineral las composiciones de $\text{Fo}_{83-93,8}$ asociados a contenidos de Ni 323-4.546 ppm. La preservación de texturas dendríticas y esqueléticas, inclusiones fluidas y minerales orientadas, a lo largo de estructuras de marcos cristalinos y patrones de organización reflejan condiciones de un alto grado de *undercooling* en el magma, mientras que las imágenes de los cristales evidencian una zonación oscilatoria que sigue la morfología de los cristales de olivino, lo que puede ser interpretado como un crecimiento por adición de marcos cristalinos, similar a los descritos en trabajos previos (Salas *et al.*, 2021; Welsch *et al.*, 2013; Milman-Barris *et al.*, 2008; Shea *et al.*, 2015). Estos hallazgos sugieren que los magmas asociados al evento Ap-1 experimentaron un rápido ascenso desde su zona fuente, probablemente el manto litosférico, a través de la corteza, con poca o nula influencia cortical, lo que pudo tener repercusiones en las dinámicas de la erupción al inhibir la exsolución de volátiles debido al rápido ascenso, gatillando así este evento eruptivo altamente explosivo.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El volcán Apagado ($\sim 41^\circ\text{S}$) se encuentra ubicado en la península de Hualaihué, región de Los Lagos, entre el golfo de Ancud y el estuario de Reloncaví. Corresponde a un cono de escoria desplazado hacia el este debido a una topografía más baja, que posee un diámetro basal de 2 km y una altura de 200 m en el flanco oeste y de 600 m en el flanco este, formado hace 2.712-2.360 a.n.e. (Watt *et al.*, 2011), que se emplaza por sobre las Riolitas Hualaihué, miembro superior de la Formación Pichicolo, y el Batolito Norpatagónico (principalmente granodioritas y tonalitas) (Mella, 2008). Los depósitos de tefra que componen el cono están constituidos exclusivamente por fragmentos piroclásticos tamaño ceniza a lapilli fino, y son de composición basáltica (Mella, 2008; Watt *et al.*, 2011). La alta fragmentación del magma implica que el evento eruptivo fue altamente explosivo. Por otra parte, la amplia distribución regional de los depósitos (Watt *et al.*, 2011; Wolodarsky-Franke, 2002), indica que la columna eruptiva habría presentado características de una erupción pliniana. A este evento se le ha denominado en la literatura como Ap-1 (Watt *et al.*, 2011; Mella, 2013).

Watt *et al.* (2011) ha estimado un volumen de $1,01 \text{ km}^3$ para la erupción Ap-1 y una magnitud de 5 en el Índice de Explosividad Volcánica (IEV), mientras que Mella (2013) sugiere una magnitud por sobre 5,3 (4-5 IEV) con una columna eruptiva típica de erupción de tipo pliniana, que habría alcanzado 22 km de altura por sobre el cono piroclástico. Por lo tanto, la erupción del volcán Apagado (Ap-1) es la erupción Holocena más grande en el área de Hualaihué y no está relacionada a los grandes estratovolcanes de la región (Yate u Hornopirén) (Mella, 2013). Esto sugiere que el volcán Apagado es la principal amenaza para las localidades de Río Negro y Hornopirén, y es a su vez una de las mayores erupciones explosivas basálticas reconocidas en la región.

Las erupciones basálticas suelen caracterizarse por estilos eruptivos estrombolianos y hawaianos, en los cuales ocurre una columna eruptiva de altura $< 1 \text{ km}$ (o de $< 5 \text{ km}$ en el caso de estromboliana violenta) y comúnmente se emiten flujos de lava desde la base del cono (Taddeucci *et al.*, 2015). Sin embargo, se conocen ejemplos de erupciones basálticas plinianas en el mundo, tales como: Fontana Lapilli en Nicaragua, Etna en Italia, Tarawera en Nueva Zelanda, y Villarrica y Llaima en

Chile (Mella, 2013). Este tipo de erupciones son las más peligrosas debido a las rápidas tasas de ascenso de los magmas basálticos a través de la corteza, lo que se traduce en que el tiempo de respuesta puede ser de unas pocas horas entre el inicio de la alerta y la erupción (Houghton *et al.*, 2004).

Investigaciones previas han mostrado que la composición en roca total de algunos productos eruptivos de Ap-1 contienen >12% MgO, contenidos de Cr de hasta 870 ppm, y la composición de química mineral de los fenocristales de olivino asociados presentan contenidos de forsterita de 87-90% y contenidos de Ni de ~2.800 ppm (Watt *et al.*, 2011; Watt *et al.*, 2013; Wehrmann *et al.*, 2014), lo que implica la participación de magmas basálticos primitivos. Sin embargo, se desconocen las características texturales y morfológicas de los fenocristales de olivino, así como la zonación química en detalle dentro de esos fenocristales.

Este trabajo propone una caracterización mineralógica, química y textural de los depósitos de caída tempranos del evento Ap-1 preservados a una distancia de hasta 1 km del cono eruptivo, especialmente de la sección S1, ubicada a 1,4 km al NNO del centro del volcán. De esta sección de potencia ~2 m se tiene un buen control estratigráfico, con un tamaño de grano que grada de lapilli fino en la base a ceniza media en techo (Columna I en Watt *et al.*, 2011).

Las características primitivas de los basaltos de volcán Apagado, donde existen fenocristales de olivino de Fo₈₇₋₉₀ equilibrados con el manto, sugiere que su zona fuente proviene de zonas cercanas al límite corteza-manto. Este estudio buscará estimar la profundidad desde donde asciende el magma previo a la erupción, y, por otra parte, contrastará esos resultados con las texturas y la zonación química en fenocristales de olivino, de modo de determinar las tasas de ascenso de los magmas involucrados.

En detalle, se realizará una caracterización textural de los fenocristales de olivino mediante lupa binocular, de la química mineral mediante microsonda electrónica (EPMA) para determinar la fuente de los magmas primitivos y las tasas de ascenso a través de la corteza. Buscando además determinar cuáles son las condiciones que llevan a estos magmas basálticos a producir una erupción de tipo pliniana o un cono de tefra de gran volumen.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Determinar las implicancias de los patrones texturales y composicionales en fenocristales de olivino en las dinámicas eruptivas del evento Ap-1.

1.2.2. Objetivos Específicos

- i. Caracterizar la geoquímica del magma y de los cristales de olivino.
- ii. Estimar la profundidad desde la cual asciende el magma involucrado en el evento Ap-1.
- iii. Determinar las escalas de tiempo para el ascenso del magma.

1.3. UBICACIÓN Y ACCESOS

El volcán Apagado se ubica a 54 km al sureste de la ciudad de Puerto Montt, en la península de Hualaihué, región de los Lagos. Para acceder al volcán se debe tomar la ruta 7 (carretera Austral) desde Puerto Montt hasta caleta La Arena, donde se debe cruzar el estero Reloncaví en transbordador hasta caleta Puelche, para luego retomar la ruta 7 en dirección a Hornopirén por aproximadamente 15 km hasta la entrada del fundo Mañihueico, desde este punto se debe avanzar por ~14 km por el camino privado hasta la base del volcán, coordinado en 41°53'3"S 72°35'19"W (Fig. 1.1).

1.4. TRABAJOS PREVIOS

El Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) y el *Bureau de Recherches Geologiques et Minières* (BRGM) colaboran en el año 1995 para elaborar una cartografía básica de geología y metalogenia que permita conocer la naturaleza y ubicación de los recursos minerales presentes en la región de Los Lagos. En los resultados de dicho trabajo se menciona al volcán Hualaihué o Apagado como un cono de piroclastos alojado en el interior de una depresión que corresponde a un circo glaciar, y suponen que esta depresión podría haber correspondido a una caldera, actualmente muy erosionada por la acción de glaciares posteriores.

Mella (2008) presenta su tesis doctoral titulada “Petrogénesis del complejo volcánico Yate (42,30°S), Andes del Sur, Chile” en la que define al volcán Hualaihué como un estratovolcán de

aproximadamente 80 km² representado por tres unidades: Gualaihué I, Gualaihué II y Gualaihué III, donde las dos primeras unidades corresponden al volcán escudo Hualaihué, colapsado en un sistema de caldera, mientras que la última unidad corresponde al volcán Apagado, un cono de escoria y flujos basálticos de origen freatomagmático edificado dentro de la caldera.

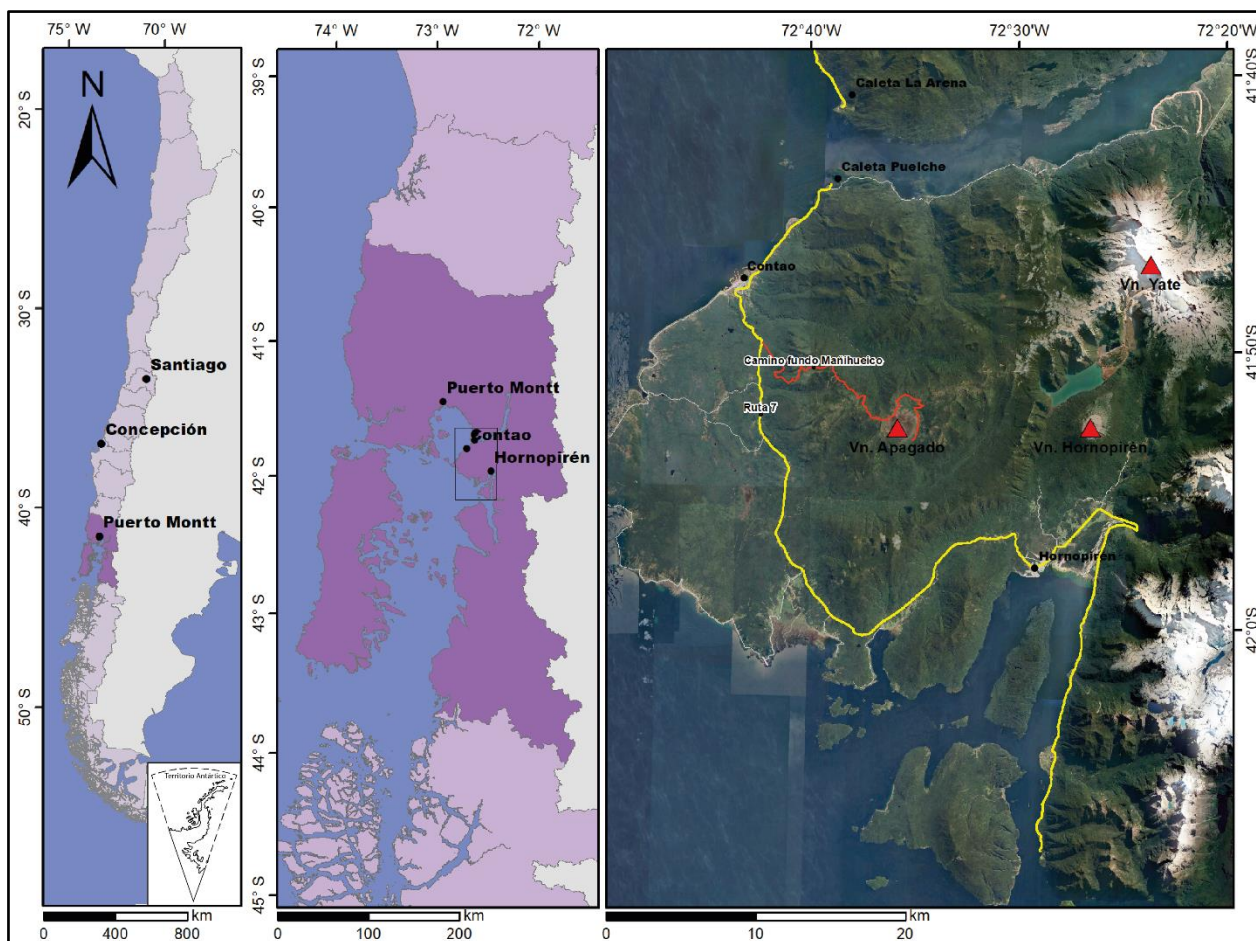


Figura 1.1: Mapa de ubicación y accesos del área de estudio.

Watt *et al.* (2011) realizan un estudio sobre la tefrocronología del sector de Hualaihué y estiman en 1,01 km³ el volumen de la erupción Ap-1 asignándole una magnitud de 5 IEV. Además, mediante estratigrafía, datación por radiocarbono y modelamiento por análisis bayesiano de edad en las unidades de tefra, asignan una edad de 2.712-2.360 yB.P a los depósitos.

Mella (2013) en un resumen para el Congreso Geológico Internacional en el Hemisferio Sur restringe la edad de la erupción del volcán Apagado (Ap-1) en 2.480 yB.P (por edades

convencionales de dataciones de ^{14}C en paleosuelos en el trabajo de Watt *et al.* (2011)) y menciona que la masa estimada para la erupción Ap-1 indica una magnitud por sobre 5,3 (IEV=4-5), con una altura de la pluma de 13 a 24 km, lo que es típico de una erupción de tipo pliniana.

Wehrmann *et al.* (2014) realizan un estudio de volátiles (azufre y cloro), y geoquímica de elementos mayores y trazas de las tefras máficas a intermedias de la zona volcánica sur en Chile entre los 33-43°S, incluyendo los productos eruptivos del volcán Apagado, y como resultado se publican datos de composición de elementos mayores y volátiles en inclusiones fundidas y en los olivinos hospedantes, y de elementos traza en roca total.

Jacques *et al.* (2014) dirigen un estudio sobre las variaciones geoquímicas en la zona volcánica sur-central en Chile entre los 38-43°S para analizar el rol de los fluidos en la generación de magmas de arco, presentando nuevos datos isotópicos de Sr-Nd-Hf-Pb para los productos eruptivos del volcán Apagado. En este trabajo además se concluye que la muestra analizada de Ap-1 es la menos enriquecida en incompatibles (excepto por Nb, K, Sr y Ti), tiene un *peak* de Ti relativo a todas las demás muestras de la zona volcánica sur-central, además de significativamente menores razones La/Yb y mayores U/Th que todas las demás muestras de conos de tefra, y presenta los valores más deprimidos en las composiciones isotópicas de Sr y Nd, con los más bajos valores isotópicos de Pb radiogénico.

Mella (2016) elabora un mapa de peligros del volcán Apagado para Sernageomin en el que se describe la historia eruptiva del volcán, identificando al menos cuatro eventos eruptivos de edad holocena, entre los que se encuentra la erupción Ap-1 con una magnitud cercana a 5,4 (IEV=4-5), y una altura de ~20 km de la columna eruptiva, clasificándola como una erupción sub-pliniana basáltica.

1.5. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de memoria de título fue realizado gracias al patrocinio del Instituto Milenio de Investigación en Riesgo Volcánico-Ckelar Volcanes, el cual es financiado por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID), a través de la Iniciativa Científica Milenio, código proyecto ICN2021_038.

Agradezco a los miembros del IM Ckelar Volcanes; A la profesora Verónica Oliveros, a quien consideré una guía y ejemplo desde la primera clase de geoquímica, y que me dio la oportunidad de realizar este trabajo de memoria. A mi profesor guía, Pablo Salas, a quien agradezco profundamente por su ayuda y enseñanza en cada paso, por su paciencia y disposición ante cualquier duda en el camino.

Al Departamento de Ciencias de la Tierra (DCT), en su cuerpo docente y funcionarios y funcionarios, que siempre estuvieron dispuestos a ayudarme cuando lo necesité, especialmente a la Sra. Carolina, que con su paciencia interminable me guió en cada paso por el DCT.

Quisiera agradecer a los grandes amigos que hice en la carrera: Susana, Bruno, Pol, Moses, Eduardo y Luciano, sin ustedes, todos esos trabajos grupales, sesiones de estudio y terrenos jamás hubieran sido tan divertidos y provechosos como lo fueron, y en especial a Cristián, que se convirtió en un hermano para mí. A mis compañeros Ckelar, Fernanda y Álvaro, que fueron una gran compañía durante el proceso de Memoria, jornadas de trabajo en laboratorio y de estudio, y también en los congresos a los que asistimos.

A Bárbara, mi fiel amiga a lo largo de todos estos años que estuvo a mi lado en los buenos y malos momentos, a Jessiquita, mi mamá de Concepción, la mujer que fue mi apoyo emocional durante todo el tiempo lejos de mi hogar, y a las personas con las que conviví durante años en la pensión, Boris, Kathy, Victor, Nico, Ximena, y muchos más, que hicieron ameno el estar lejos de casa.

Finalmente, y lo más importante, a mi familia; mis hermanos, Jenifer y Marcos, que creyeron en mí en cada paso y me alentaron a seguir mis sueños, mis sobrinos; Nadia, Amanda, Cristian y Lunita, que con sus ojos siempre atentos y curiosos me dieron la motivación para seguir cuando todo parecía demasiado difícil, y particularmente a mis padres, Virginia y Victor, que han estado en cada paso de mi vida, alentándome a estudiar, a perseguir mis sueños y convertirlos en metas, que me han levantado cada vez que he caído, con su amor y apoyo incondicional. Gracias por dar todo por mí, por confiar en mis capacidades incluso cuando yo no lo hago, por las infinitas palabras de aliento y amor, esto es gracias a ustedes.

2. MARCO GEOLÓGICO

2.1. GENERALIDADES

En la zona volcánica sur (SVZ) (33-46°S) la tectónica se caracteriza por una convergencia ligeramente dextral-oblicua entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana a una tasa de 7-9 cm/año, que ha prevalecido durante los últimos 20 Ma (Pardo-Casas y Molnar, 1987; Somoza, 1998; Angermann *et al.*, 1999, en Cembrano y Lara, 2009).

La SVZ incluye, por lo menos, 60 edificios volcánicos histórica y potencialmente activos en Chile y Argentina, así como tres sistemas de caldera silíceos gigantes y numerosos centros eruptivos menores (Stern, 2004). La SVZ ha sido dividida en la zona volcánica sur-norte (NSVZ; 33-34,5°S), zona volcánica sur-transicional (TSVZ; 34,5-37°S), zona volcánica sur-central (CSVZ; 37-41,5°S) y la zona volcánica sur-sur (SSVZ; 41,5-46°S) (Stern *et al.*, 1984; Hildreth y Moorbath, 1988; Tormey *et al.*, 1991; Dungan *et al.*, 2001; Hickey-Vargas *et al.*, 1984, 1986, 1989; López-Escobar *et al.*, 1993, 1999; Naranjo y Stern., 2004, en Stern, 2004).

En las zonas volcánicas sur-central y sur-sur, donde la corteza es relativamente delgada (< 30 km), los basaltos toleíticos y de alto-Al y las andesitas basálticas son los tipos de roca dominantes erupcionadas tanto en estratovolcanes como en muchos centros eruptivos menores (López-Escobar *et al.*, 1993, 1995, 1997; Hickey-Vargas *et al.*, 1984, 1986, 1989; Gerlach *et al.*, 1988; Futa y Stern, 1988, en Stern 2004).

El Complejo Volcánico Yate se localiza en la CSVZ (41,5°S) (Fig. 2.1) y está conformado por tres volcanes mayores: un volcán combinado – volcán Yate, un estratovolcán dominado por actividad estromboliana – volcán Hornopirén, y un volcán de tipo escudo – volcán Hualaihué (Mella, 2008), y dentro de la caldera de este último se emplaza el volcán Apagado por sobre las riolitas Hualaihué, miembro superior de la Formación Pichicolo, y el Batolito Norpatagónico (principalmente granodioritas y tonalitas) (Mella, 2008).

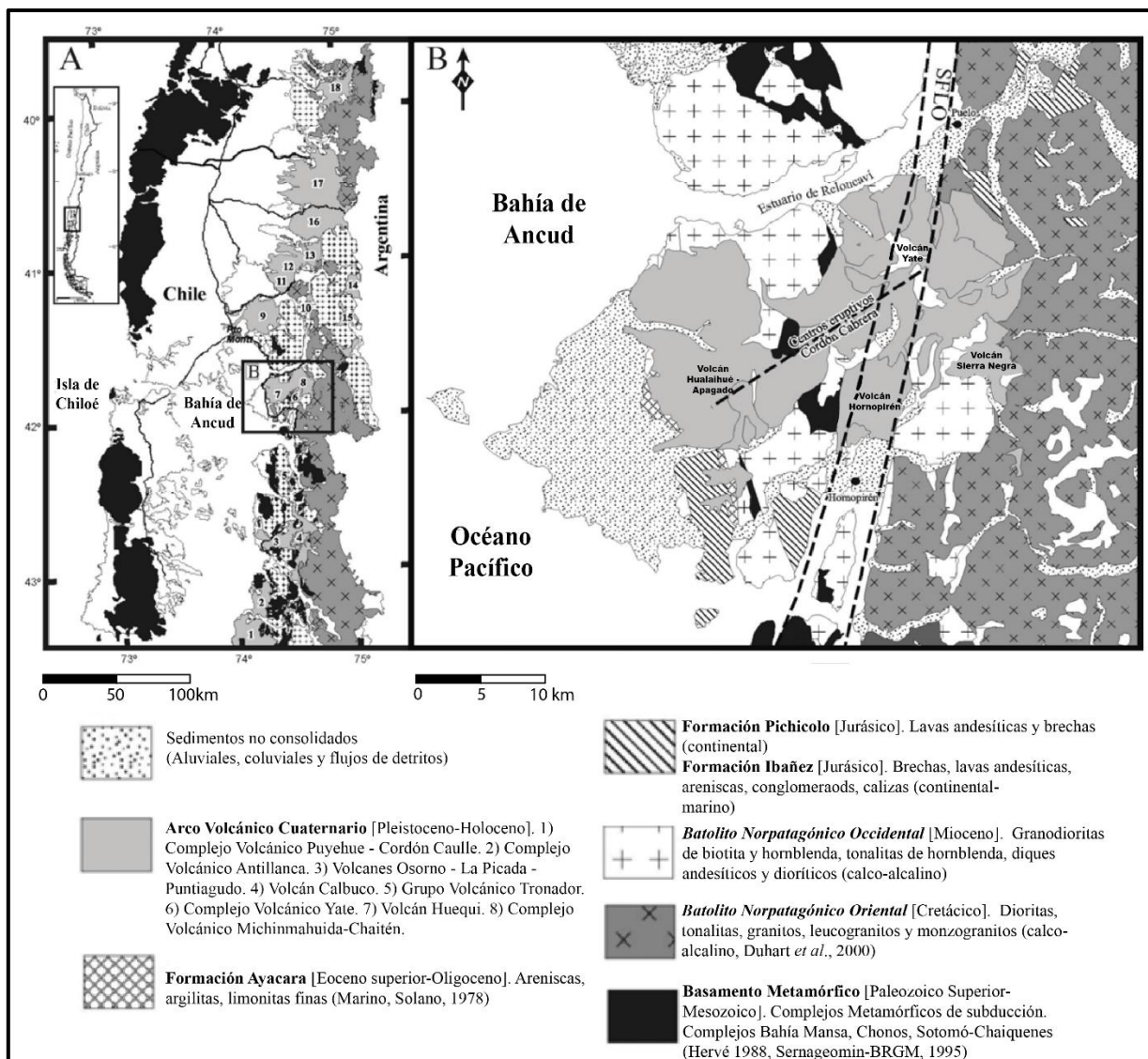


Figura 2.1: Mapa geológico del Complejo Volcánico Yate. Modificado de Mella (2008).

2.2. GEOLOGÍA LOCAL

2.2.1. Cenozoico

2.2.1.1. Formación Ayacara

La Formación Volcano-Sedimentaria Ayacara-Puduguapi, definida por Bourdillón (1995) está constituida por tufitas estratificadas finas, areniscas finas, tobas riódacíticas y traqui-andesitas silíceas. Representa el testigo de una cuenca de antearco bordeando la parte occidental del Batolito Norpatagónico, que se desarrolla hacia el oeste en la zona subsidente de la Depresión Central y que aflora discontinuamente en el borde de Chiloé continental. Al oeste del volcán Apagado los

afloramientos de esta formación están discontinuos en los taludes de la carretera Austral, al sur del pueblo de Contao. Las tufitas contienen microfauna marina del Eoceno superior-Oligoceno superior (Bourdillón, 1995, en Sernageomin BRGM 1995).

2.2.1.2. Volcán Yate

El volcán Yate, con una altura de 2.190 m s.n.m. representa un volcán compuesto elongado en la dirección NNW-SSE, abarcando un área de 160 km². El edificio contiene un registro de aproximadamente 2.000 m de material volcánico erupcionado desde el Pleistoceno Superior al Holoceno, dividido en cinco unidades litoestratigráficas (Mella, 2008):

- Unidad Yate I: corresponde a la unidad más antigua de edad Pleistoceno Superior. Incluye coladas de lava básicas, ácidas con formación de domos riolíticos y depósitos de tipo bloque y ceniza, e ignimbritas de composición intermedia.
- Unidad Yate II: corresponde a la unidad constituyente del edificio principal de edad Pleistoceno Superior-Holoceno. Es representada por grandes depósitos compuestos por flujos de lava básicos a intermedios, lahares y tefras en la base, y domos dacíticos, tefras, ignimbritas, flujos de tipo bloque y cenizas hacia techo, culminando con el colapso del flanco sur del volcán. Comprende las sub-unidades Llaguepe I y Río Desesperado.
- Unidad Yate III: unidad que va desde el Pleistoceno Superior al Holoceno. Corresponde a una secuencia de derrames de composición intermedia formado en la etapa post-colapso del edificio volcánico. Esta unidad presenta evidencia, en distintos grados, de mezcla de magmas. Incluye las sub-unidades Llaguepe II, Lago Pinto I y Lago Pinto II.
- Unidad Yate IV: unidad de edad holocena. Es representada por la construcción de flujos y conos de escoria de composiciones básicas sin evidencia de mezcla de magmas. Es definida por la sub-unidad Llaguepe III.

- Unidad Yate V: unidad litoestratigráfica reciente, del Holoceno. Es representada por la construcción de domos dacíticos presumiblemente asociados al colapso parcial del flanco sur del volcán Yate.

2.2.1.3. Centros Eruptivos Cordón Cabrera (CECC)

Corresponde a un conjunto de centros basálticos andesíticos construidos sobre un sustrato más antiguo constituido tanto por derrames de composición ácida, como por el Batolito Norpatagónico. Esta estructura está alineada en dirección NNE-SSW, y se ubica geográficamente entre el volcán Yate y el volcán Apagado, abarcando un área de 60 km². Se reconocen dos unidades (Mella, 2008):

- Cabrera I: unidad principalmente efusiva (presumiblemente fisural) que aflora en el margen oriental del Lago Cabrera, representada por flujos de lava andesíticos con disyunción columnar y brechas hieloclásticas asociadas con evidente erosión glacial. Una muestra de andesita datada por método Ar-Ar entrega una edad de 43 ± 17 ka (Pleistoceno Superior).
- Cabrera II: unidad representada por conos monogenéticos de escoria y flujos basálticos que caen por los flancos oriental y occidental del Cordón Cabrera, sobre la unidad Cabrera I. Presenta diversos grados de erosión glacial, indicando que su formación podría haber ocurrido desde el Pleistoceno al Holoceno.

2.2.1.4. Volcán Hornopirén

El volcán Hornopirén es un pequeño estratovolcán de forma cónica que abarca un área de aproximadamente 50 km² y está caracterizado por dos unidades principales (Mella, 2008):

- Unidad Hornopirén I: unidad basal, aflora en el margen este del lago Cabrera y se caracteriza por derrames de basalto con olivino, brechas hialoclásticas y tefras de lapilli básicas, no consolidadas y con fuerte erosión glacial. Estas rocas fueron datadas por el método Ar-Ar, obteniendo una edad de $1,4 \pm 0,4$ Ma.
- Unidad Hornopirén II: edificio volcánico de forma cónica casi perfecta, formado por derrames de basaltos y andesitas basálticas, con patrón tipo cordado (*pahoe-hoe*), intercalados por tefras

de ceniza y lapilli basálticas no consolidadas, resultado de erupciones tipo estrombolianas y hawaianas. Aflora en el margen este del lago Cabrera, sin evidencias de erosión glacial, lo que indica una edad probablemente holocena a histórica.

2.2.1.5. Volcán Hualaihué

Corresponde a un estratovolcán de 80 km², localizado en el extremo occidental del Complejo Volcánico Yate. Está construido sobre las riolitas Hualaihué, miembro superior de la Formación Pichicolo, y el Batolito Norpatagónico (principalmente granodioritas y tonalitas). Se reconocen tres unidades (Mella, 2008):

- Unidad Gualaihué I: lavas tipo cordada, Aa y de bloque de características basálticas y andesítico-basálticas, intercalados por tefras de lapilli formando un volcán de tipo escudo. Esta unidad está dividida en dos sub-unidades: Campamento y El Refugio. La primera flora en un área de aproximadamente 60 km², representada por un pequeño volcán escudo colapsado en una estructura de tipo cadera y conos monogenéticos en el sector este del volcán Hualaihué. La sub-unidad El Refugio, por su parte, está en estrecha relación espacial con Cordón Cabrera (específicamente con la unidad Cabrera III) y está representada por *necks* y derrames sub-horizontales basálticos asociados a centros monogenéticos. Presenta grados variados de erosión sugiriendo una actividad prolongada desde el Pleistoceno Medio hasta el Holoceno. Esta unidad es datada (Ar-Ar) en 440±20 ka.
- Unidad Gualaihué II: domos y flujos porfíricos de características andesítico-basálticas asociados a actividad fisural. Aflora y está relacionada en el borde de la caldera que representa la etapa final de la unidad Gualaihué I.
- Unidad Gualaihué III: cono de escoria y flujos basálticos edificadas dentro de la caldera. Corresponde al volcán Apagado, definido en la literatura regional. Es común observar tefras recientes (3-5 m de espesor) con estructuras de flujo tipo *bed-form* característicos de oleadas de base, indicando un origen freatomagmático para este cono de escoria.

La actividad holocena del volcán Apagado (o unidad Gualaihué III) está caracterizado por al menos cuatro erupciones. La primera dio origen a coladas menores de basaltos que drenaron hacia el valle de los ríos Los Patos y Cisnes (Mella, 2016); esta actividad se vincula a la muerte de alerzales “con edad de ^{14}C de 3.760 ± 30 a AP o 2.186 ± 47 cal AC y/o bajo crecimiento de alerzales (edad dendrocronológica de 2.300-1.980 AC)” (Wolodarsky-Frankle, 2002, en Mella 2016).

La segunda erupción (Ap-1) corresponde a un evento explosivo y el más importante en el Complejo Volcánico Yate. Es caracterizada por un anillo de tobas y un cono de piroclastos, cubierto por el cono actual, producto de una fase inicial freatomagmática, fase intermedia predominantemente magmática y una fase final de colapso de columna eruptiva que generó una oleada piroclástica en los entornos del volcán. Estimaciones basadas en la reconstrucción de isópacas e isópletas de la caída de piroclastos entregaron un volumen de material $1-3 \times 10^9 \text{ m}^3$, una magnitud cercana a 5,4 (IEV=4-5) y altura de la columna eruptiva de ~ 20 km, clasificándola como una erupción subpliniana basáltica. Este evento fue datado en $<2.450 \pm 30$ a AP a partir de materia orgánica y carbones provenientes de paleosuelos inmediatamente bajo el depósito de caída asociado a ella (Mella, 2016). Esta edad es concordante con los datos dendrocronológicos que sugieren que esta erupción fue la responsable del bajo crecimiento de alerces en los entornos del volcán Apagado posterior al año 345 AC (Wolodarsky-Frankle, 2002, en Mella, 2016).

La tercera erupción fue de carácter lávica hawaiana a estromboliana con coladas de basaltos sobre los depósitos de Ap-1 que fluyeron hacia el suroeste por el valle del río Los Patos y habría represado temporalmente el río Cisnes-Gualaihué. Las observaciones de campo muestran escaso a nulo desarrollo de suelo entre la erupción Ap-1 y la descrita, lo que sugiere que esta actividad pudo ser intermitente y prolongada de la erupción Ap-1 o temporalmente cercana (Mella, 2016).

La cuarta erupción fue de carácter freatomagmática a estromboliana, con la generación de oleadas piroclásticas que afectaron el entorno del volcán Apagado, así como los cursos superiores de los ríos Lleguimán, Contao, Los Patos y Cisnes, y la responsable de la edificación del actual cono de escoria. Se caracterizó por una dispersión de piroclastos tamaño ceniza hacia el E-SE, con depósitos de caída tamaño lapilli hacia el SE de 2-4 m de potencia y balísticos con bombas en el entorno del volcán, así como coladas de lava que fluyeron por el flanco S-SO, y que rellenaron, parcialmente

el valle de los ríos Los Patos y Cisnes (Mella, 2016). El bajo crecimiento de alerzales en los entornos del volcán Apagado alrededor de los años 500 DC estaría asociada a este último evento eruptivo (Wolodarsky-Frankle, 2002, en Mella, 2016).

2.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La región está dominada por la zona de falla Liquiñe-Ofqui (LOFZ) (Fig. 2.2), que corresponde a un gran sistema de fallas de 1.200 km de extensión entre los 38-47°S (Cembrano *et al.*, 1996; Folguera *et al.*, 2002; Adriasola *et al.*, 2006; Rosenau *et al.*, 20016, en Cembrano y Lara, 2009), que atraviesa a lo largo de toda su extensión lineamientos estructurales NW-SE heredados del marco tectónico paleomesozoico de la Cordillera de los Andes (e.g. Spalletti y Dalla Salda, 1996; Féraud *et al.*, 1999; Giacosa *et al.*, 2005) y controla la ubicación de los principales centros volcánicos en la SVZ (López-Escobar *et al.*, 1995; Cembrano *et al.*, 1996; en Mella, 2008).

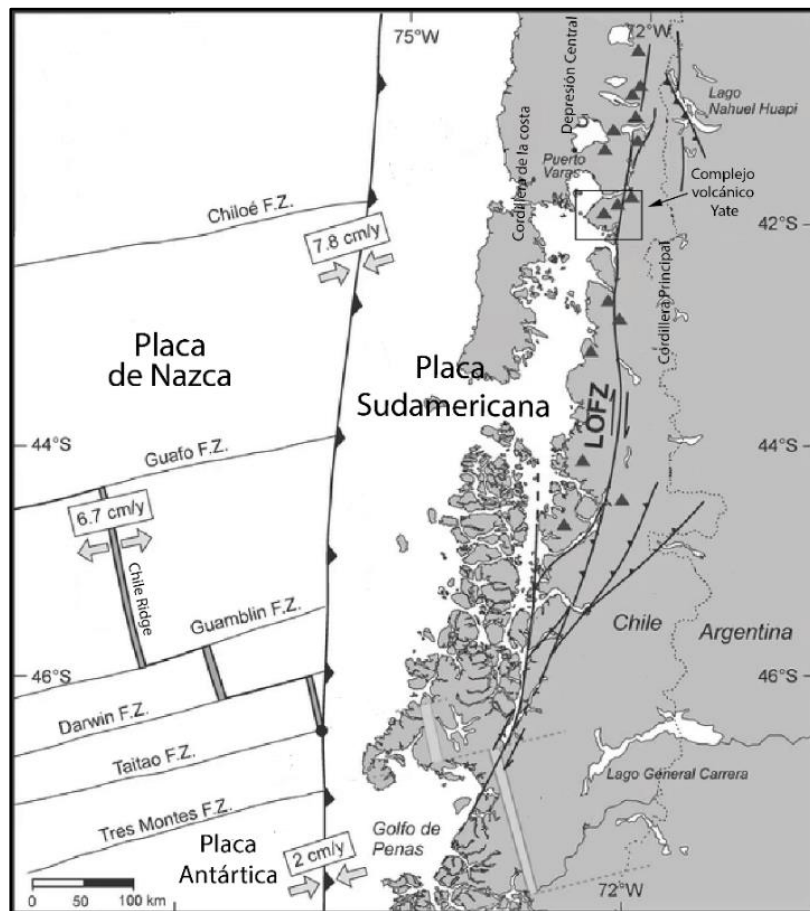


Figura 2.2: Contexto tectónico del segmento sur de la SVZ. Modificado de Adriasola *et al.* (2006).

En el área de estudio, Mella (2008) reconoce dos conjuntos de lineamientos en estrecha asociación con el almacenamiento de magmas del Complejo Volcánico Yate. La principal estructura con orientación NS (N10°E) corresponde a la LOFZ, que condiciona la ubicación de los volcanes Yate y Hornopirén; mientras que una estructura secundaria de orientación ENE-WSW condiciona el magmatismo asociado a los centros eruptivos del Cordón Cabrera y el volcán Apagado-Hualaihué, posiblemente reflejo de la cinemática de la LOFZ.

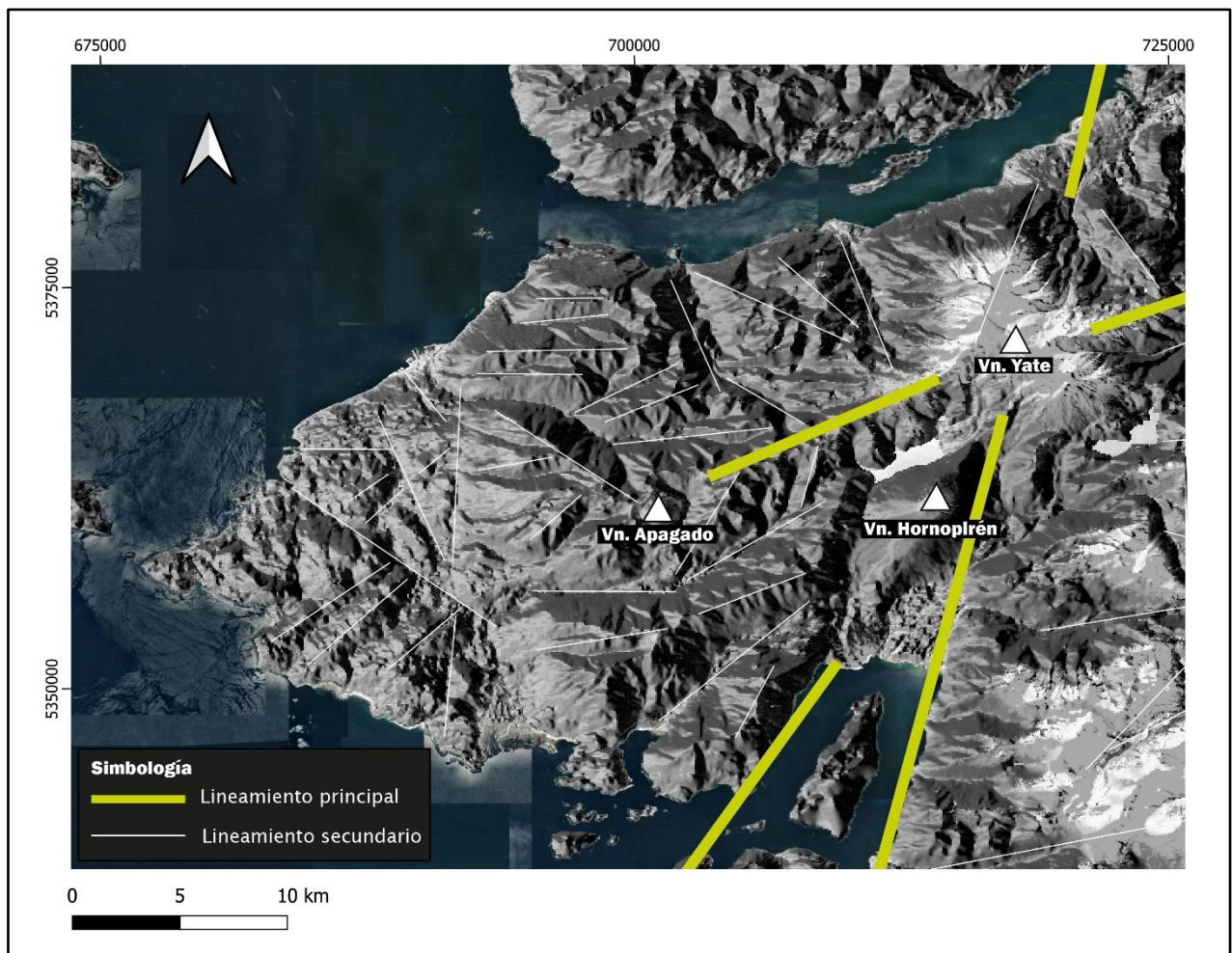


Figura 2.3: Hillshade de la península de Hualaihué. Se muestran los principales lineamientos reconocidos por Mella (2008).

2.4. MARCO TEÓRICO

2.4.1. Olivinos

El olivino es un constituyente mayor del manto superior terrestre y también un producto de la cristalización de magmática en diferentes ambientes tectónicos terrestres (OIB, MORB, BABB, CAB y IAB) y extraterrestres. Como consecuencia, es de principal importancia la posibilidad de usar olivino como un trazador geoquímico y/o petrológico de procesos fisicoquímicos durante la génesis o el ascenso de magmas. Desafortunadamente, evaluar el origen de los cristales de olivino transportados en magmas sigue siendo problemático debido a que el reequilibrio químico borra parte de la información geoquímica relacionada a la etapa temprana de la cristalización a través de difusión química intracristalina. Esto ha llevado a los investigadores a enfocarse en las texturas del olivino, que es altamente sensible a condiciones termodinámicas y cinéticas de cristalización y, por lo tanto, puede ser usada para reconstruir la historia de los cristales y su magma hospedante (Welsch *et al.*, 2013).

Subyacente al uso de la zonación de cristales está la suposición de que los eventos se registran en un patrón secuencial desde el más antiguo en los núcleos hasta el más joven en los bordes. Esta noción del olivino que crece concéntricamente ha sido cuestionada recientemente en una serie de artículos que proponen una historia de crecimiento más compleja para el olivino (Milman-Barris *et al.*, 2008; Welsch *et al.*, 2013; Shea *et al.*, 2015; en Salas *et al.*, 2021).

Un modelo “fuera de secuencia” propuesto por Salas *et al.*, (2021) propone que un olivino poliedral con zonación normal se forma en cinco etapas principales (Fig. 2.4):

La etapa 1; en que cuatro dendritas radian desde un núcleo cristalino. Durante esta etapa, el crecimiento ocurre principalmente como una característica planar a lo largo del plano cristalográfico ac. Estas extensiones dendríticas cierran el perímetro de la sección cristalina dejando cuatro bolsas de fundido distribuido simétricamente. Estudios experimentales sugieren que estas extensiones dendríticas crecen en el orden de minutos ($\sim 1,5$ minutos para una dendrita de ~ 100 micrones). La forma cristalina generada en esta etapa es similar a las previamente descritas en experimentos a altas tasas de enfriamiento (1.890°C/h ; $-\Delta T = 118^{\circ}\text{C}$) en Faure *et al.*, 2007).

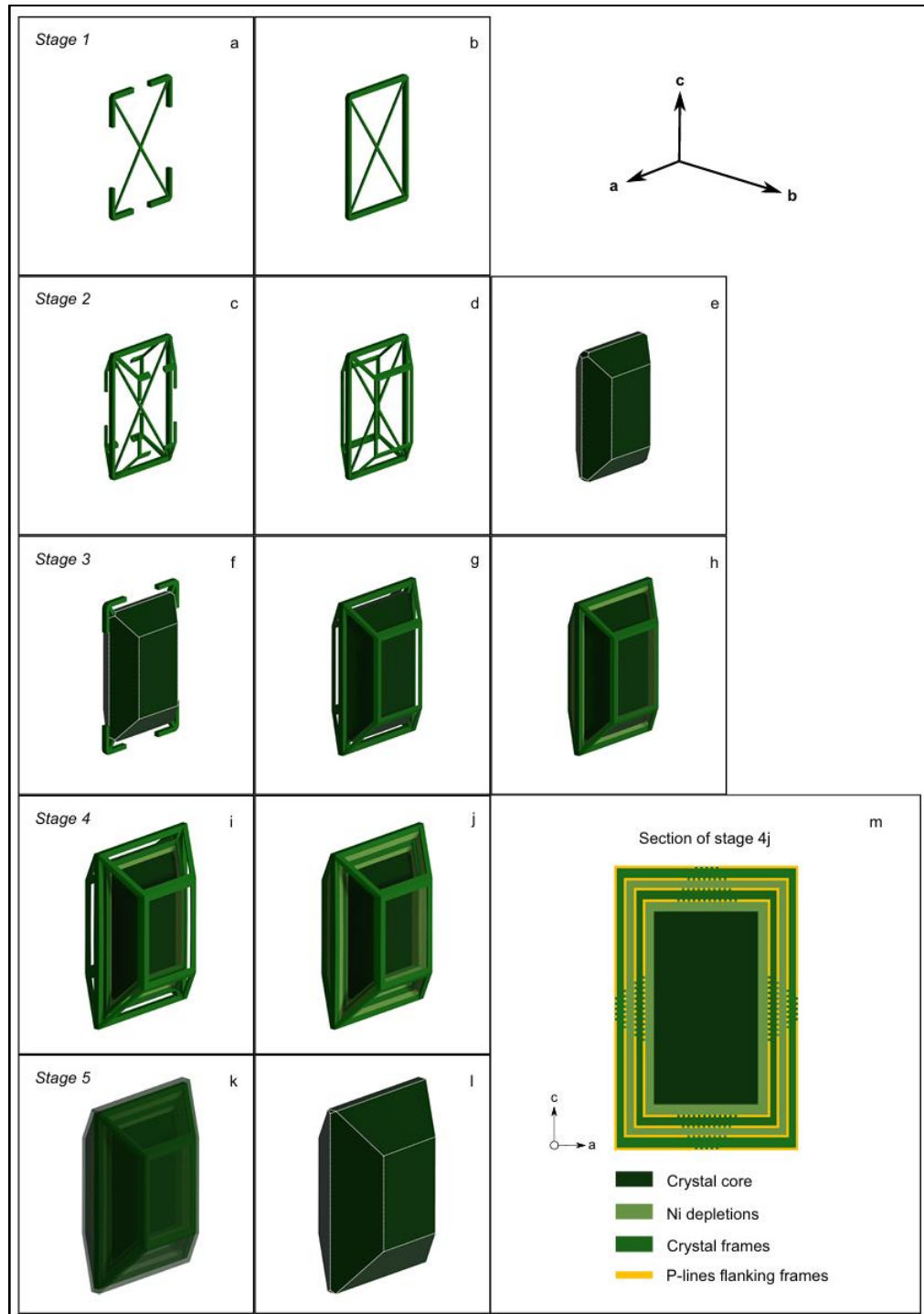


Figura 2.4: Modelo de crecimiento tri-dimensional para el olivino. Separado en cinco etapas. Extraído de Salas *et al.* (2021).

Etapas 2; Se comienza a formar una estructura 3D cuando el crecimiento cristalino se expande hacia el eje cristalográfico b. Este episodio inicia simultáneamente desde las cuatro esquinas cristalinas,

a lo largo de los bordes convergentes de la cara (021) y se divide para formar los bordes de la cara (010). La morfología avanzada de esta etapa constituye un marco cristalino y la aparición de un proto-cristal euhédrico con caras vacías. Se estima que esta morfología se genera en escalas de tiempo de minutos a horas. Si la saturación disminuye en el fundido silicatado el mecanismo de crecimiento puede cambiar a uno de crecimiento lento y al llenado de las cavidades, favoreciendo, por lo tanto, la maduración textural.

Etapa 3; El crecimiento continúa a lo largo de las cuatro extensiones dendríticas en el plano ac, y sucesivamente, el crecimiento de un nuevo marco, enraizado en las cuatro esquinas recientemente formadas. Como consecuencia de esta etapa de rápido crecimiento, una capa composicional límite (CBL, por sus siglas en inglés) es dejada entre el marco recién formado y el arreglo interno. En este punto, las tasas de crecimiento son comparativamente más lentas y el fundido ha disminuido fuertemente su contenido de níquel, formando un segmento deprimido en Ni.

Etapa 4; A medida que continúa el *undercooling*, por ejemplo, durante el ascenso del magma hacia una corteza progresivamente más fría los nuevos marcos cristalinos pueden crecer siguiendo la estructura cristalina previa con el desarrollo correlativo de depresiones en Ni como respuesta al crecimiento rápido de marcos. Algunas de las zonas deprimidas en Ni no están totalmente llenadas, lo que explica la ocurrencia de cavidades elongadas de forma paralela a las caras externas del cristal, que finalmente pueden formar inclusiones fundidas elongadas que son observadas con frecuencia en cristales de olivino naturales y experimentales.

Etapa 5; La maduración textural continua resulta en estructuras internas texturalmente más evolucionadas. La morfología resultante corresponde a un cristal en la transición de esqueletal a poliedral. La culminación de esta etapa consiste en un cristal poliedral sin cavidades, y, dependiendo del tiempo de residencia en el ambiente magmático caliente, el olivino podría (o no) registrar la composición diferencial entre los marcos cristalinos y las depresiones de níquel.

Este modelo implica que la zonación inversa en el olivino podría no en todos los casos reflejar recarga y mezcla de magmas. En cambio, esta zonación podría ser producto del enfriamiento y

fraccionamiento durante el ascenso combinado con crecimiento fuera de secuencia y efectos de las capas límite composicionales (Salas *et al.*, 2021).

Welsch *et al.* (2013) propone que la cristalización frecuente de Cr-espinela en inclusiones fundidas hospedadas en los olivinos no se debe a que este mineral cristaliza desde las inclusiones de fundido que son atrapadas en el olivino, ya que los altos contenidos de Cr_2O_3 de la espinela implicarían una concentración poco realista en el fundido; en cambio, la cristalización de Cr-espinela podría ser resultado de la acumulación de Cr en las capas composicionales límite del olivino dendrítico en crecimiento. En este caso, la ocurrencia sistemática de racimos de Cr-espinela en el olivino podría indicar que la Cr-espinela cristalizó *in situ* reflejando una sobresaturación local en el fundido.

3. METODOLOGÍA Y MATERIALES

El presente trabajo fue llevado a cabo en tres etapas: gabinete I, terreno y gabinete II, las cuales son descritas a continuación.

3.1. ETAPA GABINETE I

Recopilación y revisión de antecedentes bibliográficos del área de estudio, junto la planificación y preparación del material para la etapa de terreno. Se confeccionó un mapa de puntos de interés y muestras obtenidas por Watt *et al.* (2001), junto con la obtención de una imagen satelital del área de estudio para el uso en terreno.

3.2. ETAPA DE TERRENO

Se realizó una campaña de terreno entre los días 2 y 4 de abril de 2024 en el volcán Apagado, en el que se identificaron y caracterizaron macroscópicamente los depósitos de los productos eruptivos del volcán y se recolectaron 11 muestras de tefra, todas ubicadas dentro de un radio de 2 km desde el centro del cono piroclástico (Fig 3.1). Para cada muestra de tefra se recolectó aproximadamente 2,5 kg de material piroclástico con una pala metálica pequeña, y se almacenó en bolsas plásticas para su posterior estudio.

3.3. ETAPA DE GABINETE II

Las muestras de tefra fueron distribuidas en bandejas de aluminio y secadas en un horno a 60°C por 5-7 días; luego, fueron tamizadas con el fin de obtener la fracción de 0,5 – 2 mm, en la que es posible reconocer y seleccionar manualmente con una pinza los cristales de olivino, y separadas de la fracción magnética con un imán para reducir el volumen de la muestra.

3.3.1. Lupa binocular

Las muestras de tefra fueron montadas en placas Petri y cubiertas con aceite mineral hasta sumergir todo el material, y observadas bajo la lupa binocular (Labquimed) para la prospección de olivinos e inclusiones fluidas y fundidas, que fueron fotografiados con una cámara Relife M-16 montada en el soporte de la lupa (Fig. 3.2)

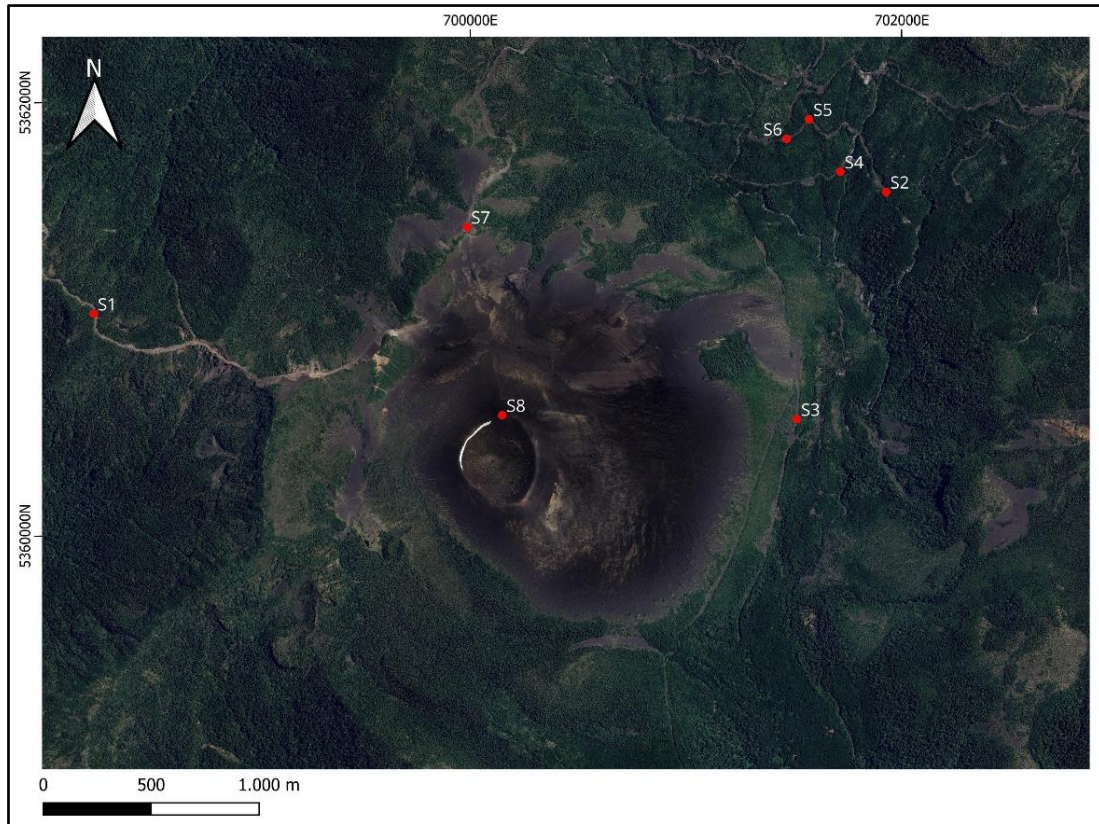


Figura 3.1: Mapa del área de estudio y puntos de muestreo.



Figura 3.2: Equipos para la prospección de fenocristales de olivino.

3.3.2. Análisis de química mineral

Para los análisis de química mineral se seleccionó la muestra S1a (Fig. 3.3), ya que de esta se tiene un buen control estratigráfico, corresponde al punto en el que trabajos previos (Watt *et al.*, 2011) encontraron cristales de olivino primitivos de alto porcentaje de forsterita, y presentan un menor grado de fracturamiento y, por ende, cristales mejores preservados.

Se seleccionaron ~2.000 cristales de olivino, de los cuales se montaron 30 aleatorios en una briqueta de resina epóxica carbonizada, que fue pulida para ser analizada en la Universidad de Nevada, Reno, mediante la microsonda electrónica modelo JEOL JXA-iHP200F con una corriente de 100 nA, 15 kV de aceleración y un diámetro de haz de 1 micrón.

Los elementos medidos fueron Si, Al, Cr, Fe, Ni, Mn, Mg, Ca, Na y P. Sin embargo, no se utilizaron los datos de Na y P por estar casi en su totalidad por debajo del límite de detección.



Figura 3.3: Sección de muestreo S1. Destacadas con colores (de base a techo) las capas S1a, S1b, S1c y S1d.

4. RESULTADOS

4.1. OBSERVACIONES DE TERRENO

El volcán apagado es un cono de escoria de gran tamaño, con un diámetro basal de 2 km y una altura de 200 m en el flanco oeste y de 600 m en el flanco este, compuesto de material altamente fragmentado principalmente de tamaño ceniza a lapilli fino, con una presencia menor de bloques piroclásticos en la cima del centro eruptivo.

4.2. OBSERVACIONES EN FENOCRISTALES DE OLIVINO

4.2.1. Morfología y texturas

A partir del material tamizado, los olivinos encontrados fueron clasificados según su morfología; al primer grupo se le denominó “esqueletal temprano” dado que aún conservan las cuatro dendritas en forma de “X” que radian desde un núcleo central a lo largo del plano ac (en adelante llamada “dendrita en cruz”) (Fig. 4.1B). Al segundo grupo se le denominó “esqueletal avanzado”, debido a que no tienen todas sus caras cristalográficas completamente desarrolladas, mostrando cavidades en las caras (021) y (110) (Fig. 4.1F). Sin embargo, no conservan la dendrita en cruz, señal de que están en una etapa más avanzada de su desarrollo textural. No se contabilizaron olivinos poliedrales debido al alto grado de fracturamiento de los fenocristales de olivino, y a la dificultad para diferenciar entre estos y cristales esqueléticos altamente avanzados.

El criterio para la selección de olivinos en el grupo 1 fue que estos estuvieran conservados de tal manera que se pudiera apreciar mediante el uso de la lupa binocular la dendrita en cruz (Fig. 4.1C, D y E). Para este grupo se contabilizaron olivinos altamente fracturados, ya que se consideró que la estructura planar y poco desarrollada de estos cristales los hace propensos a la fracturación, y, por ende, a una subestimación de la cantidad presente en los productos eruptivos.

El criterio para contabilizar olivinos en el grupo 2 fue que estos se encontraran conservados completamente, o bien, que solo estuvieran fracturados a lo largo del plano ab, y que fuera completamente visible la cara (021), que corresponde a la última en desarrollarse en la etapa de olivino esquelético de acuerdo con Salas *et al.* (2021) (Fig. 4.1G, H e I).

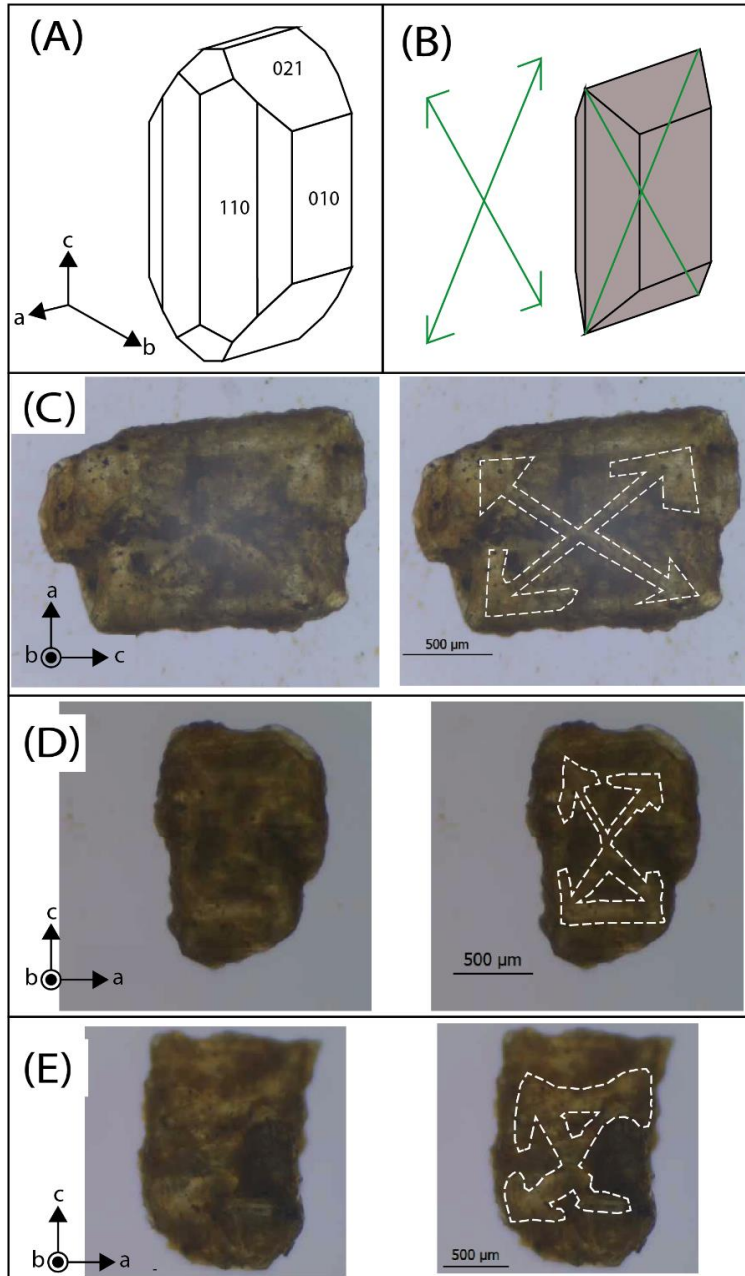


Figura 4.1: Esquema de grupos de olivino encontrados. (A) Morfología y direcciones cristalográficas principales en el olivino, extraído de Welch *et al.* (2013). (B) Esquema para olivinos en el grupo 1 (esqueletal temprano), modificado de Salas *et al.* (2021), mostrando la dendrita en cruz. (C, D y E) muestran ejemplos de textura esqueletal temprana preservada en fenocristales de olivino del volcán Apagado, fotografía (izquierda) y su interpretación (derecha).

En la tabla 4.1 se puede observar el detalle estadístico para todas las muestras de tefra recolectadas en terreno.

Todas las muestras de tefra revisadas se encuentran en la fracción granulométrica entre 0,5 y 2 mm, y están compuestas de fragmentos de escoria, olivinos y vidrio. El análisis estadístico se centró en la sección S1, ya que en esta muestra se realizaron también los análisis EPMA.

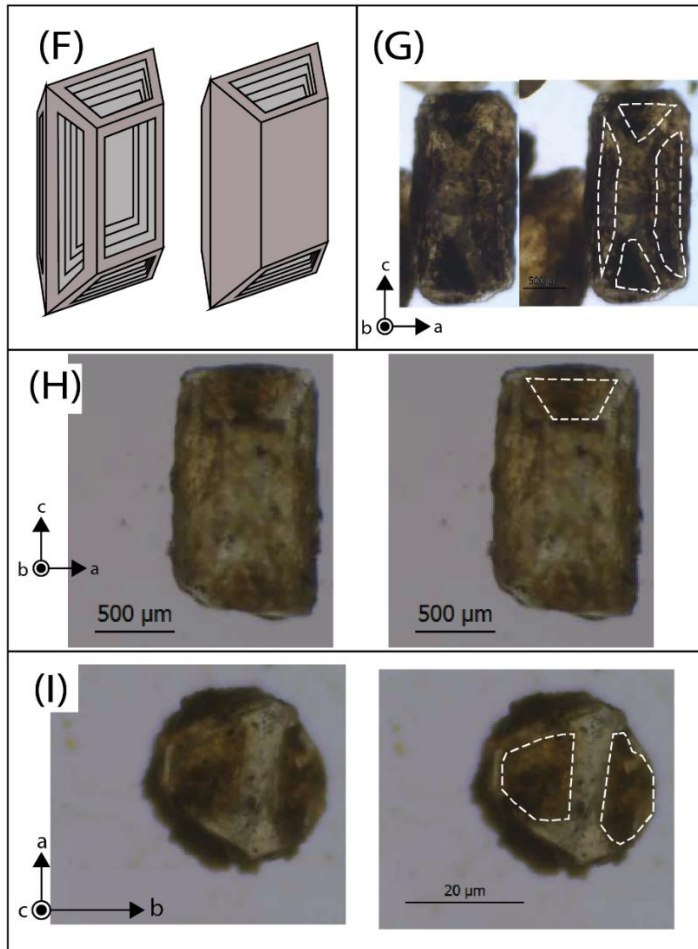


Figura 4.1 (continuación): (F) Esquema para olivinos en el grupo 2 (esqueletal avanzado), modificado de Salas *et al.* (2021) con cavidades en las caras (110) y (021), según el grado de desarrollo del cristal. (G, H e I) Muestran ejemplos de textura esqueletal avanzada preservadas en fenocristales de olivino del volcán Apagado, fotografía (izquierda) y su interpretación (derecha). (G) Olivino visto desde el eje b, muestra cavidades en las caras (021) y (110). (H) Olivino visto desde el eje b, con cavidad en la cara (021). (I) Olivino visto desde el eje c, se aprecian cavidades en las caras (021).

Para la sección S1, las muestras están compuestas de fragmentos de escoria (35-40%), olivinos y vidrio (50-30%), con una cantidad de olivinos que disminuye desde ~35% en S1a, a un ~15% en S1d a medida que aumenta el grado de fracturamiento de los fenocristales de olivino, por lo que en S1d se pudieron encontrar muy pocos olivinos bien conservados en los que fuera visible la cara (021), que permite discriminar entre morfologías.

Para la sección S2, también disminuye levemente el porcentaje de olivinos desde ~30% en S2a a ~20% en S2b. Estas muestras presentan olivinos poco fracturados y cubiertos con frecuencia por vidrio.

Tabla 4.1: Detalle estadístico de los fenocristales de olivino en las muestras de tefra

Sección	Muestra	Conteo cristales		
S1	S1a	Esq. Temprano	12	4,10%
		Esq. Avanzado	284	95,90%
		Total	n= 296	
	S1b	Esq. Temprano	3	3,0%
		Esq. Avanzado	103	97,0%
		Total	n=106	
	S1c	Esq. Temprano	1	2,0%
		Esq. Avanzado	46	98,0%
		Total	n=47	
	S1d	Esq. Temprano	2	12,5%
		Esq. Avanzado	14	87,5%
		Total	16	
S2	S2a	Esq. Temprano	2	5,3%
		Esq. Avanzado	36	94,7%
		Total	n=38	
	S2b	Esq. Temprano	2	5,4%
		Esq. Avanzado	35	94,6%
		Total	n=37	
S3		Esq. Temprano	0	0,0%
		Esq. Avanzado	14	100,0%
		Total	n=14	
S4		Esq. Temprano	0	0,0%
		Esq. Avanzado	27	100,0%
		Total	n=27	
S5		Esq. Temprano	0	0,0%
		Esq. Avanzado	3	100,0%
		Total	n=3	
S6		Esq. Temprano	0	0,0%
		Esq. Avanzado	54	100,0%
		Total	n=54	
S8	S8b	Esq. Temprano	0	0,0%
		Esq. Avanzado	23	100,0%
		Total	n=23	

La muestra S3 presenta una baja frecuencia de olivinos ~5%, predominando los fragmentos de escoria (45%) y el vidrio (40%). Además, se encontraron líticos sedimentarios (5%), lo que sugiere un transporte post depositación.

Para la sección S1, las muestras están compuestas de fragmentos de escoria (35-40%), olivinos y vidrio (50-30%), con una cantidad de olivinos que disminuye desde ~35% en S1a, a un ~15% en S1d a medida que aumenta el grado de fracturamiento de los fenocristales de olivino, por lo que en S1d se pudieron encontrar muy pocos olivinos bien conservados en los que fuera visible la cara (021), que permite discriminar entre morfologías.

Para la sección S2, también disminuye levemente el porcentaje de olivinos desde ~30% en S2a a ~20% en S2b. Estas muestras presentan olivinos poco fracturados y cubiertos con frecuencia por vidrio.

La muestra S3 presenta una baja frecuencia de olivinos ~5%, predominando los fragmentos de escoria (45%) y el vidrio (40%). Además, se encontraron líticos sedimentarios (5%), lo que sugiere un transporte post deposición.

En la muestra S4 se encontró una baja frecuencia de olivinos (~10%), predominando los fragmentos de escoria (45%) y vidrio (45%).

La muestra S5 está compuesta principalmente por escoria (70%), líticos (15%), plagioclasa (10%) y olivinos (5%). Los clastos relativamente redondeados y la ausencia de vidrio (<1%) sugiere transporte post deposición. Algunas de las plagioclasas están cubiertas con una pátina rojiza y los olivinos presentes están muy fracturados, lo que no permite una estadística confiable.

Las muestras S6 y S8b están compuesta de fragmentos de escoria (45%), vidrio (35%), olivinos (15%) y plagioclasas (5%) muy fracturadas.

4.2.2. Inclusiones fluidas, fundidas y minerales

En algunos fenocristales de olivino se encontraron inclusiones minerales de Cr-espinela de tamaños generalmente menores a 25 μm , que fueron poco visibles debido al vidrio cubriendo los cristales. Las inclusiones estaban aparentemente desordenadas a lo largo del cristal, pero en algunas ocasiones se encontraron alineadas a lo largo del plano ac paralelas a los ejes cristalográficos principales u ordenadas de forma paralela a las caras exteriores del cristal (Fig. 4.2).

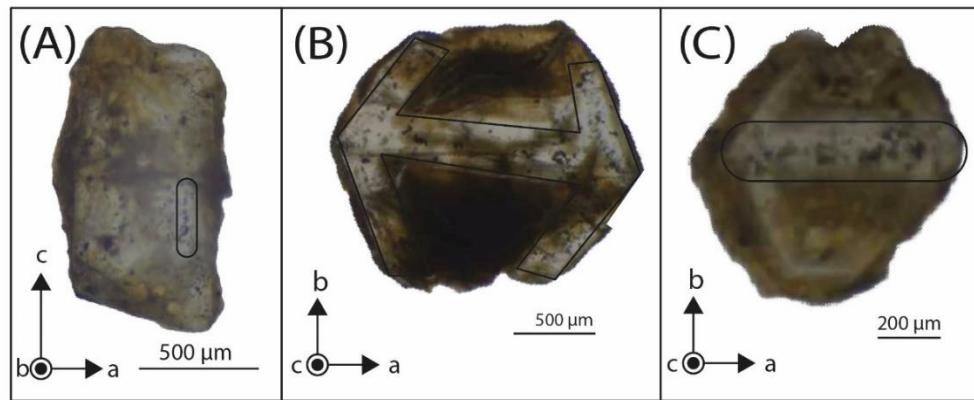


Figura 4.2: Inclusiones minerales en fenocristales de olivino. (A) inclusiones alineadas paralelas al eje c, (B) alineadas al plano ac y a las caras exteriores del cristal y (C) alineadas en el plano ac.

También se encontraron inclusiones fluidas y fundidas, siendo estas visibles en las secciones que presentan un menor fraccionamiento de los cristales de olivino (S1a y S2a). Se encuentran distribuidas de forma aleatoria, alargadas paralelas al eje c, o elongadas hacia a la cara (021) (Fig. 4.3)

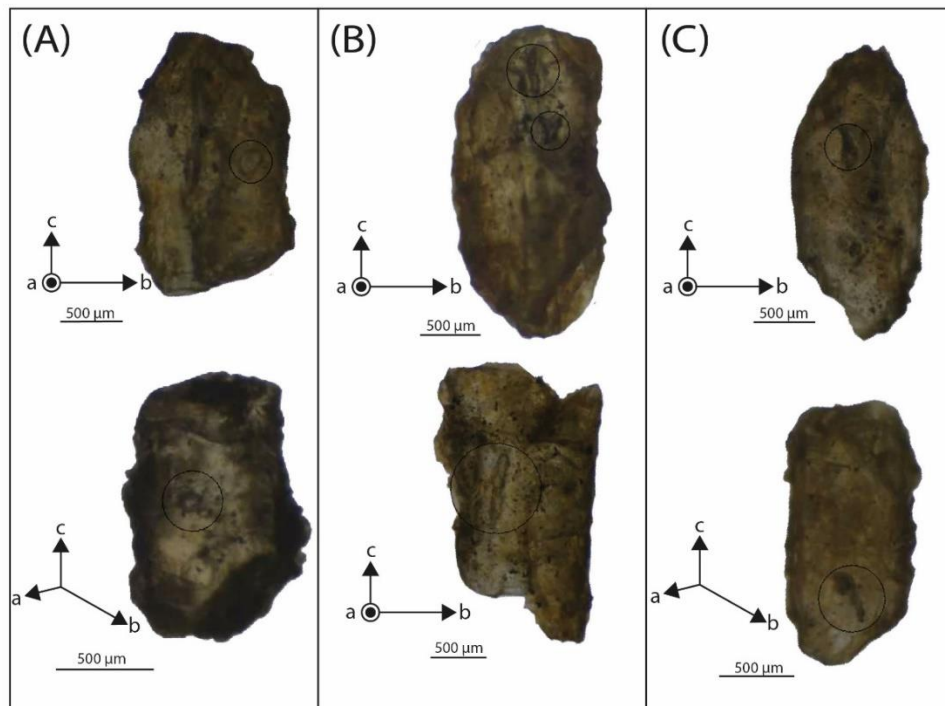


Figura 4.3: Inclusiones fluidas y fundidas en olivinos (A) distribuidas aleatoriamente, (B) elongadas en la dirección del eje c, y (C) elongadas hacia la cara (021).

4.2.3. Organización de unidades cristalinas

Bajo la lupa binocular fue posible observar desorientaciones en unidades cristalinas (*twinnings*) (Fig. 4.4A) en ángulos de $\sim 60^\circ$ y 90° , además de unidades organizadas en patrones paralelos (Fig. 4.4B) y de mosaico (Fig. 4.4C), este tipo de estructuras se encontraron en todas las secciones, pero con una mayor frecuencia en secciones con un mayor grado de fraccionamiento (secciones S1b, S1c y S2b).

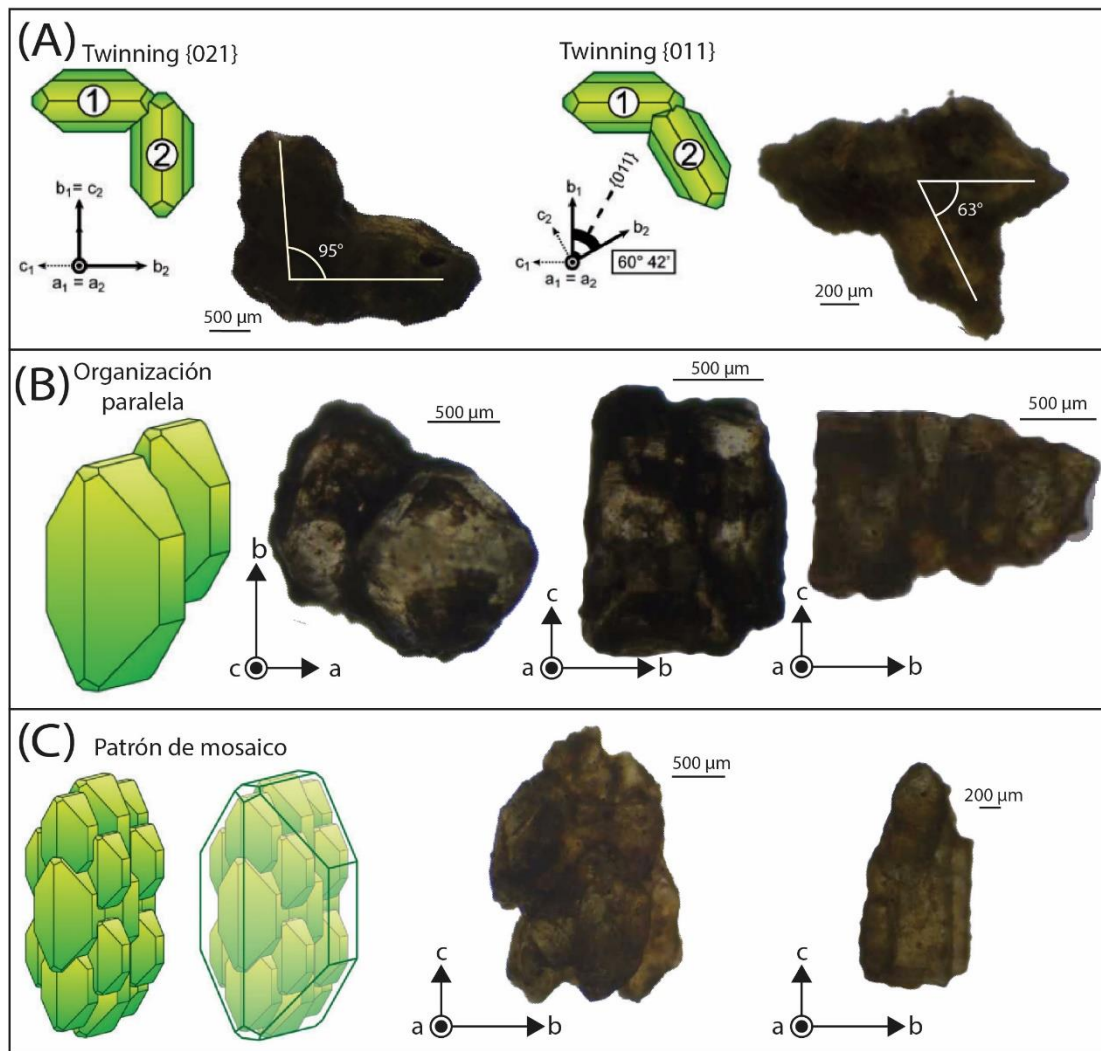


Figura 4.4: Organización en unidades cristalinas. (A) *Twinnings*, (B) organización paralela y (C) patrón en mosaico

4.3. MICROSONDA ELECTRÓNICA (EPMA)

Los análisis en olivino mediante microsonda electrónica se realizaron en 30 olivinos para la sección S1a, obteniendo 333 datos puntuales que fueron filtrados para un total analítico entre 99-101%. Los 320 puntos resultantes están distribuidos en 27 perfiles y 84 mediciones aisladas.

Se calcularon las concentraciones de Ni, Mn, Cr y Ca en ppm y su error asociado, además del porcentaje de Forsterita para cada punto analizado. Para calcular el error en el %Fo, se aplicó la fórmula general para la propagación de errores en funciones que dependen de varias variables, obteniendo la siguiente fórmula para el cálculo de error:

$$\sigma\%Fo = \sqrt{(\sigma Mg)^2 + (\sigma Fe)^2} \times 100$$

Donde σMg y σFe corresponden a los errores asociados a las mediciones de Mg y Fe respectivamente.

De los cálculos se obtuvieron los resultados resumidos en la tabla 4.2, la totalidad de los datos en el Anexo 1.

Tabla 4.2: Resumen del cálculo de concentraciones en datos puntuales en olivino

	Fo%	Ni (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	Ca (ppm)
Promedio	89,5	2321,0	316,0	1204,6	950,4
Máximo	93,8	4546,9	659,4	2070,5	1700,6
Mínimo	83,1	323,3	114,1	703,6	689,2
Error promedio	0,4	40,7	18,4	34,4	19,6

Estos datos se retrataron en gráficos vs el %Fo (Fig. 4.5), donde se puede ver que existe una relación directa entre el contenido de Ni y Cr y el %Fo, mientras que hay una relación inversa entre los contenidos de Ca y Mn con el %Fo.

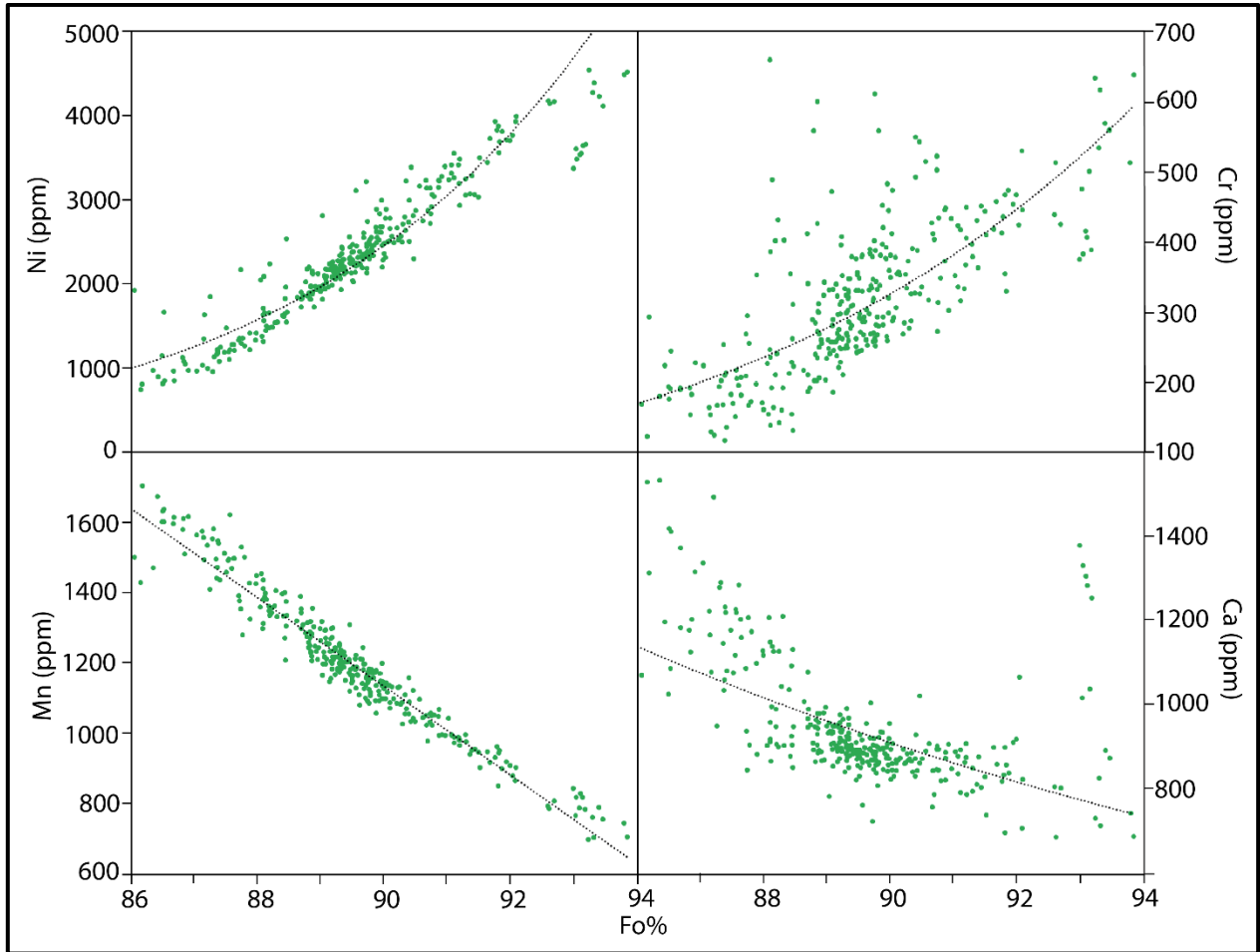


Figura 4.5: Concentraciones de Ni, Cr, Ca y Mn en ppm versus el %Fo. Para datos puntuales en olivino. Tendencia de los datos marcada con línea negra punteada.

4.3.1. Perfiles composicionales

Todos los olivinos analizados muestran un patrón de zonación oscilatoria, evidenciado tanto en las imágenes de electrones retrodispersados como en los perfiles composicionales. En la figura 4.6 se observan los perfiles correspondientes a los olivinos 10, 18, 21 y 25 (los demás perfiles se encuentran en el Anexo 2), en los que se evidencia una fuerte correlación entre los contenidos de Ni y %Fo. Cabe destacar que se observó una zonación inversa en olivinos cortados en la sección ac (e.g. perfil C-C', fig. 4.6).

Las bandas oscuras presentan un mayor contenido de Fo y Ni, mientras que las bandas claras presentan depresiones composicionales en los perfiles.

Para la zonación se reconocen tres grupos de clasificación; un primer grupo con zonación sencilla, cercana a una zonación normal; con un núcleo del alto %Fo, y bordes con zonación oscilatoria; un segundo grupo con zonación inversa, con mayor contenido de forsterita en los bordes que en el núcleo; y un tercer grupo con zonación oscilatoria a lo largo de todo el cristal y una mayor cantidad de bandas de alto Fo-Ni. En la figura 4.7 se ejemplifican algunas de estas zonaciones.

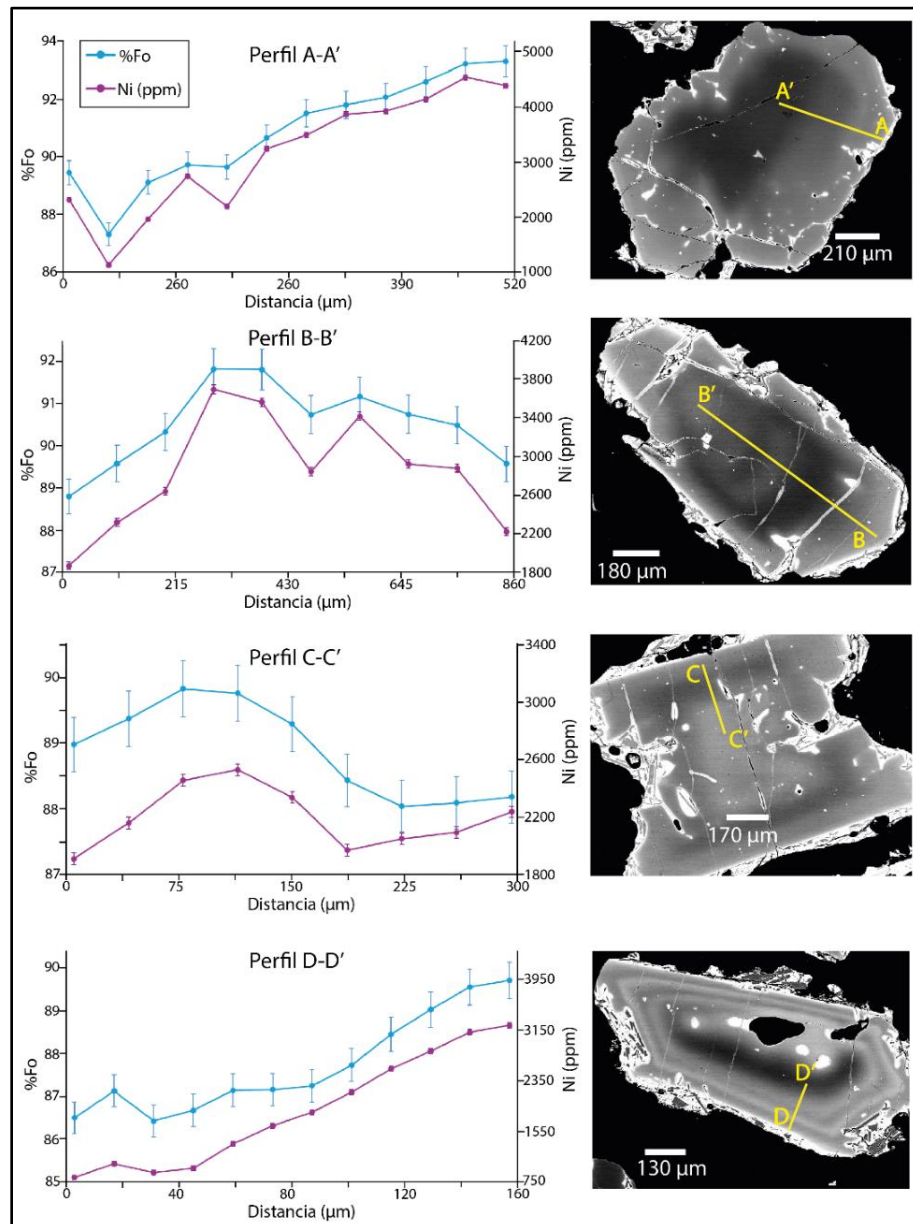


Figura 4.6: Diagramas de zonación elemental en olivinos. Todos los perfiles están hechos desde el borde hacia el centro del cristal. Contenidos de Fo% en azul y Ni (ppm) en morado. Puntos analizados se muestran en rojo en las imágenes BEI

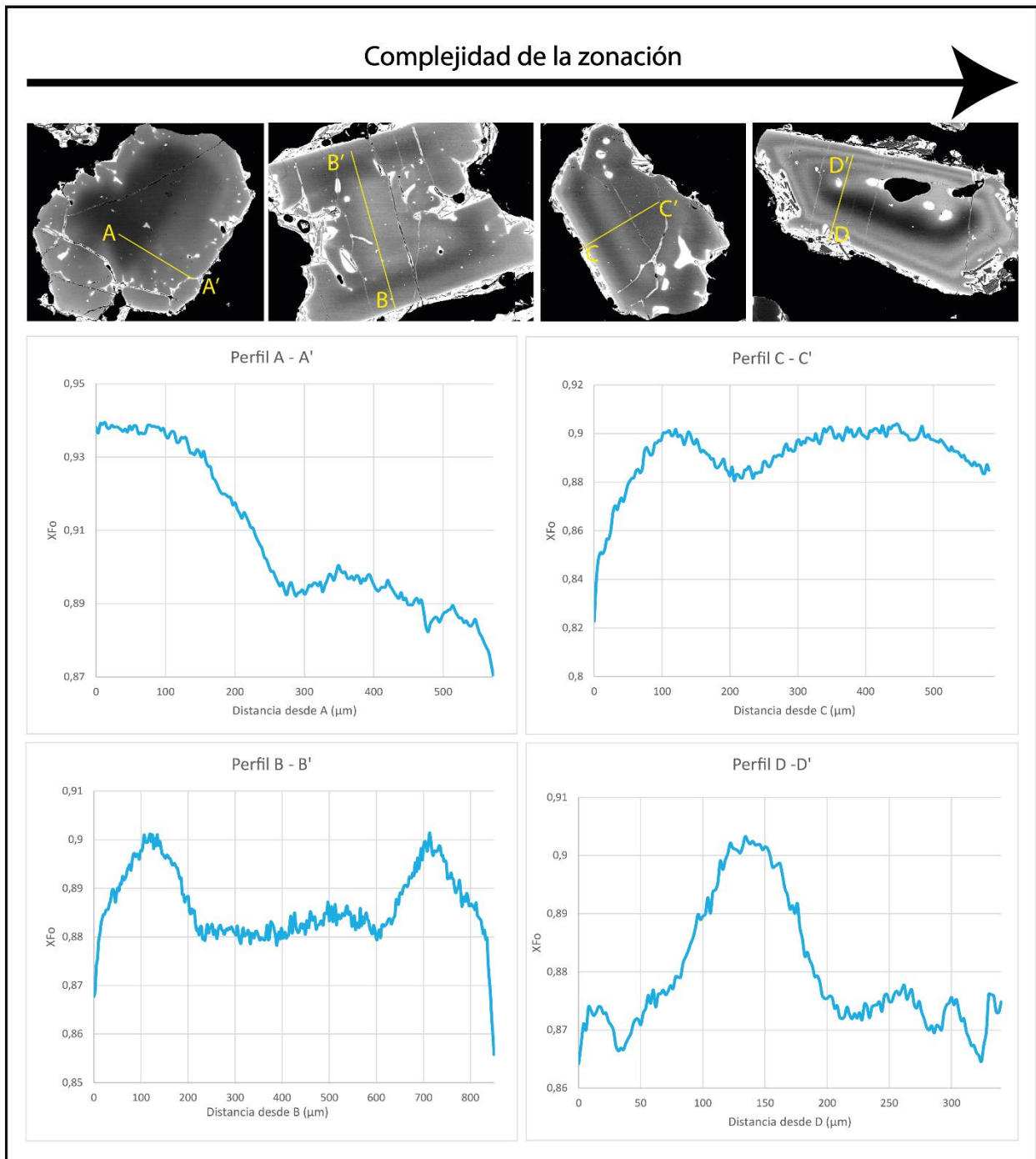


Figura 4.7: Tipos de zonaciones composicionales encontradas en olivinos. Olivinos representativos de los tipos de zonaciones composicionales presentes y sus respectivos perfiles X_{Fo} vs distancia del perfil. Los perfiles se obtuvieron extrapolando las composiciones puntuales de los análisis por microsonda con el software ImageJ.

4.4. TERMOMETRÍA EN OLIVINOS

Los datos de mediciones puntuales mediante EPMA fueron utilizados para termometría en olivinos siguiendo la metodología de Putirka (2008) (Ecuación 22).

$$T(^{\circ}C) = \frac{\{15294.6 + 1318.8 P (GPa) + 2.4834 [P(GPa)]^2\}}{8.048 + 2.8352 \ln D_{Mg}^{ol/liq} + 2.097 \ln [1.5(C_{NM}^{liq})] + 2.575 \ln \left[3 \left(C_{SiO_2}^{liq} \right) \right] - 1.41 NF + 0.222 H_2O^{liq} + 0.5 P(GPa)}$$

Donde,

$$C_{SiO_2}^{liq} = X_{SiO_2}^{liq}$$

$$C_{NM}^{liq} = X_{FeO}^{liq} + X_{MnO}^{liq} + X_{MgO}^{liq} + X_{CaO}^{liq} + X_{CoO}^{liq} + X_{NiO}^{liq}$$

$$NF = \frac{7}{2} \ln(1 - X_{AlO_{1.5}}^{liq}) + 7 \ln(1 - X_{TiO_2}^{liq})$$

Para los cálculos se consideró una presión de 0,8 GPa, asociado a una profundidad de 30 km, y una fugacidad de oxígeno ΔQFM de +2, que ha sido observada en el volcán Los Hornitos, centro monogenético de la CSVZ (Salas *et al.*, 2024).

Para la composición de roca total (Tabla 4.3) se utilizaron datos publicados por Watt *et al.* (2011), que corresponden a muestras con las mismas coordenadas de la sección S1 del presente trabajo (Columna I en Watt *et al.*, 2011).

Estas composiciones de roca total fueron comparadas con 33 datos puntuales y de puntos que definen perfiles composicionales en 16 olivinos con $Fo_{89,5-90}$ (Tabla 4.4), ya que estos mostraron un mejor ajuste del K_D (Fe-Mg), con valores entre 0,29 y 0,31.

Tabla 4.3: Composiciones de roca total utilizadas en el cálculo de temperatura.

Muestra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
21-5C	51,19	0,76	15,27	8,26	0,16	12,11	9,37	2,23	0,52	0,13
21-5B	50,45	0,78	15,68	8,49	0,15	12,39	9,24	2,21	0,48	0,13
Promedio	50,82	0,77	15,48	8,37	0,16	12,25	9,31	2,22	0,50	0,13

Tabla 4.4: Composición promedio de los puntos analíticos en olivino utilizados en el cálculo de temperatura

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	NiO	MnO	MgO	CaO	Fo%
40,61	0,02	0,05	9,93	0,31	0,15	48,81	0,12	89,75

Los datos se modelaron para contenidos de agua de 2, 3 y 4% en el magma, ya que se sabe de mediciones realizadas por Watt *et al.* (2011) en inclusiones fundidas, que hay valores de H₂O entre 2,5 y 3,3%. Se obtuvo que al incrementar H₂O por 1% implica un descenso en la temperatura de equilibrio olivino-melt de aprox. 20°C. A continuación, se muestran los resultados:

Tabla 4.5: Resultados de la termometría en olivinos para diferentes contenidos de agua.

2% H ₂ O	1.279-1.281°C
3% H ₂ O	1.257-1.259°C
4% H ₂ O	1.236-1.238°C

4.5. MODELOS DE DIFUSIÓN

Se seleccionaron los cristales en que fuera posible medir los ángulos internos entre sus caras con el fin de estimar la orientación del eje c (que es necesario para el modelamiento), y luego se realizó perfiles a estos cristales con ImageJ para clasificar las diferentes bandas de zonación, que fueron luego modeladas con DiffSim, siguiendo la metodología de Morgado y Morgan (2024), para estimar el tiempo de la difusión.

Mediante ImageJ se realiza una extrapolación desde los puntos medidos con EPMA, asignando así un contenido de forsterita según la escala de grises, obteniendo así un perfil en que cada punto refleja la composición de un píxel en la imagen.

El modelamiento mediante DiffSim se realizó con una temperatura de 1.235°C para Fo₉₂, disminuyendo en 35°C para cada unidad de forsterita. La presión fue de 6 bar y las condiciones de oxidación un ΔQFM de +2.

Los resultados muestran tiempos de difusión de cientos de días para bandas composicionales de Fo₉₁₋₉₂, mientras que para Fo₉₀ los tiempos varían desde cientos a decenas de días, con algunos

cristales presentando más de una banda de composición cercana al 90% de forsterita, y mostrando consistentemente tiempos menores hacia los bordes.

Para el olivino 26, en que fue posible calcular el tiempo de difusión para una banda de For_{88} , los tiempos disminuyen a ~ 20 días. Sin embargo, la cantidad de puntos analíticos utilizados es menor debido a lo estrecho de la banda y a la resolución de la imagen BEI, por lo que el ajuste al modelo es más complejo. Por esta misma razón, no fue posible medir tiempos de difusión en bandas con forsterita menor a 88%.

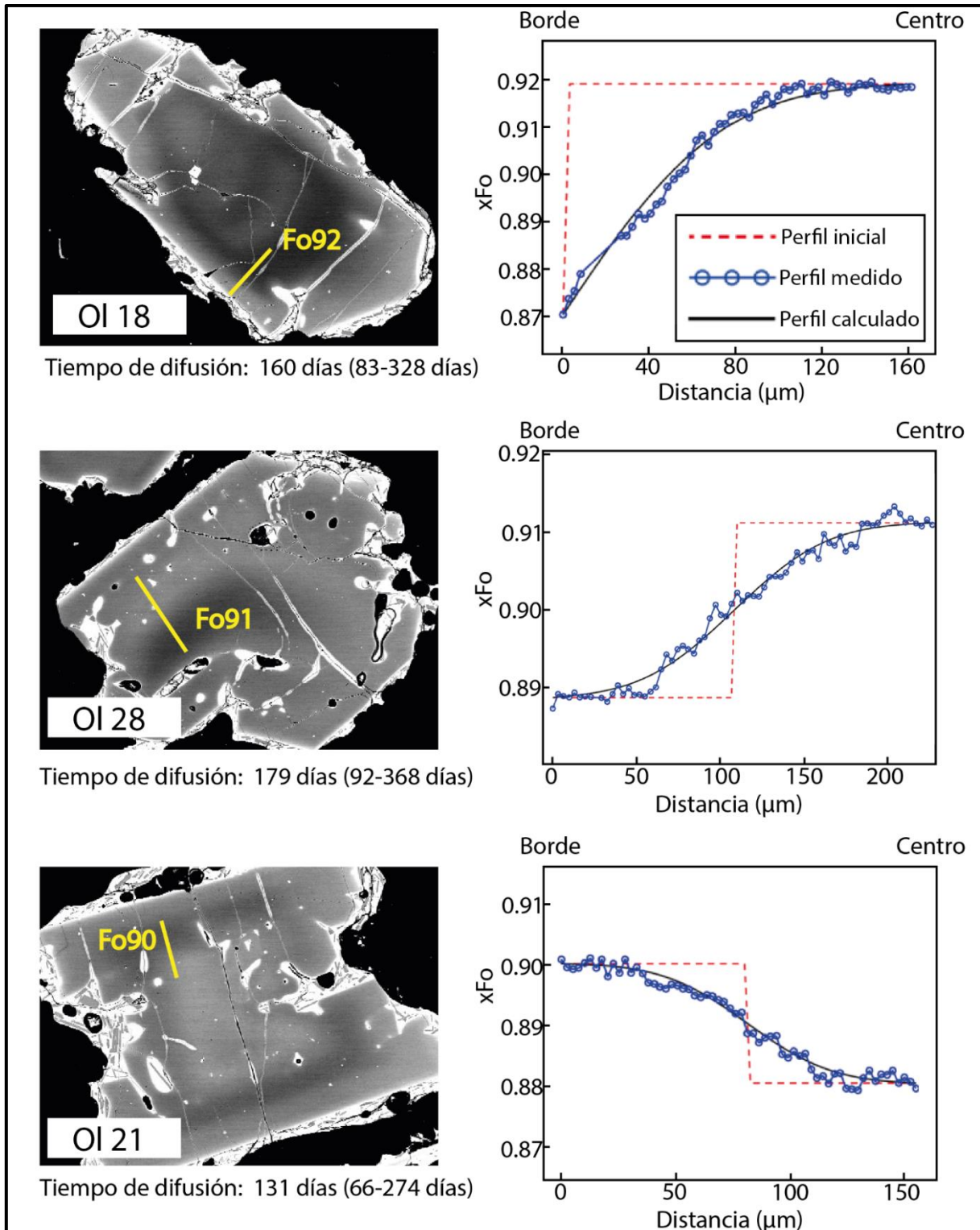


Figura 4.8: Perfiles de difusión para las diferentes bandas composicionales en olivinos. Olivinos 18, 21 y 28. Contenido de forsterita indicado en la imagen. Los cálculos se realizaron con el programa DiffSim. Bajo cada olivino se encuentra el tiempo estimado y el rango de tiempo considerando el error asociado a los cálculos en paréntesis.

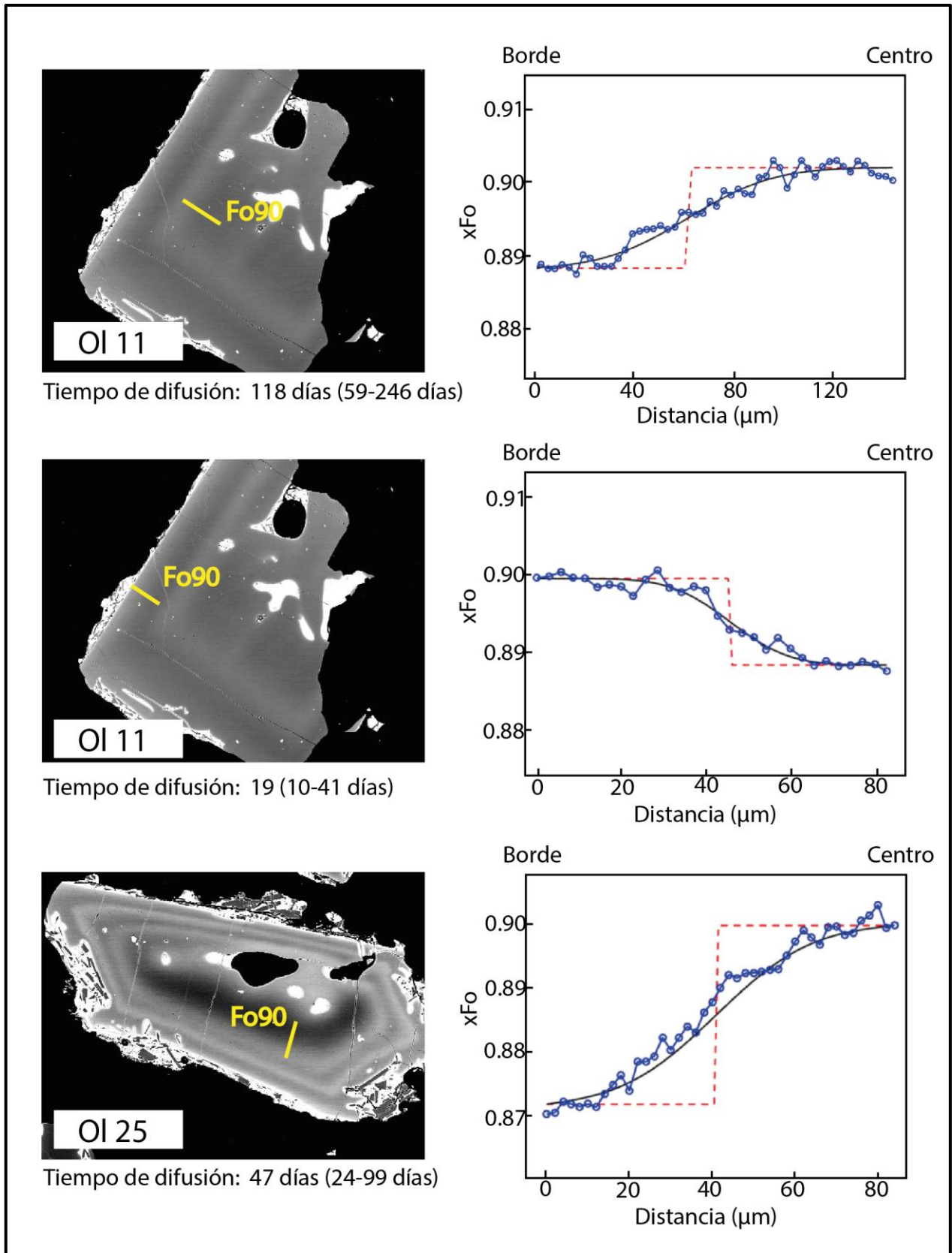


Figura 4.8 (continuación): Perfiles de difusión para los olivinos 11 y 25.

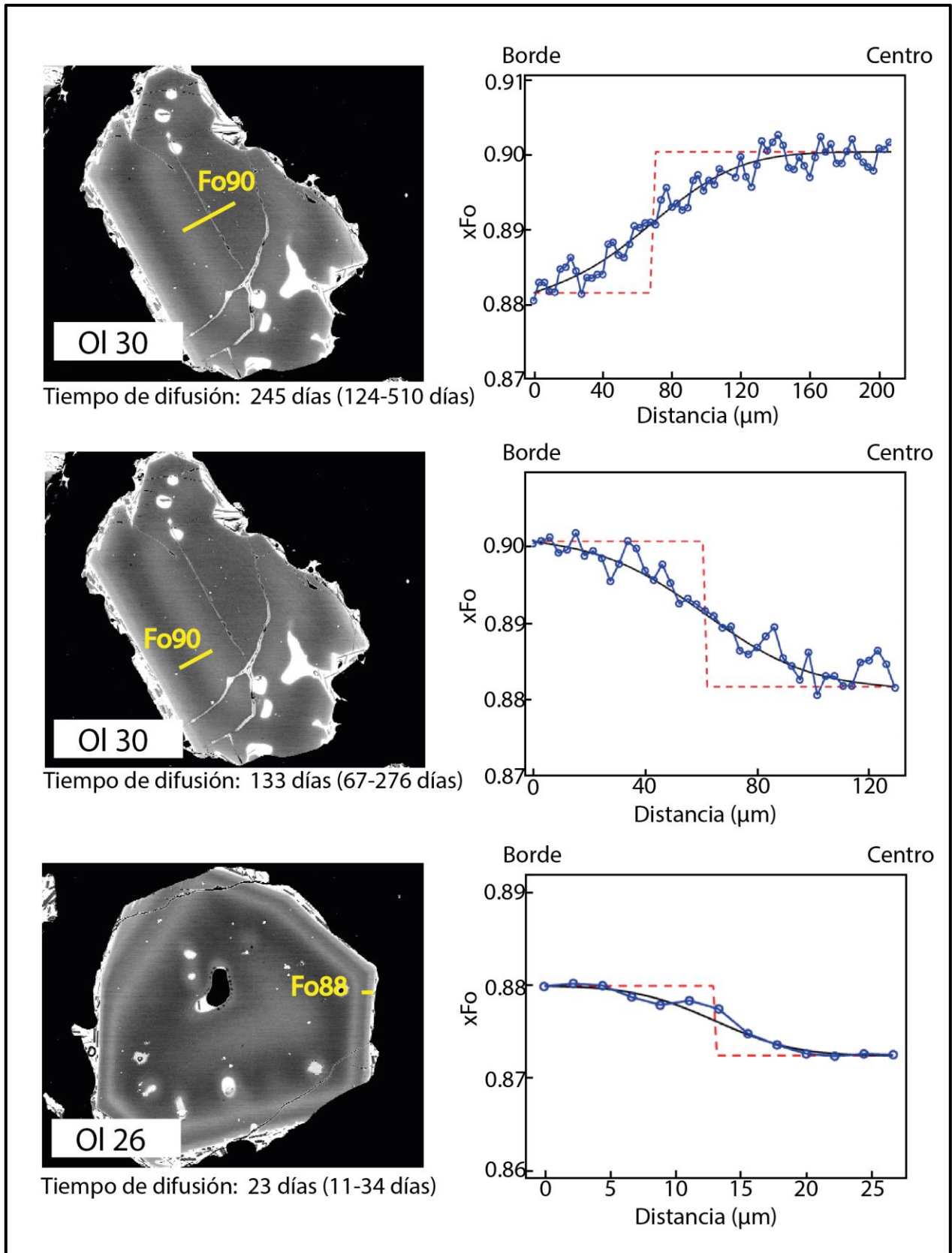


Figura 4.8 (continuación): Curvas de difusión para los olivinos 30 y 26.

5. DISCUSIÓN

5.1. GEOQUÍMICA DE ROCA TOTAL

De acuerdo con la literatura citada previamente (e.g. Mella, 2008; Watt *et al.*, 2011; 2013), el volcán Apagado corresponde a un cono de escoria de composición basáltica formado en el evento Ap-1, con un VEI 4-5 y características de una erupción de tipo pliniana.

Las composiciones de roca total muestran contenidos de MgO > 12% wt (Watt *et al.*, 2011; Watt *et al.*, 2013) con las abundancias más bajas de elementos incompatibles en comparación a otros centros eruptivos de la CSVZ (excepto por Nb, K, Sr y Ti), lo que sugiere que estos magmas provienen de un manto deprimido; y razones considerablemente más bajas de La/Yb y más altas de U/Th que otras muestras de conos de escoria (Fig. 5.2), indicando una fuerte señal de fluidos provenientes del slab con un alto grado de fusión parcial de la fuente (Jacques *et al.*, 2014).

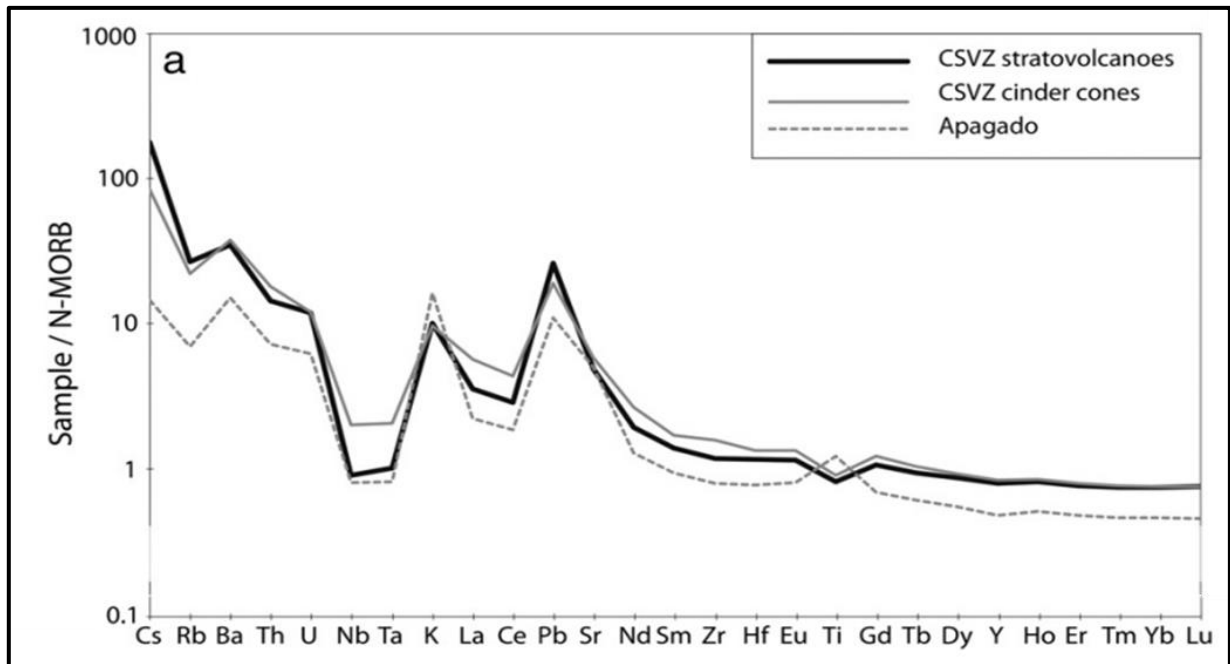


Figura 5.1: Diagrama multielemental normalizado a N-MORB. Se muestran las diferencias composicionales entre los estratovolcanes y los conos de ceniza de la CSVZ. Las composiciones para el volcán Apagado se muestran en una línea segmentada. Extraído de Jacques *et al.* (2014).

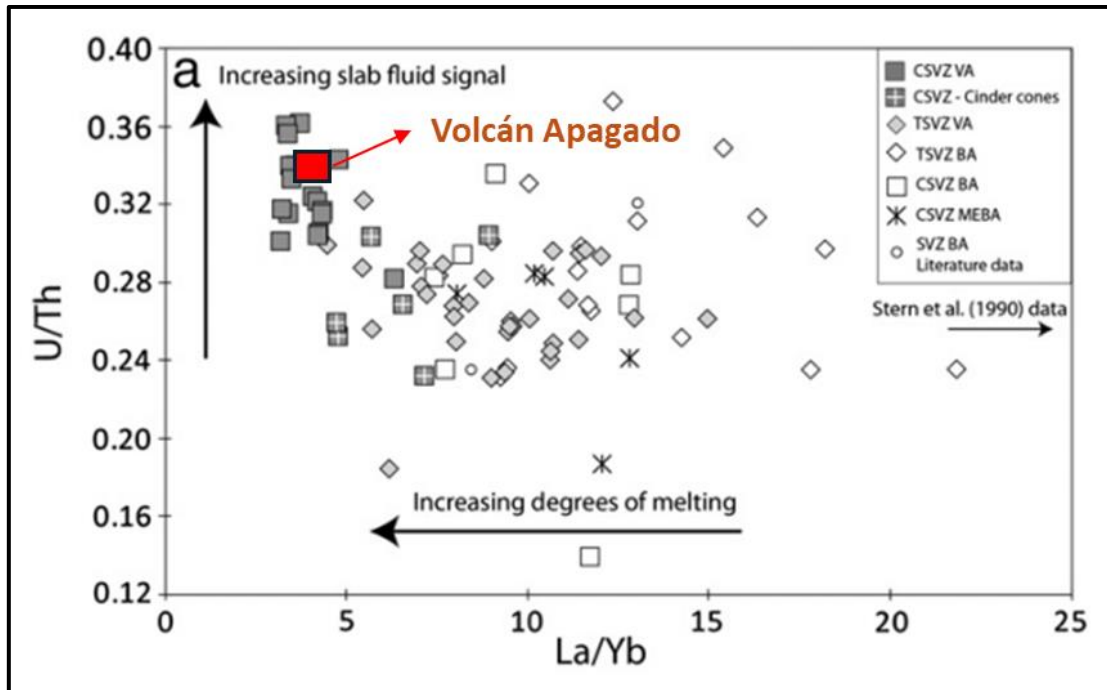


Figura 5.2: La/Yb vs U/Th para centros eruptivos de la CSVZ y la TSVZ. Arco volcánico (VA) y trasarco (BA). Extraído de Jacques *et al.* (2014).

Los contenidos isotópicos de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ son de 0,703531 y $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ de 0,512896 (Fig. 5.3), indicando proveniencia de una fuente mantélica deprimida y no diferenciada con poca o nula influencia cortical; mientras que los diagramas de las razones de Pb indican que la muestra proveniente del volcán Apagado tiene menores proporciones de Pb radiogénico que las muestras de la CSVZ y TSVZ ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ de 18,4935; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ de 15,5786 y $^{284}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ de 38,2728) (Fig. 5.3) indicando poca o nula asimilación cortical y una baja influencia de los sedimentos del slab (Jacques *et al.*, 2014).

En el trabajo de Watt *et al.* (2013) se estimaron las composiciones del magma parental para los productos de la erupción Ap-1 utilizando composiciones de inclusiones fundidas mediante PETROLOG, confirmando que estas rocas son cercanas a un fundido mantélico primario, con una composición del magma parental de un basalto rico en Mg.

Las inclusiones fundidas hospedadas en olivinos en los productos de Ap-1 tienen altos contenidos de H_2O (~3 wt%), pero relativamente pobres en CO_2 (~500 ppm máximo) (Watt *et al.*, 2013).

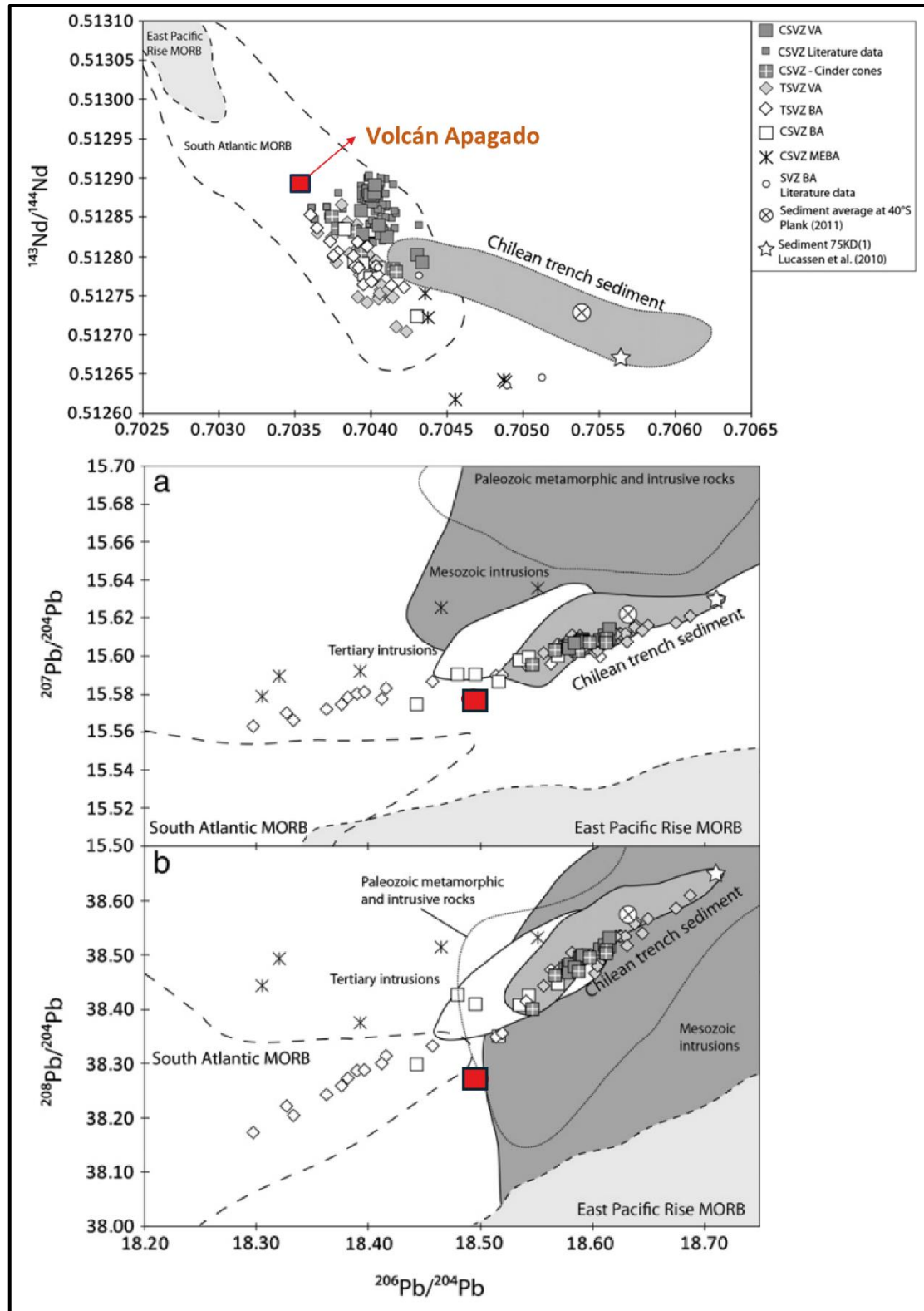


Figura 5.3: Datos isotópicos de Sr, Nd y Pb para centros eruptivos de la CSVZ y la TSVZ. Arco volcánico (VA) y trasarco (BA). Extraído de Jacques *et al.* (2014).

Estas características geoquímicas en los depósitos piroclásticos del volcán Apagado indican proveniencia desde un magma parental primitivo deprimido en elementos incompatibles con una importante señal de fluidos provenientes del slab, que asciende a través de la corteza sin sufrir procesos corticales importantes (e.g. mezcla o asimilación).

5.2. TEXTURAS MINERALES

En las muestras de tefra analizadas (S1 a,b,c y d) se encontró un gran porcentaje de cristales de olivino (15-35%), siendo además esta la única fase mineral identificada bajo la lupa binocular.

Las texturas cristalinas de los olivinos son altamente sensibles a condiciones termodinámicas y cinéticas de cristalización (Welsch *et al.*, 2013). En estudios experimentales (Faure *et al.*, 2003; 2007), se observa que el olivino desarrolla un hábito dendrítico por crecimiento a un fuerte grado de *undercooling* ($-\Delta T > 60^{\circ}\text{C}$), un hábito esquelético a un grado moderado de *undercooling* ($-\Delta T = 20 - 60^{\circ}\text{C}$) y un hábito poliedral en condiciones cercanas al equilibrio ($-\Delta T < 20^{\circ}\text{C}$) (Fig. 5.4).

A partir de las observaciones realizadas en los fenocristales de Ap-1 se identificaron texturas esqueléticas, con un primer grupo presentando texturas esqueléticas tempranas (~2-12%) y un segundo grupo con texturas esqueléticas avanzadas (~88-98%), con texturas poliedrales ausentes en todas las muestras de tefra estudiadas. Esto evidencia el alto grado de *undercooling* en el magma hospedante (Fig. 4.1; Tabla 4.1).

Además de las texturas, bajo la lupa binocular se observó la distribución de inclusiones minerales de Cr-espinela (Fig. 4.2), y de inclusiones fundidas y fluidas, encontrando grupos de Cr-espinela alineadas en la dirección del eje c y de los marcos cristalinos, e inclusiones alineadas en la dirección del eje c y orientadas hacia la cara (021).

En el trabajo de Welsch *et al.* (2013) se propone que la cristalización de Cr-espinela está íntimamente relacionada a la cristalización del olivino, ya que los altos contenidos de Cr_2O_3 de la espinela implicarían una concentración poco realista de Cr en el fundido, siendo el Cr_2O_3 un óxido menor en los magmas primarios (Fig. 5.5). En cambio, se propone que la cristalización de Cr-

espinela puede resultar de la acumulación de Cr en la capa borde de un olivino dendrítico o esqueletal en crecimiento.

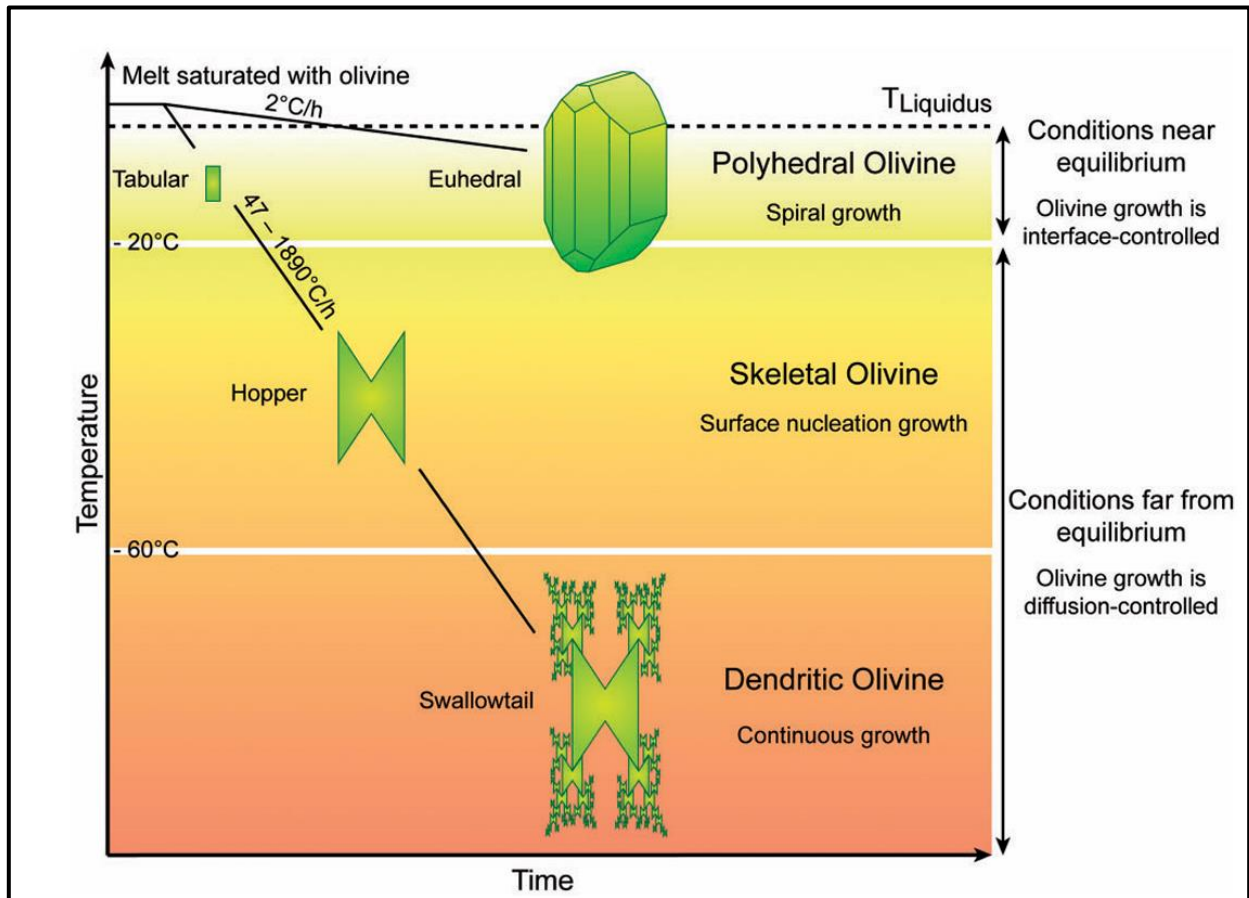


Figura 5.4: Textura en cristales de olivino para diferentes grados de *undercooling*. Figura realizada a partir de datos experimentales. Extraído de Welsch *et al.* (2013).

De esta forma, la ocurrencia de inclusiones minerales de Cr-espinela podría indicar que este mineral cristalizó *in situ*, debido a un crecimiento acelerado de los fenocristales de olivino en el magma, lo que genera un empobrecimiento de los elementos compatibles en el olivino en los bordes del cristal, con una sobresaturación local de Cr (a lo que se le denomina capa límite composicional, o CBL por sus siglas en inglés).

En el trabajo de Welsch *et al.* (2013) se propone que la cristalización de Cr-espinela está íntimamente relacionada a la cristalización del olivino, ya que los altos contenidos de Cr_2O_3 de la espinela implicarían una concentración poco realista de Cr en el fundido, siendo el Cr_2O_3 un óxido

menor en los magmas primarios (Fig. 5.5). En cambio, se propone que la cristalización de Cr-espinela puede resultar de la acumulación de Cr en la capa borde de un olivino dendrítico o esquelético en crecimiento.

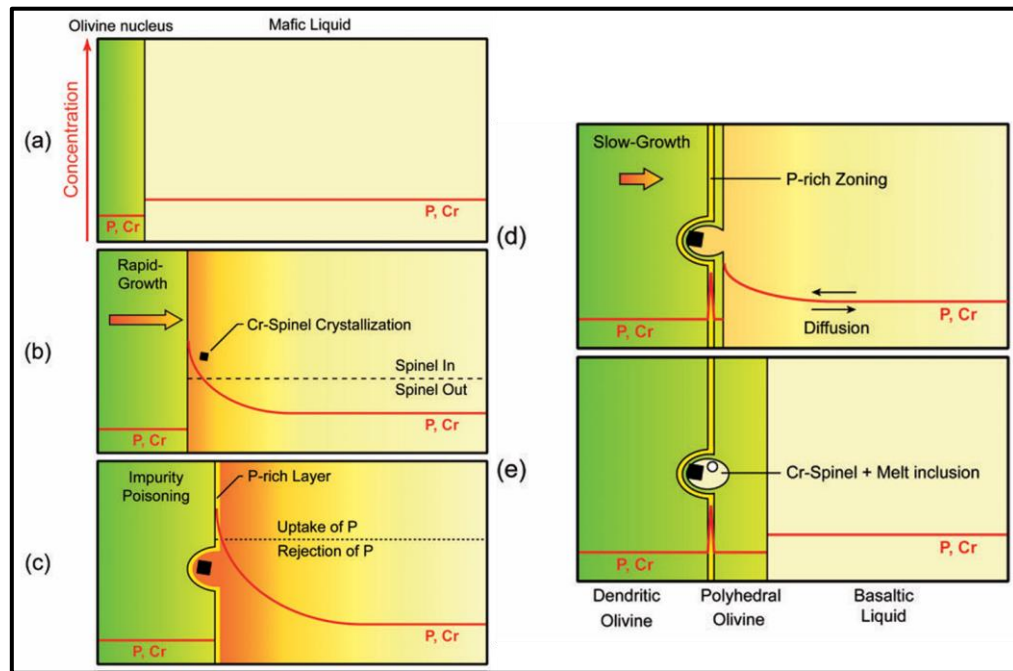


Figura 5.5: Esquema de la formación de Cr-espinela en las capas composicionales límite (CBL). Extraído de Welsch *et al.* (2013).

La distribución de las inclusiones fundidas podría reflejar el crecimiento acelerado del olivino mediante la adición de marcos cristalinos, siguiendo el modelo de crecimiento tridimensional propuesto por Salas *et al.* (2021), en el que estas bolsas de fundido quedarían atrapadas en las zonas entre los marcos cristalinos, o en la cara (021) que corresponde a la última cara cristalina en desarrollarse de acuerdo con Welsch *et al.*, (2013). Sin embargo, para corroborar esta idea se necesita tener mayor conocimiento sobre la relación espacial de las inclusiones y la zonación composicional de los cristales.

En cuanto a los patrones de organización encontrados, estos han sido descritos previamente por Welsch *et al.* (2013), en el contexto de una cámara magmática somera en el volcán Pitón de la Fournaise en Isla Reunión, asociadas a una cristalización acelerada en zonas cercanas a las paredes de la cámara magmática debido a un alto gradiente termal entre el magma caliente al interior de la

cámara y la roca caja (Fig. 5.6); este trabajo propone que la organización de fenocristales de olivino en unidades sub-paralelas es el resultado del crecimiento dendrítico de los cristales de olivino en las direcciones preferenciales de cristalización, ya que la probabilidad de juntar cinco cristales (ocho pares de caras paralelas) en un arreglo lineal como el de la figura 4.4B, es de $1/8^5$ o 0,003%, mientras que la probabilidad de que estos cristales se unan paralelamente en orden decreciente es $1/8^5 * 1/2^3$ o 0,0004%.

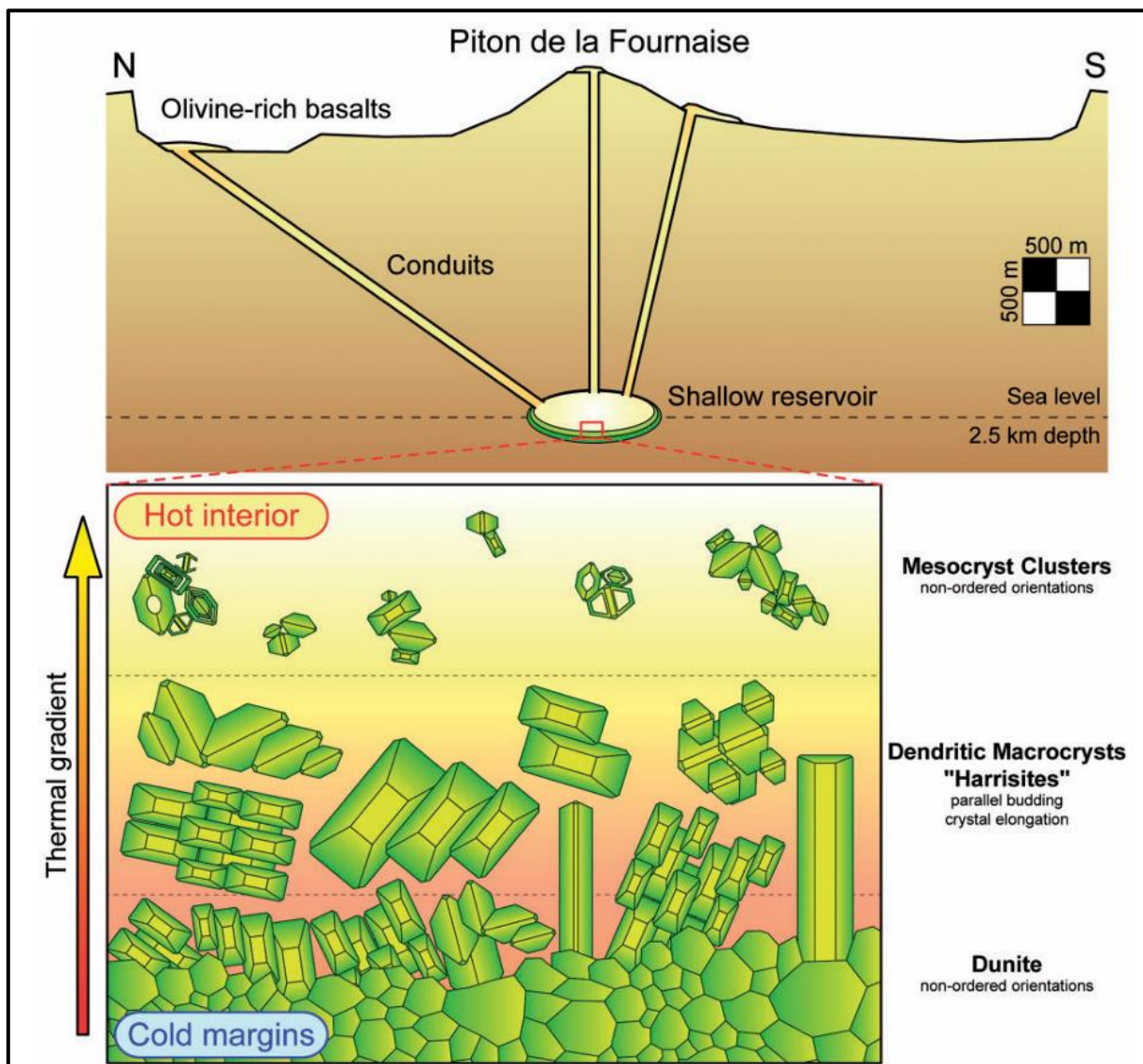


Figura 5.6: Formación de patrones de organización en olivinos. Patrones paralelos, en mosaico y *twinnings* al interior de la cámara magmática de Pitón de la Fournaise, Isla Reunión. Extraído de Welsch *et al.* (2013).

Cabe destacar que los cristales encontrados formando este tipo de patrones tienen sus ejes cristalinicos en la misma orientación, y además presentan una morfología y maduración textural similar, lo que sugiere que el grupo de cristales se formó de forma simultánea desde el magma parental, y no fueron unidos de forma aleatoria durante el ascenso del magma.

Se necesitan métodos analíticos resolutivos para determinar que estos cristales crecieron en este patrón y no responden a un arreglo aleatorio (e.g. cortes transparentes para corroborar que corresponden a cristales intercrecidos; o microtomografía de rayos X para determinar con exactitud la morfología de estos arreglos cristalinicos). Sin embargo, la alta frecuencia de estos arreglos que tienen una muy baja probabilidad de ocurrencia sugiere que se deben a un proceso de cristalización específico y no a un arreglo aleatorio.

Estos patrones han sido observados también en otros centros monogenéticos (e.g. Cerro Overo o Los Hornitos) con texturas de crecimiento no-secuencial en olivinos, por lo que es posible que efectivamente estén relacionados al modelo de crecimiento de los cristales bajo un fuerte grado de *undercooling*.

5.3. GEOQUÍMICA Y ZONACIÓN DE OLIVINOS

Los olivinos analizados por EPMA muestran contenidos de Fo de entre 83-93% con un promedio de 89,5% y Ni de 323-4.546 ppm y 2.321 ppm promedio, lo que sugiere que estos cristales podrían haberse formado en condiciones de equilibrio con el manto, ya que olivinos provenientes de xenolitos del manto han mostrado composiciones de forsterita de entre 90-93,3%, con un promedio de 91,5%, y de Ni de 2.278-3.614 ppm y 2.944 ppm promedio (De Hoog *et al.*, 2010).

La fuerte correlación entre los contenidos de Fo y Ni, evidenciada en los perfiles composicionales (Fig. 4.6), es indicativa de que estos cristales provienen de un magma parental primitivo, y sus altos contenidos de forsterita no se deben a un ambiente oxidante en el magma (como en olivinos de alta Fo en lavas del volcán Stromboli; Cortés *et al.*, 2006).

Los diagramas de %Fo vs Ni, Cr, Mn y Ca (ppm) (Fig. 4.5) muestran que el fraccionamiento de olivino es el proceso predominante en el magma, con Ni, Cr y Mg comportándose como elementos

compatibles y Ca y Mn incorporándose en mayor proporción a los cristales a medida que progresa la cristalización.

Un grupo de olivinos con $\%Fo > 92,5$, que corresponde a los núcleos de cuatro cristales, presenta un comportamiento diferente al *trend* composicional mayoritario, evidenciado principalmente por contenidos de Ni anómalos (al *trend* composicional) que se distribuyen de manera dispersa, y de Ca (ppm) mayores. Si bien estos núcleos no corresponden al propósito principal de este trabajo, se cree que este grupo podría corresponder a núcleos heredados de una fuente del manto que pudo ser sometida a metasomatismo por fluidos ricos en Ca provenientes del slab; o bien, pudieron ser formados a partir de un magma rico en Ca, por ejemplo, debido a la fusión parcial de piroxenos.

En las imágenes BEI es posible observar la zonación en los cristales (Fig. 4.7), encontrándose tres grupos de cristales clasificados según su zonación. Un primer grupo presenta una zonación similar a una normal, con bordes con zonación oscilatoria; el segundo grupo presenta una zonación oscilatoria a lo largo de todo el cristal; y el tercer grupo presenta una zonación inversa, con un núcleo con menores contenidos de forsterita que los bordes.

La característica común para el grupo de cristales en los que se observó zonación inversa es que todos ellos están cortados en el plano ac, por lo que se cree que esta zonación no se relaciona a procesos de recargas máficas y mezcla de magmas, sino más bien a la zonación elemental producto del crecimiento por marcos cristalinos de los cristales de olivino propuesto por Salas *et al.* (2021) para olivinos de Los Hornitos. Sin embargo, para una mayor certeza en esta afirmación, es necesario conocer la dirección exacta de los ejes cristalográficos, lo que se puede obtener mediante análisis por difracción de electrones retrodispersados (EBSD).

Las zonaciones encontradas en el olivino sugieren una cristalización acelerada de estos fenocristales, con la formación de capas composicionales límite (CBL) y adición progresiva de marcos cristalinos, lo que sustenta el modelo de crecimiento tridimensional para los olivinos propuesto por Salas *et al.* (2021).

5.4. TASAS DE ASCENSO

Para calcular las tasas de ascenso es necesario conocer la profundidad desde la que asciende el magma y el tiempo que transcurre desde que comienza el ascenso hasta la erupción.

La geoquímica del magma y de los cristales de olivino previamente descritas en los capítulos 5.1 y 5.3 permiten estimar cualitativamente la profundidad desde la que asciende el magma.

Debido a que olivino es el primer mineral en cristalizar en la Serie de Bowen, y que los patrones químicos de los olivinos reflejan condiciones de equilibrio con una fuente peridotítica del manto (Salas *et al.*, 2024), se considera que éstos corresponden a las primeras fases en cristalizar a partir de un fundido primitivo de arco. Por este motivo, es posible situar la zona de cristalización en el límite corteza-manto, debido a que en esta zona los fundidos experimentarían un contraste termal capaz de gatillar la cristalización. Para este caso, de acuerdo con Tassara *et al.*, (2006), se estima que la corteza donde se emplaza el volcán Apagado tiene un espesor de ~30 km, por lo que los olivinos con los mayores contenidos de forsterita (no heredados) que cristalizan a partir de este magma (Fo₉₁₋₉₂) lo harían a esta profundidad, debido a la discontinuidad termal en esta zona; mientras que olivinos con menor forsterita (Fo₉₀) cristalizarían en la corteza profunda (~25 km) debido a un rápido ascenso del magma. Bandas de zonación con un menor contenido de forsterita (< 89%) pudieron formarse en la corteza media o superior producto al gradiente termal y el rápido ascenso del magma. Sin embargo, sin una termobarometría detallada, no es posible tener certeza de la profundidad de formación de estas bandas composicionales.

Considerando que la difusión en los cristales comienza posterior a la cristalización, y continúa hasta el momento de la erupción, cuando el sistema se enfría por debajo de la temperatura de cierre, se considera el tiempo modelado (Fig. 4.8) como el tiempo que demoran estos cristales en atravesar la corteza.

Estas escalas de tiempo corresponden a 160-180 días para Fo₉₁₋₉₂ y 130-19 días para Fo₉₀ e implicarían tasas de ascenso de 8-9 m/h para las composiciones de Fo₉₁₋₉₂ (desde el Moho; 30 km), y de 8-54 m/h para Fo₉₀ (desde la corteza profunda; 25 km). Estas tasas de ascenso son comparables a las calculadas previamente por Salas *et al.*, (2024) para Los Hornitos (40-500 m/h), y son menores

que las calculadas por Gordeychik *et al.*, (2018) para el volcán Shiveluch (80-100 m/h), por lo que, si bien no se tiene completa certeza de los tiempos de difusión calculados (Fig. 4.8) debido a las incertidumbres que surgen de no conocer con exactitud la orientación de los ejes cristalinos, éstos presentan similitudes con los calculados para otros olivinos de alta Fo (~92%) en contextos de arco, y por lo tanto, si se tiene una clara idea de las escalas de tiempo (semanas a meses) que tardó este magma en ascender a través de la corteza.

5.5. MODELO ERUPTIVO

Los productos eruptivos de la erupción Ap-1 se forman a partir de un magma que se genera por la fusión parcial de un manto peridotítico (e.g. Salas *et al.*, 2024), debido a la adición de fluidos provenientes del *slab* con contenidos de H₂O de ~3% y pobre en CO₂. El magma asciende desde el manto litosférico través de la corteza con tasas de 8-50 m/h, formando texturas en cristales de olivino que reflejan un alto grado de *undercooling*, bajo un patrón de cristalización por adición de marcos cristalinos que se refleja tanto en las morfologías y texturas como en la zonación composicional (Fig. 5.7).

Estas tasas de ascenso podrían ser las responsables de la alta explosividad del evento Ap-1, ya que inhibiría el desacople de fundido y gas, promoviendo el fraccionamiento (como se ha propuesto para magmas basálticos experimentales y naturales del volcán Etna (Etna 122 BC) y el volcán Las Sierras – Masaya (Fontana Lapilli y Masala Triple Layer) en Arzilli *et al.*, 2019; La Spina *et al.*, 2020; y Bamber *et al.*, 2024).

El motivo para estas tasas de ascenso en el volcán Apagado podría deberse a controles estructurales que facilitarían el ascenso de estos magmas hacia la superficie con limitada residencia cortical, asociados, por ejemplo, al lineamiento ENE-WSW reconocido en la zona (Fig. 2.3), que conecta el volcán Apagado, los Centros Eruptivos del Cordón Cabrera y el volcán Yate, con la zona de falla Liquiñe-Ofqui.

El trabajo realizado por Díaz *et al.* (2020) en el volcán Osorno detalla la influencia de la LOFZ en la generación de magmas en este volcán que está desplazado hacia el oeste de la falla, lo que podría ser un caso similar al del volcán Apagado. Además, estudios sísmicos (Lange *et al.*, 2008), han

detectado sismicidad en profundidades de hasta 25 km en la corteza continental asociado a la actividad de la falla Liquiñe-Ofqui; por lo que no se descarta que sea la actividad holocena de este sistema lo que haya facilitado el ascenso de magmas primitivos en el volcán Apagado.

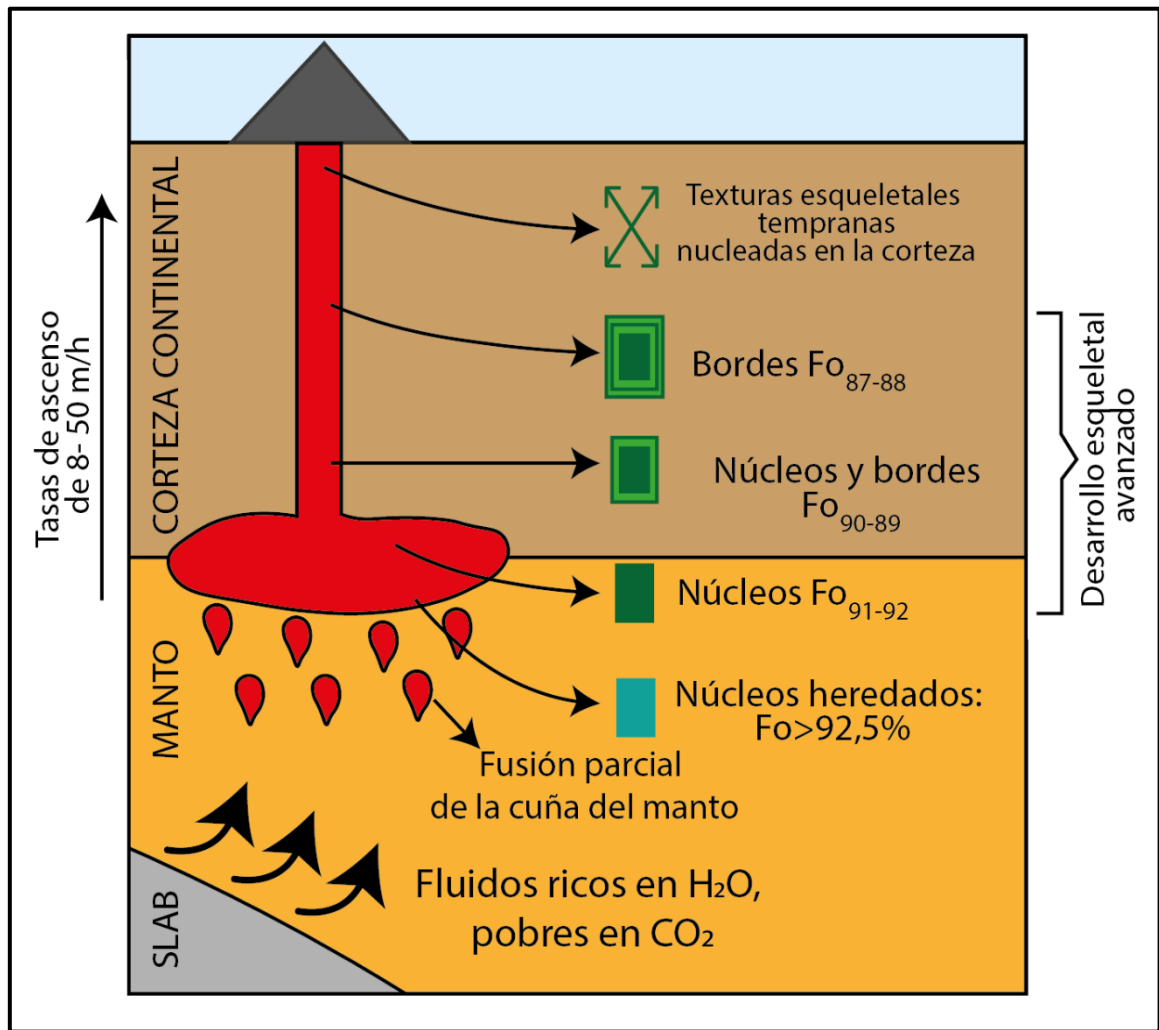


Figura 5.7: Esquema simplificado del modelo eruptivo para la erupción Ap-1. Límite corteza manto a ~30 km de profundidad.

6. CONCLUSIONES

Los depósitos piroclásticos de caída tempranos del evento Ap-1 revelan información sobre las dinámicas de esta erupción de alta explosividad en su etapa inicial. De acuerdo con la bibliografía citada, la composición de roca total y los patrones químicos de los olivinos revelan la participación de un magma basáltico primitivo generado por la adición de fluidos provenientes del slab hacia la cuña del manto, y que asciende hasta la superficie con poca o nula asimilación cortical.

La preservación de morfologías dendríticas (2-12%) y esqueléticas (88-98%) en los fenocristales de olivino evidencian una limitada madurez textural y dan una primera pista cualitativa respecto a limitados periodos de residencia cortical de este magma previo a la erupción. Estas texturas se correlacionan con una zonación química oscilatoria de bandas concéntricas de Fo-Ni, lo que permite conceptualizar su historia de crecimiento a través de la adición de marcos cristalinos, tal como se propone en el modelo de crecimiento tridimensional para los olivinos de Salas *et al.* (2021) en el volcán monogenético Los Hornitos.

La relación entre las zonaciones composicionales oscilatorias en los fenocristales y un amplio entendimiento del patrón de crecimiento de estos cristales -a través de la observación de más de 2.000 cristales bajo la lupa binocular- especialmente en las etapas tempranas de la evolución, nos permite descartar procesos como recargas máficas para estos magmas.

Las temperaturas de cristalización fueron calculadas utilizando termometría en olivinos siguiendo la metodología de Putirka (2008), obteniendo temperaturas de 1.257-1.259°C para un 3% de H₂O, consistentes con las calculadas previamente por Watt *et al.* (2013) de 1.260°C.

Los cálculos de tiempos de difusión para las zonaciones de forsterita en el olivino entregan escalas de tiempo de semanas a meses: 160-180 días para Fo₉₁₋₉₂ y 19-130 días para Fo₉₀. Considerando que estos cristales se forman probablemente en las zonas del límite corteza-manto (~30 km) y la corteza profunda (~25 km), respectivamente, se obtienen tasas de ascenso de 8-9 m/h para Fo₉₁₋₉₂ y de 8-54 m/h para Fo₉₀. Estas velocidades podrían, en parte, explicar la alta fragmentación de los productos eruptivos y la explosividad de la erupción.

El olivino, al ser un constituyente mayor del manto superior terrestre, es un importante trazador geoquímico y petrológico de los procesos fisicoquímicos durante la génesis y ascenso de los magmas, por lo que el entendimiento de las texturas minerales y la zonación química es de vital importancia para interpretar las condiciones cinéticas y termodinámicas de la cristalización, y, así, poder reconstruir la historia de estos cristales y de su magma hospedante.

7. REFERENCIAS

- ADRIASOLA, A.; THOMSON, S.; BRIX, M.; HERVÉ, F. Y STÖCKHERT, B. 2006. Postmagmatic cooling and late Cenozoic denudation of the North Patagonian Batholith in the Los Lagos region of Chile, 41°-41°15'S. *International Journal of Earth Sciences*. Vol **95**: 504-528.
- ARZILLI, F.; LA SPINA, G.; BURTON, M.; POLACCI, M.; LE GALL, N.; HARTLEY, M.; DI GENOVA, D.; CAI, B.; VO, N.; BAMBER, E.; NONNI, S.; ATWOOD, R.; LLEWELLIN, E.; BROOKER, R.; MADER, H. Y LEE, P. 2019. Magma fragmentation in highly explosive basaltic eruptions induced by rapid crystallization. *Nature Geoscience*. Vol **12**: 1.023-1.028.
- BAMBER, E.; LA SPINA, G.; ARZILLI, F.; POLACCI, M.; MANCINI, L.; DE MICHEILI VITTURI, M.; ANDRONICO, D.; CORSARO, R. Y BURTON, M. 2024. Outgassing behaviour during highly explosive basaltic eruptions. *Communications Earth & Environment*. Vol **5**: 3.
- CEMBRANO, J. Y LARA, L. 2009. The link between volcanism and tectonics in the southern volcanic zone of the Chilean Andes: A review. *Tectonophysics*. Vol **471**: 96-113.
- CORTÉS, J.; MARJORIE, W.; CONDLIFFE, E. Y FRANCALANCI, L. 2006. The occurrence of forsterite and highly oxidizing conditions in basaltic lavas from Stromboli Volcano, Italy. *Journal of Petrology*. Vol **47**: 1345-1373.
- DE HOOG, JAN.; GALL, L. Y CORNELL, H. 2010. Trace-element geochemistry of mantle olivine and application to mantle petrogenesis and geothermobarometry. *Chemical Geology*. Vol **270**: 196-215.
- DÍAZ, D.; ZÚÑIGA, F. Y CASTRUCCIO, A. 2020. The interaction between active crustal faults and volcanism: A case study of the Liquiñe-Ofqui Fault Zone and Osorno volcano, Southern Andes, using magnetotellurics. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. Vol **393**: 106806.
- FAURE, F.; TROLLIARD, G. Y SOULESTIN, B. 2003. TEM investigation of forsterite dendrites. *American Mineralogist*. Vol **88**: 1241-1250.
- FAURE, F.; SCHIANO, P.; TROLLIARD, G.; NICOLLET, C. Y SOULESTIN, B. 2007. Textural evolution of polyhedral olivine experiencing rapid cooling rates. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. Vol **153**: 405-416.
- HOUGHTON, B.; WILSON, C.; DEL CARLO, P.; COLTELLI, M.; SABLE, J. Y CAREY, R. 2004. The influence of conduit processes on changes in style of basaltic Plinian eruptions: Tarawera 1886 and Etna 122 BC. *Journal of volcanology and geothermal research*. Vol **137**: 1-14.

- JACQUES, G.; HOERNLE, K.; GILL, J.; WEHRMANN, H.; BINDEMAN, I. Y LARA, L. 2014. Geochemical variations in the Central Southern Volcanic Zone, Chile (38-43°S): The role of fluids in generating arc magmas. *Chemical Geology*. Vol **371**: 27-45.
- LANGE, D.; CEMBRANO, J.; RIETBROCK, A.; HABERLAND, C.; DAHM, T. Y BATAILLE, K. 2008. First seismic record for intra-arc strike-slip tectonics along the Liquiñe-Ofqui fault zone at the obliquely convergent plate margin of the southern Andes. *Tectonophysics*. Vol **455**: 14-24.
- LA SPINA, G.; ARZILLI, F.; LLEWELLIN, E.; BURTON, M.; CLARKE, A.; DE MICHELII VITTURI, M.; POLACCI, M.; HARTLEY, M.; GENOVA, D. Y MADER, H. 2021. Explosivity of basaltic lava fountains is controlled by magma rheology, ascent rate and outgassing. *Earth and Planetary Science Letters*. Vol **553**: 116658.
- MELLA, M. 2008. Petrogéneses do complexo vulcânico Yate (42,30°s), Andes do Sul, Chile. Tesis de doctorado. Universidad de Sao Paulo, Instituto de Geociencias (inédito): 295 pp., Sao Paulo.
- MELLA, M. 2013. Apagado Volcano scoria cone (Souterh Andes, 42°S): a basaltic plinian eruption at 2.480 YB.P. Geosur: International Geological Congress on the Southern Hemisphere. Actas: **2**: 179-191.
- MELLA, M. 2016. Peligros del Volcán Apagado, Región de Los Lagos. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental N° 26: Mapa escala 1:50.000. Santiago.
- MILLMAN-BARRIS, M.; BECKET, J.; BAKER, M.; HOFMANN, A.; MORGAN, Z.; CROWLEY, M.; VIELZEUF, D Y STOLPER, E. 2008. Zoning of phosphorous in igneous olivine. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. Vol **155**: 739-765.
- MORGADO, E. Y MORGAN, D. 2024. Diffsim: a user-friendly tool for precise magmatic timescale determination and error propagation via major element diffusion chronometry in magmatic phases. *Frontiers in Earth Science*. Vol **12**: 1431516.
- PUTIRKA, K. 2008. Thermometers and Barometers for Volcanic Systems. *Reviews on Mineralogy and Geochemistry*. Vol **69**: 61-120.
- SALAS, P.; RUPRECHT, P.; HERNÁNDEZ L. Y RABBIA, O. 2021 Out-of-sequence skeletal growth causing oscillatory zoning in arc olivines. *Nature communications*. Vol **12**: 4069.
- SALAS, P.; OLIVEROS, V.; NAHUELPAÑ, F.; HERNÁNDEZ, K.; GAZEL, E.; RUPRECHT, P.; URETA, G.; SCHEINOST, A.; VILLALOBOS, F. Y SÁEZ, G. 2024. Mapping the magma source of mafic monogenetic volcanoes in the Central and Southern Volcanic Zones of the Andes (21°-42°S). 1st International Monogenetic Conference. San Pedro de Atacama.

- SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA- BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES (SERNAGEOMIN-BRGM). 1995. Carta metalogénica de la Xa Región Sur. Vol 1: 315 pp.
- SHEA, T.; LYNN, K. Y GARCÍA, M. 2015. Cracking the olivine zoning code: distinguishing between crystal growth and diffusion. *Geology*. Vol **43**, (10): 935-938.
- STERN, C. 2004. Active Andean volcanism: it's geologic and tectonic setting. *Revista Geológica de Chile*. Vol **31**: 161-206.
- TADDEUCI, J.; EDMONDS, M.; HOUGHTON, B.; JAMES, M. Y VERGNIOLE, S. 2015. Hawaiian and Strombolian Eruptions. The Encyclopedia of Volcanoes (Sigurdsson, S. editor). Academic Press: 485-503. Cambridge.
- TASSARA, A.; GÖTZE H.; SCHMIDT, S. Y HACKNEY, R. 2006. Three-dimensional density model of the Nazca plate and the Andean continental margin. *Journal of Geophysical Research*. Vol **111**: B09404.
- WATT, S.; PYLE D.; NARANJO J.; ROSQVIST, G.; MELLA M.; MATHER, T. Y MORENO, H. 2011. Holocene tephrochronology of the Hualaihue region (Andean southern volcanic zone, ~42°S), southern Chile. *Quaternary international*. Vol **246**, (1-2): 324-343.
- WATT, S.; PYLE, D.; MATHER, T. Y NARANJO, J. 2014. Arc magma compositions controlled by linked thermal and chemical gradients above the subducting slab. *Geophysical research letters*. Vol **40**: 2550-2556.
- WELSCH, B.; FAURE, F.; FAMIN, V.; BARONNET, A. Y BACHELERY, P. 2013. Dendritic crystallization: a single process for all the textures of olivine in basalts? *Journal of Petrology*. Vol **54**: 539-574.
- WEHRMANN, H.; HOERNLE, K.; JACQUES, G.; GARBE-SCHÖNBERG, D.; SCHUMANN, K.; MAHLKE, J. Y LARA, L. 2014. Volatile (sulphur and chlorine), major, and trace element geochemistry of mafic to intermediate tephras from the Chilean Southern Volcanic Zone (33-43°S). *International Journal of Earth Sciences*. Vol **103**: 1945-1962.
- WOLODARSKY-FRANKE, A. 2002. Fluctuaciones ambientales de los últimos 1000 años a partir de anillos de crecimiento de *Fitzroya cupressoides* en el área del Volcán Apagado, X Región, Chile. Tesis de magíster. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias (inédito). 94 pp. Valdivia.

ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo	Página
1. Datos de microsonda (EPMA) en cristales de olivino	58
2. Imágenes BEI y Perfiles Composicionales	70

Anexo 1

Datos de Microsonda en cristales de olivino

SAMPLE	LINE	SiO2	Al2O3	Cr2O3	FeO	NiO	MnO	MgO	CaO	P2O5	TOTAL	Fo%	Ni (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	Ca (ppm)	Err% Fo	Err Ni	Err Cr	Err Mn	Err Ca
AP-S1a-ol1	573	40,45	0,02	0,03	10,51	0,29	0,16	48,43	0,125	-0,005	100	89,15	2246,4	237,9	1235,1	896,8	0,42	40,7	18,1	34,7	19,6
AP-S1a-ol1	574	40,56	0,02	0,04	10,43	0,28	0,16	48,40	0,126	-0,009	100	89,22	2211,8	247,4	1236,1	900,0	0,42	40,6	18,1	34,7	19,6
AP-S1a-ol1	575	40,54	0,02	0,04	10,39	0,27	0,15	48,49	0,128	-0,015	100	89,27	2152,1	248,4	1186,1	914,7	0,42	40,4	18,1	34,5	19,6
AP-S1a-ol1	576	40,54	0,02	0,04	10,33	0,28	0,16	48,51	0,129	-0,003	100	89,33	2211,6	287,2	1227,0	920,1	0,42	40,5	18,3	34,6	19,6
AP-S1a-ol1	577	40,51	0,02	0,05	10,33	0,28	0,16	48,53	0,131	-0,002	100	89,33	2184,0	330,7	1205,2	936,0	0,42	40,4	18,5	34,5	19,6
AP-S1a-ol1	578	40,42	0,02	0,05	10,21	0,30	0,15	48,75	0,123	-0,013	100	89,49	2376,4	331,1	1145,8	880,8	0,42	41,0	18,5	34,2	19,5
AP-S1a-ol1	579	40,48	0,02	0,05	10,01	0,30	0,15	48,88	0,125	-0,011	100	89,70	2363,4	334,8	1199,4	892,5	0,43	41,1	18,6	34,5	19,5
AP-S1a-ol1	580	40,45	0,02	0,04	10,12	0,29	0,15	48,82	0,126	-0,010	100	89,59	2246,3	286,9	1166,7	899,7	0,42	40,7	18,3	34,4	19,6
AP-S1a-ol1	581	40,45	0,02	0,06	10,04	0,30	0,16	48,86	0,126	-0,004	100	89,67	2355,4	383,7	1244,2	898,7	0,43	41,1	18,9	34,9	19,6
AP-S1a-ol1	582	40,46	0,02	0,04	10,24	0,29	0,16	48,68	0,125	-0,011	100	89,45	2302,2	251,5	1210,6	894,6	0,42	40,9	18,1	34,6	19,6
AP-S1a-ol1	583	40,36	0,01	0,03	10,69	0,25	0,16	48,37	0,139	-0,011	100	88,97	1973,1	203,9	1244,4	995,7	0,41	39,9	17,9	34,9	19,9
AP-S1a-ol1	584	40,04	0,02	0,03	12,16	0,14	0,20	47,26	0,170	-0,002	100	87,39	1082,5	214,2	1538,4	1218,3	0,38	36,8	17,9	36,4	20,5
AP-S1a-ol2	585	40,58	0,02	0,04	10,01	0,33	0,15	48,75	0,141	-0,011	100	89,67	2604,6	268,7	1183,2	1006,0	0,43	41,7	18,2	34,3	19,8
AP-S1a-ol2	586	40,84	0,02	0,07	8,59	0,44	0,13	49,82	0,123	-0,014	100	91,18	3484,6	449,2	969,0	878,0	0,46	44,3	19,0	33,0	19,4
AP-S1a-ol2	587	40,95	0,02	0,07	7,95	0,49	0,12	50,30	0,117	-0,011	100	91,85	3813,7	473,0	903,0	839,8	0,48	45,1	19,1	32,5	19,2
AP-S1a-ol2	588	41,04	0,02	0,07	7,73	0,51	0,12	50,41	0,115	-0,009	100	92,07	3991,4	445,1	906,3	825,4	0,49	45,6	19,0	32,6	19,1
AP-S1a-ol2	589	41,05	0,02	0,06	8,03	0,50	0,12	50,11	0,115	-0,004	100	91,75	3929,7	413,0	934,6	821,3	0,48	45,5	18,8	32,7	19,1
AP-S1a-ol2	590	40,89	0,02	0,07	8,88	0,41	0,13	49,49	0,115	-0,007	100	90,86	3239,5	445,2	997,2	824,3	0,46	43,6	19,0	33,2	19,2
AP-S1a-ol2	591	40,75	0,02	0,06	9,68	0,29	0,15	48,94	0,121	-0,005	100	90,01	2314,2	411,7	1135,6	863,3	0,43	40,7	18,9	34,0	19,4
AP-S1a-ol2	592	40,64	0,02	0,06	10,12	0,27	0,16	48,61	0,128	-0,005	100	89,54	2139,6	379,6	1213,5	918,4	0,42	40,2	18,7	34,5	19,5
AP-S1a-ol2	593	40,63	0,02	0,05	10,19	0,29	0,15	48,56	0,124	-0,007	100	89,47	2258,5	356,9	1168,3	884,0	0,42	40,6	18,6	34,2	19,4
AP-S1a-ol2	594	40,61	0,02	0,04	10,34	0,29	0,16	48,42	0,130	-0,003	100	89,30	2269,6	269,3	1249,5	928,2	0,42	40,6	18,2	34,7	19,6
AP-S1a-ol2	595	40,57	0,02	0,03	10,90	0,23	0,17	47,95	0,139	-0,010	100	88,69	1829,4	187,5	1342,6	991,4	0,41	39,2	17,7	35,2	19,8
AP-S1a-ol2	596	40,32	0,03	0,03	12,19	0,12	0,20	46,94	0,179	-0,008	100	87,29	962,8	194,1	1551,3	1278,5	0,38	36,3	17,8	36,4	20,7
AP-S1a-ol2	597	40,62	0,02	0,04	10,44	0,27	0,17	48,33	0,129	-0,014	100	89,19	2148,1	249,4	1299,7	923,1	0,42	40,2	18,0	34,9	19,5
AP-S1a-ol2	598	40,57	0,02	0,04	10,79	0,24	0,16	48,05	0,135	-0,004	100	88,81	1902,5	240,4	1259,8	966,9	0,41	39,4	18,0	34,7	19,7
AP-S1a-ol2	599	40,57	0,02	0,03	11,16	0,21	0,18	47,69	0,145	-0,008	100	88,39	1629,8	213,3	1396,9	1038,0	0,40	38,6	17,9	35,5	19,9
AP-S1a-ol2	600	40,38	0,02	0,03	11,66	0,16	0,18	47,41	0,154	-0,005	100	87,87	1227,7	198,0	1426,9	1100,1	0,39	37,2	17,8	35,7	20,1
AP-S1a-ol2	601	40,30	0,03	0,03	11,95	0,16	0,21	47,18	0,170	-0,011	100	87,56	1221,0	205,6	1618,5	1218,2	0,39	37,2	17,9	36,7	20,5

SAMPLE	LINE	SiO2	Al2O3	Cr2O3	FeO	NiO	MnO	MgO	CaO	P2O5	TOTAL	Fo%	Ni (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	Ca (ppm)	Err%Fo	ErrNi	ErrCr	ErrMn	ErrCa
AP-S1a-ol3	602	40,86	0,02	0,04	8,84	0,42	0,13	49,57	0,127	-0,009	100	90,91	3286,1	302,8	999,3	908,3	0,45	43,4	18,2	33,0	19,3
AP-S1a-ol3	603	40,58	0,02	0,04	10,17	0,26	0,15	48,67	0,125	-0,005	100	89,51	2034,4	292,0	1151,3	890,7	0,42	39,7	18,2	34,0	19,4
AP-S1a-ol3	604	40,75	0,02	0,06	9,74	0,36	0,14	48,80	0,126	-0,002	100	89,93	2841,8	392,1	1094,8	900,8	0,43	42,3	18,7	33,8	19,4
AP-S1a-ol3	605	40,52	0,02	0,05	10,68	0,27	0,16	48,20	0,122	-0,008	100	88,95	2120,5	342,7	1210,6	871,4	0,41	40,1	18,5	34,5	19,4
AP-S1a-ol3	606	40,65	0,02	0,05	10,31	0,31	0,15	48,40	0,129	-0,008	100	89,33	2437,4	327,4	1186,2	924,7	0,42	41,2	18,4	34,3	19,6
AP-S1a-ol3	607	40,64	0,02	0,04	10,60	0,23	0,17	48,18	0,134	-0,009	100	89,02	1826,3	249,0	1317,8	958,4	0,41	39,2	18,1	35,1	19,7
AP-S1a-ol3	608	40,51	0,02	0,03	10,91	0,22	0,17	47,99	0,151	-0,007	100	88,69	1734,1	211,7	1354,5	1079,7	0,41	38,8	17,8	35,2	20,0
AP-S1a-ol3	609	40,24	0,03	0,03	12,73	0,11	0,21	46,47	0,192	-0,014	100	86,68	856,2	192,2	1611,5	1371,5	0,37	35,9	17,7	36,6	20,9
AP-S1a-ol4	610	40,62	0,02	0,05	9,60	0,33	0,15	49,12	0,122	-0,007	100	90,12	2570,2	357,9	1134,8	871,2	0,44	41,4	18,6	33,9	19,3
AP-S1a-ol4	611	40,66	0,02	0,05	9,47	0,33	0,14	49,20	0,124	-0,002	100	90,25	2567,8	334,1	1084,4	886,0	0,44	41,5	18,5	33,7	19,4
AP-S1a-ol4	612	40,73	0,02	0,05	9,45	0,32	0,14	49,18	0,122	-0,009	100	90,27	2499,4	372,9	1089,6	871,0	0,44	41,2	18,6	33,7	19,3
AP-S1a-ol4	613	40,67	0,02	0,05	9,49	0,32	0,15	49,18	0,121	-0,011	100	90,23	2536,6	353,9	1134,6	865,4	0,44	41,3	18,5	34,0	19,3
AP-S1a-ol4	614	40,78	0,02	0,05	9,28	0,29	0,15	49,32	0,121	-0,004	100	90,45	2299,2	326,3	1123,8	864,8	0,44	40,6	18,4	33,9	19,3
AP-S1a-ol4	615	40,77	0,02	0,08	9,02	0,40	0,13	49,47	0,119	-0,005	100	90,72	3148,2	521,8	1034,2	849,6	0,45	43,3	19,4	33,4	19,3
AP-S1a-ol4	616	40,67	0,02	0,08	9,35	0,32	0,14	49,31	0,117	-0,006	100	90,38	2504,5	548,9	1058,3	832,9	0,44	41,2	19,5	33,5	19,2
AP-S1a-ol4	617	40,62	0,02	0,05	10,17	0,26	0,15	48,62	0,117	-0,009	100	89,50	2049,0	348,2	1157,6	833,4	0,42	39,8	18,5	34,1	19,2
AP-S1a-ol4	618	40,63	0,02	0,04	10,34	0,27	0,16	48,42	0,127	-0,009	100	89,30	2101,0	300,2	1202,1	906,5	0,42	39,9	18,2	34,3	19,5
AP-S1a-ol4	619	40,61	0,02	0,04	10,12	0,29	0,16	48,66	0,124	-0,012	100	89,55	2246,8	286,5	1224,2	887,2	0,42	40,5	18,2	34,5	19,4
AP-S1a-ol4	620	40,65	0,02	0,04	10,61	0,25	0,16	48,16	0,131	-0,008	100	89,00	1930,7	260,4	1264,9	935,7	0,41	39,5	18,1	34,8	19,6
AP-S1a-ol4	621	40,40	0,03	0,02	11,95	0,15	0,19	47,11	0,157	-0,011	100	87,54	1199,8	151,3	1491,6	1119,5	0,39	37,2	17,6	36,1	20,2
AP-S1a-ol4	622	40,77	0,02	0,06	9,00	0,39	0,13	49,51	0,119	-0,003	100	90,75	3065,6	434,1	1025,4	848,2	0,45	42,9	18,9	33,3	19,2
AP-S1a-ol4	623	40,82	0,02	0,06	9,07	0,40	0,13	49,39	0,118	-0,011	100	90,66	3143,4	411,7	1025,8	846,6	0,45	43,2	18,8	33,3	19,2
AP-S1a-ol5	624	41,04	0,04	0,05	6,90	0,43	0,11	51,25	0,193	-0,015	100	92,98	3375,0	375,6	847,3	1376,4	0,52	43,6	18,6	32,1	20,7
AP-S1a-ol5	625	40,99	0,04	0,06	6,86	0,44	0,11	51,35	0,186	-0,014	100	93,03	3484,7	383,3	822,8	1330,0	0,52	44,0	18,7	32,0	20,6
AP-S1a-ol5	626	41,15	0,04	0,06	6,77	0,45	0,11	51,25	0,179	-0,010	100	93,10	3550,2	406,2	832,5	1282,2	0,53	44,2	18,8	32,0	20,5
AP-S1a-ol5	627	41,09	0,04	0,06	6,80	0,45	0,10	51,29	0,183	-0,014	100	93,08	3536,0	415,9	791,9	1304,8	0,53	44,2	18,8	31,8	20,5
AP-S1a-ol5	628	41,06	0,04	0,06	6,72	0,47	0,10	51,39	0,175	-0,010	100	93,17	3660,5	388,1	787,6	1251,9	0,53	44,6	18,7	31,8	20,4
AP-S1a-ol5	629	40,90	0,04	0,06	7,80	0,48	0,11	50,47	0,149	-0,016	100	92,02	3772,3	423,9	883,5	1067,7	0,49	45,1	18,9	32,5	19,9
AP-S1a-ol5	630	40,66	0,02	0,04	9,69	0,35	0,14	49,00	0,119	-0,013	100	90,02	2781,6	288,2	1101,3	847,8	0,43	42,2	18,3	33,9	19,3

SAMPLE	LINE	SiO2	Al2O3	Cr2O3	FeO	NiO	MnO	MgO	CaO	P2O5	TOTAL	Fo%	Ni (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	Ca (ppm)	Err%Fo	ErrNi	ErrCr	ErrMn	ErrCa
AP-S1a-d5	631	40,53	0,02	0,04	10,17	0,30	0,15	48,67	0,130	-0,013	100	89,51	2382,2	298,2	1164,6	930,9	0,42	41,0	18,3	34,3	19,6
AP-S1a-d5	632	40,26	0,02	0,04	10,52	0,27	0,17	48,61	0,133	-0,010	100	89,17	2085,9	263,4	1298,6	948,4	0,41	40,0	18,1	34,9	19,6
AP-S1a-d5	633	40,13	0,01	0,03	12,45	0,12	0,20	46,88	0,187	-0,007	100	87,04	969,8	224,3	1562,8	1335,2	0,38	36,4	18,0	36,5	20,9
AP-S1a-d5	634	41,10	0,04	0,07	6,75	0,46	0,11	51,33	0,145	-0,014	100	93,13	3643,4	500,7	821,5	1038,9	0,53	44,5	19,2	31,9	19,7
AP-S1a-d5	635	41,00	0,04	0,07	6,87	0,46	0,10	51,33	0,142	-0,016	100	93,02	3605,4	475,2	770,3	1018,2	0,52	44,2	19,0	31,5	19,6
AP-S1a-d6	636	40,69	0,01	0,05	9,74	0,28	0,15	48,97	0,120	-0,010	100	89,96	2197,5	320,1	1138,8	859,7	0,43	40,2	18,4	34,0	19,3
AP-S1a-d6	637	40,85	0,02	0,07	9,02	0,35	0,14	49,45	0,125	-0,012	100	90,72	2721,6	502,4	1058,5	896,7	0,45	41,8	19,2	33,4	19,4
AP-S1a-d6	638	40,93	0,02	0,06	8,49	0,41	0,13	49,85	0,119	-0,011	100	91,28	3251,7	397,3	998,1	851,8	0,47	43,4	18,7	33,0	19,2
AP-S1a-d6	639	40,94	0,02	0,05	8,58	0,41	0,13	49,76	0,127	-0,011	100	91,18	3201,9	367,2	985,3	910,2	0,46	43,2	18,6	33,0	19,4
AP-S1a-d6	640	40,76	0,02	0,05	9,34	0,35	0,15	49,23	0,122	-0,013	100	90,38	2739,8	327,2	1159,4	874,0	0,44	41,9	18,4	34,0	19,3
AP-S1a-d6	641	40,62	0,02	0,04	9,75	0,31	0,16	48,99	0,122	-0,008	100	89,96	2465,2	298,8	1201,1	874,5	0,43	41,0	18,2	34,2	19,3
AP-S1a-d6	642	40,47	0,02	0,04	10,23	0,29	0,17	48,68	0,122	-0,011	100	89,46	2249,8	242,7	1309,9	873,4	0,42	40,5	18,0	35,0	19,4
AP-S1a-d6	644	40,88	0,02	0,06	8,66	0,45	0,13	49,70	0,111	-0,014	100	91,10	3551,8	417,6	976,4	794,0	0,46	44,4	18,8	33,0	19,1
AP-S1a-d6	645	40,68	0,01	0,05	9,96	0,27	0,15	48,76	0,124	-0,004	100	89,72	2132,0	315,4	1159,3	885,8	0,43	40,0	18,3	34,1	19,4
AP-S1a-d6	646	40,41	0,01	0,03	11,81	0,17	0,18	47,25	0,152	-0,007	100	87,71	1341,3	209,6	1391,5	1088,5	0,39	37,7	17,9	35,6	20,1
AP-S1a-d6	647	40,86	0,02	0,05	8,41	0,42	0,12	50,00	0,123	-0,005	100	91,38	3295,6	363,5	954,2	878,5	0,47	43,5	18,5	32,8	19,3
AP-S1a-d7	648	40,60	0,02	0,04	10,54	0,28	0,16	48,26	0,128	-0,011	100	89,09	2169,7	245,5	1257,9	911,4	0,41	40,3	18,0	34,7	19,5
AP-S1a-d7	650	40,40	0,02	0,04	10,79	0,25	0,17	48,20	0,132	-0,007	100	88,84	1971,9	301,3	1317,2	946,0	0,41	39,7	18,3	35,1	19,7
AP-S1a-d7	651	40,26	0,02	0,04	11,49	0,22	0,18	47,68	0,134	-0,002	100	88,09	1712,6	246,8	1410,4	959,9	0,39	39,0	18,1	35,7	19,8
AP-S1a-d7	652	40,08	0,01	0,03	12,94	0,15	0,21	46,45	0,144	0,000	100	86,49	1154,6	194,1	1600,4	1027,0	0,37	37,3	17,9	36,8	20,1
AP-S1a-d7	653	40,17	0,02	0,03	11,95	0,16	0,19	47,32	0,180	-0,006	100	87,60	1288,7	196,0	1468,5	1284,1	0,39	37,6	17,9	36,1	20,8
AP-S1a-d7	654	40,01	0,02	0,03	12,58	0,12	0,21	46,85	0,184	-0,010	100	86,91	975,1	228,1	1614,3	1315,5	0,38	36,6	18,0	36,9	20,9
AP-S1a-d7	655	39,59	0,01	0,03	15,54	0,04	0,27	44,27	0,238	0,014	100	83,54	323,3	226,6	2070,5	1700,6	0,33	34,8	18,2	39,5	22,2
AP-S1a-d7	656	40,95	0,02	0,07	8,13	0,48	0,12	50,13	0,120	-0,013	100	91,67	3733,2	457,3	921,2	861,2	0,48	44,8	19,0	32,6	19,2
AP-S1a-d7	657	40,99	0,02	0,06	8,02	0,49	0,12	50,19	0,117	-0,015	100	91,77	3833,3	435,9	964,2	836,1	0,48	45,1	18,9	32,8	19,1
AP-S1a-d7	658	40,18	0,01	0,02	12,62	0,14	0,21	46,68	0,158	-0,014	100	86,83	1085,3	154,6	1607,9	1127,1	0,37	37,0	17,7	36,8	20,4
AP-S1a-d7	659	40,33	0,01	0,03	12,11	0,15	0,20	47,01	0,172	-0,009	100	87,38	1208,2	210,0	1545,7	1232,3	0,38	37,3	17,9	36,5	20,6
AP-S1a-d8	660	40,85	0,02	0,06	8,44	0,39	0,12	50,02	0,114	-0,010	100	91,35	3080,1	430,7	944,4	813,8	0,47	42,9	18,9	32,8	19,1
AP-S1a-d8	661	40,89	0,02	0,06	8,31	0,39	0,12	50,08	0,116	0,013	100	91,48	3037,7	444,0	948,7	831,9	0,47	42,8	19,0	32,8	19,2

SAMPLE	LINE	SiO2	Al2O3	Cr2O3	FeO	NiO	MnO	MgO	CaO	P2O5	TOTAL	Fo%	Ni (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	Ca (ppm)	Err%Fo	ErrNi	ErrCr	ErrMn	ErrCa
AP-S1a-dl8	662	40,91	0,02	0,07	8,37	0,39	0,12	50,03	0,113	-0,008	100	91,42	3067,9	451,4	958,2	805,8	0,47	43,0	19,1	33,0	19,1
AP-S1a-dl8	663	40,95	0,02	0,06	8,49	0,39	0,13	49,87	0,112	-0,012	100	91,28	3059,5	379,2	980,1	797,9	0,47	42,9	18,7	33,0	19,1
AP-S1a-dl8	664	40,84	0,02	0,06	9,05	0,37	0,13	49,43	0,110	-0,006	100	90,68	2875,4	403,3	981,6	789,5	0,45	42,5	18,9	33,2	19,2
AP-S1a-dl8	665	40,76	0,02	0,05	9,88	0,32	0,14	48,73	0,113	-0,009	100	89,79	2551,3	332,5	1117,6	810,5	0,43	41,6	18,5	34,1	19,3
AP-S1a-dl8	669	40,69	0,02	0,05	10,19	0,33	0,15	48,47	0,115	-0,012	100	89,45	2565,5	330,8	1173,0	824,0	0,42	41,6	18,5	34,3	19,3
AP-S1a-dl8	666	40,68	0,02	0,04	10,30	0,31	0,16	48,39	0,119	-0,013	100	89,34	2427,0	260,3	1234,7	853,9	0,42	41,0	18,1	34,5	19,3
AP-S1a-dl8	670	40,60	0,02	0,04	10,47	0,28	0,16	48,32	0,126	-0,014	100	89,16	2182,4	297,3	1270,5	900,6	0,42	40,4	18,3	34,8	19,5
AP-S1a-dl8	667	40,29	0,01	0,03	12,85	0,21	0,21	46,27	0,152	-0,010	100	86,52	1667,4	191,9	1599,5	1087,4	0,37	39,2	17,9	36,9	20,3
AP-S1a-dl8	668	40,99	0,02	0,06	8,57	0,37	0,13	49,76	0,111	-0,013	100	91,19	2940,6	405,2	984,3	790,7	0,46	42,5	18,8	33,1	19,1
AP-S1a-dl8	671	39,71	0,02	0,02	15,92	0,12	0,25	43,80	0,185	-0,012	100	83,07	960,2	114,1	1943,4	1319,6	0,33	36,9	17,5	38,7	21,0
AP-S1a-dl9	672	40,57	0,02	0,04	10,16	0,28	0,15	48,66	0,120	0,003	100	89,52	2227,5	272,4	1189,2	854,5	0,42	40,4	18,1	34,3	19,3
AP-S1a-dl9	673	40,67	0,02	0,06	9,71	0,32	0,15	48,99	0,115	-0,016	100	89,99	2486,6	380,9	1136,3	825,4	0,43	41,3	18,7	34,0	19,2
AP-S1a-dl9	674	40,62	0,02	0,04	10,17	0,29	0,15	48,60	0,123	-0,008	100	89,49	2283,8	292,2	1164,8	879,1	0,42	40,6	18,2	34,2	19,4
AP-S1a-dl9	675	40,53	0,02	0,04	10,33	0,28	0,15	48,54	0,126	-0,008	100	89,34	2172,4	285,6	1188,1	903,9	0,42	40,3	18,3	34,4	19,5
AP-S1a-dl9	676	40,47	0,02	0,02	11,41	0,19	0,18	47,57	0,158	-0,010	100	88,14	1507,7	164,5	1381,2	1128,4	0,40	38,2	17,7	35,5	20,3
AP-S1a-dl10	677	41,12	0,02	0,09	6,58	0,56	0,09	51,44	0,100	-0,004	100	93,30	4394,9	616,0	708,9	715,4	0,54	46,6	19,8	31,2	18,7
AP-S1a-dl10	678	41,09	0,01	0,09	6,66	0,58	0,09	51,39	0,103	-0,008	100	93,22	4546,9	632,8	703,6	733,9	0,53	47,2	19,9	31,3	18,8
AP-S1a-dl10	680	41,00	0,02	0,07	7,25	0,53	0,10	50,94	0,096	-0,015	100	92,60	4145,0	512,2	790,7	689,2	0,51	45,9	19,3	31,8	18,6
AP-S1a-dl10	681	40,97	0,02	0,08	7,75	0,50	0,11	50,47	0,099	-0,008	100	92,07	3930,7	529,8	869,4	710,2	0,49	45,4	19,3	32,3	18,7
AP-S1a-dl10	682	40,94	0,02	0,07	8,01	0,49	0,11	50,27	0,098	-0,008	100	91,80	3872,8	467,1	854,2	699,0	0,48	45,2	19,1	32,2	18,7
AP-S1a-dl10	683	40,91	0,02	0,06	8,29	0,45	0,12	50,07	0,104	-0,011	100	91,50	3497,3	410,2	906,0	741,6	0,47	44,1	18,8	32,5	18,8
AP-S1a-dl10	684	40,73	0,02	0,06	9,09	0,41	0,14	49,45	0,106	-0,012	100	90,65	3241,4	427,2	1051,9	760,8	0,45	43,5	18,9	33,4	19,0
AP-S1a-dl10	685	40,49	0,02	0,05	10,05	0,28	0,16	48,84	0,126	-0,008	100	89,65	2195,8	331,9	1212,0	897,3	0,42	40,3	18,5	34,5	19,5
AP-S1a-dl10	686	40,56	0,02	0,06	9,95	0,35	0,14	48,80	0,119	-0,006	100	89,73	2748,9	401,8	1095,1	849,9	0,43	42,1	18,8	33,8	19,3
AP-S1a-dl10	687	40,55	0,02	0,04	10,52	0,25	0,16	48,34	0,133	-0,007	100	89,12	1967,6	258,0	1254,4	951,3	0,41	39,7	18,1	34,8	19,7
AP-S1a-dl10	688	40,29	0,02	0,03	12,17	0,14	0,20	46,97	0,180	-0,001	100	87,31	1136,4	203,4	1579,6	1289,8	0,38	37,3	18,0	36,8	20,9
AP-S1a-dl10	689	40,59	0,02	0,04	10,21	0,29	0,14	48,59	0,124	-0,012	100	89,45	2317,9	262,7	1121,5	885,8	0,42	40,7	18,1	34,0	19,4
AP-S1a-dl10	690	41,26	0,02	0,09	6,07	0,58	0,09	51,80	0,097	-0,009	100	93,83	4522,1	637,8	709,5	691,3	0,56	46,9	19,8	31,1	18,6
AP-S1a-dl10	691	41,28	0,02	0,07	6,12	0,57	0,10	51,75	0,104	-0,014	100	93,78	4488,7	512,6	749,7	745,3	0,56	46,8	19,2	31,4	18,7

SAMPLE	LINE	SiO2	Al2O3	Cr2O3	FeO	NiO	MnO	MgO	CaO	P2O5	TOTAL	Fo%	Ni (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	Ca (ppm)	Err%Fo	Err Ni	Err Cr	Err Mn	Err Ca
AP-S1a-d10	692	40,30	0,02	0,02	11,78	0,17	0,20	47,36	0,169	-0,008	100	87,75	1303,5	167,1	1528,6	1207,1	0,39	37,6	17,7	36,3	20,5
AP-S1a-d11	693	40,67	0,02	0,04	9,67	0,32	0,14	49,04	0,117	-0,011	100	90,04	2497,7	292,1	1118,0	833,5	0,43	41,3	18,3	34,0	19,3
AP-S1a-d11	694	40,58	0,02	0,04	9,84	0,32	0,14	48,96	0,119	-0,010	100	89,87	2493,6	293,3	1059,4	848,7	0,43	41,3	18,3	33,6	19,3
AP-S1a-d11	695	40,58	0,02	0,04	9,93	0,31	0,14	48,87	0,118	-0,011	100	89,77	2466,6	282,1	1088,4	840,1	0,43	41,3	18,3	33,9	19,3
AP-S1a-d11	696	40,51	0,02	0,04	10,47	0,29	0,15	48,42	0,122	-0,009	100	89,18	2263,6	265,7	1185,1	874,5	0,42	40,7	18,2	34,4	19,5
AP-S1a-d11	697	40,55	0,02	0,04	10,18	0,31	0,15	48,65	0,125	-0,011	100	89,50	2466,9	244,6	1164,6	894,8	0,42	41,4	18,1	34,3	19,5
AP-S1a-d11	698	40,59	0,02	0,04	9,77	0,33	0,15	49,00	0,118	-0,016	100	89,94	2619,2	259,7	1146,7	844,6	0,43	41,7	18,1	34,1	19,3
AP-S1a-d11	699	40,50	0,01	0,05	10,35	0,28	0,16	48,55	0,125	-0,016	100	89,32	2223,0	319,3	1205,5	893,9	0,42	40,5	18,4	34,5	19,5
AP-S1a-d11	700	40,22	0,01	0,02	12,16	0,15	0,19	47,10	0,161	-0,015	100	87,35	1171,3	168,4	1495,5	1147,3	0,38	37,3	17,8	36,3	20,4
AP-S1a-d11	701	40,82	0,02	0,04	9,49	0,32	0,15	49,06	0,121	-0,010	100	90,21	2522,3	285,2	1133,3	861,9	0,44	41,5	18,3	34,1	19,4
AP-S1a-d11	702	40,41	0,02	0,04	10,61	0,27	0,16	48,39	0,127	-0,010	100	89,05	2097,8	257,9	1232,3	908,2	0,41	40,2	18,2	34,7	19,6
AP-S1a-d11	703	40,48	0,01	0,04	10,07	0,30	0,16	48,83	0,121	-0,010	100	89,63	2324,9	253,0	1212,3	867,2	0,42	40,8	18,1	34,5	19,4
AP-S1a-d11	704	40,57	0,02	0,04	9,78	0,34	0,15	49,00	0,123	-0,009	100	89,93	2685,5	265,1	1171,9	882,4	0,43	42,0	18,2	34,3	19,5
AP-S1a-d11	705	40,60	0,02	0,04	9,64	0,35	0,14	49,10	0,121	-0,010	100	90,08	2781,6	306,3	1090,3	864,5	0,43	42,2	18,4	33,8	19,4
AP-S1a-d11	706	40,64	0,02	0,04	9,94	0,32	0,15	48,79	0,123	-0,015	100	89,75	2499,8	263,8	1146,7	880,2	0,43	41,4	18,2	34,2	19,5
AP-S1a-d11	707	40,40	0,01	0,05	10,41	0,29	0,15	48,58	0,118	-0,009	100	89,27	2280,8	333,5	1181,0	844,0	0,42	40,8	18,5	34,4	19,4
AP-S1a-d12	708	40,81	0,02	0,08	9,17	0,40	0,14	49,28	0,125	-0,013	100	90,55	3167,3	514,7	1098,4	892,6	0,45	43,3	19,3	33,7	19,4
AP-S1a-d12	709	40,85	0,02	0,06	9,61	0,32	0,15	48,89	0,122	-0,006	100	90,07	2513,7	378,3	1137,8	872,0	0,44	41,4	18,7	34,1	19,4
AP-S1a-d12	710	40,68	0,02	0,04	10,34	0,28	0,15	48,37	0,126	-0,007	100	89,29	2174,7	298,7	1198,3	901,5	0,42	40,3	18,3	34,4	19,5
AP-S1a-d12	711	40,67	0,02	0,04	10,33	0,25	0,16	48,43	0,129	-0,009	100	89,31	1939,6	266,4	1213,1	923,1	0,42	39,4	18,1	34,4	19,5
AP-S1a-d12	712	40,73	0,02	0,05	9,97	0,30	0,15	48,67	0,122	-0,003	100	89,69	2330,1	338,1	1129,4	871,6	0,43	40,8	18,5	34,0	19,4
AP-S1a-d12	713	40,42	0,02	0,02	11,15	0,20	0,18	47,88	0,158	-0,014	100	88,45	1552,8	132,2	1375,7	1132,9	0,40	38,3	17,5	35,4	20,2
AP-S1a-d12	714	40,56	0,01	0,03	11,25	0,20	0,18	47,61	0,169	-0,005	100	88,29	1546,4	192,3	1405,8	1209,5	0,40	38,4	17,8	35,6	20,5
AP-S1a-d13	715	40,53	0,02	0,04	10,36	0,28	0,15	48,51	0,122	-0,010	100	89,30	2220,3	270,1	1175,9	869,9	0,42	40,4	18,1	34,3	19,4
AP-S1a-d13	716	40,43	0,02	0,05	10,33	0,29	0,16	48,62	0,123	-0,003	100	89,35	2295,4	347,9	1202,8	881,2	0,42	40,6	18,5	34,4	19,4
AP-S1a-d13	717	40,45	0,02	0,05	10,57	0,26	0,17	48,37	0,120	0,001	100	89,08	2023,3	332,6	1295,2	856,6	0,41	39,7	18,4	34,9	19,3
AP-S1a-d13	718	40,39	0,02	0,04	10,47	0,28	0,16	48,53	0,128	-0,010	100	89,20	2163,2	298,4	1212,7	916,2	0,42	40,2	18,3	34,5	19,5
AP-S1a-d13	719	40,54	0,02	0,07	9,83	0,37	0,15	48,91	0,126	-0,012	100	89,87	2891,6	451,8	1175,5	899,9	0,43	42,5	19,0	34,2	19,4

SAMPLE	LINE	SiO2	Al2O3	Cr2O3	FeO	NiO	MnO	MgO	CaO	P2O5	TOTAL	Fo%	Ni (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	Ca (ppm)	Err%Fo	ErrNi	ErrCr	ErrMn	ErrCa
AP-S1a-d13	720	40,47	0,02	0,09	9,96	0,29	0,15	48,90	0,124	-0,005	100	89,75	2316,6	610,9	1173,2	882,9	0,43	40,6	19,7	34,2	19,4
AP-S1a-d13	721	40,34	0,02	0,09	10,81	0,23	0,17	48,23	0,133	-0,009	100	88,83	1824,6	599,5	1290,4	947,5	0,41	39,0	19,7	34,8	19,6
AP-S1a-d13	722	40,62	0,02	0,07	9,74	0,38	0,15	48,90	0,127	-0,013	100	89,95	3003,8	483,1	1150,6	910,0	0,43	42,8	19,1	34,0	19,4
AP-S1a-d13	723	39,93	0,04	0,03	13,08	0,12	0,19	46,41	0,214	-0,016	100	86,35	976,9	180,5	1470,4	1530,9	0,37	36,5	17,7	36,0	21,5
AP-S1a-d13	724	39,88	0,04	0,02	13,27	0,10	0,18	46,31	0,214	-0,013	100	86,15	753,8	123,5	1428,5	1527,2	0,36	35,7	17,4	35,9	21,5
AP-S1a-d14	725	40,90	0,02	0,07	7,84	0,47	0,12	50,46	0,129	-0,012	100	91,98	3707,2	467,0	911,5	920,7	0,49	44,8	19,1	32,5	19,4
AP-S1a-d14	726	41,04	0,02	0,07	7,87	0,47	0,12	50,29	0,128	-0,012	100	91,93	3714,2	453,9	922,0	912,9	0,49	44,8	19,0	32,6	19,4
AP-S1a-d14	727	40,89	0,02	0,06	8,18	0,44	0,12	50,17	0,126	-0,010	100	91,62	3442,4	418,0	950,2	901,8	0,48	44,0	18,8	32,8	19,4
AP-S1a-d14	728	40,79	0,02	0,05	9,70	0,29	0,15	48,87	0,134	0,002	100	89,98	2286,3	359,6	1147,9	957,7	0,43	40,7	18,6	34,2	19,7
AP-S1a-d14	729	40,39	0,01	0,02	11,49	0,18	0,19	47,57	0,169	-0,009	100	88,07	1387,7	155,8	1453,7	1206,8	0,39	37,6	17,5	35,7	20,4
AP-S1a-d14	730	40,69	0,02	0,04	10,33	0,26	0,16	48,37	0,139	-0,005	100	89,30	2067,8	253,7	1256,2	993,8	0,42	40,1	18,2	34,9	19,9
AP-S1a-d15	731	40,48	0,02	0,06	11,44	0,20	0,18	47,49	0,129	0,002	100	88,10	1569,7	385,6	1379,9	920,5	0,39	38,2	18,6	35,3	19,5
AP-S1a-d15	732	40,41	0,02	0,10	11,45	0,21	0,17	47,49	0,128	0,031	100	88,09	1641,3	659,4	1297,7	915,1	0,39	38,5	19,9	34,9	19,5
AP-S1a-d15	734	40,66	0,02	0,03	10,38	0,27	0,16	48,35	0,135	-0,007	100	89,25	2101,2	211,0	1217,6	967,2	0,42	39,9	17,8	34,3	19,6
AP-S1a-d15	736	40,57	0,02	0,03	11,10	0,21	0,17	47,75	0,133	0,001	100	88,46	1672,1	223,0	1335,4	950,0	0,40	38,5	17,8	35,0	19,6
AP-S1a-d15	737	40,73	0,02	0,05	10,26	0,28	0,15	48,39	0,127	-0,005	100	89,37	2201,3	308,1	1188,9	906,6	0,42	40,2	18,3	34,2	19,4
AP-S1a-d16	743	40,45	0,02	0,06	11,26	0,20	0,17	47,73	0,127	-0,001	100	88,32	1556,0	402,9	1331,7	905,3	0,40	38,3	18,8	35,2	19,5
AP-S1a-d16	744	40,36	0,02	0,05	11,19	0,21	0,17	47,88	0,123	0,007	100	88,41	1617,3	355,1	1333,7	880,8	0,40	38,6	18,6	35,2	19,5
AP-S1a-d16	745	40,49	0,02	0,06	10,78	0,25	0,16	48,09	0,127	0,018	100	88,83	1986,8	425,7	1249,4	907,8	0,41	39,7	18,9	34,7	19,5
AP-S1a-d16	746	40,52	0,02	0,05	10,42	0,28	0,16	48,42	0,131	0,001	100	89,22	2198,0	316,1	1242,7	938,9	0,42	40,4	18,4	34,6	19,6
AP-S1a-d16	747	40,42	0,02	0,06	10,23	0,31	0,16	48,68	0,128	-0,001	100	89,45	2437,3	376,7	1205,5	912,3	0,42	41,2	18,7	34,5	19,5
AP-S1a-d16	748	40,46	0,02	0,04	10,48	0,28	0,15	48,45	0,128	-0,008	100	89,18	2200,6	275,5	1199,6	913,2	0,41	40,4	18,2	34,4	19,5
AP-S1a-d16	749	40,43	0,02	0,04	10,80	0,24	0,16	48,20	0,131	-0,005	100	88,84	1894,7	273,0	1231,5	932,8	0,41	39,4	18,1	34,6	19,6
AP-S1a-d16	750	40,47	0,02	0,03	10,98	0,24	0,17	47,96	0,141	-0,005	100	88,62	1847,6	217,6	1319,5	1009,2	0,41	39,5	18,0	35,3	20,0
AP-S1a-d16	753	40,41	0,02	0,06	11,34	0,19	0,17	47,65	0,126	0,031	100	88,22	1493,1	431,5	1343,6	902,6	0,40	38,0	18,9	35,2	19,5
AP-S1a-d16	754	40,56	0,02	0,04	10,33	0,30	0,16	48,47	0,129	-0,010	100	89,32	2361,5	302,8	1224,2	922,6	0,42	40,9	18,3	34,5	19,5
AP-S1a-d17	755	40,57	0,02	0,05	10,68	0,25	0,16	48,15	0,137	0,002	100	88,93	1939,5	323,8	1233,6	982,4	0,41	39,5	18,4	34,6	19,7
AP-S1a-d17	756	40,67	0,02	0,06	10,40	0,26	0,16	48,30	0,128	0,002	100	89,23	2059,8	407,2	1240,3	918,0	0,42	39,9	18,8	34,6	19,5
AP-S1a-d17	757	40,75	0,03	0,06	9,80	0,34	0,14	48,75	0,131	0,000	100	89,86	2674,8	396,9	1094,7	937,1	0,43	41,8	18,7	33,7	19,5

SAMPLE	LINE	SiO2	Al2O3	Cr2O3	FeO	NiO	MnO	MgO	CaO	P2O5	TOTAL	Fo%	Ni (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	Ca (ppm)	Err%Fo	ErrNi	ErrCr	ErrMn	ErrCa
AP-S1a-d17	758	40,87	0,03	0,07	9,31	0,38	0,14	49,09	0,130	-0,006	100	90,39	2997,9	492,0	1092,0	930,5	0,44	42,7	19,2	33,6	19,5
AP-S1a-d17	759	40,87	0,02	0,08	9,25	0,36	0,13	49,15	0,143	-0,009	100	90,45	2814,8	542,0	1044,5	1022,4	0,44	42,3	19,5	33,5	19,8
AP-S1a-d17	760	40,84	0,02	0,05	9,68	0,30	0,15	48,85	0,125	-0,012	100	89,99	2362,8	349,4	1128,4	896,6	0,43	40,7	18,5	33,9	19,4
AP-S1a-d17	761	40,59	0,02	0,03	10,43	0,28	0,16	48,36	0,131	-0,003	100	89,20	2180,3	229,3	1210,9	938,9	0,41	40,1	17,9	34,3	19,5
AP-S1a-d17	762	40,52	0,02	0,02	11,32	0,19	0,18	47,61	0,158	-0,009	100	88,23	1492,9	143,0	1356,5	1128,2	0,40	38,0	17,4	35,2	20,2
AP-S1a-d17	764	40,64	0,03	0,07	10,55	0,25	0,16	48,18	0,131	0,008	100	89,06	1947,1	471,5	1218,9	934,5	0,41	39,5	19,1	34,5	19,6
AP-S1a-d17	765	40,87	0,03	0,07	8,88	0,41	0,14	49,50	0,123	-0,011	100	90,86	3230,2	448,6	1070,0	876,7	0,45	43,3	18,9	33,5	19,3
AP-S1a-d17	766	40,24	0,02	0,04	13,16	0,10	0,22	46,03	0,184	0,008	100	86,18	817,3	293,7	1701,2	1311,6	0,37	36,3	18,5	37,5	21,0
AP-S1a-d18	767	40,66	0,02	0,04	10,10	0,28	0,15	48,64	0,124	-0,010	100	89,57	2219,9	268,2	1189,7	888,6	0,42	40,4	18,1	34,3	19,4
AP-S1a-d18	768	40,70	0,02	0,05	9,25	0,37	0,13	49,36	0,122	-0,005	100	90,49	2876,1	336,2	1035,6	874,0	0,44	42,4	18,5	33,4	19,3
AP-S1a-d18	769	40,66	0,02	0,05	9,03	0,37	0,14	49,64	0,126	-0,013	100	90,74	2920,4	314,2	1051,6	897,2	0,45	42,4	18,3	33,4	19,3
AP-S1a-d18	770	40,82	0,02	0,05	8,61	0,43	0,13	49,83	0,121	-0,010	100	91,16	3412,1	333,4	992,6	865,6	0,46	44,0	18,4	33,1	19,3
AP-S1a-d18	771	40,73	0,02	0,04	9,03	0,36	0,14	49,58	0,127	-0,006	100	90,73	2838,9	272,4	1059,8	904,9	0,45	42,2	18,1	33,5	19,4
AP-S1a-d18	772	40,97	0,02	0,05	8,00	0,45	0,12	50,27	0,126	-0,007	100	91,80	3559,7	354,5	947,5	901,1	0,48	44,3	18,5	32,8	19,4
AP-S1a-d18	773	41,05	0,02	0,05	7,98	0,47	0,12	50,21	0,120	-0,013	100	91,82	3689,4	329,7	955,1	859,9	0,48	44,7	18,4	32,8	19,2
AP-S1a-d18	774	40,81	0,02	0,04	9,39	0,34	0,14	49,15	0,121	-0,011	100	90,32	2636,5	287,8	1111,8	868,1	0,44	41,6	18,2	33,8	19,3
AP-S1a-d18	775	40,68	0,02	0,04	10,08	0,29	0,15	48,61	0,126	-0,010	100	89,58	2314,9	293,2	1168,5	901,5	0,42	40,9	18,3	34,3	19,6
AP-S1a-d18	776	40,60	0,02	0,03	10,81	0,24	0,17	48,02	0,133	-0,008	100	88,79	1865,3	202,6	1314,8	950,0	0,41	39,4	17,9	35,1	19,7
AP-S1a-d19	778	40,65	0,02	0,04	9,96	0,31	0,15	48,76	0,127	-0,011	100	89,72	2447,6	270,6	1163,1	907,7	0,43	41,1	18,2	34,2	19,5
AP-S1a-d19	779	40,70	0,02	0,04	9,95	0,32	0,15	48,72	0,124	-0,015	100	89,72	2480,4	258,5	1137,3	887,1	0,43	41,2	18,1	34,0	19,4
AP-S1a-d19	780	40,72	0,02	0,04	9,92	0,30	0,15	48,75	0,122	-0,014	100	89,76	2378,6	259,4	1150,3	871,7	0,43	40,9	18,1	34,1	19,4
AP-S1a-d19	781	40,77	0,02	0,05	9,14	0,35	0,14	49,42	0,127	-0,012	100	90,60	2757,4	317,4	1046,9	910,4	0,45	42,0	18,4	33,5	19,5
AP-S1a-d19	782	40,99	0,02	0,05	8,65	0,42	0,13	49,63	0,125	-0,009	100	91,10	3270,7	316,8	991,1	895,2	0,46	43,6	18,4	33,1	19,4
AP-S1a-d19	783	40,78	0,02	0,04	9,51	0,34	0,14	49,06	0,126	-0,009	100	90,20	2671,6	268,9	1088,9	897,4	0,44	41,8	18,1	33,7	19,4
AP-S1a-d19	784	40,68	0,02	0,03	10,72	0,24	0,17	48,01	0,137	-0,009	100	88,87	1909,1	206,5	1354,8	981,5	0,41	39,4	17,8	35,2	19,7
AP-S1a-d19	785	40,34	0,01	0,02	12,25	0,13	0,20	46,85	0,209	-0,006	100	87,20	1004,7	125,1	1534,6	1490,7	0,38	36,6	17,5	36,4	21,4
AP-S1a-d20	786	40,60	0,02	0,06	9,32	0,43	0,13	49,33	0,118	-0,011	100	90,41	3394,2	387,2	1035,5	846,7	0,44	44,0	18,7	33,4	19,3
AP-S1a-d20	787	40,68	0,02	0,06	9,38	0,41	0,14	49,21	0,118	-0,013	100	90,34	3228,3	390,6	1072,0	843,8	0,44	43,5	18,7	33,6	19,3
AP-S1a-d20	788	40,67	0,02	0,05	9,62	0,34	0,14	49,04	0,119	-0,004	100	90,09	2661,9	355,1	1073,4	847,1	0,44	41,8	18,6	33,7	19,3

SAMPLE	LINE	SiO2	Al2O3	Cr2O3	FeO	NiO	MnO	MgO	CaO	P2O5	TOTAL	Fo%	Ni (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	Ca (ppm)	Err%Fo	ErrNi	ErrCr	ErrMn	ErrCa
AP-S1a-020	789	40,54	0,02	0,05	10,13	0,31	0,15	48,70	0,121	-0,014	100	89,55	2453,3	329,8	1130,1	866,0	0,42	41,3	18,5	34,1	19,4
AP-S1a-020	790	40,42	0,02	0,05	10,52	0,28	0,15	48,43	0,126	0,004	100	89,13	2168,3	340,0	1148,0	900,1	0,41	40,3	18,5	34,2	19,5
AP-S1a-020	791	40,63	0,02	0,04	10,47	0,28	0,15	48,30	0,125	-0,009	100	89,16	2173,3	270,2	1158,3	892,6	0,42	40,4	18,2	34,2	19,5
AP-S1a-020	792	40,55	0,02	0,04	10,42	0,28	0,16	48,41	0,132	-0,010	100	89,23	2195,8	262,2	1244,4	942,1	0,42	40,4	18,1	34,7	19,6
AP-S1a-020	793	40,33	0,02	0,03	11,59	0,17	0,18	47,54	0,158	-0,010	100	87,97	1336,1	171,5	1425,8	1129,7	0,39	37,5	17,6	35,7	20,2
AP-S1a-020	794	40,50	0,02	0,04	10,51	0,28	0,16	48,36	0,127	-0,014	100	89,13	2239,3	258,9	1255,4	906,0	0,41	40,4	18,1	34,7	19,5
AP-S1a-020	795	40,58	0,02	0,04	10,55	0,28	0,15	48,25	0,125	-0,001	100	89,07	2174,6	281,4	1197,8	896,7	0,41	40,2	18,2	34,4	19,5
AP-S1a-020	796	40,47	0,02	0,04	10,76	0,27	0,16	48,17	0,125	-0,005	100	88,87	2124,5	269,2	1219,9	893,6	0,41	40,2	18,2	34,5	19,5
AP-S1a-020	797	40,53	0,01	0,04	10,75	0,27	0,17	48,10	0,134	-0,005	100	88,86	2127,7	299,9	1283,4	961,0	0,41	40,5	18,4	35,1	19,8
AP-S1a-020	798	40,55	0,02	0,05	10,45	0,27	0,16	48,38	0,137	-0,009	100	89,19	2160,7	310,8	1218,9	977,6	0,42	40,3	18,4	34,5	19,7
AP-S1a-020	799	40,45	0,02	0,06	10,92	0,24	0,18	48,00	0,136	-0,008	100	88,68	1907,0	411,7	1389,2	969,1	0,40	39,4	18,8	35,4	19,7
AP-S1a-021	800	40,48	0,02	0,04	11,35	0,29	0,17	47,55	0,127	-0,014	100	88,19	2239,9	240,8	1335,3	908,0	0,40	40,8	18,1	35,4	19,7
AP-S1a-021	801	40,54	0,02	0,03	11,43	0,27	0,17	47,45	0,122	-0,017	100	88,10	2096,3	236,9	1313,5	868,5	0,40	40,3	18,1	35,2	19,5
AP-S1a-021	802	40,37	0,02	0,03	11,50	0,26	0,18	47,53	0,127	-0,005	100	88,05	2053,0	227,1	1359,4	906,3	0,39	40,2	18,0	35,5	19,6
AP-S1a-021	803	40,48	0,02	0,04	11,14	0,25	0,16	47,81	0,127	-0,011	100	88,44	1973,4	262,4	1209,2	906,6	0,40	39,8	18,2	34,6	19,6
AP-S1a-021	804	40,57	0,02	0,05	10,35	0,30	0,16	48,44	0,124	-0,007	100	89,30	2339,8	324,5	1231,8	887,1	0,42	40,9	18,5	34,7	19,5
AP-S1a-021	805	40,70	0,02	0,05	9,91	0,32	0,15	48,75	0,127	-0,015	100	89,77	2532,7	343,7	1127,3	904,4	0,43	41,5	18,6	34,1	19,5
AP-S1a-021	806	40,77	0,02	0,06	9,84	0,31	0,15	48,76	0,131	-0,018	100	89,83	2458,8	381,3	1158,6	937,6	0,43	41,2	18,7	34,2	19,6
AP-S1a-021	807	40,78	0,02	0,06	10,24	0,28	0,15	48,37	0,126	-0,007	100	89,38	2162,0	378,8	1152,4	898,8	0,42	40,3	18,7	34,2	19,5
AP-S1a-021	808	40,64	0,01	0,03	10,62	0,24	0,17	48,16	0,133	-0,009	100	88,99	1913,2	234,8	1298,4	951,5	0,41	39,4	18,0	34,9	19,6
AP-S1a-021	810	40,49	0,02	0,04	10,80	0,28	0,16	48,11	0,121	-0,011	100	88,81	2197,0	285,3	1245,0	866,4	0,41	40,6	18,3	34,8	19,5
AP-S1a-021	811	40,61	0,02	0,06	9,74	0,34	0,14	48,97	0,129	-0,008	100	89,96	2685,5	444,2	1101,0	922,7	0,43	42,0	19,1	33,9	19,6
AP-S1a-021	812	40,44	0,02	0,02	11,46	0,17	0,19	47,56	0,161	-0,009	100	88,09	1324,4	139,7	1436,6	1150,7	0,39	37,5	17,5	35,7	20,3
AP-S1a-022	813	40,62	0,02	0,04	10,59	0,25	0,15	48,21	0,132	-0,009	100	89,04	1996,4	240,8	1197,8	940,0	0,41	39,8	18,0	34,5	19,7
AP-S1a-022	814	40,63	0,02	0,04	10,29	0,27	0,16	48,49	0,127	-0,016	100	89,37	2125,7	277,8	1233,4	906,0	0,42	40,1	18,2	34,6	19,5
AP-S1a-022	815	40,66	0,02	0,06	9,92	0,30	0,15	48,78	0,125	-0,005	100	89,76	2332,4	387,5	1177,1	890,3	0,43	40,7	18,7	34,2	19,4
AP-S1a-022	816	40,69	0,02	0,06	9,80	0,33	0,15	48,82	0,125	-0,006	100	89,88	2621,1	420,6	1180,5	896,7	0,43	41,6	18,8	34,2	19,4
AP-S1a-022	817	40,68	0,02	0,04	10,32	0,28	0,16	48,40	0,123	-0,008	100	89,32	2166,7	249,3	1237,0	877,6	0,42	40,2	18,0	34,6	19,4
AP-S1a-022	818	40,27	0,01	0,02	12,13	0,15	0,19	47,09	0,148	-0,009	100	87,37	1182,7	117,8	1472,3	1061,4	0,38	37,1	17,4	35,9	20,0

SAMPLE	LINE	SiO2	Al2O3	Cr2O3	FeO	NiO	MnO	MgO	CaO	P2O5	TOTAL	Fo%	Ni (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	Ca (ppm)	Err%Fo	ErrNi	ErrCr	ErrMn	ErrCa
AP-S1a-022	820	40,65	0,02	0,04	10,53	0,27	0,16	48,22	0,131	-0,006	100	89,08	2089,3	289,4	1212,3	937,0	0,41	40,0	18,3	34,5	19,6
AP-S1a-022	821	40,43	0,02	0,03	11,38	0,21	0,18	47,63	0,139	-0,008	100	88,18	1659,7	211,0	1361,0	991,0	0,40	38,6	17,8	35,3	19,8
AP-S1a-022	822	40,27	0,02	0,04	12,14	0,16	0,19	47,06	0,145	-0,004	100	87,36	1225,3	254,2	1441,3	1035,8	0,38	37,2	18,1	35,8	20,0
AP-S1a-022	823	40,33	0,02	0,02	12,09	0,16	0,19	47,07	0,151	-0,011	100	87,41	1252,8	136,8	1436,2	1082,0	0,38	37,4	17,5	35,8	20,1
AP-S1a-022	824	40,38	0,02	0,02	11,57	0,18	0,19	47,51	0,157	-0,007	100	87,98	1423,2	161,8	1449,0	1119,0	0,39	37,9	17,6	35,8	20,2
AP-S1a-022	825	40,52	0,02	0,03	11,71	0,16	0,19	47,23	0,164	-0,005	100	87,79	1267,3	173,2	1500,8	1174,3	0,39	37,4	17,7	36,1	20,4
AP-S1a-022	826	40,46	0,02	0,03	11,93	0,14	0,19	47,06	0,171	0,000	100	87,55	1108,1	217,5	1494,8	1225,5	0,39	36,8	17,9	36,1	20,5
AP-S1a-022	827	40,49	0,02	0,03	11,15	0,23	0,16	47,79	0,130	-0,004	100	88,43	1831,9	229,3	1270,9	927,2	0,40	39,4	18,0	35,0	19,7
AP-S1a-022	828	40,64	0,02	0,05	9,77	0,33	0,14	48,93	0,122	-0,006	100	89,93	2613,7	376,1	1111,9	875,3	0,43	41,7	18,7	33,9	19,4
AP-S1a-023	829	40,70	0,02	0,05	9,96	0,28	0,15	48,73	0,122	-0,001	100	89,72	2185,3	346,1	1140,6	870,9	0,43	40,5	18,6	34,2	19,5
AP-S1a-023	830	40,70	0,02	0,04	10,01	0,29	0,15	48,69	0,120	-0,015	100	89,66	2290,1	297,6	1144,2	859,8	0,43	40,8	18,4	34,2	19,4
AP-S1a-023	831	40,87	0,02	0,05	8,96	0,39	0,14	49,48	0,115	-0,013	100	90,78	3043,4	348,0	1054,9	822,8	0,45	43,1	18,6	33,7	19,3
AP-S1a-023	832	40,65	0,01	0,04	9,93	0,29	0,15	48,82	0,120	-0,012	100	89,76	2303,0	252,5	1184,8	860,3	0,43	40,8	18,1	34,4	19,4
AP-S1a-023	833	40,85	0,02	0,04	9,41	0,35	0,13	49,09	0,122	-0,008	100	90,29	2717,4	278,0	1029,1	874,7	0,44	42,0	18,2	33,5	19,4
AP-S1a-023	834	40,68	0,01	0,08	9,87	0,30	0,15	48,80	0,121	-0,015	100	89,81	2394,6	558,1	1182,8	865,2	0,43	41,2	19,6	34,4	19,5
AP-S1a-023	835	40,75	0,02	0,05	9,40	0,36	0,14	49,19	0,124	-0,009	100	90,32	2799,5	326,2	1057,3	888,1	0,44	42,3	18,5	33,6	19,5
AP-S1a-023	836	40,59	0,01	0,04	10,83	0,26	0,17	47,99	0,128	-0,011	100	88,76	2032,2	289,3	1285,6	911,5	0,41	40,0	18,3	35,0	19,6
AP-S1a-023	837	40,52	0,01	0,03	10,88	0,24	0,17	48,03	0,134	-0,009	100	88,72	1870,0	192,6	1309,1	955,0	0,41	39,5	17,8	35,2	19,7
AP-S1a-024	838	40,66	0,02	0,05	10,25	0,27	0,16	48,48	0,124	-0,006	100	89,40	2138,0	310,6	1204,2	886,5	0,42	40,2	18,4	34,4	19,5
AP-S1a-024	839	40,77	0,02	0,05	10,17	0,27	0,15	48,46	0,120	-0,005	100	89,47	2131,0	353,0	1181,8	858,8	0,42	40,1	18,6	34,3	19,4
AP-S1a-024	840	40,73	0,02	0,04	10,04	0,28	0,14	48,63	0,124	-0,009	100	89,62	2228,2	303,6	1083,1	883,0	0,42	40,4	18,3	33,7	19,4
AP-S1a-024	841	40,95	0,02	0,05	9,53	0,32	0,14	48,88	0,123	-0,007	100	90,14	2495,9	353,3	1100,1	876,4	0,44	41,3	18,6	33,8	19,4
AP-S1a-024	842	40,89	0,02	0,05	8,88	0,40	0,14	49,49	0,124	-0,005	100	90,85	3152,8	373,1	1051,2	888,6	0,46	43,3	18,7	33,5	19,4
AP-S1a-024	843	40,98	0,02	0,05	8,73	0,41	0,13	49,56	0,125	-0,009	100	91,01	3245,2	352,4	1045,4	891,2	0,46	43,5	18,6	33,4	19,4
AP-S1a-024	844	40,71	0,25	0,04	10,01	0,30	0,14	48,42	0,134	-0,010	100	89,61	2387,4	260,7	1111,0	957,7	0,43	41,4	18,3	34,2	19,9
AP-S1a-024	845	40,75	0,02	0,04	9,88	0,31	0,14	48,74	0,126	-0,010	100	89,79	2404,6	268,5	1109,0	902,3	0,43	41,1	18,2	34,0	19,5
AP-S1a-024	846	40,73	0,02	0,03	10,44	0,25	0,16	48,24	0,134	-0,008	100	89,17	1990,0	221,6	1273,9	955,9	0,42	39,7	17,9	34,8	19,7
AP-S1a-024	847	40,79	0,02	0,04	10,10	0,28	0,15	48,51	0,122	-0,009	100	89,54	2212,2	245,7	1182,0	872,0	0,42	40,5	18,1	34,4	19,4
AP-S1a-024	848	40,77	0,02	0,04	9,86	0,31	0,15	48,74	0,129	-0,005	100	89,80	2417,2	280,5	1173,8	925,3	0,43	41,3	18,3	34,5	19,7

SAMPLE	LINE	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	NiO	MnO	MgO	CaO	P ₂ O ₅	TOTAL	Fo%	Ni (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	Ca (ppm)	Err ^o Fo	ErrNi	ErrCr	ErrMn	ErrCa
AP-S1a-024	849	40,53	0,02	0,02	11,14	0,21	0,18	47,76	0,153	-0,003	100	88,43	1643,9	155,5	1400,5	1094,4	0,40	38,8	17,7	35,7	20,2
AP-S1a-024	850	40,41	0,01	0,03	11,86	0,16	0,19	47,17	0,162	0,007	100	87,64	1219,5	207,5	1496,6	1160,7	0,39	37,3	17,9	36,1	20,4
AP-S1a-024	851	40,98	0,02	0,05	8,68	0,42	0,13	49,60	0,123	-0,007	100	91,06	3321,3	336,7	996,4	880,4	0,46	43,7	18,5	33,2	19,4
AP-S1a-025	852	40,78	0,01	0,06	9,93	0,41	0,14	48,57	0,102	-0,004	100	89,71	3220,7	379,2	1102,4	725,7	0,43	43,6	18,7	33,8	18,9
AP-S1a-025	853	40,70	0,02	0,06	10,09	0,40	0,15	48,50	0,107	-0,007	100	89,55	3114,6	380,9	1184,6	765,5	0,42	43,2	18,7	34,2	19,0
AP-S1a-025	854	40,54	0,02	0,05	10,59	0,36	0,15	48,21	0,110	-0,011	100	89,03	2816,5	331,7	1165,9	785,8	0,41	42,4	18,5	34,2	19,1
AP-S1a-025	855	40,56	0,01	0,05	11,10	0,32	0,17	47,69	0,120	-0,007	100	88,45	2538,1	310,7	1305,2	854,3	0,40	41,6	18,4	35,1	19,4
AP-S1a-025	856	40,41	0,01	0,04	11,77	0,28	0,17	47,21	0,119	-0,006	100	87,73	2169,0	294,9	1353,6	847,4	0,39	40,5	18,3	35,4	19,4
AP-S1a-025	857	40,44	0,01	0,02	12,19	0,24	0,18	46,80	0,133	-0,012	100	87,25	1851,9	167,6	1408,2	951,7	0,38	39,5	17,7	35,7	19,8
AP-S1a-025	858	40,25	0,01	0,02	12,31	0,21	0,19	46,87	0,151	-0,010	100	87,16	1639,7	129,9	1493,0	1079,7	0,38	38,9	17,5	36,2	20,2
AP-S1a-025	859	40,28	0,01	0,02	12,32	0,17	0,20	46,85	0,163	-0,010	100	87,14	1353,4	154,3	1554,7	1167,2	0,38	37,7	17,6	36,4	20,4
AP-S1a-025	860	40,26	0,01	0,03	12,74	0,12	0,21	46,49	0,165	-0,009	100	86,67	972,0	189,9	1595,2	1182,9	0,37	36,5	17,8	36,7	20,5
AP-S1a-025	861	40,22	0,01	0,03	12,96	0,11	0,22	46,28	0,167	-0,001	100	86,43	899,4	224,4	1671,1	1195,9	0,37	36,2	18,0	37,0	20,5
AP-S1a-025	862	40,35	0,02	0,02	12,32	0,13	0,20	46,80	0,171	-0,014	100	87,13	1038,8	165,1	1572,4	1221,7	0,38	36,7	17,7	36,6	20,6
AP-S1a-025	863	40,20	0,02	0,03	12,90	0,11	0,21	46,36	0,198	-0,008	100	86,50	825,3	177,1	1630,1	1417,2	0,37	36,1	17,8	37,0	21,2
AP-S1a-025	864	40,22	0,02	0,02	13,26	0,25	0,19	45,91	0,150	-0,010	100	86,06	1928,6	169,8	1500,7	1071,9	0,36	39,8	17,7	36,2	20,1
AP-S1a-025	865	40,22	0,01	0,03	12,62	0,14	0,20	46,62	0,165	-0,001	100	86,82	1130,2	193,1	1578,9	1177,2	0,37	37,1	17,9	36,7	20,5
AP-S1a-025	866	40,25	0,01	0,03	12,58	0,13	0,19	46,63	0,168	0,001	100	86,85	1056,6	182,9	1509,5	1202,3	0,37	36,8	17,8	36,3	20,5
AP-S1a-025	867	40,17	0,02	0,04	12,88	0,11	0,21	46,39	0,197	0,003	100	86,53	855,3	245,0	1634,8	1410,0	0,37	36,1	18,1	36,9	21,1
AP-S1a-026	868	40,51	0,02	0,04	11,78	0,17	0,18	47,18	0,131	-0,001	100	87,72	1361,5	269,0	1377,7	939,8	0,39	37,7	18,2	35,5	19,7
AP-S1a-026	869	40,56	0,02	0,04	11,73	0,17	0,17	47,20	0,127	-0,006	100	87,76	1366,2	255,8	1280,4	906,6	0,39	37,8	18,1	35,0	19,6
AP-S1a-026	870	40,43	0,02	0,05	11,65	0,18	0,17	47,39	0,124	-0,001	100	87,88	1425,4	352,8	1324,5	884,5	0,39	37,9	18,6	35,2	19,5
AP-S1a-026	871	40,46	0,02	0,06	11,37	0,19	0,17	47,60	0,133	0,002	100	88,18	1489,1	402,0	1348,6	950,0	0,40	38,1	18,8	35,3	19,7
AP-S1a-026	872	40,71	0,02	0,05	10,87	0,23	0,17	47,83	0,133	-0,005	100	88,69	1824,2	341,3	1298,9	949,3	0,41	39,2	18,5	35,0	19,7
AP-S1a-026	873	40,55	0,01	0,05	10,75	0,27	0,17	48,09	0,125	-0,004	100	88,86	2152,8	311,8	1283,0	891,9	0,41	40,2	18,4	34,9	19,5
AP-S1a-026	874	40,74	0,02	0,06	10,40	0,27	0,16	48,24	0,125	-0,008	100	89,21	2124,8	395,7	1236,3	892,4	0,42	40,3	18,8	34,7	19,5
AP-S1a-026	875	40,73	0,02	0,04	10,53	0,26	0,17	48,14	0,131	-0,007	100	89,07	2072,8	258,0	1292,5	939,1	0,41	40,0	18,1	34,9	19,6
AP-S1a-026	876	40,42	0,02	0,03	11,44	0,21	0,18	47,58	0,139	-0,006	100	88,11	1664,9	193,1	1388,1	997,0	0,40	38,8	17,8	35,6	19,9
AP-S1a-026	877	40,34	0,01	0,02	11,99	0,19	0,19	47,12	0,151	-0,005	100	87,51	1487,0	169,9	1458,0	1078,0	0,39	38,2	17,7	36,0	20,1

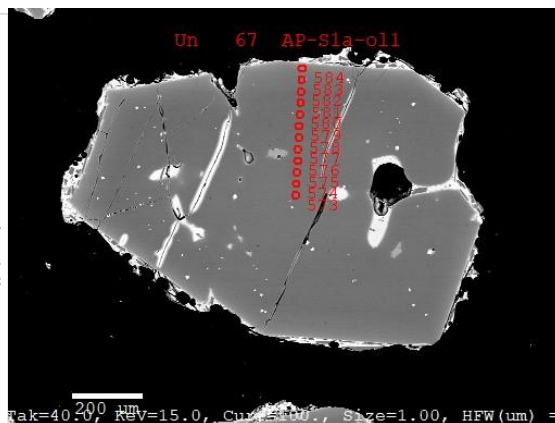
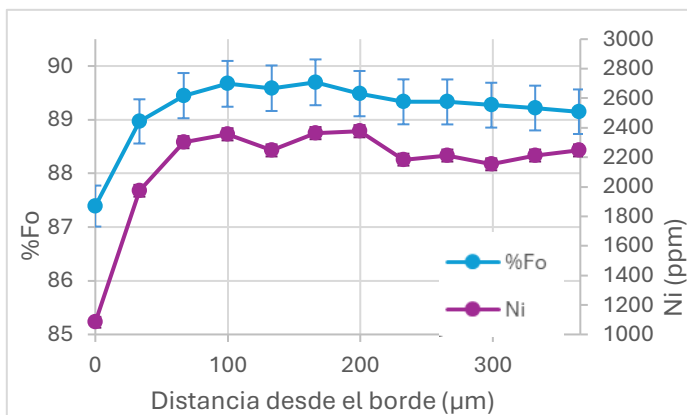
SAMPLE	LINE	SiO2	Al2O3	Cr2O3	FeO	NiO	MnO	MgO	CaO	P2O5	TOTAL	Fo%	Ni (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	Ca (ppm)	Err%Fo	ErrNi	ErrCr	ErrMn	ErrCa
AP-S1a-026	878	40,40	0,01	0,03	11,87	0,16	0,19	47,17	0,168	-0,003	100	87,63	1282,8	182,4	1496,4	1201,6	0,39	37,6	17,8	36,2	20,6
AP-S1a-027	880	41,29	0,04	0,08	6,43	0,52	0,10	51,43	0,123	-0,006	100	93,45	4111,9	559,0	760,0	876,5	0,54	45,8	19,5	31,6	19,2
AP-S1a-027	881	41,29	0,04	0,08	6,49	0,54	0,10	51,34	0,125	-0,005	100	93,38	4226,3	568,7	794,7	894,0	0,54	46,2	19,6	31,8	19,3
AP-S1a-027	882	41,22	0,03	0,08	6,59	0,54	0,10	51,34	0,116	-0,015	100	93,28	4278,5	533,9	764,5	829,3	0,54	46,4	19,4	31,6	19,1
AP-S1a-027	883	40,66	0,02	0,05	9,95	0,30	0,15	48,76	0,129	-0,007	100	89,73	2383,9	319,3	1162,6	921,5	0,43	41,0	18,4	34,2	19,6
AP-S1a-027	884	40,68	0,02	0,05	10,30	0,29	0,15	48,38	0,134	-0,002	100	89,33	2251,6	347,6	1189,3	954,8	0,42	40,6	18,6	34,4	19,7
AP-S1a-027	885	40,46	0,01	0,07	11,42	0,19	0,18	47,53	0,160	-0,010	100	88,13	1456,2	488,4	1398,2	1140,4	0,40	38,1	19,3	35,6	20,3
AP-S1a-027	886	40,61	0,02	0,05	10,31	0,29	0,16	48,43	0,136	-0,008	100	89,33	2285,8	321,1	1232,8	971,6	0,42	40,8	18,5	34,7	19,8
AP-S1a-028	887	41,08	0,02	0,06	8,66	0,44	0,13	49,51	0,117	-0,012	100	91,06	3418,7	423,4	998,4	839,3	0,46	44,1	18,9	33,2	19,2
AP-S1a-028	888	41,01	0,02	0,06	8,77	0,43	0,13	49,47	0,119	-0,010	100	90,96	3402,1	433,3	997,8	851,1	0,46	44,1	19,0	33,2	19,3
AP-S1a-028	889	40,63	0,02	0,04	10,74	0,24	0,16	48,07	0,125	-0,011	100	88,86	1885,2	250,2	1207,9	890,6	0,41	39,5	18,1	34,6	19,5
AP-S1a-028	890	40,68	0,02	0,04	10,71	0,22	0,17	48,06	0,125	-0,006	100	88,89	1731,7	260,5	1303,5	890,4	0,41	39,0	18,2	35,1	19,5
AP-S1a-028	891	40,73	0,02	0,04	10,42	0,28	0,16	48,23	0,134	-0,012	100	89,19	2174,2	275,7	1217,7	961,0	0,42	40,5	18,3	34,7	19,8
AP-S1a-028	892	40,67	0,02	0,04	10,27	0,27	0,16	48,46	0,125	-0,007	100	89,38	2153,7	281,7	1221,9	893,7	0,42	40,3	18,2	34,5	19,5
AP-S1a-029	894	41,22	0,02	0,06	7,24	0,53	0,10	50,72	0,113	-0,011	100	92,58	4179,6	439,0	796,8	808,1	0,51	46,3	19,0	32,0	19,1
AP-S1a-029	895	41,13	0,02	0,06	7,16	0,53	0,10	50,88	0,113	-0,013	100	92,68	4170,9	424,9	811,4	804,7	0,51	46,1	18,9	32,0	19,0
AP-S1a-029	896	40,39	0,02	0,08	10,84	0,28	0,16	48,11	0,125	-0,005	100	88,78	2178,9	558,6	1275,4	894,7	0,41	40,5	19,6	34,9	19,6
AP-S1a-029	897	40,59	0,02	0,03	10,55	0,26	0,16	48,28	0,133	-0,014	100	89,08	2034,7	185,7	1270,9	951,0	0,41	40,0	17,8	35,0	19,7
AP-S1a-030	898	40,65	0,02	0,04	9,82	0,33	0,15	48,89	0,126	-0,015	100	89,88	2554,8	282,0	1137,4	899,1	0,43	41,6	18,3	34,2	19,5
AP-S1a-030	899	40,60	0,02	0,04	9,91	0,30	0,15	48,87	0,121	-0,011	100	89,78	2372,9	293,3	1157,9	861,8	0,43	41,0	18,3	34,2	19,4
AP-S1a-030	900	40,76	0,02	0,06	9,98	0,32	0,15	48,59	0,129	-0,008	100	89,67	2552,7	389,2	1199,5	923,1	0,43	41,7	18,8	34,5	19,6
AP-S1a-030	901	40,58	0,02	0,05	10,48	0,29	0,16	48,32	0,121	-0,003	100	89,15	2246,0	323,4	1205,7	867,2	0,42	40,7	18,5	34,6	19,5
AP-S1a-030	902	40,59	0,02	0,03	10,77	0,23	0,16	48,09	0,124	-0,012	100	88,84	1823,9	235,4	1234,3	888,3	0,41	39,3	18,0	34,7	19,5
AP-S1a-030	903	40,57	0,02	0,05	10,41	0,28	0,15	48,39	0,125	0,012	100	89,23	2190,6	351,8	1167,9	893,0	0,42	40,5	18,6	34,4	19,5
AP-S1a-030	904	40,76	0,02	0,06	9,77	0,32	0,14	48,82	0,124	-0,007	100	89,91	2525,0	377,2	1122,3	886,4	0,43	41,4	18,7	34,0	19,4
AP-S1a-030	905	40,74	0,02	0,05	9,85	0,30	0,15	48,77	0,125	-0,003	100	89,83	2336,7	338,3	1174,4	896,7	0,43	40,8	18,5	34,2	19,5
AP-S1a-030	906	40,52	0,02	0,03	10,78	0,24	0,16	48,12	0,137	-0,013	100	88,83	1902,8	202,5	1272,5	981,1	0,41	39,5	17,9	34,9	19,8
AP-S1a-030	907	40,44	0,02	0,03	12,00	0,15	0,20	47,02	0,165	-0,014	100	87,47	1191,7	183,2	1510,9	1177,2	0,38	37,0	17,7	36,1	20,4
AP-S1a-030	908	40,68	0,01	0,04	10,69	0,25	0,16	48,06	0,122	-0,009	100	88,91	1979,8	256,3	1249,0	870,8	0,41	39,8	18,1	34,8	19,4

SAMPLE	LINE	SiO2	Al2O3	Cr2O3	FeO	NiO	MnO	MgO	CaO	P2O5	TOTAL	Fo%	Ni (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	Ca (ppm)	Err% Fo	Err Ni	Err Cr	Err Mn	Err Ca
AP-S1a-d30	909	40,80	0,02	0,07	9,65	0,37	0,15	48,84	0,127	-0,010	100	90,02	2889,0	473,5	1144,7	910,4	0,43	42,6	19,2	34,1	19,5
AP-S1a-d30	910	40,50	0,02	0,02	11,29	0,20	0,18	47,67	0,146	-0,011	100	88,27	1545,1	161,0	1361,9	1045,2	0,40	38,3	17,6	35,4	20,0

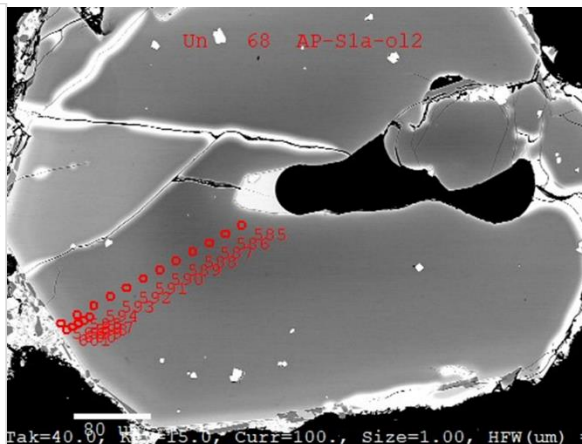
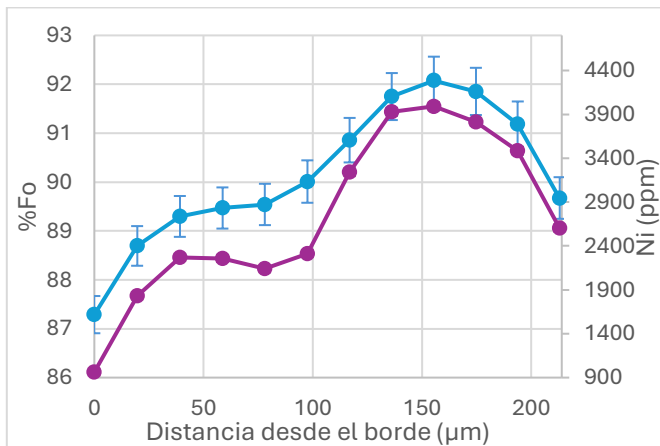
ANEXO 2

Imágenes BEI y perfiles composicionales.

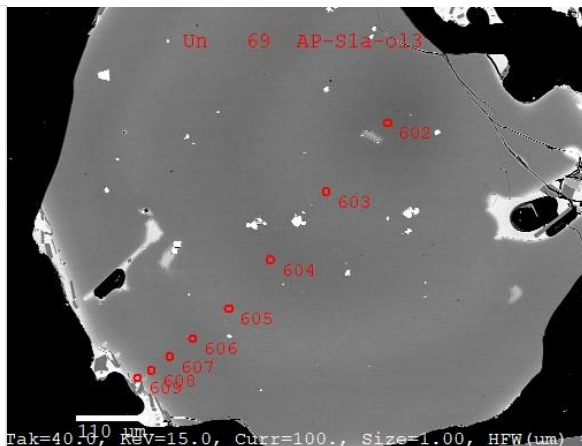
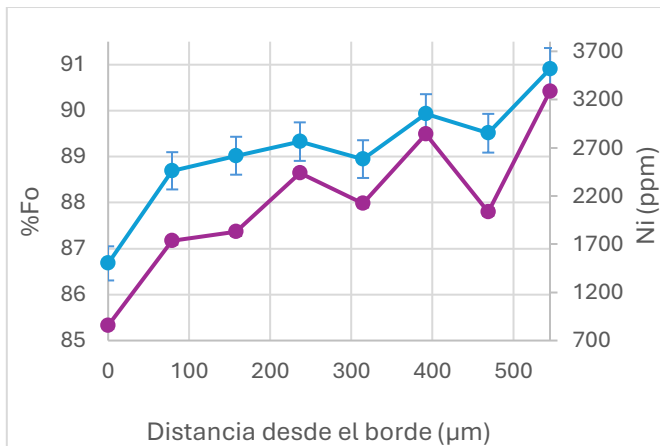
OLIVINO 1



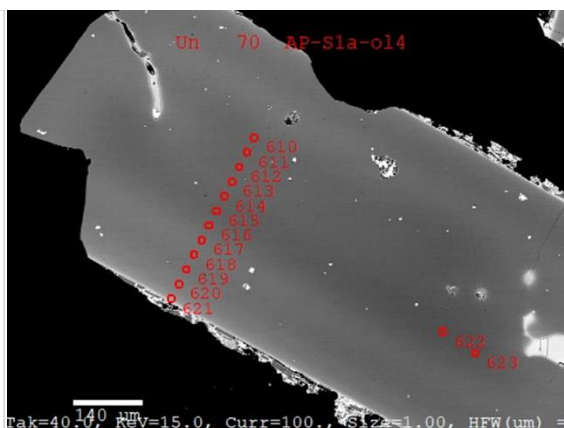
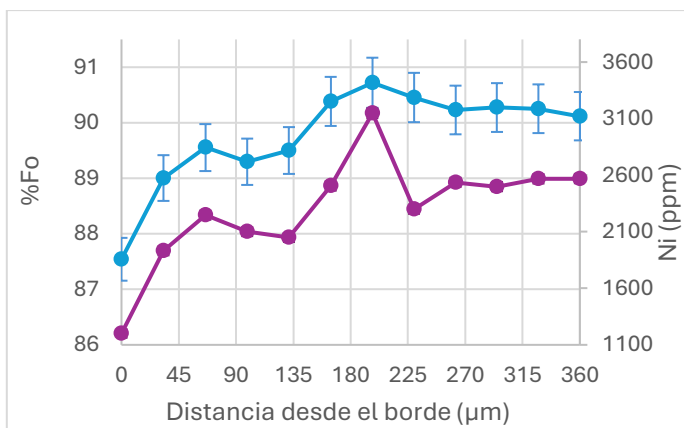
OLIVINO 2



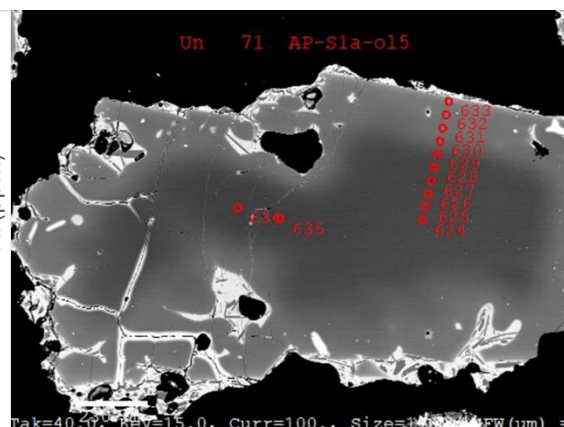
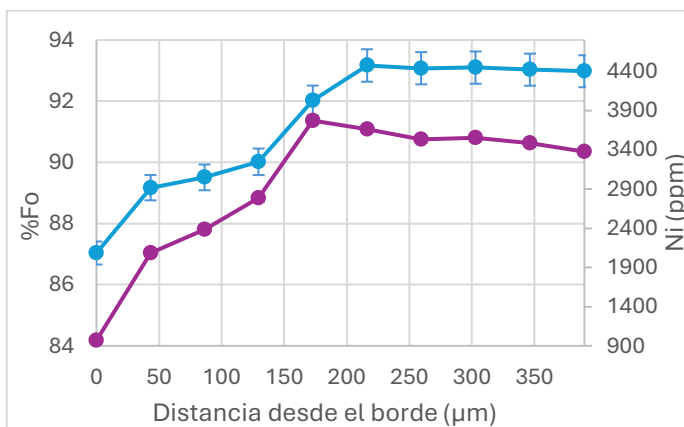
OLIVINO 3



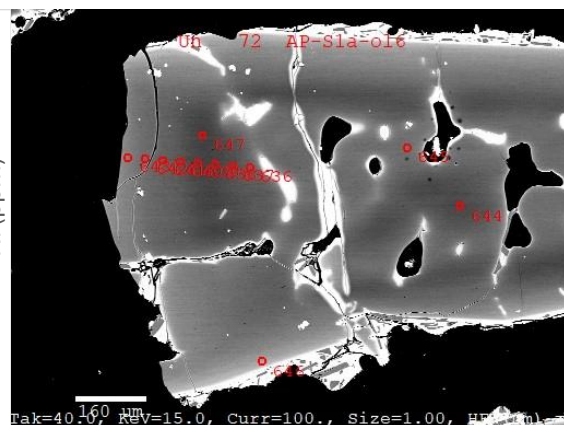
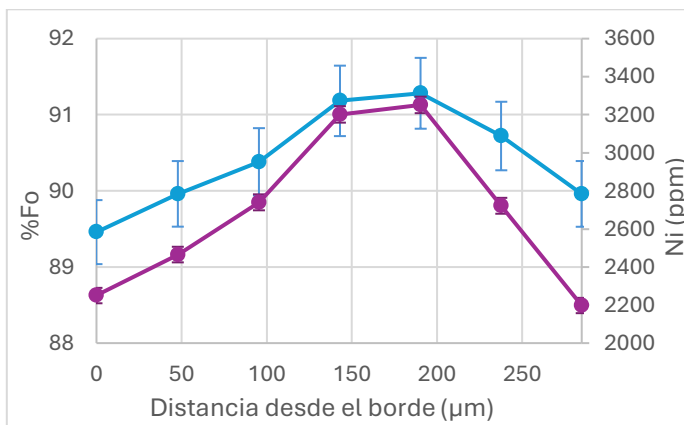
OLIVINO 4



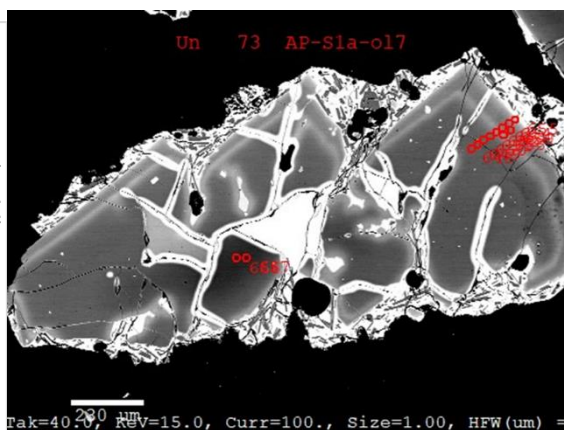
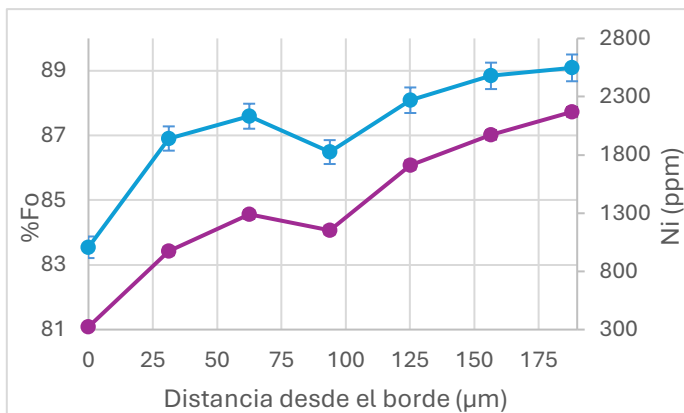
OLIVINO 5



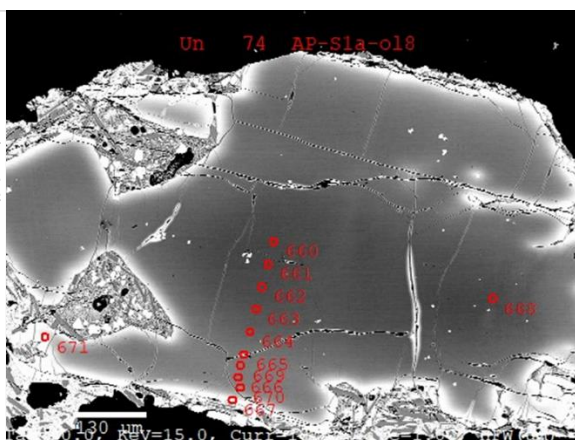
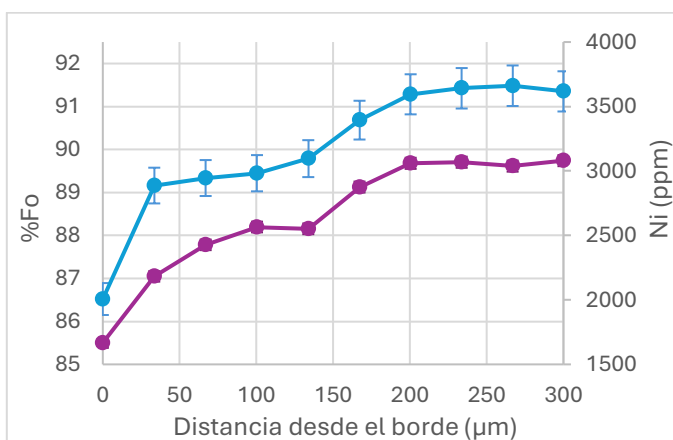
OLIVINO 6



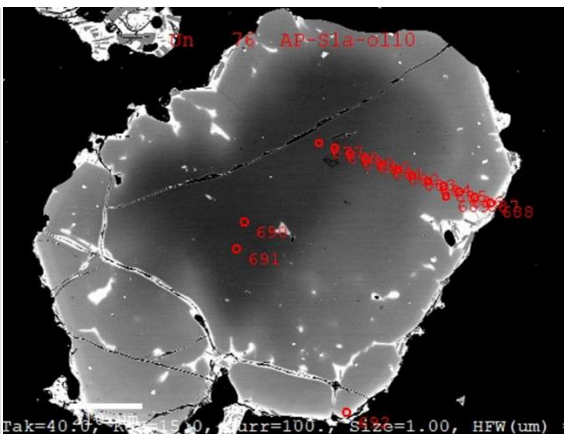
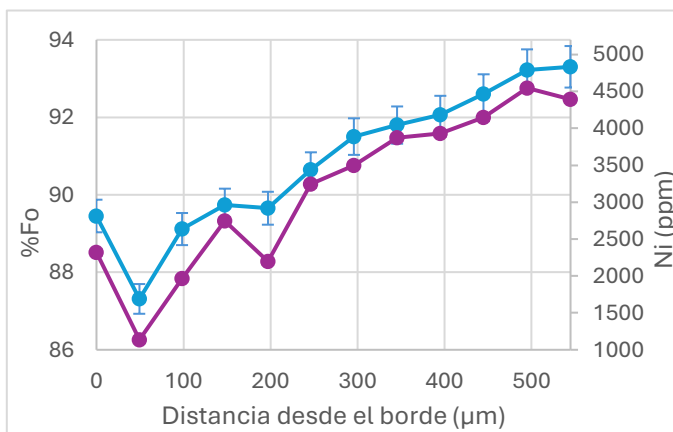
OLIVINO 7



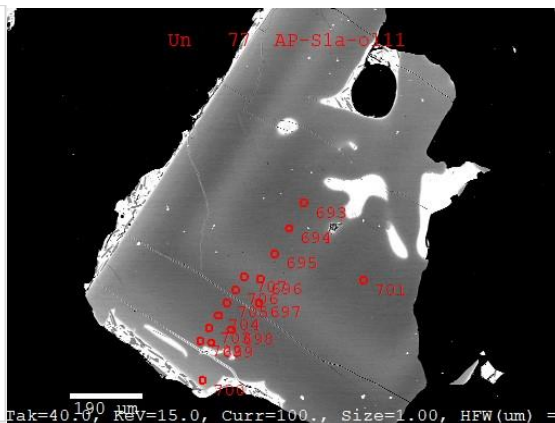
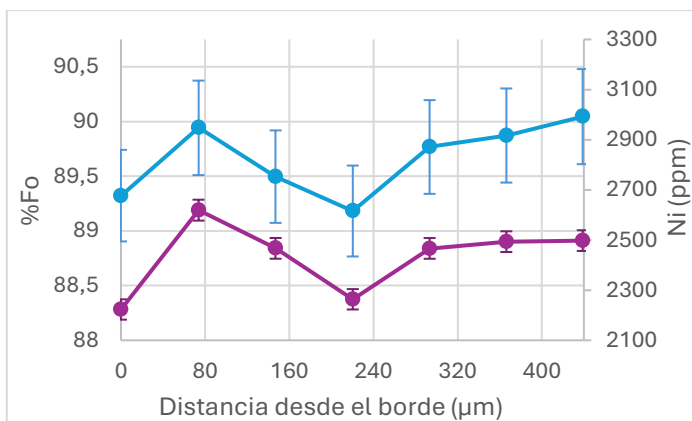
OLIVINO 8



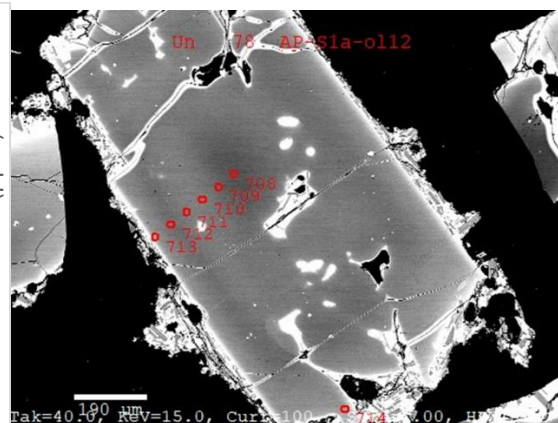
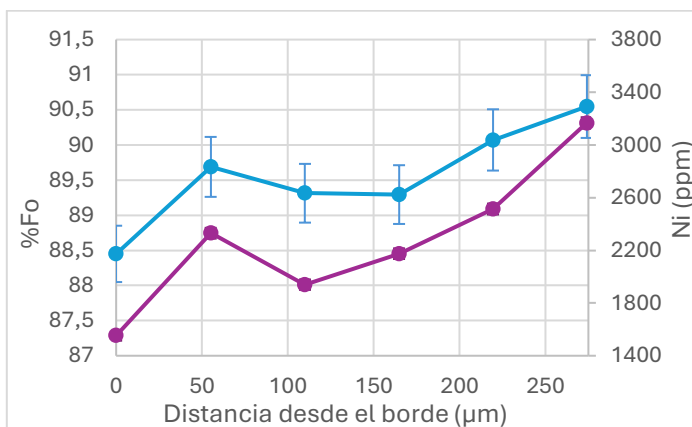
OLIVINO 10



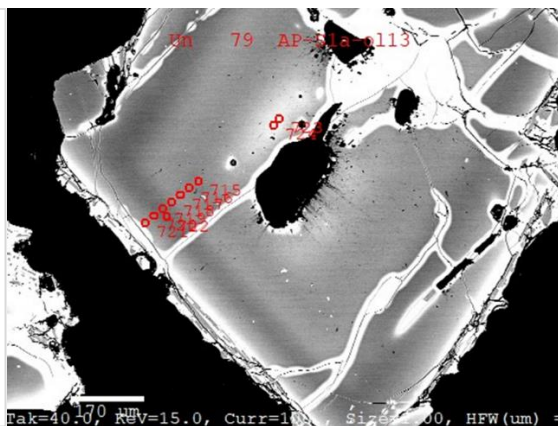
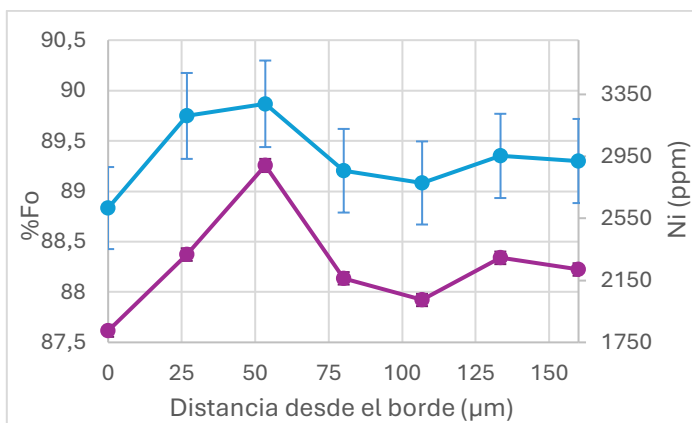
OLIVINO 11



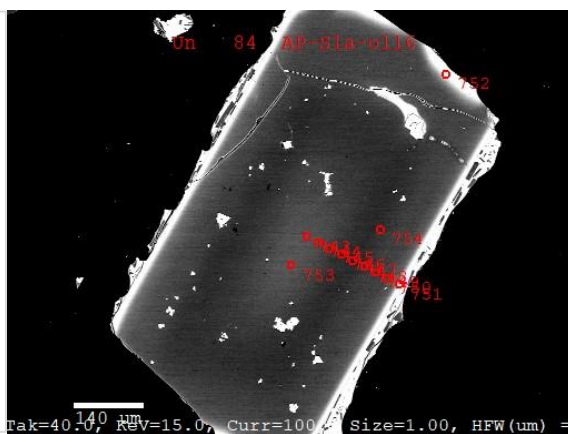
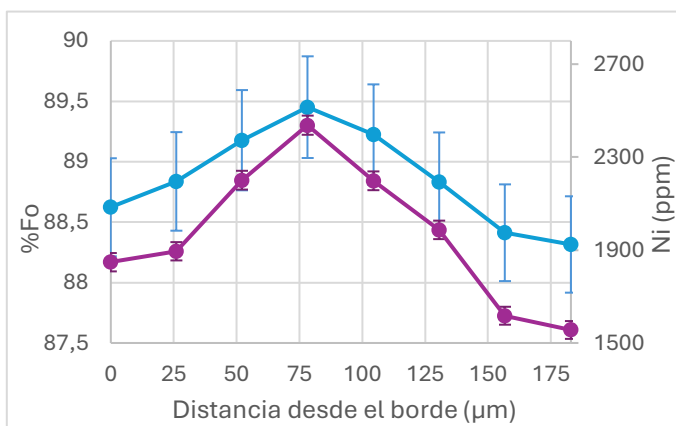
OLIVINO 12



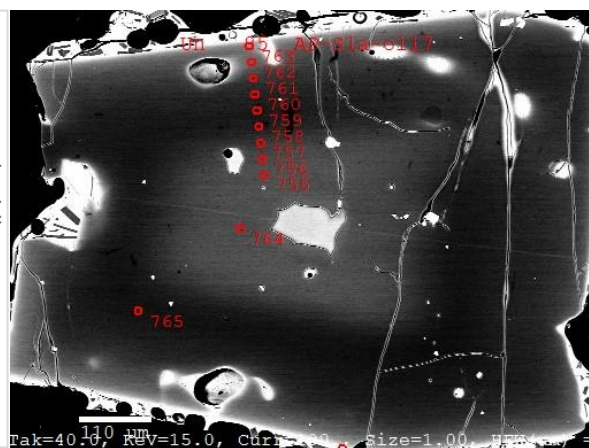
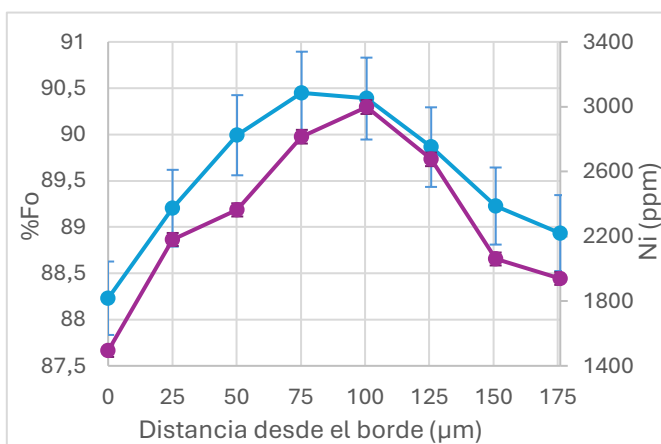
OLIVINO 13



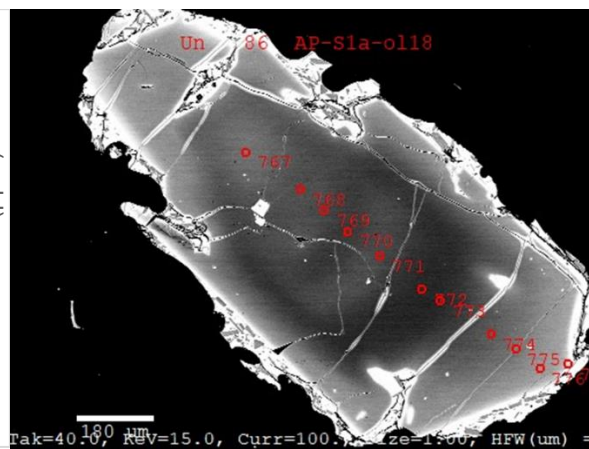
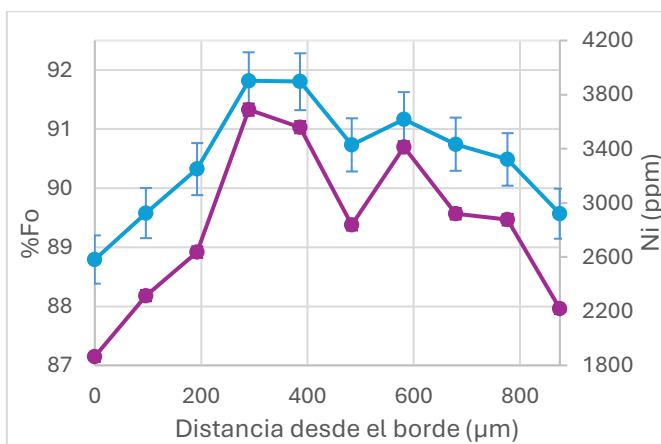
OLIVINO 16



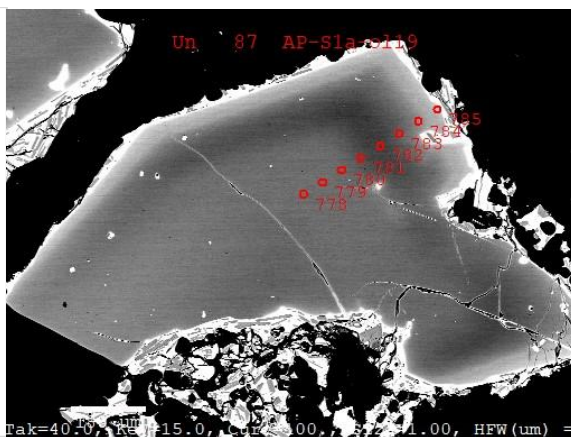
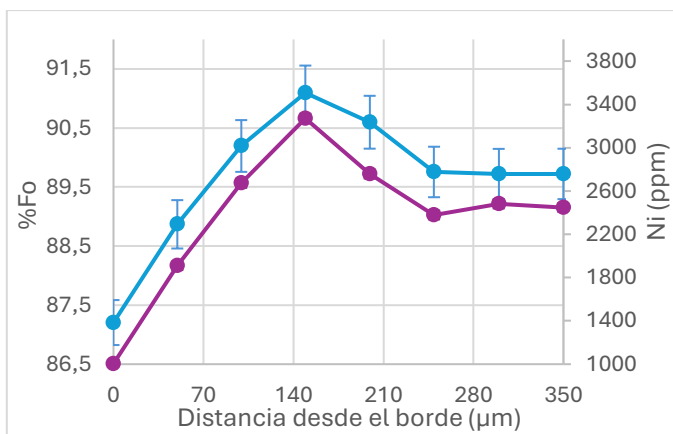
OLIVINO 17



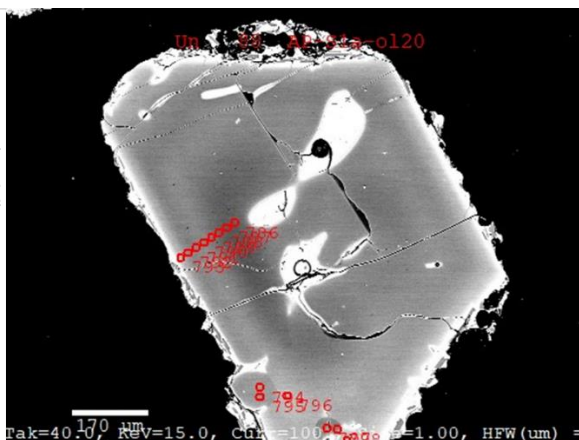
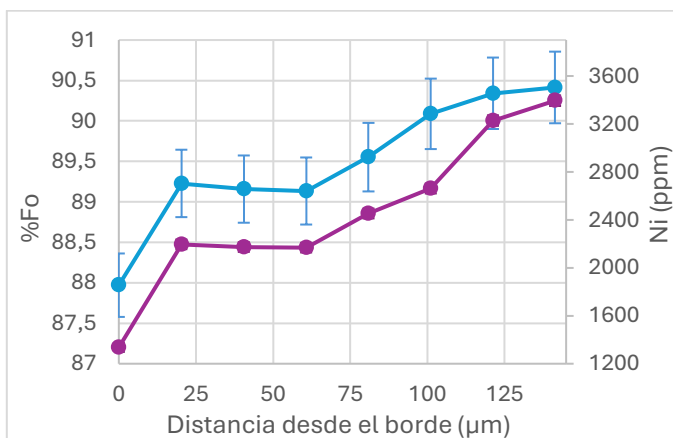
OLIVINO 18



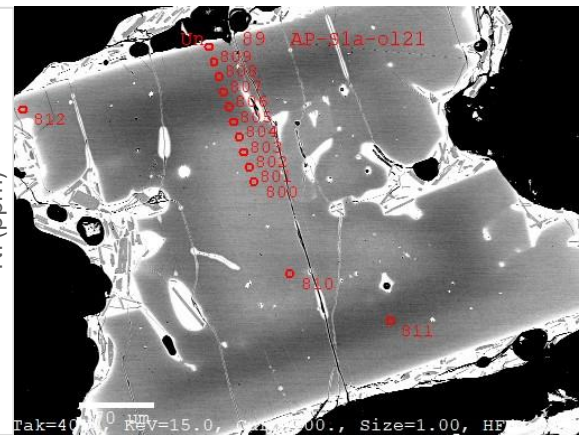
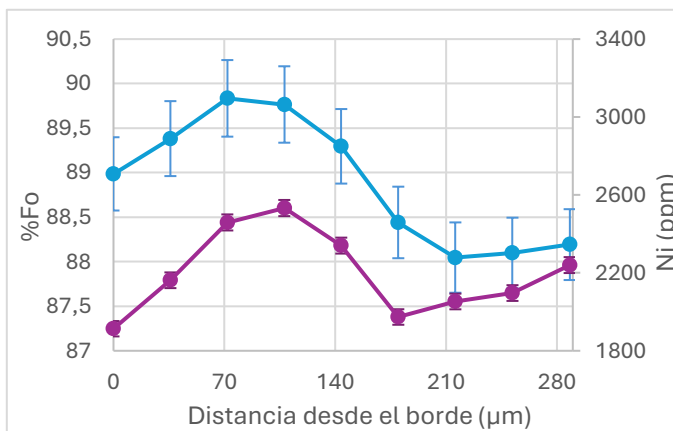
OLIVINO 19



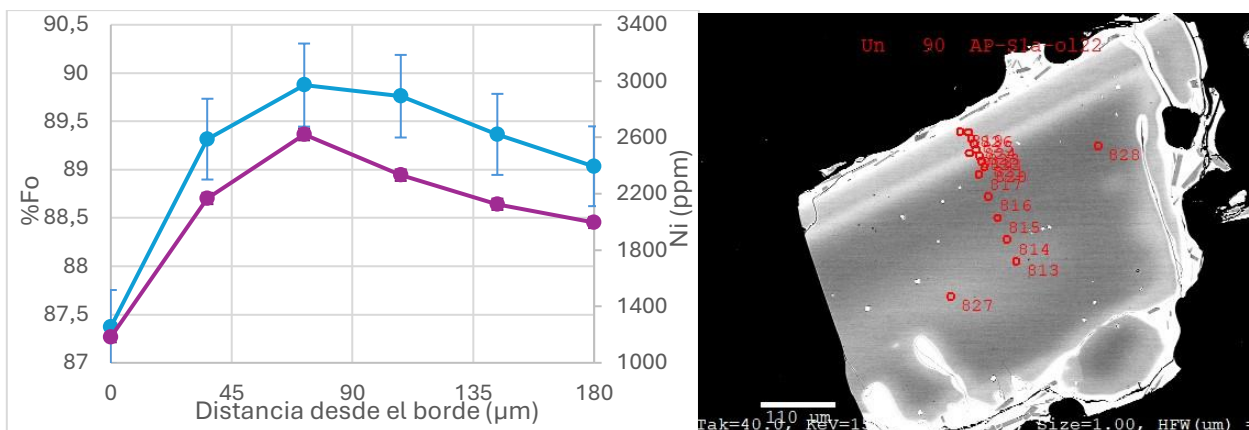
OLIVINO 20



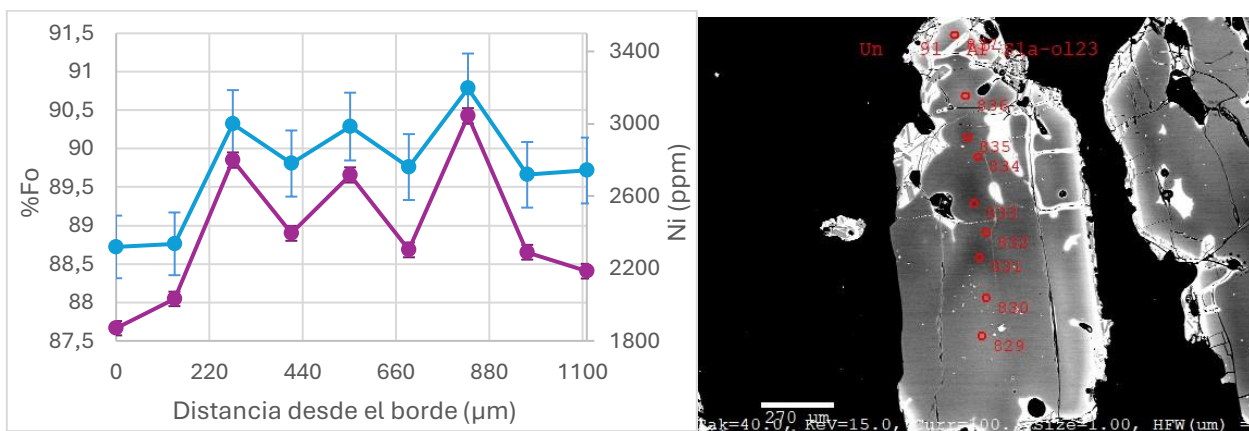
OLIVINO 21



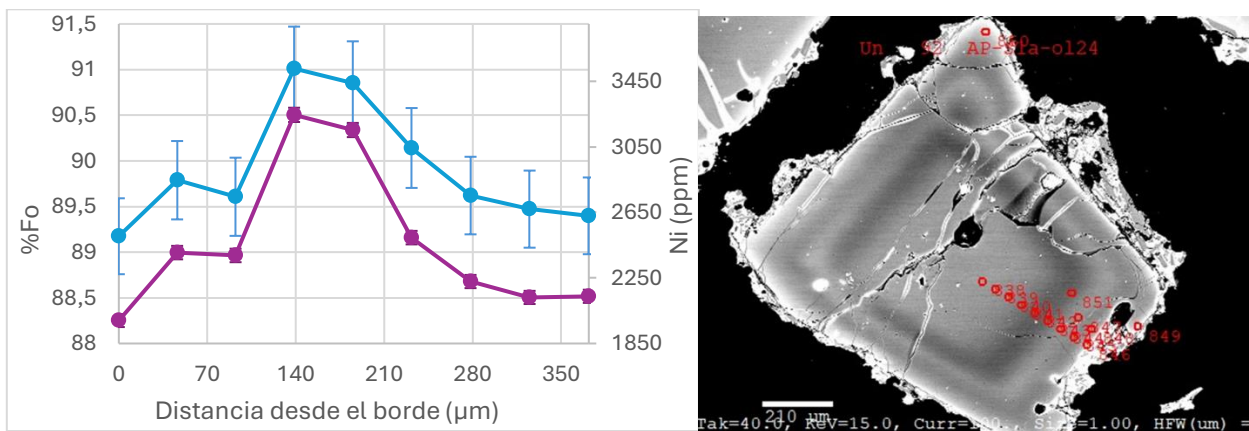
OLIVINO 22



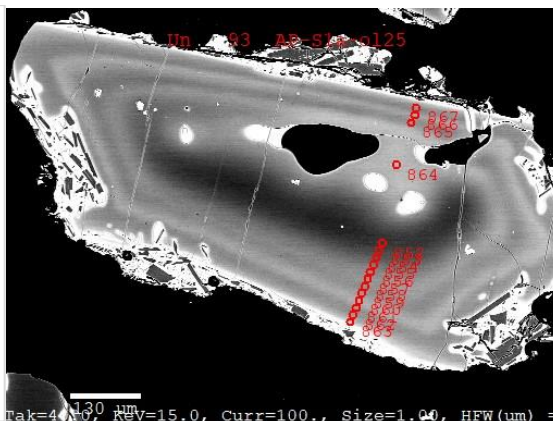
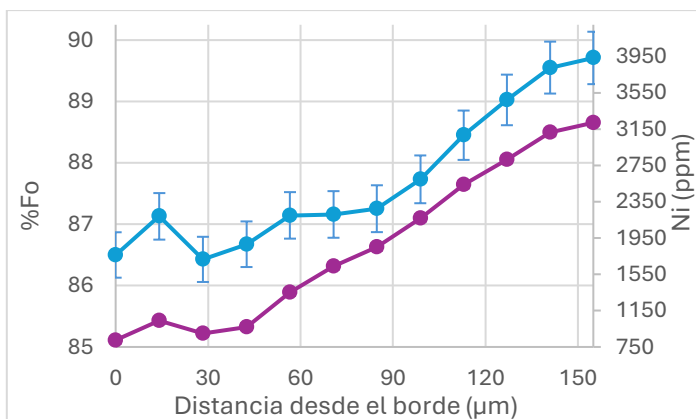
OLIVINO 23



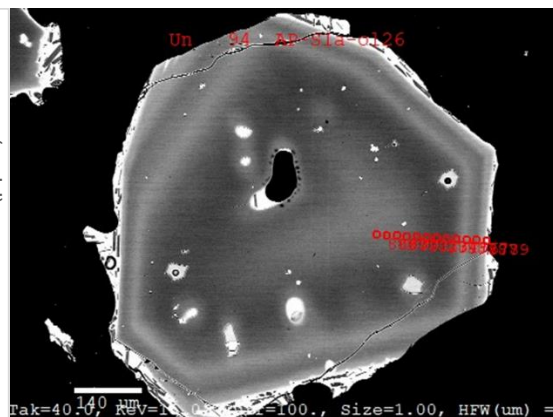
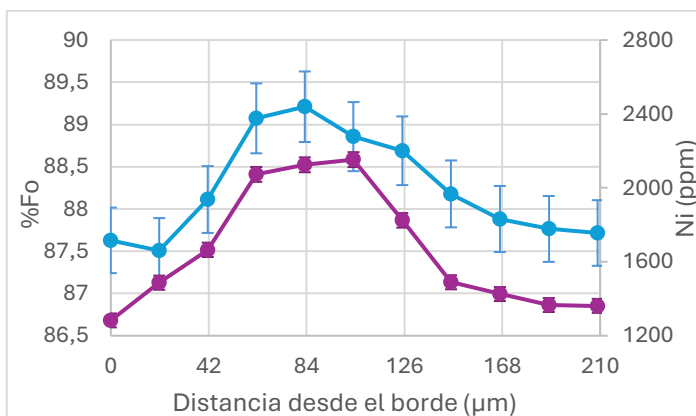
OLIVINO 24



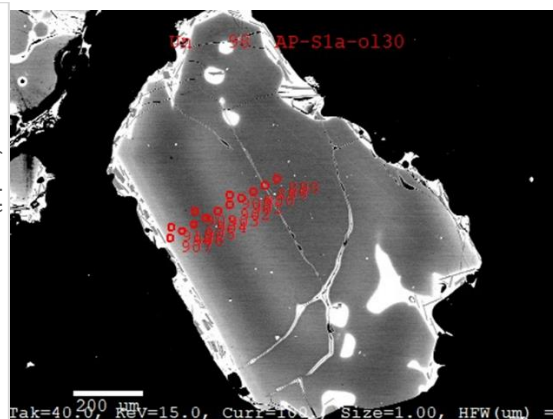
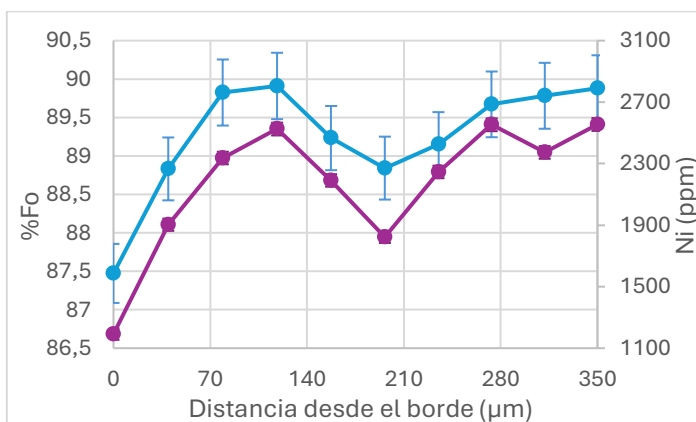
OLIVINO 25



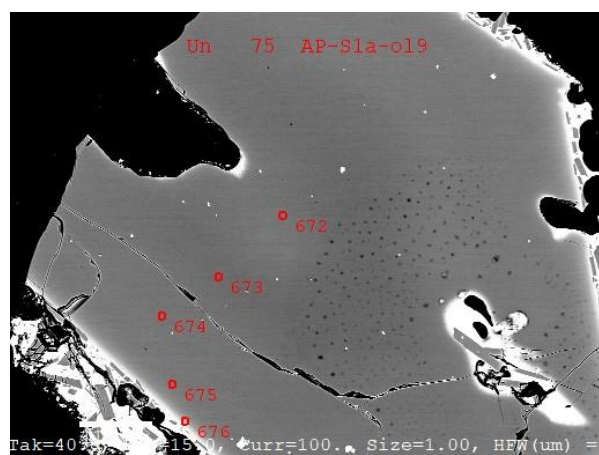
OLIVINO 26



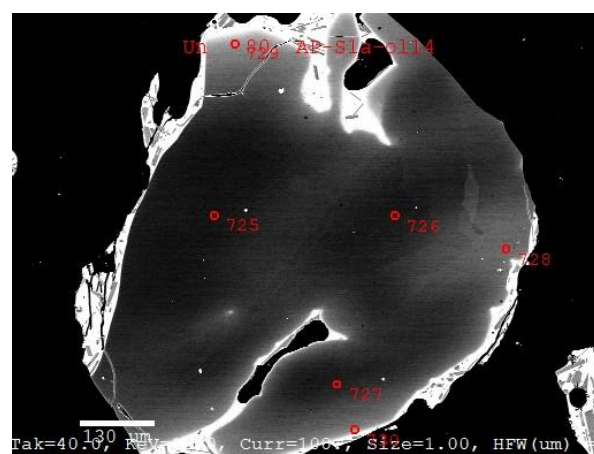
OLIVINO 30



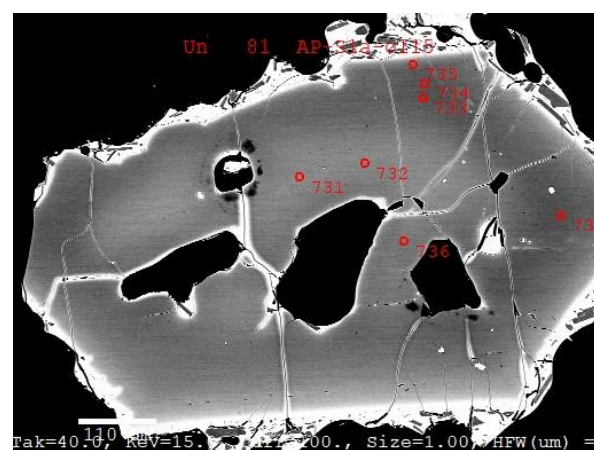
OLIVINO 9



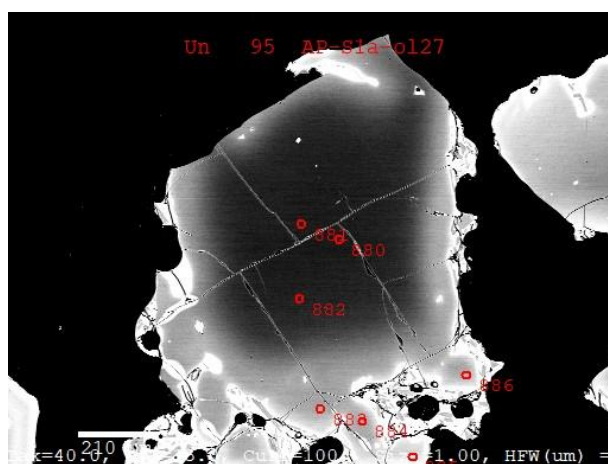
OLIVINO 14



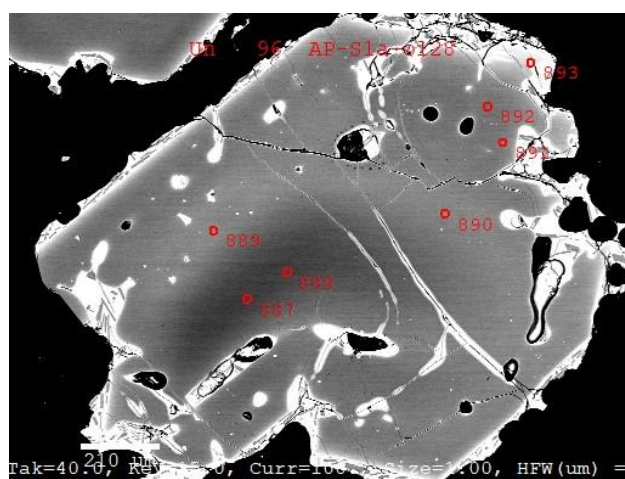
OLIVINO 15



OLIVINO 27



OLIVINO 28



OLIVINO 29

