



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



**PROSPECCIÓN DE OLIVINO Y CARACTERIZACIÓN  
DE LAS MORFOLOGÍAS CRISTALINAS E  
INCLUSIONES VÍTREAS EN LOS DEPÓSITOS DE  
TEFRA DEL VOLCÁN CERRO OVERO, REGIÓN DE  
ANTOFAGASTA, CHILE.**

**Memoria para optar al Título de Geóloga**

**Francisca Jesús Villalobos Silva**

**Profesor patrocinante:** Dra. Verónica Oliveros C.

**Profesional guía:** Dr. Pablo Salas R.

**Profesores Comisión:** Dr. Oscar Figueroa A.

Dr. Osvaldo González M.

**Concepción, 2024**

*“A mis padres, sin su apoyo nada de esto sería posible”*

# INDICE

<b>RESUMEN</b> .....	
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1 Planteamiento del problema</b> .....	1
<b>1.2. Objetivos</b> .....	2
1.2.1. Objetivo general.....	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
<b>1.3. Ubicación y accesos</b> .....	3
<b>1.4. Trabajos anteriores</b> .....	4
<b>1.5. Agradecimientos</b> .....	6
<b>2. MARCO GEOLÓGICO</b> .....	7
<b>2.1. Generalidades</b> .....	7
<b>2.2. Geomorfología</b> .....	9
2.2.1 Generalidades.....	9
2.2.2 Cordillera occidental.....	10
2.2.3 Cuencas endorreicas.....	11
2.2.3.1. Salar aguas calientes.....	11
2.2.3.2 Laguna Legía.....	11
<b>2.3. Geología local</b> .....	12
2.3.1. Basamento.....	12
2.3.1.1. Ignimbrita Cajón (Pc).....	12
2.3.1.2. Ignimbrita Tuyajto (Qt).....	13
2.3.2. Volcán Chiliques.....	13
2.3.3. Domo La Albóndiga.....	15
2.3.4. Cerro Overo.....	16
2.3.5. Depósitos no consolidados.....	18
2.3.5.1 Depósitos Aluviales.....	18
<b>2.4. Geología estructural</b> .....	21
<b>3. METODOLOGÍA</b> .....	23
<b>3.1. Etapa gabinete</b> .....	23
<b>3.2. Etapa de terreno</b> .....	23
<b>3.3. Etapa de gabinete II</b> .....	24
<b>4. RESULTADOS</b> .....	27
<b>4.1. Observaciones de terreno</b> .....	27
<b>4.2. Columna Estratigráfica</b> .....	29
<b>4.3. Petrografía en cortes transparentes de Cerro Overo y La Albóndiga</b> .....	33
<b>4.4. Petrografía de inclusiones</b> .....	35
<b>4.5. Morfologías bajo la lupa binocular</b> .....	36
<b>4.6. Inclusiones en fenocristales de olivino</b> .....	38

4.7. Geoquímica en roca total.....	39
4.8 Composiciones en Olivinos.....	43
<b>5. DISCUSIÓN.....</b>	<b>46</b>
5.1 Historia evolutiva del volcán Cerro Overo.....	46
5.2 Aspectos geoquímicos de los depósitos tempranos de tefra de Cerro Overo.....	49
5.3 Caracterización textural y geoquímica de fenocristales de olivino.....	53
5.3.1 Morfologías cristalinas.....	53
5.3.2 Química mineral en fenocristales de olivinos.....	55
5.3.3 Historia de crecimiento de los cristales de Cerro Overo.....	56
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>60</b>
<b>7. REFERENCIAS.....</b>	<b>61</b>
<b>8. ANEXOS.....</b>	<b>66</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1.1. Mapa ubicación y accesos.....	3
2.1. Mapa de la Zona Volcánica Central con diversos rasgos tectónicos y magmáticos y la ubicación del maar Cerro Overo.....	8
2.2. Perfil morfoestructural Región e Antofagasta.....	9
2.3. Mapa de las cuencas de la Región de Antofagasta.....	10
2.4. Fotografía domo La Albóndiga.....	15
2.5. Fotografía volcán Cerro Overo.....	17
2.6. Mapa geológicos alrededores de Cerro Overo.....	18
2.7. Mapa de lineamientos del volcán Cerro Overo.....	22
3.1. Maar Cerro Overo.....	23
3.2. Domo La Albóndiga.....	24
4.1. Fotografías afloramientos Cerro Overo. ....	27
4.2. Niveles de depósitos de tefra Cerro Overo.....	31
4.3. Columna Estratigráfica Cerro Overo.....	32
4.4. Microfotografías de fragmentos densos y escoriaceos de Cerro Overo y La Albóndiga.....	34
4.5. Microfotografía de inclusiones encristales de olivino.....	35
4.6. Texturas de olivinos a la lupa binocular.....	37
4.7. Inclusiones a la lupa binocular. ....	38
4.8. Diagramas composicionales (TAS y AFM) .....	39

4.9.	Diagramas de Harker.....	40
4.10.	Diagramas de Harker.....	41
4.11.	Diagrama Multielemental y Tierras raras.....	42
4.12.	Diagramas química mineral en olivinos. ....	43
4.13.	Diagramas zonación elemental en olivinos. ....	45
5.1.	Esquema de columna estratigráfica.....	48
5.2.	Diagramas de Harker.....	51
5.3.	Diagramas de Harker.....	52
5.4.	Texturas de olivinos a la lupa binocular.....	54
5.5.	Modelo esquemático de la zonación elemental de los cristales de Cerro Overo.....	56
5.6.	Mapas cualitativos de rayos X obtenidos vía EPMA.....	58

### INDICE DE TABLAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
4.1.	Abundancia de olivino en niveles de tefra.....	36
4.2.	Porcentaje de abundancia olivinos de acuerdo a sus texturas.....	37

## RESUMEN

Cerro Overo es un volcán monogenético tipo maar de edad Holocena ( $77 \pm 7,8$  ka; Van Alderwerelt et al., 2017) de composición andesítica-basáltica, ubicado a 18 km al SE del volcán Lascar en la Región de Antofagasta. Es considerado como uno de los volcanes menos evolucionados, junto con La Albóndiga dentro del arco de la región Altiplano-Puna (Van Alderwerelt et al., 2021).

El objetivo de este estudio es caracterizar los depósitos de tefra en los niveles más profundos de Cerro Overo, con el fin de describir las etapas más tempranas y la historia evolutiva del volcán. Se analizó la proporción de material juvenil/accidental en los depósitos de tefra y se llevó a cabo la prospección de olivinos. Estos fueron examinados bajo la lupa binocular, considerando patrones texturales y morfológicos de los cristales e inclusiones.

Además, se realizaron análisis de roca total de fragmentos de escoria mediante técnicas de Fluorescencia de rayos X y espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), junto con análisis mediante microsonda electrónica en cristales de olivino. Los perfiles elementales mediante microsonda electrónica revelan patrones de zonación normal con zonas empobrecidas en i.e. Ni y Fo, y núcleos de composición homogénea. Esto evidencia un crecimiento con patrones de zonación oscilatoria y crecimiento por adición de marcos cristalinos, similar a los modelos de crecimiento descritos en estudios anteriores (Salas et al., 2021; Welsch et al., 2013; Milman-Barris et al., 2008; Shea, et al., 2015).

En los depósitos de tefra de Cerro Overo se observaron variaciones en el aporte material accidental y juvenil, señalando cambios en el grado de explosividad y relación agua/magma para la erupción del volcán Cerro Overo. Esto sumado a una masiva ocurrencia de texturas esqueletales (> 39% en vol.) en desmedro de aquellas poliedrales y dendríticas, es indicativo de un enfriamiento rápido del magma hospedante; lo cual está asociado a un tránsito transcortical rápido, y una estadía breve de los cristales en el ambiente magmático de alta temperatura.

Estos hallazgos sugieren que los magmas que alimentaron Cerro Overo experimentaron un ascenso rápido hacia la corteza desde el manto, con un grado no despreciable de asimilación según análisis de roca total. Además, sufrieron variaciones en la relación entre agua y magma, lo que desencadenó cambios significativos en el nivel de explosividad del volcán.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Planteamiento del problema

El maar Cerro Overo (23,5°S), es un volcán monogenético situado a 18 km al SE del Volcán Lascar, dentro del Complejo Volcánico Altiplano-Puna, en la Región de Antofagasta. Ureta et al. (2021) y Van Alderwerelt et al. (2021), describen los productos eruptivos de Cerro Overo, los cuales se constituyen esencialmente por depósitos piroclásticos y un delgado manto de lavas andesítico-basáltica en el borde del cráter, cuya composición promedio es de 54,6% en SiO<sub>2</sub> (Van Alderwerelt et al., 2021).

El análisis petrográfico asociado a datos de química mineral revela la presencia de fenocristales de olivino con zonación normal inmersos en una masa fundamental vítrea con microlitos de plagioclasa y clinopiroxeno. Además, Van Alderwerelt et al. (2021) describe olivinos con texturas esqueletales en secciones delgadas de fragmentos lávicos y bombas, determinando que un 70% de los olivinos poseen formas tabulares (poliedrales), mientras que solo el 30% restante muestra texturas esqueletales. Morfologías dendríticas no han sido previamente reportadas para este volcán, sin embargo, son observadas y descritas en este estudio.

Es importante destacar que estas características texturales en fenocristales de olivino han sido también observadas en otros volcanes monogenéticos en ambiente de arco, como el Volcán Los Hornitos, en la Zona Volcánica Sur de Los Andes (Salas et al., 2021), el volcán Parícutín en México (Albert et al., 2020) y el Volcán La Poruña, en las cercanías del Volcán Ollagüe en la Zona Volcánica Central (Mattioli et al., 2006), donde fenocristales de olivinos preservan morfologías cristalinas dendríticas y esqueletales, las cuales reflejan altas tasas de crecimiento cristalino. Estas diferentes morfologías han sido atribuidas a un crecimiento inicial rápido del olivino, en forma dendrítica y esqueletal, las cuales evolucionan gradualmente a morfologías poliedrales, a medida que la velocidad de crecimiento disminuye y el cristal avanza en su madurez textural (Welsch, 2013; Salas et al., 2021; Albert et al., 2020).

A diferencia de lo observado en depósitos de tefra en Parícutín y Los Hornitos, donde los fenocristales de olivino presentan una zonación oscilatoria de Fo-Ni, los olivinos analizados en fragmentos lávicos y piroclásticos de Cerro Overo presentan una zonación normal en Fo-Ni (Van Alderwerelt et al., 2021), desconociéndose las características morfológicas originales y los

patrones composicionales y de zonación de los cristales de olivino sueltos que se encuentran en los depósitos de caída tempranos de Cerro Overo.

Para un evento volcánico explosivo, el estudio detallado de sus respectivos depósitos de caída permite acceder a las condiciones de explosividad y la naturaleza composicional a lo largo del evento eruptivo, pudiendo observar la historia evolutiva a partir de las sucesiones volcánicas. Por lo tanto, la problemática de la investigación se enfoca en la caracterización de los procesos eruptivos, en términos de: la naturaleza composicional de la columna eruptiva, que permita distinguir entre capas originadas por procesos freáticos de magmáticos; la morfología, textura y composición de los fenocristales de olivino en los depósitos de caída.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Describir la historia evolutiva temprana del volcán Cerro Overo, preservada en las zonas más profundas ( $> 1$  m) de los depósitos de caída ubicados en los flancos proximales del cráter.

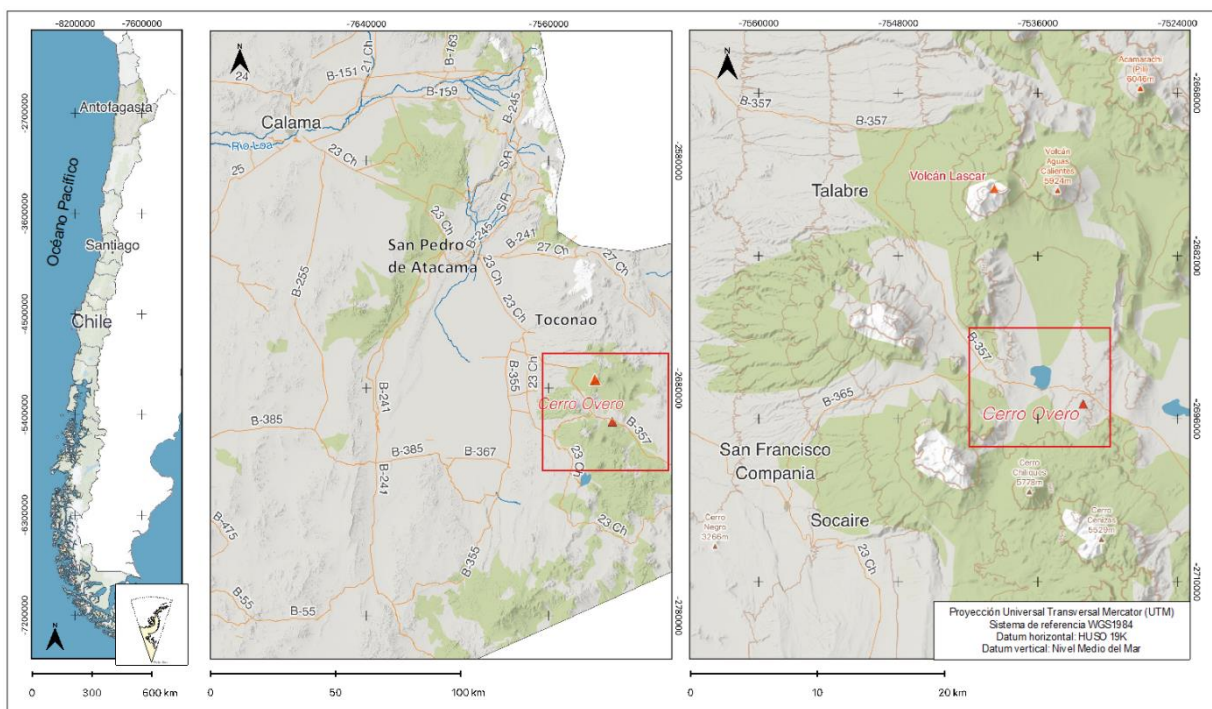
### **1.2.2 Objetivos específicos**

- a. Determinar las características composicionales y mineralógicas de los depósitos de caída tempranos asociados al evento eruptivo del maar Cerro Overo.
- b. Clasificar y caracterizar la morfología cristalina y textura de fenocristales de olivinos provenientes de las muestras de tefra.
- c. Clasificar y caracterizar las inclusiones fundidas y fluidas hospedadas en fenocristales de olivino.
- d. Establecer correlaciones entre las morfologías cristalinas de los olivinos y los patrones eruptivos del volcán Cerro Overo para inferir indicadores de velocidades de ascenso del magma y tiempos de residencia.



### 1.3 Ubicación y accesos

El área de estudio se restringe al volcán Cerro Overo ( $23^{\circ}31'S - 67^{\circ}39'W$ , 4,556 m s. n. m.) ubicado en la Zona de los Andes Centrales, en la Región de Antofagasta en el norte de Chile. Este se sitúa a 18 km al SE del volcán Lascar y a tan solo 3 Km al SE de la Laguna Lejía (Figura 1.1).



**Fig. 1.1:** Mapa de ubicación y acceso del área de estudio.

El acceso al volcán se realiza mediante vía terrestre, tomando la ruta 23 en dirección al sur desde la ciudad de San Pedro de Atacama pasando por Toconao, para luego tomar la ruta B-357 en dirección al este, ruta que pasa por la comunidad de Talabre la cual se encuentra a aproximadamente 30 kilómetros del Volcán Lascar. Continuando por el mismo camino en dirección sur-este, se llega a la laguna Lejía desde donde la ruta continua hasta llegar a los pies del flanco Norte del cráter Cerro Overo. Desde ahí es posible llegar al domo La Albóndiga, el cual se encuentra a 2,3 km desde el borde SW del cráter de Cerro Overo. El trayecto es de aproximadamente 103 km, el que es posible realizar mediante vehículo.

## 1.4 Trabajos anteriores

En el área de estudio se han realizado los siguientes trabajos:

- **Ramírez, C.F., Gardeweg, M., (1982)** Realizaron un levantamiento geológico a escala 1:250.000, correspondiente a la Hoja Toconao, Región de Antofagasta, Carta Geológica de Chile, N° 54. Efectuando una descripción general de los principales fotolineamientos y estructuras, como la Falla de Quebrada Nacimiento o Miscanti. Además, de determinar la secuencia temporal de los principales episodios volcánicos del arco moderno activo, estableciendo 4 etapas: Estratovolcanes I (Mioceno Superior), Estratovolcanes II (Plioceno), Estratovolcanes III (Plioceno-Pleistoceno) y Estratovolcanes IV (Pleistoceno-Holoceno).
- **Thorpe, R.S., Francis, P.W., O'Callaghan, L., (1984).** Compara petrológicamente andesitas y basaltos de zonas volcánicas activas, como Cerro Overo con el Cerro Galán ubicado al NW de Argentina, cerca de la latitud de la ciudad de Chañaral.
- **O'Callaghan, L.J., Francis, P.W., (1986).** Estudian la evolución volcánica y petrológica del volcán San Pedro, comparándolo geoquímicamente con el volcán Cerro Overo, utilizando el mismo análisis geoquímico de Thorpe, et al. (1984).
- **De Silva, S. L., y Francis, P.W., (1991).** Realizan una descripción de varios volcanes de los Andes Centrales, entre los cuales menciona a Cerro Overo, como un joven maar eruptado a lo largo de una falla regional a través de un basamento de ignimbritas. Además, lo relacionan como parte del evento más reciente del Volcán Chilikues.
- **González-Ferrán, O., (1995).** En su trabajo Volcanes de Chile asocian al volcán Cerro Overo al volcán Chilikues, como un cráter producto de una explosión freatomagmática monogenética lo cual habría dado origen a esta estructura tipo maar.
- **Risacher, F., Alonso, H., Salazar, C., (1999).** Efectuaron el estudio denominado "Geoquímica de Aguas en Cuencas Cerradas: I, II y III regiones de Chile", donde detallan antecedentes composicionales y calidad de los principales afluentes, balance hídrico, origen de sales disueltas y las vías evolutivas en relación con la geología de 53 cuencas. Entre las cuencas estudiadas se destaca el Salar de Aguas Calientes 2 y la Laguna Lejía.
- **Rosner, M., Erzinger, J., Franz, G., Trumbull, R., (2003).** Utiliza datos geoquímicos de rocas del arco volcánico de la Zona Volcánica Central de los Andes (ZVC) como el Cerro Overo en su estudio denominado Slab-derived boron isotope signatures in arc volcanic rocks

from the Central Andes and evidence for boron isotope fractionation during progressive slab dehydration, determinando un grado de contaminación cortical, descartando un origen de corteza-manto puro para estas lavas.

- **Cervetto, M., (2012).** Realiza una caracterización hidrogeológica e hidrogeoquímica de las cuencas: Salar de Aguas Calientes 2, Puntas Negras, Laguna Tuyajto, Pampa Colorada, Pampa Las Texas y Salar El Laco, estableciendo de forma general funcionamiento hidrogeológico actual de los sistemas altoandinos de la II Región de Chile.
- **Van Alderwerelt B., (2017).** Describe la diversidad de volcanismo monogenético controlado por fallas en los Andes centrales, entre ellos Cerro Overo. Caracterizando las composiciones de los magmas de estos volcanes y los procesos de los magmas derivados del manto y corteza inferior.
- **Van Alderwerelt, B., (2021).** Realiza un análisis de los isótopos de Sr y de la geoquímica del maar de Cerro en inclusiones fundidas contenidas en los cristales de olivino, con el fin de estudiar la fuente mantélica que da origen a las lavas de Cerro Overo.
- **Ureta, G., (2021).** Estudia la transición del estilo eruptivo explosivo-efusivo (Cerro Overo y La Albóndiga), determinando los factores gatillantes de dichas erupciones, además de establecer una relación entre ambos volcanes.

## 1.5 Agradecimientos

Este trabajo de memoria fue realizada y patrocinada por el 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 Instituto Milenio de Investigación en Riesgo Volcánico - Ckelar Volcanes: A la profesora Verónica Oliveros C. por brindarme este tema de memoria y guiarme en el proceso; A mi profesor guía Pablo Salas R. a quien agradezco enormemente por su ayuda, paciencia y disposición ante cualquier duda durante mi trabajo; A Alex Scheinost y Bruno por su ayuda con la realización de los análisis químicos necesarios para la realización de esta memoria.

Agradezco al Departamento de Ciencias de la Tierra (DCT) de la Universidad de Concepción por haberme entregado las herramientas necesarias para mi formación académica. A los funcionarios del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Concepción: Don Mauricio, Don Pedro, Sra. Carolina y Sra. Angelica por su gran cariño, disposición y ayuda durante estos años.

A modo personal quisiera agradecer a todos mis amigos que hicieron de estos años lo mejores. Kevin, Paz, Javier nuestro eterno grupo de universidad, gracias por cada risa y hacer cada uno de esos terrenos inolvidables. Cata, Dani, Michu, Adán, Félix, gracias por todo su cariño y apoyo, por todos esos momentos inolvidables juntos. A mi Gastón, quien me cambio la vida. Gracias por tu infinito amor, paciencia y por haber hecho cada uno de mis días mejores. Gracias por siempre estar ahí, en mis dudas o crisis existenciales, por entender lo inentendible y hacer lo imposible por mí.

Agradezco mi familia, a mi padres, hermanas, abuelos y tíos, por su apoyo constante y amor incondicional durante todos estos años. Por creer y confiar en mí, por siempre impulsarme y apoyarme en mis sueños, sin ellos no podría haber llegado tan lejos, ni sería la mujer que soy.

Y al más importante, agradezco a Dios por permitirme estudiar y terminar esta maravillosa carrera y por poner a gente tan maravillosa en mi camino, a el se lo debo todo.

## 2. MARCO GEOLÓGICO

### 2.1 Generalidades

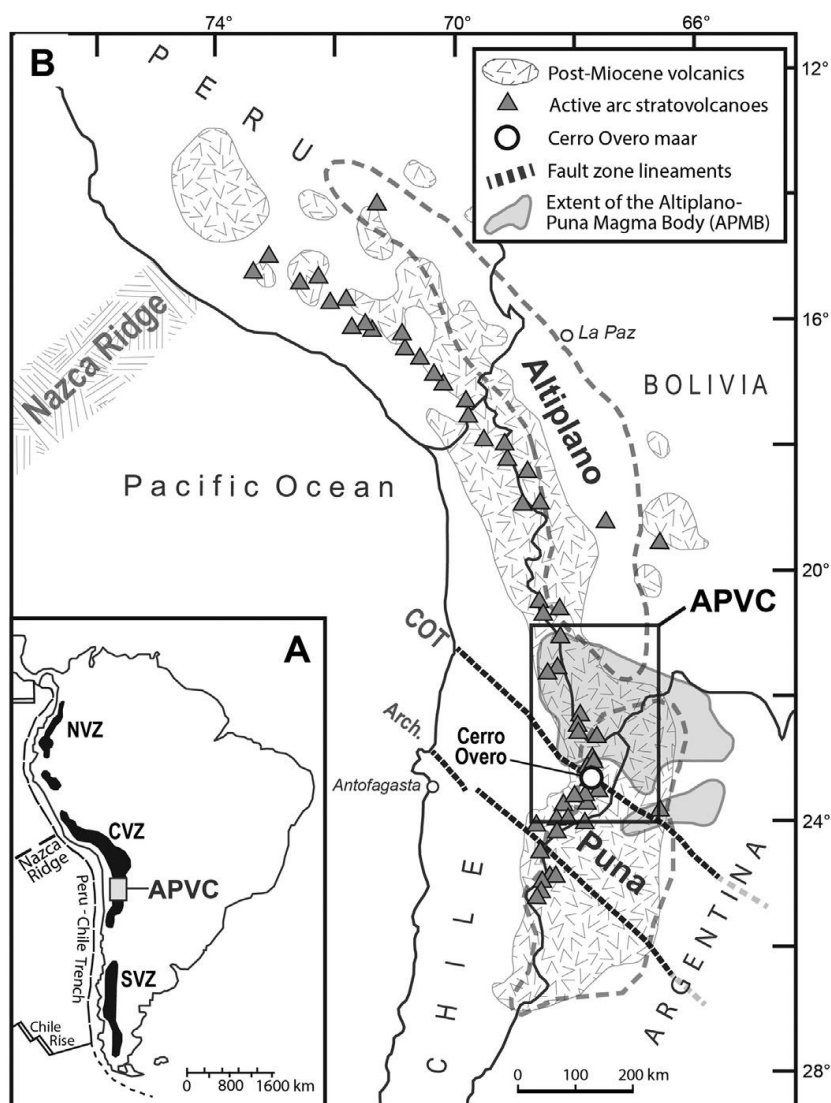
La Zona Volcánica Central (ZVC) de los Andes, se extiende desde los 14° hasta los 28° S, siendo una de las mayores provincias de volcanismo ignimbrítico del mundo de la última Era. En la porción de los 21°30'S a 23°30'S de la ZVC, en el norte de Chile, el volcanismo ignimbrítico se inició a principios del Mioceno Tardío, hace ~10,4 Ma, y continuó hasta el Reciente, dando paso al Complejo Volcánico Altiplano-Puna (APVC) (de Silva, 1989). Este se concentra a lo largo del límite occidental del plateau, sobre la Cordillera Occidental, dominado principalmente por estratovolcanes de composición intermedia e ignimbritas félsica (Blum-Oeste y Wörner, 2016; De Silva y Francis, 1991; Mamani et al., 2010).

La provincia tectono-magmática Altiplano-Puna surge a partir de erupciones episódicas cíclicas, de grandes volúmenes de ignimbritas ricas en sílice (> 65 % en peso de SiO<sub>2</sub>) (de Silva, 1989), las cuales se resumen en cuatro erupciones principales en torno a los 10, 8, 6 y 4 Ma, con una intensidad creciente seguida de una fuerte disminución después de los 4 Ma (Salisbury et al., 2011). Los pulsos principales de las erupciones ignimbríticas en el Complejo Volcánico Altiplano-Puna indican un alto flujo de magmas hacia la corteza (de Silva y Kay, 2018). Después y entre cada pulso de erupción, el Complejo Volcánico Altiplano-Puna sufrió una disminución de las erupciones ignimbríticas (Godoy et al., 2019). Estas corresponden a etapas de estado estacionario del magmatismo del arco, dando lugar a la formación de magmas principalmente andesíticos y al desarrollo de estratovolcanes (González-Maurel et al., 2019a).

Durante el último ciclo eruptivo (< 1 Ma) erupcionaron magmas máficos dentro del Complejo volcánico Altiplano-Puna, los cuales corresponden a pequeños lotes de magmas calcoalcalinos andesíticos-basálticos y andesíticos dispersos dentro de esta provincia volcánica. Las estructuras volcánicas más comunes relacionadas con este magmatismo máfico son los centros monogenéticos andesítico-basáltico. Consisten principalmente en: a) conos de fragmentos de escoria del tamaño de lapilli a bomba y b) estructuras tipo maar, como Cerro Overo (González-Maurel et al., 2019b).

El maar Cerro Overo es un volcán monogenético cuaternario ubicado en la región de Antofagasta, al SE del volcán Lascar. Asentado sobre diferentes capas ignimbríticas del

Complejo Volcánico Altiplano-Puna (Fig. 2.1) (Van Alderwerelt et al., 2017). La composición de sus lavas, son consideradas como las menos evolucionada observadas en el arco moderno de la región Altiplano-Puna ( $\text{SiO}_2 = 52,8\text{-}56,6\%$  en peso;  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 4,1\text{-}4,7\%$  en peso;  $\text{MgO} = 7,1\text{-}7,8\%$  en peso,  $0,7063\text{ }^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) (Van Alderwerelt et al., 2021).

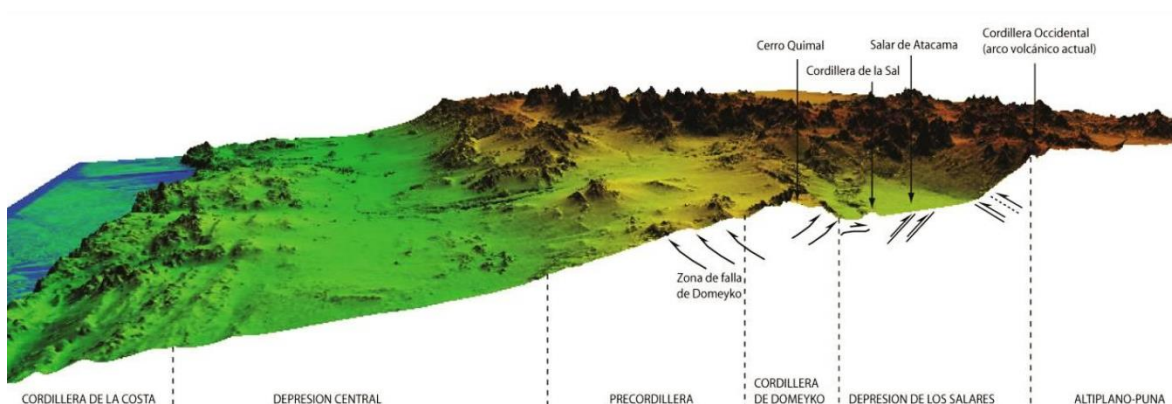


**Figura 2.1: Mapa de la Zona Volcánica Central con diversos rasgos tectónicos y magmáticos y la ubicación del maar Cerro Overo.** (a) Mapa de Sudamérica que muestra la extensión de la Zona Volcánica Central (ZVC) de los Andes y el Complejo Volcánico Altiplano-Puna (APVC). (b) El Altiplano y la Puna se muestran con su extensión aproximada marcada por líneas discontinuas. La extensión completa de las rocas volcánicas post-Mioceno se indica con líneas diagonales grises, y los volcanes activos del arco de subducción se marcan con triángulos gris oscuro. Extraído de Van Alderwerelt et al. (2021).

## 2.2 Geomorfología

### 2.2.1 Generalidades

En la Región de Antofagasta, se reconocen 6 unidades fisiográficas dispuestas N-S, distinguidas desde una sección entre los 20° - 28° por Moreno y Gibbons (2007), las cuales de oeste a este corresponden a: Cordillera de la Costa, Depresión central, Cordillera de Domeyko, Depresión Pre-Andina, y Altiplano-Puna con el cordón volcánico en su borde occidental o Cordillera Occidental (Fig. 2.2).

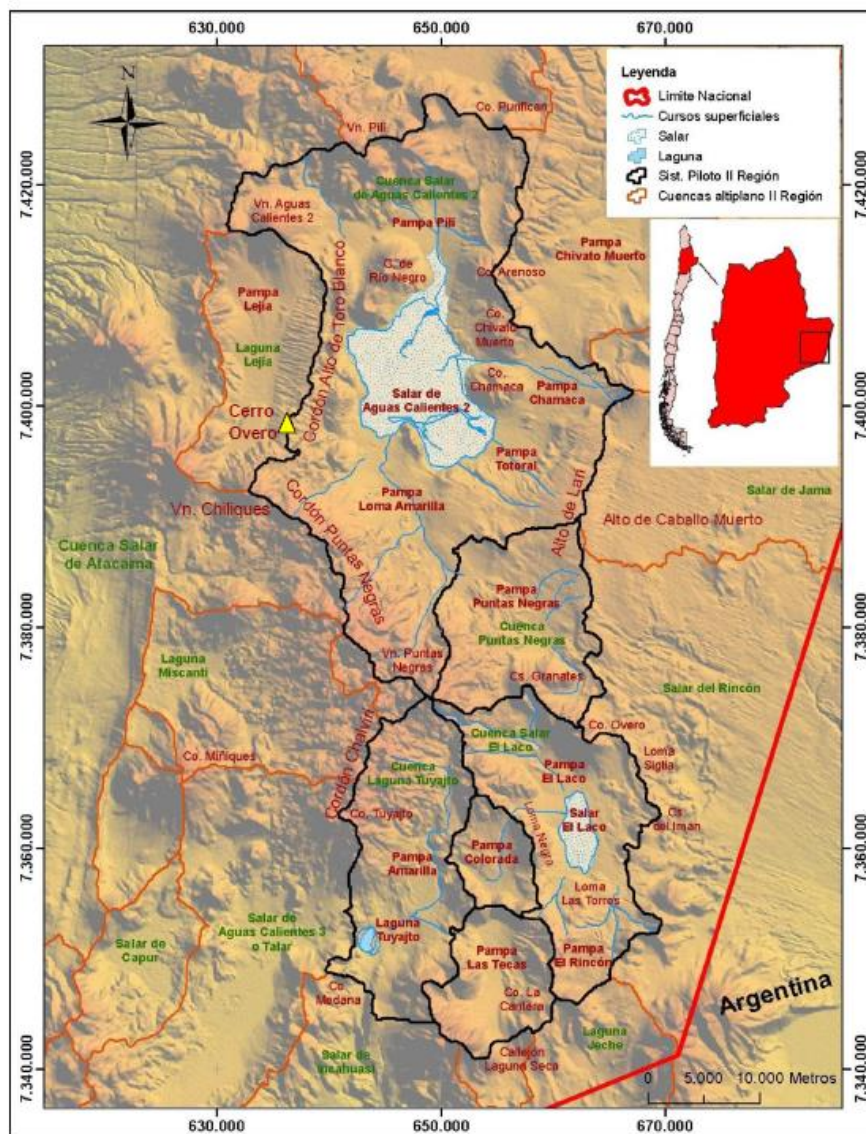


**Figura 2.2:** Perfil morfoestructural de la Región de Antofagasta, Chile. Extraído de Cervetto (2012).

En el marco geomorfológico antes mencionado, Cerro Overo se localiza en el borde occidental del arco moderno Mioceno-Holoceno o unidad altoandina, que a dicha latitud se denomina Puna de Atacama (Allmendinger et al., 1997). Específicamente en las cuencas intermontanas que se forman entre los altos topográficos de origen volcánico que componen la Cordillera Occidental.

Los relieves volcánicos y sus respectivos depósitos delimitan pequeñas cuencas endorreicas colindantes, algunas de las cuales presentan depósitos evaporíticos en sus áreas topográficamente más bajas (Cervetto, 2012), como es el caso de la Laguna Lejía y el Salar Aguas Calientes. Dos cuencas que se encuentran presentes en el área de estudio, situándose en el límite de ambas el Volcán Cerro Overo (Fig. 2.3).





**Figura 2.3: Mapas de cuencas de la Región de Antofagasta.** Volcán Cerro Overo (figura amarilla) en medio de la cuenca Laguna Lejía y la cuenca Salar de Aguas Calientes 2. Extraído de Cervetto, (2012).

A continuación, se describen algunas de las principales unidades fisiográficas que constituyen el área de estudio y que son relevante para dar un contexto geológico, además de describir las cuencas donde se encuentra contenido el mar Cerro Overo:

## 2.2.2 Cordillera occidental

La Cordillera Occidental incluye la actual cresta volcánica de los Andes, en donde se desarrolla el volcanismo de arco, y describe a la actividad volcánica desarrollada durante el Mioceno – Reciente (de Silva, 1989a) representada como una marcada línea de estratovolcanes que recubre



capas ignimbríticas más antiguas en el margen occidental de la región Altiplano-Puna (Allmendiger et al., 1997)

Este frente se extiende paralelo al margen oeste del continente sudamericano, a unos 200 – 250 km al este de la fosa Chile Perú (Isacks, 1988; Cahill y Isacks, 1992). Algunos miembros de este frente volcánico son Tata Sabaya y Parinacota (6.348 m), Tarapacá (5.850 m), Nevados de Payachata, San Pedro (6.145 m), Láscar (5.550 m), Socompa (6.051 m), Llullaillaco (6.739 m), Ollagüe (5.863 m), y el volcán más alto del mundo, Ojos del Salado (6.887 m).

### **2.2.3 Cuencas endorreicas**

#### **2.2.3.1 Salar de aguas calientes**

La cuenca hidrográfica homónima al salar presenta una forma ovalada con orientación N-S y una superficie de 975 km<sup>2</sup> y un perímetro de 234 km. El salar de aguas calientes presenta un área de 128 km<sup>2</sup>, el cual se encuentra centrado en la cuenca y se alimenta superficialmente a partir de tres vertientes puntuales que afloran en los extremos noroeste, norte y noreste del salar, y a partir de vertientes y afloramientos difusos en los extremos suroeste y sureste del salar (Risacher et al., 1999).

Las unidades de relieve volcánico que definen los límites de la cuenca son: el Cordón de Puntas Negras, que define el límite suroeste; los estratovolcanes volcán Aguas Calientes y volcán Pili hacia el noroeste; Cerro overo y el cordón Alto de Toro Blanco definen el límite occidental con la cuenca Laguna Lejía.

#### **2.2.3.2 Laguna Lejía**

Laguna Lejía se encuentra en una cuenca hidrográfica homónima de 193 km<sup>2</sup> en la que los cuerpos de agua cubren 1,9 km<sup>2</sup> (Grosjean, 1994; Risacher et al., 1998). El lago es poco profundo (1 m) y sus parámetros hidrológicos están controlados por manantiales subterráneos.

Es un gran lago de origen glaciario y se encuentra a 15 km al sur del volcán Láscar, formado por una depresión tectónica relacionada con la falla Miscanti-Callejón de Varel. Está rodeado por el volcán Láscar al noroeste, el volcán Aguas Calientes al norte, el volcán Chiliques al sur y las montañas Lena y Lejía al suroeste, que forman parte de la cordillera de las Puntas Negras

(Gardeweg et al., 1998). Al extremo norte de la laguna se encuentra la Cordillera de los Altos de Toro Blanco, que forma la divisoria de aguas entre las cuencas de Lejía y Salar de Aguas Calientes, entre las cuales se encuentra el volcán Cerro Overo (Grosjean, 1994; Risacher et al., 1998).

## **2.3 Geología local**

### **2.3.1 Basamento**

#### **2.3.1.1 Ignimbrita Cajón (Pc) (Pleistoceno)**

##### **Definición, distribución y relaciones estratigráficas**

Definida por Guest (1968) como una ignimbrita constituida por varias unidades de flujo y que además presenta típicamente pómez bandeadas en el flujo inferior. La ignimbrita Cajón aflora en el extremo norte de la precodillera y Cordillera de los Andes, entre las localidades de Chaxa y Toconao. La parte frontal del flujo coincide aproximadamente con el borde oriental del Salar de Atacama, extendiéndose hacia la ladera oriental de la cordillera de los Andes. Hacia el sur, aflora extensamente en el cordón Altos del Toro Blanco y las orillas occidental y sur del salar de Aguas Calientes.

Estratigráficamente la Ignimbrita Cajón se ubica sobre la Ignimbrita Atana y los estratosvolcanes asignados al Plioceno por Ramírez y Gardeweg (1982) y bajo la Ignimbrita Tuyajto y los estratosvolcanes asignados al Plioceno Superior-Pleistoceno por Ramírez y Gardeweg (1982).

##### **Litología y potencia**

Su potencia varía entre los 100 m al sur del volcán Licancabur hasta espesores de 1 m en Silapeti, al noreste de Toconao. Se compone por tobas débilmente soldadas de color pardo, con fenocristales de cuarzo, plagioclasa, biotita y pequeños cristales de anfíbol y/o piroxenos; las cuales tienen composiciones dacíticas o andesítica calcoalcalina. Guest (1968) divide la Ignimbrita Cajón en dos unidades; la unidad inferior como una dacita de horblenda y la unidad superior correspondiente a una dacita de piroxeno. Ambas unidades presentan fragmentos de pómez, cuya abundancia es variable, aumentando hacia el frente de flujo (Ramírez y Gardeweg, 1982).

### **Edad y ambiente de depositación.**

Le asignan una mínima pleistocena  $1,3 \pm 0,3$  y  $1,7 \pm 0,3$  Ma. (K-Ar) a partir de mediciones radiométricas en biotita, provenientes de muestras de flujo, en la localidad de Zápar (Ramírez y Gardeweg, 1982).

### **2.3.2.2 Ignimbrita Tuyajto (Qt) (Pleistoceno-Holoceno)**

#### **Definición, distribución y relaciones estratigráficas**

Definida por Ramírez y Gardeweg (1982) como un flujo reducido de ignimbritas pardo-rojizas que afloran típicamente en los alrededores de la laguna Tuyajto y se extiende al norte del cordón Puntas Negras. Estratigráficamente se localiza sobre la Ignimbrita Cajón de edad pleistocena y bajo las unidades Depósito de Avalancha de detritos Chiliques (Pach), La albondiga (D), Cerro Overo (Qco) y Depósitos Aluviales (Qal) del Pli-Pleistoceno-Holoceno (Ramírez y Gardeweg, 1982).

#### **Litología y potencia**

Corresponde a un flujo poco potente, con espesores que varían desde algunos decímetros hasta 3 m. La ignimbrita Tuyajto es una toba moderadamente a fuertemente soldada, de color pardo-rojizo, con abundantes fenocristales de plagioclasa y piroxeno, contiene además fragmentos de pómez soldada, estructuras tipo "fiamme" y fragmentos líticos andesíticos (Ramírez y Gardeweg, 1982).

#### **Edad y ambiente de sedimentación.**

Ramírez y Gardeweg (1982) le asignan una edad Pleistoceno-Holoceno, de acuerdo con sus relaciones de contacto. Debido a su reducida extensión y potencia, y por su proximidad geográfica, la Ignimbrita Tuyajto podría corresponder a un evento inicial de los eventos volcánicos del Cordón Puntas Negras (Ramírez y Gardeweg, 1982).

### **2.3.2 Volcán Chiliques (Qv) (Plioceno – Holoceno)**

Estratovolcán cónico de edad pleistocena-holocena, constituido por potentes lavas-domo dacíticas y flujos de lava andesíticas de piroxeno, de las cuales la más extensa alcanza 8 km hacia el norte y la más reciente se extiende 3,5 km hacia el noroeste (Ramírez y Gardeweg, 1982). El volcán Chiliques se sitúa directamente al sur de la Laguna Lejía y a 8,6 km al

suroeste del volcán Cerro Overo, sobre la ignimbrita Cajón, el cual en su cumbre de unos 500 m de diámetro presenta una pequeña laguna en su interior.

González-Ferran (1982) reconocen al menos tres ciclos eruptivos, el primero, generador de potentes lavas domos dacíticas y flujos andesíticos como es el extenso campo de lavas de bloques que escurrió hacia el norte del centro de emisión; un segundo ciclo habría estructurado un estratocono clásico simple, conformado por numerosos flujos andesíticos de piroxenos que han escurrido radialmente, siendo el más reciente el que escurrió por el flanco noroeste y que alcanza unos 5 kilómetros desde el cráter central. El tercer ciclo estaría relacionado con una actividad eruptiva parásita monogenética ocurrida a unos 8 kilómetros al norte del cráter central y que corresponde al cráter de explosión tipo maar acompañado de una pequeña eyección de material andesítico-basáltico, el cual es el Cerro Overo. No obstante, se ha propuesto que el cráter Overo no tendría relación con el sistema volcánico Chiliques (Amigo et al., 2012). Ureta (2015) describe tres unidades para los flujos lávicos, a partir de sus características, entre las que destacan su rugosidad y morfología; además le asocia al Volcán un depósito de avalancha de detritos, los cuales se describen a continuación:

- i. (Pch- I) (**Plioceno – Pleistoceno**): Lavas de composición andesítica de textura porfídica, con fenocristales de piroxeno y una masa fundamental compuesta por vidrio, plagioclasa, clinopiroxeno y hematita. Estas se distribuyen al noreste y suroeste del Volcán, con una potencia de hasta 150 m y una extensión de 6,5 km.
- ii. (Pch-II) (**Plioceno – Pleistoceno**): Lavas lobuladas andesíticas de piroxeno con estructuras tipo ojivas y levées. Presentan textura porfídica, con fenocristales pequeños de plagioclasa, piroxeno, en forma subordinada oxihornblenda, biotita y olivino, en una masa fundamental de textura hialopilitica e intersertal sobre la textura pilotaxítica. Presenta una potencia de hasta 60 m y se distribuye hacia el flanco suroeste y noreste del volcán, con una extensión de hasta 10 km desde la cumbre.
- iii. (Pach) (**Plioceno – Pleistoceno**): Definida como depósitos de avalancha de detritos por el colapso de un sector de un edificio volcánico bajo condiciones de sub-saturación de agua. El depósito resultante corresponde a una avalancha de detritos, caracterizada por grandes bloques fracturados y deformados, los cuales se

distribuyen al norte del Volcán Chilikues, Esta unidad tiene una extensión de 4,5 km con una potencia de 50 m.

- iv. (Pch-III) (**Pleistoceno – Holoceno**): Lava de composición andesítica con textura porfídica, con fenocritales de plagioclasa, clinopiroxeno (textura ofítica), hornblenda y oxihornblenda (textura esquelética). La masa fundamental tiene plagioclasa, clinopiroxeno, hornblenda, biotita, hematita y vidrio. Se registra una potencia de hasta 20 m, con una extensión de hasta 4 km alrededor del cráter.

### 2.3.3 Domo La Albóndiga (Pleistoceno)

Descrito por Ureta et al. (2021) como una elevación circular o masa bulbosa de lava de aproximadamente 30 m de altura, con un diámetro de 260 m (Fig. 2.4). Por lo que corresponde a un domo de lava, el cual aflora a 2,6 km hacia el suroeste del volcán Cerro Overo y a 7 km al noreste del cráter del Volcán Chilikues. Este pequeño edificio volcánico se dispone sobre la Ignimbrita Cajón (Pc) y bajo la Unidad Cerro Overo (Qco).



**Figura 2.4: Fotografía domo La Albóndiga.** Extraída de Van Alderwerelt et al. (2017).

Se caracteriza por presentar lavas de composición andesítico-basáltica ( $\text{SiO}_2$ : 54,6 wt. % Ureta et al., 2021) de textura porfídica en una masa fundamental de grano fino. Mineralógicamente se compone de fenocristales de olivinos, plagioclasa y piroxenos en una

masa fundamental vítrea, con abundantes microlitos y microfenocristales (en orden decreciente) de olivino, plagioclasa y piroxeno. Van Alderwerelt et al. (2017), indica que los productos eruptivos de La Albóndiga y Cerro Overo comparten una fuente y una historia petrogenética común.

Sus depósitos se distribuyen principalmente hacia el suroeste y sureste del centro de emisión y fueron divididos por Ureta et al. (2021) en 3 unidades, los cuales se describen a continuación:

- Unidad LA-P: Corresponden a depósitos de caída piroclástica, distribuidos principalmente hacia el sureste del domo y sobreyaciendo a la Ignimbrita Cajón. Forman capas con espesores de hasta 4 cm, clastosoportadas y de tamaño lapilli, dominadas por fragmentos de material juvenil y en menor medida fragmentos líticos accidentales (2% vol.), procedentes de una actividad magmática explosiva.
- Unidad LA-C: Colada de lava de forma lobulada, caracterizada por pequeños bloques de lava porfídica con tamaños que varían de centímetros a metros. Esta unidad se dispone sobre la unidad LA-P y la ignimbrita Cajón.
- Unidad LA-D: Pequeña unidad que consiste en un bloque de lava sólida extruida y emplazada sobre la unidad LA-L. Se caracteriza por presentar fragmentos angulosos de textura porfídica y una matriz de grano fino.

Las unidades LA-L y LA-D se interpretan como un domo generado por dos actividades efusivas diferenciadas por la viscosidad de sus flujos.

La Albóndiga es producto de actividad explosiva a magmática efusiva, dominada por una actividad estromboliana, cuya edad relativa se encuentra basada en relaciones estratigráficas entre sus depósitos y la Ignimbrita de Tuyajto ( $0,53 \pm 0,17$  Ma,  $40\text{Ar}/39\text{Ar}$  en biotita; Barquero-Molina, 2003), las cuales permiten restringir su edad al Pleistoceno (Ureta et. al, 2021).

### 2.3.4 Cerro Overo (Qv) (Holoceno)

Clasificado por Ramírez y Gardeweg (1982), González-Ferrán (1995), y Van Alderwerelt (2017) como un cráter de explosión freatomagmática monogenética, generadora de una estructura tipo maar (Fig. 2.5), de 550 m de diámetro, abierto a través de ignimbritas.



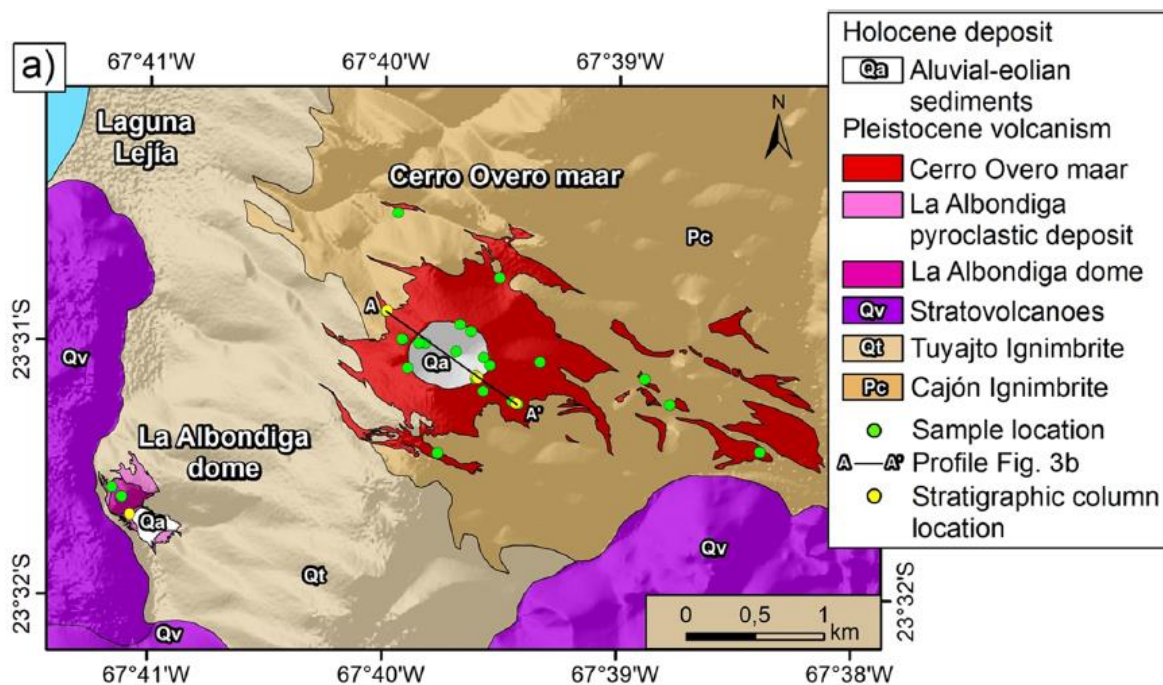
**Figura 2.5: Fotografía volcán Cerro Overo**

Este se encuentra ubicado a 3 km al sureste de la Laguna Lejía y a 8,6 km al noreste del volcán Chiliques, con una potencia de 186 m (Ureta et al., 2021). Sus productos eruptivos se distribuyen hacia el oeste del flanco del cráter (Fig. 2.6) sobreyaciendo a la Ignimbrita Tuyajto (Qt), mientras que el resto del cráter sobreyace a la Ignimbrita Cajón (Pc) (Ramírez y Gardeweg (1982). También se encuentran como regolito alrededor del domo La Albóndiga, por lo que se infiere que sobreyacen a esta unidad (Ureta, 2015).

Las lavas de Cerro Overo presentan una composición andesítica-basáltica ( $\text{SiO}_2$ : 54,6 % en peso;  $\text{MgO}$ : 7,35 % en peso; Ureta et al., 2021). Estas se disponen como una delgada capa sobre el cráter de Cerro Overo y contienen abundantes fenocristales de olivinos (Fo% núcleos: 86 y Fo% bordes: 79) en una masa fundamental vítrea con abundantes microlitos y microfenocristales de olivinos, plagioclasa y clinopiroxenos. También se describe material



xenolítico incluido en las lavas de Cerro Overo, cuya química coincide con la Ignimbrita Atana (Van Alderwerelt et al., 2021).



**Fig. 2.6: Mapa geológico alrededores de Cerro Overo.** Extraído de Ureta et al. (2021).

Sus depósitos volcánicos fueron divididos en 5 unidades por Ureta (2021), los cuales se presentan a continuación:

- Unidad CO-P: Depósitos de caída piroclástica distribuido principalmente hacia el este del volcán, cubriendo la superficie pre-eruptiva en capas de 1 a 5 cm de espesor. Presentan estratificación paralela sin cambios de granulometría y espesor. Esta unidad se compone casi en su totalidad por material juvenil andesítico-basáltico de tamaño lapilli, angular a subangular y vesicular, además de fragmentos accidentales de ignimbrita.
- Unidad CO-L: Unidad con espesor máximo de 2 m, dispuesto como una capa delgada en el borde del cráter, la cual aparece principalmente al oeste. Corresponde a un depósito masivo de lavas, con fragmentos que varían del centímetro a metro, vesiculares y no vesiculares, con texturas fluidales y de corteza de pan. En estos depósitos se han identificado al menos 5 tipos de xenolitos dentro de los bloques de lava, correspondiente a fragmentos graníticos, fragmentos vesiculares grises de



ignimbrita, fragmentos de diorita gris, fragmentos de lava negra y fragmentos ignimbriticos.

- Unidad CO-A: Esta unidad muestra un espesor mínimo de 34 cm, no observada en la base. Depositada principalmente hacia el este sobre la unidad CO-L y la ignimbrita Cajón. Se trata de una capa rica en cenizas, finamente laminada, matriz soportada, con un bajo porcentaje en volumen de lapilli marrón-gris (5 vol.%).
- Unidad CO-FL: Unidad interdigitada con la unidad CO-CL, la cual muestra una estratificación ondulada con un espesor variable de 12 a 17 cm. Se trata de un depósito de lapilli fina de color gris, clasto soportado y pobremente seleccionado. Se estima un 15% de ceniza, un 50% de lapilli, un 35% de bloques y bombas, con inclusiones líticas accidentales que varían del 10 al 30%, y un 70-90% de clastos juveniles.
- Unidad CO-CL: Unidad interdigitada con la unidad CO-FL, la cual exhibe una estratificación ondulada con un rango de espesor de 12 a 36 cm. Este corresponde a un depósito de lapilli gruesa de color negro, no consolidada y clastosoportada, dominada por fragmentos de material juvenil.

A partir de dataciones de U-Th/He en circón de xenolitos félsicos arrastrados se determina una edad máxima de  $77 \pm 7,8$  Ka (Van Alderwerelt et al., 2017) para la formación del maar Cerro Overo producto de erupciones explosivas-efusivas con una componente freatomagmática y dominada por una actividad estromboliana (Ureta et al., 2021).

### **2.3.5 Depósitos no consolidados**

#### **2.3.5.1 Depósitos Aluviales (Holoceno)**

##### **Definición, distribución y relaciones estratigráficas**

Definida por Ramírez y Gardeweg (1982) como depósitos no consolidados constituidos por una mezcla heterogénea de gravas, arenas y limos. Distribuidos ampliamente en el área de estudio (Hoja Toconao, Ramírez y Gardeweg, 1982), los cuales constituyen extensas bajadas y abanicos aluviales en la Cordillera de Domeyko y en el Salar de Atacama, por lo que se infiere que sobreyacen a todas las unidades del área.

##### **Litología, potencia, edad y ambiente de sedimentación**

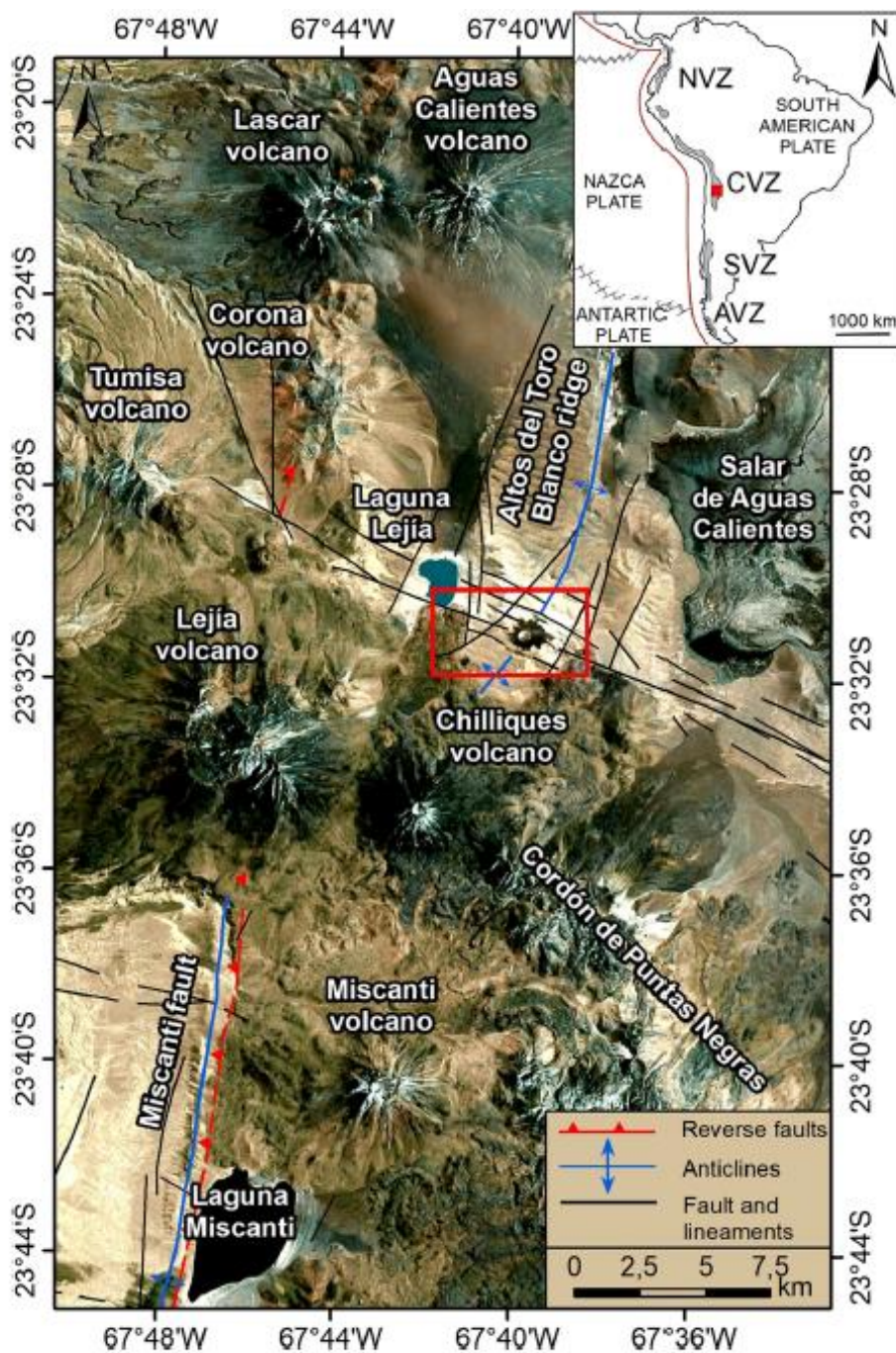
Estos depósitos presentan espesores que varían de cm a 0,5-1 m, formados por una mezcla heterogénea de gravas, arenas y limos de composición polimíctica, originados en corrientes de barro o por un proceso compuesto de transporte, a partir de la acción eólica y de la nieve en la Cordillera de los Andes. Dado a la actividad de los procesos que originan estos depósitos, estos se les asigna una edad Holocena (Ramírez y Gardeweg, 1982).

## 2.4 Geología estructural

La evolución miocena-cuaternaria de la actividad magmática de los Andes Centrales se asocia a dos tipos de estructuras principales, de orientación N-S y NW-SE. Por una parte, el volcanismo de arco describe la actividad volcánica que se desarrolla durante el Mioceno-Holoceno en la Cordillera Occidental, donde la zona de arco actual se delimita por un acentuado frente de estrato-volcanes que se extienden paralelos al margen occidental sudamericano, entre los 14° y 27°S, de orientación N-S. Por otra parte, y hacia al este, se centra a lo largo de estructuras de carácter regional y de orientación NW-SE, y que muestran una componente sinistral (Matteini et al., 2002a)

La zona de Cerro Overo se caracteriza estructuralmente por la intersección de varios lineamientos volcano-tectónicos como el lineamiento Calama – Olacapato - El Toro. Una estructura transcurrente (NW-SE), de una extensión aproximada de 300 km al este del arco, que se extiende hasta el límite con la zona sub-andina, en la cordillera Oriental (Fig. 2.7). Esta estructura se inicia en el sector de la Puna de Atacama, en el cordón volcánico de Puntas Negras, y su prolongación se reconoce por la presencia de centros magmáticos del Mioceno, que se alinean sobre la traza de la falla (Matteini et al., 2002a; Matteini et al., 2002b).

Otros lineamientos paralelos asociados son el Cordón de Puntas Negras (NW-SE) (de Silva y Francis, 1991), el Cordón Altos de Toro Blanco (NNE-SSW) (Ramírez y Gardeweg, 1982), y los lineamientos paralelos a la Falla de Miscanti (NNE-SSW) (González et al., 2009). De este modo el maar Cerro Overo se sitúa en la parte superior de la zona de bisagra y en el limbo de base frontal de la dorsal del Cordón Altos de Toro Blanco, respectivamente (Ureta et al., 2021).



**Figura. 2.7:** Mapa de lineamientos del volcán Cerro Overo. Principales lineamientos sobre los que se encuentra el volcán Cerro Overo. Extraído de Ureta et al. (2021).

### 3. METODOLOGÍA

El estudio se llevó a cabo en tres etapas: gabinete I, terreno y gabinete II.

#### 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, en la cual se confecciono un mapa de distribución de concentraciones de elementos y muestras, datos compilados a partir de Ureta et al. (2021). Además, se obtuvo una imagen satelital del área de estudio para el uso en terreno.

#### 3.2 Etapa de terreno

Se efectuó una campaña de terreno con una duración de 4 días durante el mes de octubre del 2022, entre los días 11 y 14, en volcán Cerro Overo y La Albóndiga, donde se identificaron y caracterizaron los depósitos eruptivos del volcán a partir de la observación macroscópica en terreno. En el caso de Cerro Overo se profundizó la columna estratigráfica GU-CO-45 (C4, Fig. 3.1) realizada por Ureta et al. (2021) llegando a una profundidad de 2,68 m, la cual se encontraba en flanco SE del cráter (1,74 m). Se obtuvieron muestras selectivas y no selectivas de los distintos depósitos de interés, principalmente de tefra para su posterior análisis microscópico, macroscópico y químico. En el caso de La Albóndiga se obtuvieron muestras flotantes de sus depósitos.



**Figura. 3.1: Maar Cerro Overo.** C4, indica la dirección de la ubicación de la columna.





**Figura 3.2: Domo La Albóndiga.**

### 3.3 Etapa gabinete II

#### Análisis químico

Se llevó a cabo un muestreo selectivo de fragmentos de escoria extraídos de diferentes estratos de la columna estratigráfica de Cerro Overo. Estos fragmentos fueron sometidos al proceso de molienda utilizando un molino planetario Fritsch modelo Pulverisette 6 en las instalaciones del Instituto de Geología Económica Aplicada (GEA), para posteriormente ser sometidos a análisis químico de elementos mayores y traza.

El contenido de elementos mayores y traza se determinó en la Universidad Estatal de Missouri, en 6 muestras de material escoriáceo. Los elementos mayores se analizaron utilizando un espectrómetro de fluorescencia de rayos X dispersiva de longitud de onda secuencial Rigaku Primus IV. La precisión de los análisis de elementos principales fue superior al 1%. Los elementos analizados fueron  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$  y  $\text{MnO}$ . Para la calibración se analizó el material de referencia AGV-1 del USGS y el material de referencia JA-1 del Servicio Geológico de Japón (Jochum et al., 2016).

Para los contenidos de elementos traza, incluidos los elementos de tierras raras (REE), fueron analizados mediante un espectrómetro de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) cuadrupolar Agilent 7900. Los detalles de la digestión y los procedimientos analíticos son similares a los descritos en Liu et al. (2008).

También se realizaron análisis de química mineral en cristales de olivino mediante microsonda electrónica. Se priorizó la selección de olivinos que presentaran una cara cristalina identificable, con el fin de realizar análisis puntuales y perfiles minerales.

Estos análisis se llevaron a cabo mediante la microsonda modelo JEOL JXA-IHP200F de la France Université D'Orleans. Las condiciones analíticas de la microsonda electrónica fueron una tensión de aceleración de 15 kV, una corriente de muestreo de 12 nA y un diámetro de haz de 54 mm para los minerales. Se emplearon tiempos de recuento de 20 s en pico, junto con una corrección ZAF.

Para el análisis de los datos, se seleccionaron aquellos con un total analítico superior al 98% y menor al 102%. A partir de estos, se calcularon concentraciones de Ni, Fe, Ca y Mn.

### **Análisis petrográfico**

Se realizó la selección de material escoriáceo y de fragmentos densos de Cerro Overo y La Albóndiga para la elaboración de 9 secciones delgadas en las instalaciones del Instituto de Geología Económica Aplicada (GEA). Estas secciones fueron posteriormente sometidas a un análisis microscópico (microscopio Olympus BX40) con el objetivo de realizar una detallada descripción petrográfica de las rocas, incluyendo la determinación de características texturales, composicionales, tamaño de los cristales y la presencia de inclusiones.

### **Análisis macroscópico**

Se realizó el tamizado de las muestras de tefra recolectadas de los distintos niveles de la columna (9 muestras), utilizando un rango de tamaño de partícula entre 0.18 mm y 1 mm. Consecutivamente se efectuó la separación de la fracción magnética mediante un imán con el fin de reducir el volumen de la muestra.

Para la observación de las muestras bajo la lupa binocular (Stemi 2000-c, Zeiss) se utilizaron las fracciones de tamaño dentro del rango de 0,5 - 0,18 mm y 1 - 0,5 mm. Tras la adecuada preparación, se dispuso una pequeña fracción de la muestra en una placa Petri, sobre la cual se

aplicó aceite de inmersión para minerales y así facilitar la prospección de olivinos. Desde la observación se identificaron y caracterizaron los patrones texturales y morfológicos de los cristales de olivino, realizando un registro escrito y fotográfico de los cristales observados, los cuales tras su análisis fueron almacenados en tubos eppendorf.

Además, se prospectaron inclusiones vítreas, las cuales serán sometidas a análisis mediante técnicas microanalíticas avanzadas (EPMA, RAMAN, SIMS) en etapas subsiguientes, con el objetivo de obtener una comprensión más profunda de su composición y origen.



## 4. RESULTADOS

### 4.1 Observaciones de terreno

Se observa un cráter de forma ovalada de 460 x 580 m, con dirección de elongación WE, el cual se encuentra sobre un basamento de ignimbritas. Estas afloran en la parte interna del cráter y se encuentran sobreyacidas por una delgada capa de material piroclástico (Fig. 4.1a) de tamaño bomba a lapilli, de color negro, parcialmente a fuertemente soldados, con texturas de corteza de pan y fluidales (Fig. 4.1b y c) los cuales afloran hacia la parte más periférica del cráter.

Alrededor del cráter se observan una capa de caída piroclástica (fragmentos densos y vesiculares), el cual se extiende hasta 850 m desde el borde del cráter, en dirección E (visto desde Google earth).



**Figura 4.1: Fotografías afloramientos Cerro Overo. (a)** nivel ignimbrita suprayacidas por nivel de bombas y lapilli, delimitado en amarillo **(b)** y **(c)** bombas con texturas de corteza de pan y texturas fluidales en la superficie del depósito piroclástico de Cerro Overo.

Dentro de los depósitos de Cerro Overo se encontraron fragmentos densos y de escoria de composición andesita-basáltica. Los fragmentos densos presentan texturas porfídicas, mostrando fenocristales euhedrales de olivino con tamaños de 1 a 1.5 mm, en una masa fundamental fina de tonalidad negro-grisácea. Destacando por sus formas angulosas, color oscuro y aspecto denso. Por otro lado, los fragmentos vesiculares, también de tonalidad negro-grisácea, muestran una textura altamente vesicular, con presencia de fenocristales de olivino < 1 mm y una masa fundamental de grano fino.

Como roca caja se encuentra la ignimbrita Tuyajto al oeste y al este la ignimbrita Cajón, por lo que abundan fragmentos de estas rocas. La ignimbrita Cajón aflora al interior del cráter, correspondiente a una toba de cenizas vítreas de composición dacítica de color pardo-rosáceo claro. Presenta fenocristales de cuarzo, plagioclasa, biotita, hornblenda y hematita, además de estructuras de desvitrificación y fiames. En el caso de la ignimbrita Tuyajto corresponde a una toba soldada de color pardo rojizo con texturas de flujo, compuesta de fenocristales de plagioclasa y clinopiroxeno. La matriz contiene fragmentos de escoria y estructuras tipo fiames.

El volcán La albóndiga corresponde a un domo de lavas de composición andesítica-basáltica, con una altura aproximada de 30m y un diámetro de 260 m. Los fragmentos de lava exhiben una textura porfídica, con una masa fundamental de grano fino y fenocristales de olivino euhedrales con tamaños de 1 a 2 mm, algunos de los cuales mostraban coronas de reacción de piroxeno. También se distinguió la presencia de xenocristales de cuarzo provenientes de la asimilación de la roca caja.

## 4.2 Columna estratigráfica

En el flanco SE del volcán Cerro Overo se cavó una pequeña zanja de 2,68 m de profundidad, continuando la columna GU-CO-45 (C4) descrita anteriormente por Ureta et al. (2021). En la secuencia expuesta se observó una intercalación de depósitos de tefra cuyos tamaños de grano varían de bomba a ceniza. Compuestos principalmente por material juvenil entre ellos fragmentos de escoria los cuales eran de color negro, con abundantes vesículas y fenocristales de olivino; fragmentos densos de color negro a gris oscuro, con una masa fundamental microcristalina y fenocristales de olivino; y líticos provenientes de la roca caja (ignimbrita Tuyajto y Cajón), los cuales presentaban tonalidades pardo-rosáceas claro y pardo-rojizas. La base de la columna no se encuentra expuesta por lo que el nivel basal al que se llegó, se estima que se encuentra cercano al límite con la roca caja.

A continuación, se describen los tramos de la columna estratigráfica de base a techo que se muestran en la Figura 4.3:

**CO1 (0-20 cm):** Nivel de lapilli, clastosoportado, con buena selección. Compuesto en su mayoría por fragmentos negros densos angulosos y escoria. Además de escoria verdosas vesiculares a finamente vesiculares y escasos fragmentos líticos pardos-rosáceos (< 8%).

**CO2 (20-32 cm):** Nivel clastosoportado de 12 cm de espesor, con fragmentos tamaño bomba a lapilli con dimensiones de hasta 30 cm, densos y vesiculares. Presenta una matriz de ceniza gruesa pardo-rosácea, dominada por fragmento negros (densos y vesiculares) y en menor medida fragmentos rosáceos.

**CO3 (32-44 cm):** Nivel matriz soportado de 12 cm de espesor de ceniza gruesa de color pardo-rosáceo, estratificada y con bajo contenido de material juvenil. Estos últimos corresponden a fragmentos densos negros y angulosos menores al cm.

**CO4 (44 - 80 cm):** Nivel de 48 cm de espesor de ceniza media a gruesa pardo-rosacea, matriz soportada sin estratificación, con fragmentos negros densos angulosos de hasta 3 cm y en menor cantidad fragmentos vesiculares (negros) de hasta 3 cm, distribuidos de manera aleatoria.

**CO5 (80 - 96 cm):** Nivel matriz soportado de ceniza de color pardo-rosáceo, estratificada con espesores que varían entre 5 mm a centímetros (Fig. 4.2), compuesta principalmente por fragmentos líticos (~ 80%).



**Figura 4.2: Niveles de depósitos de tefra Cerro Overo.** Capa de ceniza bien estratificada (CO5), suprayacido por un nivel matrizsoportado de escoria (CO6).

**CO6 (96 – 112 cm):** Nivel matrizsoportado de 16 cm de espesor, con fragmentos de escoria negras de tamaño lapilli, menores a los 3 cm, con buena selección y escasa matriz de color negro. Esta última compuesta principalmente de vidrio volcánico y fragmentos de escoria (Fig. 4.2).

**CO7 (112 – 136 cm):** Nivel clastosoportado de 24 cm de espesor constituido por clastos angulosos de color negro de hasta 3 cm, los cuales corresponden a clastos de escoria y fragmentos densos negros, junto con una matriz de ceniza de color pardo de grano fino a grueso.

**CO8 (136 - 148 cm):** Nivel de 12 cm de espesor con dominio de clastos angulosos de color oscuro, no vesiculares, de material denso y tamaño inferior a los 8 cm, matrizsoportado. La matriz es de color cafésoso de grano grueso, compuesta por material accidental proveniente de la roca caja.

**CO9** (148 - 183 cm): Nivel de lapilli 35 cm de potencia, matrizsoportado con clastos negros densos angulosos y clastos provenientes de la roca caja (ignimbrita) mal seleccionados. Dominado por el aporte de material juvenil. Matriz de lapilli fina a media de color negro a café compuesta de material juvenil y accidental.

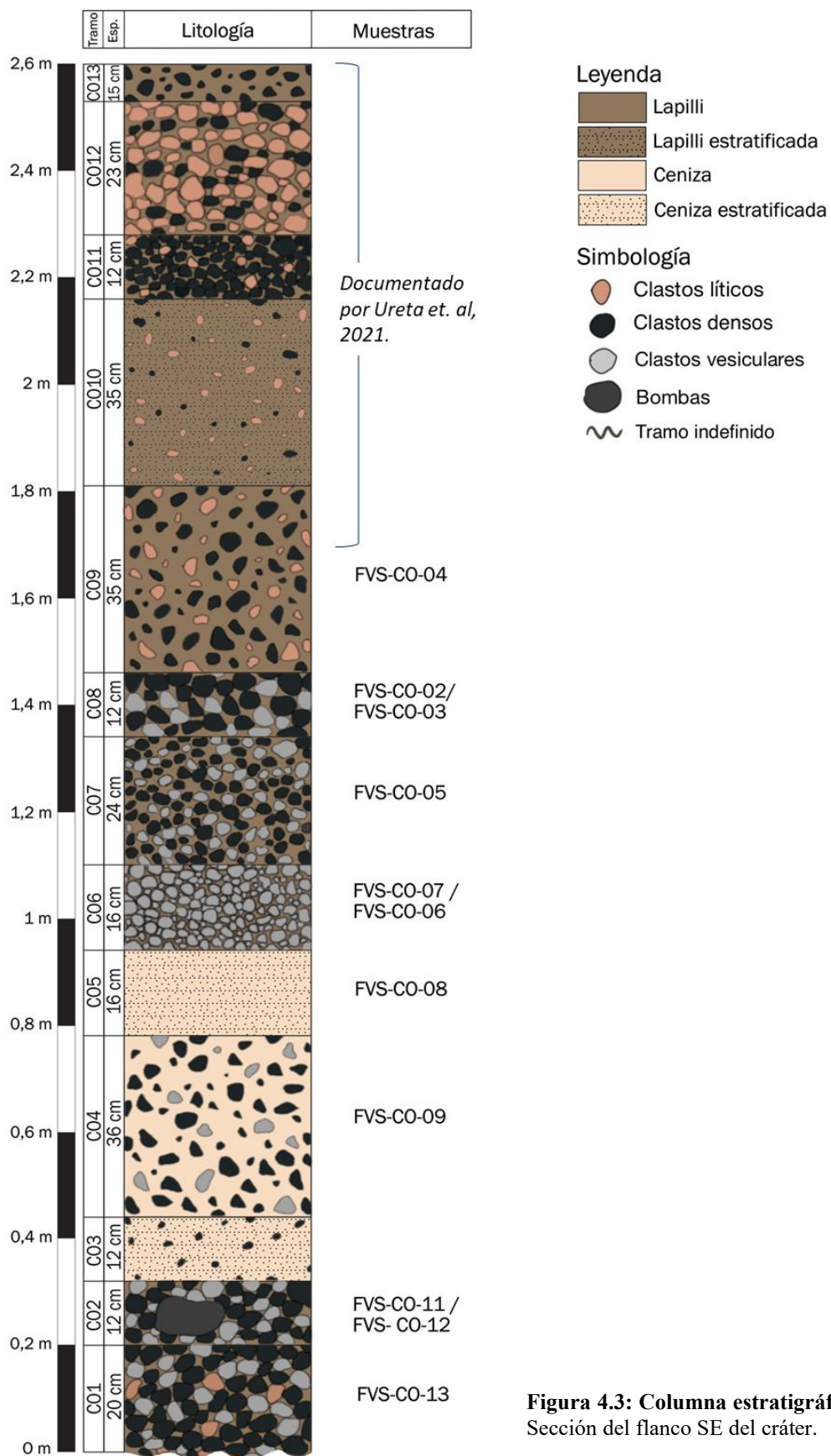
**C10** (183 - 218 cm): Nivel matrizsoportado con estratificación pobre. Predominan clastos subangulosos provenientes de la roca caja y en menor medida clastos lávicos densos angulosos, con matriz de lapilli fina a media.

**C11** (218 - 230 cm): Capa de lapilli de 12 cm, clastosoportada, con dominancia de clastos lávicos negros densos y angulosos, menores a los 3 cm. Presenta matriz de ceniza gruesa color café sin estratificación, pobre en fragmentos provenientes de la roca caja.

**C12** (230 - 253 cm): Nivel clastosoportado de 23 cm constituido por fragmentos redondeados menores al centímetro, provenientes de la roca caja (85%), además de clastos negros angulosos menores a los 3 cm.

**C13** (253- 268 cm): Depósitos aluviales, matrizsoportado de color pardo rosáceo con clastos lávicos densos de color negro menores al centímetro.





**Figura 4.3: Columna estratigráfica Cerro Overo.**  
Sección del flanco SE del cráter.

### 4.3 Petrografía en cortes transparentes de Cerro Overo y La Albóndiga

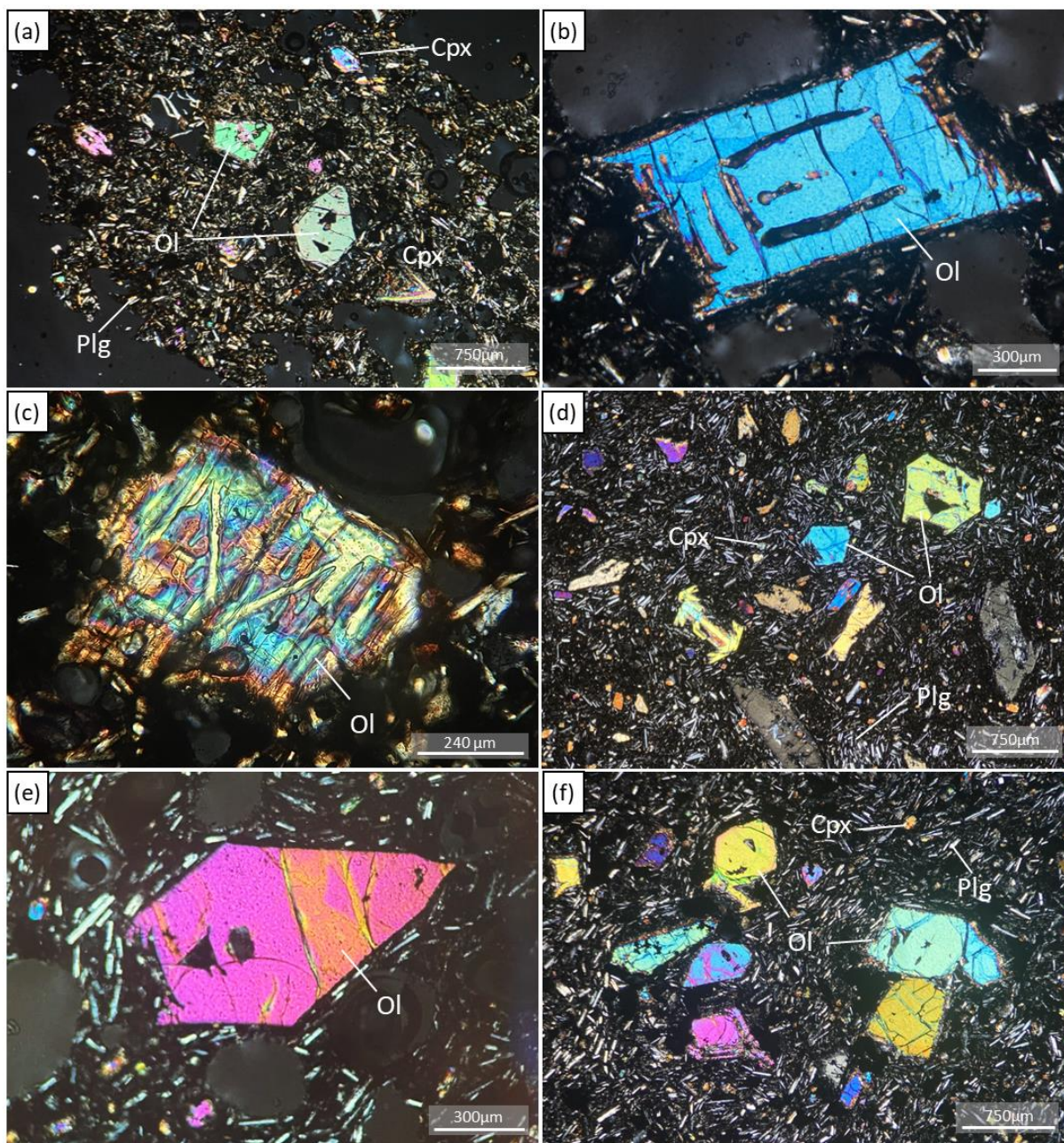
Las muestras de material escoriáceo proveniente de los depósitos de tefra de Cerro Overo, presentan texturas vitrofídicas y vesiculares (Fig. 4.4). Compuestas de un 14% vol. en promedio de fenocristales, correspondiendo casi en su totalidad a cristales de olivinos cuyo tamaño varía de los 0,5 - 1,5 mm y menos del 1% a fenocristales anhedrales de plagioclasa y clinopiroxeno. La masa fundamental se constituye principalmente por vidrio (~ 30% vol.) y microlitos de plagioclasa (20% vol. ; ~ 0,25 mm) y en menor proporción clinopiroxenos (2% vol; ~ 0,2 mm).

Los cristales de olivinos presentan formas euhedrales a subhedrales con texturas predominantemente esqueletales y en menor medida dendríticas (Fig. 4.4b y c). En su interior se observan inclusiones de espinela y fundidas.

Los fragmentos densos de Cerro Overo presentan una textura porfídica (Figura 4.4d), con fenocristales subhedrales de olivino de textura esquelética (Figura 4.4e) y dendrítica (~ 0,5 - 2,6 mm; 20% vol.), junto con fenocristales plagioclasa anhedrales (< 1%vol; ~ 0,625 mm), inmersos en una masa fundamental vítrea (35%vol.) con microlitos de plagioclasa (0,125 mm; 30% vol.) y clinopiroxeno (0,25mm – 0,75mm; 15%vol.).

La muestra de lava de La Albóndiga presenta textura porfídica, con fenocristales de olivinos de hasta 1,5 mm (20% vol.) y en menor medida fenocristales de plagioclasa anhedral con tamaños de hasta 0,8 mm y clinopiroxenos anhedrales (Fig. 4.4f). Estos dos últimos constituyen tan solo un ~ 1% vol.. Sumidos en una masa fundamental hialopilítica (30%vol.), compuesta además de microlitos de plagioclasa (40% vol.) y piroxeno (10% vol.). Los olivinos presentan formas anhedrales a subhedrales con texturas esqueletales y dendríticas. Se observan inclusiones fundidas y de espinela en la mayoría de los cristales.





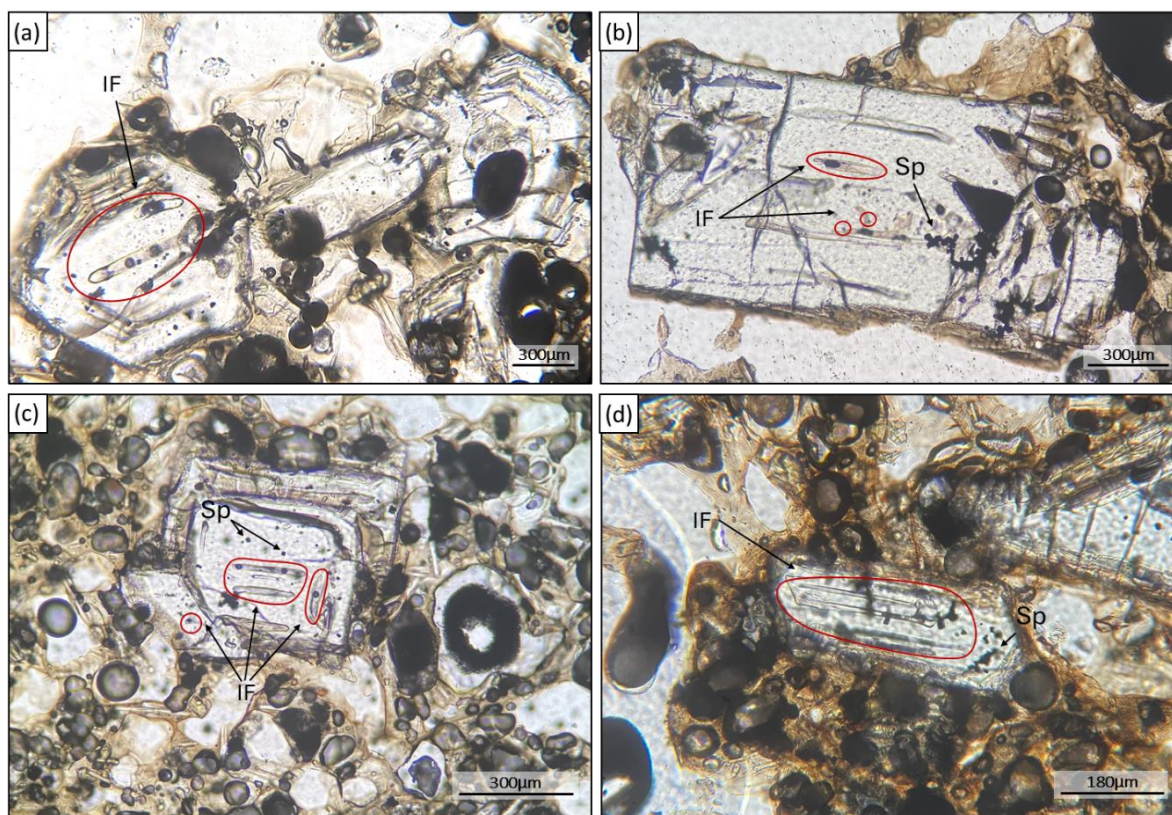
**Figura 4.4: Microfotografías de fragmentos densos y escoriáceos de Cerro Overo y La Albóndiga.** (a) Vista general muestra FVS-CO-12, compuesta de fenocristales de olivino de textura esqueletal en una masa fundamental vitrofídica. NC. Aum.:4X (b) Olivino de textura esqueletal muestra FVS-CO-11. NC. Aum.:10X. (c) Fenocristal de olivino de textura dendrítica en NC. Muestra FVS-CO-07. Aum:20X (d) Vista general muestra FVS-CO, constituida de fenocristales esqueletales y dendríticos en una masa fundamental vítrea y con microlitos de plg y cpx. NC. Aum: 4x (e) Fenocristal de olivino esqueletal muestra FVS-CO. NC. Aum.: 10x (f) Vista general muestra FVS-AL-1, con fenocristales de olivino esqueletal y dendrítico. NC. Aum: 10x.



#### 4.4 Petrografía de inclusiones

Los fenocristales de olivino contienen notables microcristales de espinela e inclusiones fundidas (Figura 4.5). Las espinelas presentan un hábito cubico y se ubican de manera aleatorio o paralelas a las caras externas del cristal, en cúmulos o de una unidad.

Las inclusiones fundidas se encuentran también distribuidas de manera aleatoria o paralelas a las caras externas del cristal, con tamaños que varían entre los 10 a los 200  $\mu\text{m}$ . En la mayoría de los casos presentan formas ovoides con una burbuja de gas en su interior, también se encuentran con formas elongadas con una o más de una burbuja de gas en su interior. Estas se distinguen por tener un relieve mayor al relleno del cristal. No se observan caras preferenciales de aparición.



**Figura 4.5: Microfotografía de inclusiones encristales de olivino.** (a) Inclusiones fundidas de forma elongada con múltiples burbujas de gas en su interior, en cristal de olivino. Muestra FVS-CO-03. (b), (c) y (d) inclusiones fundidas elongadas y ovoides en cristales de olivino, además de inclusiones de espinela de las muestras: FVS-CO-03, FVS-CO-06 y FVS-CO-05 respectivamente.

#### 4.5 Morfologías bajo la lupa binocular

Se observaron unidades de cristales de olivino, en la fracción de ceniza de las muestras obtenidas de la columna. Su abundancia varía a lo largo de los niveles estratigráficos estudiados, presentando mayor abundancia en los niveles intermedios (Tabla 4.1), disminuyendo su abundancia hacia los extremos de la columna. La abundancia relativa de olivino es un indicador clave para poder visualizar la componente magmática comparada a la roca de caja que presenta cada uno de los niveles estudiados.

Tramo columna	Muestra	% de olivinos
CO8	FVS-CO-03	20%
CO7	FVS-CO-05	20%
CO6	FVS-CO-07	25%
CO5	FVS-CO-08	1%
CO2	FVS-CO-12	1%

**Tabla 4.1. Abundancia de olivinos en niveles de tefra.** Ordenados de los niveles más someros a lo más profundos, a lo largo de la columna.

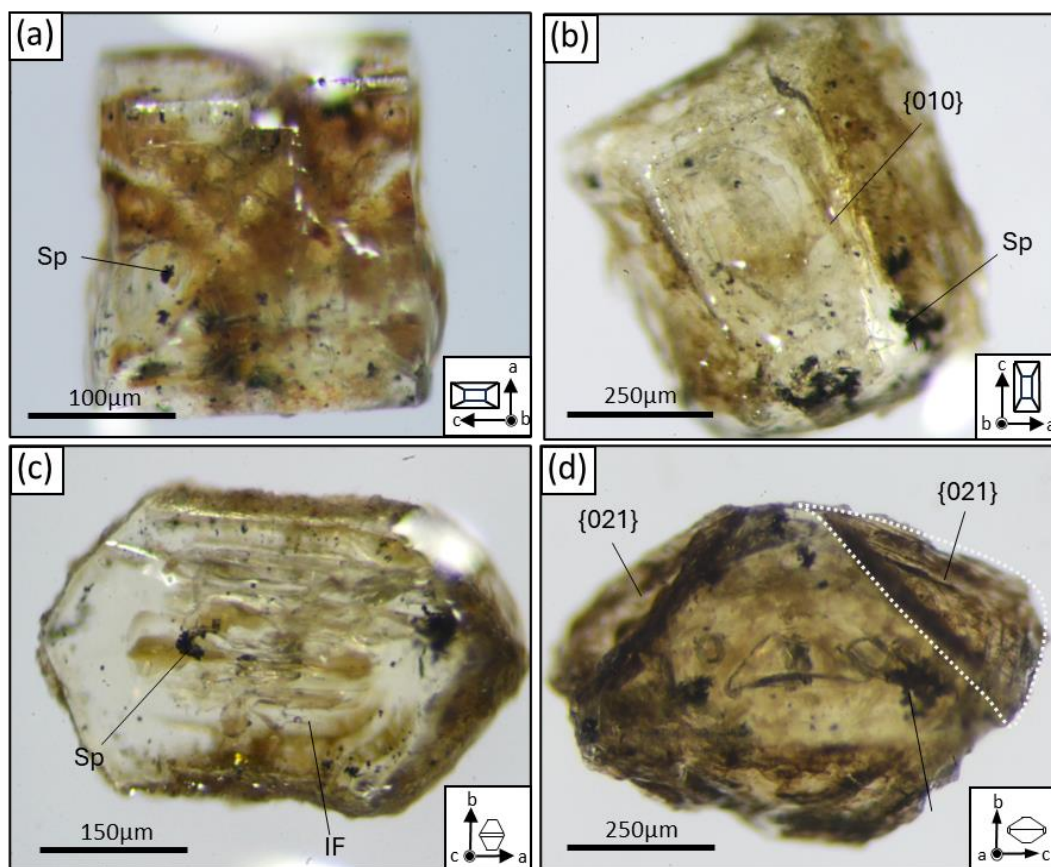
En general, las unidades cristalinas presentan formas euédrales a subédrales, en ocasiones fracturados de manera regular, en los ejes ab y cb, en menor medida al eje ac. Los tamaños de los olivinos tamaños varían desde 150  $\mu\text{m}$  a los 650  $\mu\text{m}$  y en su interior se distinguen inclusiones de cristales de espinela e inclusiones fundidas, con burbujas de gas en su interior. Además, los cristales presentan vidrio volcánico adosado a sus caras que les da un aspecto ahumado.

De total de las unidades cristalinas observadas ( $n=162$ ), se lograron percibir tres grupos de olivinos según sus texturas. Grupo 1: Dendríticos, Grupo 2: Esqueletales y Grupo 3: Poliedrales, en ese orden de acuerdo a su abundancia, cuyos porcentajes se indican en la Tabla 4.2 y sus descripciones se encuentran en el Anexo 2. Los cristales esqueletales muestran caras de crecimiento bien desarrolladas  $\{001\}$ , y  $\{110\}$ , incompletas  $\{021\}$  o poco desarrolladas  $\{010\}$  y ausentes  $\{101\}$  y  $\{120\}$ . Siendo la cara incompleta  $\{021\}$  un rasgo como en este grupo de cristales. Las caras incompletas, presentan una gran cavidad en forma de embudo con pequeñas terrazas (Fig. 4.6c y d), donde cada terraza constituye una nueva envoltura de la unidad cristalina en crecimiento, por lo que se consideran como cristales inmaduros.

Muestra	Total olivinos	Grupo 1(%)	Grupo 2(%)	Grupo 3(%)
FVS-CO- 03	53	4	85	11
FVS-CO-05	27	26	37	37
FVS-CO-07	66	5	74	21
FVS-CO-11	20	0	100	0

**Tabla 4.2: Porcentaje de abundancia olivinos de acuerdo a sus texturas.** Grupo 1: Dendríticos, Grupo2: Esqueletales y Grupo 3: Poliedrales, para las muestras de los distintos tramos de la columna.

Los cristales dendríticos se caracterizan por exhibir cuatro estructuras ramificadas simétricas que nacen desde el centro del cristal a lo largo del eje cristalográfico ac (Fig. 4.6a), con forma de flechas. Además, este grupo de cristales se caracteriza por presentar volúmenes más achatados en el eje b.



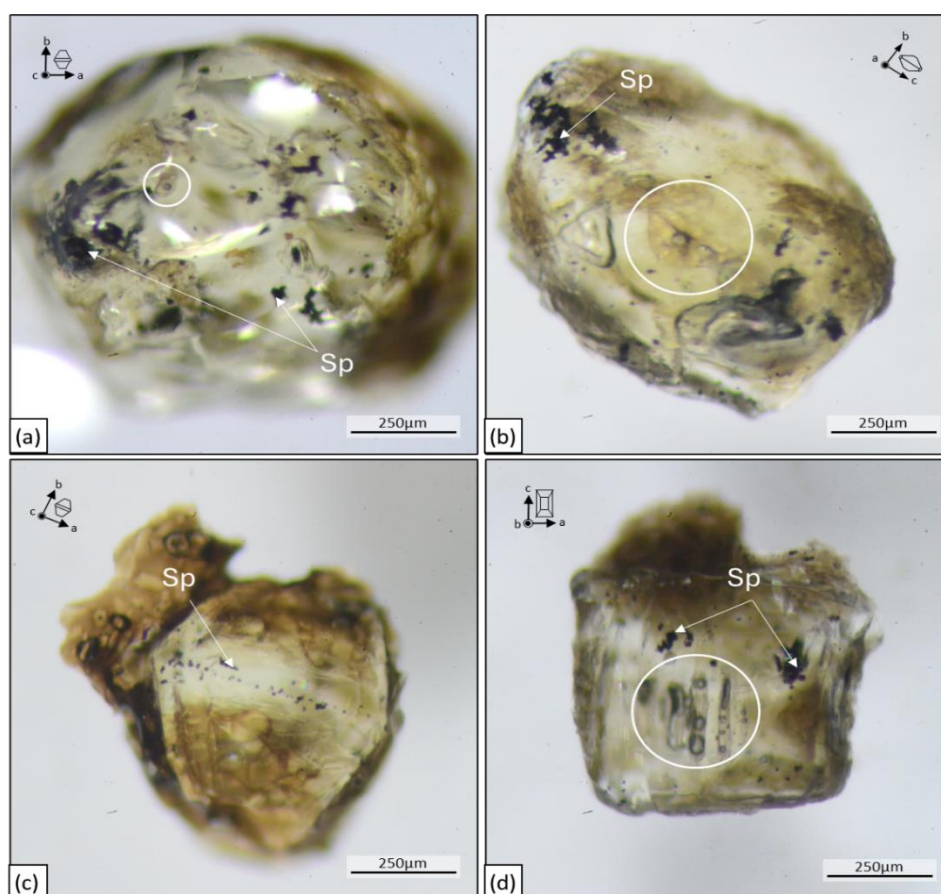
**Figura 4.6: Texturas de olivinos a la lupa binocular** (a) Olivino dendrítico visto perpendicular al eje b. Dendritas irradian desde el centro del cristal. (b) Olivino poliedral con vista perpendicular al eje b. (c) Olivino esqueletal con vista perpendicular al eje c, fracturado en el eje ab de manera regular, presenta inclusiones fundidas al interior del cristal. (d) Olivino esqueletal con vista perpendicular al eje a. Caras {021} vacías, estructura de embudo.

Los cristales de texturas poliedrales, se distinguen por presentar caras bien desarrolladas {010}, {110}, {021}, {001} y en ocasiones pueden estar asuntos la cara {120} y {101} (Fig. 4.6b).



#### 4.6 Inclusiones en fenocristales de olivino

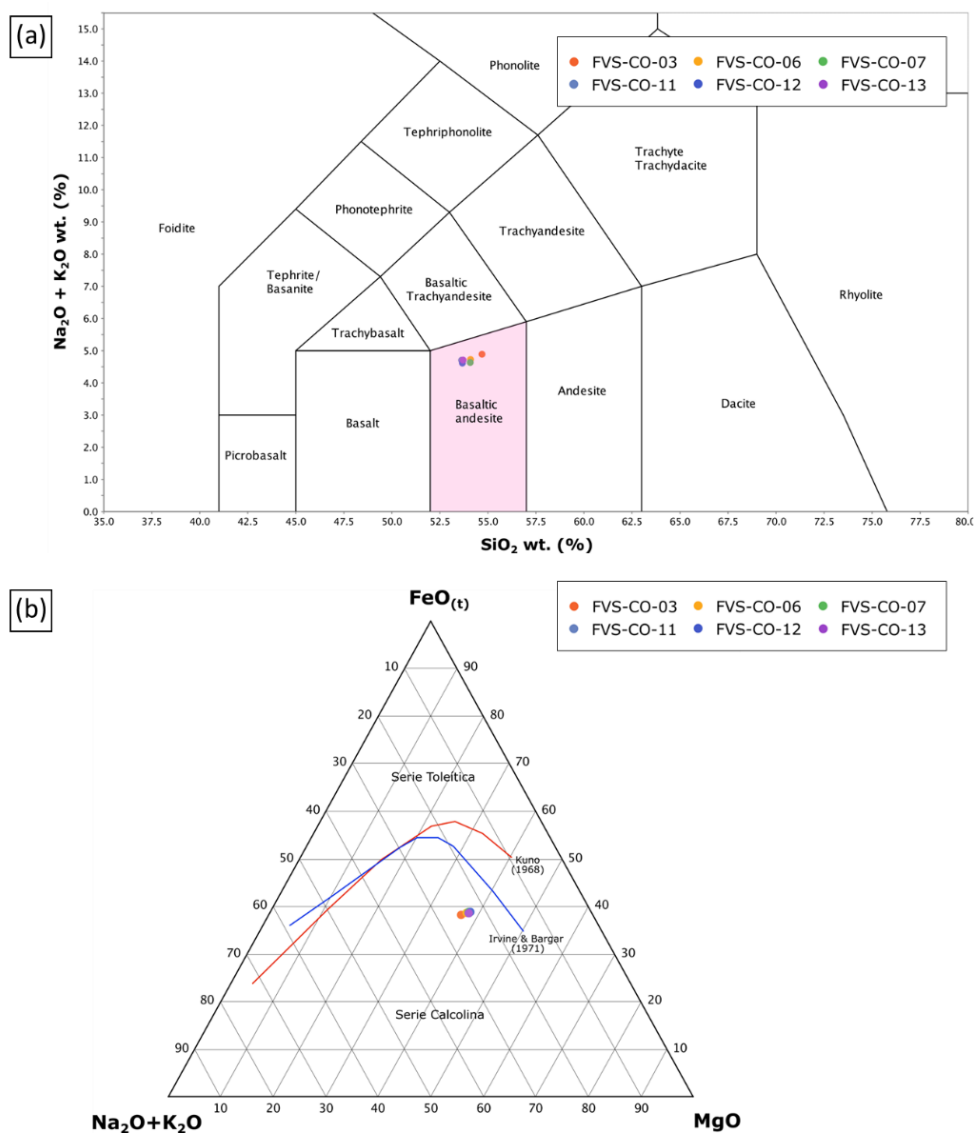
Los cristales de olivino contienen variadas cantidades de microcristales de espinela e inclusiones fundidas (Fig. 4.7). Las espinelas presentan un hábito cúbico y se distribuyen de manera aleatoria o paralelas a las caras externas del cristal, como una unidad cristalina o en cúmulos. Las inclusiones fundidas se encuentran también distribuidas de manera aleatoria (en ocasiones coincide con la cara 021). En la mayoría de los casos presentan formas ovoides con una burbuja de gas en su interior. También se presentan de forma triangular o con formas elongadas. Estas muestran tonalidades claras y marrones.



**Figura 4.7: Inclusiones a la lupa binocular.** Inclusiones fundidas (circulo blanco) e inclusiones de espinela (Sp) en cristales de olivino. **(a)** inclusiones de espinela y pequeña inclusión fundida de forma ovoide **(b)** Inclusión fundida con forma triangular y burbuja de gas en su interior, además de inclusiones de espinela **(c)** Inclusiones de espinela distribuidas paralelas a la cara externa del cristal **(d)** Inclusiones fundidas con formas elongadas, además de inclusiones de espinela.

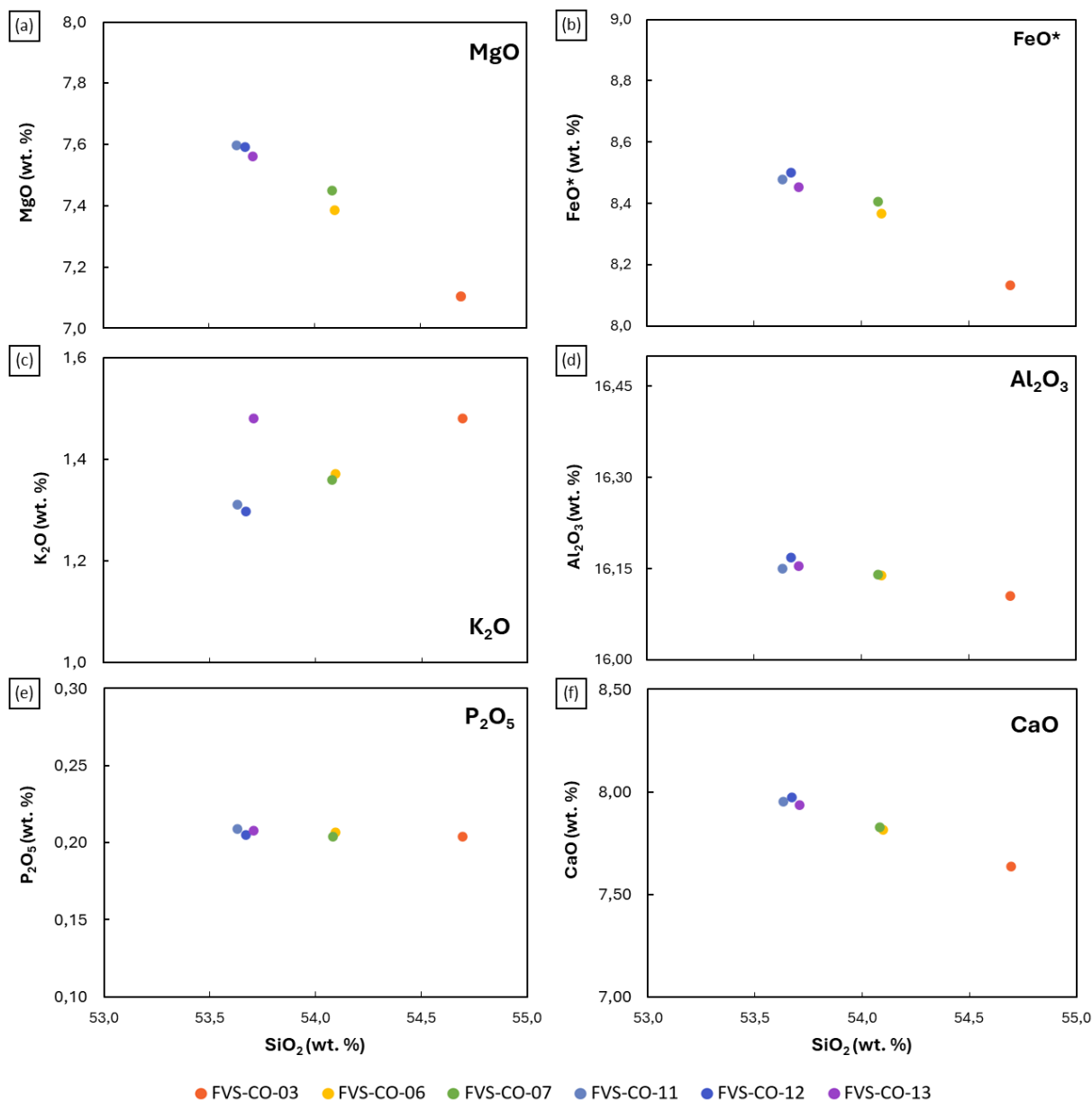
#### 4.7 Geoquímica en roca total

Las muestras de escoria pertenecientes a los depósitos de tefra de Cerro Overo presentan composiciones de andesita-basáltica de acuerdo al diagrama TAS (Fig. 4.8a) con contenidos de  $\text{SiO}_2$  que se encuentra entre 53,63 y 54,69 % en peso. Se observa además un carácter calcoalcalino de acuerdo con el diagrama AFM (Fig. 4.8b).



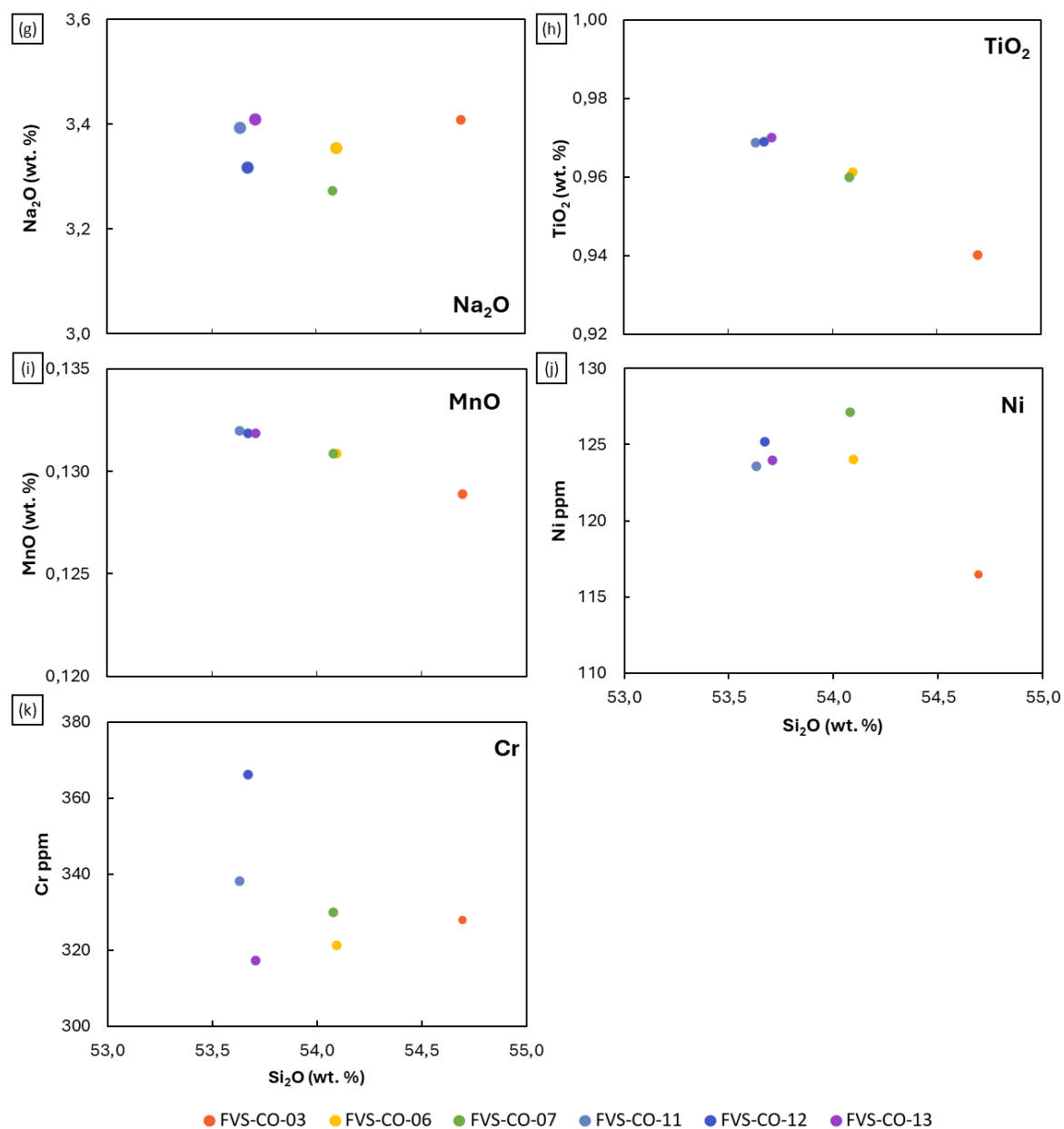
**Figura 4.8: Diagramas composicionales (TAS y AFM).** (a) Diagrama  $\text{SiO}_2$  vs.  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  (TAS) (LeMaitre, et al., 1989), para las muestras de material escoriáceo de Cerro Overo (b) Diagrama AFM (Irvine y Baragar 1971; Kuno, 1968).

El comportamiento de los elementos mayores y traza con respecto al  $\text{SiO}_2$  para las muestras de Cerro Overo se muestra en la figura 4.9 y 4.10 mediante diagramas bivariantes (Harker) donde se observan principalmente comportamientos lineales para los distintos óxidos con respecto al aumento de sílice, el cual se utiliza como índice de diferenciación. Mientras que el  $\text{MgO}$ ,  $\text{FeO}_{(t)}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cr}$  y  $\text{Ni}$  muestran correlaciones negativas con respecto al sílice,  $\text{K}_2\text{O}$ , y  $\text{Na}_2\text{O}$  muestran una tendencia positiva. Para el caso del  $\text{P}_2\text{O}_5$ , se observa un comportamiento más bien neutral, sin una gran variación en la pendiente como se muestra en la figura 4.9e.



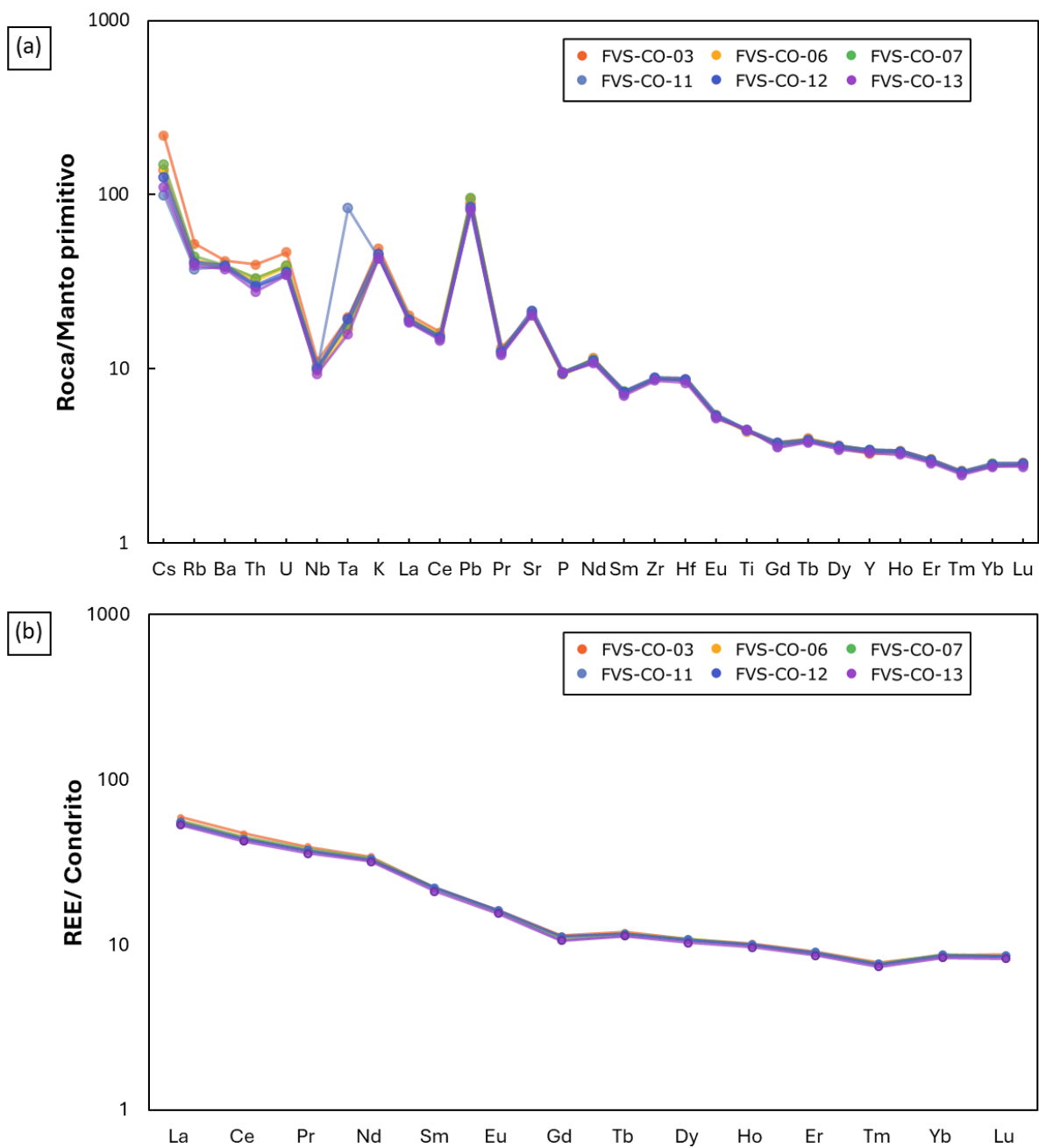
**Figura 4.9: Diagramas de Harker.** Seleccionados para (a)  $\text{MgO}$ , (b) Oxido de Fe total ( $\text{FeO}^*$ ), (c)  $\text{K}_2\text{O}$ , (d)  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , (e)  $\text{P}_2\text{O}_5$ , (f)  $\text{CaO}$ , todos en porcentaje en peso con respecto a  $\text{SiO}_2$  (wt. %) para las muestras analizadas de Cerro Overo.

De acuerdo con el diagrama multielemental (Fig. 4.11a) las muestras se encuentran enriquecidas en elementos LILE y algunos elementos de HFSE, mostrando una anomalía negativa de Nb y una anomalía positiva para Pb. Los elementos pertenecientes a las tierras raras livianas (LREE) se encuentra enriquecidas con respecto a los elementos de las tierras raras pesadas (HREE), como muestra la pronunciada tendencia negativa en la figura 4.11b.



**Figura 4.10. Diagramas de Harker.** Seleccionados para (g) N<sub>2</sub>O, (h) TiO<sub>2</sub>, (i) MnO, (j) Ni (k) Cr. En porcentaje en peso para elementos mayores y ppm para elementos menores, con respecto a SiO<sub>2</sub> (wt. %) para las muestras analizadas de Cerro Overo.



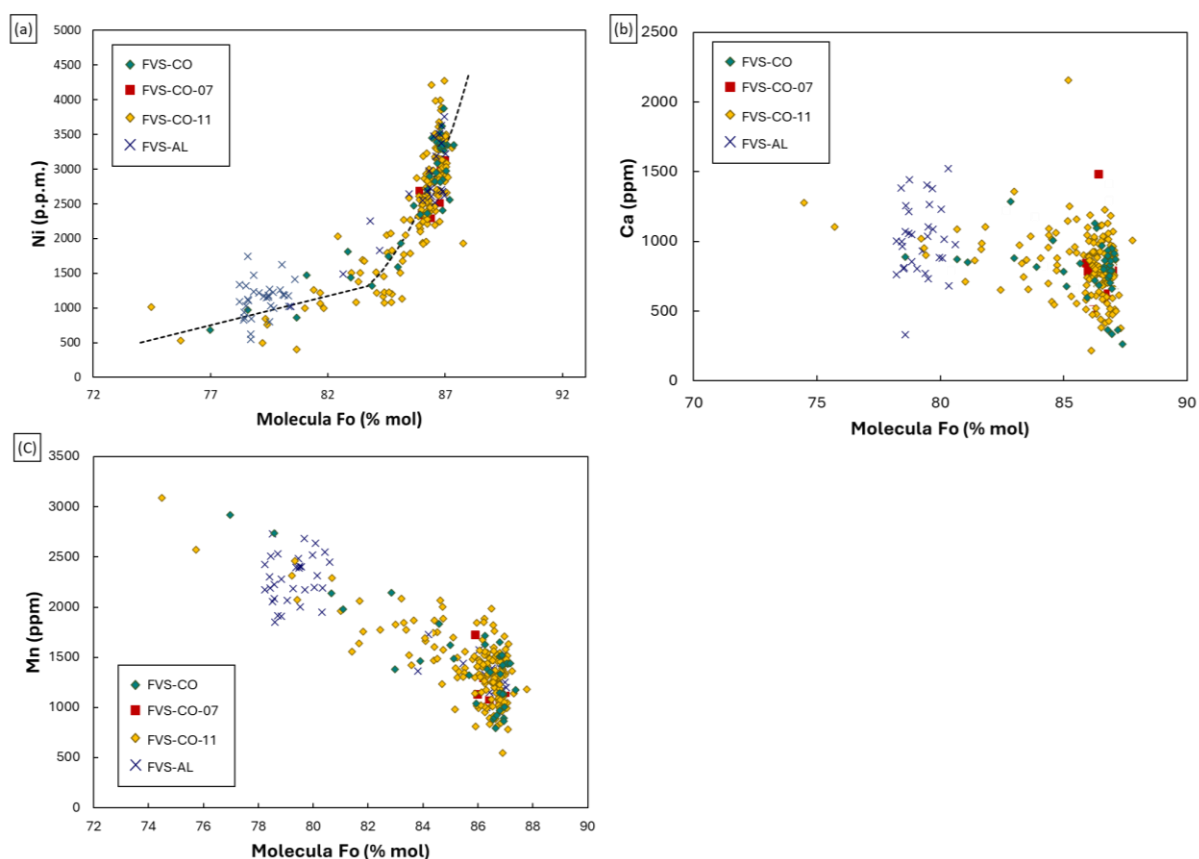


**Figura 4.11: Diagrama Multielemental y Tierras raras (a) Diagrama Multielemental normalizada a la medida del manto primitivo (Sun y McDonough,1989) de las muestras de escoria de Cerro Overo (b) Diagrama tierras raras de las muestras de escoria de Cerro Overo normalizadas al manto condrito (Sun y McDonough,1989).**

## 4.8 Composiciones en Olivinos

Los análisis puntuales en olivinos mediante microsonda electrónica ( $n=263$ ) para Cerro Overo (Anexo 3), se realizaron en tres muestras diferentes: dos de ellas pertenecientes a depósitos de tefra (FVS-CO-11 y FVS-CO-07) y uno a los fragmentos densos de Cerro Overo (FVS-CO). Las composiciones de forsterita de estos olivinos varían entre  $Fo_{74}$  y  $Fo_{88}$ , con concentraciones de níquel que oscilan entre los 400 - 4200 ppm. La media de las composiciones para el total de los datos es de  $Fo_{87}$  y 2517 ppm de Ni.

En cuanto a la muestra de La Albóndiga (FVS-AL), los análisis puntuales en olivinos ( $n=64$ ; Anexo 3) revelan variaciones en las composiciones de forsterita entre  $Fo_{78}$  y  $Fo_{87}$ , con concentraciones de níquel que se encuentran entre los  $\sim 550$  - 3700 ppm, con una media de  $Fo_{82}$  y 1765 ppm de Ni.



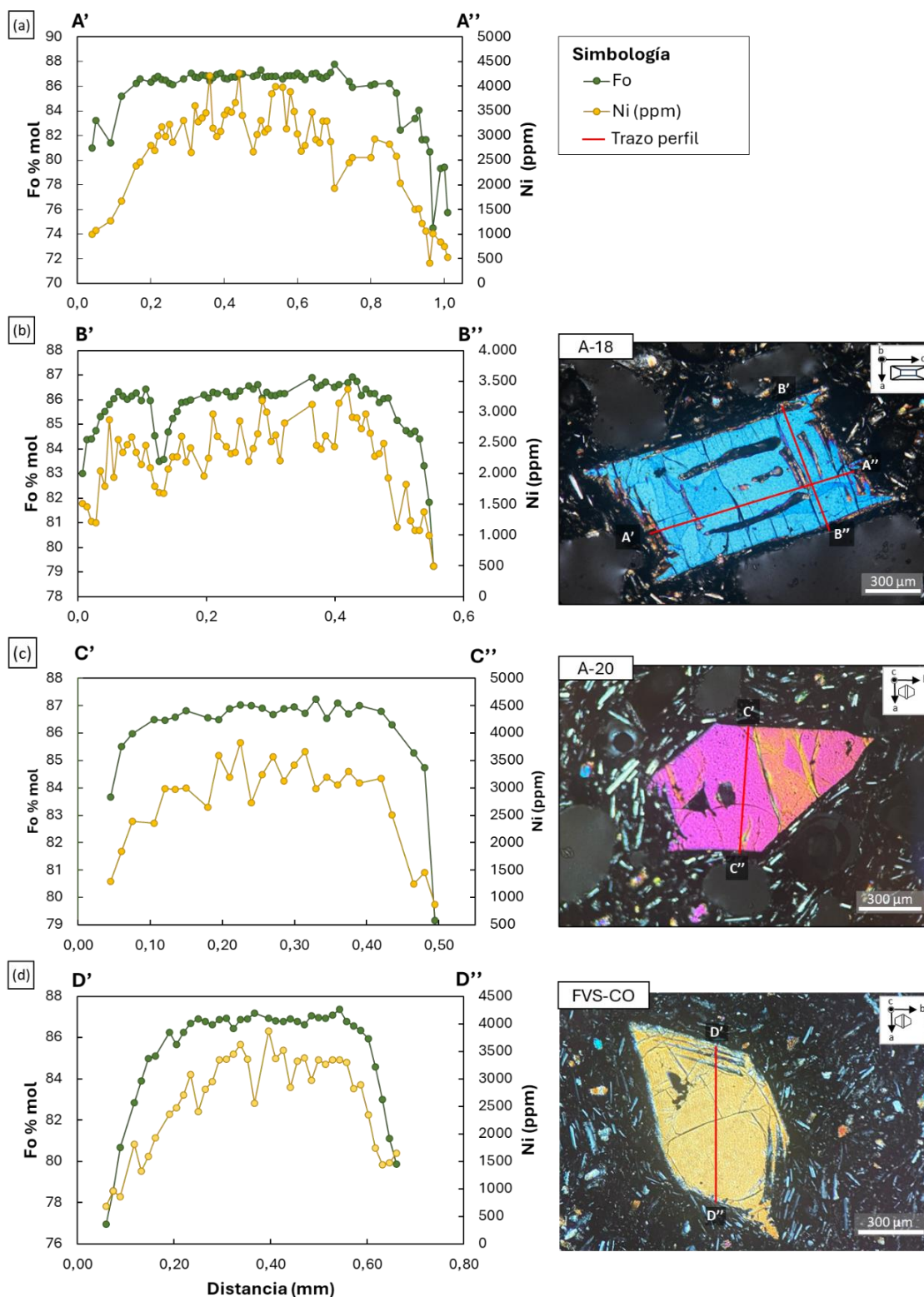
**Figura 4.12: Diagramas química mineral en olivinos.** (a) Molécula de forsterita (Fo) versus Ni (ppm) para cristales de olivino de los volcanes en estudio. (b) Molécula de forsterita (Fo) versus Ca (ppm) en olivinos, mostrando la misma tendencias similares tanto para las muestras de La Albóndiga y Cerro Overo (c) Molécula de forsterita (Fo) versus Mn (ppm) en olivinos, mostrando una tendencia negativa con respecto al aumento de la molécula de Forsterita para las muestras de ambos volcanes.

Se identifica una tendencia positiva entre las concentraciones de níquel y forsterita en ambos conjuntos de muestras (Fig. 4.12a). En contraste, se nota una correlación negativa entre el calcio y las concentraciones de forsterita, cuyos valores se encuentran entre 210 - 2150 ppm para Cerro Overo y 520 - 3300 ppm de Ca en La albóndiga, como se muestra en el diagrama Ca-Fo (Fig. 4.12b). Esta tendencia también se observa en las composiciones de manganeso (Mn) en relación con la variación de la molécula de forsterita, disminuyendo a medida que aumenta el porcentaje de forsterita (Fig. 4.12c). Este comportamiento se manifiesta en ambos volcanes, con concentraciones que varían entre 55 y 3000 ppm de Mn para Cerro Overo y 950 - 2700 ppm de Mn para La Albóndiga.

Para los cristales de olivino de Cerro Overo, se realizaron además 4 perfiles detallados mediante microsonda electrónica en granos minerales seleccionados. En estos perfiles, se observan patrones que muestran un rango composicional oscilatorio, compuesto por zonas con elevado contenido de Fo y Ni separadas por zonas de bajo contenido de Fo y Ni (Fig. 4.13). Estas oscilaciones se producen en escalas de 5 a 80  $\mu\text{m}$ , siendo más pronunciadas para el níquel que para la forsterita.

En los cristales analizados de Cerro Overo: A-18, A-20 y FVS-CO, se observa una composición común y homogénea en sus núcleos con valores  $\text{Fo}_{87}$  y variaciones  $\Delta\text{Fo} < 1$ . Sin embargo, las composiciones en Ni presentan patrones más pronunciados, con variaciones de  $\Delta\text{Ni} \sim 100 - 600$  ppm. Hacia los bordes del cristal estas variaciones aumentan en magnitud, las cuales denotan inversiones de níquel que tienen valores de  $\Delta\text{Ni} \sim 500 - 1200$  ppm, mientras que para las composiciones de forsterita se denotan  $\Delta\text{Fo} \sim 1$  a 4.

En la figura 4.13 se muestran los perfiles correspondientes a cada cristal, con su respectiva fotomicrografía en nicols cruzados con la traza del perfil y la cara cristalográfica del cristal que se observa.



**Figura 4.13: Diagramas zonación elemental en olivinos.** (a-b) Contenidos de Fo % mol (verde, eje izquierdo) y Ni en ppm (amarillo; eje derecho) a lo largo de los perfiles delimitados (rojo): A'-A'' con 10 μm unidades de distancia puntual y B' - B'' con 7 μm de separación puntual, en el cristal A-18, en nicoles cruzados (NC), aum: 10x. (c) Contenidos de Fo (% mol) y Ni (ppm) para perfil cristalino C' - C'' (separación 15 μm) en cristal A-20, aum:10x, NC. (d) Contenidos de Fo (verde) y Niquel (amarillo) para perfil D' - D'' con separación puntual de 15 μm en cristal FVS-CO, en NC, aum : 10x.

## 5. DISCUSIÓN

### 5.1 Historia evolutiva del volcán Cerro Overo

Los maares son el resultado de actividad freatomagmática, que surge de la interacción directa entre magma y el agua, lo que desencadena una violenta expansión de vapor de agua y consecuentemente erupciones predominantemente explosivas, que generalmente tienen una corta duración (Houthon et al., 1996). Por lo que la intensidad de la actividad está controlada por la relación agua/masa magmática y la cantidad de sobrecalentamiento del agua. Durante estas erupciones se producen grandes cantidades de material fragmentario (piroclástico) que son transportados hacia arriba en columnas convectivas o transportados lateralmente en flujos piroclásticos enérgicos (Houthon et al., 1993).

Los productos eruptivos de la actividad freatomagmática pueden clasificarse en clastos líticos accidentales y juveniles. Estos últimos, a su vez, pueden variar en su grado de vesicularidad, llegando a ser poco abundantes, dando origen a clastos densos. El aporte de material accidental se encuentra estrechamente relacionado al grado de explosividad de una erupción, variando su proporción de acuerdo a la relación magma/agua, pudiendo tratarse de una erupción freatomagmática seca (5-50% aporte material accidental) o una actividad freatomagmática con una relación elevada magma/agua (60 – 90 % de material accidental). En erupciones estrombolianas el aporte de material accidental es < 1% (Houthon et al., 1993).

Para el caso de Cerro Overo, el material juvenil está compuesto por fragmentos densos y escoria andesítica-basáltica, mientras que los fragmentos líticos accidentales corresponden a ignimbritas de composición dacítica de color pardo-rosáceo a rojizo, con una mineralogía compuesta por plagioclasa, cuarzo, piroxenos, hornblenda y biotita principalmente.

De acuerdo con la sección realizada en terreno, la cual tuvo una potencia de 2,68 metros, fue posible distinguir el aporte de estas dos diferentes fuentes de productos eruptivos a lo largo del depósito de tefra, tal como se esquematiza en la columna de la Figura 5.1. Se identificaron cuatro zonas principales según la predominancia de estos fragmentos, las cuales de base a techo son:

1. Zona A: Corresponde a depósitos de tamaño lapilli fina (tramos CO1 y CO2) dominados por material juvenil, en el que se observa una matriz con abundante cantidad de vidrio volcánico

- y fragmentos de escoria, junto con olivinos. También presenta fragmentos de ignimbrita, pero en muy baja proporción.
2. Zona B: Zona constituida por depósitos de tamaño ceniza estratificados en su mayoría (tramos CO3, CO4, CO5). Predominantemente compuestos por fragmentos de la roca caja (ignimbrita) y con un contenido minoritario de material juvenil.
  3. Zona C: Depósitos dominados por material juvenil (tramos CO6, CO7, CO8), compuestos por fragmentos negros densos y vesiculares. Se observa abundante vidrio de color verdoso oscuro, escoria y olivinos de textura esquelética poco fracturados. El aporte de material accidental es el mínimo.
  4. Zona D: Zona de transición (tramos CO9, CO10, CO11, CO12) constituida por depósitos de tamaño lapilli, donde la proporción de material accidental aumenta hacia la parte superior de la columna, sumando un aporte de material juvenil denso.

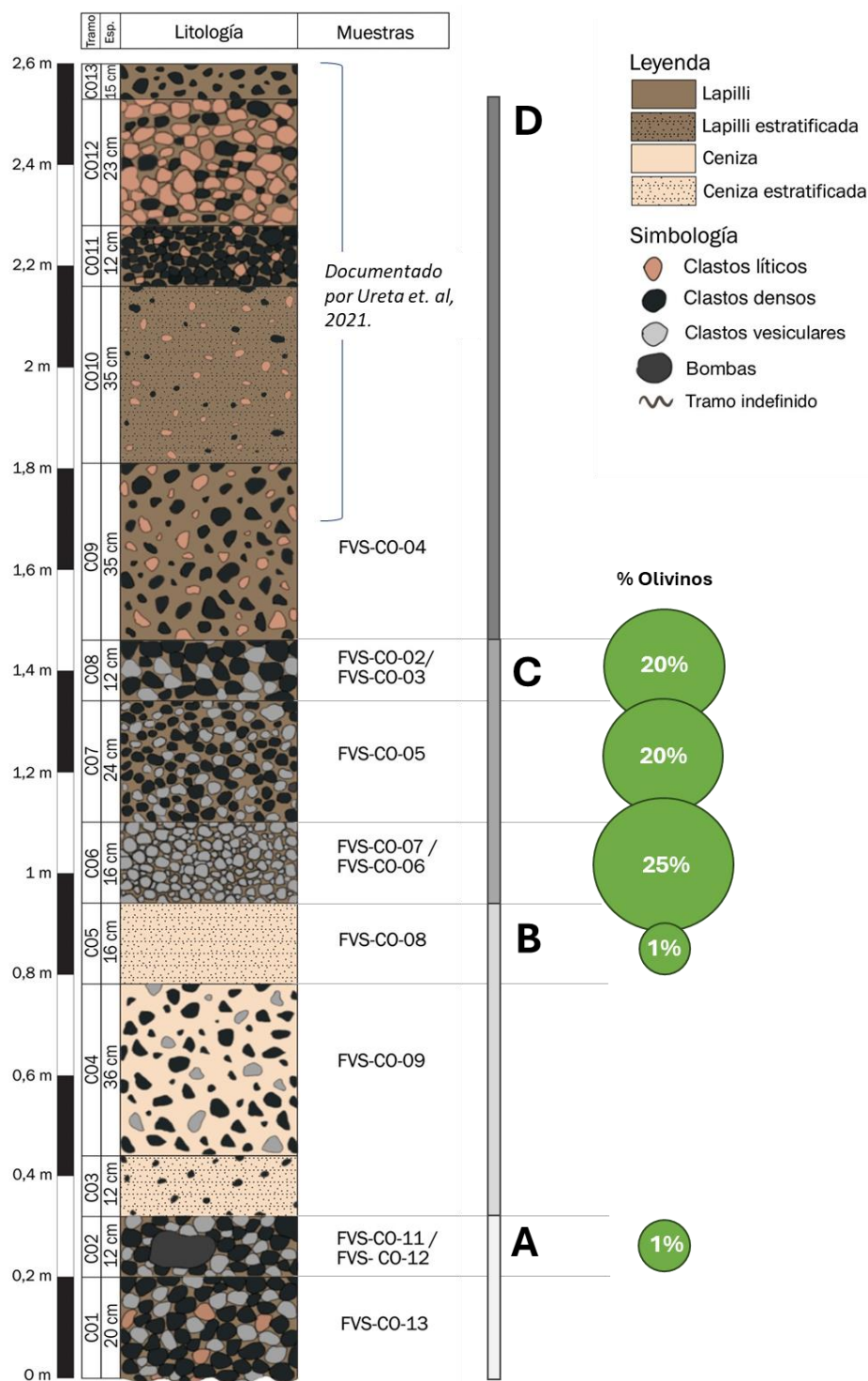
Finalmente, se observa un nivel de depósitos aluviales (CO13), con una matriz de color pardo rosáceo y clastos lávicos densos de color negro, menores al centímetro.

Los depósitos de Cerro Overo por tanto son el resultado de una actividad freatomagmática explosiva, que presenta variaciones en la intensidad del grado de explosividad y la relación agua/magma. Este comportamiento se atribuye a la menor contribución de material juvenil y a la prevalencia de fragmentos de la roca caja (Houghton et al., 2015) lo que se refleja en las zonas descritas anteriormente.

Estas observaciones pueden ser complementadas con el aporte de granos minerales de olivino como se ilustra en la Figura 5.1, ya que estos representan parte del material juvenil, disminuyendo su porcentaje en volumen hacia los niveles donde hay mayor aporte de material accidental.

Sumando a lo anterior, en el borde del cráter se observó un nivel de acumulación de fragmentos piroclásticos, de tamaño bomba a lapilli con textura fluidales que revela un emplazamiento a altas temperaturas. Estos son indicativos de una evolución de una actividad freatomagmática a una Hawaiana, lo que refleja una disminución del grado de interacción agua-magma durante la erupción. Con posibles escenarios como que el agua subterránea o la fuente de agua superficial

se agotó gradualmente, o el magma ascendente quedó efectivamente aislado del suministro de agua (Wright et al., 1996).



**Figura 5.1: Esquema de columna estratigráfica.** Tomada en el flanco SE del maar Cerro Overo. Se indica la variación del aporte de material accidental y juvenil a lo largo de los depósitos de tefra, junto con la abundancia de olivinos para los tramos analizados.



## 5.2 Aspectos geoquímicos de los depósitos tempranos de tefra de Cerro Overo

Los fragmentos escoriáceo obtenidos de la columna realizada en Cerro Overo presentan composiciones andesítica-basáltica (53,98 wt. % SiO<sub>2</sub>, 7,45 wt. % MgO), que, de acuerdo a sus características geoquímicas, como contenido medio de K<sub>2</sub>O, carácter calco-alcalino y sus patrones en elemento trazas, indican tendencias composicionales de arco en ambiente de subducción (Fig. 5.2f). Estas composiciones se asemejan con las descritas por Ureta et al. (2021) para el volcán la Albóndiga, cuyas lavas son de composición basáltico andesita con 54.6 wt. % SiO<sub>2</sub>, situándose como los dos volcanes monogenéticos menos evolucionados de la zona volcánica central del norte de Chile (Ureta et al., 2021).

La concentración de elementos mayores se presenta en los diagramas de la Figura 5.2, los cuales se comparan además con otros autores (Rosner et al., 2003; Ureta et al., 2021 y Van de Alderwerelt et al., 2021). En estos se observa que los diferentes óxidos se comportan de manera lineal conforme aumenta la concentración de sílice, donde el FeO\*, MgO, MnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, y CaO disminuyen su concentración a medida que aumenta la diferenciación, evidenciando un comportamiento compatible. Esto debido a que, en rocas andesítica-basálticas, las fases cristalinas como el olivino, piroxeno y plagioclasa incorporan en sus redes cristalinas estos elementos, disminuyendo su concentración en el fundido residual.

Elementos como K<sub>2</sub>O y Na<sub>2</sub>O presentan un comportamiento incompatible, aumentando su concentración a medida que aumenta la concentración de sílice. El P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> presenta un comportamiento levemente incompatible, ya que este no presenta una variación significativa dado a las concentraciones a las que se encuentra, por lo que se infiere que es suficiente para cristalizar alguna fase mineral, como el apatito.

Estos comportamientos en los elementos mayores pueden ser explicados por un proceso de cristalización fraccionada normal. En comparación a los otros autores (Rosner et al., 2003; Ureta et al., 2021 y Van de Alderwerelt et al., 2021), se obtuvieron composiciones similares para los elementos mayores y traza, mostrando el mismo comportamiento en cuanto a la movilidad de los elementos.

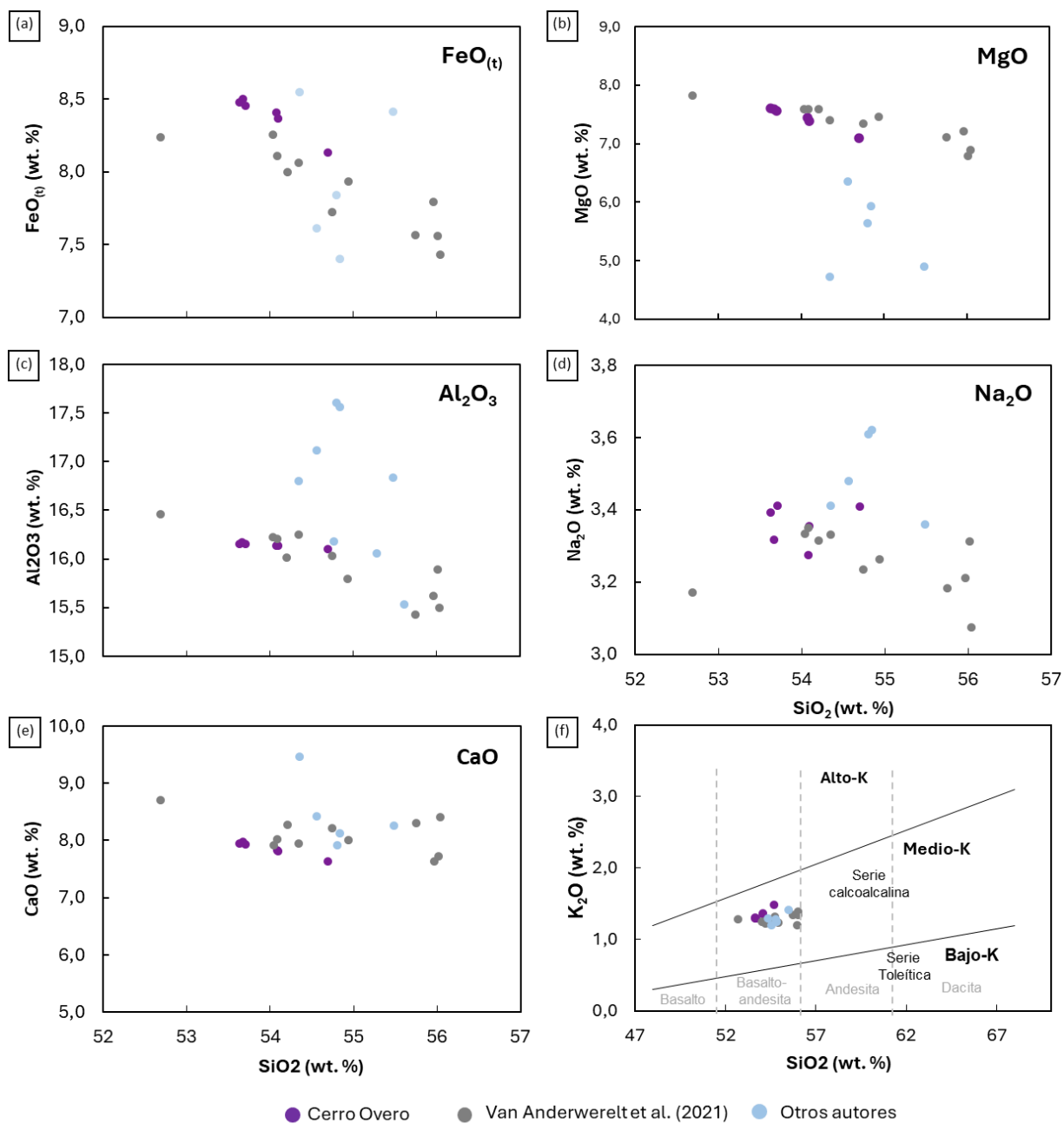
Para la concentración de elementos traza tanto el Ni como el Cr presentan una tendencia en la cual disminuye su concentración conforme aumenta el contenido de sílice. Dicho

comportamiento se debe al fraccionamiento de olivino, espinelas y en menor medida piroxenos, los cuales incorporan respectivamente el Ni y el Cr en sus estructuras.

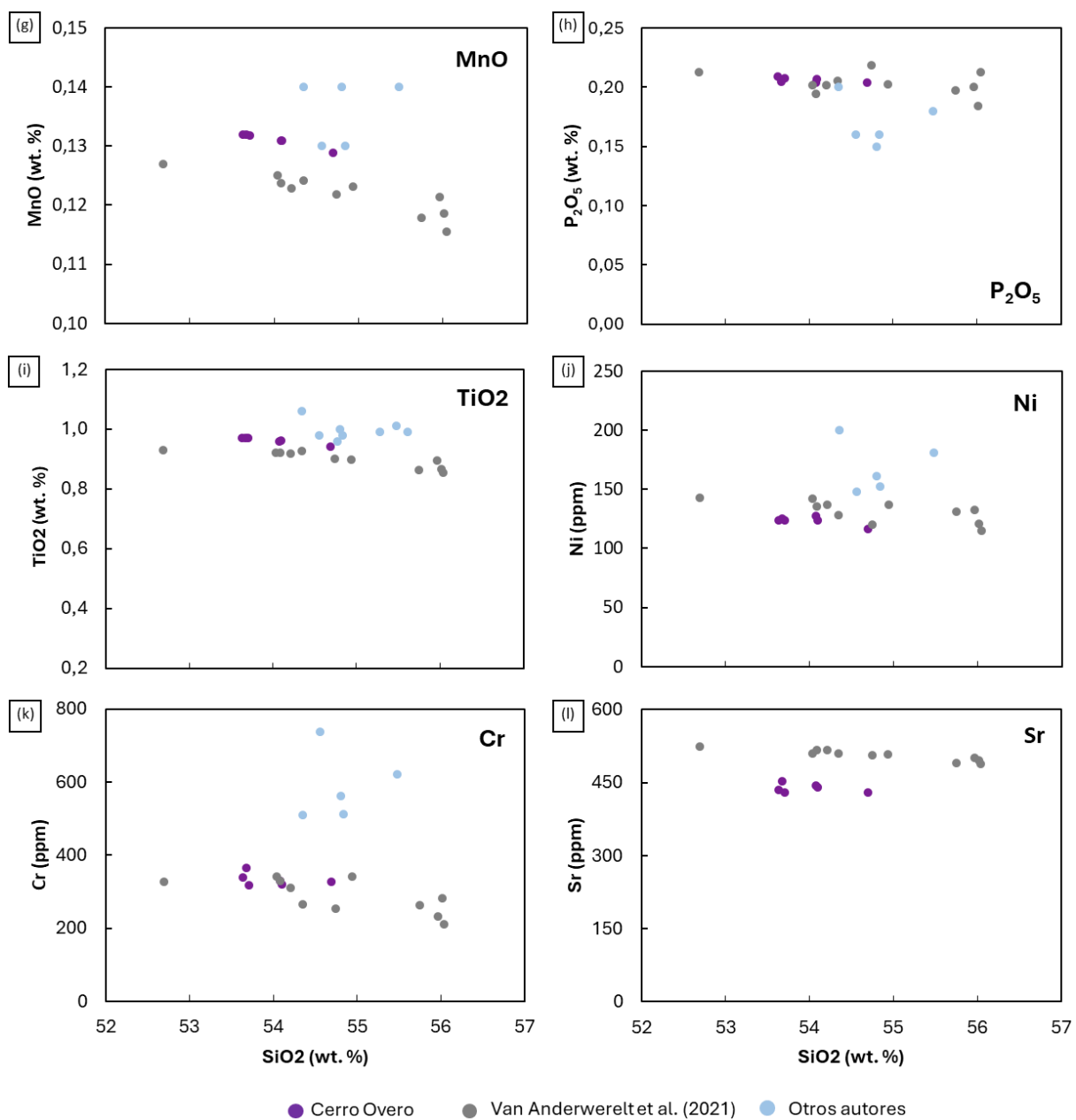
En cuanto a las anomalías observadas en los diagramas multielementales (Fig. 4.11) se observa un típico comportamiento de ambiente de subducción, mostrando ausencia de anomalía de Eu y una clara depresión Nb-Ta, a excepción de la muestra FVS-CO-11, la cual presenta una anomalía positiva de Ta, probablemente producto de contaminación en el tratamiento de la muestra previa a los análisis.

Con respecto a las concentraciones de Sr, el volcán Cerro Overo muestra señales elevadas para un magma primitivo (Fig. 5.31), y que de acuerdo con las relaciones  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  relativamente radiogénicas (0,7063) y carácter evolucionado, indicaría que Cerro Overo ha experimentado un grado de diferenciación no despreciable, debido a procesos litosféricos MASH y AFC (Van Alderwerelt et al., 2021).

Se ha planteado que estos magmas obedecen a procesos de ascenso rápido turbulento de asimilación (ATA; Kerr et al., 1995), lo que quedaría demostrado por una disminución de los contenidos de la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  con respecto al Sr decreciente, y un aumento del  $\text{SiO}_2$  durante la diferenciación, dado a una asimilación selectiva asociada al ascenso de magmas máficos a través de la corteza a gran velocidad. Esto debido a que la alta temperatura de los magmas máficos ascendentes puede conducir a la fusión selectiva y asimilación de material félsico de la corteza durante periodos de tiempo relativamente cortos (Ureta et al., 2021). Sin embargo, las variaciones en las señales isotópicas observadas son mínimas por lo que no se podría asegurar un proceso ATA, pero si procesos de asimilación de la corteza, respaldado además por la presencia de xenolitos más diferenciados en los fragmentos densos de Cerro Overo, descritos en Van Alderwerelt et al. (2021) y Ureta et al. (2021).



**Figura 5.2: Diagramas de Harker.** Seleccionados para (a) MgO, (b) Oxido de Fe total (FeO\*), (c) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (d) N<sub>2</sub>O, (e) CaO, (f) K<sub>2</sub>O todos en porcentaje en peso con respecto a SiO<sub>2</sub> (wt. %) para las muestras de Cerro Overo, Van Alderwerelt y otros autores (Ureta et al., 2021 y Rosner et al., 2003).



**Figura 5.3:** Diagramas de Harker seleccionados para (g) MnO, (h) P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, (i) TiO<sub>2</sub>, (j) Ni, (k) Cr y (l) Sr, todos los elementos mayores en porcentaje en peso con respecto a SiO<sub>2</sub> (wt. %) y en ppm para los elementos traza, para las muestras de Cerro Overo, Van Alderwerelt y otros autores (Ureta et al., 2021; Rosner et al., 2003).

### 5.3 Caracterización textural y geoquímica de fenocristales de olivino

El análisis de la información química almacenada en las fases magmáticas es una de las bases de la petrología volcánica, cuyo objetivo es inferir la evolución de las propiedades del magma en búsqueda de los procesos que influyen en el comportamiento eruptivo (Welsch et al., 2014). Para composiciones máficas, los cristales de olivino pueden proporcionar acceso a eventos que ocurren cerca del liquidus de fundidos derivados del manto (Salas et al., 2021). Las texturas de estos cristales son muy sensibles a las condiciones termodinámicas y cinéticas de cristalización, permitiendo así la reconstrucción de la historia tanto de los cristales como del magma que los alberga (Welsch et al., 2013).

Por consiguiente, es esencial comprender el proceso de crecimiento de los olivinos para desentrañar esta información. Diversos autores (Salas et al., 2021; Welsch et al., 2013; Milman-Barris et al., 2008; Shea et al., 2015) han señalado que los cristales de olivino no adoptan un patrón de crecimiento concéntrico, que registraría eventos de manera secuencial desde lo más antiguo en el núcleo hasta lo más joven en el borde. En lugar de ello, proponen una narrativa más compleja en la cual los cristales, con formas cristalinas dendríticas, esqueletales o poliedrales, siguen patrones de zonación discontinua. Esto como respuesta a un pronunciado *undercooling* evidenciado en las texturas presentes en los cristales, propiciando el atrapamiento de inclusiones fundidas primarias en los cristales de olivino (Metrich et al., 2008).

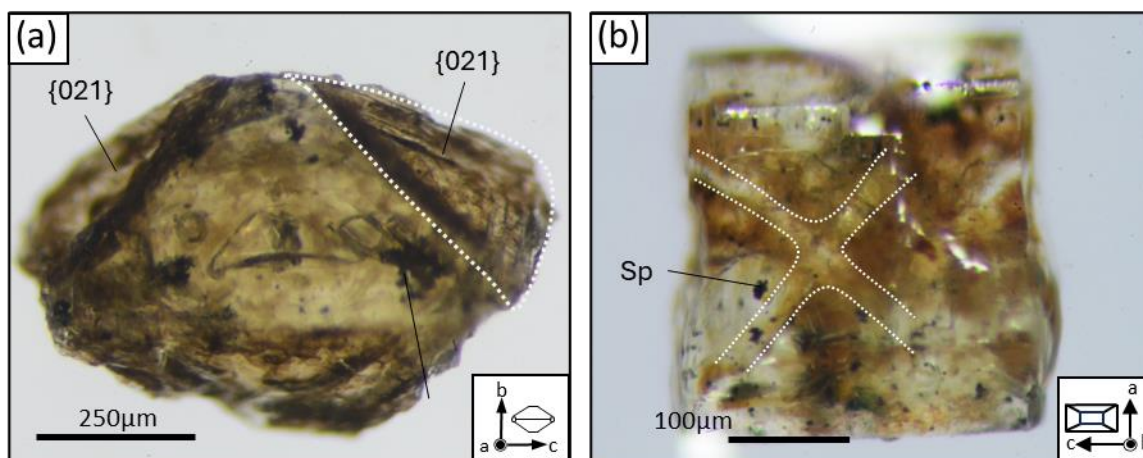
#### 5.3.1 Morfologías cristalinas

Las texturas cristalinas de los olivinos son una respuesta a condiciones termodinámicas específicas. En estudios experimentales Faure et al. (2003a, 2007), observó que el olivino desarrolla un hábito dendrítico por crecimiento rápido a un fuerte grado de *undercooling* ( $-\Delta T > 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; es decir, la temperatura cae fuertemente por debajo del liquidus). Por el contrario, los cristales desarrollan un hábito esqueletal a un grado moderado de *undercooling* ( $-\Delta T = 20 - 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y un hábito poliedral a un grado bajo de subenfriamiento ( $-\Delta T < 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) en condiciones cercanas al equilibrio.

A partir de las observaciones realizadas en los cristales de olivino de Cerro Overo, se han identificado distintas texturas, clasificadas en tres grupos: dendríticas (Grupo 1), esqueléticas (Grupo 2) y poliédricas (Grupo 3). Estos grupos se definen en función del grado de maduración

de sus estructuras cristalinas. Se considera un cristal maduro a los cristales poliedrales, que destacan por el desarrollo completo de sus caras, careciendo de cavidades abiertas.

Los cristales inmaduros, como los cristales esqueléticos, se distinguen por presentar cavidades abiertas en la cara  $\{021\}$  y en el menor de los casos la cara  $\{010\}$  (Fig. 5.4a). Los cristales dendríticos inmaduros, se distinguen por la aparición de cuatro dendritas interconectadas que irradian desde el centro del cristal a lo largo del plano cristalográfico  $ac$  (Fig. 5.4b). En la tabla 4.2 del capítulo de resultados, se muestra la abundancia de los olivinos de acuerdo con sus texturas en los niveles tefra, predominando las texturas esqueléticas (>39% vol.) en todos los niveles descritos, siguiendo los cristales poliedrales y luego dendríticos, para un total 162 cristales descritos. Para el volcán La Albóndiga, solo se observaron estas texturas cristalinas en secciones transparentes, en los que predominaron texturas esqueléticas. Por lo que es de potencial interés estudiar a futuro sus depósitos de tefra y capturar olivinos para la caracterización de sus morfologías.



**Figura 5.4: Texturas de olivinos a la lupa binocular.** (a) Olivino esquelético con vista perpendicular al eje a. Caras  $\{021\}$  vacías, estructura de embudo; (b) Olivino dendrítico visto perpendicular al eje b. Dendritas irradian desde el centro del cristal.

Por lo que tanto Cerro Overo y La Albóndiga, parecen responder principalmente a un grado moderado de *undercooling* de los magmas generadores de estos volcanes. La masiva ocurrencia de texturas esqueléticas en desmedro de aquellas poliedrales en los fenocristales de olivino, es indicativo de un enfriamiento rápido del magma hospedante; lo cual podría estar asociado a un tránsito transcortical rápido y una breve estadía de los cristales en el ambiente magmático de

alta temperatura; donde las texturas esqueléticas no alcanzan a madurar a condiciones poliedrales.

### 5.3.2 Química mineral en fenocristales de olivinos

Los depósitos tempranos de tefra muestran olivinos con altos contenidos de Fo y Ni ( $Fo_{87}$ ; Ni  $\sim < 4200$  ppm), lo que indica la presencia de un magma poco evolucionado que alcanzó la superficie en un entorno de corteza engrosada (70 km; Beck et al., 1996). Estas características sugieren que estos olivinos podrían haberse formado en condiciones de equilibrio con el manto, considerando los altos contenidos de forsterita y níquel. Esto es consistente con lo mencionado por Van Alderwerelt et al. (2021), quien determina para fenocristales de olivino de Cerro Overo un alto contenido en forsterita ( $Fo_{86}$ ) y Ni (2400 ppm), los cuales contienen inclusiones fundidas con tres poblaciones composicionales distintas. Notablemente, una población de inclusiones es menos evolucionada que la roca hospedadora, con composiciones basálticas (media de 49,3 % en peso de  $SiO_2$ , 7,1 % en peso de MgO) y relaciones isotópicas ( $^{87}Sr/^{86}Sr$  de 0,70376-0,70432) que son los menos evolucionados que se han descrito hasta ahora para las rocas volcánicas de la ZVC.

En comparación, La Albóndiga muestra composiciones similares a Cerro Overo, aunque con concentraciones ligeramente menores de Ni, que oscilan bajo los 3700 ppm y una media de  $\sim 1700$  ppm de Ni. Esta leve diferencia entre ambos volcanes sitúa a los depósitos de Cerro Overo como menos evolucionados que los de La Albóndiga.

El patrón de evolución de la química mineral en un espacio Fo-Ni muestra la evolución de la cristalización del olivino. El níquel presenta tasas de difusión relativamente rápidas dependientes del contenido de forsterita (Gordeychik et al., 2018). Como resultado, durante las etapas iniciales de la formación del olivino a altas presiones y temperaturas, el níquel alcanza sus concentraciones más elevadas, las cuales van disminuyendo a medida que aumenta la diferenciación, como se muestra en las tendencias de la Figura 4.12a.

Además, el olivino incorpora a su estructura elementos como el calcio (Ca) y el manganeso (Mn), cuyas tendencias observadas en relación con las concentraciones de Fo, junto con el níquel (Fig. 4.12a, b y c) para ambos volcanes, indican proceso de cristalización fraccionada dominada por olivinos. Estas tendencias para valores más altos de Ca y Mn y más bajos para los contenidos



de Ni y Fo, sugieren la cristalización de otras fases, como clinopiroxeno, espinelas y plagioclasas, que co-cristalizan junto con los olivinos, en condiciones de menor presión y temperatura.

La concentración de calcio de los olivinos depende tanto del contenido de forsterita del olivino como de la composición del fundido coexistente. El olivino es muy sensible a las concentraciones de alúmina, álcalis y hierro ferroso presentes en el fundido, por lo que la cristalización de plagioclasa a niveles someros de la corteza aumenta la relación  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ , y el contenido de álcalis ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) en el fundido, favoreciendo la incorporación de Ca en el olivino (Libourel, 1999).

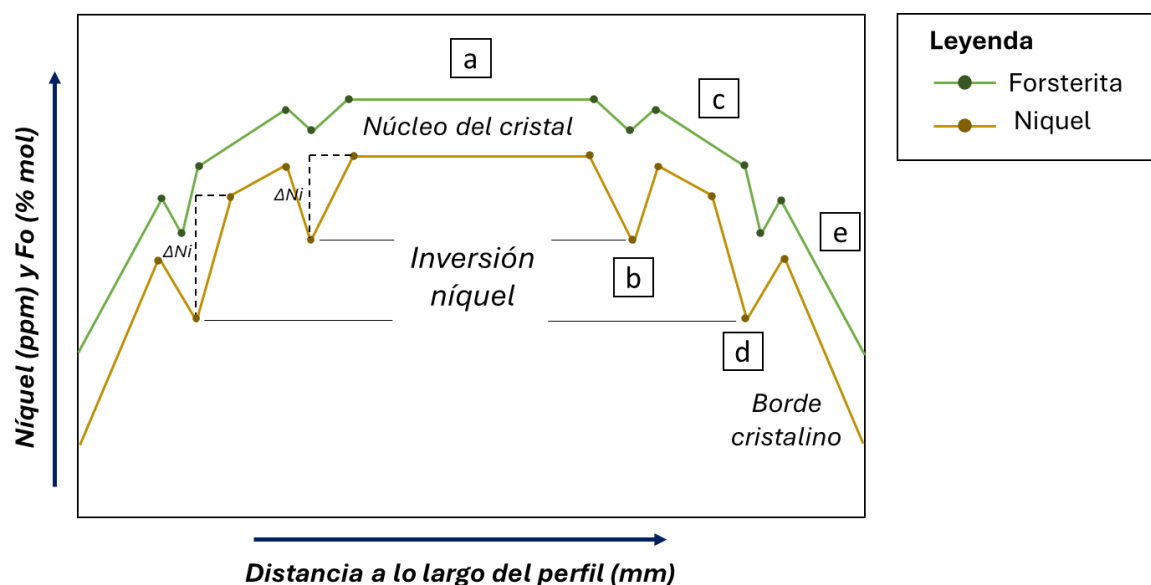
Estas composiciones en olivinos, sirve como evidencia del fundido parental, ya que, en casi todos los magmas derivados del manto y a diversas presiones a lo largo de la corteza, el olivino es la primera fase en cristalizar (Salas et al., 2017).

### **5.3.3 Historia de crecimiento de los cristales de Cerro Overo**

Al explorar más en detalle la estructura de los olivinos, se han identificado patrones de zonación oscilatoria a través de análisis detallados mediante microsonda electrónica. Estos patrones revelan inflexiones en las composiciones de Fo y Ni a lo largo de las secciones analizadas para los cristales de Cerro Overo. En la Fig. 5.5, se representa de manera esquemática estas variaciones a lo largo de un cristal de olivino, a partir de las observaciones de los cristales A-18, A-20 y FVS-CO (Fig. 4.13).

Este modelo (Fig. 5.5) comprende dos estructuras de zonación y un núcleo (a) con una composición homogénea, caracterizada por variaciones menores al 1% en Fo y mayores en Ni (~ 100 - 1000 ppm). El límite de esta zona homogénea se distingue por una abrupta disminución en las concentraciones de níquel y, en menor medida de forsterita (b), luego se restablecen sus concentraciones, prosiguiendo con una disminución homogénea en sus concentraciones de Fo y Ni. Esta secuencia se ve interrumpida nuevamente por una inversión en las proporciones de níquel y forsterita (d). Culminando hacia el extremo con una zonación normal (e). Las variaciones en las proximidades del borde son más pronunciadas que en el centro del cristal, del orden de 600 - 1500 ppm de Níquel y Fo 1 - 4 %. Además, es posible observar cierta simetría

entre las oscilaciones de los elementos, dependiendo de la sección cristalográfica observada y la conservación de los patrones de zonación en el cristal.

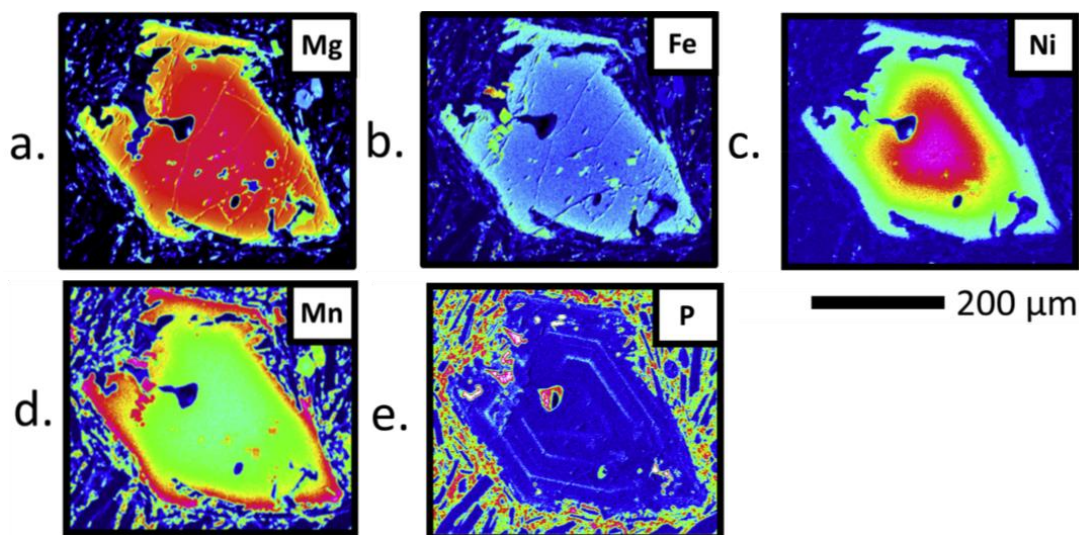


**Figura 5.5: Modelo esquemático de la zonación elemental de los cristales de Cerro Overo.** Perfil elemental de las composiciones de Ni (ppm; línea amarilla) y Fo% (línea verde) a lo largo de un cristal de olivino (mm). Se indica las variaciones composicionales en el cristal: (a) núcleo cristalino, (b-d) inversión de níquel y forsterita, (c - e) zonación normal.

Considerando que la maduración textural de los cristales ocurre del centro al borde para la figura 5.5, las zonas en que el Ni y Fo siguen un patrón de zonación normal, que representan estructuras de crecimiento rápido. Mientras que las zonas empobrecidas en Ni-Fo son una respuesta a efectos secundarios de dicho crecimiento, en que las condiciones fuera de equilibrio provocan zonas concéntricas notablemente deprimidas.

Este modelo de crecimiento esquelético implica un consumo rápido de los principales constituyentes del olivino (Mg y Fe) en el líquido residual, lo que da lugar a una capa límite enriquecida en elementos incompatibles, especialmente los de más lenta difusión en el fundido, como lo son P, Cr, Al, conformando una “zona muerta” transitoria en la superficie de los marcos cristalinos (Welsch et al., 2014).

Van Alderwerelt et al. (2021) realizaron mapas cristalinicos EPMA de alta resolución para un cristal de olivino de los fragmentos densos de Cerro Overo ubicados en la parte más superficial de sus depósitos. En ellos se observan núcleos ricos en Mg y Ni, y relativamente bajos en Fe y Mn en comparación con los bordes de los cristales (Fig. 5.6).



**Figura 5.6:** Mapas cualitativos de rayos X obtenidos vía EPMA. Se observa la distribución de elementos en un fenocristal de olivino. (a) Magnesio, (b) Hierro, (c) Níquel, (d) Manganeseo, y (e) Fósforo. Extraída de Van Alderwerelt et al. (2021).

Estos muestran un gradiente de difusión núcleo-borde más gradual para los elementos menores (Ni y Mn), que para los elementos mayores (Fe y Mg), sin evidencia de un patrón oscilatorio. Sin embargo, para el P se observa una zonación a escala fina, la cual se encuentra vinculada a las zonas de crecimiento del cristal.

La presencia de estas zonas ricas en P en cristales de olivino sugiere la incorporación de cantidades anormales de P durante su cristalización. Dadas las formas de estas zonas y la baja tasa de difusión del P en el olivino (Milman-Barris et al., 2008), es probable que estas hayan experimentado un transporte mínimo en el mineral al verse superadas por el avance de la superficie de crecimiento, conservando su posición original de formación (Welsch et al., 2014). Por lo que la zonación para Mg, Mn, Fe y Ni, al poseer mayores tasas de difusión tienden a "borrarse", ya que se necesitan tiempos de residencia limitados en los niveles de la corteza para preservar la zonación composicional del olivino rico en forsterita y así evitar la difusión elemental a temperaturas magmáticas (Gordeychik et al., 2018)

Estas evidencias texturales en los olivinos de Cerro Overo delinear un patrón evolutivo que respalda las estructuras de zonación y su relación con el crecimiento por adición de marcos cristalinos descritos en otros volcanes monogenéticos en ambiente de arco, como el Volcán Los Hornitos, en la Zona Volcánica Sur de Los Andes (Salas et al., 2021), el volcán Parícutín en México (Albert et al., 2020) y el Volcán La Poruña, en las cercanías del Volcán Ollague en la Zona Volcánica Central (Mattioli et al., 2006).

Los olivinos de Cerro Overo ofrecen información valiosa sobre los procesos de crecimiento cristalino, zonación composicional y condiciones magmáticas que pueden contribuir a una comprensión más profunda de la evolución de estos sistemas volcánicos. Estos análisis podrían ser complementados a futuro, con datos de termobarometría que permitan detallar aún más la historia evolutiva de los cristales de olivino y así determinar características como las tasas de ascenso y tiempos de residencia de los magmas de Cerro Overo.

## 6. CONCLUSIONES

El estudio detallado de los depósitos de tefra de Cerro Overo proporcionan valiosa información sobre la naturaleza explosiva de la actividad freatomagmática y su evolución. Las transiciones en los depósitos, según el aporte de material juvenil y accidental, indican variaciones en la intensidad de la explosividad, estrechamente vinculada con la relación agua/magma. La transición de actividad freatomagmática a una actividad hawaina sugiere cambios en esta interacción durante la erupción. Estas observaciones podrían ser complementadas con estudios granulométricos detallados de los depósitos piroclásticos para definir de manera cuantitativa el estilo eruptivo y relación agua/magma predominante a lo largo de la historia eruptiva de Cerro Overo.

La geoquímica de los depósitos tempranos de tefra revelan composiciones basáltico-andesíticas, indicando tendencias composicionales de arco en ambiente de subducción. Las concentraciones de elemento mayores y menores muestran comportamientos afines con los procesos de diferenciación por cristalización fraccionada. Además, de procesos de asimilación cortical no despreciable, vinculados a procesos litosféricos (Van Alderwerelt et al., 2021)

El análisis detallado de los fenocristales de olivino muestra características morfológicas y de química mineral, que son sensibles a las condiciones termodinámicas y cinéticas de cristalización, entregando información sobre la velocidad de ascenso de los magmas y la evolución de la cristalización fraccionada dominada por olivinos. Tanto Cerro Overo como La Albóndiga exhiben una dominancia de patrones esqueletales, indicando un rápido enfriamiento del magma, debido a ascenso rápido de este, donde las texturas esqueletales no alcanzan a madurar a condiciones poliedrales.

Además, la historia de crecimiento de los cristales evidencia patrones de zonación oscilatoria y su relación con el crecimiento por adición de marcos cristalinos, similar a lo descrito en estudios anteriores (Salas et al., 2021; Welsch et al., 2013; Milman-Barris et al., 2008; Shea et al., 2015).

El estudio de los olivinos por tanto proporciona una comprensión integral de los procesos magmáticos, siendo indicadores clave para entender la evolución de los sistemas volcánicos, que, complementado con análisis composicionales y petrográficos, permiten tener una noción de la evolución de la actividad de un volcán.

## 7. REFERENCIAS

- Albert, H., Larrea, P., Costa, F., Widom, E., & Siebe, C. (2020). Crystals reveal magma convection and melt transport in dyke-fed eruptions. *Scientific Reports*, 10(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68421-4>
- Allmendinger, R. W., Jordan, T. E., Kay, S. M., & Isacks, B. L. (1997). The evolution of the Altiplano-Puna plateau of the Central Andes. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 25(1), 139–174.
- Amigo, A., Bertin, D., & Orozco, G. (2012). Peligros Volcánicos de la zona norte de Chile, Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental 17, 45 p., 1 mapa en 5 hojas escala 1:250.000, 1 mapa escala 1:3.000.000. Santiago.
- Beck, S. L., Zandt, G., Myers, S. C., Wallace, T. C., Silver, P. G., & Drake, L. (1996). Crustal thickness variations in the Central Andes. *Geology*, 24(5), 407–410. <https://doi.org/10.1130/0091-7613>
- Blum-Oeste, M., & Wörner, G. (2016). Central Andean magmatism can be constrained by three ubiquitous end-members. *Terra Nova*, 28(6), 434–440.
- Cahill, T., & Isacks, B. L. (1992). Seismicity and shape of the subducted Nazca plate. *Journal of Geophysical Research*, 97, 17.503–17.529.
- Cas, R. A. F., & Wright, J. V. (1987). *Volcanic Successions: Modern and Ancient*. Chapman & Hall. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-3167-1>
- Cervetto, M. (2012). Caracterización hidrogeológica e hidrogeoquímica de las cuencas: Salar de Aguas Calientes 2, Puntas Negras, Laguna Tuyajto, Pampa Colorada, Pampa Las Texas y Salar El Laco, II Región de Chile. 220p. Memoria para optar al título de geólogo. Universidad de Chile.
- Charrier, R., Pinto, L., & Rodríguez, M. P. (2007). Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. In T. Moreno & W. Gibbons (Eds.), *The Geology of Chile* (pp. 21–114). Geological Society of London, 2007.
- De Silva, S. L. (1989). Altiplano-Puna volcanic complex of the central Andes. *Geology (Boulder)*, 17(12), 1102–1106.
- De Silva, S. L., & Francis, P. W. (1991). *Volcanoes of the Central Andes*. Springer-Verlag, Berlin, p. 216.
- De Silva, S. L., & Kay, S. M. (2018). Turning up the heat: high-flux magmatism in the Central Andes. *Elements*, 14(4), 245–250.
- Faure, F., Trolliard, G., & Soulestin, B. (2003). TEM investigation of forsterite dendrites. *American Mineralogist*, 88, 1241–1250.

- Faure, F., Schiano, P., Trolliard, G., Nicollet, C., & Soulestin, B. (2007). Textural evolution of polyhedral olivine experiencing rapid cooling rates. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 153, 405–416. <https://doi.org/10.1007/s00410-006-0151-3>
- Gardeweg, M., Sparks, R., & Matthews, S. (1998). Evolution of Lascar volcano, northern Chile. *Journal of the Geological Society*, 155, 89-104.
- Geología de la Hoja Toconao, Región de Antofagasta. (1982). Ramírez, C. F., & Gardeweg, M. 117 p., 1 mapa escala 1:250.000.
- Godoy, B., Taussi, M., Gonzalez-Maurel, O., Renzulli, A., & Hernandez-Prat, L. (2019). Linking the mafic volcanism with magmatic stages during the last 1 Ma in the main volcanic arc of the Altiplano-Puna Volcanic Complex (Central Andes). *Journal of South American Earth Sciences*, 95.
- Gordeychik, B., et al. (2018). Growth of, and diffusion in, olivine in ultra-fast ascending basalt magmas from Shiveluch volcano. *Scientific Reports*, 8, 11775. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-30158-3>
- González, G., Cembrano, J., Aron, F., Veloso, E. E., & Shyu, J. B. H. (2009). Coeval compressional deformation and volcanism in the central Andes, case studies from northern Chile (23°S–24°S). *Tectonics*, 28(6), TC6003. <https://doi.org/10.1029/2009TC002538>
- González-Ferrán, O. (1995). *Volcanes de Chile*. Instituto Geográfico Militar, Santiago, 640 p.
- González-Maurel, O., le Roux, P., Godoy, B., Troll, V. R., Deegan, F. M., Menzies, A., ... & Morata, D. (2019a). The great escape: petrogenesis of low-silica volcanism of Pliocene to Quaternary age associated with the Altiplano-Puna Volcanic Complex of northern Chile (21°10'-22°50'S). *Lithos*, 346–347, 105162. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2019.105162>
- González-Maurel, O., Godoy, B., le Roux, P., Rodríguez, I., Marin, C., Menzies, A., ... & Vargas, M. (2019b). Magmatic differentiation at La Poruña scoria cone, Central Andes, northern Chile: evidence for assimilation during turbulent ascent processes, and genetic links with mafic eruptions at adjacent San Pedro volcano. *Lithos*, 338–339, 128–140. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2019.03.033>
- Grosjean, M. (1994). Paleohydrology of the Laguna Lejía (north Chilean Altiplano) and climatic implications for late-glacial times. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 109(1), 89-100.
- Houghton, B. F., Smith, R. T., & Wilson, C. J. (1996). Mixed deposits of complex magmatic and phreatomagmatic volcanism: an example from Crater Hill, Auckland New Zealand. *Bulletin of Volcanology*, 48, 59–66.



- Houghton, B., White, J. D. L., & Van Eaton, A. R. (2015). Phreatomagmatic and Related Eruption Styles. In H. Sigurdsson, B. Houghton, H. Rymer, J. Stix, & S. McNutt (Eds.), *The Encyclopedia of Volcanoes* (pp. 537–552). (2015).
- Isacks, B. L. (1988). Uplift of the central Andean plateau and bending of the Bolivian orocline. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 93(B4), 3211–3231.
- Irvine, T. N. J., & Baragar, W. R. A. F. (1971). A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8(5), 523–548. <https://doi.org/10.1139/e71-055>
- Jochum, K. P., Weis, U., Schwager, B., Stoll, B., Wilson, S. A., Haug, G. H., ... & Enzweiler, J. (2016). Reference Values Following ISO Guidelines for Frequently Requested Rock Reference Materials. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 40, 333-350. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.2015.00392.x>
- Kerr, A. C., Kempton, P. D., & Thompson, R. N. (1995). Crustal assimilation during turbulent magma ascent (ATA): new isotopic evidence from the Mull Tertiary lava succession, NW Scotland. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 119(2), 142 – 154. <https://doi.org/10.1007/BF00307277>
- Le Maitre, R. W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre, J., Le Bas, M. J., ... & Zanettin, B. (1989). A classification of igneous rocks and glossary of terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks (no. 552.3 CLA). *International Union of Geological Sciences*, 193.
- Mamani, M., Wörner, G., & Sempere, T. (2010). Geochemical variations in igneous rocks of the Central Andean orocline (13°S to 18°S): tracking crustal thickening and magma generation through time and space. *Geological Society of America Bulletin*, 122(1–2), 162–182. <https://doi.org/10.1130/B26538.1>
- Matteini, M., Mazzuoli, R., Omarini, R., Cas, R., & Maas, R. (2002a). The geochemical variations of the upper Cenozoic volcanism along the Calama-Olacapato-El Toro transversal fault system in Central Andes (~24°S): Petrogenetic and geodynamic implications. *Tectonophysics*, 345, 211-227. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(01\)00214-1](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(01)00214-1)
- Matteini, M., Mazzuoli, R., Omarini, R., Cas, R., & Maas, R. (2002b). Geodynamical evolution of Central Andes at 24 S as inferred by magma composition along the Calama–Olacapato–El Toro transversal volcanic belt. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 118(1-2), 205–228.
- Mattioli, M., Renzulli, A., Menna, M., & Holm, P. M. (2006). Rapid ascent and contamination of magmas through the thick crust of the CVZ (Andes, Ollagüe region): Evidence from a nearly aphyric high-K andesite with skeletal olivines. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 158(1-2), 87–105. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2006.04.019>

- Metrich, N., & Wallace, P. (2008). Volatile Abundances in Basaltic Magmas and Their Degassing Paths Tracked by Melt Inclusions. *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, 69, 363-402.
- Milman-Barris, M. S., et al. (2008). Zoning of phosphorus in igneous olivine. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 155, 739–765.
- Moreno, T., & Gibbons, W. (Eds.) (2007). *The Geology of Chile*. Geological Society of London, viii 414 pp. London, Bath.
- Ramírez, C. F., & Gardeweg, M. (1982). *Geología de la Hoja Toconao, Región de Antofagasta*. Ministerio de Minería, 1 mapa escala 1:250.000, 117 p.
- Risacher, F., Alonso, H., & Salazar, C. (1998). *Geoquímica de aguas en cuencas cerradas. I, II y III Regiones de Chile*. Ministerio de Obras Públicas, Universidad Católica del Norte, Institut de Recherche pour le Développement (Ex Orstom), Dirección General de Aguas, S.I.T. N 51.
- Risacher, F., Alonso, H., & Salazar, C. (1999). *Volumen I: Síntesis. Geoquímica de aguas en cuencas cerradas: I, II, III Regiones, Chile*. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, S.I.T. N° 51, Santiago, Chile. 89 pp.
- Rosner, M., Erzinger, J., Franz, G., et al. (2003). Slab-derived boron isotope signatures in arc volcanic rocks from the Central Andes and evidence for boron isotope fractionation during progressive slab dehydration. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 4(8). <https://doi.org/10.1029/2002gc000438>
- Salas, P. A., Rabbia, O. M., Hernández, L. B., & Ruprecht, P. (2017). Mafic monogenetic vents at the Descabezado Grande volcanic field (35.5°S–70.8°W): the northernmost evidence of regional primitive volcanism in the Southern Volcanic Zone of Chile. *International Journal of Earth Sciences*, 106, 1107–1121.
- Salas, P., Ruprecht, P., Hernández, L., et al. (2021). Out-of-sequence skeletal growth causing oscillatory zoning in arc olivines. *Nature Communications*, 12, 4069. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24272-2>
- Salisbury, M. J., Jicha, B. R., de Silva, S. L., Singer, B. S., Jiménez, N. C., Ort, M. H., ... (2011). <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar chronostratigraphy of Altiplano-Puna volcanic complex ignimbrites reveals the development of a major magmatic province. *Geological Society of America Bulletin*, 123(5–6), 821–840. <https://doi.org/10.1130/B30280.1>
- Shea, T., Lynn, K. J., & Garcia, M. O. (2015). Cracking the olivine zoning code: distinguishing between crystal growth and diffusion. *Geology*, 43, 935–938.

- Sun, S.-S., & McDonough, W. F. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society of London, Special Publications*, 42(1), 313–345. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>
- Ureta, G. (2015). Evolución geológica y petrológica del Volcán Cerro Overo (23°31'S - 67°39'W), Región de Antofagasta, Chile. Bachelor's Degree Thesis, Universidad Católica del Norte, Antofagasta, Chile.
- Ureta, G., Németh, K., Aguilera, F., et al. (2021). A window on mantle-derived magmas within the Central Andes: eruption style transitions at Cerro Overo maar and La Albóndiga lava dome, northern Chile. *Toro Volcán*, 83(19).
- Van Alderwerelt, B. M. E. D. R. (2017). Diverse monogenetic volcanism across the main arc of the central Andes, northern Chile. PhD Thesis, University of Iowa.
- Van Alderwerelt, B., Ukstins, I. A., Ramos, F. C. (2021). Sr isotopes and geochemistry of Cerro Overo maar provide a unique window into arc magma genesis in the Central Volcanic Zone of the Andes. *Lithos*, 386–387, 105978. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2021.105978>
- Welsch, B., Faure, F., Famin, V., Baronnet, A., & Bachèlery, P. (2013). Dendritic crystallization: a single process for all the textures of olivine in basalts, *Journal of Petrology*, 54, 539–574. <https://doi.org/10.1093/petrology/egs077>
- Welsch, B., Hammer, J., & Hellebrand, E. (2014). Phosphorus zoning reveals dendritic architecture of olivine. *Geology*, 42, 867–870.

## 8. ANEXO

### 8.1 Resultados roca total y elementos traza para material escoriáceo de Cero Overo.

Muestras	FVS-CO-03	FVS-CO-06	FVS-CO-07	FVS-CO-11	FVS-CO-12	FVS-CO-13
<b>SiO2</b>	54,69	54,10	54,08	53,63	53,67	53,71
<b>TiO2</b>	0,94	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97
<b>Al2O3</b>	16,10	16,14	16,14	16,15	16,17	16,15
<b>Fe2O3</b>	8,30	8,54	8,58	8,65	8,67	8,62
<b>FeO</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>MnO</b>	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
<b>MgO</b>	7,10	7,39	7,45	7,60	7,59	7,56
<b>CaO</b>	7,64	7,82	7,83	7,95	7,97	7,94
<b>K2O</b>	1,48	1,37	1,36	1,31	1,30	1,30
<b>Na2O</b>	3,41	3,36	3,27	3,39	3,32	3,41
<b>P2O5</b>	0,20	0,21	0,20	0,21	0,20	0,21
<b>FeO(tot)*</b>	8,108	8,108	8,108	8,108	8,108	8,108
<b>#Mg</b>	0,467	0,477	0,479	0,484	0,484	0,483
<b>Sc</b>	19,785	19,191	20,819	20,064	21,265	20,337
<b>Cr</b>	328,003	321,212	329,88	338,18	366,205	317,321
<b>Ni</b>	116,509	123,999	127,134	123,584	125,164	123,963
<b>Zn</b>	62,407	62,315	70,501	62,745	64,071	61,524
<b>Rb</b>	33,254	26,435	28,053	23,803	25,891	24,777
<b>Sr</b>	430,212	440,385	443,458	435,403	453,755	430,351
<b>Y</b>	15,505	14,917	15,582	15,145	15,533	14,954
<b>Zr</b>	98,488	98,008	99,553	98,098	99,454	95,861
<b>Nb</b>	7,9	6,939	7,383	7,189	7,125	6,686
<b>Cs</b>	1,731	1,092	1,18	0,789	0,997	0,872
<b>Ba</b>	291,429	268,774	274,19	269,076	273,285	260,98
<b>La</b>	13,993	13,233	13,359	12,791	13,117	12,613
<b>Ce</b>	28,852	27,373	27,484	26,537	26,879	25,912
<b>Pr</b>	3,651	3,45	3,524	3,402	3,458	3,317
<b>Nd</b>	15,627	15,071	15,32	14,885	15,08	14,562
<b>Sm</b>	3,28	3,255	3,285	3,205	3,281	3,123
<b>Eu</b>	0,916	0,893	0,903	0,891	0,907	0,87
<b>Gd</b>	2,257	2,192	2,214	2,133	2,232	2,102
<b>Tb</b>	0,43	0,422	0,423	0,413	0,421	0,407
<b>Dy</b>	2,68	2,626	2,653	2,589	2,639	2,524
<b>Ho</b>	0,557	0,544	0,549	0,544	0,548	0,526
<b>Er</b>	1,454	1,408	1,431	1,404	1,436	1,377
<b>Tm</b>	0,192	0,189	0,19	0,186	0,189	0,182
<b>Yb</b>	1,39	1,38	1,41	1,358	1,395	1,345
<b>Lu</b>	0,214	0,209	0,209	0,207	0,211	0,202
<b>Hf</b>	2,7	2,692	2,646	2,674	2,697	2,564

<b>Ta</b>	0,809	0,696	0,733	3,443	0,791	0,649
<b>Pb</b>	6,705	6,352	6,784	5,804	6,065	5,795
<b>Th</b>	3,38	2,78	2,826	2,549	2,531	2,363
<b>U</b>	0,982	0,818	0,82	0,727	0,752	0,728

## 8.2 Descripciones de Olivinos Cerro Overo

MUESTR A	CODIGO	FRACCIÓN	CANTIDA D	OBSERVACIONES
FVS-CO-02	M02-E1	0.18 - 0.5 mm	3	Olivino esquelético
	M02-E2	0.18 - 0.5 mm	2	Olivino en desarrollo a forma poliedral.
		0.18 - 0.5 mm		Olivino en desarrollo a forma poliedral.
	M02-E3	0.18 - 0.5 mm	1	Olivino esquelético
	M02-E4	0.18 - 0.5 mm	1	Olivino esquelético
	M02-E5	0.18 - 0.5 mm	1	Olivino esquelético en transición forma poliedral.
	M02-E6	0.18 - 0.5 mm	1	Olivino en desarrollo a forma poliedral.
	M02-E7	0.18 - 0.5 mm	2	Olivino en desarrollo a forma poliedral.
		0.18 - 0.5 mm		Olivino en desarrollo a cristal poliedral, cortado en ac. Presenta desarrollo amorfo adosado en cara b. Bajas impurezas.
	M02-E8	0.18 - 0.5 mm	1	Olivino esquelético, vista en foto perpendicular al eje a-c. Casi poliedral, no se observan con claridad caras desarrolladas perpendiculares a c. Presenta inclusiones de cromoespínela.
	M02-E9	0.18 - 0.5 mm	1	Olivino esquelético, vista desde c. Se logra observar solo la mitad de la de cara c. Forma de flecha. Presenta pocas impurezas de cromo espínela.
	M02-E10	0.18 - 0.5 mm	1	Olivino esquelético (visto desde eje b o c, cuestionable), fracturado por la mitad. Presenta impurezas de cromoespínela
	M02-E11	0.18 - 0.5 mm	1	Olivino esquelético visto desde a con cara bien desarrollada, fracturado en b-c. Presenta impurezas de cromoespínelas
	M02-E12	0.18 - 0.5 mm	1	Olivino esquelético visto desde c, con cara medianamente desarrollada. Fracturado en ab. Presenta baja cantidad de impurezas de cromoespínela.
	M02-E13	0.18 - 0.5 mm	1	Olivino verde oliva claro, forma esquelético (pirámide), vista de a, caras no tan desarrolladas. No presenta inclusiones fundidas o vítreas. Presenta baja cantidad inclusiones de cromoespínelas.
	M02-E14	0.18 - 0.5 mm	1	Olivino verdoso, con forma de cara (buscar esa cara especial que mostro pablo) o dos cristales unidos. Presenta 3 inclusiones fundidas a simple vista e impurezas de cromo espínela. La vista debería ser perpendicular al eje. b
	M02-E15	0.18 - 0.5 mm	1	Olivino esquelético de color verde oliva fracturado en ab y en ac, se logra distinguir la cara 021 y 120, en su interior no se observan inclusiones fundidas, pero si inclusiones de cromo espínela.
	M02-E16	0.18 - 0.5 mm	3	olivino esquelético fracturado en ab y visto desde c, dejando una pequeña porción del cristal. En su interior solo se observan impurezas de cromo espínela y pequeñas burbujas, pero que no corresponde a inclusiones fundidas.
	M02-E17	0,5 - 1 mm	1	Olivino esquelético, fracturado en los ápices del cristal, cara 021 incompleta, con caras desarrolladas. Color ver oliva translucido, en su interior se observan impurezas de cromo espínela, pero no se logran observar inclusiones fundidas.
	M02-E18	0,5 - 1 mm	1	Olivino esquelético fracturado en ab y en la cara 021, en su interior no se observan inclusiones fundidas, pero si inclusiones de cromo espínela. Se observan la mayoría de sus caras y la 021 se encuentra incompleta.
M02-E19	0,5 - 1 mm	1	olivino esquelético fracturado en ab, con caras bien desarrolladas cara 021 casi completa no se observan inclusiones fundidas, pero sí de cromo espínela.	
M02-E20	0,5 - 1 mm	2	Olivino esquelético fracturado en ab de color oliva claro, cara 021 casi completa y oscurecida, en su interior se observan dos inclusiones fundidas en la zona de fractura, presentan tamaño intermedio y de color translucido con formas redondeadas y amorfas con la burbuja de gas, inclusiones de cromo espínela alineados con el esqueleto del cristal.	

	M01-P1	0,5 - 1 mm	1	Olivino poliedral crecimiento en macla, dos cristales contiguos uno más desarrollado que otro. El más desarrollado se logra distinguir la cara 110 y la 021, en el costado se encuentra fracturado en ac, donde se logran ver numerosas inclusiones fundidas de tamaño pequeño redondeadas y de tamaño medio más alargadas, más hacia el borde del cristal. tambien presenta impurezas de cromo espinela.
FVS-CO-03	M03-E1	0,5 - 1mm	1	Olivino esquelletal presenta color verde oliva claro, fracturado en ab dejando una fracción prismática donde solo se observa la cara 110 y el contorno del cristal. En su interior presenta notables inclusiones melt channels al centro del cristal de una tonalidad verdosa más oscura que el cristal, junto a ella se observa una inclusión fundida de forma alargada y tamaño intermedio de color claro, sin embargo, coincide con la zona de fractura vista desde c. Se logra distinguir los bordes del cristal.
	M03-E2	0,5 - 1mm	1	Olivino esquelletal de color verde oliva, fracturado en ac, casi todas sus caras bien desarrolladas a excepción de la 021 que se encuentra levemente incompleta. Presenta inclusiones de cromo espinela alineadas en la zona más claras del cristal además de melt channels alargados al centro del cristal que se observan de buena manera en la zona de fractura del cristal.
	M03-E3	0,5 - 1mm	1	Olivino de forma no identificable, fuertemente fracturado en distinto planos. Presenta color verdoso claro y lavado, además de inclusiones de cromo espinela e inclusiones fundidas que se observan al centro del cristal expuestas por las fracturas del cristal de tamaño muy pequeño y translucidas.
	M03-E4	0,5 - 1mm	1	Olivino de forma hexagonal prismático fracturado en ab. De color verdoso claro lavado. En su interior se observa una pequeña inclusión fundida con forma redondeada, pero muy poco distinguible. Las fracturas dejan un primas hexagonal muy marcado. Además, presenta inclusiones de cromo espinela
	M03-E5	0,5 - 1mm	1	Olivino esquelletal vista desde c y fracturado en ab, de color verde oliva oscuro. Cara 021 incompleta, además se distingue la cara 110, 010 no desarrollada. Presenta inclusiones de cromo espinela y dos inclusiones fundidas pequeñas que afloran en la zona de fractura, de forma alargada y tonalidad oscura.
	M03-E6	0,5 - 1mm	1	Olivino fracturado en cb, de forma esquelletal casi poliedral, de color verdoso lavado. En su interior se observan inclusiones fundidas grandes y alargadas, posibles melt channels, los cuales además presentan más de dos burbujas en su interior, observables en la zona de fractura cb. además, presenta inclusiones de cromo espinelas.
	M03-E7	0,5 - 1mm	1	Olivino esquelletal con vista de c y a, fracturado en cb y ac perfectamente fracturados. Presenta color verdoso oliva lavado, en su interior se observan dos inclusiones de tamaño medio, una alargada y delgada, de color claro y una de tonalidad más oscura ámbar de forma redondeadas, observables de la zona de fractura, además presenta 2 burbujas grande de tonalidad oscura en el centro del cristal.
	M03-E8	0,5 - 1mm	1	Olivino de color verde oliva muy lavado de forma indiferenciada al parecer esquelletal, al parecer se observa la cara 110 y 010 y esta fracturado en ab. Presenta en su interior un melt channel de color más oscuro y forma alargada con dos burbujas en su interior, visto desde 010 y a su lado una inclusión tambien de tonalidad oscura, pero de forma cuadrada de tamaño considerable. En su interior además se observa otra inclusión de tamaño pequeño de forma redondeada y tonalidad oscura al centro de cristal, a lado de unas inclusiones de cromo espinela.
	M03-E8 (2)	0,5 - 1mm	1	M03-E8: olivino esquelletal de color verde oliva lavado, presenta forma indistinguible, abundantemente fracturado. Se logra reconocer cara 110 y al parecer presenta el crecimiento de otros olivinos por la cara b en 010. Presenta abundantes inclusiones de pequeño tamaño y color oscuro y otras de tamaño mayor de color oscuro de forma largada gusano delgado y forma de telaraña 2954 y 2952-56.
	M03-09	0,5 - 1mm	1	cristal de olivino esquelletal de forma irregular color verde oliva, caras no bien desarrolladas, fracturado en ab. Presenta una pequeña inclusión cercana a 001 de forma redondeada y de color levemente más oscuro 2959-2961. Se presenta otras abundantes inclusiones (melt channels) de forma más alargada y de mayor tamaño, además de tonalidades más oscuras al centro del cristal 2964. Es posible observa los frames de la estructura cristalina. Presenta inclusiones de cromo espinela.
	M03-10	0,5 - 1mm	1	olivino esquelletal de color verde oliva lavado, fracturado en ab siendo posible ver solo la parte prismática del cristal una lonja de cristal, por lo que no se observa. En su interior presenta alrededor de 4 inclusiones fundidas de pequeño tamaño en diagonal de color oscuro y forma redondeada. Presentan pocas impurezas de cromo espinela.
	M03-11	0,5 - 1mm	1	cristal olivino esquelletal de color verde oliva, fracturado en ac en la mitad y caras medianamente desarrolladas, 010 poco desarrollada y 021 incompleta. Presenta una pequeña inclusión de tamaño pequeño y de color oscuro con forma redondeada que aflora en la zona de fractura, además de impurezas de cromo espinela.
	M03-E12	0,5 - 1mm	1	cristal esquelletal fracturado por la mitad en ab, con caras incompletas pero distinguibles (021; 001, 110). Color verde oliva, en su interior se observa pequeña inclusión fundida del cristal de forma redondeada atravesada por la zona de fractura. además, presenta impureza de cromo espinela.
M03-E13	0,5 - 1mm	1	cristal esquelletal fracturado en ab por la mitad y en la cara 001. se logra distinguir la cara 110 y un poco las 021. color verde oliva oscuro, en su interior en c se observan tres pequeñas inclusiones fundidas de color más oscuras, de forma redondeada al centro de la cara. Presenta impurezas de cromo espinela.	

	M03-E14	0,5 - 1mm	1	crystal esquelletal fuertemente fracturado (en ab y ac por la mitad), de color verde oliva oscuro dado la cantidad de vidrio alrededor del cristal. En su interior se logra ver una inclusión fundida de tamaño medio redondeada y de color más oscuro y desarrollos de melt channels que atraviesan el cristal, los cuales presenta tonalidades más oscuras., en la cara b. solo se logra distinguir cara 110.
	M03-E15	0,5 - 1mm	1	Olivino esquelletal color verde oliva claro, fracturado en ab y ac. En su interior no se observan inclusiones fundidas, pero si se logra observar inclusiones de cromo espinela. Cara 021 poco desarrollada y 010 no desarrollada.
	M03-E16	0,5 - 1mm	1	Olivino esquelletal de color verde oliva tonalidad adquirida por vidrio adosado, fracturado en ab y en 001. Caras medianamente desarrolladas, 010 no se logra distinguir. En su interior se observa inclusiones de cromo espinela, pero fundidas.
	M03-e17	0,5 - 1mm	1	Olivino esquelletal de color verde oliva, se reconoce cara 021 y 110; fracturado en ac. En su interior se logra solo distinguir inclusiones de cromo espinela.
	M03-E18	0,5 - 1mm	1	Olivino esquelletal de color verde oliva claro, fracturado en ac y en 001. no se observan inclusiones fundidas en su interior, pero si inclusiones de cromo espinela. Cara 010 no desarrollada.
	M03-D1	0,5 - 1mm	1	Olivino dendrítico, de color verde oliva claro con algunas tonalidades anaranjadas. Se observa x en cristal de sección primatica delgada.
	M03-D2	0,5 - 1mm	1	Olivino dendrítico, con X levemente marcada, presenta color verde oliva oscuro y abundantes inclusiones fundidas o gaseosa, de tamaño grande y pequeñas. Cristal prismático delgado
	M03-P1	0,5 - 1mm	1	Cristal poliedral más plano y alargado, de color verde oliva lavado. Se encuentra fracturado en ab en la parte apical del cristal, en su interior se observa una gran inclusión fundida de forma alargada y algunas más pequeñas.
	M03-P2	0,5 - 1mm	1	Cristal poliedral completamente desarrollado de color verde oliva oscuro. Presenta todas sus caras desarrolladas y en la cara (010) presenta pequeñas y abundantes inclusiones fundidas. además, presenta cromo espinelas
	M03-P3	0,5 - 1mm	1	Olivino poliedral de color verde oliva lavado, con caras bien desarrolladas y sin fracturas. Presenta una gran inclusión fundida en la cara 010 del cristal. Tambien posee cromoespinelas.
	M03-P4	0,5 - 1mm	1	Olivino poliedral color verde oliva claro, caras bien desarrolladas (021, 110, 021). Presenta una gran inclusión fundida cercana a la cara 021, y otras pequeñas cercanas a la cara 110.
	M03-P5	0,5 - 1mm	1	Olivino poliedral fuertemente fracturado, en ab y ac, color verde oliva translucido, se logra distinguir cara 021, 001 y 010. En su interior se observan inclusiones de cromoespinela e inclusiones fundidas de tamaño mediano de forma redondeada y tonalidad más oscura, tambien se observan dos inclusiones más pequeñas y redondeadas de la misma tonalidad al centro del cristal.
FVS-CO-05	M05-P1	0,5 - 1mm	1	Olivino poliedral de color verde oliva claro, con inclusiones fundidas cercana a la cara 101. La cara 010 no se Encuentra bien desarrollada. además, presenta inclusiones de cromo espinela. No presenta fractura aparente.
	M05-P2	0,5 - 1mm	1	Olivino poliedral de color verde oliva oscuro. Caras bien desarrolladas en casi su mayoría. Presenta pequeñas inclusiones fundidas y una de tamaño intermedio más al centro del cristal. además, presenta inclusiones de cromo espinela.
	M05-P3	0,5 - 1mm	1	Olivino poliedral algunas caras no se presentan desarrolladas, de color verdoso oliva oscura. Presenta algunas pequeñas inclusiones fundidas, presenta vidrio adosado. además de inclusiones de cromoespinela.
	M05-P4	0,5 - 1mm	1	Olivino poliedral múltiple, con una inclusión de tamaño medio e inclusiones fundidas más pequeña. Color verde oliva, además presenta inclusiones de cromoespinela
	M05-P5	0,5 - 1mm	1	Olivino poliedral de color verde oliva claro, presenta inclusiones de cromo espinela, presenta muy pocas y pequeño tamaño inclusiones fundidas. además, presenta un aspecto de hielo, con muchas irregularidades, sin embargo, se logra distinguir bien la cara (120).
	M05-P6	0,5 - 1mm	1	Olivino evolucionando a poliedral, con caras bien desarrolladas (021, 110, 001, 010). Se observan inclusiones fundidas en la cara 120, además de inclusiones de cromo espinela. Color verde oliva.
	M05-P7	0,5 - 1mm	1	Olivino poliedral de color verde oliva, fracturado en la cara 010. no se observa una forma muy clara, presenta inclusiones al centro del cristal de tamaño pequeño, además de inclusiones de cromo espinelas.
	M05-P8	0,5 - 1mm	1	olivino poliedral con caras bien desarrolladas de color verde oliva oscuro. Presenta pequeñas inclusiones alrededor de cristal.
	M05-P9	0,5 - 1mm	1	olivino poliedral, con caras desarrolladas casi de manera completa en las que se observan pequeñas inclusiones translucidas y posiblemente una de tamaño mediano de color más oscuros al centro del cristal la cual tiene una forma más rómbica.
	M05-P10	0,5 - 1mm	1	olivino poliedral de color verde oliva lavado, con caras bien desarrollada, presenta una inclusión cercana a la cara 021 translucida redondeada y otras más pequeñas un poco más alargadas, además presenta impurezas de cromo espinela.
	M05-E1	0,5 - 1mm	1	Olivino esquelletal de color verde oliva claro, fractura en la mitad en ab. Presenta una mediana inclusión fundida cercana a la cara 021, además de otras más pequeña. además, se encuentra adosado otro cristal más pequeño de olivino. Ambos poseen inclusiones de cromo espinela.



	M05-E2	0,5 - 1mm	1	Olivino esquelletal de color verde oliva claro, fractura en la mitad en ab. Presenta pequeñas inclusiones fundidas repartidas en el cristal. De manera extra presenta inclusiones de cromoespinela
	M05-E3	0,5 - 1mm	1	Olivino esquelletal de color verde oliva, vista desde c y fracturado en ab. Se observa la cara 021, 001 y 110 bien desarrollada, la parte esquelletal y relleno casi completo. Presenta pequeñas y poco abundante melt inclusión, además de cromo espinelas.
	M05-E4	0,5 - 1mm	1	Olivino transición de esquelletal a poliedral de color verde oliva, cara 110 bien desarrollada además de cara 120, en el centro presenta inclusión de tamaño mediano de color verde un poco más oscuro y otras más pequeñas que se encuentran diseminadas en el cristal.
	M05-E5	0,5 - 1mm	1	Olivino transición esquelletal a poliedral de color verde oliva levemente lavado con caras bien desarrolladas y sin grandes fracturas, se observan inclusiones fundidas de tamaño mediano cerca a la cara 021 y otras más pequeñas repartidas en el cristal las cuales se logran distinguir con claridad.
	M05-E6	0,5 - 1mm	1	Olivino transición esquelletal a poliedral de color verde oliva, con caras mayoritariamente desarrolladas, aunque parte de la cara c se encuentra levemente fractura. Se observan inclusiones de tamaño medio al centro del cristal y también de tamaño más pequeño pocas dispersas en el cristal. cercana a la cara 021.
	M05-E7	0,5 - 1mm	1	Olivino esquelletal en transición con caras desarrolladas casi completas, en 021 falta relleno y en la parte basal se encuentra fracturado ©. Presenta una gran inclusión al centro del cristal de tamaño oscuro y otras más pequeñas pero abundantes a lo largo de todo el cristal, bien distinguibles. se observan inclusiones de cromo espinela
	M05-E8	0,5 - 1mm	1	
	M05-E09	0,5 - 1mm	1	olivino esquelletal fracturado en c, presenta la mayoría de sus caras desarrolladas de color verde oliva. Presenta pequeñas inclusiones en las caras 110, distinguibles. además de unas más grandes de color más oscuro cercanas a 110.
	M05-E10	0,5 - 1mm	1	Olivino esquelletal en transición al poliedral, de color verde oliva, se observa en una inclusión de color más oscuro en la cara 021. y otras de tamaño más pequeño y traslucidas en la cara 010. También presenta inclusiones de cromo espinela
	M05-D1	0,5 - 1mm	1	Olivino dendrítico pasando a esquelletal, con desarrollo a uno esquelletal. Presenta una forma piramidal y abundantes inclusiones fundidas de tamaño pequeño y mediano en casi todo el cristal. De color verdoso oscuro, presenta además inclusiones de cromo espinela.
	M05-D2	0,5 - 1mm	1	Olivino dendrítico, de color verde oliva. Presentan muy poco desarrollo el cristal y forma primordial casi se logra observa. Presenta pequeñas inclusiones fundidas presentes en diferente cara. Presenta un aspecto escamoso
	M05-D3	0,5 - 1mm	1	Olivino dendrítico con x marcada de manera leve y desarrollo de doble cristal, donde solo en uno se presenta el hábito dendrítico. De color verde oliva claro, con inclusiones poco abundantes y pequeña, forma de cristales más aplanada.
	M05-M1	0,5 - 1mm	1	Olivino doble en crecimiento de flecha, ambos de color verde oliva lavado, presenta una inclusión mediana cercana a la cara c de color más traslucida. Se observa la cara 021 y 001. además de inclusiones de cromoespinela.
FVS-CO-06	M06-E1	0,5 - 1mm	1	Olivino esquelletal, orientado perpendicular al eje c y fracturado en ab, cara 021 incompleta, además presenta vidrio adosado que le da un aspecto ahumado. Presenta inclusiones de cromo espinela y algunas burbujas de gas. Se observan 3 inclusiones fundidas al centro del cristal en la zona de fractura, las cuales presenta forma redondeada y una tonalidad más oscura, posiblemente dos más de forma triangular igualmente al centro del cristal.
	M06-E2	0,5 - 1mm	1	Olivino esquelletal fracturado en ab y visto desde c. Color verde oliva claro, presenta inclusiones de cromo espinela alineadas principalmente a 001, y también distribuidas a lo largo del cristal. No se observan melt inclusión.
	M06-E3	0,5 - 1mm	1	Olivino esquelletal visto de c, fracturado en ab, bastante reducido. presenta inclusiones de cromoespinela (foto3108 y 3109). Color oliva claro, cara 021 incompleta.
	M06-E4	0,5 - 1mm	1	Olivino esquelletal visto desde b, fracturado en c, presenta un color más ahumado oliva, con inclusiones de cromo espinela, además de alrededor de 3 melt inclusión las cuales 2 se presentan de forma triangular y otras de más pequeño tamaño, estas presentan un color oscuro.
	M06-E5	0,5 - 1mm	1	Olivino esquelletal, visto desde a (se observa la cara 101 y 021), se encuentra fracturado en ab en la parte superior y a la mitad.
	M06-E6	0,5 - 1mm	1	olivino fuertemente fracturado de color verde oliva oscuro, con impurezas de vidrio. Fracturado en ab, lográndose distinguir la cara 021 y 001, 110, presentando impurezas de cromo espinela en la carne cristalina. además, se observan inclusiones fundidas de color cafoso y redondeadas de tamaño mediano al interior del cristal por la cara c.
	M06-E7	0,5 - 1mm	1	olivino esquelletal fracturado en ab, de color oscuro y caras incompletas, vista desde c, se distingue cara 021 y 001. No presenta inclusiones fundidas, pero si impurezas de cromo espinela y burbujas de gas.
	M06-E8	0,5 - 1mm	1	Cristal esquelletal abundantemente fracturado quedado la parte más aplica del cristal y en parte de la cara 001, 021 (fracturado en ab). De color verde oliva claro, caras no se encuentran bien desarrolladas, se observa 021 y 001, vista desde c. En su interior presenta una inclusión fundida de tamaño mediano de color más oscuro y redondeada, por la cual justo pasa la fractura. además, presenta impurezas de cromo espinela.
	M06-E9	0,5 - 1mm	1	Cristal esquelletal de color verde claro, en transición a cristal poliedral, cara 021 incompleta y fracturado en ab. Se distinguen todas sus caras. Presenta inclusiones de cromo espinela.

			además, presenta inclusión fundida de color cafésoso claro de forma triangular y gran tamaño se encuentra en posición vertical paralelo a c.	
M06-E10	0,5 - 1mm	4	Cristal esquelético fracturado en ab quedando la parte más apical, se logra distinguir la cara 001 y 021, las cuales se encuentran incompletas, presenta vidrio adosado, que le da aspecto oscuro e impurezas de cromo espinela, no se observa inclusiones fundidas.	
M06-E11	0,5 - 1mm	1	Cristal esquelético en transición a poliedral, se logra distinguir sus caras, aunque se encuentran incompletas. Fracturado por la mitad en ac. Color verde oliva, adosado presenta vidrio que le da un aspecto quemado, presenta impurezas de cromo espinela, pero no se observan inclusiones fundidas.	
M06-E12	0,5 - 1mm	1	Cristal de olivino esquelético, de color verde oliva claro, fracturado en ab cara 021 incompleta en la que se logra distinguir la adición de marcos. Se observan inclusiones de color cafésoso, pero no con claridad y una se encuentra atravesada por la fractura. presenta inclusiones de cromo espinela alineadas en 001.	
M06-E13	0,5 - 1mm	3	Cristal esquelético fracturado en ab quedando la parte más apical, se logra distinguir la cara 001 y 021, las cuales se encuentran incompletas, presenta vidrio adosado, que le da aspecto oscuro ahumado e impurezas de cromo espinela en ocasiones alineadas al marco cristalino, no se observa inclusiones fundidas.	
M06-E14	0,5 - 1mm	1	Cristal esquelético fracturado en ab y ac, con caras incompletas específicamente 021, no representa inclusiones fundidas. Presenta vidrio adosado lo que le da un aspecto ahumado, además presenta impurezas de cromo espinela.	
M06-E15	0,5 - 1mm	1	Cristal esquelético en transición a poliedral, fracturado por la mitad en ab, caras desarrolladas pero incompletas. Presenta vidrio adosado que le da un aspecto ahumado, además de impurezas de cromo espinela. Se observan dos inclusiones fluidas en la cara fracturada una de tamaño medio, la cual se topa la fractura y una más pequeña. son de color cafésoso y redondeadas.	
M06-E16	0,5 - 1mm	1	Cristal esquelético en transición a un cristal poliedral con caras incompletas, fracturado en la cara 010; cara 001 no muy bien desarrollada. Presenta color verde oliva y vidrio adosado que le da un aspecto ahumado. En su interior se observan 4 inclusiones fundidas de tonalidad más oscura y redondeada, de tamaño medio y pequeño observadas por la cara 010. también presenta impurezas de cromo espinela.	
M06-E17	0,5 - 1mm	1	Cristal esquelético en transición a poliedral de color verde oliva, se logran distinguir todas sus caras sin embargo estas se encuentran incompletas (021) y 010 no muy desarrollada, fracturado en una esquina en 001. Se observa una inclusión fundida al interior del cristal de forma alargada y tonalidad más oscura de tamaño medio. además, presenta impurezas de cromo espinela.	
M06-P1	0,5 - 1mm	1	cristal poliedral de color verde oliva, con caras bien desarrolladas levemente fracturado en la cara 021, 001 y fracturado en ab. Cara 010 levemente incompleta además de la 021. Además de presentar impurezas de cromo espinela.	
M06-P2	0,5 - 1mm	1	cristal poliedral de color verde oliva, con caras irregulares, fracturado en c además de presentar burbujas de tamaño pequeño poco abundantes repartidas en el cristal. También presenta impurezas de cromo espinela.	
M06-P3	0,5 - 1mm	1	Cristal poliedral de color verdoso caras bien desarrolladas pero irregulares. Fracturado en ab. No se observan inclusiones fundidas, pero si impurezas de cromo espinela. Se distingue cara 010, 021, 0021, y 110.	
M06-P4	0,5 - 1mm	1	Cristal poliedral de color verdoso caras bien desarrolladas. Fracturado en ab por la mitad. No se observan inclusiones fundidas, pero si impurezas de cromo espinela. Se distingue cara 010, 021, 0021, y 110. además, se observa vidrio adosado que le da un aspecto ahumado.	
M06-P5	0,5 - 1mm	1	Cristal poliedral de color verde oliva alargado con caras bien desarrolladas. En la cara 010 se pueden observar dos inclusiones alargadas al centro del cristal de tonalidad más oscura. Presenta algunas inclusiones de cromo espinela.	
M06-P6	0,5 - 1mm	1	Cristal poliedral de color verde oliva oscuro, presenta vidrio adosado lo que le da un aspecto ahumado. Sus caras se encuentran medianamente bien desarrolladas, aunque todas son reconocibles. Presenta impurezas de cromo espinela y una inclusión fundida en el centro del cristal, de tamaño mediano y de forma triangular, observable por la cara 110.	
M06-D1	0,5 - 1mm	1	Cristal de crítico, con x muy poco marcada, de color verde olivino lavado, presenta burbujas pequeñas translúcidas y redondeadas al centro del cristal, además de impurezas de cromo espinela. No se observan inclusiones fundidas.	
M06-D2	0,5 - 1mm	1	cristal dendrítico en transición a uno esquelético de color verde oliva translúcido, el cual presenta 2 inclusiones fundidas de tamaño mediano, una alargada con forma de gusano, esta últimas se presentan en tonalidades más oscuras y formas más alargadas y la otras más triangular y translúcidas al centro del cristal. Muy pocas impurezas de cromo espinela. La forma del cristal es más aplanada.	
M06-D3	0,5 - 1mm	1	Cristal dendrítico de color verde oliva lavado, presenta una forma más aplanada. En su interior se encuentran impurezas de cromo espinela alineadas con las zonas de relleno y además de inclusiones fundidas algunas con formas triangulares grandes y de color más oscuro, lo que al parecer más que una esfera de gas parece algo más sólido. también se observan inclusiones más redondeadas y pequeñas.	
FVS-CO-07	M07-P01	0,5 - 1mm	1	olivino poliedral de color verde oliva semilavado, caras bien desarrolladas, solo la 021 incompleta y pocas inclusiones de cromo espinelas. Presenta además una inclusión fundida

			de tamaño mediano observable desde 010, las cuales se presenta de tamaño redondeado y de tonalidad más oscura.
M07-P02	0,5 - 1mm	1	olivino poliedral de color verde oliva claro con cara bien desarrollada, con cara 021 incompleta la cual además al centro del cristal presenta una inclusión fundida de color oscura con forma medianamente cuadrada y tamaño pequeño, observable desde 110.
M07-P03	0,5 - 1mm	1	Olivino de color verde oliva lavado de forma poliedral, cara 021 incompleta y 010 le falta desarrollo, con pocas impurezas de cromo espinela. Presenta una 2 grandes inclusiones fundida de color anaranjado cafésoso de forma triangular. Fracturado levemente en 001
M07-P4	0,5 - 1mm	1	olivino poliedral de color verdoso con caras bien desarrolladas e impurezas de cromo espinelas. Presenta no se observan inclusiones fundidas. Solo la cara 010 esta poco desarrollada.
M07-P5	0,5 - 1mm	1	Cristal poliedral desde la transición, cara 021 incompleta y 010 poco desarrollada, presenta un color verde oliva oscuro, por la presencia de vidrio adosado que le da un aspecto ahumado. Presenta algunas impurezas de cromo espinela y una inclusión fundida pequeña y alargada, de tonalidad más caseosa al centro del cristal vista desde 010.
M07-P6	0,5 - 1mm	1	Cristal poliedral de color verde oliva, con caras bien desarrolladas y sin alguna fractura aparente, se observa claramente la cara 021, 001, 010 y 110. En su interior presenta impurezas de cromo espinela y cercana a la cara 110 se observa una inclusión de tamaño mediano, pero muy cercana a la cara por lo que no se logra distinguir si posee conexión con la superficie.
M07-P7	0,5 - 1mm	1	Olivino poliedral de color verde oliva, con caras bien desarrolladas (010,021,001,110) solo la 021 se encuentra levemente incompleta; fracturado en 010. En su interior se logran observan abundantes inclusiones fundidas aglomeradas en el centro del cristal de tamaño medio, tonalidad clara y burbuja de gas considerable. además, es posible observar inclusiones de cromoespinela.
M07-P8	0,5 - 1mm	1	Cristal poliedral con caras desarrolladas de color verde oliva, fracturado en la cara 010 de manera imperfecta. En su interior se observan impurezas de cromo espinela e inclusiones fundidas, entre ella un melt channel notorio y una más pequeña de forma redondeada visibles desde la zona de fractura.
M07-E1	0,5 - 1mm	1	Olivino de color verde oliva, con forma esquelética y fracturado en c-a. Presenta pequeñas inclusiones que burbuja de gas en su interior de gormas redondeadas y levemente alargadas visible de la cara 110. Cara 021 bien desarrolladas por un lado del cristal, la cara 110 se encuentra fracturada también. Presenta impurezas de cromo espinela.
M07-E2	0,5 - 1mm	1	cristal de color verde oliva, con forma esquelética en transición poliedral, donde la cara 021 y 010 no se encuentran bien desarrolladas e incompletas. Poca abundancia de cromo espinelas y presenta dos inclusiones al interior del cristal de forma irregular y tamaño intermedio. Fracturado accidentalmente por mí en ab.
M07-E3	0,5 - 1mm	1	fragmento de olivino esquelético el cual presenta forma irregular, sólo se logra distinguir 021, de color verde oliva lavado. Prénsla impurezas de cromo espinela y en su interior tres pequeñas inclusiones de forma redondeada y de color cafésoso. 2948-2951.
M07-E4	0,5 - 1mm	1	olivino esquelético transición, fracturado en ac por la mitad. Cara 021 incompleta y 010 poco desarrollada. Color verde oliva, presenta impurezas de cromo espinelas y burbujas de gas. También dos inclusiones pequeñas de forma irregular al centro del cristal, difíciles de observar.
M07-E5	0,5 - 1mm	1	olivino esquelético evolucionando a poliedral, cara 021 incompleta, de color verde oliva lavado. Fracturado en los vértices de cristal, cara 010 y 001 fracturada. Presenta una inclusión fundida de tamaño pequeño al centro del cristal más cercano a la cara 021
M07-E6	0,5 - 1mm	1	olivino verde oliva lavado esquelético en transición con caras más desarrolladas, 010 cara no desarrollada, no presenta fractura, algunas impurezas de cromo espinela.
M07-E8	0,5 - 1mm	1	Cristal esquelético de color verde Oliva, fracturado EN 021 y en 001. Caras se encuentra medianamente desarrolladas, en su interior presenta impurezas de cromo espinela y dos inclusiones fundidas alargadas de color intermedio al centro del cristal, observables de la cara 110.
M07-E9	0,5 - 1mm	5	Cristal esquelético en transición a poliedral, caras bien desarrolladas, 021 incompleta y 010 le falta desarrollarse por completo. Color verde oliva, presenta impurezas de cromo espinela y se observan inclusiones.
M07-E10	0,5 - 1mm	3	Cristal esquelético en transición a poliedral, caras bien desarrolladas, 021 incompleta y 010 le falta desarrollarse por completo. Color verde oliva, presenta impurezas de cromo espinela y presenta pequeñas inclusiones redondeadas al interior del cristal que dado a que presenta vidrio adosado no se logran observar del todo.
M07-E11	0,5 - 1mm	1	Cristal esquelético en transición a poliedral, caras bien desarrolladas, 021 incompleta y 010 le falta desarrollarse por completo
M07-E12	0,5 - 1mm	1	Olivino esquelético de color verde oliva fracturado por la mitad en ab y fracturado en la parte superior en 001 y 021. en su interior se logran observar inclusiones de cromoespinela y además inclusiones fundidas, esta es de tamaño medio y presentan forma tubular, triangular y una más pequeña circular, exhiben un color café ámbar y en su interior se observa una burbuja. Mas hacia la cara 021 se observa una inclusión de color claro circular (huevo frito). Solo se logra distinguir la cara 110 y 021, esta última presenta en su interior una tonalidad más oscura, la cara 110 no está formada.

	M07-E13	0,5 - 1mm	1	Olivino esquelletal de color verdoso el cual presenta adosado vidrio que le da tonalidad oscura, fracturado en 021, cara 021 y 110 bien desarrolladas, 010 no se alcanza a desarrollar. En su interior a través de la cara 110 se observan 4 inclusiones fundidas, una de gran tamaño de forma triangular de color oscuro y otras 3 pequeñas juntas de color más claro y redondeadas, también se observan inclusiones de cromoespinela.
	M07-E14	0,5 - 1mm	1	Olivino esquelletal en transición, presenta la cara 021 incompleta y 010 medianamente desarrollada, además se encuentra fracturado a la mita en ac. Color olivino presenta pequeña opacidad dado vidrio adosado. En su interior se observan inclusiones de cromo espinela y además inclusiones fundidas de tamaño pequeño y forma redondeada, se observa una de mayor tamaño, pero se encuentra fracturada, la cual tiene un aspecto más oscuro y forma aparentemente triangular.
	M07-E15	0,5 - 1mm	1	Olivino transición poliedral, con caras 021 incompleta y fracturado a la mitad en ab y en ac; color verde oliva lavado. En su interior se observan inclusiones de cromo espinela y variadas inclusiones fundidas, principalmente de tamaño pequeño y redondeadas que se ven desde ac en la zona de fractura. También se observan de tamaño pequeño y tonalidad más oscura.
	M07-E16	0,5 - 1mm	1	Olivino esquelletal en transición color verde oliva, cara 021 incompleta y fracturado en ab por la mitad, fracturado también en la cara 001. En su interior no se logran distinguir mel inclusiones, pero si impurezas de cromo espinela.
	M07-E17	0,5 - 1mm	1	Olivino esquelletal con caras desarrolladas en transición, 021 poco desarrolladas, 010 no desarrollada; fracturado en ab a la mitad, color verde oliva lavado, aunque se observa una tonalidad más oscura por la presencia de vidrio adosado. En su interior se observa una inclusión de tamaño mediano y forma triangular de tonalidad más oscura, aunque es dificultoso verla.
<b>FVS-CO-08</b>	General			tamaño de grano mayor a 0,5 mm. Dentro de lo observado se nota solo un cristal de olivino.
<b>FVS-CO-11</b>	M11-ESQ	0,5 - 1mm	<b>8 olivinos</b>	
	M11-E1	0,5 - 1mm	<b>1</b>	Olivino esquelletal con desarrollo de caras 021, 001, de color verde oliva de tonalidad oscura, con baja presencia de impurezas de cromoespinela. El cristal pareciera estar fracturado en ac. Presenta también una coloración más oscura por la cantidad de vidrio adosado al cristal. Se observan pequeñas inclusiones fundidas visibles desde c en la cara 021.
	M11-E2	0,5 - 1mm	<b>1</b>	Olivino esquelletal de tamaño importante, en transición a poliedral, con caras 001, 021, 010 y 110 bien desarrolladas. Es de color verde oliva, con una tonalidad relativamente clara. Presenta una cantidad considerable de impurezas de cromoespinela. En su interior es posible observar un melt channel y pequeñas inclusiones fundidas desde c, también inclusiones pequeñas y una de tamaño mayor en 010, con un cuerpo semitriangular y de coloración más oscura.
	M11-E3	0,5 - 1mm	<b>1</b>	Olivino esquelletal de color verde oliva translucido, no se reconocen bien sus caras al estar fracturado (en ab y cb), se logra distinguir vista desde c. Presenta inclusiones fundidas en diversas formas, alargadas (melt inclusions), triangulares y redondeadas.
	M11-E4	0,5 - 1mm	<b>1</b>	Olivino esquelletal de color verde oliva de tonalidad muy clara, a pesar de tener algunas zonas más oscuras por la presencia de vidrio adosado en algunas de sus caras. El cristal se encuentra truncado en ab, pero se observa un desarrollo de la cara 010 y 021. En su interior presenta inclusiones fundidas, algunas de ellas visibles desde la cara 010, de coloración clara y forma ovalada-alargada. Se observa una baja densidad de impurezas de cromo espinela.
	M11-E5	0,5 - 1mm	<b>1</b>	Olivino esquelletal de color verde oliva, con caras no reconocibles y con crecimiento en macla. En su interior se observan inclusiones de cromoespinela, y no se observan inclusiones fundidas.
	M11-E6	0,5 - 1mm	<b>1</b>	Olivino esquelletal de color verde oliva muy claro, con presencia de vidrio adosado en sus bordes y cantidad media-baja de impurezas de cromoespinela. El cristal se encuentra truncado en distintas direcciones, como en cb, pero pareciera estar truncado en ab. En su interior se observa una cantidad considerable de inclusiones fundidas de color claro y relativamente circulares-ovaladas, visibles desde la mayoría de sus caras.
	M11-E7	0,5 - 1mm	<b>1</b>	Olivino esquelletal en transición a poliedral, de coloración verde oliva con desarrollo de caras 021 y 010, fracturado en ac. Presenta una cantidad considerable de impurezas de cromoespinela, y no se observa una presencia importante de vidrio en sus costados. No hay inclusiones de tamaño mayor, solo algunas de tamaño pequeño visibles de la cara 010 y una pequeña en la cara 110 de coloración muy clara, por lo que es difícil de distinguir.
<b>FVS-CO-12</b>	M12-E1	0,5 - 1mm	1	Olivino esquelletal con cara 110 desarrollada, 010 no tan desarrollada, fracturado en el eje bc, de color verde oliva. Baja abundancia de impurezas de cromoespinela. En la cara 110 se observa una inclusión fundida con forma circular alargada y una tonalidad más clara.
	M12-E2 a	0,5 - 1mm	1	Olivino esquelletal en transición a poliedral, con cara 021 y 110 desarrollada, y cara 010 no desarrollada, fracturado en el eje ac, a la mitad, con color verde oliva, con algunas inclusiones de cromoespinela. Se observan algunas burbujas de gas, visibles principalmente desde el eje a. No se observan inclusiones fundidas en su interior.

	M12-E2 b	0,5 - 1mm	1	Olivino esquelético con cara 110 y 010 desarrolladas, y cara 021 relativamente desarrollada. fracturado en ab y cb a la mitad, con color verde oliva, con algunas inclusiones de cromoespinela. Se observan inclusiones fundidas de forma triangular y color cafésoso con burbujas de gas visibles desde la zona de fractura. No se observan inclusiones fundidas en su interior.
	M12-E3	0,5 - 1mm	1	Olivino esquelético de color verde oliva claro, con crecimiento de un cristal adyacente de menor tamaño. La cara 110 está bien desarrollada, mientras que 021 se observa parcialmente y, además, el cristal se encuentra fracturado en ab, precisamente notorio en la cara 010. El cristal tiene un color verde oliva, y hay presencia de una cantidad moderada de inclusiones de cromoespinela. Se observan melt channels con burbujas de gas en su interior desde la cara 010. También presenta una inclusión fundida en la cara 110, de color claro y un tamaño moderado a pequeño.
	M12-E4	0,5 - 1mm	1	Olivino esquelético con caras 021 y 001 bien desarrolladas, y caras 010 y 110 poco desarrolladas. Es de color verde oliva claro, pero expone un oscurecimiento hacia sus bordes por la presencia de vidrio adosado, y también se observa una baja cantidad de inclusiones de cromoespinela. Presenta un melt channel de color claro vista desde el eje a que tiene forma relativamente triangular suavizada en los vértices, y un tamaño moderado, pero que se encuentra en una zona de fractura por lo que ha perdido su burbuja de gas.

### 8.3 Análisis de química mineral microsonda electrónica en cristales de olivinos de Cerro Overo.

Análisis puntuales	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	NiO	Cl	F	Total (%Norm)	Ni	Fo
FVS-CO-11-A-1	39,46 7	0,07 2	0,025	12,50 2	0,18 7	47,10 8	0,09 2	0,023	0,00 0	0,035	0,02 6	0,44 5	0,01 8	0,000	100	3501	87
FVS-CO-11-A-2	39,41 4	0,02 3	0,013	14,12 8	0,16 8	45,78 5	0,17 5	0,032	0,01 3	0,012	0,01 2	0,22 5	0,00 0	0,000	100	1766	85
FVS-CO-11-A-5	39,76 3	0,01 8	0,000	12,73 8	0,14 5	46,82 7	0,12 8	0,000	0,01 7	0,040	0,03 9	0,28 6	0,00 0	0,000	100	2246	87
FVS-CO-11-A-7	38,75 3	0,01 6	0,036	12,71 8	0,17 3	47,74 4	0,11 7	0,029	0,00 3	0,017	0,01 4	0,35 9	0,02 2	0,000	100	2824	87
FVS-CO-11-A-8	38,39 5	0,02 6	0,041	14,98 6	0,22 6	45,88 8	0,08 0	0,000	0,00 9	0,028	0,06 2	0,26 0	0,00 0	0,000	100	2048	85
FVS-CO-11-A-9	38,97 1	0,00 0	0,027	14,99 5	0,22 5	45,39 9	0,13 4	0,004	0,02 4	0,048	0,02 6	0,14 8	0,00 0	0,000	100	1164	84
FVS-CO-11-A-10	39,12 5	0,02 6	0,038	13,27 4	0,17 2	46,76 6	0,13 0	0,023	0,00 0	0,062	0,01 5	0,37 0	0,00 0	0,000	100	2912	86
FVS-CO-11-A-11	0,000	0,85 3	18,89 7	29,38 4	0,34 6	10,91 9	0,00 5	0,004	0,00 0	39,28 5	0,00 0	0,17 6	0,00 0	0,000	100	1385	40
FVS-CO-11-A-12	0,000	0,70 3	19,78 0	28,88 8	0,33 8	10,18 9	0,11 2	0,007	0,02 4	39,67 4	0,01 4	0,19 5	0,00 0	0,000	100	1536	39
FVS-CO-11-A-13	38,37 6	0,06 3	0,020	13,34 6	0,18 8	47,42 4	0,15 0	0,001	0,00 0	0,108	0,01 4	0,31 2	0,00 0	0,000	100	2454	86
FVS-CO-11-A-14	38,04 6	0,06 0	0,042	13,21 6	0,17 8	47,89 5	0,12 2	0,012	0,01 0	0,052	0,00 5	0,36 1	0,00 0	0,000	100	2842	87
FVS-CO-11-A-15	40,14 8	0,00 0	0,031	12,78 6	0,18 2	46,17 7	0,07 3	0,010	0,00 2	0,052	0,05 7	0,44 5	0,03 9	0,000	100	3503	87
FVS-CO-11-A-16	39,23 5	0,01 0	0,012	14,30 4	0,21 9	45,82 7	0,13 4	0,012	0,01 2	0,011	0,03 2	0,19 1	0,00 0	0,000	100	1503	85
FVS-CO-11-A-17	38,49 7	0,03 1	0,013	15,36 3	0,21 4	45,54 4	0,09 5	0,018	0,00 0	0,018	0,00 0	0,15 4	0,05 3	0,000	100	1215	84
FVS-CO-7-B-1	39,70 5	0,00 0	0,082	13,46 3	0,22 3	46,00 6	0,11 9	0,000	0,00 0	0,060	0,00 0	0,34 2	0,00 0	0,000	100	2693	86
FVS-CO-7-B-4	39,76 3	0,00 0	0,057	13,03 2	0,14 0	46,43 4	0,20 8	0,015	0,00 5	0,033	0,00 0	0,29 2	0,02 1	0,000	100	2296	86
FVS-CO-7-B-6	39,82 5	0,10 2	0,023	12,68 1	0,19 3	46,69 7	0,08 8	0,000	0,00 8	0,023	0,01 5	0,32 0	0,02 5	0,000	100	2516	87
FVS-CO-7-B-7	40,15 2	0,00 0	0,066	12,42 6	0,14 9	46,58 9	0,11 1	0,022	0,02 3	0,031	0,03 3	0,39 9	0,00 0	0,000	100	3137	87
FVS-CO-7-B-9	39,85 9	0,00 0	0,053	12,67 1	0,13 6	46,69 7	0,08 2	0,007	0,01 1	0,039	0,04 3	0,38 2	0,02 1	0,000	100	3001	87
FVS-CO-7-B-10	0,000	0,97 3	15,80 5	34,52 2	0,31 8	10,11 8	0,03 4	0,028	0,02 1	37,93 7	0,00 0	0,15 3	0,00 0	0,000	100	1205	34
FVS-CO-7-B-18	39,73 8	0,06 9	0,029	13,22 6	0,16 8	46,32 7	0,07 2	0,004	0,00 4	0,042	0,01 7	0,28 7	0,01 8	0,000	100	2260	86
FVS-CO-7-B-21	39,32 8	0,11 2	0,017	13,49 2	0,14 7	46,42 8	0,11 0	0,015	0,00 3	0,037	0,00 0	0,29 7	0,01 4	0,000	100	2339	86
FVS-CO-7-B-23	0,000	0,70 3	19,30 6	30,50 3	0,34 1	9,782	0,03 2	0,024	0,00 5	38,97 3	0,03 1	0,18 7	0,00 0	0,000	100	1473	36
FVS-CO-11-A-18 Line 004	38,65 2	0,03 3	0,045	17,90 0	0,25 4	42,84 5	0,10 0	0,019	0,01 9	0,000	0,00 9	0,12 7	0,00 0	0	100	996	81
FVS-CO-11-A-18 Line 005	39,10 3	0,03 1	0,000	15,94 9	0,27 0	44,32 3	0,13 6	0,008	0,01 1	0,011	0,02 2	0,13 7	0,00 0	0	100	1079	83
FVS-CO-11-A-18 Line 009	38,77 5	0,03 1	0,043	17,52 8	0,20 1	43,03 9	0,12 1	0,048	0,03 2	0,022	0,00 0	0,16 1	0,00 0	0	100	1263	81
FVS-CO-11-A-18 Line 012	39,76 3	0,08 0	0,024	14,03 8	0,18 0	45,27 6	0,30 2	0,038	0,01 2	0,030	0,02 2	0,21 3	0,02 2	0	100	1672	85
FVS-CO-11-A-18 Line 016	39,45 7	0,01 8	0,000	13,23 8	0,23 9	46,45 0	0,13 9	0,036	0,01 4	0,024	0,05 3	0,30 4	0,02 8	0	100	2387	86
FVS-CO-11-A-18 Line 017	39,81 3	0,07 7	0,045	12,87 7	0,16 5	46,57 9	0,09 9	0,008	0,00 1	0,000	0,02 3	0,31 4	0,00 0	0	100	2466	87

FVS-CO-11-A-18 Line 020	39,69 8	0,00 5	0,069	13,07 6	0,18 6	46,39 5	0,11 3	0,037	0,00 3	0,038	0,02 4	0,35 5	0,00 0	0	100	2795	86
FVS-CO-11-A-18 Line 021	39,56 7	0,02 6	0,004	12,87 4	0,11 5	46,85 4	0,11 2	0,027	0,02 2	0,039	0,01 6	0,34 3	0,00 4	0	100	2698	87
FVS-CO-11-A-18 Line 022	39,66 6	0,04 9	0,008	12,68 6	0,13 3	46,89 2	0,06 7	0,049	0,00 1	0,033	0,01 9	0,38 1	0,01 8	0	100	2997	87
FVS-CO-11-A-18 Line 023	39,64 3	0,03 8	0,029	12,91 3	0,16 1	46,63 9	0,09 7	0,012	0,00 0	0,032	0,01 6	0,40 4	0,01 8	0	100	3174	87
FVS-CO-11-A-18 Line 024	39,40 9	0,02 3	0,006	12,98 9	0,25 6	46,67 0	0,06 2	0,012	0,01 0	0,050	0,13 4	0,38 0	0,00 0	0	100	2985	86
FVS-CO-11-A-18 Line 025	39,66 0	0,06 8	0,006	13,16 9	0,13 1	46,23 9	0,10 4	0,020	0,01 5	0,071	0,02 7	0,41 0	0,08 0	0	100	3225	86
FVS-CO-11-A-18 Line 026	39,41 2	0,05 9	0,039	13,35 2	0,13 2	46,44 8	0,08 6	0,022	0,00 0	0,032	0,04 7	0,36 4	0,00 0	0	100	2865	86
FVS-CO-11-A-18 Line 029	39,41 6	0,00 0	0,066	12,93 1	0,11 9	46,82 2	0,10 6	0,021	0,02 2	0,036	0,04 3	0,42 0	0,00 0	0	100	3305	87
FVS-CO-11-A-18 Line 031	39,75 0	0,00 0	0,037	12,45 0	0,19 6	47,04 7	0,12 6	0,020	0,00 0	0,022	0,01 1	0,33 8	0,00 4	0	100	2659	87
FVS-CO-11-A-18 Line 032	39,61 4	0,00 0	0,000	12,76 3	0,14 0	46,79 2	0,08 4	0,029	0,01 5	0,033	0,06 4	0,45 9	0,00 7	0	100	3610	87
FVS-CO-11-A-18 Line 033	39,40 6	0,02 8	0,049	12,80 9	0,15 9	46,93 8	0,10 2	0,012	0,00 3	0,027	0,05 0	0,41 7	0,00 0	0,000	100	3280	87
FVS-CO-11-A-18 Line 034	39,39 0	0,00 0	0,023	12,69 0	0,12 8	47,19 2	0,11 6	0,008	0,00 0	0,027	0,00 0	0,42 6	0,00 0	0,000	100	3352	87
FVS-CO-11-A-18 Line 035	39,50 7	0,00 3	0,004	12,67 7	0,12 5	47,03 7	0,13 0	0,016	0,00 0	0,031	0,03 1	0,44 0	0,00 0	0,000	100	3464	87
FVS-CO-11-A-18 Line 036	39,28 6	0,03 6	0,016	13,09 5	0,11 5	46,74 7	0,11 5	0,017	0,00 7	0,017	0,01 3	0,53 5	0,00 0	0,000	100	4209	86
FVS-CO-11-A-18 Line 037	39,36 0	0,00 8	0,026	12,84 1	0,17 0	46,99 3	0,09 8	0,024	0,00 0	0,052	0,02 5	0,40 1	0,00 4	0,000	100	3153	87
FVS-CO-11-A-18 Line 038	39,58 4	0,00 0	0,019	12,58 1	0,17 1	47,13 6	0,06 7	0,011	0,00 2	0,030	0,01 4	0,37 9	0,00 7	0,000	100	2984	87
FVS-CO-11-A-18 Line 039	39,64 3	0,00 0	0,018	12,49 6	0,13 5	47,19 6	0,07 2	0,008	0,00 4	0,037	0,00 0	0,39 2	0,00 0	0,000	100	3084	87
FVS-CO-11-A-18 Line 040	39,48 1	0,00 8	0,007	12,86 3	0,14 8	46,89 4	0,09 7	0,020	0,00 0	0,023	0,01 7	0,43 6	0,00 7	0,000	100	3426	87
FVS-CO-11-A-18 Line 041	39,30 4	0,06 9	0,034	12,94 1	0,20 6	46,79 7	0,09 6	0,026	0,01 1	0,030	0,01 6	0,44 6	0,02 5	0,000	100	3508	87
FVS-CO-11-A-18 Line 042	39,58 2	0,18 5	0,039	12,70 2	0,16 0	46,74 6	0,07 7	0,014	0,00 7	0,048	0,00 0	0,44 1	0,00 0	0,000	100	3471	87
FVS-CO-11-A-18 Line 043	39,41 4	0,00 0	0,036	12,77 2	0,14 1	46,90 7	0,11 2	0,009	0,01 7	0,050	0,03 0	0,46 7	0,04 6	0,000	100	3674	87
FVS-CO-11-A-18 Line 044	39,38 2	0,05 6	0,049	12,57 0	0,22 1	47,04 6	0,10 3	0,019	0,00 4	0,009	0,00 0	0,54 2	0,00 0	0,000	100	4267	87
FVS-CO-11-A-18 Line 045	39,54 4	0,08 4	0,039	12,50 8	0,19 1	46,91 7	0,13 5	0,020	0,00 0	0,041	0,08 7	0,43 4	0,00 0	0,000	100	3412	87
FVS-CO-11-A-18 Line 048	39,79 1	0,07 2	0,049	12,66 4	0,15 3	46,64 0	0,10 7	0,031	0,00 0	0,056	0,04 0	0,34 0	0,05 7	0,000	100	2676	87
FVS-CO-11-A-18 Line 049	39,52 4	0,04 4	0,007	12,65 1	0,17 2	47,02 8	0,07 2	0,008	0,00 2	0,044	0,02 8	0,38 5	0,03 6	0,000	100	3026	87
FVS-CO-11-A-18 Line 050	39,41 9	0,03 8	0,010	12,30 9	0,14 7	47,47 7	0,05 3	0,036	0,00 8	0,028	0,03 4	0,42 0	0,02 1	0,000	100	3305	87
FVS-CO-11-A-18 Line 051	39,52 4	0,00 0	0,032	12,76 1	0,13 7	46,94 8	0,10 7	0,014	0,00 7	0,051	0,01 1	0,39 0	0,01 8	0,000	100	3071	87
FVS-CO-11-A-18 Line 052	39,38 1	0,00 0	0,024	12,75 0	0,15 3	47,03 1	0,14 2	0,020	0,00 9	0,036	0,05 6	0,40 0	0,00 0	0,000	100	3143	87
FVS-CO-11-A-18 Line 053	39,39 7	0,00 0	0,032	12,70 0	0,13 9	46,89 9	0,12 4	0,048	0,00 0	0,067	0,10 6	0,48 9	0,00 0	0,000	100	3846	87
FVS-CO-11-A-18 Line 054	39,38 0	0,02 6	0,018	12,72 6	0,19 9	46,92 0	0,09 8	0,010	0,01 8	0,017	0,08 2	0,50 7	0,00 0	0,000	100	3990	87
FVS-CO-11-A-18 Line 056	39,49 0	0,00 8	0,013	12,88 5	0,16 7	46,70 4	0,14 5	0,024	0,00 0	0,041	0,01 6	0,50 6	0,00 0	0,000	100	3980	87
FVS-CO-11-A-18 Line 057	39,50 2	0,08 7	0,000	12,64 6	0,18 0	46,92 9	0,10 9	0,023	0,01 6	0,042	0,00 0	0,39 9	0,06 7	0,000	100	3136	87
FVS-CO-11-A-18 Line 058	39,43 5	0,04 1	0,033	12,67 3	0,17 5	46,93 0	0,11 3	0,004	0,01 6	0,027	0,05 7	0,49 5	0,00 0	0,000	100	3892	87
FVS-CO-11-A-18 Line 059	39,69 6	0,02 8	0,000	12,65 4	0,10 9	46,81 5	0,13 0	0,037	0,01 0	0,025	0,05 2	0,44 3	0,00 0	0,000	100	3484	87
FVS-CO-11-A-18 Line 060	40,17 1	0,00 0	0,044	12,36 0	0,18 8	46,57 4	0,13 1	0,045	0,01 3	0,050	0,02 1	0,38 5	0,01 8	0,000	100	3029	87
FVS-CO-11-A-18 Line 061	39,67 1	0,00 0	0,036	12,71 1	0,15 9	46,83 4	0,15 8	0,000	0,00 0	0,032	0,05 8	0,34 2	0,00 0	0,000	100	2686	87
FVS-CO-11-A-18 Line 062	39,51 1	0,01 8	0,000	12,95 9	0,18 9	46,72 3	0,14 0	0,021	0,01 4	0,033	0,03 6	0,35 6	0,00 0	0,000	100	2804	87
FVS-CO-11-A-18 Line 064	39,76 4	0,00 0	0,000	12,47 9	0,20 4	46,90 4	0,15 0	0,012	0,00 6	0,002	0,03 1	0,44 1	0,00 7	0,000	100	3472	87
FVS-CO-11-A-18 Line 065	40,01 3	0,02 1	0,018	12,42 1	0,12 8	46,83 5	0,10 6	0,034	0,00 7	0,032	0,01 5	0,37 0	0,00 0	0,000	100	2911	87
FVS-CO-11-A-18 Line 066	39,32 4	0,00 0	0,005	12,83 8	0,13 2	47,13 8	0,11 6	0,016	0,00 8	0,044	0,00 0	0,36 2	0,01 8	0,000	100	2847	87
FVS-CO-11-A-18 Line 067	39,16 2	0,03 9	0,004	12,91 1	0,19 5	47,00 6	0,12 8	0,043	0,02 5	0,047	0,02 2	0,41 8	0,00 0	0,000	100	3289	87
FVS-CO-11-A-18 Line 068	39,09 6	0,06 4	0,011	12,79 8	0,16 9	47,32 5	0,06 0	0,015	0,00 0	0,043	0,00 2	0,41 8	0,00 0	0,000	100	3287	87
FVS-CO-11-A-18 Line 069	38,67 1	0,00 0	0,060	12,64 1	0,21 1	47,96 2	0,07 0	0,009	0,00 0	0,010	0,00 0	0,36 6	0,00 0	0,000	100	2882	87
FVS-CO-11-A-18 Line 070	37,55 6	0,00 0	0,095	12,21 8	0,15 2	49,24 6	0,14 1	0,202	0,08 5	0,004	0,04 6	0,24 5	0,01 1	0,000	100	1930	88
FVS-CO-11-A-18 Line 074	39,60 5	0,00 0	0,027	13,10 2	0,17 3	46,56 6	0,12 4	0,006	0,01 0	0,013	0,06 4	0,31 1	0,00 0	0,000	100	2446	86

FVS-CO-11-A-18 Line 075	39,41 0	0,10 5	0,006	13,53 6	0,10 5	46,32 6	0,09 6	0,013	0,00 0	0,012	0,06 8	0,32 5	0,00 0	0,000	100	2557	86
FVS-CO-11-A-18 Line 080	39,66 1	0,00 0	0,041	13,33 2	0,16 9	46,24 1	0,16 6	0,017	0,02 6	0,009	0,00 0	0,32 5	0,01 5	0,000	100	2553	86
FVS-CO-11-A-18 Line 081	39,33 1	0,00 0	0,026	13,28 7	0,18 5	46,56 1	0,13 0	0,042	0,00 0	0,004	0,01 0	0,37 2	0,05 4	0,000	100	2927	86
FVS-CO-11-A-18 Line 085	39,28 1	0,00 0	0,029	13,27 3	0,21 0	46,70 2	0,10 8	0,010	0,02 7	0,000	0,00 0	0,35 9	0,00 0	0,000	100	2826	86
FVS-CO-11-A-18 Line 087	39,02 0	0,02 0	0,049	14,01 6	0,16 9	46,19 6	0,13 4	0,011	0,00 1	0,000	0,00 0	0,32 8	0,05 7	0,000	100	2579	85
FVS-CO-11-A-18 Line 088	38,86 9	0,00 0	0,000	16,64 3	0,22 9	43,81 5	0,09 1	0,001	0,01 0	0,032	0,02 4	0,25 9	0,02 8	0,000	100	2033	82
FVS-CO-11-A-18 Line 092	38,67 2	0,03 1	0,017	15,92 4	0,22 9	44,79 6	0,10 4	0,023	0,00 6	0,007	0,00 0	0,19 2	0,00 0	0,000	100	1506	83
FVS-CO-11-A-18 Line 093	39,00 2	0,03 6	0,010	15,22 6	0,21 8	45,06 6	0,12 3	0,029	0,00 6	0,009	0,03 6	0,19 2	0,04 7	0,000	100	1513	84
FVS-CO-11-A-18 Line 094	38,65 5	0,01 0	0,001	17,36 0	0,21 2	43,37 6	0,13 2	0,005	0,01 0	0,031	0,03 4	0,15 4	0,02 1	0,000	100	1213	82
FVS-CO-11-A-18 Line 095	38,52 1	0,00 5	0,000	17,38 1	0,26 6	43,47 3	0,13 8	0,022	0,01 1	0,013	0,03 5	0,13 6	0,00 0	0,000	100	1066	82
FVS-CO-11-A-18 Line 096	38,66 6	0,09 1	0,008	18,14 0	0,29 6	42,48 8	0,15 2	0,024	0,00 0	0,047	0,00 3	0,05 2	0,03 5	0,000	100	407	81
FVS-CO-11-A-18 Line 097	37,75 9	0,00 0	0,068	23,26 9	0,39 9	38,09 9	0,17 9	0,038	0,00 0	0,021	0,02 9	0,12 9	0,01 1	0,000	100	1013	74
FVS-CO-11-A-18 Line 099	37,88 2	0,00 0	0,012	19,50 4	0,31 7	42,02 1	0,13 3	0,000	0,00 3	0,000	0,02 1	0,10 7	0,00 0	0,000	100	840	79
FVS-CO-11-A-18 Line 100	38,17 9	0,07 1	0,027	19,31 4	0,26 8	41,82 3	0,12 6	0,011	0,01 6	0,004	0,03 6	0,09 6	0,02 8	0,000	100	756	79
FVS-CO-11-A-18 Line 101	37,52 7	0,00 0	0,010	22,47 6	0,33 2	39,33 1	0,15 5	0,032	0,02 1	0,011	0,03 7	0,06 7	0,00 0	0,000	100	530	76
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 004	38,55 1	0,00 0	0,045	16,23 9	0,23 6	44,48 4	0,19 0	0,000	0,02 2	0,038	0,00 0	0,19 2	0,00 4	0,000	100	1.508	83
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 005	38,51 0	0,00 0	0,042	15,11 0	0,18 9	45,80 6	0,09 8	0,017	0,00 0	0,010	0,03 4	0,18 5	0,00 0	0,000	100	1.456	84
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 006	38,66 8	0,00 0	0,012	15,04 5	0,20 7	45,65 9	0,15 3	0,022	0,00 0	0,036	0,03 2	0,15 6	0,01 1	0,000	100	1.225	84
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 007	38,81 5	0,00 8	0,024	14,73 3	0,20 4	45,87 2	0,11 6	0,020	0,00 3	0,040	0,00 0	0,15 3	0,01 4	0,000	100	1.201	85
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 008	39,12 5	0,01 5	0,046	14,12 7	0,17 6	46,04 4	0,08 5	0,000	0,00 0	0,074	0,04 8	0,26 0	0,00 0	0,000	100	2.046	85
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 009	38,97 5	0,00 0	0,036	13,98 7	0,18 0	46,33 6	0,12 8	0,007	0,00 0	0,069	0,03 3	0,22 7	0,02 1	0,000	100	1.787	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 010	39,15 3	0,07 2	0,003	13,67 2	0,19 1	46,33 6	0,12 6	0,003	0,01 1	0,060	0,00 9	0,36 5	0,00 0	0,000	100	2.874	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 011	39,26 8	0,00 0	0,033	13,48 4	0,19 0	46,60 1	0,10 3	0,017	0,00 1	0,058	0,00 0	0,24 7	0,00 0	0,000	100	1.942	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 012	39,30 6	0,00 0	0,044	13,15 8	0,16 9	46,62 6	0,06 7	0,021	0,09 6	0,032	0,00 0	0,32 4	0,15 7	0,000	100	2.552	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 013	39,28 2	0,02 3	0,000	13,37 0	0,18 6	46,59 0	0,10 4	0,012	0,01 1	0,048	0,07 7	0,29 8	0,00 0	0,000	100	2.346	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 014	39,13 8	0,00 0	0,000	13,51 8	0,12 8	46,66 0	0,14 1	0,029	0,02 3	0,029	0,02 1	0,31 4	0,00 0	0,000	100	2.468	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 015	39,28 1	0,07 5	0,020	13,35 9	0,18 6	46,63 3	0,06 7	0,000	0,00 0	0,033	0,00 0	0,32 9	0,01 8	0,000	100	2.587	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 016	39,22 2	0,00 0	0,034	13,28 5	0,12 3	46,79 1	0,11 4	0,009	0,01 6	0,036	0,05 0	0,29 8	0,02 1	0,000	100	2.346	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 017	39,64 1	0,00 0	0,014	13,47 3	0,23 8	46,23 8	0,10 4	0,003	0,00 2	0,000	0,00 0	0,27 3	0,01 4	0,000	100	2.146	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 018	39,46 6	0,00 0	0,000	13,08 9	0,11 5	46,80 8	0,10 8	0,000	0,00 3	0,055	0,03 9	0,31 2	0,00 7	0,000	100	2.455	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 019	39,10 8	0,00 0	0,020	13,60 9	0,13 2	46,70 3	0,14 7	0,000	0,00 0	0,016	0,00 0	0,26 7	0,00 0	0,000	100	2.096	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 020	38,84 1	0,00 0	0,038	14,88 5	0,19 2	45,60 1	0,14 2	0,019	0,00 0	0,004	0,04 6	0,22 8	0,00 4	0,000	100	1.792	85
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 021	38,82 6	0,00 0	0,040	15,79 4	0,19 7	44,78 6	0,12 2	0,000	0,00 0	0,017	0,00 5	0,21 5	0,00 0	0,000	100	1.689	83
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 022	38,96 2	0,06 6	0,000	15,68 8	0,18 4	44,74 6	0,09 2	0,002	0,01 3	0,036	0,00 0	0,21 3	0,00 0	0,000	100	1.676	84
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 023	39,02 8	0,00 0	0,000	14,70 0	0,15 9	45,62 5	0,14 8	0,002	0,00 4	0,024	0,04 8	0,26 3	0,00 0	0,000	100	2.070	85
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 024	39,10 5	0,01 5	0,004	14,19 9	0,19 3	46,01 2	0,13 0	0,001	0,01 6	0,010	0,01 3	0,28 8	0,01 4	0,000	100	2.265	85
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 025	38,68 8	0,01 0	0,000	14,06 4	0,17 4	46,57 1	0,07 8	0,015	0,01 6	0,032	0,02 8	0,28 8	0,03 5	0,000	100	2.269	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 026	39,11 0	0,00 3	0,024	13,63 9	0,16 8	46,57 8	0,07 2	0,006	0,00 8	0,018	0,02 1	0,33 2	0,02 1	0,000	100	2.608	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 027	39,20 5	0,00 0	0,027	13,62 4	0,14 7	46,56 0	0,08 1	0,001	0,00 4	0,048	0,02 5	0,27 8	0,00 0	0,000	100	2.186	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 028	39,50 9	0,00 0	0,000	13,46 0	0,18 2	46,29 8	0,12 5	0,023	0,01 3	0,018	0,02 6	0,30 7	0,03 9	0,000	100	2.415	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 031	39,54 1	0,00 0	0,005	13,30 1	0,18 5	46,54 9	0,10 3	0,036	0,00 8	0,013	0,01 1	0,24 8	0,00 0	0,000	100	1.954	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 032	39,10 0	0,00 0	0,012	13,49 5	0,18 4	46,71 2	0,10 2	0,020	0,00 6	0,046	0,01 1	0,28 6	0,02 8	0,000	100	2.247	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 033	39,06 6	0,00 0	0,007	13,28 1	0,19 7	46,96 3	0,07 3	0,016	0,00 0	0,021	0,00 0	0,37 7	0,00 0	0,000	100	2.967	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 034	39,11 8	0,00 0	0,026	13,32 2	0,16 0	46,89 9	0,10 5	0,001	0,00 6	0,014	0,01 9	0,33 1	0,00 0	0,000	100	2.601	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 036	39,21 4	0,01 5	0,000	13,22 4	0,19 9	46,84 8	0,11 6	0,020	0,00 0	0,041	0,01 1	0,31 0	0,00 0	0,000	100	2.435	86



FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 037	38,96	0,00	0,028	13,49	0,14	46,96	0,03	0,004	0,00	0,050	0,01	0,29	0,00	0,000	100	2.326	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 038	39,07	0,01	0,018	13,42	0,18	46,78	0,11	0,023	0,00	0,038	0,00	0,29	0,01	0,000	100	2.347	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 039	39,08	0,00	0,007	13,22	0,18	46,91	0,12	0,032	0,00	0,037	0,00	0,36	0,01	0,000	100	2.857	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 041	39,41	0,00	0,011	12,97	0,23	46,86	0,14	0,042	0,00	0,042	0,00	0,27	0,00	0,000	100	2.196	87
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 042	39,23	0,02	0,060	13,13	0,19	46,87	0,13	0,022	0,00	0,014	0,00	0,30	0,00	0,000	100	2.408	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 043	39,23	0,03	0,008	12,97	0,17	47,08	0,08	0,001	0,01	0,053	0,00	0,33	0,00	0,000	100	2.644	87
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 044	38,79	0,02	0,049	13,50	0,18	46,80	0,12	0,014	0,01	0,020	0,02	0,40	0,02	0,000	100	3.189	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 045	39,18	0,02	0,020	13,24	0,12	46,83	0,08	0,014	0,02	0,014	0,04	0,38	0,00	0,000	100	3.001	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 046	39,29	0,08	0,012	13,32	0,16	46,60	0,12	0,000	0,00	0,034	0,02	0,32	0,00	0,000	100	2.515	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 047	39,17	0,03	0,031	13,34	0,21	46,66	0,11	0,007	0,00	0,015	0,04	0,33	0,00	0,000	100	2.627	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 048	39,33	0,06	0,025	13,25	0,24	46,61	0,14	0,009	0,01	0,015	0,00	0,28	0,00	0,000	100	2.210	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 049	39,29	0,00	0,078	13,25	0,19	46,59	0,14	0,021	0,00	0,017	0,01	0,35	0,01	0,000	100	2.816	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 055	39,32	0,00	0,021	12,68	0,17	47,19	0,13	0,015	0,01	0,000	0,03	0,39	0,00	0,000	100	3.118	87
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 056	39,28	0,00	0,035	13,07	0,14	46,94	0,15	0,016	0,00	0,029	0,00	0,31	0,00	0,000	100	2.459	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 057	39,27	0,00	0,000	13,00	0,15	47,11	0,08	0,024	0,01	0,011	0,01	0,30	0,00	0,000	100	2.395	87
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 058	39,08	0,03	0,014	12,91	0,18	47,24	0,10	0,038	0,02	0,015	0,01	0,33	0,00	0,000	100	2.616	87
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 060	39,17	0,00	0,049	13,08	0,16	47,00	0,10	0,016	0,00	0,021	0,06	0,31	0,00	0,000	100	2.438	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 061	38,91	0,06	0,020	13,00	0,22	47,15	0,14	0,031	0,00	0,000	0,01	0,40	0,01	0,000	100	3.147	87
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 063	39,36	0,00	0,003	12,88	0,16	47,02	0,05	0,021	0,00	0,000	0,02	0,42	0,01	0,000	100	3.371	87
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 064	39,47	0,01	0,022	12,62	0,14	47,10	0,12	0,015	0,01	0,052	0,00	0,37	0,03	0,000	100	2.919	87
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 065	39,32	0,00	0,027	12,82	0,17	47,03	0,11	0,021	0,02	0,026	0,05	0,36	0,01	0,000	100	2.901	87
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 066	38,86	0,09	0,027	13,40	0,18	46,83	0,11	0,019	0,00	0,034	0,06	0,34	0,00	0,000	100	2.725	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 067	39,07	0,00	0,035	13,17	0,10	47,08	0,09	0,000	0,00	0,034	0,00	0,37	0,00	0,000	100	2.964	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 068	38,91	0,02	0,041	13,33	0,20	46,89	0,12	0,028	0,00	0,034	0,05	0,33	0,00	0,000	100	2.656	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 069	39,12	0,04	0,044	13,32	0,16	46,83	0,11	0,017	0,00	0,037	0,00	0,29	0,00	0,000	100	2.279	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 070	39,25	0,00	0,000	13,62	0,19	46,44	0,08	0,014	0,00	0,054	0,03	0,29	0,00	0,000	100	2.323	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 071	39,14	0,00	0,042	13,48	0,17	46,60	0,12	0,034	0,02	0,030	0,00	0,31	0,01	0,000	100	2.491	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 072	39,07	0,01	0,039	13,50	0,20	46,73	0,12	0,014	0,00	0,024	0,01	0,24	0,01	0,000	100	1.925	86
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 074	39,13	0,00	0,000	14,30	0,12	46,03	0,16	0,024	0,00	0,037	0,00	0,14	0,02	0,000	100	1.131	85
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 076	38,55	0,00	0,024	14,75	0,24	45,96	0,12	0,015	0,01	0,021	0,03	0,23	0,01	0,000	100	1.828	85
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 077	38,77	0,03	0,000	14,81	0,26	45,72	0,07	0,044	0,01	0,035	0,05	0,15	0,00	0,000	100	1.229	85
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 078	38,90	0,02	0,041	14,70	0,25	45,66	0,11	0,038	0,01	0,011	0,04	0,13	0,03	0,000	100	1.079	85
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 079	38,75	0,00	0,005	15,01	0,24	45,57	0,14	0,009	0,00	0,041	0,06	0,13	0,01	0,000	100	1.074	84
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 080	38,40	0,00	0,000	16,05	0,23	44,93	0,11	0,007	0,00	0,017	0,03	0,17	0,01	0,000	100	1.375	83
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 081	38,35	0,04	0,009	17,31	0,22	43,72	0,15	0,000	0,00	0,018	0,02	0,12	0,00	0,000	100	995	82
FVS-CO-11-A-18 Line 105 Line 082	37,69	0,00	0,000	19,67	0,29	42,06	0,14	0,013	0,00	0,008	0,00	0,06	0,02	0,000	100	498	79
FVS-CO-11-A-20 Line 003	38,43	0,01	0,013	15,71	0,24	45,15	0,14	0,026	0,00	0,019	0,04	0,16	0,02	0,000	100	1.298	84
FVS-CO-11-A-20 Line 004	38,58	0,00	0,045	14,04	0,20	46,54	0,16	0,024	0,03	0,060	0,05	0,23	0,00	0,000	100	1.841	86
FVS-CO-11-A-20 Line 005	38,60	0,00	0,037	13,66	0,18	47,00	0,15	0,016	0,01	0,002	0,02	0,30	0,00	0,000	100	2.387	86
FVS-CO-11-A-20 Line 006	40,16	0,07	0,059	14,37	0,17	44,56	0,15	0,016	0,01	0,009	0,00	0,35	0,02	0,000	100	2.784	85
FVS-CO-11-A-20 Line 007	38,55	0,01	0,008	13,24	0,17	47,51	0,11	0,004	0,00	0,055	0,01	0,29	0,00	0,000	100	2.349	86
FVS-CO-11-A-20 Line 008	39,07	0,14	0,023	13,08	0,17	46,89	0,08	0,020	0,00	0,057	0,03	0,38	0,02	0,000	100	2.990	86
FVS-CO-11-A-20 Line 009	38,45	0,00	0,016	13,15	0,20	47,59	0,08	0,000	0,00	0,060	0,05	0,37	0,00	0,000	100	2.973	87
FVS-CO-11-A-20 Line 010	38,64	0,00	0,044	12,90	0,18	47,65	0,14	0,000	0,00	0,046	0,00	0,38	0,00	0,000	100	2.999	87
FVS-CO-11-A-20 Line 011	38,54	0,09	0,010	13,36	0,16	47,00	0,09	0,034	0,01	0,063	0,12	0,47	0,00	0,000	100	3.732	86



FVS-CO-01 Line 026	39,64 2	0,05 5	0,030	12,60 1	0,19 7	46,82 7	0,09 8	0,028	0,00 0	0,053	0,04 4	0,42 5	0,00 0	0	100	3340	87
FVS-CO-01 Line 027	39,48 6	0,00 0	0,050	12,90 4	0,11 6	46,80 7	0,11 2	0,000	0,01 0	0,060	0,06 5	0,37 5	0,01 5	0	100	2951	87
FVS-CO-01 Line 028	40,01 6	0,00 0	0,029	12,62 9	0,21 3	46,52 6	0,12 6	0,002	0,00 2	0,056	0,02 6	0,35 8	0,01 8	0	100	2815	87
FVS-CO-01 Line 029	39,89 5	0,00 0	0,021	12,57 7	0,18 4	46,79 4	0,12 1	0,029	0,00 0	0,039	0,02 4	0,30 6	0,01 1	0	100	2409	87
FVS-CO-01 Line 030	39,39 9	0,04 2	0,015	12,84 8	0,11 9	46,88 2	0,12 1	0,004	0,00 1	0,058	0,04 0	0,39 2	0,08 0	0	100	3080	87
FVS-CO-01 Line 031	39,61 3	0,04 7	0,025	13,18 5	0,21 0	46,39 3	0,10 1	0,000	0,00 9	0,029	0,04 5	0,34 4	0,00 0	0	100	2704	86
FVS-CO-01 Line 032	40,32 0	0,02 6	0,038	13,54 9	0,17 1	45,42 6	0,11 8	0,004	0,01 7	0,018	0,00 0	0,31 4	0,00 0	0	100	2469	86
FVS-CO-01 Line 033	40,40 1	0,08 9	0,068	12,97 9	0,22 2	45,67 4	0,15 8	0,010	0,00 4	0,038	0,05 9	0,30 0	0,00 0	0	100	2360	86
FVS-CO-01 Line 035	39,51 8	0,01 1	0,009	14,22 9	0,19 2	45,63 8	0,09 5	0,020	0,00 0	0,044	0,00 0	0,24 5	0,00 0	0	100	1926	85
FVS-CO-01 Line 036	39,51 9	0,05 2	0,000	14,33 3	0,20 9	45,52 6	0,11 0	0,000	0,00 0	0,025	0,02 4	0,20 2	0,00 0	0	100	1591	85
FVS-CO-01 Line 037	39,33 5	0,08 1	0,000	15,30 6	0,18 9	44,72 0	0,11 4	0,001	0,00 1	0,038	0,02 9	0,16 8	0,01 8	0	100	1318	84
FVS-CO-01 Line 038	39,19 5	0,00 0	0,041	16,17 9	0,27 7	43,85 0	0,18 0	0,000	0,01 2	0,000	0,01 5	0,23 0	0,02 2	0	100	1808	83
FVS-CO-01 Line 040	38,12 7	0,09 0	0,058	18,29 2	0,27 6	42,81 6	0,12 2	0,014	0,00 0	0,009	0,03 8	0,10 9	0,05 0	0	100	857	81
FVS-CO-01 Line 041	38,41 5	0,02 3	0,035	19,87 4	0,35 3	40,90 3	0,12 4	0,025	0,02 1	0,031	0,07 3	0,12 3	0,00 0	0	100	968	79
FVS-CO-01 Line 042	37,91 3	0,00 0	0,010	21,33 1	0,37 7	39,99 2	0,13 8	0,021	0,00 0	0,025	0,10 7	0,08 6	0,00 0	0	100	679	77

## 8.4 Análisis de química mineral microsonda electrónica en cristales de olivinos de La Albóndiga

Analisis puntuales	Si O2	Ti O2	Al2 O3	Fe O	Mn O	Mg O	Ca O	Na 2O	K 2O	Cr 2O3	P2 O5	Ni O	Cl	F	Total(Norm%)	Ni (ppm)	Ca (ppm)	Fo	Mn
FVS-AL-01-02 Line 002	38,00 618	0,00 0	0,024	18,367	0,32 9	42,349	0,11 1	0,017	0,000	0,008	0,047	0,130	0,000	0,000	100	1019	793	80	2550
FVS-AL-01-02 Line 003	39,05 298	0,08	0,001	15,337	0,17 6	44,560	0,16 4	0,027	0,000	0,035	0,036	0,280	0,000	0,000	100	2250	1175	84	1365
FVS-AL-01-02 Line 004	39,00 309	0,00	0,017	13,942	0,18 6	46,008	0,09 4	0,012	0,000	0,040	0,039	0,336	0,010	0,000	100	2639	670	85	1439
FVS-AL-01-02 Line 006	39,00 636	0,00	0,024	13,045	0,14 9	46,572	0,11 9	0,011	0,004	0,051	0,048	0,332	0,000	0,000	100	2611	852	86	1152
FVS-AL-01-02 Line 007	39,00 588	0,00	0,008	12,929	0,18 0	46,547	0,10 1	0,018	0,000	0,073	0,12	0,441	0,000	0,000	100	3471	721	87	1390
FVS-AL-01-02 Line 008	39,00 752	0,00	0,005	12,607	0,12 2	46,674	0,19 8	0,023	0,002	0,082	0,065	0,461	0,000	0,000	100	3622	1414	87	941
FVS-AL-01-02 Line 009	39,00 744	0,00	0,052	13,096	0,12 9	46,377	0,11 8	0,007	0,000	0,061	0,039	0,378	0,000	0,000	100	2970	842	86	998
FVS-AL-01-02 Line 010	39,00 705	0,00	0,001	12,491	0,15 5	46,991	0,09 0	0,011	0,003	0,050	0,072	0,409	0,020	0,000	100	3220	645	87	1197
FVS-AL-01-02 Line 011	39,00 656	0,00	0,036	12,641	0,17 9	46,768	0,18 1	0,013	0,004	0,031	0,053	0,429	0,000	0,000	100	3375	1296	87	1385
FVS-AL-01-02 Line 012	39,04 822	0,08	0,036	12,631	0,15 0	46,749	0,10 4	0,011	0,001	0,036	0,053	0,343	0,015	0,000	100	2699	746	87	1164
FVS-AL-01-02 Line 013	39,02 655	0,02 1	0,024	12,566	0,19 8	47,027	0,11 9	0,000	0,000	0,046	0,000	0,333	0,011	0,000	100	2617	849	87	1535

FVS-AL-01-02 Line 014	39,082	0,045	12,512	0,162	46,880	0,078	0,009	0,000	0,025	0,000	0,047	0,000	0,000	100	3756	557	87	1254
FVS-AL-01-02 Line 015	39,411	0,295	12,853	0,150	46,631	0,057	0,006	0,000	0,085	0,057	0,040	0,020	0,000	100	3189	408	87	1161
FVS-AL-01-02 Line 016	39,383	0,068	12,760	0,165	46,938	0,128	0,019	0,000	0,048	0,000	0,044	0,000	0,000	100	3505	917	87	1279
FVS-AL-01-02 Line 017	39,569	0,461	12,534	0,153	46,653	0,113	0,049	0,002	0,044	0,021	0,034	0,000	0,000	100	2676	806	87	1182
FVS-AL-01-02 Line 018	39,515	0,000	13,083	0,191	46,620	0,092	0,008	0,000	0,033	0,038	0,034	0,000	0,000	100	2715	656	86	1482
FVS-AL-01-02 Line 019	39,610	0,423	12,846	0,204	46,400	0,069	0,016	0,000	0,039	0,022	0,032	0,000	0,000	100	2519	490	87	1576
FVS-AL-01-02 Line 020	39,525	0,110	13,188	0,172	46,400	0,081	0,034	0,002	0,020	0,055	0,034	0,000	0,000	100	2686	578	86	1331
FVS-AL-01-02 Line 021	39,693	0,037	13,347	0,203	46,179	0,071	0,009	0,001	0,042	0,040	0,032	0,020	0,000	100	2548	508	86	1575
FVS-AL-01-02 Line 022	39,190	0,000	15,074	0,223	45,074	0,116	0,010	0,009	0,033	0,027	0,023	0,000	0,000	100	1826	827	84	1729
FVS-AL-01-02 Line 023	38,950	0,021	16,423	0,266	43,924	0,171	0,000	0,002	0,005	0,000	0,018	0,000	0,000	100	1486	1224	83	2058
FVS-AL-01.1 Line 002	38,535	0,034	19,988	0,297	40,732	0,193	0,005	0,006	0,034	0,019	0,010	0,000	0,000	100	831	1382	78	2302
FVS-AL-01.1 Line 003	38,566	0,046	19,086	0,258	41,558	0,155	0,035	0,001	0,050	0,060	0,016	0,000	0,000	100	1264	1105	80	2000
FVS-AL-01.1 Line 004	38,979	0,039	18,330	0,283	42,016	0,095	0,031	0,003	0,034	0,037	0,012	0,001	0,000	100	1018	682	80	2189
FVS-AL-01.1 Line 005	38,869	0,005	18,515	0,299	41,955	0,142	0,024	0,002	0,028	0,000	0,015	0,000	0,000	100	1180	1017	80	2316
FVS-AL-01.1 Line 006	38,498	0,041	19,140	0,311	41,671	0,103	0,029	0,002	0,019	0,033	0,010	0,000	0,000	100	798	733	80	2409
FVS-AL-01.1 Line 007	38,830	0,010	19,545	0,294	40,864	0,147	0,011	0,008	0,052	0,036	0,015	0,002	0,000	100	1235	1051	79	2278
FVS-AL-01.1 Line 008	38,512	0,079	19,779	0,247	41,038	0,148	0,034	0,006	0,000	0,028	0,008	0,001	0,000	100	625	1059	79	1915
FVS-AL-01.1 Line 009	38,424	0,000	19,927	0,353	40,834	0,113	0,028	0,006	0,000	0,009	0,016	0,004	0,000	100	1315	806	79	2731
FVS-AL-01.1 Line 010	38,334	0,039	19,993	0,266	41,012	0,114	0,025	0,003	0,023	0,015	0,013	0,001	0,000	100	1032	811	79	2057
FVS-AL-01.1 Line 011	38,223	0,074	20,112	0,283	41,026	0,140	0,005	0,000	0,000	0,000	0,011	0,009	0,000	100	935	1001	78	2191
FVS-AL-01.1 Line 012	38,226	0,008	20,258	0,281	40,843	0,107	0,032	0,003	0,021	0,027	0,013	0,000	0,000	100	1089	763	78	2172
FVS-AL-01.1 Line 015	38,173	0,046	19,975	0,287	41,119	0,047	0,027	0,000	0,046	0,039	0,022	0,000	0,000	100	1747	332	79	2224
FVS-AL-01.1 Line 017	38,482	0,000	19,712	0,246	41,218	0,120	0,006	0,000	0,000	0,006	0,018	0,000	0,000	100	1472	854	79	1907

FVS-AL-01.1 Line 018	38,424	0,071	0,000	19,530	0,267	41,375	0,112	0,019	0,000	0,043	0,005	0,155	0,000	0,000	100	1215	803	79	2065
FVS-AL-01.1 Line 019	38,673	0,000	0,025	19,272	0,283	41,350	0,130	0,017	0,000	0,044	0,022	0,148	0,030	0,000	100	1163	931	79	2188
FVS-AL-01.1 Line 020	38,387	0,008	0,043	19,905	0,239	41,031	0,176	0,020	0,004	0,024	0,008	0,141	0,015	0,000	100	1110	1256	79	1851
FVS-AL-01.2 Line 001	38,315	0,000	0,017	19,948	0,269	41,054	0,150	0,016	0,005	0,001	0,025	0,143	0,020	0,000	100	1122	1069	79	2083
FVS-AL-01.2 Line 002	38,094	0,010	0,000	20,293	0,313	40,913	0,140	0,000	0,005	0,017	0,004	0,170	0,020	0,000	100	1336	1002	78	2425
FVS-AL-01.2 Line 003	38,405	0,064	0,053	19,989	0,324	40,818	0,135	0,000	0,000	0,011	0,039	0,109	0,054	0,000	100	857	966	78	2507
FVS-AL-01.2 Line 004	38,582	0,212	0,041	19,065	0,309	41,417	0,145	0,038	0,004	0,001	0,025	0,003	0,150	0,000	100	1183	1035	79	2389
FVS-AL-01.2 Line 005	38,472	0,096	0,028	19,764	0,327	40,994	0,172	0,026	0,009	0,034	0,012	0,060	0,000	0,000	100	544	1214	79	2530
FVS-AL-01.2 Line 006	38,752	0,000	0,019	19,086	0,321	41,411	0,196	0,018	0,003	0,004	0,000	0,148	0,043	0,000	100	1161	1403	79	2483
FVS-AL-01.2 Line 008	38,500	0,015	0,025	19,255	0,310	41,589	0,108	0,023	0,000	0,007	0,024	0,146	0,000	0,000	100	1147	772	79	2398
FVS-AL-01.2 Line 009	38,768	0,013	0,016	18,861	0,347	41,481	0,193	0,031	0,002	0,037	0,043	0,156	0,050	0,000	100	1223	1379	80	2684
FVS-AL-01.2 Line 011	38,596	0,000	0,037	18,962	0,281	41,768	0,152	0,010	0,000	0,037	0,024	0,127	0,000	0,000	100	997	1089	80	2174
FVS-AL-01.2 Line 012	38,788	0,049	0,021	18,570	0,341	41,889	0,123	0,018	0,006	0,007	0,028	0,151	0,000	0,000	100	1188	881	80	2639
FVS-AL-01.2 Line 013	38,848	0,000	0,000	18,150	0,317	42,297	0,137	0,027	0,000	0,009	0,014	0,180	0,020	0,000	100	1415	977	81	2452
FVS-AL-01.2 Line 014	38,793	0,003	0,230	18,305	0,252	41,880	0,213	0,030	0,007	0,025	0,025	0,149	0,070	0,000	100	1171	1522	80	1952
FVS-AL-01.2 Line 015	38,459	0,000	0,016	19,095	0,310	41,699	0,177	0,023	0,004	0,020	0,027	0,131	0,020	0,000	100	1034	1266	80	2403
FVS-AL-01.2 Line 017	38,497	0,057	0,004	18,743	0,325	41,992	0,124	0,034	0,006	0,001	0,045	0,160	0,000	0,000	100	1259	883	80	2518
FVS-AL-01.2 Line 018	38,696	0,042	0,000	18,620	0,284	41,887	0,172	0,013	0,001	0,047	0,024	0,207	0,000	0,000	100	1625	1229	80	2196
FVS-AL-01.2 Line 019	38,488	0,051	0,037	19,695	0,346	40,946	0,202	0,009	0,002	0,035	0,074	0,108	0,000	0,000	100	846	1441	79	2680