



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

GEOTERMÓMETROS DE CLORITA EN EL SISTEMA GEOTERMAL NEVADOS DE CHILLÁN

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS, MENCIÓN GEOLOGÍA
MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

CRISTOBAL ENRIQUE CUEVAS ESCALANTE

PROFESOR GUÍA:
DIEGO MORATA CÉSPEDES

PROFESOR CO-GUÍA:
SANTIAGO MAZA ROBLES

MIEMBROS DE LA COMISION:
GLORIA ARANCIBIA HERNÁNDEZ
FERNANDO BARRA PANTOJA

Este trabajo ha sido financiado por el Centro De Excelencia En Geotermia De Los Andes (CEGA), Proyecto ANID-FONDAP (15090013 y ACE210005) y el Proyecto FONDECYT Regular #1220729.

SANTIAGO DE CHILE

2024

GEOTERMÓMETROS DE CLORITA EN EL SISTEMA GEOTERMAL NEVADOS DE CHILLÁN

A pesar de la utilidad de la clorita como indicador de condiciones T-P-X-fO₂, aún existen incertidumbres sobre su comportamiento en ambientes geológicos específicos, como el Sistema Geotermal Nevados de Chillán (SGNCh), en el Complejo Volcánico Nevados de Chillán de la Zona Volcánica Sur de los Andes, y sobre la validez general de los geotermómetros basados en estos minerales. Esta tesis se centra en el estudio de las cloritas presentes en el pozo exploratorio Nieblas-1 del SGNCh, donde se observa su distribución pervasiva a lo largo de sus 1000.86 m. Esta peculiaridad en un entorno tan bien estudiado ofrece una oportunidad única para analizar su química y emplear geotermómetros. El objetivo principal es establecer las condiciones térmicas y la evolución del sistema geotermal a través del análisis composicional y espacial de la clorita como herramienta geotermométrica. Mediante análisis petrológico, que incluye microscopía óptica, difracción de rayos X (DRX) y microscopía electrónica de barrido con análisis elemental (SEM-EDX), se estudió la mineralogía, textura, microestructura, asociaciones minerales y morfología de cloritas. El objetivo fue identificar rasgos distintivos que permitan inferir su origen y condiciones de formación. La composición química obtenida fue utilizada para aplicar geotermómetros.

En la secuencia volcanoclástica de andesita basáltica porfírica, se clasifican dos tipos de cloritas según su morfología y tamaño. Chl-1, agregados gruesos (10 - 40 μm), alargados y curvos. Distribuidos a lo largo de todo el pozo en vetillas, vesículas, fracturas, cementando o reemplazando minerales primarios, asociación cuarzo + calcita \pm albita. Chl-2, agregados más finos (3 - 8 μm), placas pequeñas y desorientadas. Localizados exclusivamente como vesículas en las zonas profundas del pozo, asociación laumontita + epidota + anhidrita \pm prehnita \pm granate. Composicionalmente, los dos tipos muestran una química semejante, clasificación diabantita - picnoclorita trioctaédricas ferromagnesianas con alto contenido en sílice. Los modelos empíricos de Kranidiotis & McLean (1987), Cathelineau (1988) y Jowett (1991), sugieren temperaturas de cristalización, 170 - 250°C. El termodinámico de Lanari et al. (2014), 140 - 185°C. Los semi-empíricos de Bourdelle et al. (2013) e Inoue et al. (2018), 120 - 160°C. Al comparar estimaciones con asociaciones minerales y la temperatura directa del pozo, el método de Cathelineau mostró la mayor coherencia, con temperaturas de 170 - 220°C para Chl-1 y 220 - 240°C para Chl-2.

En conclusión, en base a su morfología, ocurrencia y asociaciones minerales se distinguen dos tipos de cloritas (Chl-1, Chl-2). Sin embargo, las diferencias químicas entre ellas son limitadas, debido al control de la roca caja. Las fluctuaciones químicas de las cloritas en profundidad están asociadas con la temperatura en la capa tetraédrica y con la actividad de oxígeno en la capa octaédrica. Los microdominios, ubicación, asociaciones minerales, morfologías, temperaturas de formación y sustituciones catiónicas, permiten vincularlas a dos etapas principales; una alteración regional pasada (Chl-1) y la alteración geotermal actual (Chl-2). La mayor precisión del método empírico de Cathelineau sugiere que su simplicidad, lo hace menos susceptible a la compleja dinámica del sistema. Los resultados geotermométricos son coherentes dentro de sus respectivos contextos y permiten constreñir las condiciones termométricas de cristalización.

Agradecimientos

Agradezco sinceramente a mi profesor guía, Dr. Diego Morata Céspedes, y a mi profesor coguía, Dr. Santiago Maza Robles, por su invaluable orientación y apoyo en este proyecto. Sus contribuciones han sido fundamentales para la realización y la calidad de mi investigación. Asimismo, extendo mi gratitud a los miembros de la comisión, Dra. Gloria Arancibia Hernández y Dr. Fernando Barra Pantoja, por sus valiosos comentarios y sugerencias que enriquecieron este trabajo.

Extiendo mi reconocimiento al Centro de Excelencia en Geotermia de los Andes (CEGA), el proyecto ANID-FONDECYT Regular #1220729 y el Proyecto ANID-FONDAP 15090013 y ACE210005 por el apoyo financiero que ha sido esencial para la realización de las actividades de laboratorio, análisis y redacción de este documento.

Agradezco también a la Universidad de Chile por proporcionar el entorno académico y los recursos necesarios para llevar a cabo este trabajo. Su compromiso con la excelencia académica y la investigación es verdaderamente inspirador.

A mi familia, cuyo amor incondicional y apoyo continuo han sido la columna vertebral emocional durante todo el proceso. Gracias por creer en mí y por estar allí en cada paso del camino.

Finalmente, quiero expresar mi gratitud a mis amigos, quienes han sido una fuente constante de aliento, guía y motivación. Su amistad y su apoyo han significado más de lo que las palabras pueden expresar.

*Esta tesis es mi pequeño aporte en el eterno periplo
de la ciencia hacia la comprensión del mundo, un
paso más en un camino sin fin.*

Tabla de contenido

1	Introducción.....	1
1.1	Estructura de la tesis	1
1.2	Motivación.....	1
1.2.1	Clorita.....	2
1.2.2	Geotermometría de Cloritas.....	3
1.3	Caso de Estudio	6
1.4	Objetivos.....	8
1.4.1	Objetivo General:	8
1.4.2	Objetivos Específicos:	8
1.4.3	Pregunta Científica	8
1.4.4	Hipótesis de Trabajo:.....	8
1.5	Marco Geológico: Sistema Geotermal de Nevados de Chillán (SGNCh).....	9
1.5.1	Marco Tectónico.....	9
1.5.2	Expresiones Geotermales Superficiales.....	12
1.5.3	Pozo Exploratorio Nieblas-1	12
1.6	Metodología.....	16
2	Chlorite geothermometers in the Nevados de Chillán Geothermal System.....	23
2.1	ABSTRACT.....	23
2.2	INTRODUCTION	23
2.3	GEOLOGICAL SETTING	24
2.4	SAMPLING AND ANALYTICAL METHODS	26
2.5	RESULTS	28
2.6	DISCUSSION	40
2.7	CONCLUDING REMARKS.....	46
2.8	ACKNOWLEDGEMENTS.....	47
3	Integración de Resultados y Consideraciones Finales	47
4	Conclusiones	55
4.1	Conclusiones Generales.....	55
5	Bibliografía.....	56
6	Anexos.....	64
	Anexo A: Análisis Químico SEM	64
	A.1. Imágenes microscopía Electrónica de Barrido.....	64

A.2. Resultados análisis Químico SEM.....	123
Anexo B: Resultados Geotermométricos.....	153

Índice de Tablas

Table 1: Resumen de los principales geotermómetros basados en el.....	6
Table 2: Resumen abreviatura mineral utilizada en este estudio.....	18
Table 3: Geotermómetros utilizados en este estudio, modificado.....	22
Table 4: Summary of SEM-EDX	32
Table 5: Petrographic parameter.....	37
Table 6: Average temperatures according to method by depth and type.	40
Table 7: Análisis químicos en wt% para los puntos de interes	123
Table 8: Datos geotermometría	153

Índice de Figuras

Figure 1: Estructura y Composición.....	3
Figure 2: Geología Regional: Ubicación	10
Figure 3: Ilustración de la columna	16
Figure 4: NIC vs Al y IC	18
Figure 5: Parámetros microestructurales	19
Figure 6: Referencia de niveles de alteración.....	20
Figure 7: Simplified lithology, sampling location and occurrence of Chl.	28
Figure 8: Morphologies and size. Representative images.	30
Figure 9: Mineral associations. Representative images of the main	30
Figure 10: Chlorite microdomains and principal association;.....	31
Figure 11: Chlorite classification diagrams.....	33
Figure 12: Chemistry with Depth: Variation of the main.....	34
Figure 13: Mechanisms of cationic substitution in chlorites calculated.....	36
Figure 14: Geothermometry of chlorites as a function of depth and comparison	39
Figure 15: a) Graphical geothermometer from Bourdelle	39
Figure 16: Modelo esquemático del desarrollo de cloritas.....	48
Figure 17: Modelo esquemático del desarrollo de cloritas.....	49
Figure 18: Modelo esquemático del desarrollo de cloritas.....	51
Figure 19: Modelo esquemático del desarrollo de cloritas.....	53
Figure 20: Modelo esquemático resumido del desarrollo	54
Figure 21: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB60, tomadas de la Zona 1, subzonas f1 - f5, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	64
Figure 22: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB60, tomadas de la Zona 2, subzonas f1 - f5, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	65

Figure 23: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB60, tomadas de la Zona 1i, subzonas f1 - f5, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	66
Figure 24: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB60, tomadas de la Zona 1i, subzonas f6 – f10, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	67
Figure 25: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB60, tomadas de la Zona 2i, subzonas f1 – f3, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	68
Figure 26: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB60, tomadas de la Zona 2i, subzonas f4 – f6, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	69
Figure 27: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB60, tomadas de la Zona 3i, subzonas f1 – f3, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	70
Figure 28: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB60, tomadas de la Zona 3i, subzonas f4 – f6, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	71
Figure 29: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB100, tomadas de la Zona 1, subzonas f1 – f3, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	72
Figure 30: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB100, tomadas de la Zona 1, subzonas f4 – f6, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	73
Figure 31: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB100, tomadas de la Zona 2, subzonas f1 – f2, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	74
Figure 32: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB100, tomadas de la Zona 1i, subzonas f1 – f4, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	75
Figure 33: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB100, tomadas de la Zona 2i, subzonas f1 – f3, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	76
Figure 34: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB100, tomadas de la Zona 2i, subzonas f4 – f6, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	77
Figure 35: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB100, tomadas de la Zona 3i, subzonas f1 – f3, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	78
Figure 36: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB255, tomadas de la Zona 1, subzonas f1 – f3, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	79
Figure 37: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB255, tomadas de la Zona 1, subzonas f4 – f6, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	80

Figure 38: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB255, tomadas de la Zona 2, subzonas f1 – f3, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	81
Figure 39: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB255, tomadas de la Zona 3, subzonas f1 – f5, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	82
Figure 40: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB255, tomadas de la Zona 1i, subzonas f1 – f3, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	83
Figure 41: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB255, tomadas de la Zona 2i, subzonas f1 – f2, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	84
Figure 42: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB255, tomadas de la Zona 3i, subzonas f1 – f4, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	85
Figure 43: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB307, tomadas de la Zona 1, subzonas f1 – f3, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	86
Figure 44: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB307, tomadas de la Zona 1, subzonas f4 – f6, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	87
Figure 45: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB307, tomadas de la Zona 2, subzonas f1 – f3, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	88
Figure 46: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB307, tomadas de la Zona 3, subzonas f1 – f5, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	89
Figure 47: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB476, tomadas de la Zona 1, subzonas f1 – f3, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	90
Figure 48: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB476, tomadas de la Zona 1, subzonas f4 – f6, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	91
Figure 49: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB476, tomadas de la Zona 2, subzonas f1, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	91
Figure 50: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB476, tomadas de la Zona 3, subzonas f1 – f4, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	92
Figure 51: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB476, tomadas de la Zona 3, subzonas f5 – f7, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	93
Figure 52: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB476, tomadas de la Zona 1i, subzonas f1 – f4, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	94

Figure 53: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB476, tomadas de la Zona 1i, subzonas f5 – f8, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	95
Figure 54: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB476, tomadas de la Zona 2i, subzonas f1 – f5, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	96
Figure 55: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB476, tomadas de la Zona 3i, subzonas f1 – f5, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	97
Figure 56: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB476, tomadas de la Zona 3i, subzonas f6 – f9, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	98
Figure 57: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB579, tomadas de la Zona 1, subzonas f1 – f4, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	99
Figure 58: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB579, tomadas de la Zona 2, subzonas f1 – f5, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	100
Figure 59: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB579, tomadas de la Zona 3, subzonas f1 – f2, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	101
Figure 60: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB745, tomadas de la Zona 1, subzonas f1 – f4, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	102
Figure 61: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB745, tomadas de la Zona 1, subzonas f5 – f7, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	103
Figure 62: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB763, tomadas de la Zona 1, subzonas f1 – f3, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	104
Figure 63: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB763, tomadas de la Zona 2, subzonas f1, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	104
Figure 64: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB833, tomadas de la Zona 1, subzonas f1 – f3, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	105
Figure 65: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB833, tomadas de la Zona 1, subzonas f4 – f6, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	106
Figure 66: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB833, tomadas de la Zona 2, subzonas f1 – f4, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	107
Figure 67: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB833, tomadas de la Zona 3, subzonas f1 – f3, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	108

Figure 68: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB833, tomadas de la Zona 1i, subzonas f1 – f4, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	109
Figure 69: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB833, tomadas de la Zona 1i, subzonas f5 – f7, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	110
Figure 70: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB833, tomadas de la Zona 2i, subzonas f1 – f2, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	111
Figure 71: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB935, tomadas de la Zona 1, subzonas f1 – f4, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	112
Figure 72: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB935, tomadas de la Zona 1, subzonas f5 – f8, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	113
Figure 73: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB935, tomadas de la Zona 2, subzonas f1 – f5, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	114
Figure 74: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB935, tomadas de la Zona 3, subzonas f1 – f2, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	115
Figure 75: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB935, tomadas de la Zona 1i, subzonas f1 – f5, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	116
Figure 76: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB935, tomadas de la Zona 1i, subzonas f6 – f9, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	117
Figure 77: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB935, tomadas de la Zona 2i, subzonas f1 – f5, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	118
Figure 78: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB935, tomadas de la Zona 2i, subzonas f6 – f9, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	119
Figure 79: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB985, tomadas de la Zona 1, subzonas f1 – f5, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	120
Figure 80: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB985, tomadas de la Zona 2, subzonas f1 – f4, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	121
Figure 81: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB985, tomadas de la Zona 2, subzonas f5 – f6, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.	122

1 Introducción

1.1 ESTRUCTURA DE LA TESIS

El presente trabajo se centra en la evolución hidrotermal y análisis de los minerales de alteración del Sistema Geotermal Nevados de Chillán (SGNCh), situado en la Cordillera Principal de Chile central, a una latitud de aproximadamente 36°50'S. El enfoque actual se dirige a explorar un componente crítico, una caracterización detallada de las cloritas presentes en el sistema, que tienen el potencial de revelar información esencial sobre las condiciones geotérmicas, geoquímicas y los procesos subyacentes que podrían tener aplicaciones prácticas en la geotermia. Este estudio pretende abordar el problema científico de comprender las condiciones de formación y evolución de las cloritas en el SGNCh, proporcionando una visión detallada de su química y las implicaciones para la caracterización de sistemas geotermiales.

La tesis se organiza de la siguiente manera: el primer capítulo sirve como introducción, sentando las bases teóricas necesarias para el estudio. Le sigue un capítulo que enmarca el manuscrito en preparación titulado "Chlorite geothermometers in the Nevados de Chillán Geothermal System", donde se exponen el contexto geológico, las metodologías empleadas, los resultados logrados y las discusiones surgidas de la investigación. Se incluye un análisis de los factores que configuran la química de las cloritas, acompañado de una evaluación crítica de los resultados derivados de diversos métodos geotermométricos aplicados a este mineral. A continuación, se presenta un capítulo que sintetiza las principales discusiones y conclusiones, resaltando los hallazgos más relevantes, las implicancias de la investigación y su conexión con trabajos previos en la región. La tesis concluye con una lista completa de referencias bibliográficas, reflejando la literatura consultada, y los anexos que complementan la investigación.

1.2 MOTIVACIÓN

Los sistemas geotérmicos son ambientes caracterizados por gradientes de temperatura superiores al promedio regional, presentando un gran potencial para la exploración e investigación energética. Son particularmente abundantes en regiones con intensa actividad volcánica y tectónica, ofrecen valiosas oportunidades para el estudio de procesos geológicos y el desarrollo de recursos energéticos sostenibles (Barbier, 2002; Dickson & Fanelli, 2013).

Sudamérica, y específicamente Chile, se destaca como una región privilegiada para la investigación geotérmica (Stern, 2004). Los Andes, con su notable actividad volcánica, proporciona un escenario ideal para el estudio y aprovechamiento de estos recursos. Chile, pionero en la región, ha liderado la innovación en este campo, siendo el primer país sudamericano en implementar una planta geotérmica operativa (Maza et al., 2018).

En los sistemas geotérmicos, especialmente aquellos de alta temperatura asociados a contextos magmáticos y volcánicos activos, se producen interacciones complejas entre fluidos hidrotermales y rocas (Barbier, 2002; Dickson & Fanelli, 2013). Estos procesos de interacción

roca-fluido, a través de procesos como reemplazo, disolución o precipitación mineral, resultan en modificaciones significativas de la mineralogía y composición química de las rocas, generando asociaciones minerales características (Barbier, 2002; Henley & Ellis, 1983).

El estudio petrográfico de estas asociaciones minerales proporciona información crucial sobre las características geoquímicas del sistema, incluyendo la composición del fluido, las condiciones de formación de los minerales y la evolución térmica del sistema. Entre los minerales formados en estos ambientes, la clorita destaca por su sensibilidad a las condiciones fisicoquímicas del entorno. La clorita, un filosilicato máfico, se encuentra en una diversidad de contextos geológicos y exhibe una amplia gama composicional. Esta variabilidad refleja las condiciones específicas de su formación, lo que la convierte en un valioso indicador para estudios geológicos, particularmente en geotermobarometría (de Caritat et al., 1993).

La composición química de la clorita está influenciada por factores como la temperatura, presión, composición de la roca caja y fugacidad de oxígeno, entre otros. En el contexto de los sistemas geotermales de Chile, el estudio del mineral adquiere especial relevancia. Su análisis permite reconstruir la historia térmica del sistema y comprender los procesos geológicos involucrados en su génesis, contribuyendo significativamente a la exploración y desarrollo de recursos geotérmicos en la región.

1.2.1 Clorita

La clorita es un mineral de arcilla perteneciente a la familia de los filosilicatos máficos hidratados de aluminio que cristaliza en el sistema monoclinico con una estructura 2:1+1 o TOT+1. Se encuentra comúnmente en rocas alteradas diagenéticamente, por metamorfismo de bajo grado y alteración hidrotermal. Presenta una fórmula estructural $(\text{Mg, Fe})_3(\text{Si, Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{Mg, Fe})_3(\text{OH})_6$. La estructura de la clorita consta de capas de tetraedro $(\text{Si, Al})\text{O}_4$ interconectados formando anillos hexagonales en un plano bidimensional y una capa octaédrica caracterizadas por cationes (Mg, Fe, Al) rodeados por tres iones de oxígeno o hidroxilo, O_2^- u OH^- . El ion OH^- se encuentra en el centro de los anillos de las capas tetraédricas. Cada capa octaédrica (O) se dispone entre dos capas tetraédricas (T), formando capas T-O-T o capas tipo talco. Las capas T-O-T están separadas por una capa adicional octaédrica (capa de "brucita") donde los cationes de Mg, Fe, Al están coordinados entre aniones de OH^- (Fulignati, 2020; Inoue et al., 2009, 2018; Schulz, 2020).

La clorita presenta diversas sustituciones químicas que dan lugar a una amplia variedad de especies con diferentes composiciones químicas. Las principales sustituciones son:

- Sustitución ferromagnesiana (Mg-Fe): Implica la sustitución del hierro por magnesio, también puede ser afectada por la sustitución de Al^{3+} por Fe^{3+} .
- Sustitución Tschermak ($\text{Si} + \text{R}^{2+} = \text{Al}_{\text{total}}$): Implica la sustitución de $(\text{Mg, Fe})^{2+}$ por Al^{3+} en los sitios octaédricos balanceados por la sustitución de Si^{4+} por Al^{3+} en el sitio tetraédrico, lo que determina la miscibilidad entre los miembros finales ricos en Al, es decir la serie corundofilita, clinocloro y clorita libre de Al (un miembro teórico químicamente idéntico a la serpentina)

- Sustitución di-trioctaedral ($2Al^{VI} + []^{VI} = 3R^{2+}$), consiste en la sustitución de $(Mg, Fe)^{2+}$ por Al^{3+} y una vacancia ($[]$) en el sitio octaédrico, que genera la miscibilidad de la serie corundofilita-clorita libre de Al con la sudoita.

Las propiedades de estos minerales de arcilla y las transformaciones mineralógicas no solo se ven afectadas por la temperatura sino también por la química de la roca y del fluido, el tiempo, la relación fluido/roca, la naturaleza del material precursor, el estrés tectónico y/o los mecanismos de crecimiento de los cristales (Essene & Peacor, 1995; López-Munguira et al., 2002). Estos factores influyen en la composición y estructura de la clorita, así como en su morfología.

Este mineral de arcilla hallado comúnmente en facies de alteración propilítica, como reemplazo de minerales máficos, plagioclasa, otros minerales de arcilla o como precipitación directa en vetillas. Desempeña un papel crucial en el estudio de diversos fenómenos geológicos. Su presencia en entornos con temperaturas superiores a los 200 - 220°C resalta su relevancia en áreas como la exploración minera y la investigación geotérmica. Al analizar la presencia y formación de la clorita, se obtiene información crucial sobre las condiciones de este tipo de sistemas. Además, la composición química que varía sistemáticamente, la convierte en un indicador confiable de las condiciones fisicoquímicas y temperaturas durante su cristalización.

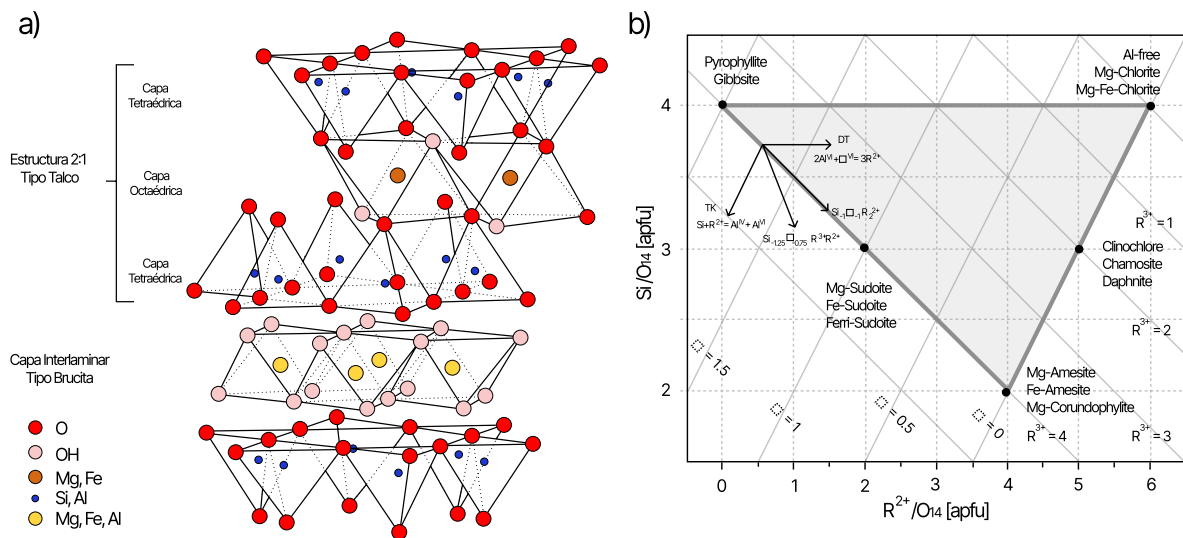


Figure 1: Estructura y Composición. a) Representación estructura clorita, modificado de Yang et al., (2018). b) Campo composicional clorita y principales vectores de sustitución, modificado de Bourdelle et al., (2021).

1.2.2 Geotermometría de Cloritas

La geotermometría de clorita se basa en el uso de la composición química de este mineral como estimador de temperatura. A lo largo del tiempo, se han presentado tres enfoques para la aplicación de estas metodologías: empíricos, termodinámicos y semi-empíricos.

Los geotermómetros empíricos incluyen entre muchos los desarrollados por Cathelineau & Nieva (1985), Kranidiotis & MacLean (1987), Jowett (1991), De Caritat (1993) y Hillier & Velde (1991). Estos enfoques incluyen calibraciones basadas en la concentración de Al^{IV},

ocupación/vacancia octaédrica, y la determinación de temperaturas de formación a través de otros indicadores térmicos como las temperaturas de homogenización, temperaturas directas de pozo, reflectancia de vitrinita e inclusiones fluidas presentes en sistemas fósiles (Bourdelle & Cathelineau, 2015).

El geotermómetro termodinámico se basa en cálculos que se realizan a través de la expresión de la composición de la clorita como la actividad de sus componentes en una solución sólida con propiedades termodinámicas conocidas. Esto implica el uso de bases de datos termodinámicos que contienen parámetros como entalpía, entropía, capacidad calorífica, etc., y considera modelos de solución sólida ideal o no ideales para representar la mezcla en la estructura cristalina del mineral. Ejemplos de estos geotermómetros termodinámicos incluyen los desarrollados por Walshe (1986), Vidal et al., (2001, 2006) y Lanari et al., (2014). La aplicación de estos métodos implica plantear el equilibrio termodinámico clorita + cuarzo, escribir la ecuación con las actividades de los miembros finales, igualar la energía de Gibbs de la reacción a cero e incorporar la constante de equilibrio, que depende de la temperatura según la ecuación de Van't Hoff. La resolución de la ecuación resultante proporciona una expresión que relaciona la temperatura con las actividades de los componentes y, por lo tanto, con la composición de la clorita. La temperatura de formación, junto con otros parámetros fisicoquímicos como la presión, la mineralogía de la roca, el particionamiento elemental entre minerales coexistentes, la composición de los fluidos y las condiciones redox, se consideran en conjunto para una evaluación precisa de las condiciones termodinámicas de la clorita. Las ventajas de este método incluyen una mayor rigurosidad y la capacidad de representar múltiples procesos de sustitución y de incorporar efectos como la presión y la no idealidad. Sin embargo, también presenta desafíos, como la complejidad de los cálculos y la necesidad de parametrizaciones termodinámicas que pueden limitar su rango de aplicabilidad (Bourdelle 2021, Bourdelle & Cathelineau, 2015).

Los geotermómetros semi-empíricos, como los desarrollados por Bourdelle e Inoue (Bourdelle et al., 2013; Inoue et al., 2009, 2018), representan una variante de los geotermómetros termodinámicos diseñada para simplificar la entrada de parámetros y aumentar la aplicabilidad. Estos modelos consideran el equilibrio termodinámico clorita + cuarzo, similar a los modelos termodinámicos, pero en lugar de usar actividades calculadas a partir de modelos de solución sólida, utilizan razones de actividades de miembros finales ideales para representar la composición de la clorita. Esto permite expresar la constante de equilibrio K en función de la composición química de la clorita de manera más simple, asumiendo que ciertos efectos, como la presión y la no idealidad, varían lineal o cuadráticamente con $1/T$. De esta manera, se obtienen ecuaciones empíricas simples que relacionan directamente la composición con la temperatura a través de la constante de equilibrio, permitiendo calcular la temperatura directamente sin necesidad de calcular actividades o usar parámetros termodinámicos. Estos geotermómetros se caracterizan por realizar suposiciones y modificaciones teóricas, como la definición de miembros teóricos o la recalibración de las constantes en las ecuaciones, y están diseñados para ser funcionales sin conocer información adicional como la presión o el contenido de Fe^{3+} . Las ventajas de este enfoque incluyen la simplicidad y un buen desempeño en contextos de baja temperatura, incluso con cloritas ricas en sílice (> 3.00 a.p.f.u.; (Bourdelle, 2021).

Los diferentes métodos desarrollados han sido adaptados para poder ser aplicables en diferentes ambientes geológicos de baja temperatura, hidrotermales, diagenéticos y metamorfismo de bajo grado (Bourdelle et al., 2013; Verdecchia et al., 2019). Sin embargo, su uso no está exento de críticas y desafíos. Uno de los principales problemas radica en la estabilidad de la clorita, que puede presentar defectos cristaloquímicos o combinarse con otras fases. Esto puede complicar la interpretación de los datos. Además, cuando la temperatura es inferior a 350°C, la clorita puede experimentar una transformación lenta, formando fases metaestables. Esto significa que la composición de la clorita puede depender no solo de la temperatura sino también de otros factores cinéticos, como la presión, la composición de la roca, la presencia de fallas y la razón fluido-roca. La ley de maduración de Ostwald podría explicar estas reacciones, pero también podría cuestionar la validez de la clorita como geotermómetro (de Caritat et al., 1993; Essene & Peacor, 1995).

Otro desafío importante es contar con el contenido de Fe^{3+} , ya que su cálculo usualmente precisa de equipos especializados y no es trivial. Como menciona Vidal et al. (2016), la consideración del Fe^{3+} , especialmente en contextos de baja temperatura es crucial, debido a que su proporción y las vacancias dentro de la clorita tienden a aumentar conforme la temperatura disminuye. La correcta evaluación del Fe^{3+} es esencial, dado que afecta la actividad de todos los miembros finales de la clorita y, por ende, puede influir significativamente en las temperaturas de equilibrio calculadas por los geotermómetros. Por lo tanto, omitir o calcular incorrectamente el contenido de Fe^{3+} podría llevar a una estimación errónea de las temperaturas reales a las que cristalizó (Vidal et al., 2005). Además, la formación de minerales como la clorita e illita no sigue un camino único, ya que puede ser el resultado de varios procesos, como la precipitación de un fluido o la transformación progresiva de un mineral precursor (Robinson et al., 2002). Esta complejidad añade otro nivel de desafío en la interpretación y uso de la clorita como indicador geotérmico.

La geotermometría de clorita ha encontrado aplicaciones versátiles en una variedad de contextos, como sistemas diagenéticos, hidrotermales y metamórficos de bajo grado (Chu et al., 2020; Hillier & Velde, 1991; Qaim Raza et al., 2021; Verdecchia et al., 2019). En Chile, esta técnica específica forma parte de un panorama más amplio en el que diversos estudios han empleado el análisis de minerales de arcilla, incluyendo la clorita, para describir y comprender sistemas geológicos complejos (Bastias et al., 2016; Gallardo, 2020; Maza et al., 2018; Vázquez et al., 2014). Algunas de estas investigaciones han aplicado geotermómetros de clorita para obtener información adicional sobre yacimientos minerales y sistemas geotérmicos en el país (Schulz, 2020; Vázquez et al., 2014). La integración de estos métodos ha proporcionado aportes valiosos, pero también subraya la necesidad continua de evaluar y mejorar la confiabilidad de estas herramientas geoquímicas, asegurando su aplicación precisa y efectiva en distintos escenarios geológicos.

Table 1: Resumen de los principales geotermómetros basados en el quimismo de la clorita, modificado de Bourdelle et al., (2021).

Ref.	Year	Type	Equation (Oxygen Basis (14 or 28) in Brackets)/Equilibrium ^{1,2,3}	Elements/End-Members
Cathelineau and Nieva	1985	empirical equation	$T = 212.3\text{Al}^{\text{IV}} + 17.5$ (14)	Al ^{IV} content
Kranidiotis and McLean	1987	empirical equation	$T = 106(\text{Al}^{\text{IV}} + 0.7\text{XFe}) + 18$ (28)	Al ^{IV} , Fe, Mg contents
Cathelineau	1988	empirical equation	$T = 321.98\text{Al}^{\text{IV}} - 61.92$ (14)	Al ^{IV} content
Jowett	1991	empirical equation	$T = 319(\text{Al}^{\text{IV}} + 0.1\text{XFe}) - 69$ (14)	Al ^{IV} , Fe, Mg contents
Hillier and Velde	1991	empirical equation	$T = 249.56\text{Al}^{\text{IV}} - 320.28$ (28)	Al ^{IV} content
Zang and Fyfe	1995	empirical equation	$T = 106.2(\text{Al}^{\text{IV}} - 0.88[\text{XFe} - 0.34]) + 17.5$ (28)	Al ^{IV} , Fe, Mg contents
Xie et al.	1997	empirical equation	$T = 321.98(\text{Al}^{\text{IV}} + 0.133[0.31 - \text{XFe} (<0.31)]) - 61.92$ (14)	Al ^{IV} , Fe, Mg contents
Vidal et al.	2001	thermodynamic model	2 clinocllore + 3 Mg-sudoite = 4 Mg-amesite + 7 quartz + 4 H ₂ O	clinocllore daphnite Mg-amesite Mg-sudoite
Vidal et al.	2005 2006	thermodynamic model	5 Fe-amesite + 4 clinocllore = 5 Mg-amesite + 4 daphnite ⁴ 16 daphnite + 15 Mg-sudoite = 20 Fe-amesite + 6 clinocllore + 35 quartz + 20 H ₂ O 4 daphnite + 6 Mg-sudoite = 5 Fe-amesite + 3 Mg-amesite + 14 quartz + 8 H ₂ O	+ Fe-amesite
Lanari et al.	2014	thermodynamic model	2 daphnite + 3 Fe-sudoite = 4 Fe-amesite + 7 quartz + 4 H ₂ O Mg-amesite + 2 Fe-sudoite = Fe-amesite + 2 Mg-sudoite 2 clinocllore + 5 Fe-sudoite = 2 daphnite + 5 Mg-sudoite	+ Fe-sudoite
Vidal et al.	2016	thermodynamic model	14 equilibrium implying quartz, O ₂ , and ferri-sudoite	+ Ferri-sudoite
Walshe	1986	semi-empirical model	$T = 1626/(6.542 + 0.33(\log K) - 273$ 5 Al-free Mg-chlorite + 3 pyrophyllite-gibbsite = 6 clinocllore + 14 quartz + 8 H ₂ O	Al-free Mg-chlorite clinocllore chamosite (daphnite) pyrophyllite-gibbsite
Inoue et al.	2009	semi-empirical model	$T = 1/(0.00293 - 0.000513(\log K) + 0.00003904(\log K)^2) - 273$ Al-free Mg-chlorite + 3 Mg-sudoite = 3 Mg-amesite + 7 quartz + 4H ₂ O $T = -9400/(\log K - 23.40) + 273$	Al-free Mg-chlorite Mg-cordophillite (amesite) Mg-sudoitechamosite (daphnite)
Bourdelle et al.	2013	semi-empirical model	Al-free Mg-chlorite + 3 Mg-sudoite = 3 Mg-amesite + 7 quartz + 4H ₂ O	Al-free Fe-, Mg-chlorite Fe-, Mg-amesite Fe-, Mg-sudoite

1.3 CASO DE ESTUDIO

Los geotermómetros de cloritas son herramientas muy útiles para determinar las condiciones de formación en contextos de alta temperatura. Sin embargo, su aplicación se complica en marcos de baja temperatura, como diagénesis, metamorfismo de bajo grado e hidrotermalismo (Essene & Peacor, 1995; Vidal et al., 2016). Llevando a dudas sobre la confiabilidad que los resultados pueden ofrecer. Ya que, en estas situaciones, acercarse al equilibrio termodinámico en el cual se fundamentan resulta complejo, y las variables cinéticas comienzan a tener una mayor relevancia (Essene & Peacor, 1995). Haciendo imperativo no solo cuestionar los métodos existentes sino también buscar y desarrollar estrategias de estimación de condiciones fisicoquímicas más confiables y precisos. Esta necesidad subraya la importancia continua de la investigación en este campo, con el objetivo de ofrecer herramientas más robustas y fiables para la comunidad geológica.

El sistema geotérmico de Nevados de Chillan (SGNCh) se ubica en la cordillera Andina de la Región del Ñuble (36°50'S/71°23'O) (Fig 3), en las provincias de Diguillín y Punilla, en las comunas de Pinto y Coihueco, localizado 76 km al sureste de la ciudad de Chillan, en el centro sur de Chile, hospedado en el complejo volcánico Nevados de Chillan (CVNCh), una estructura de forma elíptica con 17 km de largo máximo en dirección N30W y un ancho aproximado de 11 km. La zona abarca una superficie de alrededor de 150 km² y alcanza un volumen aproximado de 65 km³, asociada con una cadena volcánica de 13 km de largo con tendencia NW-SE que comprende calderas, centros de emisión y estratovolcanes (Dixon et al., 1999a; Naranjo, 2008). Además, se sugiere que el CVNCh podría estar vinculado con el Lineamiento Cortaderas, que se extiende en dirección WNW-ESE por unos 200 km desde la Cordillera Principal en Chile hacia Argentina, aunque aún se necesitan más estudios para entender completamente esta posible conexión. (Morata et al., 2023; Stanton-Yonge et al., 2016).

El reciente estudio de Morata et al. (2023) ha proporcionado una caracterización detallada de la evolución mineralógica hidrotermal en el sistema geotérmico Nevados de Chillán, destacando la identificación de múltiples fases de alteración mineral y la interacción entre fluidos hidrotermales y estructuras geológicas. Esta investigación ha sido fundamental para comprender la compleja dinámica y las condiciones fisicoquímicas que prevalecen en el subsuelo de esta región. En línea con estos hallazgos, el estudio reveló una presencia generalizada de clorita en el pozo Nieblas-1, brindando una oportunidad única para la caracterización química en profundidad de este mineral y la aplicación de diversos métodos geotermométricos para evaluar la utilidad y la confiabilidad de estos modelos en un entorno geológico de baja temperatura que ha sido meticulosamente examinado, y aportar a enriquecer a la literatura científica sobre las condiciones fisicoquímicas de formación de este mineral de arcilla en el sistema geotermal.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General:

Establecer las condiciones térmicas y la evolución del sistema geotermal a través del análisis composicional y espacial de la clorita como herramienta geotermométrica.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Identificar y clasificar distintas poblaciones de clorita mediante el análisis de sus características distintivas (morfológicas, ubicación, ocurrencia, asociaciones minerales, química), para establecer su relación con la dinámica térmica y evolutiva del sistema geotermal.
- Determinar las condiciones de temperatura de cristalización de las cloritas.
- Analizar la correspondencia entre las temperaturas estimadas por diferentes modelos de geotermómetros de clorita y las condiciones geológicas y geotérmicas conocidas del SGNCh para validar su precisión.
- Evaluar el modo en que cambian las propiedades de las cloritas en función de la evolución de sus condiciones geológicas durante el desarrollo del sistema.

1.4.3 Pregunta Científica

¿Cómo influye la química de la roca caja en la composición química de la clorita en el sistema geotermal de Nevados de Chillán? ¿De qué manera la temperatura de cristalización afecta las características de la clorita en términos de su estructura y composición mineral? ¿Cuál es el impacto del grado de alteración hidrotermal en la composición de la clorita? ¿Cómo contribuyen la porosidad y permeabilidad de la roca al desarrollo de las poblaciones de clorita en el sistema geotermal? ¿Qué papel juega la fugacidad de oxígeno en la variación composicional de la clorita en diferentes condiciones geoquímicas y geotérmicas? ¿Pueden los geotermómetros de clorita proporcionar mediciones precisas y fiables de las condiciones geotérmicas basándose en la composición observada de la clorita?

1.4.4 Hipótesis de Trabajo:

En el Sistema Geotermal de Nevados de Chillán, se postula que la composición química de la clorita es influenciada multifactorialmente por la química de la roca caja, la temperatura de cristalización, y el grado de alteración hidrotermal. Además, se considera que la porosidad y la permeabilidad de la roca, junto con la ocurrencia y las asociaciones minerales, y la fugacidad de oxígeno, modulan estas variaciones composicionales. Se hipotetiza que los geotermómetros de clorita pueden medir con precisión estas variaciones, reflejando de manera fidedigna las condiciones de formación y el contexto geoquímico específico de las diferentes poblaciones de cloritas presentes en el sistema.

1.5 MARCO GEOLÓGICO: SISTEMA GEOTERMAL DE NEVADOS DE CHILLÁN (SGNCH)

1.5.1 Marco Tectónico

La subducción de la placa de Nazca y Antártica bajo la placa continental Sudamericana promueve la sismicidad, tectonismo y magmatismo del margen Andino (Cembrano et al., 2007; Muñoz B. & Stern, 1988; Somoza & Ghidella, 2005), origina un vulcanismo a lo largo del arco volcánico Andino que incluye a más de 200 volcanes potencialmente activos y al menos 12 sistemas de calderas e ignimbritas (Stern, 2004), distribuidos en cuatro segmentos distintos denominados Zona Volcánica Norte (NVZ; 12°N - 5°S), Central (CVZ; 14–28°S), Sur (SVZ; 33–46°S) y Austral (AVZ; 49–55°S) (Stern, 2004). A lo largo de los Andes Chilenos se ubican más de 300 áreas geotérmicas, asociadas con el vulcanismo cuaternario en la zona volcánica Central y Sur (Lahsen et al., 2005; Stern, 2004). Estos sistemas son un testigo de la intensa actividad geológica que ha tenido lugar en la región. La tectónica en la Zona Volcánica Sur de Chile está definida por la subducción oblicua de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana. La convergencia es aproximadamente de 66 mm/año con una dirección de N78 ° E (Angermann et al., 1999; Kendrick et al., 2003). La energía liberada a través de este proceso es acomodada a través de terremotos de gran magnitud a lo largo de la zona de colisión, y por estructuras de gran escala localizadas en el arco volcánico moderno (Stanton-Yonge et al., 2016) como fajas plegadas y corridas, sistemas de falla de intra-arco y lineamientos de zonas de falla con orientación WNW que conforman las Fallas Transversales Andinas (ATF) (Cembrano & Lara, 2009; Giambiagi & Ramos, 2002; Sielfeld et al., 2019; Stanton-Yonge et al., 2016)

Estas estructuras tectónicas son determinantes en la ubicación y la naturaleza de los centros eruptivos del Holoceno en la región. Las ATF, están desorientadas con respecto al régimen tectónico actual, inhibiendo el flujo vertical en sistemas hidrotermales magmáticos (Stanton-Yonge et al., 2016), prolongando los tiempos de residencia del magma, facilitando episodios de fraccionamiento magmático y, consecuentemente, impactando la naturaleza de las erupciones y la composición del magma y las rocas resultantes (Cembrano & Lara, 2009). Además, es plausible que volúmenes de magma que no logran ascender a la superficie del todo, debido a esta interacción tectónica, puedan acumularse a profundidades intermedias y contribuir al desarrollo de sistemas geotermales en la región.

La orientación NW de los centros de erupción en el CVNCh sugiere una relación con las estructuras ATF. Sin embargo, esta asociación aún requiere una comprensión más profunda (Morata et al., 2023). Una hipótesis plantea que la tendencia NW del CVNCh podría ser una continuación noroeste del Lineamiento Cortaderas, extendiéndose WNW-ESE por aproximadamente 200 km desde la Cordillera Principal en Chile hacia Argentina (Stanton-Yonge et al., 2016). A pesar de que observaciones de actividad sísmica profunda apoyan esta hipótesis, la falta de información detallada sobre las fallas superficiales con tendencias WNW y NW deja incierto el rol del Lineamiento Cortaderas en las erupciones recientes del CVNCh. A una escala

más regional, el Lineamiento Cortaderas se interpreta como una discontinuidad cortical con una importante influencia en la tectónica y el magmatismo del arco andino y la región del trasarco desde el Paleoceno (Ramos & Folguera, 2005; Ramos & Kay, 2006; Stanton-Yonge et al., 2016). Radic (2010) sugiere que el Lineamiento Cortaderas pudo haber sido una zona de acomodación entre cuencas sedimentarias durante el Oligoceno-Mioceno, transformándose posteriormente en zonas de debilidad que facilitaron la extrusión volcánica y la formación del CVNCh.

Investigaciones recientes (Lupi et al., 2020; Morata et al., 2023; Radic, 2006) revelan una compleja red de lineamientos regionales y sistemas de fallas en el SGNCh, incluyendo lineamientos en los valles Las Trancas y Shangri-La, y diversas fallas inversas y normales. Si bien la orientación de los centros de emisión del CVNCh no parece favorecer el ascenso magmático, se plantea que estructuras geológicas heredadas podrían actuar como conductos alimentadores (Radic, 2006). Además, mega terremotos inducen cambios en el régimen de esfuerzo, generando ejes de extensión que facilitan el ascenso del magma a través de estructuras previamente desorientadas (Stanton-Yonge et al., 2016).

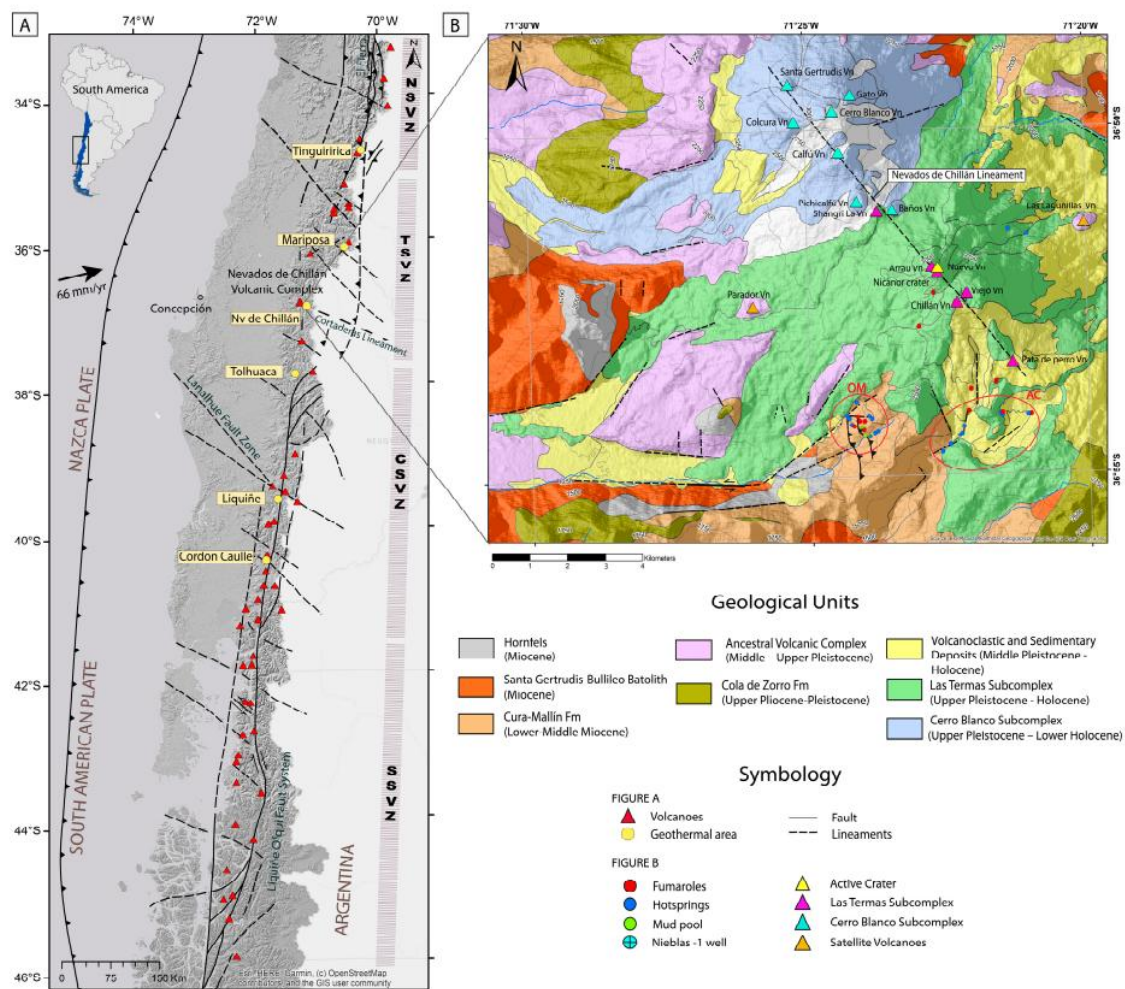


Figure 2: Geología Regional: Ubicación y entorno geológico del Sistema Geotérmal de Nevados de Chillán (SGNCh) extraído de Morata et al., (2023). A) contexto a escala regional del NCGS. Las principales estructuras en la Zona Volcánica del Sur Andino y Las principales áreas geotérmicas en la SVZ. B) geología local del Complejo Volcánico Nevados de Chillán (NCVC) (Dixon et al., 1999a). C) detalle de las manifestaciones

La historia geológica del SGNCh se remonta al Cretácico, con una estratigrafía que evidencia una compleja sucesión de eventos tectónicos y volcánicos. Su basamento está compuesto de rocas volcano-sedimentarias del Mioceno, cubierto por lavas basálticas del Plio-Pleistoceno, incluyendo tobas de flujo de ceniza que revelan una antigua actividad explosiva (Muñoz & Niemeyer, 1984). Durante el Oligoceno y Mioceno, la depositación de sedimentos en cuencas extensionales fue seguida por una inversión tectónica, dando origen a la Formación Cura-Mallín, compuesta por rocas volcánicas y volcanoclásticas (Radic, 2010). Este evento tectónico deformó y elevó estas unidades, incluyendo las fallas extensionales preexistentes. Además, se cree que pudo haber gatillado la intrusión del Batolito Santa Gertrudis Bullileo, un granitoide del Mioceno datado en 5.8 ± 0.3 Ma (Muñoz & Niemeyer, 1984), que generó metamorfismo de contacto local y que, según estudios recientes, podría albergar el reservorio geotérmico actual (Morata et al., 2023). Posteriormente, durante el Plioceno y Pleistoceno temprano, se depositaron las lavas andesíticas y andesitas-basálticas de la Formación Cola de Zorro (1.82 ± 0.64 Ma; Naranjo et al., 2008), conformando el substrato sobre el cual se desarrollaría el Complejo Volcánico Nevados de Chillán (CVNCh).

La actividad volcánica del CVNCh se inició hace aproximadamente 650 ka con extensas coladas de lava andesítica subglaciar. Durante el Pleistoceno Medio, esta actividad continuó con episodios efusivos de andesita, tanto subaéreos como subglaciales, concentrándose en la zona occidental del complejo (Naranjo et al., 2008). En el Pleistoceno Superior, el CVNCh experimentó cambios estructurales significativos, con la formación de vastas áreas de emisión en el sector central, que posteriormente conformaron la base del edificio volcánico moderno. Alrededor de los 40 ka, un evento explosivo, posiblemente asociado al colapso de una caldera, dejó escarpes visibles en el sector nororiental y suroriental del complejo (Dixon et al., 1999; Naranjo et al., 2008).

Los edificios volcánicos actuales del CVNCh constan de dos estructuras pseudo-cónicas, el Subcomplejo Cerro Blanco al norte y el Subcomplejo Las Termas al sur, separadas por un portezuelo y albergando 13 centros eruptivos alineados en dirección N°35W (Naranjo et al., 2008). A pesar de su proximidad, cada subcomplejo ha evolucionado de manera independiente, emitiendo magmas geoquímicamente distintos: andesitas y dacitas en Cerro Blanco, y riolitas-dacitas en Las Termas. Esta diferencia se atribuye a la existencia de dos cámaras magmáticas con distintas profundidades y tiempos de evolución (Deruelle & Deruelle, 1974; Dixon et al., 1999a).

En el último siglo, la actividad volcánica se ha restringido al subcomplejo Las Termas, con erupciones de lavas dacíticas y eventos explosivos notables, incluyendo tres erupciones importantes entre 1906-1943 y 1973-1986, además de episodios menores en 2003 y 2008 (Naranjo et al., 2008). Un nuevo ciclo eruptivo comenzó en 2016, con extrusión de magma dacítico en 2018, lo que ha llevado a un monitoreo constante por parte de las autoridades (Cardona et al., 2021; Oyarzún et al., 2022). Actualmente, el volcán Chillán se encuentra en alerta verde, aunque se

mantienen medidas de precaución y planes de contingencia para garantizar la seguridad de las comunidades cercanas (Servicio Nacional de Geología y Minería, 2023)

1.5.2 Expresiones Geotermales Superficiales

De acuerdo con los trabajos de Lahsen, (1978), Naranjo et al., (2008) y Morata et al., (2023), las principales manifestaciones geotermales superficiales en el SGNCh son manantiales termales, *boiling pools*, pozas de lodo y fumarolas, que se distribuyen en los flancos oriental y sureste del complejo volcánico, se ubican predominantemente en el subcomplejo Las Termas, específicamente en los sectores de Las Termas - Olla de Mote - Valle Hermoso y Aguas Calientes. El sector Las Termas - Valle Hermoso, situado en el flanco suroeste de la cadena volcánica, se caracteriza por la presencia de aguas termales ácido-sulfatadas con temperaturas que oscilan entre 85 - 92°C y fumarolas que llegan hasta los 125°C. Su química sugiere que provienen de la ebullición subterránea de aguas calientes a más de 200°C y un pH entre 2.40 y 5.87, que, al ascender, el vapor, rico en H_2S , se mezcla con aguas subterráneas superficiales, lo que lleva a su oxidación como H_2SO_4 y a la lixiviación de las paredes rocosas, incorporando iones metálicos en las aguas. Este sector muestra una intensa alteración hidrotermal que ha dado origen a la formación de áreas totalmente argilizadas, cloritizadas y silificadas, en algunos sectores se ha producido un abundante depósito de limonita, sílice amorfa y algo de pirita, reflejo de la actividad geotermal subyacente.

Mientras tanto, el sector de Aguas Calientes - Olla del Mote, ubicado a 5 km al este de Las Termas, se encuentra en el interior de una caldera de reciente formación, menor a 40 ka. Aquí, el sistema geotermal concentra el mayor flujo del sistema geotérmico, descarga más de 500 l/s de aguas termales neutras de tipo bicarbonato-sulfatadas con temperaturas superiores a 70°C. Se cree que la química de estas aguas es el resultado de la mezcla entre aguas de deshielo que lixivian azufre y un acuífero bicarbonatado profundo calentado por vapor (Lahsen, 1978; Morata et al., 2023; Naranjo et al., 2008).

La geoquímica de los fluidos indicaría un sistema geotermal de alta temperatura (>200°C) dominado por la interacción agua-roca, con un aporte magmático profundo. Esto se ve respaldado por los hallazgos de estudios geofísicos, los cuales han registrado actividad sísmica significativa en el complejo volcánico Nevados de Chillán (Farías et al., 2014).

Por otra parte, en el Subcomplejo Cerro Blanco, se destacan los Baños del Rafa en las nacientes del río Chillán. Estas manifestaciones se caracterizan por emanaciones de agua mineral sobre la unidad de lavas Lanalhue, así como por las fuentes termales de los baños San Lorenzo y de Cato, situadas al norte y noreste del subcomplejo (Naranjo et al., 2008).

1.5.3 Pozo Exploratorio Nieblas-1

1.5.3.1 Historia del pozo

De acuerdo con el trabajo de Morata et al. (2023), la primera exploración geotérmica comercial en el área fue realizada en 1995 por la Compagnie Française de Géothermie (CFG) junto con la Empresa Nacional de Petróleo de Chile (ENAP). Esta exploración resultó en la perforación de un pozo exploratorio superficial (Nevados de Chillán 1, Nc-1) donde se encontraron fluidos

calientes a una profundidad de 240 m. En 2005, la Empresa Nacional de Geotermia (ENG) adquirió los derechos de exploración para la concesión de Nevados de Chillán. Tras diversos estudios geológicos y geofísicos, en 2008 se perforó un pozo exploratorio de 1000.85 m de profundidad llamado Nieblas-1 en la zona con más manifestaciones hidrotermales. Este pozo confirmó un reservorio superficial con temperaturas entre 160 – 174°C y sugirió otro más profundo con temperaturas entre 216°C y 250°C, aunque no se alcanzó la parte más profunda de este último. Se estimó un potencial geotérmico para el SGNCh de alrededor de 32 ± 24 MWe.

1.5.3.2 Caracterización geológica y mineralógica del pozo de exploración Nieblas-1 en el Sistema Geotérmico Nevados de Chillán

El pozo de exploración Nieblas-1, con una extensión de 1000.87 m, ofrece una visión detallada de las características geológicas y mineralógicas del sistema hidrotermal asociado al Sistema Geotérmico Nevados de Chillán (SGNCh). En los trabajos de Gallardo (2020) y Morata et al., 2023, se recolectaron 38 muestras en intervalos de 30 m, las cuales fueron sometidas a análisis de microscopía de luz polarizada, Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) y Difracción de Rayos X (XRD) para un análisis de la fracción <2 μm orientado, lo que permitió reconocer diferentes minerales de arcilla. Este enfoque permitió definir la evolución mineralógica hidrotermal del NChGS, identificando cuatro etapas paragenéticas principales y tres zonas hidrotermales. El estudio reveló la contribución de volátiles magmáticos primarios al sistema hidrotermal, evidenciada por aguas termales ácido-sulfatadas de pH de 2.4–5.9 y altas concentraciones de SO_4 (>290 ppm). Además, se observó la presencia de un significativo 'clay cap', compuesto por capas mixtas de illita/esmectita y clorita/esmectita, que separa el dominio calentado por vapor del dominio hidrotermal profundo y restringe la circulación de fluidos a zonas permeables existentes. Además, resaltan la importancia de la interacción entre los fluidos hidrotermales y estructuras de primer orden.

1.5.3.3 Litología

En los primeros 400 m de profundidad, se encuentran lavas andesíticas, con una alternancia de delgados niveles de tobas y brechas entre los 100 - 200 m. Entre 400 - 550 m, se observan lavas andesíticas y brechas, con un dique andesítico de aproximadamente 10 m de espesor a 550 m. Los 450 m inferiores del núcleo de perforación están compuestos principalmente de brechas y rocas volcanoclásticas.

Se reconocieron dos niveles permeables entre 170 - 300 m y 610 - 700 m, denominados zonas permeables superior e inferior, respectivamente. La alteración hidrotermal en las lavas andesíticas es de baja a moderada intensidad, con minerales secundarios en su mayoría en vesículas y reemplazando a los minerales primarios. Las rocas volcanoclásticas muestran una alteración hidrotermal intensa y generalizada, con minerales secundarios reemplazando la mayor parte de la mineralogía.

1.5.3.4 Asociaciones minerales de arcilla fracción <2 μm

En la investigación de Gallardo (2020) y Morata et al. (2023), en el pozo Nieblas-1, se identificaron minerales de arcilla como clorita/esmectita (C/S), corrensita (Crr), clorita (Chl), illita/esmectita (I/S) e illita (Ilt), a diferentes profundidades. Morata et al., (2023) observa que Crr

aparece desde la muestra más superficial a 30 m hasta aproximadamente 194 m, con apariciones aisladas alrededor de 307 m y 680 m. La C/S se documentó continuamente desde niveles más superficiales a una profundidad de 60 m y se detectó por última vez alrededor de 680 m. Chl se registró en todo el perfil. Estos minerales, relacionados con la serie de transición esmectita-clorita, se documentaron reemplazando fenocristales máficos primarios y rellenando amígdalas y vetillas.

La distribución vertical de estos minerales en el pozo muestra interestratificados C/S e I/S en niveles más superficiales con respecto a Chl e Ilt. Esta zonificación según la profundidad refleja una disminución general en el porcentaje de capas expandibles en respuesta al aumento de las temperaturas, como se expone en numerosos sistemas hidrotermales. El SGNCh se caracteriza por la ausencia de esmectita a bajas temperaturas ($< 80^{\circ}\text{C}$) y la presencia de Crr, C/S y Chl en niveles de temperaturas medidas directamente del pozo en los rangos de $20 - 110^{\circ}\text{C}$, $40 - 175^{\circ}\text{C}$ y $25 - 220^{\circ}\text{C}$, respectivamente.

Las capas mixtas I/S e Ilt se encuentran a temperaturas medidas directamente del pozo a $50-180^{\circ}\text{C}$ y $>170^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Estas temperaturas son consistentes con los rangos de temperatura comúnmente documentados para estos minerales en varios sistemas hidrotermales. Sin embargo, el porcentaje de capas Ilt en capas mixtas I/S muestra una disminución discontinua según la profundidad, diferente de lo que se ha observado en otros sistemas hidrotermales. Las variaciones sigmoidales observadas en el porcentaje de capas Ilt en interestratificados I/S a $150-200^{\circ}\text{C}$ y la transición de I/S-R0 a I/S-R1 $\sim 50\%$ Ilt sugieren que el desarrollo de la serie de transición de esmectita a illita tuvo lugar abruptamente bajo altos gradientes térmicos, lo cual es consistente con un mecanismo de precipitación disolución-cristalización.

Morfologías observadas con SEM-BSE demostraron la cristalización de estos minerales directamente a partir de un fluido hidrotermal. Esto ilustra que, desde la segunda etapa de la secuencia paragenética, la circulación de fluidos hidrotermales estuvo efectivamente restringida por el clay cap y canalizada a través de fracturas. Estas evidencias sugieren que las condiciones fisicoquímicas específicas en el SGNCh influyeron en la distribución y evolución de los minerales de arcilla.

1.5.3.5 Zonas de Alteración y Clay-Cap

En el SGNCh, Gallardo (2020) y Morata et al., (2023) documentan una zonación vertical de la mineralogía de alteración según la profundidad, definiendo tres zonas principales de alteración. La zona argílica (zona superior) que se encuentra en los primeros 350 m, caracterizada por la presencia de arcillas y minerales de alteración en niveles someros. La zona de alteración sub-propilítica (zona intermedia) que se ubica entre 350 y 680 m de profundidad, la que sumada a la zona argílica estarían comprendiendo el *clay cap*, un elemento clave en la configuración espacial del SGNCh. Aproximadamente a los 240 m se estaría desarrollando la capa sello, que restringe la circulación de los fluidos hidrotermales a estructuras secundarias y delimita un dominio somero dominado por la circulación de fluidos ácidos sulfatados calentados por vapor, asociados a la interacción con volátiles magmáticos. Por último, la zona propilítica (zona profunda), que se encuentra en los últimos 410 m del pozo, controlada por la presencia de aguas neutras cloruradas de baja salinidad en un dominio profundo. La compleja evolución hidrotermal en el SGNCh se

evidencia a través del análisis de la mineralogía secundaria presente, con cuatro etapas en la secuencia paragenética que abarcan desde un calentamiento inicial hasta un cambio en las condiciones de temperatura y/o pH de los fluidos hidrotermales profundos.

1.5.3.6 Etapas de Alteración

En el trabajo de Gallardo (2020) y Morata et al (2023), se identificaron cuatro etapas (STG 1-4) de paragénesis mineral en la evolución hidrotermal del pozo Nieblas-1. Las etapas de desarrollo mineral en el sistema hidrotermal se pueden describir de la siguiente manera:

Etapa 1 (STG 1): Conformada principalmente por óxidos de hierro, cuarzo microcristalino, filosilicatos máficos en todo el núcleo y calcedonia esporádica y alunita en ciertas profundidades. Esta etapa documenta el calentamiento inicial del sistema hidrotermal.

Etapa 2 (STG 2): Caracterizada por la presencia de granate, epidota, prehnita, calcita, cuarzo, capa mixta I/S y calcita laminada en profundidades específicas. Desarrollada principalmente en amígdalas y vetas, esta etapa registra el desarrollo de un sistema dominado por fluidos de alta temperatura y minerales arcillosos de I/S e illita en capas mixtas.

Etapa 3 (STG 3): Delineada por la presencia de wairakita, anhidrita, calcita y cuarzo con textura de peine, observada principalmente en vetas y amígdalas. La wairakita está cubierta por anhidrita y, a su vez, la anhidrita está encapsulada por cristales rómbicos de calcita. Esta etapa registra la afluencia de aguas calentadas por vapor en lo profundo del sistema.

Etapa 4 (STG 4): Se caracteriza por la presencia de laumontita en todo el núcleo de perforación, así como cristales de epidota, cuarzo y magnetita de grano fino depositados en vetas abiertas bordeadas por cristales alargados de laumontita, principalmente entre 700 y 800 m de profundidad. Esta etapa sugiere un nuevo ajuste de las condiciones fisicoquímicas en Nieblas-1, particularmente cerca de la base del pozo donde este ensamblaje mineralógico está mejor desarrollado.

Estas etapas evidencian la evolución del sistema hidrotermal y las condiciones fisicoquímicas que influyeron en la formación y distribución de los minerales presentes en el pozo Nieblas-1. Cada una refleja cambios en las condiciones de temperatura, presión y composición de los fluidos involucrados en el sistema, lo que proporciona una base sólida para futuras investigaciones y una mejor comprensión de la evolución de estos sistemas hidrotermales.

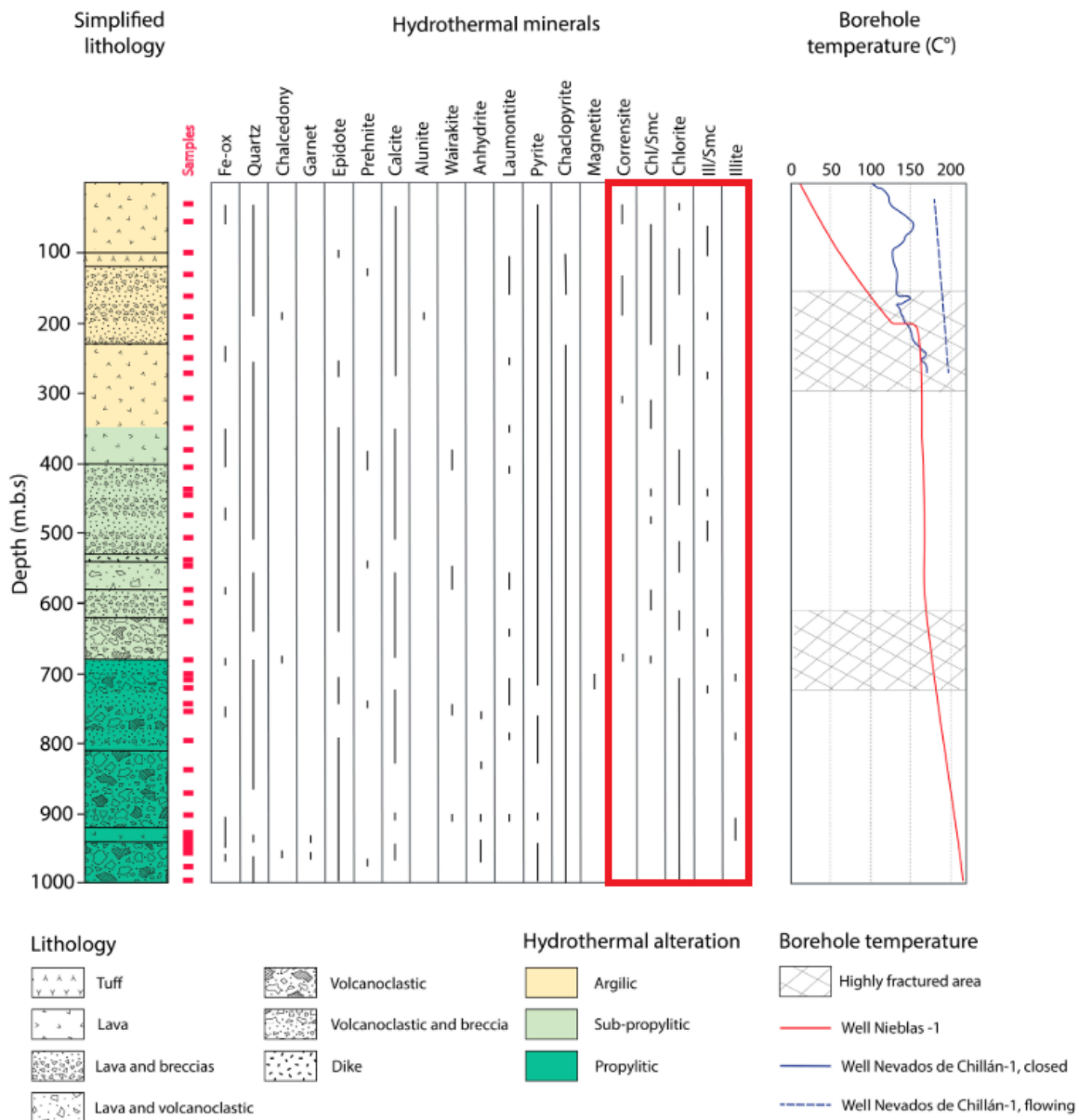


Figure 3: Ilustración de la columna estratigráfica del pozo Nieblas-1, situado en el sistema geotermal de Nevados de Chillan (SGNCh). Esta representación gráfica presenta una versión simplificada de la litología, resaltando los minerales de alteración y de arcilla. Además, incluye la temperatura directamente medida en el pozo y zonas de alteración, extraído de Morata et al., (2023).

1.6 METODOLOGÍA

Para alcanzar los objetivos de este estudio, se integraron las observaciones realizadas por Gallardo (2020) y Morata et al., (2023), como son las 38 láminas delgadas a lo largo de los 1000.85 m del pozo de exploración Nieblas-1, datos de difracción de rayos X (XRD) de la fracción de arcilla orientada $< 2 \mu\text{m}$ para la identificación de minerales de arcilla y las proporciones relativas de minerales de arcilla de capa mixta, mediciones microtermométricas y registros de temperatura directos en el pozo.

Con este antecedente, se llevó a cabo un estudio petrográfico detallado, centrado en la litología y mineralogía, con especial énfasis en las ocurrencias de clorita y asociaciones minerales.

Este análisis condujo a la selección de once muestras propicias para la realización de geotermometría de clorita, ubicadas a profundidades de 60, 100, 255, 307, 476, 579, 745, 763, 833, 935 y 985 m. Las muestras fueron analizadas posteriormente utilizando microscopía electrónica de barrido (SEM) con un SEM FEI Quanta 250 equipado con detectores de electrones retrodispersados (BSE), electrones secundarios (SE) y espectroscopía de rayos X dispersivos en energía (EDX) en el Centro de Excelencia en Geotermia de los Andes, Universidad de Chile. Este enfoque proporcionó una visión integral de las morfologías de clorita, microdominios, secuencias temporales, asociaciones minerales y composición química.

Los análisis químicos fueron etiquetados en el formato 'NB-Profundidad-Zona-Espectro-Mineral' con la abreviatura mineral que se expone en la Tabla 2 y se usaran en el resto del trabajo. De una base de datos de más de trescientos análisis minerales, se filtraron y seleccionaron aquellos identificados como filosilicatos máficos (cloritas, corrensita o clorita/esmectita). Siguiendo las recomendaciones y las pautas establecidas por múltiples investigadores (Chinchilla et al., 2016; Fulignati, 2020; Hillier & Velde, 1991; Vidal et al., 2001) se excluyeron los datos con $Ca + Na + K$ superiores a 0.05 a.p.f.u para minimizar el componente de esmectita en los análisis (Li et al., 2022). Para propósitos de clasificación, los valores entre 0.05 y 0.1 a.p.f.u. se consideraron como corrensita, mientras que los valores superiores a 0.1 a.p.f.u. se clasificaron como interestratificado clorita/esmectita. También se descartaron cualquier dato atípico. Utilizando este criterio, se determinó que 189 de los análisis realizados correspondían efectivamente a cloritas. Además, aplicando la metodología y consideraciones de Kameda et al. (2011), los grupos de filosilicatos máficos se normalizaron a 25 O, y los totales de cationes no interlaminares ($NIC = Si + Al + Fe + Mg + Mn + Ti$) se graficaron contra el contenido total de Al. Los valores ideales para Chl y Crr son 17.85 y 17.00 respectivamente en una fase completamente trioctaédrica. Los valores obtenidos fueron aproximadamente 17.45, 17.24 y 16.72 para Chl, Crr y C/S, respectivamente. Estos resultados, especialmente el valor de 17.46 para la clorita, que oscila entre 17.20 y 17.80, indican la ausencia de Smc discreta en las señales (Kameda et al., 2011) (Fig. 4.a). Finalmente, de los 189 análisis de clorita, 132 fueron identificados como clorita sin componente esmectítico. Los 57 análisis restantes, aunque con componente interlaminar, permanecieron dentro de los límites para su clasificación, con una carga catiónica interlaminar promedio de Ca de 0.04 ± 0.006 a.p.f.u. (Fig. 4.b). Por lo tanto, para los propósitos de este estudio, se asume que las cloritas analizadas reflejan con precisión las características intrínsecas de estas fases minerales sin una influencia significativa de la mezcla con otras fases. En consecuencia, se llevó a cabo una normalización a 14 O para examinar los elementos mayores.

Las cloritas son clasificadas y agrupadas tomando en cuenta una variedad de factores que incluyen su morfología, microdominio, composición química, asociaciones minerales y profundidad de ocurrencia. La clasificación y caracterización de estas cloritas se realiza conforme a los diagramas composicionales sugeridos por Zane & Weiss (1998), Wiewióra & Weiss (1990) y Hey (1945), considerando en este marco que todo el contenido de hierro está presente como Fe^{2+} .

El análisis químico posterior se enfoca en entender cómo varía la composición del mineral con la profundidad. Además, se examinan las principales sustituciones iónicas que ocurren dentro

de su estructura, tal como lo documentan estudios recientes y relevantes en el campo, incluidos los de Vidal et al. (2001), Chu et al. (2020) y Li et al. (2022).

Table 2: Resumen abreviatura mineral utilizada en este estudio, basado en Whitney et al., (2010)

Especie Mineral	Abreviatura	Especie Mineral	Abreviatura
Filosilicato Máfico	Chl ± Crr \ C/S	Plagioclasa	Pl =] Ab – An [
Clorita	Chl	Albita	Ab
Corrensite	Crr	Anortita	An
Clorita/Esmectita	C/S	Óxido de Hierro	Oxi-Fe
Illita/Esmectita	I/S	Epidota	Ep
Cuarzo	Qz	Prenhita	Prh
Calcita	Cal	Andradita	Adr
Titanita	Ttn	Anhidrita	Anh
Illita	Ilt	Pumpellita	Pmp
Laumontita	Lmt	Calcopirita	Cp
Wairakita	Wrk	Pirita	Py
Estilbita	Stb		

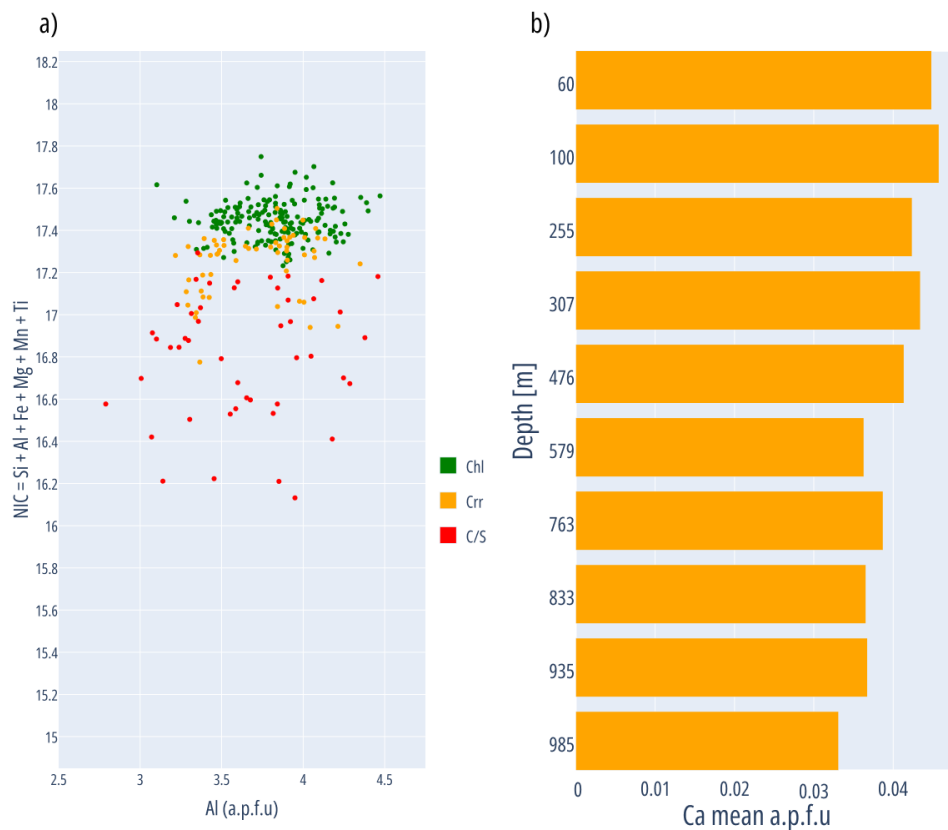


Figure 4: NIC vs Al y IC. a) Cationes no interlaminares versus aluminio total en el análisis de filosilicatos máficos normalizados a 25 oxígenos para fines comparativos. b) Gráfico de barras que muestra la media en átomos por fórmula unidad (a.p.f.u.) de los elementos interlaminares, a diversas profundidades para muestras de clorita.

La estimación de la porosidad de fractura (ϕ) y la paleo-permeabilidad (k), como valor instantáneo y sin captura de la evolución de la permeabilidad con el tiempo, siguió una versión simplificada a la metodología delineada por Gomila et al. (2016) a escala lamina delgada,

empleando un modelo de fractura “en forma de moneda”. Las microfrazas identificadas fueron cuidadosamente digitalizadas para su análisis. Cada microfrazas fue descompuesta en sus componentes más pequeños, y la longitud total de cada una fue estimada sumando las longitudes de estas partes individuales (Fig. 5). No se hizo diferencia por sus orientaciones o por su relleno. Las aperturas (e_m) fueron medidas utilizando un software de diseño gráfico. La porosidad de fractura (ϕ) se calculó utilizando la fórmula: $\phi = \sigma_v \pi c_f^2 e$, que relaciona la densidad volumétrica (σ_v), el radio de la fractura (c_f), y la apertura media de la fractura (e). La paleo-permeabilidad (k) se calculó utilizando la fórmula: $k = \epsilon \pi \sigma_v c_f^2 e^3 / 12$, incorporando un factor de rugosidad (ϵ) de 0.5. La densidad superficial (σ_s) se calculó como el total de microfrazas en la lámina delgada, mientras que Z_f se calculó como el promedio del inverso de las longitudes de microfrazas. El radio de la fractura (c_f) se estimó utilizando $\pi / (4Z_f)$, y la densidad volumétrica (σ_v) se calculó como $2\sigma_s Z_f / \pi$, asumiendo fracturas verticales (Fig. 5).

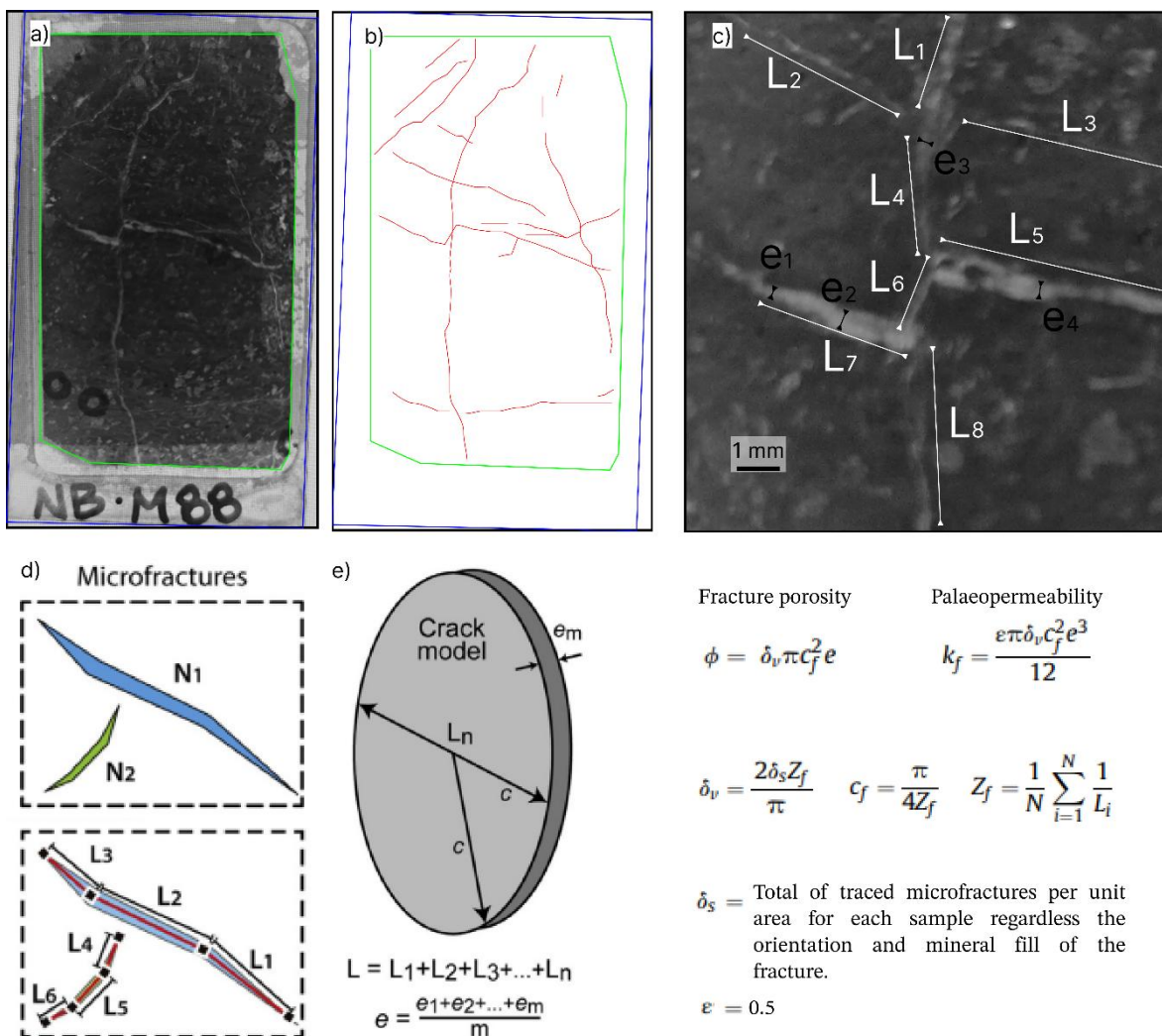


Figure 5: Parámetros microestructurales (a) Lámina delgada digitalizada. (b) Microfracturas resaltadas. (c) Ejemplo de identificación y numeración de las longitudes y aperturas de las microfrazas. (d) Trazado de microfrazas. (e) Modelo de grieta y fórmulas. Basado en Gomila et al., (2016).

Por otro lado, la intensidad de la alteración se cuantificó de 'débil' a 'intensa' en incrementos del 20%, cualitativamente evaluando la proporción de minerales de alteración respecto a los

minerales primarios mediante microscopía óptica (Gifkins et al., 2005) y mediante el análisis del porcentaje de albitización en plagioclasa (3-4 cristales por muestra) utilizando SEM, delineación manual de las áreas por software gráfico y procesamiento posterior en Python (Fig. 6)

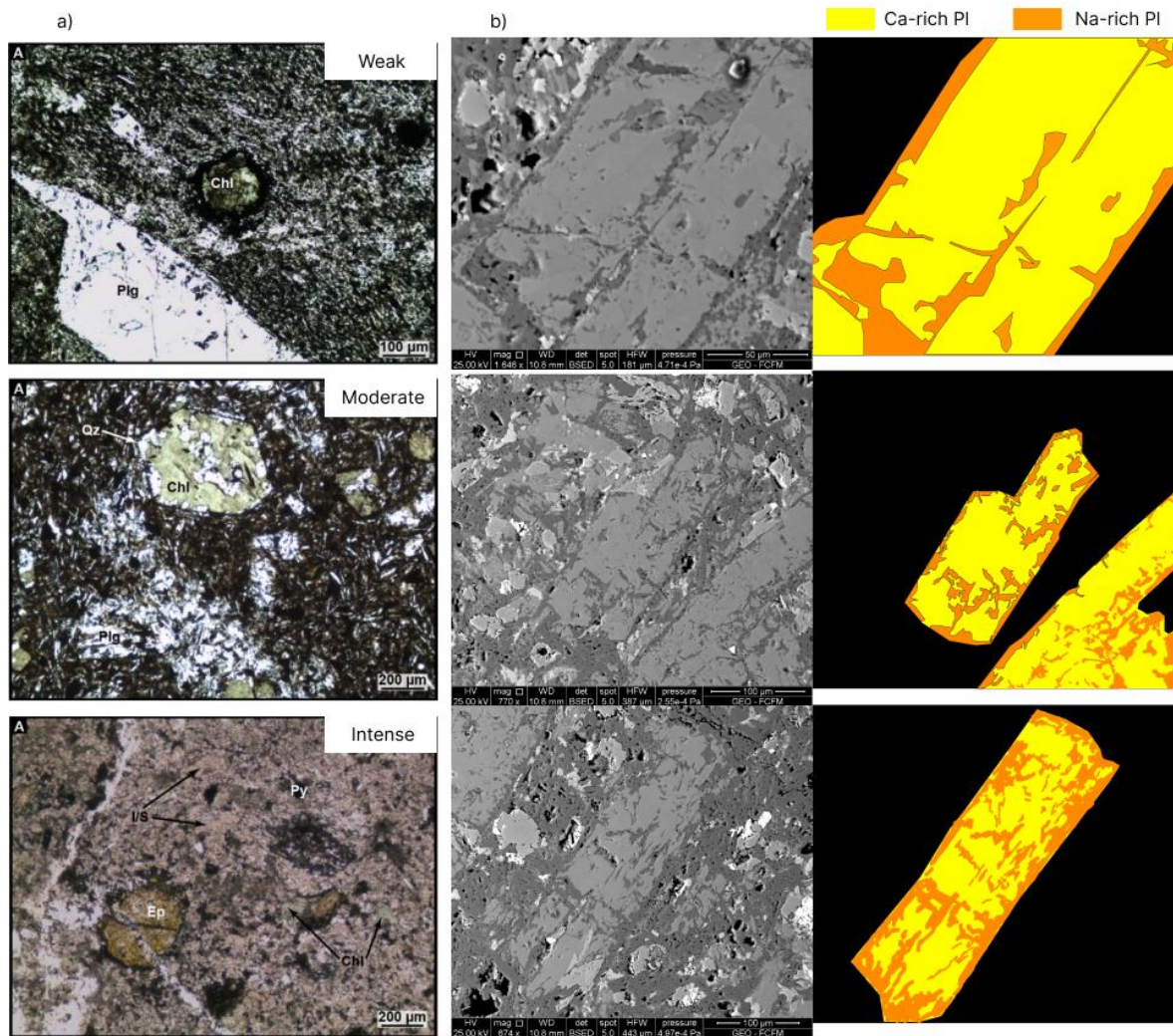


Figure 6: Referencia de niveles de alteración, desde leve hasta intensa, según la categorización por Gifkins et al., 2005, Imágenes extraídas de Gallardo (2020). b) Representación gráfica de la muestra NB745, resaltando la distribución y cuantificación de albita en plagioclasa para el cálculo del factor de alteración, con las áreas de interés en colores correspondientes a plagioclasa rica en Ca (amarillo claro) y plagioclasa rica en Na (naranja).

Dentro de los tres principales tipos de geotermómetros químicos, los empíricos se destacan por su mayor versatilidad debido a sus restricciones de composición menos rigurosas y condiciones de aplicación más flexibles. Aunque existe una gran variedad disponibles, se priorizaron tres específicamente por su comprobada fiabilidad en contextos geológicos con presiones inferiores a 4 kbar y temperaturas menores a 300°C: Cathelineau (1988), Kranidiotis & MacLean (1987) y Jowett (1991), según Lanari et al. (2014). Estos modelos se alinean adecuadamente con las condiciones anticipadas del sistema geotermal en estudio.

En cuanto al enfoque termodinámico, las peculiaridades de las cloritas del sistema, como los altos niveles de sílice y la ausencia de datos directos sobre el contenido de Fe^{3+} , llevan a que estos métodos sean inviables. Sin embargo, con fines exploratorios y para obtener información

sobre los rangos de temperatura potenciales, se optó por utilizar el geotermómetro termodinámico de Lanari (2014) de igual manera. Este modelo, siendo el más reciente en su tipo hasta esa fecha, permite un acceso relativamente fácil a sus parámetros y a los cálculos matemáticos necesarios.

Para abordar la incertidumbre sobre el contenido de Fe^{3+} , se aplicó el método propuesto por Inoue et al. (2018). Este enfoque compara las temperaturas de cristalización calculadas mediante dos geotermómetros semi-empíricos: Inoue et al. (2018), que considera todo el hierro como Fe^{2+} , y el modelo de Inoue et al. (2009), que evalúa el hierro como Fe^{2+} y Fe^{3+} . Ajustando la relación $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ en las muestras hasta que las temperaturas obtenidas por ambos geotermómetros convergen, se logra una estimación más precisa del contenido de Fe^{3+} . Finalmente, entre los geotermómetros semi-empíricos disponibles, los modelos de Bourdelle et al. (2013, 2015) y de Inoue et al. (2018) fueron seleccionados como los más adecuados para las condiciones del sistema geotermal estudiado (Tabla 3).

Table 3: Geotermómetros utilizados en este estudio, modificado de Bourdelle et al., 2021.

Empiric Geothermometers

REFERENCE AND YEAR	EQUATION (FORMULA CALCULATED AT 14 OR 28 OXYGENS)	ELEMENTS
KRANIDIOTIS & MCLEAN (1987)	$T(^{\circ}C) = 106 (Al^{IV} + 0.7 \frac{Fe}{(Fe+Mg)}) + 18 (28 O)$	Al ^{IV} , Fe, Mg
CATHELINEAU (1988)	$T(^{\circ}C) = 321.98 Al^{IV} - 61.92 (14 O)$	Al ^{IV}
JOWETT (1991)	$T(^{\circ}C) = 319 (Al^{IV} + 0.1 \frac{Fe}{(Fe+Mg)}) - 69 (14 O)$	Al ^{IV} , Fe, Mg

Thermodynamic Geothermometers

REFERENCE AND YEAR	EQUATION / EQUILIBRIUM	FINAL MEMBERS
LANARI ET AL., (2014)	$T(^{\circ}C) = -\frac{172341}{8.31451 \cdot \log K + 315.149} - 273$ 2 daphnite + 3 Fe-sudoite = 4 Fe-amesite + 7 quartz + 4H ₂ O	Clinochlore Daphnite Mg amesite Mg sudoita

Semi-Empiric Geothermometers

REFERENCE AND YEAR	EQUATION / EQUILIBRIUM	FINAL MEMBERS
BOURDELLE ET AL (2013)	$T(^{\circ}C) = -\frac{9400}{\log K - 23.40} - 273.$ Al-free Mg-chlorite + 3 Mg-sudoite = 3 Mg-amesite + 7 quartz + 4H ₂ O	Al-free Fe/Mg chlorite Fe/Mg amesite Fe/ Mg sudoita
INOUE ET AL (2018)	$T(^{\circ}C) = 63.83 + 50.41 \cdot (\log K) + 2.617 \cdot (\log K)^2 + 2.846 \cdot (\log K)^3 - 1.097 \cdot (\log K)^4 + 0.09285 \cdot (\log K)^5$ Al-free Mg-clorite + 3 Mg-sudoite = 3 Mg-amesite + 7 quartz + 4H ₂ O	Al-free Mg-chlorite Mg-corundophilite (amesite) Mg-sudoitechamosite (dafenite)

2 Chlorite geothermometers in the Nevados de Chillán Geothermal System

Cristobal Enrique Cuevas Escalante ^{1,3}, Santiago Maza ^{1,3}, Gloria Arancibia ^{2,3}, Fernando Barra ¹ y Diego Morata ^{1,3}

¹ Department of Geology, Faculty of Physical and Mathematical Sciences, University of Chile, Plaza Ercilla 803, Santiago, Chile.

² Department of Structural and Geotechnical Engineering, Pontificia Universidad Católica de Chile, Avda. Vicuña Mackenna 4860, Macul, Santiago, Chile.

³ Andean Geothermal Center of Excellence (CEGA), Plaza Ercilla 803, Santiago, Chile.

Keywords: Chlorite, Chemistry, Geothermometer, Geothermics, Southern Andes.

2.1 ABSTRACT

This study addresses the role of chlorite as an indicator of temperature conditions in the Nevados de Chillán Geothermal System (NChGS). Focusing on the well-characterized geological site Nieblas-1, which presents a pervasive distribution of chlorite, providing a unique opportunity to explore its distribution and chemistry to assess the applicability of various geothermometers, and their ability to reveal the thermal dynamics and evolutionary history of the NChGS. For this purpose, the study aims to classify the chlorites, chemically analyze them, examine the correlation between their composition and thermodynamic and kinematic parameters, and evaluate the influence of these factors on the accuracy and applicability of geothermometric methods. Techniques used include optical and scanning electron microscopy, complemented by a comparative analysis of previously obtained data from the same borehole, including microthermometry measurements, direct borehole temperatures, mineral associations, and X-ray diffraction.

Two types of chlorites (Chl-1, Chl-2) were distinguished based on their morphology, which correspond to a classification of ferromagnesian trioctahedral diabantite with high silica content. Chl-1 (Curved Lenses) as coarse aggregates, with elongated and curved shapes related to past regional alteration, and Chl-2 (Corn-Flakes) as fine aggregates in the form of small straight disoriented plates, linked with the current geothermal alteration. Both types show chemical homogeneity due to chemical control of the host rock. Variations with depth are associated with temperature in the tetrahedral layer and oxygen fugacity in the octahedral layer. The employed geothermometers suggest crystallization temperature ranges of 170-250°C (empirical) and 120-160°C (semi-empirical), with Cathelineau's method providing the best fit with temperatures of 170-220°C, 220-240°C for types Chl-1 and Chl-2. This analysis provides new insights into the mineralogy and formation conditions of chlorites in Andean geothermal systems and offers references for future studies.

2.2 INTRODUCTION

The Nevados de Chillán Geothermal System (NChGS) in the Nevados de Chillán Volcanic Complex (NChVC) within the Ñuble Region, is developed within a geological sequence comprising fractured granitoids, fractured hornfels, and volcanoclastic sequences (Morata et al., 2023). The presence of faults and fractures facilitates the circulation of hydrothermal fluids, while

volcanic activity has given rise to various geological formations, such as stratovolcanoes, calderas and pyroclastic flows, including the Cerro Blanco and Las Termas subcomplexes (Morata et al., 2023). In areas such as Las Termas and Valle Hermoso, there are significant superficial geothermal manifestations, with acid-sulfate thermal waters with temperatures ranging between 85 and 92 °C. This sector offers a high potential and relevance for the study and exploitation of geothermal energy (Dixon et al., 1999a; Morata et al., 2023; Naranjo et al., 2008; Radic, 2010).

The Nieblas-1 exploration well, situated in the NChGS, facilitates a detailed study of the system. Recent research conducted by Gallardo (2020) and Morata et al. (2023) has documented the primary characteristics of lithology, permeability, hydrothermal alteration, and main structures associated with the system. Moreover, direct temperature measurements have been executed in the borehole, which are supplemented by microthermometry studies. This approach has yielded a comprehensive temperature profile along the borehole, significantly enriching the study by providing precise information about the thermal conditions of the system.

A pervasive distribution of chlorite and intermittent presence of illite has been observed in the geothermal system through the exploration well. The distribution and particular characteristics of chlorite, such as its microdomain type along the well, chemical composition, and morphology, represent a unique opportunity to perform a detailed chemical study and apply chemical thermometric methods in a well-defined geothermal environment, and understand the evolution and behavior of these minerals under the specific thermal and geochemical conditions of the region. Through a detailed analysis (SEM-EDX), we seek to decipher the properties and transformations of the chlorites in response to the geothermal and geochemical conditions of the system. This may be fundamental for the application of chemical geothermometers and for the in-depth analysis of the fluctuations in the chemical composition of this clay mineral.

The objective of this research is to establish the thermal conditions and evolution of the geothermal system through compositional and spatial analysis of chlorite as a geothermometric tool, and to determine how the chemical data from these mineral phases can elucidate the alteration history of the Nevados de Chillán Geothermal System. This work will not only deepen the understanding of the chemistry of this mafic phyllosilicate, but also has the potential to improve the practice of geothermometry and the study of geothermal systems for the Chilean Andes.

2.3 GEOLOGICAL SETTING

The subduction of the Nazca and Antarctic plates under the South American plate generates intense geological activity in the Andean margin, characterized by seismicity, tectonism and magmatism (Cembrano et al., 2007; Muñoz B. & Stern, 1988; Somoza & Ghidella, 2005), resulting in volcanism along the Andean volcanic arc (Stern, 2004). In the Chilean Andes, there are more than 300 geothermal areas associated with quaternary volcanism in the Central and Southern volcanic zones (Lahsen et al., 2005). Tectonics in the Southern Volcanic Zone of Chile is marked by the oblique subduction of the Nazca plate, with a convergence of 66 mm/year and a N78°E orientation (Angermann et al., 1999; Kendrick et al., 2003). The energy released is manifested through earthquakes and large-scale structures, forming a complex tectonic system, known as the

Andean Transverse Faults (ATF) (Cembrano & Lara, 2009; Giambiagi & Ramos, 2002; Sielfeld et al., 2019; Stanton-Yonge et al., 2016). The NChGS is in the Andean Cordillera in the Ñuble Region (36°50'S/71°23'W), Chile (Fig 2), 76 km southeast of Chillan, hosted in the NChVC, an elliptical structure 17 km long in a N30°W direction and approximately 11 km wide, that includes calderas, emission centers and stratovolcanoes (Dixon et al., 1999a; Lahsen et al., 2005; Naranjo et al., 2008).

The NW alignment of the NChVC's emission centers has been linked to the Cortaderas Lineament (CL); however, evidence supporting this connection and the lineament's role in recent eruptions remains limited (Stanton-Yonge et al., 2016). The CL has been interpreted as a cortical discontinuity and a zone accommodating Oligocene-Miocene N-S sedimentary basins (Radic, 2010; Stanton-Yonge et al., 2016). This tectonic peculiarity may prolong magma residence, influence eruption styles, and contribute to geothermal system development (Cembrano & Lara, 2009; Stanton-Yonge et al., 2016). Furthermore, stress regime changes induced by tectonic events like megathrust earthquakes could promote magma ascent (Radic, 2006; Stanton-Yonge et al., 2016).

The region's geological comprises Cretaceous to Miocene rocks, with Oligocene-Miocene rocks deposited in extensional basins and later uplifted and deformed, forming the Cura-Mallín Formation (Radic, 2010). Subsequent tectonic inversion led to the intrusion of the Santa Gertrudis Bullileo batholith (5.8 ± 0.3 Ma), causing local contact metamorphism and creating the fractured, silicified body suspected to host the deep geothermal reservoir (Muñoz & Niemeyer, 1984). This is overlaid by the Pliocene-early Pleistocene Cola de Zorro Formation, consisting of andesitic and basaltic lavas (1.82 ± 0.64 Ma; Dixon et al., 1999; Naranjo et al., 2008). The Nevados de Chillan volcanic complex developed over these units ~640 ka ago, initially dominated by andesitic lava flows, followed by intense subglacial andesitic activity between 640-50 ka (Naranjo et al., 2008). During the Late Pleistocene (100-60 ka), extensive emission areas culminated in a major explosive event around 40 ka (Dixon et al., 1999a; Naranjo et al., 2008), followed by eruptions that built the current NChVC structures: the Cerro Blanco and Las Termas Subcomplexes. These subcomplexes, separated by a 6 km saddle, have evolved independently, emitting geochemically distinct magmas (andesites and dacites vs. rhyolites-dacites), suggesting the presence of two separate magmatic chambers (Deruelle & Deruelle, 1974; Dixon et al., 1999a). Recent activity at the Las Termas Subcomplex includes dacitic eruptions (1906-1986) and a new cycle starting in 2016 (Cardona et al., 2021; Oyarzún et al., 2022). After seven years of heightened alert, the Chillán volcano's status was recently downgraded to green (Servicio Nacional de Geología y Minería, 2023).

The NChGS exhibits geothermal surface manifestations such as thermal springs, boiling pools, mud pools, and fumaroles, primarily on the eastern and southeastern flanks of the volcanic complex (Lahsen, 1978; Morata et al., 2023; Naranjo et al., 2008). These features are concentrated in the Las Termas sub-complex, with the Las Termas - Valle Hermoso sector characterized by acid-sulfate thermal waters (85-92°C) and fumaroles (125°C) where vapor-groundwater interaction intensifies hydrothermal alteration (Lahsen, 1978; Morata et al., 2023). Conversely, the Aguas Calientes - Olla del Mote sector features neutral bicarbonate-sulfate thermal waters (>70°C)

influenced by meltwater and a deep geothermal steam-heated aquifer (Lahsen et al., 2005). Geochemistry points to a high-temperature (>200°C) system shaped by water-rock interactions and magmatic contributions, with seismic activity linking geothermal and tectonic processes (Farías et al., 2014).

Research by Gallardo (2020) and Morata et al. (2023) on the SGNCh's Nieblas-1 well reveals a lithology dominated by andesitic lavas and volcanoclastic rocks with varying hydrothermal alteration. Two permeable zones were identified: an upper one (170 - 300 m) and a lower one (610 - 700 m). Clay mineral analysis shows temperature-dependent zoning, with corrensite and illite/smectite decreasing with depth while chlorite and illite increase, with chlorite/smectite, chlorite present throughout. This suggests abrupt smectite-to-illite and gradual smectite-to-chlorite transitions under strong thermal gradients.

Petrographic analyses, X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM) allowed them to identify a vertical zoning of the alteration mineralogy. Within the first 350 m, an argillic zone is defined, characterised by the presence of interstratified illite/smectite (I/S R0). Between 350 m and 680 m the sub-propylitic zone was identified, where both C/S and I/S were present. Finally, a propylitic zone was observed between 680 and 1000.85 m (Fig. 4). These results indicate the development of a *clay cap* up to approximately the first 680 m, which plays a crucial role in the thermal regulation, pressure, and enthalpy of the geothermal system. It also limits the circulation of hydrothermal fluids and isolates two distinct domains: a shallow one, influenced by steam-dominated acidic sulphate fluids, and a deeper one dominated by neutral chloride hydrothermal fluids.

Four stages were defined in the development of the geothermal system, each characterized by a particular set of minerals. The first stage represents the initial heating of the system and the supersaturation of the silica. The second stage marks the development of a high-temperature, fluid-dominated system, and the equilibrium conditions in the deep reservoir. The third stage shows the influx of water heated by steam deep into the system. The fourth stage is characterised by an adjustment of the physic-chemical conditions of the Nieblas-1 well.

2.4 SAMPLING AND ANALYTICAL METHODS

The methodology of this study was based on a comprehensive analysis of 38 thin section samples from the Nieblas-1 well (total depth 1000.85 m), integrating observations and data from Gallardo (2020) and Morata et al. (2023). The analysis encompassed detailed petrography, X-ray diffraction (XRD) of the < 2 µm clay fraction, microthermometric measurements, and in situ temperature logs. Eleven samples were strategically selected for chlorite geothermometry, distributed along the well at depths of 60, 100, 255, 307, 476, 579, 745, 763, 833, 935, and 985 m (Fig. 7) in different occurrences like replacement, vesicles, fissure filling and cementation. These were analyzed using scanning electron microscopy (SEM FEI Quanta 250) with BSE, SE, and EDX detectors at the Center of Excellence in Geothermal Energy of the Andes, University of Chile, providing a detailed characterization of chlorite morphology, occurrence, and subsequently chemical composition from a database of over 300 minerals, rigorous criteria based on (Chinchilla

et al., 2016; Fulignati, 2020; Hillier & Velde, 1991; Li et al., 2022; Vidal et al., 2001) were applied to select and classify mafic phyllosilicates. 189 analyses corresponding to chlorites were identified, of which 132 were pure chlorites and 57 presented minor smectitic components. Normalization and analysis followed the recommendations of Kameda et al. (2011), confirming the absence of discrete smectite and allowing precise classification of chlorites.

Chlorites are grouped by morphology, microdomain, chemistry, mineral association and finally by depth. They are classified and characterized according to the compositional diagrams (Hey, 1954; Wiewióra & Weiss, 1990; Zane & Weiss, 1998), assuming all iron as Fe^{2+} . The chemistry is then analyzed as a function of depth and the main ionic substitutions in its structure as reported by different authors (Chu et al., 2020; Li et al., 2022; Vidal et al., 2001). Fracture porosity (ϕ) and paleo-permeability (k) were estimated using an adaptation of Gomila et al., (2016) model, employing a "coin-shaped" fracture approach at the thin section scale, without differentiating orientation or filling. Alteration intensity was quantified by combining optical microscopy and SEM analysis, evaluating the proportion of alteration minerals (Gifkins et al., 2005) and the degree of albitization in plagioclases. For geothermometry, a multi-method approach was implemented, including empirical geothermometers (Cathelineau, 1988; Jowett Ph.D. P.Eng., 2021; Kranidiotis & MacLean, 1987), the thermodynamic geothermometer (Lanari et al., 2014) and semi-empirical geothermometers (Bourdelle et al., 2013, 2015; Inoue et al., 2018). The method of Inoue et al. (2018) was applied to estimate Fe^{3+} content, for the application of thermodynamic geothermometer.

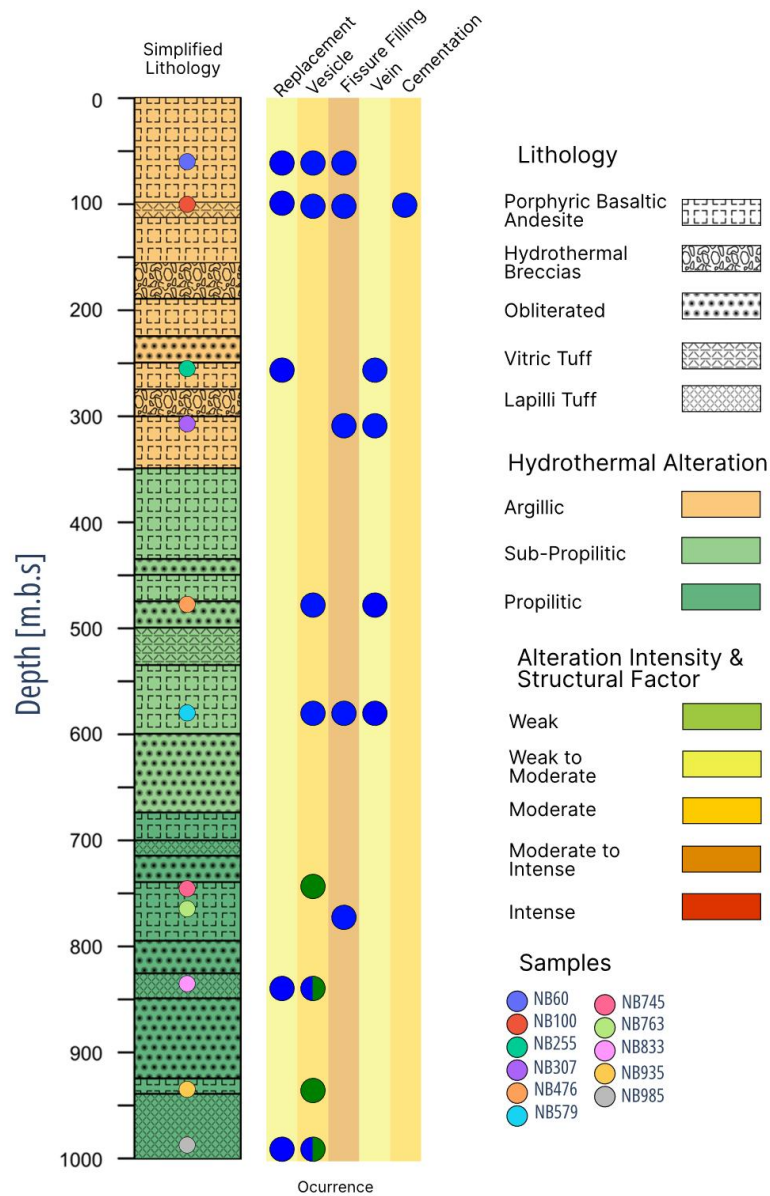


Figure 7: Simplified lithology, sampling location and occurrence of Chl.

2.5 RESULTS

2.5.1 Characterization of Chlorites

Morphologies, Mineral Associations and Microdomain

Along the drill hole, two main types of chlorites are distinguished by their distinctive morphologies and aggregate sizes. On the one hand, the so-called Curved-Lenses or Chl-1, coarse aggregates that manifest themselves as elongated and arched or curved plates (Fig. 8.a,b). On the other hand, the so-called Corn-flakes or Chl-2, which are characterized by finer aggregates, smaller plates, straight, disordered and without a preferred orientation (Fig. 8.c,d)

Chl-1 have an average size of aggregates approximately 8.62 μm (Fig. 8.e) Despite this average value, the variability of their dimensions is notable, with a standard deviation of 4.40 μm .

It is imperative to mention the detection of two atypically large aggregates within this set, with sizes of 37.73 and 25.11 μm at 100 m. Chl-2 generally have smaller dimensions with a mean size of 3.76 μm and a standard deviation of 2.16 μm (Fig. 8.e). Within this set, one aggregate was identified that stands out for its atypical size of 13.58 μm , detected at a depth of 745 m. More detailed analysis suggests a trend for aggregates to become smaller with increasing depth.

Chl-1 shows a consistent association with quartz (Qz) and calcite (Cal) at the different depths studied. With increasing depth, the presence of Cal tends to decrease. Plagioclase (Pl) is intermittently associated. At intermediate depths, minerals such as epidote (Ep), laumontite (Lmt), titanite (Ttn) and prehnite (Prh) emerge sporadically. Occasionally accompanied by iron oxides (Oxi-Fe) throughout the borehole (Fig. 9.a,c). While Chl2 are characterized by their predominant association with Lmt and Ep, and occasionally with Anhydrite (Anh), Prh and andradite (Adr) (Fig. 9.b,c).

Chl-1 are distinguished by their abundance throughout the analyzed borehole, observed at depths of 60, 100, 255, 307, 476, 579, 763, 833 and 985 m. Spotted in different microdomains: vesicle, fissure filling, vein, replacement of primary minerals or matrix, and cement. In vesicular or fissure-filling occurrences (Fig. 10.a,b), Chl-1 exhibits basic associations with Qz, occasionally with Cal, Pl, Oxi-Fe, and Ttn. The vesicular chlorite can be seen intersected by veins of Cal or more complex associations like Lmt, Cal, C/S, I/S, and/or Ep. In the vein microdomain (Fig. 10.c), Chl-1 is primarily concentrated in samples obtained between 255 and 579 m, associated by calcium-bearing minerals such as Cal, Lmt, and Ep, frequently accompanied by Qz, minerals like Prh, Pl, and Fe-Oxi are also identified. Replacement microdomain (Fig. 10.d), exhibits distinct mineral associations across different depths. Between 60 - 255 m, chlorite completely or partially alters phenocrystals of Pl, Aug, or the original matrix, the associations primarily include Cal, Lmt, Ilt, and I/S, with occurrences of Qz and Oxi-Fe. Between 833 - 985 m, chlorite replaces the original matrix characterized by the association Qz, Ep, Lmt, along with some Ab and Ttn. Additionally, there are levels where chlorite precipitates with calcite in fracture spaces resulting from hydrothermal brecciation processes (Fig. 10.e). A sample at 100 meters depth clearly illustrates this phenomenon. Meanwhile, Chl-2 are mainly restricted to depths from 745 m and are predominantly associated with a vesicle microdomain (Fig. 10.f), mineral associations do not vary much.

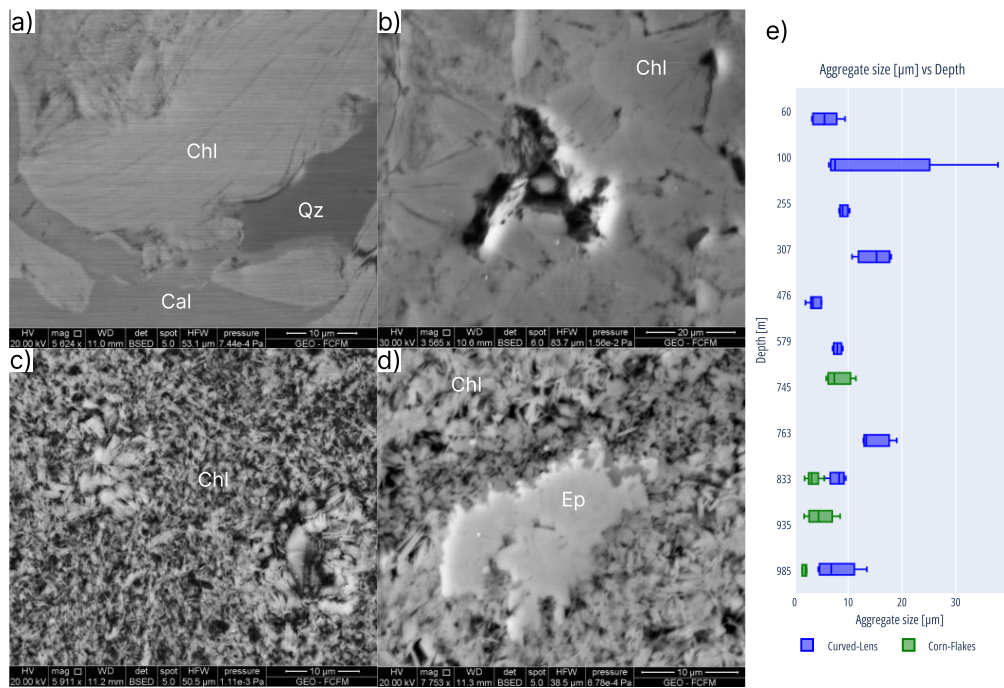


Figure 8: Morphologies and size. Representative images of the various chlorite morphologies encountered along the exploration well. Chl-1 (Curved-Lens) at 100 and 307 m (a,b). Chl-2 (Corn-Flakes) at 833 and 985 m (c,d). In addition, the average size distribution of the corresponding aggregates in each sample (e).

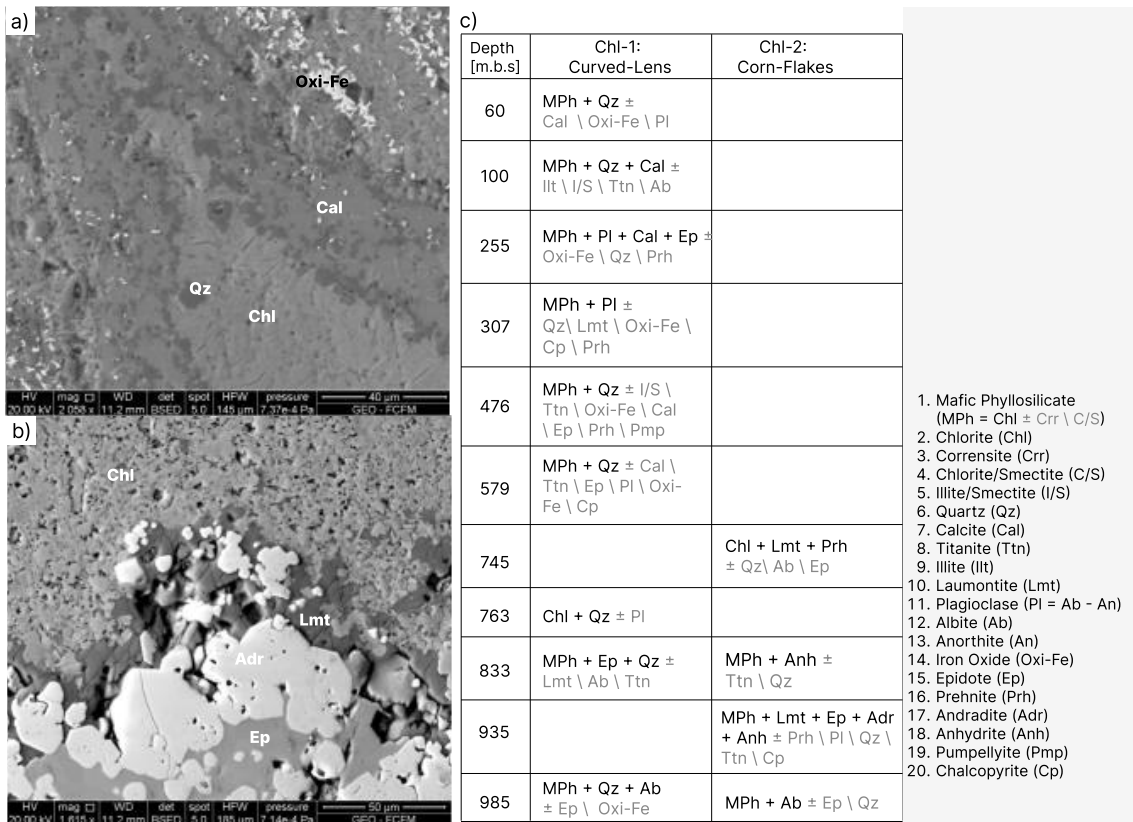


Figure 9: Mineral associations. Representative images of the main associations for the Chl-1 and Chl-2 types at 60 m (a) and 935 m (b) respectively. c) Table of the mineral associations of the different chlorite types along the Nieblas-1 well.

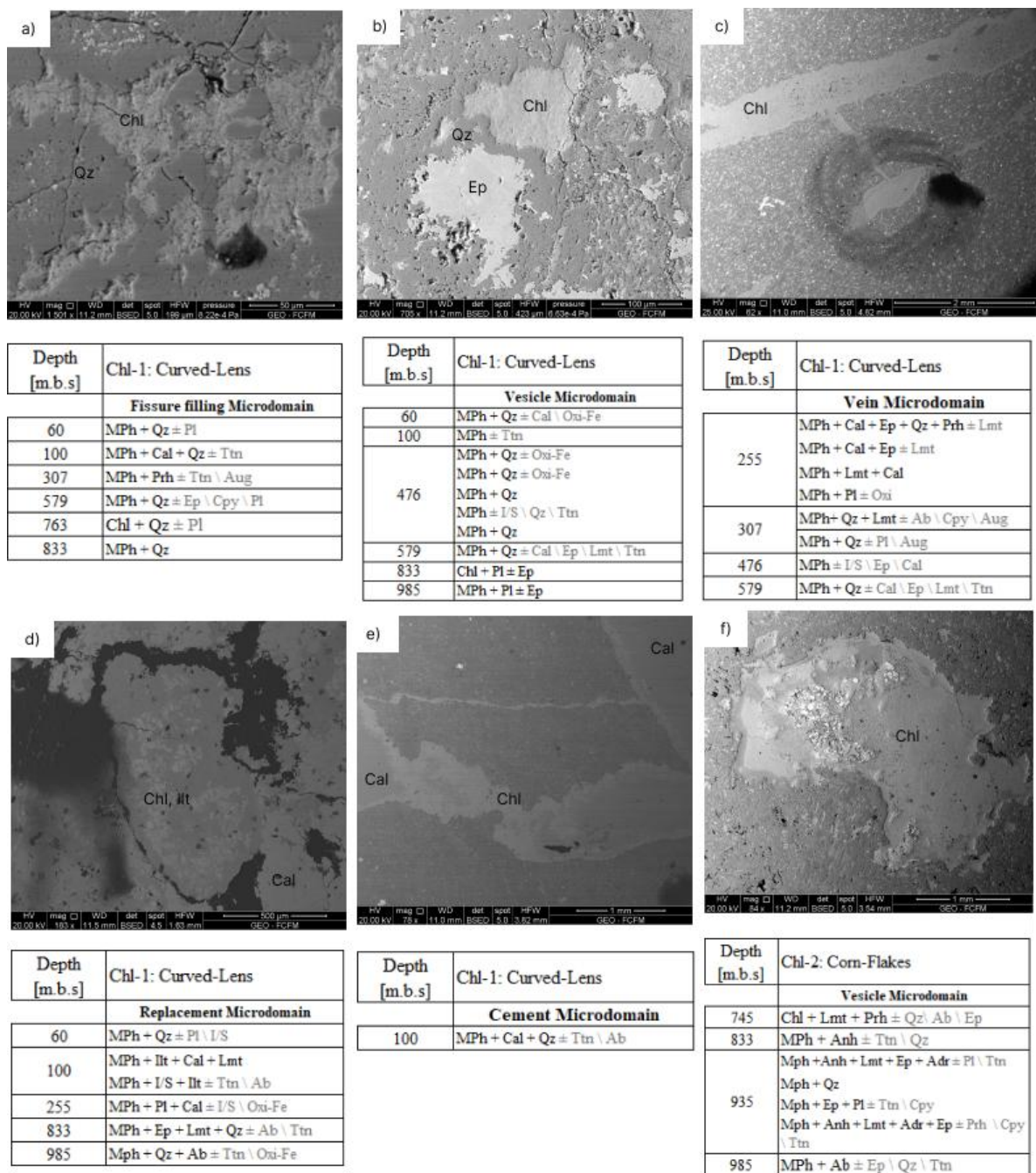


Figure 10: Chlorite microdomains and principal association; a) Chl-1 filling Qz fracture at 763 m. Principal association of chl-1 fissure filling microdomain. b) Chl-1 vesicle at 833 m. Principal association of chl-1 in vesicle microdomain. c) Chl-1 vein at 307 m. Principal association of chl-1 in vein microdomain..d) Chl-1 associated with Ilite and Cal, from glass alteration, in sample at 100 m. Principal association of chl-1 in replacement microdomain. e) Chl-1 precipitating with Cal as cement at 100 m. f) Chl-2 vesicle at 935m. Principal association of chl-2 in vesicle microdomain.

2.5.3 Mineral Chemistry

Chemical Classification

Having the chemistry of the chlorites grouped according to morphological type (Table. 4), Following the classification scheme proposed by Zane & Weiss (1998) (Fig. 11.a), it was found that all chlorites examined consistently exhibit a trioctahedral crystal structure that varies between chamosite and clinocllore members. These minerals generally belong to the ferromagnesian chlorite family. In the case of Chl-1, the samples at 255, 476, 579, 763, 833, 985 m are magnesian, that is, with a predominance of magnesium over iron, those collected at 100 and 307 m are ferric, with a predominance of iron over magnesium, and the samples at 60 m would be ferromagnesian, with local variations in the proportions of magnesium and iron. On the other hand, Chl-2, at 745, 833 and 985 m are magnesian, while at 935 m they are ferromagnesian. According to the classification model proposed by Hey (1954) (Fig. 11.b), the chlorites tend to be mainly diabantites, although variations aligned with pycnochlorite have also been recorded.

The Wiewiora & Weiss classification diagram (Fig. 11.c) shows very similar compositions between the two types analyzed. Both show comparable amounts of silica, divalent and trivalent cations. Specifically, silica content ranges from around 2.90 - 3.30 a.p.f.u., divalent cations from 4.00 to 4.87 a.p.f.u., and trivalent cations from 1.70 to 2.50 a.p.f.u. While similar, Chl-1 exhibits slightly higher silica content (3.10 - 3.28 a.p.f.u) compared to Chl-2 (2.99 - 3.14 a.p.f.u). Differences in divalent and trivalent cation content are minimal. Chl-1 leaning towards slightly lower trivalent cations than Chl-2.

Table 4: Summary of SEM-EDX analyses for chlorite samples normalized at 14 O at various depths. The table shows the mean and standard deviation of the compositional elements for chlorite (Chl-1 and Chl-2).

Depth [m] n° Analysis	Chl Type	Si		Al ^{IV}		Al ^{VI}		Fe		Mg		VacOct		XFe	
		\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
60 9	1	3.28	0.04	0.72	0.04	1.18	0.15	2.26	0.19	2.25	0.14	0.26	0.09	0.50	0.03
100 16	1	3.18	0.05	0.82	0.05	1.26	0.08	2.63	0.18	1.83	0.09	0.23	0.05	0.59	0.03
255 18	1	3.17	0.07	0.83	0.07	1.36	0.04	1.99	0.10	2.33	0.07	0.29	0.05	0.46	0.02
307 13	1	3.16	0.08	0.84	0.08	1.20	0.05	2.58	0.11	1.99	0.11	0.20	0.08	0.56	0.02
476 24	1	3.16	0.05	0.84	0.05	1.32	0.07	1.95	0.06	2.44	0.09	0.27	0.05	0.44	0.01
579 24	1	3.22	0.06	0.78	0.06	1.21	0.04	1.85	0.05	2.68	0.07	0.23	0.03	0.41	0.01
745 6	2	3.12	0.02	0.88	0.02	1.27	0.02	1.62	0.08	2.89	0.09	0.19	0.02	0.36	0.02
763 5	1	3.20	0.05	0.80	0.05	1.32	0.04	1.52	0.08	2.85	0.02	0.26	0.04	0.35	0.01
833 25	1	3.12	0.07	0.88	0.07	1.28	0.06	1.64	0.07	2.86	0.13	0.20	0.05	0.36	0.02
833 5	2	3.09	0.04	0.91	0.04	1.38	0.06	1.80	0.10	2.54	0.06	0.24	0.05	0.41	0.02
935 31	2	3.07	0.08	0.93	0.08	1.36	0.07	2.25	0.15	2.14	0.16	0.22	0.05	0.51	0.03
985 4	1	3.18	0.06	0.82	0.06	1.27	0.07	1.78	0.15	2.70	0.09	0.22	0.02	0.40	0.03
985 9	2	3.05	0.04	0.95	0.04	1.39	0.05	2.06	0.08	2.27	0.09	0.23	0.04	0.48	0.02

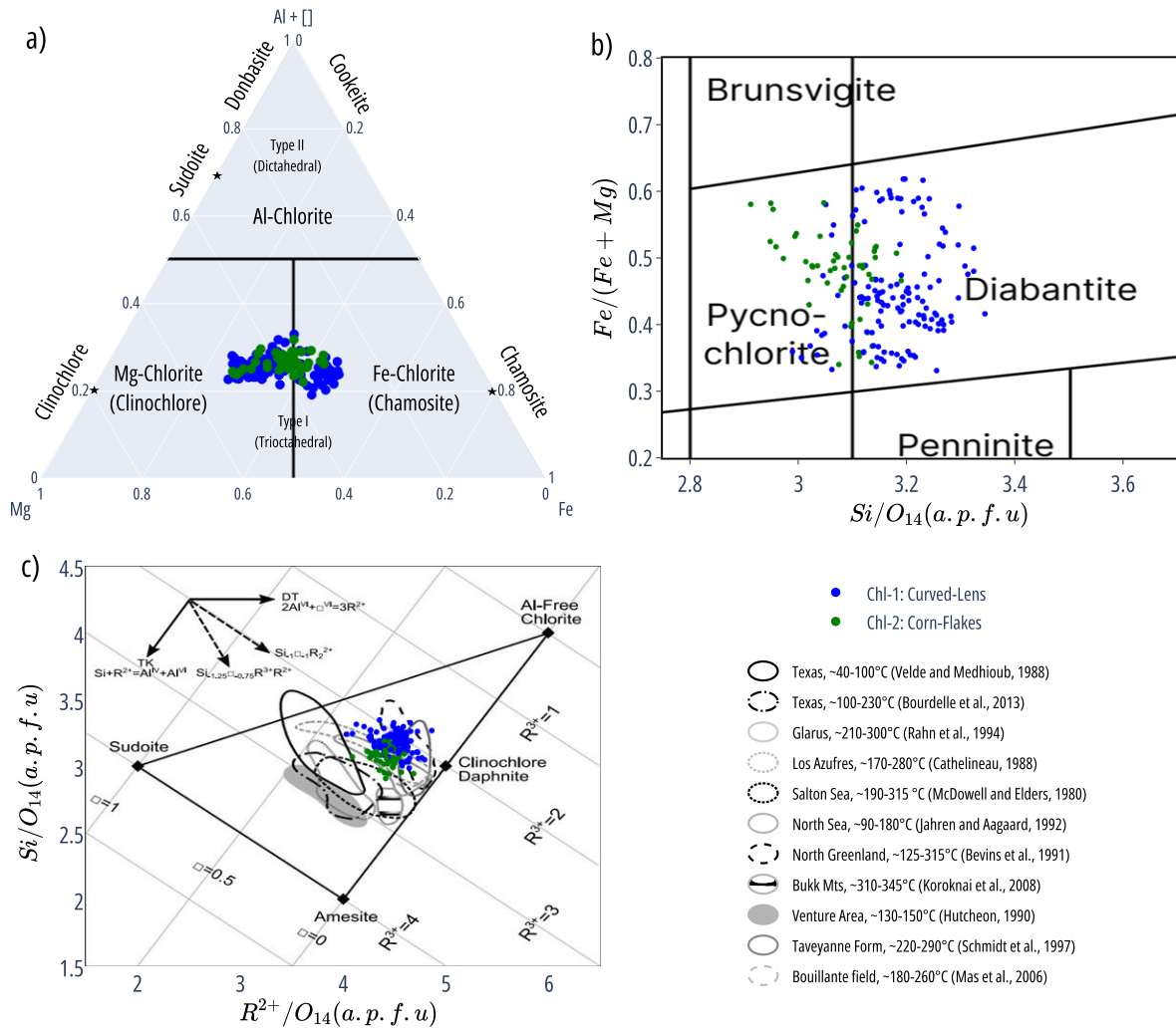


Figure 11: Chlorite classification diagrams. A) The classification diagram proposed by Zane & Weiss (1998), which presents an approach based on the chemical and structural composition of chlorites. B) The classification diagram developed by Hey (1954), based on the main chemical components and their relative proportions. C) The classification diagram proposed by Wiewióra & Weiss (1990), modified from Bourdelle (2021) with R^{2+} representing the sum of divalent elements, showcasing references to datasets applied in previous studies.

Cationic variation

On average, the Si content in all chlorite ranges from 3.05 to 3.28 a.p.f.u., showing a slight tendency to decrease with depth. Aluminum, in both tetrahedral and octahedral positions, slightly increases with depth, ranging from 0.72 - 0.95 a.p.f.u. in tetrahedral and from 1.18 - 1.39 a.p.f.u. in octahedral positions. Elements Fe and Mg show fluctuations that directly influence the iron molar fraction (XFe), varying significantly between 0.35 - 0.59. Despite these fluctuations, octahedral vacancy does not display a clear trend with respect to depth.

Figure 12 reveals that the Si content in Chl-1 decreases from 3.28 a.p.f.u. at 60 m to 3.12 a.p.f.u. at 833 m. Aluminum in tetrahedral coordination show a slight change from 0.78 to 0.84 a.p.f.u. The XFe values, indicative of the iron content within octahedral sites, have high values near the surface and decrease with depth, inversely related to magnesium. Aluminum in the octahedral layer, though relatively stable, exhibits a slight increase.

In the case of Chl-2, Figure 12 shows a decrease in Si content from 3.12 a.p.f.u. at 745 m to 3.05 a.p.f.u. at 985 m. Aluminum in tetrahedral positions increases, from 0.88 - 0.95 a.p.f.u. Conversely, XFe values increase with depth from 0.36 - 0.51. Aluminum in the octahedral layer, remains fairly consistent but slightly increases as depth increases.

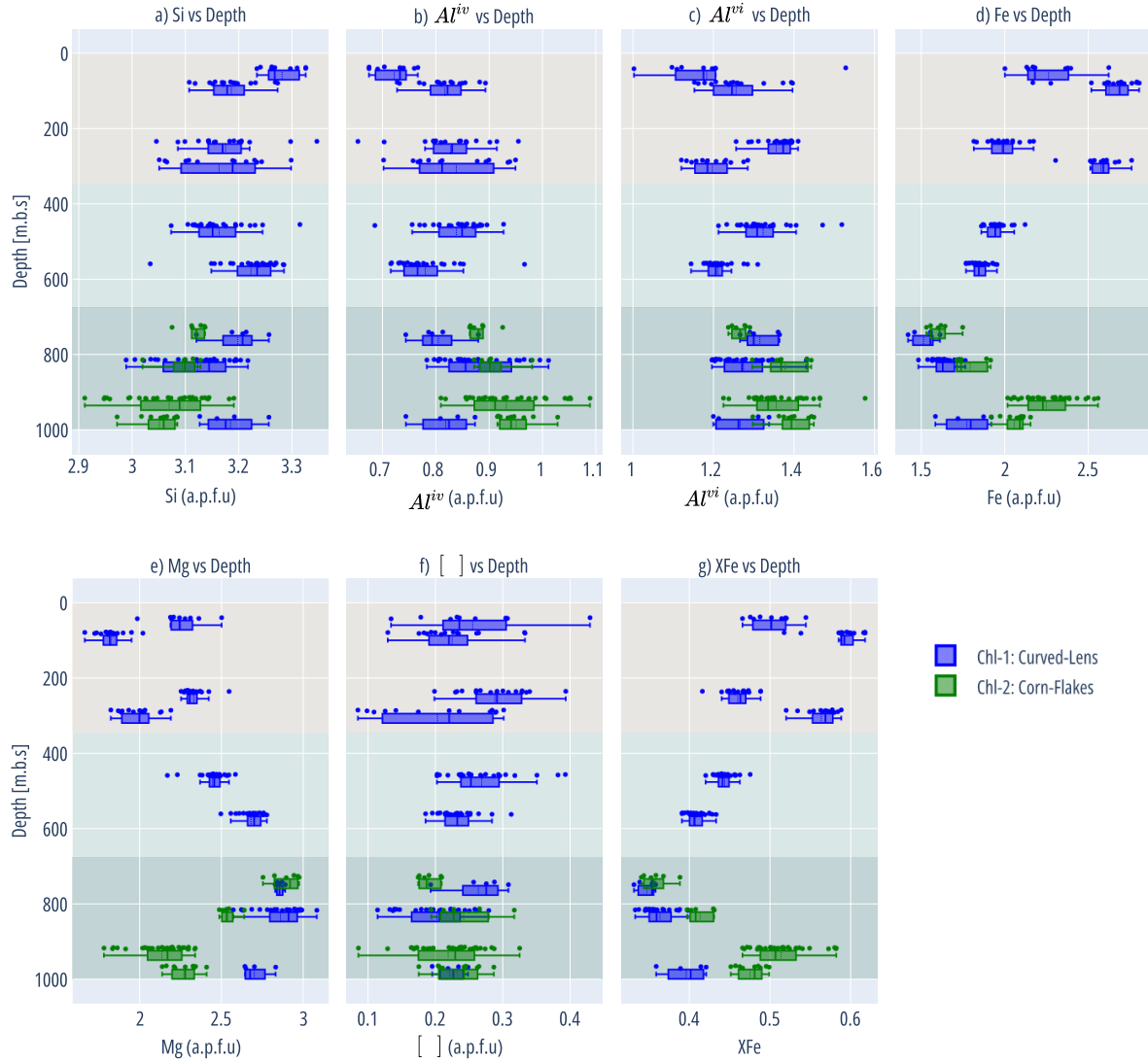


Figure 12: Chemistry with Depth: Variation of the main cations in the chlorite structure as a function of depth arrangement, ($XFe = Fe/(Fe + Mg)$), colored areas represent the zones of hydrothermal alteration defined in Morata et al., (2023).

Cation substitution processes

Figure 13 illustrates the ion-exchange processes that govern chlorite structure, yielding correlations of varying importance between the various substitutions. Such processes are essential for understanding how chlorites form and evolve in response to environmental conditions, particularly in the context of system alteration.

The cation exchange processes that dominate in chlorites have been identified primarily as: Ferromagnesian ($\text{Fe} = \text{Mg}$), Tschermak ($\text{Si} + \text{R}^{2+} = \text{Al}_{\text{total}}$), and Di-trioctahedral ($2\text{Al}^{\text{VI}} + [\]^{\text{VI}} = 3\text{R}^{2+}$ or $\text{Si} + [\]^{\text{VI}} = 2\text{R}^{2+}$) (Vidal et al., 2001).

Figure 13.a shows a nearly 1:1 inverse correlation for Fe and Mg, with an R^2 of 0.86 for both types. The Tschermak substitution shown in Figure 13.b also shows a nearly 1:1 inverse correlation, with an R^2 of 0.82 for Chl-1 and 0.86 for Chl-2 types. It has been suggested that the ratio of Al^{VI} y Al^{IV} should be close to 1:1 to be classified as a pure Tschermak substitution (Xie et al., 1997). This ratio is inconsistent with the observed one (Fig. 13.e), as both types show a non-existent correlation with an R^2 of less than 0.04. Regarding the ditrioctahedral exchange, Figure 13.c shows an inverse ratio close to 1:2 with an R^2 of 0.98, while Figure 13.d shows a ratio of 1:4, 1:5, but with R^2 of 0.34 and 0.23. On the other hand, Figure 13.f shows an excellent correlation for the exchange between Mg and $\text{Fe} + \text{Al}^{\text{VI}}$, with a ratio practically 1:1 and an R^2 of 0.97.

Furthermore, under hydrothermal alteration formation conditions, it is common to observe a marked correlation between Mg and Si, Al^{VI} , Al^{IV} , Fe when chlorites are formed from the same hydrothermal action, as shown in the studies of Wu et al. (2019) and Xie et al., (1997). However, most analyses report weak or no correlations for these ions (Fig. 13.g-i), with ratios rarely exceeding 0.10 and R^2 close to 0. The notable exception is the strong correlation with iron, as discussed previously.

It has often been postulated in scientific literature that the Al^{IV} content is strongly related to the XFe ratio. This has motivated the implementation of corrections in empirical geothermometers to account for the composition of the bedrock (Jowett Ph.D. P.Eng., 2021; Kranidiotis & MacLean, 1987). However, no such correlation is evident in this study (Fig. 13.j).

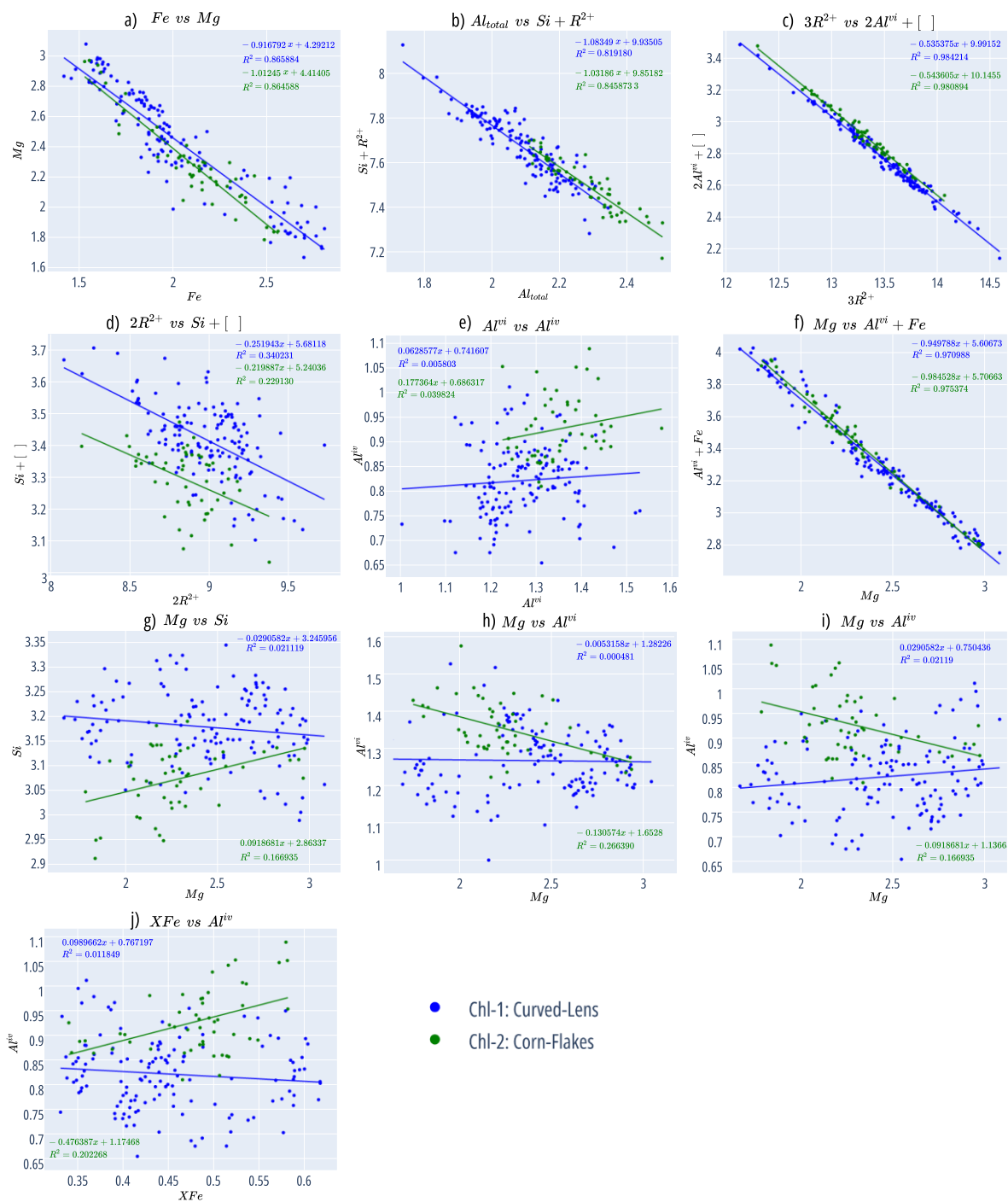


Figure 13: Mechanisms of cationic substitution in chlorites calculated on the basis of 14 O. a) Fe vs Mg. b) Tschermak: $Si + R^{2+}$ vs Al_{total} . c) Di-trioctahedral: $2Al^{VI} + {}^{VI}$ vs $3R^{2+}$. d) Di-trioctahedral: $Si + {}^{VI}$ vs $2R^{2+}$. e) Al^{VI} vs Al^{IV} . f) Mg vs $Al^{VI} + Fe$. g) Mg vs Si. h) Mg vs Al^{VI} . i) Mg vs Al^{IV} . j) XFe vs Al^{IV} .

2.5.2 Alteration Intensity, Microfracture Parameters

Table 5: Petrographic parameters: Alteration Intensity based on (Gifkins et al., 2005) and determined by the percentage of albitisation of the plagioclase. Microfracture Parameters based on Gomila et al 2016.

Depth (m)	Alteration		Microfracture Parameters				
	Gifkins et al., (2005)	Albitization %	Geometrical			Hydraulic	
			δ (mm/mm ²)	e (mm)	L (mm)	Φ (%)	k (m ²)
60	Weak	Weak to Moderate	$1.39 \cdot 10^{-2}$	0.19	3.8	2.24	$3.24 \cdot 10^{-11}$
100	Moderate	Intense	$1.52 \cdot 10^{-2}$	1.35	3.39	16.2	$1.23 \cdot 10^{-8}$
255	Weak	Weak to Moderate	$6.35 \cdot 10^{-3}$	0.15	4.45	1.28	$1.13 \cdot 10^{-11}$
307	Weak	Weak	$1.46 \cdot 10^{-2}$	0.16	3.56	2.07	$2.11 \cdot 10^{-11}$
476	Moderate to Intense	Moderate	$2.94 \cdot 10^{-2}$	0.17	2.57	2.18	$2.60 \cdot 10^{-11}$
579	Moderate	Weak to Moderate	$1.08 \cdot 10^{-2}$	0.26	4.19	1.89	$5.37 \cdot 10^{-11}$
745	Intense	Weak to Moderate	$1.54 \cdot 10^{-3}$	1.49	4.91	7.51	$6.93 \cdot 10^{-9}$
763	Moderate	Intense	$4.61 \cdot 10^{-3}$	1.26	4.77	15.37	$1.01 \cdot 10^{-8}$
833	Intense	Intense	$1.71 \cdot 10^{-3}$	0.25	3.92	0.76	$1.99 \cdot 10^{-11}$
935	Weak	Weak	-	-	-	-	-
985	Moderate to Intense	Intense	$5.56 \cdot 10^{-3}$	0.12	2.81	0.5	$2.97 \cdot 10^{-12}$

In terms of alteration (Table. 5), there is a general trend towards greater intensity with increasing depth according to the criteria of Gifkins et al. (2005) and the albitization percentage, ranging from "Weak" or "Weak to Moderate" at shallower levels to "Intense" at the deepest levels. However, the estimation of the alteration degree based on the albitization percentage reveals a more nuanced pattern.

The microfracture parameters, divided into geometrical and hydraulic, show significant variations along the depth profile. The surface density (δ) ranges from $1.08 \cdot 10^{-2}$ mm/mm² to $6.35 \cdot 10^{-2}$ mm/mm², while the average aperture (e) varies widely from 0.12 mm to 1.49 mm. The average length of the fractures (L) remains relatively constant, between 2.81 mm and 4.91 mm. Regarding hydraulic properties, porosity (Φ) shows a wide variation, with values ranging from 0.5% to 16.2%, and permeability (k) also varies significantly, from $2.97 \cdot 10^{-12}$ m² to $1.33 \cdot 10^{-8}$ m². The highest values of porosity and permeability are found in the levels at 100, 745 and 763 m.

2.5.4 Chlorite Geothermometry

The results in Figure 14.a show that the empirical geothermometers of Cathelineau (1988), Kranidiotis & MacLean (1987), and Jowett (1991) provide estimates that fluctuate between 170°C - 250°C, with standard deviations of 10°C - 30°C. Lanari et al. (2014) thermodynamic geothermometer suggest temperatures ranging from 120°C - 185°C, with standard deviations of 15°C - 25°C, and a decreasing temperature trend with depth. In contrast, Bourdelle (2013) and Inoue (2018) indicate temperatures ranging from 120°C - 160°C, with standard deviations on the order of 10 - 50°C. Bourdelle's graphical geothermometer (Fig. 15) yields temperatures like its mathematical counterpart, which range on average between 125°C - 175°C.

Focusing on the model of Cathelineau (1988) as representative of the empirical models and Bourdelle (2013) of the semi-empirical ones; Chl-1 shows a temperature increase with

corresponding fluctuations, from 170 - 201°C from 60 - 985 m, with a peak of 220°C at 833 m. Bourdelle, on the other hand, provides a range from 126 - 149°C from 60 - 985 m, with a peak of 162°C at 307 m. For Chl-2; which ranges from 745 - 985 m, the Cathelineau method reports a clear trend of temperature increase with depth from 220°C - 243°C, while Bourdelle shows fluctuations without a clear trend from 149 - 162°C (Fig. 14.b).

Direct borehole measurements (internal GDN report) show temperatures rising from 10 - 150°C in the first 200 m, followed by a gradual increase to 200°C at 1000 m depth. A comparison of these data with the geothermometric estimates, independent of the method used, shows a significant discrepancy, which can be as high as 100 - 150°C in this first zone. However, at depths greater than 200 m, the measurements obtained by both methods begin to agree with greater precision (Fig. 14).

On the other hand, the microthermometry data from Morata et al., 2023, while fluid inclusion temperatures tend to align well with the current temperature profile, the data at 160, 348, and 456 m from rhombic calcite and quartz deviate from this trend. However, they coincide quite well with the chlorite temperatures estimated from empiric geothermometers in the upper zone. Meanwhile, the fluid inclusion temperatures in anhydrite at 947 and 961 m closely match the chlorite temperatures in these deeper zones.

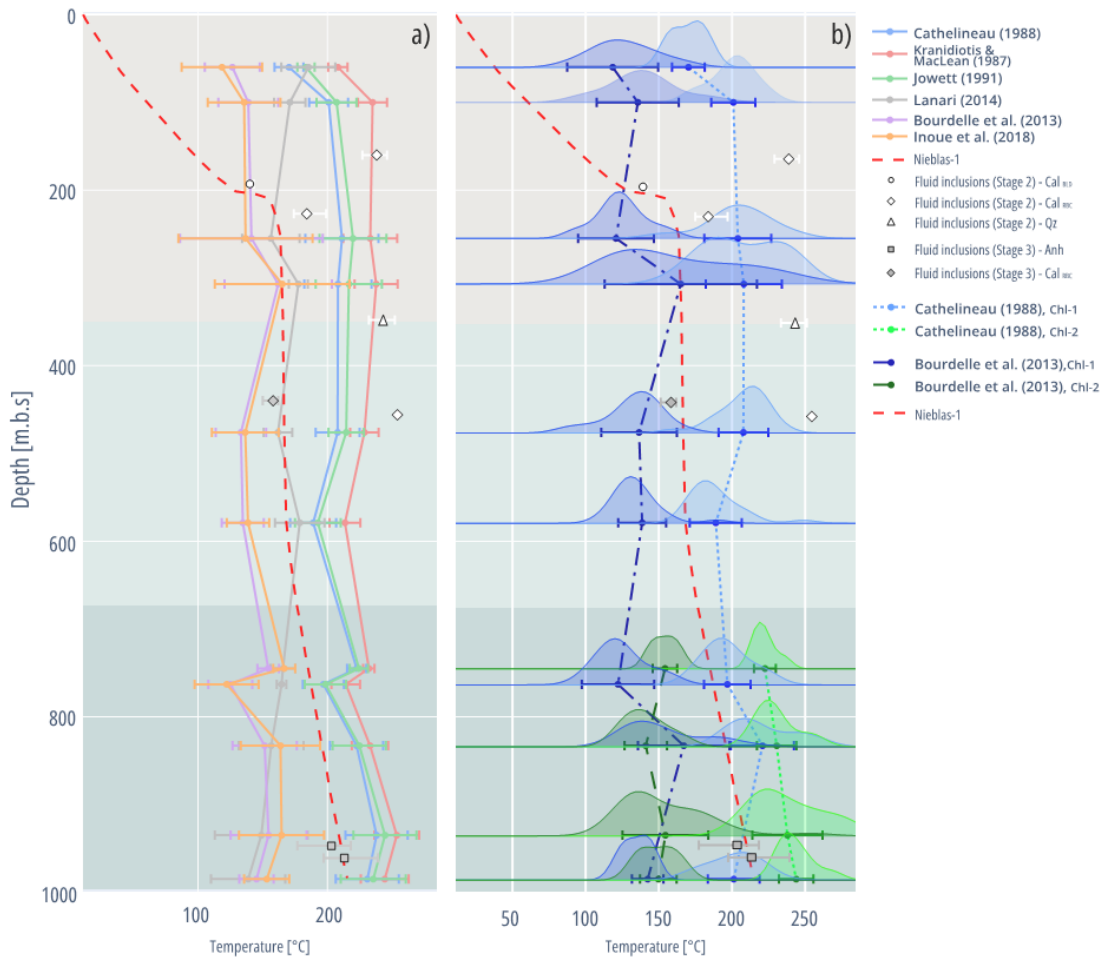


Figure 14: Geothermometry of chlorites as a function of depth and comparison between different geothermometric methods. a) Variation of the estimated average temperature per sample as a function of depth in the Nevados de Chillán Geothermal System, using different geothermometric methods applied to chlorites. b) Representation of the estimated average temperatures as a function of depth and according to the different types identified, colored areas represent the hydrothermal alteration zones defined in Morata et al., (2023).

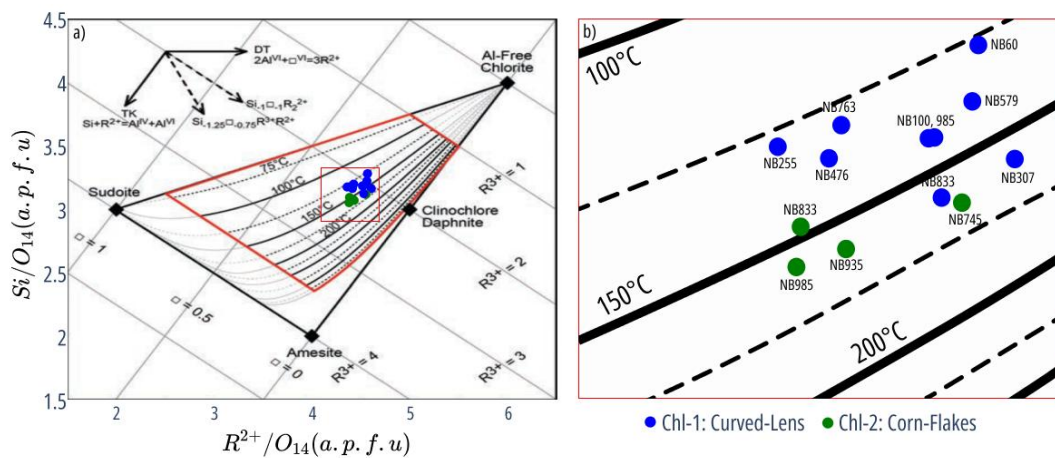


Figure 15: a) Graphical geothermometer from Bourdelle et al., (2015). b) Enlarged detail showing the average composition and temperature of Chl-1 and Chl-2.

Table 6: Average temperatures according to method by depth and type.

Depth [m] n° Sample	Type	Cathelineau (1988)		Kranidiotis & MacLean (1987)		Jowett (1991)		Lanari et al., (2014)		Bourdelle et al. (2013)		Inoue et al. (2018)	
		\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
60 9	1	170	11	208	7	183	7	185	21	127	21	118	31
100 16	1	201	15	235	11	207	15	171	12	139	23	136	28
255 18	1	204	23	227	16	212	19	156	22	125	17	121	26
307 13	1	208	26	238	17	216	26	178	7	162	41	165	52
476 24	1	208	17	229	11	214	14	162	11	133	19	136	26
579 24	1	189	18	213	12	193	18	179	19	135	16	139	16
745 6	2	223	7	232	4	224	7	166	9	154	8	167	8
763 5	1	197	16	214	11	198	16	165	3	125	17	122	25
833 25	1	221	22	231	14	223	21	160	25	154	26	167	31
833 5	2	231	13	241	9	234	14	138	17	141	15	147	23
935 31	2	238	24	253	17	244	24	149	36	154	29	165	33
985 4	1	201	18	221	11	204	17	173	12	135	10	142	11
985 9	2	244	12	255	8	249	12	124	19	150	13	158	18

2.6 DISCUSSION

Factors affecting the cationic variation of chlorite

The chemical nature of chlorites has traditionally been postulated as a direct consequence of temperature conditions. However, recent studies suggest that, in addition to temperature, several kinetic parameters may exert a significant influence on their composition. Parameters such as pressure, lithology and composition of the bedrock, fluid/rock ratio, pH, O₂, S₂ fugacity and cooling rate are examples of variables to be considered (de Caritat et al., 1993). Among other authors, the study by Li et al. (2022) supports this statement, and highlights that, although several kinetic parameters affecting chlorite composition are recognized, the relative importance of these and how they influence composition are still not completely clear, especially in such dynamic contexts as geothermal systems.

The two types of chlorites analyzed along the borehole, confined to the Cura-Mallín Formation, exhibit differences in morphology, distribution, microdomains, and mineral associations, yet show comparable chemical compositions. Chl-1, observed throughout the entire borehole in multiple microdomains, has average values of Si, Al^{IV}, Al^{VI}, XFe of 3.17, 0.82, 1.27, 0.46 a.p.f.u., respectively. Chl-2, observed only as vesicle at depths greater than 745 m through to the end of the well, presents average values of 3.08, 0.89, 1.35, 0.41 a.p.f.u. Notably, at depths where both types begin to coexist (> 745 m), the chemical differences between Chl-1 and Chl-2 become less pronounced. At these depths, Chl-1, present in replacement microdomains, fracture fillings, and vesicles, has average values of 3.14, 0.84, 1.29, 0.40 a.p.f.u. This suggests that the chemical similarities between Chl-1 and Chl-2 may be influenced by the physicochemical conditions prevalent in these environments.

Lithologic similarity within the unit precludes evaluation of mineral chemical controls exerted by contrasting lithologies. Samples from the same depth level are similar in composition with less than 10% variation. All are classified as trioctahedral ferromagnesian diabantitic varieties with pycnochloritic affinity, between clinocllore and chamosite end members. Chl-1 tends to fall

predominantly within the diabantite field, whereas Chl-2 shows a stronger affinity for pycnochloritic compositions.

Considering that lithology is quite homogeneous throughout the borehole, primarily consisting of porphyritic basaltic andesite, this would indicate that it is the main control on the chemistry of the chlorites, at least with respect to major elements. This is similar to what has been observed, for example, in El Teniente Deposit (Wilkinson et al., 2020). For both types, the chemical composition shows more pronounced variations when considering depth, with the Fe mole fraction being particularly prominent.

Studies have observed that chlorites tend to have higher Mg concentrations in levels with a high degree of alteration, reflecting a higher fluid/rock ratio (Buschette & Piercey, 2016; Li et al., 2022). This is because chlorite composition is mainly influenced by mineralizing fluids. Conversely, in zones of weaker alteration, Fe-rich chlorites predominate because their composition reflects that of the host rock, which may be rich in this element.

In this context, microstructural factors play a crucial role in fluid-rock interaction dynamics, influencing the intensity and distribution of alteration. Zones of greater alteration identified qualitatively by Gifkins (2005) observed at 100 or 763 m depth, benefit from higher porosity and permeability in more fractured levels, facilitating fluid circulation and, consequently, alteration. However, there are also high-intensity alteration zones in areas without apparent significant porosity and permeability. This can be attributed to the presence of more reactive lithologies at these levels, such as tuffs, which are more susceptible to alteration even with lower fluid flow. It is important to note that despite these variations in alteration intensity and microstructural characteristics, no direct relationship has been recognized between the chemistry of the chlorites and the observed degree of alteration. This apparent independence reaffirms the control of the original composition of the host rock.

The content of Si and Al^{IV} have an apparent correlation with increasing temperature, especially for Chl-2. This observation is consistent with observations from previous studies and, in fact, forms the basis of chemical geothermometry applied to chlorite (Cathelineau & Nieva, 1985; de Caritat et al., 1993; Kranidiotis & MacLean, 1987; Li et al., 2022; Uno et al., 2023). Fluctuations in Fe and Mg could therefore indicate an influence on the oxygen fugacity of the system, as mentioned in works such as De Caritat (1993). However, this interpretation requires future research to be fully confirmed. These variables could also explain the minor differences observed between Chl-1 and Chl-2, which may relate to slight variations in the physicochemical conditions of their formation.

Despite fluctuations with depth, a characteristic of the analyzed chlorites is the progressive increase in aluminum concentration. This increase is evident in both types, however, in the interval where they coexist, it is much more pronounced in Chl-2, while in Chl-1 it is barely noticeable. No significant correlation is observed between Al^{IV} and Al^{VI} in either type, even within this overlapping interval, suggesting that these structural positions function independently. This phenomenon could be partially explained by the alteration of plagioclases in the surrounding rocks, which release aluminum into the environment, subsequently incorporating it into the chlorite

structure. While the increase in Al^{IV} may be attributed to temperature-related Tschermak-type substitutions, the increase in Al^{VI} in the octahedral layer suggests a greater availability of aluminum in the deeper fluids that interact with the chlorites. This finding is supported by the abundance of aluminosilicates in the studied system, pointing to a complex process of aluminum substitution and/or incorporation within the chlorite structure.

Mechanisms of substitution in Chlorites

Strong negative correlations ($R^2 > 0.800$) were identified for the ferromagnesian, Tschermak, and di-trioctahedral substitutions (Fig. 13.a-c). These observations are consistent with the existing literature in applied studies of chlorite and underscore how these substitutions play a critical role in the composition of this clay.

In particular, the high 1:1 ratio in the correlation between iron and magnesium reveals a relative ease of their exchange in the chlorite structure. This has important implications, as it suggests that variations in Fe and Mg ratios can directly influence the composition of the mineral.

Despite the strong correlation observed in the Tschermak substitution, Figure 13.e shows a higher proportion of Al^{VI} compared to Al^{IV} . This indicates that although the Tschermak substitution is dominant, there are other relevant substitutions that control the composition. Figures 11.c, 13.b,c illustrate the combination of the Tschermak substitution and a di-trioctahedral substitution of the type $2Al^{VI} + []^{VI} = 3R^{2+}$. This explains the crucial difference in the substitution vector observed, for example, in metamorphic environments where the Tschermak substitution is usually clearly visible in the Wiewióra & Weiss diagram (Bourdelle & Cathelineau, 2015).

The resulting substitution vector, with an approximate ratio of $Si1.25[]0.75R3R2$, suggests that the structural processes of the mineral occur near $\sim 250^\circ C$, the transition temperature between this vector and Tschermak substitution (Inoue et al., 2009). Together with the di-trioctahedral substitution shown in Figure 13.c, which indicates the incorporation of Al into the structure due to the release of Fe or Mg, Figure 13.f manifests how Al^{VI} only replaces Mg and not Fe (Xie et al., 1997), indicating that Fe is not directly involved in the Tschermak substitution, which also explains the increase in Al^{VI} and adds another layer of complexity to the understanding of these processes.

Linear regression analysis reveals, in some cases, different trends between Chl-1 and Chl-2. However, these differences should be interpreted with caution. The low determination coefficients and similar or near-zero slopes indicate that the regression models account for only a small fraction of the variability in the data. Therefore, these substitution mechanisms do not provide sufficient evidence to establish distinct compositional behavior between Chl-1 and Chl-2. Furthermore, the correlation of Mg with Al^{VI} , Al^{IV} , Si and Fe is only effective for the latter cation. This peculiarity suggests that the chlorites in the study area are not the product of a single alteration event but would be the result of multiple alteration activity (Qaim Raza et al., 2021; Wu et al., 2019). This is supported by the lack of correlation between Al^{IV} content and XFe ratio, implying a complex hydrothermal alteration process involving mixed fluid sources or local variations in ambient conditions (Li et al., 2022). This interpretation aligns with evidence of intense regional

and hydrothermal alteration activity in the area, factors that would have contributed to the formation of the studied chlorites and challenges the reliability of geothermometric methods that use this parameter to estimate or correct chlorite formation temperatures.

Chlorite Geothermometry

Differences in temperature estimates between empirical, thermodynamic and semi-empirical methods, as well as the tendency of the latter to underestimate, may be due to several causes. Prominent of these is the possible inappropriate selection of the final members that form the basis of the models. Their activities may not adequately represent the composition of the selected samples or the substitutions affecting them. It is worth mentioning that semi-empirical geothermometers are usually based on the assumption of an ideal mineral composition or close to it. If minerals have a composition that is significantly different from the ideal, temperature estimates may be inaccurate. Also, the non-consideration of non-ideality contributions, such as interactions between cation sites and the effect of pressure, is a relevant aspect.

In addition, these geothermometers often assume a water activity equal to 1, a valid assumption for closed and pure systems. However, this assumption may not be valid for natural geothermal systems where water activity may vary due to processes such as fluid mixing, rock-fluid interaction, and changes in pressure and temperature as an open system.

Other factors that could contribute to these discrepancies include variations in thermodynamic properties during calibrations used in the geothermometric calculation (Inoue et al., 2009). Also, possible contamination such as interstratification with smectite could artificially increase the silica content and reduce the elements in the octahedral layer, resulting in an underestimation of temperatures. Although the selection of samples with the criteria of Hiller & Velde, 1991 should minimize the influence of such contamination, this factor cannot be completely excluded.

As anticipated, the thermodynamic method showed an atypical behavior, exhibiting an inverse trend of temperature with respect to depth. This anomaly is mainly attributed to the high silica content in the analyzed chlorites, which compromises the thermodynamic foundations on which these methods are based. However, it is notable that up to a depth of 600 m, the temperatures derived from this method remain within a plausible range, oscillating between the values obtained by empirical and semi-empirical methods. It is particularly interesting that in the most superficial area, these estimates even converge with the temperatures calculated using empirical methods.

Fluid inclusion microthermometry is commonly used to validate chlorite geothermometry results (Chu et al., 2020), with the expectation that the temperatures derived from both methods should be consistent if they correspond to the same geological event. In this study, comparisons were made with microthermometric measurements of fluid inclusions in quartz, calcite, and anhydrite, as detailed by Gallardo (2020) and Morata et al. (2023). These measurements, taken at specific depths, reveal distinct temperature ranges for different stages of the system. For Stage II, temperatures range from 140°C to 254°C, while for Stage III, the range is from 155°C to 228°C.

It is important to highlight that, although these fluid inclusion measurements provide valuable information, they are limited to specific points and do not offer a continuous temperature profile along the well. Additionally, the stages referred to are considered later to the chlorite formation. Nonetheless, the estimates or interpolations derived from some empirical geothermometers show notable consistency with the temperatures obtained from fluid inclusions. Specifically, this concordance is observed at key depths: 160, 348, and 456 m for Chl-1, and 947 and 961 m for Chl-2. This correlation between chlorite geothermometry and fluid inclusion microthermometry results reinforces the validity of the empirical geothermometers used.

Elements in the tetrahedral layer appear to be more stable against fluctuations compared to those in the octahedral layer. This suggests that empirical methods based solely on Si and Al^{IV} may provide more reliable results due to their relative immobility. Considering that Al^{IV} content appears to be correlated with temperature and that no direct relationship with XFe is observed, the Cathelineau (1988) geothermometer emerges as the most reliable tool for estimating crystallization temperatures. Its effectiveness has been validated in scenarios similar to those of its original development and has been recognized as reliable in different geological environments (de Caritat et al., 1993; Pacey et al., 2020; Verdecchia et al., 2019), which reinforces its applicability, especially in andesitic geothermal systems, where the Cathelineau (1988) geothermometer was originally adapted.

The estimated temperatures for the chlorites, which range from 170 - 220°C for Chl-1 and 220 - 240°C for Chl-2, are consistent with the identified mineral associations that advocate that the hydrothermal fluids would have had temperatures between 160°C - 300°C. This range is defined by the presence of minerals such as laumontite and epidote, which mark the lower limit, and the presence of garnet and absence of actinolite, which mark the upper limit.

Temperatures estimated by empirical and semi-empirical geothermometers tend to be higher than those measured directly in the borehole, a discrepancy that is particularly noticeable in the first 200 m. This indicates that the Chl-1 chlorites may be in disequilibrium with the current temperature conditions, supporting the idea of an earlier origin, with high temperatures but with a thermal gradient ~ 20°C/Km calculated by a simple linear regression, possibly related to regional alteration of the Cura-Mallín formation. On the other hand, the Chl-2 chlorites and part of the Chl-1 from 700 m seem to be more in tune with the current temperature of the borehole, confirming the influence of the current geothermal system on the development of the chlorites through this zone. Estimation of the thermal gradient with these samples gives ~ 90°C/Km, a value compatible with a geothermal system in regions of active volcanism (Barbier, 2002).

Origin of the Chlorites in the NChGS

Two distinctive types of chlorites were identified in the NChGS. These chlorites show compositional similarities with those from other studies, as observed in the classification diagram of Zane & Weiss (1998), modified by Bourdelle et al. (2015). They exhibit congruence both in morphology and in compositional areas referenced in low-temperature environments, such as the Bouillante geothermal field (Beauchamps et al., 2021; Mas et al., 2006) Tinguiririca (Vázquez et

al., 2014), and those that have experienced low-grade metamorphism, such as the basaltic formations in northern Greenland (Bevins et al., 1991) and the Taveyanne Formation (Schmidt et al., 1997) in western Switzerland. This suggests that the chlorites here may have similar P-T-X conditions.

It is proposed that the coarse-grained (~ 8.62 μm) and ubiquitous Chl-1 associated primary with Qz + Cal preceded the finer-grained (~ 3.76 μm) Chl-2 chlorites linked to Lmt + Anh + Ep. This is evidenced by the extensive occupation of available space by Chl-1 in various microdomains, including fillings, mineral replacements, matrix, veins, and as cement. This widespread presence of Chl-1 significantly restricted the formation sites for subsequent chlorites. As a result, Chl-2 are primarily confined to vesicles. The larger morphologies of Chl-1, similar to those observed in other geothermal systems such as Cerro Pabellón (Maza et al., 2018) and Base-Terre (Beauchamps et al., 2021) as well as those reported in studies of the smectite-chlorite transition (Beauchamps et al., 2021; Escobedo et al., 2021; Schiffman & Fridleifsson, 1991; Schiffman & Staudigel, 1995), analyzed under Ostwald's law and nucleation and growth processes (Meunier, 2005), indicate a longer development period and greater stability compared to Chl-2. Discrepancies between the current system temperatures and crystallization temperatures in the first 200 meters, derived from geothermometers, reinforce the hypothesis of an earlier formation of Chl-1.

Chl-2 chlorites, distinguished by their characteristic corn-flake morphology, are predominantly found in deeper zones, aligning with the hypothesis of a strong influence from current geothermal conditions in these areas. Multiple lines of evidence support this interpretation: The reduced size of the aggregates, coupled with their distinctive corn-flake morphology, suggests a more dynamic and reactive formation environment. This could indicate a rapid cooling process, possibly due to accelerated thermal dispersion in the early stages of the geothermal system. They are frequently associated with minerals typically present in and resultant from geothermal environments (Lmt, Ep, Prh, Anh, Adr). The observed zonation of mineral precipitation within vesicles. Formation temperature estimates show a good agreement with direct borehole temperature measurements. Additionally, it can be related to the evolution of interstratified C/S phases, explaining the coexistence of chlorite and C/S in superficial zones and provides insight into the mineral transformation processes occurring within the geothermal system.

In the context of the regional geological history, the characteristics observed in Chl-1 suggest a possible association with regional alteration events, as mentioned by Morata et al. (2023). The microdomains and their respective associations, such as alteration and space filling with quartz, calcite, and zeolites, lead to the proposal that, under a relatively closed environment and very low-grade metamorphic conditions, the system's rocks began to alter that led to the development of Chl-1. The good correlation of temperatures with microthermometry of fluid inclusions in rhombic calcite indicates a boiling event that increased porosity and permeability in the upper zone. Subsequently, a mixing event lowered the temperature, facilitating the development of laumontite, calcite, chlorite, and epidote towards the end of this hydrothermal activity. Such events could have reduced the permeability of the rocks, contributing to the preservation of minerals during the evolution of the present geothermal system. Later, under the current geothermal alteration

conditions (Morata et al., 2023) and through chloritization processes of interstratified minerals, Chl-2 would have formed in vesicles, in better agreement with direct borehole temperatures, where the C/S to Chl series overprints the earlier chloritization events.

2.7 CONCLUDING REMARKS

In the Nieblas-1 exploration well, belonging to the Nevados de Chillán Geothermal System two different types of chlorites were identified. Chl-1, coarse aggregates, characterized by curved lens morphologies, mainly associated with $Qz + Cal \pm Ab$, that seems to be associated with previous regional alteration events and can be found along the whole borehole. In contrast, Chl-2, finer and smaller aggregates, showing corn flake morphologies, associated primarily with $Lmt + Ep \pm Anh \pm Prh \setminus Adr$ is linked to the current development of the geothermal system and is only observed below 745 m. Both types can be classified as trioctahedral chlorites of ferromagnesian composition (chamosite/clinochlore) linked to the diabantite type with variations towards pycnochlorite, rich in Si with values higher than 3.00 a.p.f.u. Chl-1 predominantly falls within the diabantite field shows a tendency to increase the Mg content with depth, while Chl-2 shows a stronger affinity for pycnochloritic compositions and an increases in the Fe content.

Although Chl-1 and Chl-2 are relatively similar in chemical composition, the chlorites as a whole show fairly uniform chemistry at the same depth level. However, when comparing chlorites across different depth levels, more significant variations in chemical composition are observed, particularly for Fe and Mg. This depth-related variation suggests that the primary control on chlorite composition is the lithology of the host rock (porphyritic andesitic basalt lavas). Elements in the tetrahedral layer appear to be controlled by temperature, while those in the octahedral layer are likely influenced by oxygen fugacity. Along with the observed increase in Al, these factors indicate complex dynamics involving ferromagnesian, Tschermak, and di-trioctahedral type substitutions, with formation conditions near $\sim 250^{\circ}\text{C}$ as confirmed by mineral associations in the well. Finally, the lack of correlation between certain cation pairs and inconsistent chemical profiles with depth suggest disequilibrium within the system and multiple alteration events.

Among the thermometric calculations evaluated, the Cathelineau geothermometer shows the best alignment with control methods such as current borehole temperatures, fluid inclusions, and mineral associations. For Chl-1, estimated temperatures range from 170°C at shallower depths to 220°C in the deepest sections where it is observed, with a geothermal gradient of approximately $20^{\circ}\text{C}/\text{km}$, which diverges from current thermal conditions. In contrast, Chl-2, found below 745 m, shows temperatures increasing from 220°C at shallower points of occurrence to a maximum of 240°C in deeper zones, with a higher geothermal gradient of around $90^{\circ}\text{C}/\text{km}$, aligning with current conditions and active geothermal systems in volcanic regions. The coexistence of both chlorite types with distinct temperature signatures below 745 m suggests overlapping alteration phases and an ongoing thermal evolution within the system.

2.8 ACKNOWLEDGEMENTS

This work has been possible thanks to the financial support of “Centro de Excelencia en Geotermia de los Andes, CEGA”, the ANID FONDECYT Regular Project #1220729, the ANID-FONDAP Project 15090013 and ACE210005.

3 Integración de Resultados y Consideraciones Finales

La mineralogía de arcillas observada en el pozo de exploración, detallada por Gallardo (2020) y Morata et al., (2023) a través de estudios de difracción de rayos X, revela una distribución vertical que difiere de los sistemas geotérmicos convencionales. En lugar de la zonificación típica esperada, que generalmente sigue una progresión de esmectita - esmectita/clorita - clorita - clorita/illita, epidota y actinolita con el aumento de la temperatura (Ármansson et al., 1987; Escobedo et al., 2021; Franzson et al., 2002; Fridleifsson & Elders, 2005; Kristmannsdottir, 1979; Lonker et al., 1993), este sistema muestra una predominancia de cloritas a lo largo de todo el perfil con ausencia de esmectita. Este hallazgo desafía la idea de una secuencia mineralógica predecible basada únicamente en gradientes térmicos, sugiriendo que factores adicionales como las estructuras geológicas, la superposición de eventos geológicos pasados y presentes, y la dinámica de fluidos juegan un rol crítico en la determinación de la mineralogía y evolución del sistema geotérmico, tal como se menciona Morata et al., (2023) con respecto al control estructural.

El análisis de las morfologías, distribución y asociaciones minerales de las cloritas a lo largo del pozo, junto con datos de DRX y microtermometría de inclusiones fluidas, permite proponer un modelo de formación de cloritas de acuerdo con la evolución del sistema geotermal de Nevados de Chillán. Este modelo encuentra sus bases en la comprensión de la unidad estudiada, que es parte de la formación Cura-Mallín (Oligoceno-Mioceno), caracterizada principalmente por sus rocas volcánicas y volcanoclásticas de litología dominante de lavas andesíticas-basálticas porfíricas y minerales primarios como Pl + Qz + Px + Amph (Morata et al., 2023). Estas rocas también han experimentado múltiples eventos térmicos antes del establecimiento del sistema geotermal actual (Dixon et al., 1999b; Muñoz & Niemeyer, 1984; Naranjo, 2008; Radic, 2010) y podrían haber sido afectadas por episodios de metamorfismo regional (Levi et al., 1989).

Este contexto geológico y térmico configuró la primera etapa evolutiva del sistema, que incluyó un metamorfismo de muy bajo grado. Durante este período, el sistema geotermal estaba en un estado relativamente cerrado, con una interacción limitada de fluidos debido a la baja porosidad y permeabilidad de las rocas. Este ambiente propició la alteración de minerales primarios (Fig 16.a) como Pl, Amph, Px así como la matriz vítrea más reactiva encontrada en algunos niveles. La hidrólisis del vidrio y los minerales máficos provocó la removilización de elementos como Mg, Fe, Si, Al y, en menor medida, Ca y Na, que posteriormente precipitaron en espacios abiertos y/o reemplazaron minerales originales, en una dinámica similar a la reportada en otros estudios (Bastias et al., 2016). Este proceso condujo a la formación de cloritas en el microdominio de alteración (Fig

16.b-f), asociado con minerales secundarios como Cal o Lmt, Wrk e incluso estilbita (Stl) en niveles más vítreos, e illita localmente en el nivel superior posiblemente por una interacción limitada de fluidos con K, como se observa en análisis SEM-EDS y datos DRX . (Fig 16.b, g, h).

En particular, el microdominio de relleno de espacios, que incluye vesículas y fisuras (Fig 17.a,f), es la ocurrencia más frecuente en las muestras analizadas del pozo. En los niveles superiores, las vesículas a menudo aparecen interrumpidas por pequeñas vetillas (Fig 17,b-d). Estas formaciones se caracterizan por una asociación mineral simple, dominada principalmente por Chl + Qz (Fig 17.g).

De esta manera, a nivel global, se observa una etapa caracterizada por una asociación ubicua de clorita Chl-1 + Qz ± Cal, junto con una presencia apreciable de zeolitas (principalmente Lmt), y ya cerca del final del pozo, empieza a observarse Ep (Fig 17.h). Los geotermómetros de clorita indican que esta fase se mantuvo predominante en un rango de temperaturas entre 168°C y 228°C.

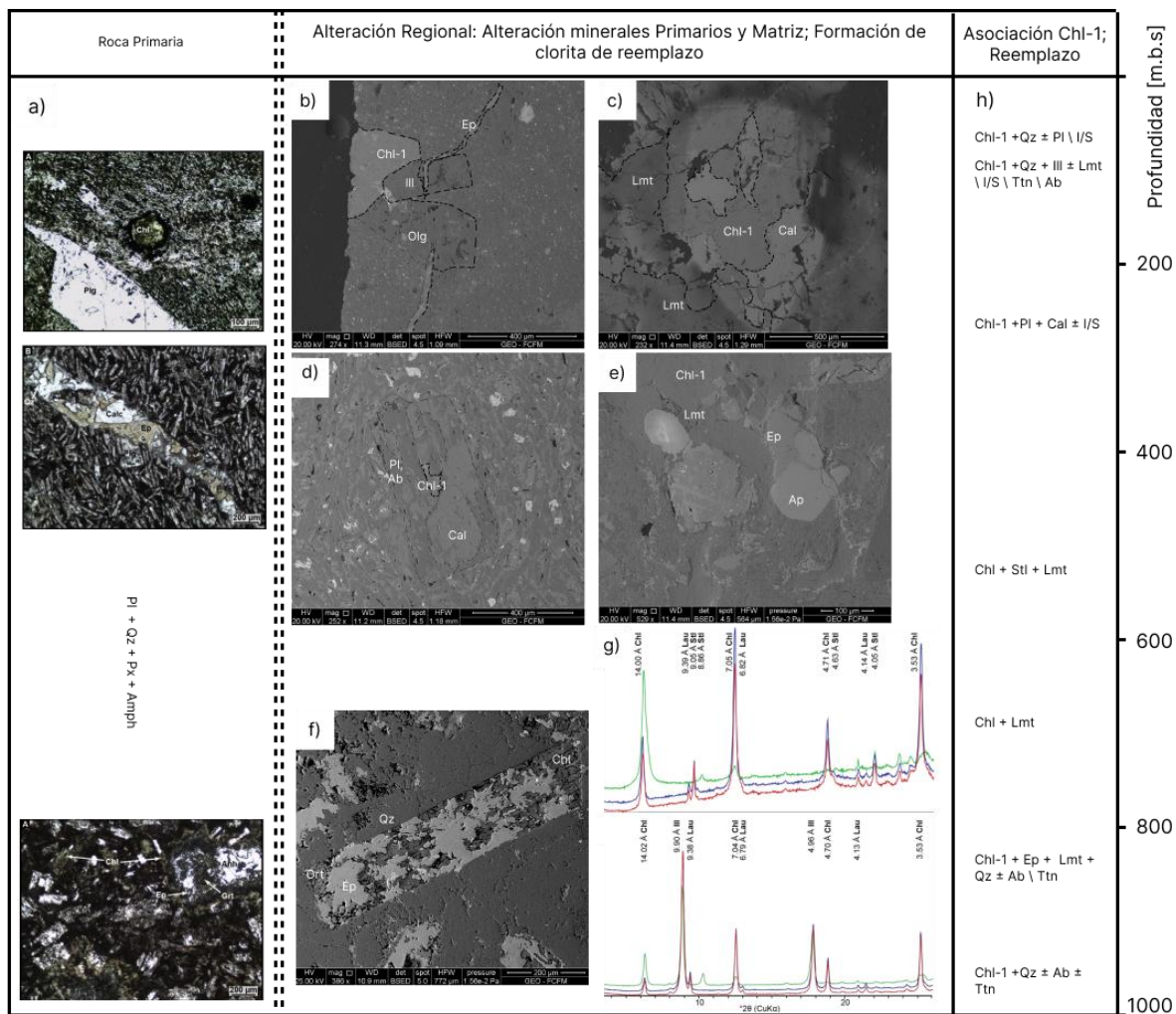


Figure 16: Modelo esquemático del desarrollo de cloritas y evolución del sistema: Alteración regional previa: Metamorfismo de muy bajo grado; alteración de minerales primarios. a) Imágenes microscopía óptica muestras a 60, 255, 935 m, representando la mineralogía y estado previo a la alteración, tomadas de Gallardo (2020). b) Pseudomorfismo de Aug por Chl-1, reemplazo de Pl por Ill cortada por vetilla de Ep a 100 m. c) Alteración de vidrio formando Chl-1, Lmt, Cal a 100 m. d) Reemplazo de Pl por Chl, Cal, Alb a 255 m. e) Reemplazo de vidrio por Chl, Lmt a 833 m. f) Alteración de Pl por Chl, Ep y Ort a 833 m. g) Andesita basáltica porfírica, masa fundamental de microlitos de Plg, Aug, vidrio (553 m); Toba de lapilli (704 m), como ejemplo de zonas más reactivas con potencial de formar zeolitas como estilbita (Stl) y Lmt. h) Asociaciones minerales de Chl-1 de reemplazo ligadas a metamorfismo de muy bajo grado ; Stl y Lmt a 553 y 704 m, inferido por DRX (Gallardo., 2020)

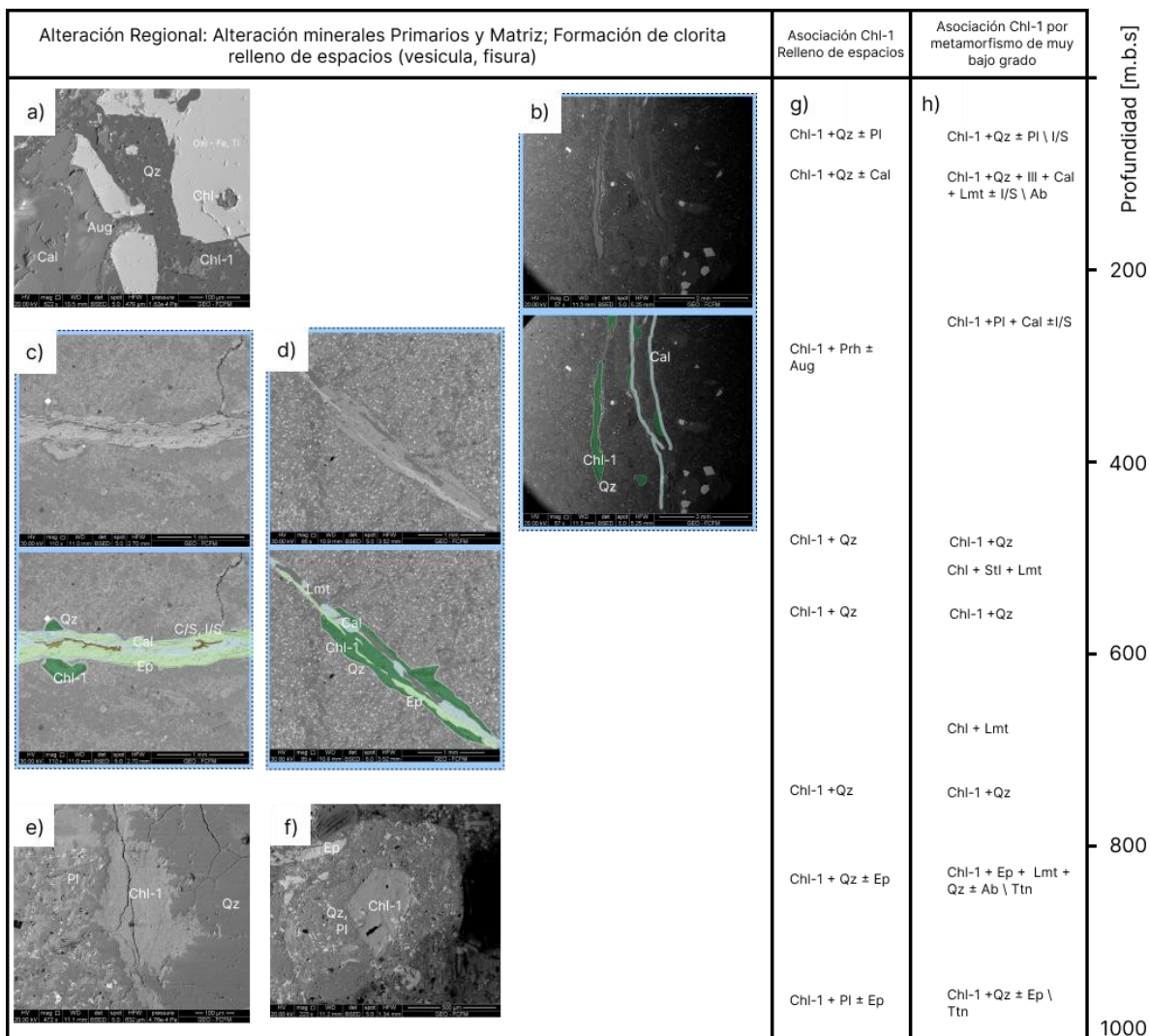


Figure 17: Modelo esquemático del desarrollo de cloritas y evolución del sistema: Alteración regional previa; Relleno de espacios vacíos como vesículas o fisuras. a) Relleno de fisura de Qz por Chl-1, alteración de Aug por Cal a 60 m. b) Vesículas de Chl-1 + Qz, algunas cortadas por vetilla de Cal a 60 m. c) Vesículas de Chl-1 + Qz, cortada por vetilla de Cal ± Ep \ C/S \ I/S a 476 m. d) Vesículas de Chl-1 + Qz, cortada por vetilla de Cal ± Lmt \ Ep a 579 m. e) Chl-1 como relleno de fisura a 763 m. f) Vesícula de Chl-1 a 833 m. g) Asociaciones minerales de Chl-1 ligadas a relleno de espacios vacíos. h) Asociaciones minerales de Chl ligadas a metamorfismo de muy bajo grado.

La segunda etapa en la evolución del sistema se caracterizó por hidrotermalismo, impulsado por la intrusión de fluidos magmáticos, evidenciado por una serie de características mineralógicas y texturales que reflejan eventos de sobrepresión, ebullición y posterior mezcla de fluidos.

La sobrepresión se manifiesta en el nivel permeable superior (170 - 300 m) descrito por Morata et al., 2023, además por la muestra brechizada a 100 m, donde se observaron los valores más altos de porosidad y permeabilidad respecto al resto de las muestras, que integra Chl-1 y Cal como cemento (Fig 18.a). También por la Presencia de Chl-1 en vesículas cortadas por vetillas de Cal ± Lmt \ Ep \ C/S \ I/S a 60, 476 y 579 m (Fig 17.b-d) indicando temporalidad y la ocurrencia restringida de cloritas en el microdominio de vetillas asociadas con Lmt + Cal + Ep entre los 255 - 579 m. (Fig 18.b-d).

Se observan texturas rómbicas en calcitas, presentes tanto en el cemento como en las vetillas de las muestras, por ejemplo a 100 y 579 m (Fig 18.a,e). Las temperaturas de inclusiones fluidas

en calcitas rómbicas a 160, 348 y 456 m (227 - 255 °C) (Morata et al., 2023) son más consistentes con las temperaturas de cristalización de las cloritas estimadas por geotermómetros empíricos que con la temperatura presente del pozo (Fig 18.f). Indicando que habría habido un colapso de aguas carbonatadas calentadas por vapor en zonas someras al final de un ciclo hidrotermal (Camprubí & Albinson, 2007; Moncada et al., 2012). Es decir, el fracturamiento habría incrementado significativamente la permeabilidad secundaria del sistema, lo que probablemente condujo a una rápida despresurización y consecuente ebullición (Moncada, 2012). Posteriormente, se infiere una etapa de mezcla con aguas meteóricas que provocó un descenso en la temperatura de los fluidos. Al finalizar esta etapa las nuevas vías de circulación creadas fueron rellenadas por una asociación mineral Lmt + Cal + Ep + Chl-1 ± C/S \ I/S (Fig 18.g). El sellado subsecuente de esta permeabilidad secundaria habría permitido la preservación de estos minerales a lo largo del tiempo.

Las cloritas formadas en los microdominios de cemento y vetilla durante esta etapa cristalizaron principalmente dentro de un rango de temperaturas de 182 a 214 °C. Este rango térmico fue característico en las profundidades aledañas a la zona permeable superior (170-300 m), donde las temperaturas inferidas superan levemente la tendencia observada en el resto de las Chl-1 a lo largo del pozo, como se muestra en la Figura 18.f. La alta permeabilidad combinada con las temperaturas elevadas de los fluidos, que se presume tenía un alto contenido de hierro, propició el desarrollo de cloritas con agregados de grano (10 – 40 μm) y contenido de hierro relativamente mayor al resto de Chl-1.

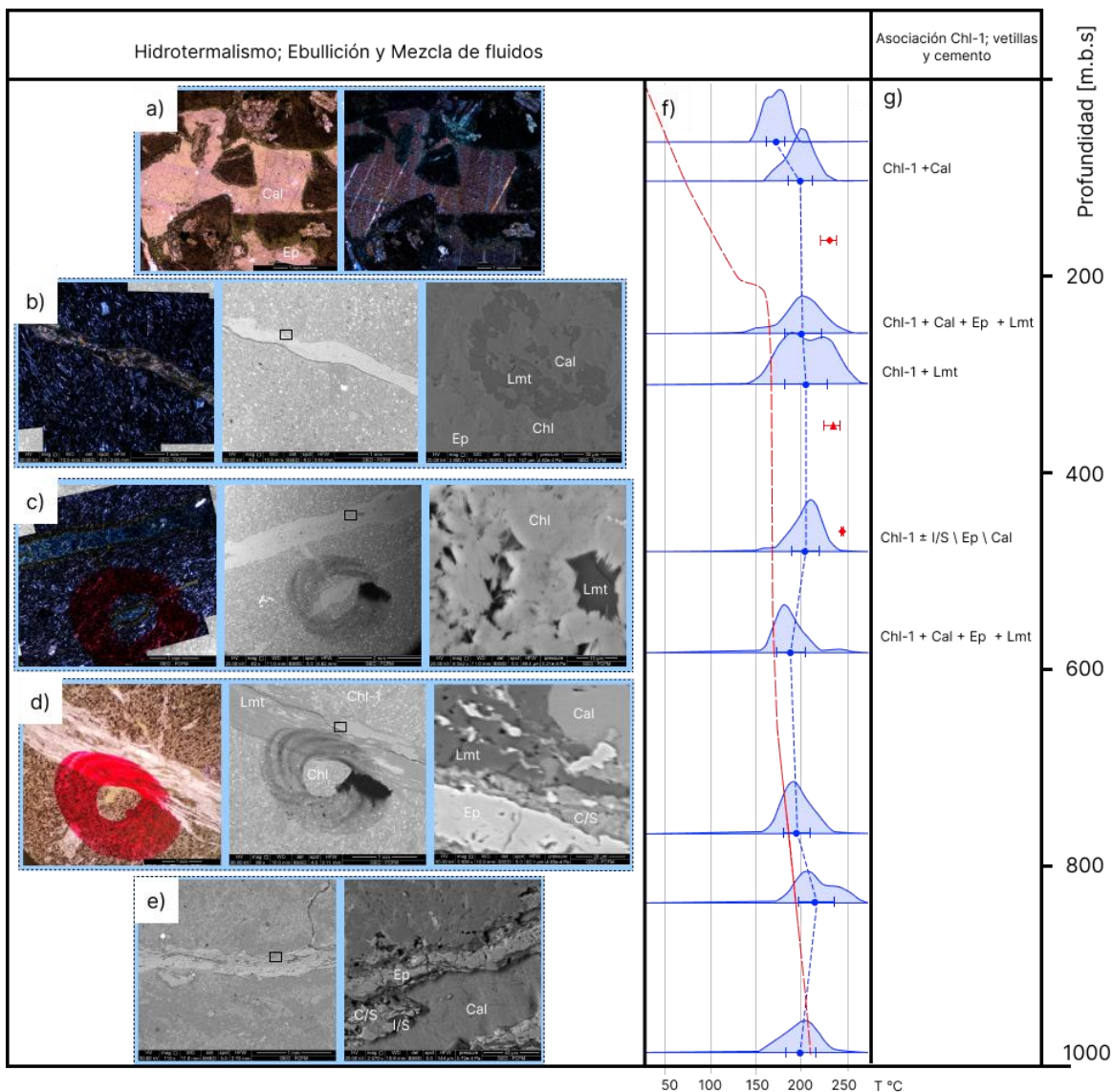


Figure 18: Modelo esquemático del desarrollo de cloritas y evolución del sistema: Alteración regional previa; Hidrotermalismo. a) Brecha hidrotermal a 100 m, cemento de Cal rómbica y Chl-1. b) Vetilla de Chl-1 + Cal + Ep + Lmt a 256 m. c) Vetilla de Chl-1 + Lmt a 307 m. d) Vetilla de Cal rómbica + Ep ± C/S \ I/S cortando vesícula Chl-1 + Qz anterior a 476m. e) Vetilla de Chl-1 + Cal + Ep + Lmt a 579 m. f) Temperaturas Chl-1 por geotermómetro de Cathelineau en azul, temperatura medida directamente del pozo en línea punteada roja, microtermometría de inclusiones fluidas calcita rómbica a 160 y 456 m, y cuarzo a 348 m (Morata et al., 2023). g) Asociaciones minerales de Chl ligadas a etapa de hidrotermalismo posterior a ebullición y mezcla de fluidos.

La etapa final de formación de cloritas en el Nevados de Chillán está marcada por la alteración geotermal actual, caracterizada por la presencia de cloritas Chl-2 a profundidades sobre los 700 m. Identificables por su morfología de placas rectas y de agregados finos (3 – 8 μm) dentro de un microdominio exclusivos de vesícula (Fig 19.a-d).

En los niveles superficiales del pozo, DRX a la fracción < 2 μm muestra una coexistencia notable de interestratificados C/S, que comprenden aproximadamente el 60% de capas de cloritas, junto con Crr y Chl discreta. Este patrón indica que los procesos de cloritización actuales están superpuestos a los fenómenos de alteración anteriores, dominada por Chl-1. A medida que aumenta la temperatura, se fomenta una evolución hacia nuevas formas de clorita (Fig 19.e). A mayor

profundidad, se observa una progresión en los interestratificados de illita/esmectita (I/S) de un estado inicial (R0) a un estado más avanzado (R3). Este cambio refleja el impacto del gradiente térmico y se ajusta a las intensas condiciones hidrotermales del sistema (Fig 19.e).

Las investigaciones de Robinson et al. (2002) y Beaufort et al. (2015) proporcionan un marco teórico esencial para entender los procesos de cloritización a través de series de minerales interestratificados. En el sistema geotermal de Nevados de Chillán, el mecanismo predominante de formación de clorita sería el proceso secuencial de disolución-cristalización (DC). La evolución de estos minerales interestratificados C/S hacia clorita pura es impulsada por el incremento en la temperatura. Beaufort et al. (2015) indican que las cloritas hidrotermales de baja temperatura, típicamente especies trioctaédricas ferromagnesianas, se cristalizan en sistemas geotérmicos a temperaturas superiores a 200°C, lo cual es consistente con los datos de geotermómetros que sugieren temperaturas de formación entre 220°C y 240°C (Fig 19.f).

Las Chl-2 están vinculadas a una paragénesis mineral característica que incluye Lmt + Ep + Anh, y ocasionalmente Prh y Adr (Fig 19.g). Estos minerales se han formado durante y después de los procesos de ebullición y mezcla, representando la fase más reciente de mineralización en el sistema, según Morata et al., (2023). El desarrollo de Chl durante la evolución SGNCh se puede sintetizar en un modelo esquemático (Fig 20) que muestra las distintas etapas de alteración y las asociaciones minerales correspondientes a diferentes profundidades.

Aunque los valores de temperatura y la composición química de los fluidos en las zonas más profundas del sistema, reportados por Gallardo (2020) y Morata et al. (2023), sugieren condiciones favorables para el desarrollo de cloritas en las zonas más profundas del sistema, es crucial recordar, como señala Meunier (2005), que la formación de estos minerales es el resultado de la interacción continua entre temperatura y tiempo. Por lo tanto, es posible que actualmente se estén formando fases intermedias, como minerales interestratificados, en lugar de cloritas discretas.

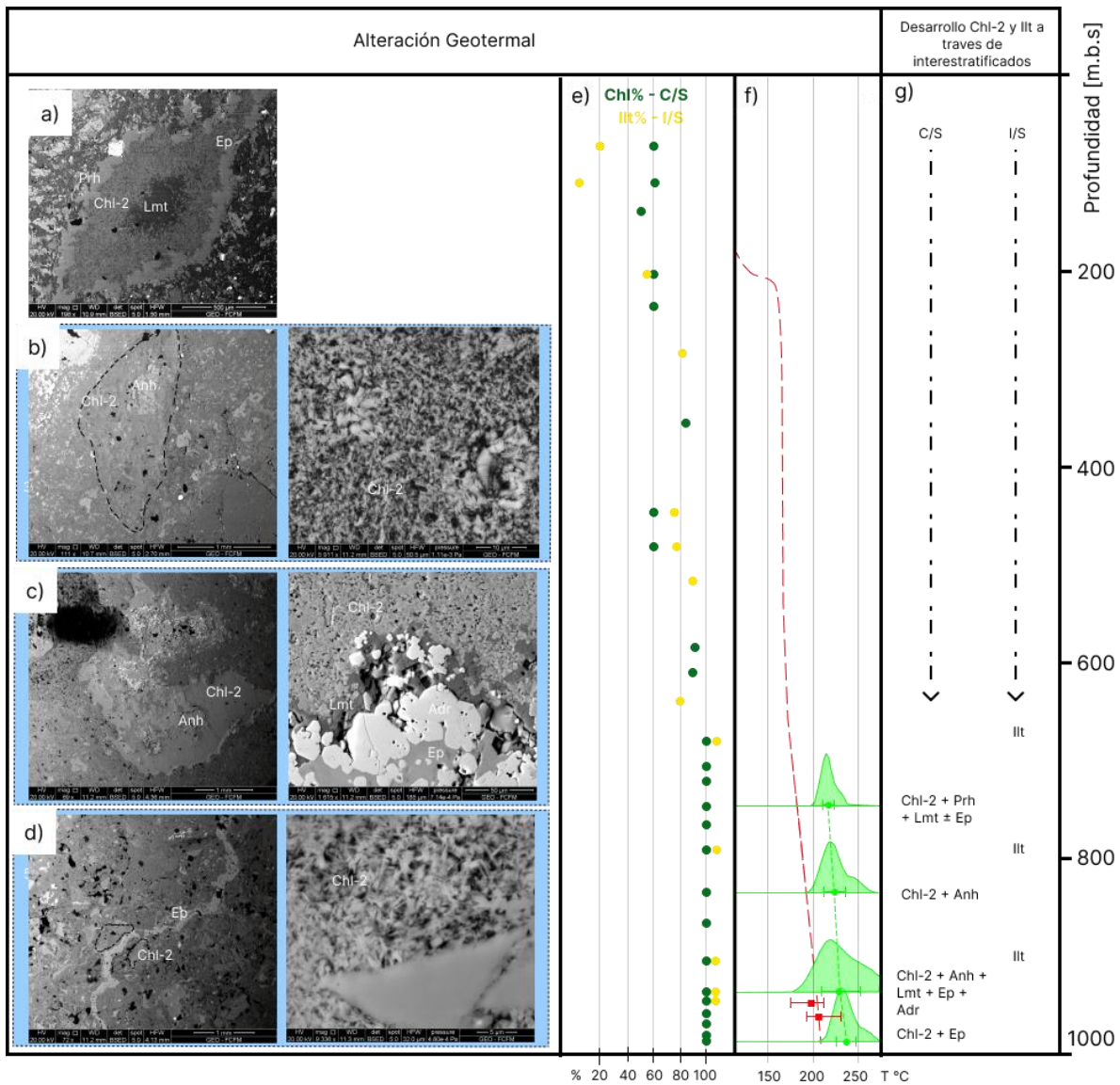


Figure 19: Modelo esquemático del desarrollo de cloritas y evolución del sistema: Alteración geotermal. a) Vesícula Chl-2 + Prh + Lmt ± Ep a 745 m como zonación de precipitación mineral. b) Vesícula Chl-2 + Anh a 833 m. c) Vesícula Chl-2 + Anh + Adr + Ep + Lmt 935 m. d) Vesícula Chl-2 cortada por vetilla de Ep a 985 m. e) Proporciones relativas de los minerales de arcilla interestratificados. f) Temperaturas Chl-2 por geotermómetro de Cathelineau en verde, temperatura medida directamente del pozo en línea punteada roja, microtermometría de inclusiones fluidas anhídrita a 947, 961 m en rojo (Morata et al., 2023). g) Asociaciones minerales ligadas al desarrollo de Chl-2 a través de interestratificados C/S, desarrollo de Ill inferido por DRX (Gallardo., 2020).

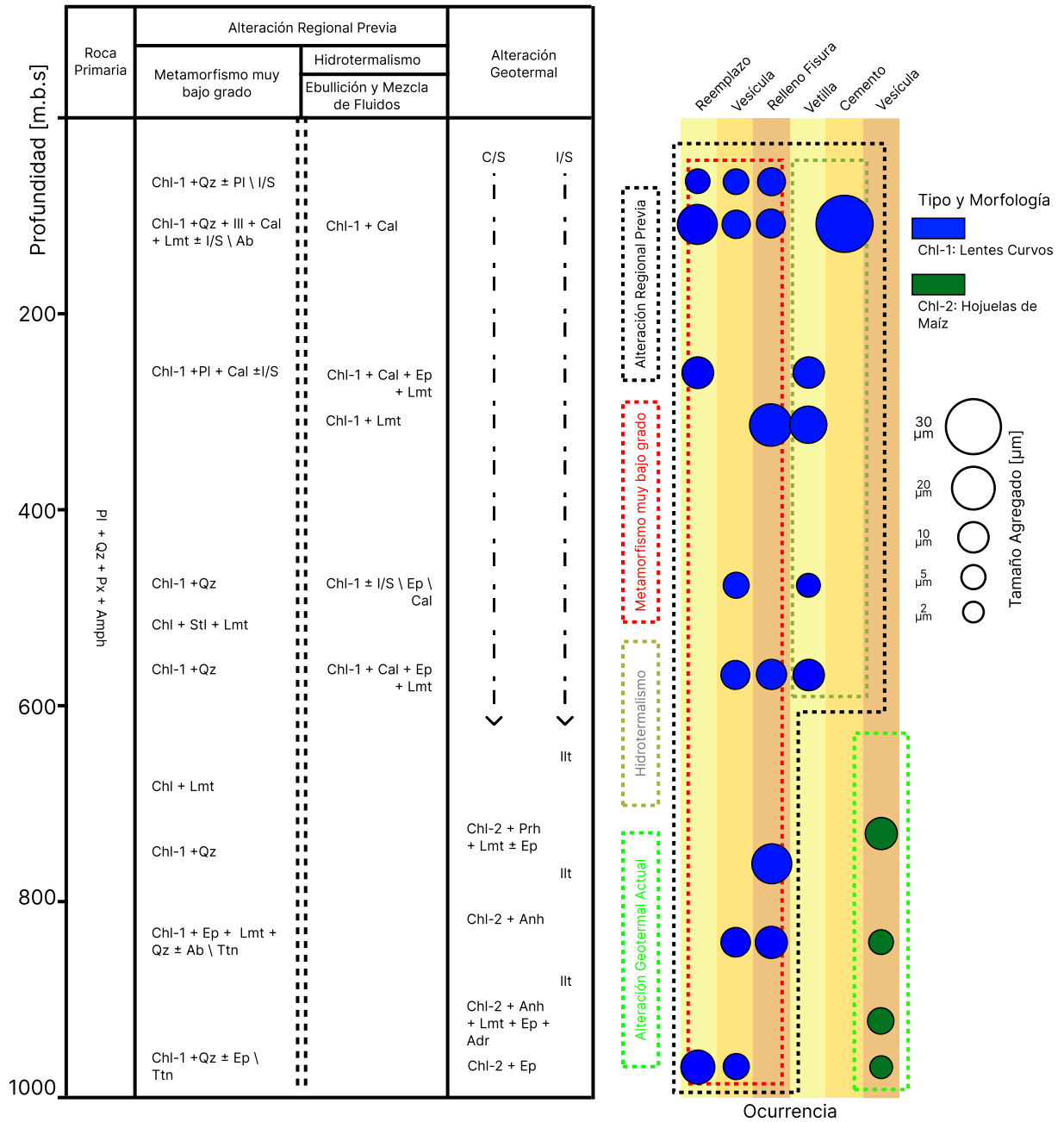


Figure 20: Modelo esquemático resumido del desarrollo de cloritas y evolución del sistema y sus principales asociaciones de cada etapa. Columna con la distribución, ocurrencia, tipo, morfología, tamaño de agregado de las cloritas estudiadas. Metamorfismo de muy bajo grado alterando minerales primarios y masa fundamental a Chl-1. Formación Chl-1 como relleno de espacios vacíos; temperaturas de formación inferidas 168°C - 228°C. Evento de hidrotermalismo, Chl-1 ± Cal \ Lmt \ Ep como vejillas, temperaturas de formación inferidas 182°C - 214°C. Alteración geotermal actual con Chl-2 en vesículas ± Lmt \ Ep \ Anh \ Adr, temperaturas de cristalización inferidas 220-240.

4 Conclusiones

4.1 CONCLUSIONES GENERALES

El estudio del pozo de exploración Nieblas-1, ubicado en el Sistema Geotermal de Nevados de Chillán, ha enriquecido la comprensión mineralogía y las condiciones de formación de las cloritas del Sistema Geotermal de Nevados de Chillán. La presencia generalizada de este mineral refleja la influencia de complejos eventos geológicos que han configurado la mineralogía del sistema a lo largo del tiempo.

Se han identificado dos tipos principales de cloritas, Chl-1 y Chl-2, diferenciadas por sus morfologías distintivas de lentes curvos y hojuelas de maíz, respectivamente. Estas cloritas, predominantemente diabantitas ferromagnesianas trioctaédricas con afinidad hacia picnoclorita, evidencian diferentes historias geológicas: Chl-1 se asocia con eventos de alteración regional pasada en condiciones más estables, mientras que Chl-2 está ligada a la actividad geotérmica actual en un contexto más dinámico.

La presencia de Chl-2 resulta especialmente valiosa para delimitar las zonas del 'clay cap' y las áreas propilíticas, gracias a su origen en la transición de interestratificados C/S hacia fases más estables. La composición química de las cloritas está influenciada significativamente por la litología de la roca caja. Las variaciones en temperatura y fugacidad de oxígeno afectan principalmente las capas tetraédrica y octaédrica, respectivamente. Además, se ha observado que el tamaño de los agregados de clorita podría correlacionarse con la porosidad y permeabilidad del sistema.

El método geotermométrico propuesto por Cathelineau (1988) ha sido el más eficaz para estimar las temperaturas, que oscilan entre 170 y 240°C. Sin embargo, su uso debe ser cauto en otros contextos geotermales por la ausencia de una base termodinámica universal. Se recomienda su aplicación como una aproximación para identificar altas temperaturas, complementada con otros indicadores para una evaluación más completa de las condiciones geotermales.

Este estudio marca un progreso considerable en la comprensión de las cloritas en los sistemas geotermales de los Andes Chilenos. Los resultados no solo proporcionan nuevas perspectivas sobre las características de las cloritas y las dinámicas del sistema, sino que también ofrecen un marco robusto para futuras investigaciones geotermales. Este trabajo subraya la importancia de las cloritas como indicadores sensibles en ambientes geotermales dinámicos y resalta su potencial para optimizar la exploración geotérmica en la región.

5 Bibliografía

- Angermann, D., Klotz, J., & Reigber, C. (1999). Space-geodetic estimation of the Nazca-South America Euler vector. *Earth and Planetary Science Letters*, 171(3), 329–334. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(99\)00173-9](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(99)00173-9)
- Ármannsson, H., Guðmundsson, Á., & Steingrímsson, B. S. (1987). Exploration and development of the Krafla geothermal area. *Jökull*, 37(1), 13–30. <https://doi.org/10.33799/jokull1987.37.013>
- Barbier, E. (2002). Geothermal energy technology and current status: an overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6(1–2), 3–65. [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(02\)00002-3](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(02)00002-3)
- Bastias, J., Fuentes, F., Aguirre, L., Hervé, F., Demant, A., Deckart, K., & Torres, T. (2016). Very low-grade secondary minerals as indicators of palaeo-hydrothermal systems in the Upper Cretaceous volcanic succession of Hannah Point, Livingston Island, Antarctica. *Applied Clay Science*, 134, 246–256. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.07.025>
- Beauchamps, G., Bourdelle, F., Dubois, M., Hebert, R. L., & Ledésert, B. A. (2021). First characterization of the cooling of the paleo-geothermal system of Terre-de-Haut (Les Saintes archipelago, Guadeloupe): Application of fluid inclusion and chlorite thermometry. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 419. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2021.107370>
- Bevins, R. E., Robinson, D., & Rowbotham, G. (1991). Compositional variations in mafic phyllosilicates from regional low-grade metabasites and application of the chlorite geothermometer. *Journal of Metamorphic Geology*, 9(6), 711–721. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1314.1991.tb00560.x>
- Bourdelle, F. (2021). Low-temperature chlorite geothermometry and related recent analytical advances: A review. *Minerals*, 11(2), 1–18. <https://doi.org/10.3390/min11020130>
- Bourdelle, F., & Cathelineau, M. (2015). Low-temperature chlorite geothermometry: a graphical representation based on a T–R₂₊–Si diagram. *European Journal of Mineralogy*, 27(5), 617–626. <https://doi.org/10.1127/ejm/2015/0027-2467>
- Bourdelle, F., Parra, T., Chopin, C., & Beyssac, O. (2013). A new chlorite geothermometer for diagenetic to low-grade metamorphic conditions. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 165(4), 723–735. <https://doi.org/10.1007/s00410-012-0832-7>
- Buschette, M. J., & Piercey, S. J. (2016). Hydrothermal alteration and lithochemistry of the boundary volcanogenic massive sulphide deposit, central Newfoundland, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 53(5), 506–527. <https://doi.org/10.1139/cjes-2015-0237>
- Camprubí, A., & Albinson, T. (2007). Epithermal deposits in México - Update of current knowledge and an empirical reclassification. *Special Paper of the Geological Society of America*, 422(14), 377–415. [https://doi.org/10.1130/2007.2422\(14\)](https://doi.org/10.1130/2007.2422(14))
- Cardona, C., Gil-Cruz, F., Franco-Marín, L., San Martín, J., Valderrama, O., Lazo, J., Cartes, C., Morales, S., Hernández, E., Quijada, J., Pinto, C., Vidal, M., Bravo, C., Pedreros, G., Contreras, M., Figueroa, M., Córdova, L., Mardones, C., Alarcón, A., ... Bucarey, C.

- (2021). Volcanic activity accompanying the emplacement of dacitic lava domes and effusion of lava flows at Nevados de Chillán Volcanic Complex – Chilean Andes (2012 to 2020). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 420. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2021.107409>
- Cathelineau, M. (1988). Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature. *Clay Minerals*, 23(4), 471–485. <https://doi.org/10.1180/claymin.1988.023.4.13>
- Cathelineau, M., & Nieva, D. (1985). A chlorite solid solution geothermometer the Los Azufres (Mexico) geothermal system. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 91(3), 235–244. <https://doi.org/10.1007/BF00413350>
- Cembrano, J., & Lara, L. (2009). The link between volcanism and tectonics in the southern volcanic zone of the Chilean Andes: A review. *Tectonophysics*, 471(1–2), 96–113. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.02.038>
- Cembrano, J., Lavenu, A., Yañez, G., Riquelme, R., García, M., González, G., & Hérail, G. (2007). Neotectonics. In T. Moreno & W. Gibbons (Eds.), *The Geology of Chile* (pp. 231–261). The Geological Society of London. <https://doi.org/10.1144/GOCH.9>
- Chinchilla, D., Ortega, L., Piña, R., Merinero, R., Moncada, D., Bodnar, R. J., Quesada, C., Valverde, A., & Lunar, R. (2016). The Patricia Zn-Pb-Ag epithermal ore deposit: An uncommon type of mineralization in northeastern Chile. *Ore Geology Reviews*, 73, 104–126. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.10.026>
- Chu, G., Zhang, S., Zhang, X., Xiao, B., Han, J., Zhang, Y., Cheng, J., & Feng, Y. (2020). Chlorite chemistry of Tongshankou porphyry-related Cu–Mo–W skarn deposit, Eastern China: Implications for hydrothermal fluid evolution and exploration vectoring to concealed orebodies. *Ore Geology Reviews*, 122(April), 103531. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103531>
- de Caritat, P., Hutcheon, I., & Walshe, J. L. (1993). Chlorite geothermometry: A review. *Clays and Clay Minerals*, 41(2), 219–239. <https://doi.org/10.1346/CCMN.1993.0410210>
- Deruelle, B., & Deruelle, J. (1974). Géologie des volcans quaternaires des Nevados de Chillán (Chili). *Bulletin Volcanologique*, 38(1), 425–444. <https://doi.org/10.1007/BF02599415>
- Dickson, M. H., & Fanelli, M. (2013). Geothermal energy: Utilization and technology. In *Geothermal Energy: Utilization and Technology* (Vol. 9781315065). Earthscan. <https://doi.org/10.4324/9781315065786>
- Dixon, H. J., Murphy, M. D., Sparks, S. J., Chávez, R., Naranjo, J. A., Dunkley, P. N., Young, S. R., Gilbert, J. S., & Pringle, M. R. (1999a). The geology of Nevados de Chillán volcano, Chile. *Revista Geológica de Chile*, 26(2). <https://doi.org/10.4067/S0716-02081999000200006>
- Dixon, H. J., Murphy, M. D., Sparks, S. J., Chávez, R., Naranjo, J. A., Dunkley, P. N., Young, S. R., Gilbert, J. S., & Pringle, M. R. (1999b). The geology of Nevados de Chillán volcano, Chile. *Revista Geológica de Chile*, 26(2). <https://doi.org/10.4067/S0716-02081999000200006>
- Escobedo, D., Patrier, P., Beaufort, D., Gibert, B., Levy, L., Findling, N., & Mortensen, A. (2021). Contribution of the paragenetic sequence of clay minerals to re-examination of the

- alteration zoning in the krafla geothermal system. *Minerals*, 11(9).
<https://doi.org/10.3390/min11090935>
- Essene, E. J., & Peacor, D. R. (1995). Clay mineral thermometry - A critical perspective. *Clays and Clay Minerals*, 43(5), 540–553. <https://doi.org/10.1346/CCMN.1995.0430504>
- Farías, C., Lupi, M., Fuchs, F., & Miller, S. A. (2014). Seismic activity of the Nevados de Chillán volcanic complex after the 2010 Mw8.8 Maule, Chile, earthquake. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 283, 116–126. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2014.06.013>
- Franzson, H., Thordarson, S., Bjornsson, G., Gudlaugsson, S. T., Richter, B., Fridleifsson, G. Ó., & Thórhallsson, S. (2002). Reykjanes high-temperature field, SW-Iceland. Geology and hydrothermal alteration of well RN-10. *Twenty-Seventh Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, January*, 233–240. <http://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/SGW/2002/Franzson.pdf>
- Fridleifsson, G. O., & Elders, W. A. (2005). The Iceland Deep Drilling Project: A search for deep unconventional geothermal resources. *Geothermics*, 34(3), 269–285.
<https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2004.11.004>
- Fulginiti, P. (2020). Clay minerals in hydrothermal systems. *Minerals*, 10(10), 1–17.
<https://doi.org/10.3390/min10100919>
- Gallardo, R. (2020). *Evolución hidrotermal del sistema geotermal Nevados de Chillán* (Vol. 2017, Issue 1) [Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/176239>
- Giambiagi, L. ., & Ramos, V. . (2002). Structural evolution of the Andes in a transitional zone between flat and normal subduction (33°30'–33°45'S), Argentina and Chile. *Journal of South American Earth Sciences*, 15(1), 101–116. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(02\)00008-1](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(02)00008-1)
- Gifkins, C., Herrmann, W., & Large, R. R. (2005). *Altered Volcanic Rocks: A Guide to Description and Interpretation*. Centre for Ore Deposit Research.
<https://books.google.cl/books?id=1ZbnAAAACAAJ>
- Henley, R. W., & Ellis, A. J. (1983). Geothermal systems ancient and modern: a geochemical review. *Earth Science Reviews*, 19(1), 1–50. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(83\)90075-2](https://doi.org/10.1016/0012-8252(83)90075-2)
- Hey, M. H. (1954). A new review of the chlorites. *Mineralogical Magazine and Journal of the Mineralogical Society*, 30(224), 277–292. <https://doi.org/10.1180/minmag.1954.030.224.01>
- Hillier, S., & Velde, B. (1991). Octahedral occupancy and the chemical composition of diagenetic (low-temperature) chlorites. *Clay Minerals*, 26(2), 149–168.
<https://doi.org/10.1180/claymin.1991.026.2.01>
- Inoue, A., Inoué, S., & Utada, M. (2018). Application of chlorite thermometry to estimation of formation temperature and redox conditions. *Clay Minerals*, 53(2), 143–158.
<https://doi.org/10.1180/clm.2018.10>
- Inoue, A., Meunier, A., Patrier-Mas, P., Rigault, C., Beaufort, D., & Vieillard, P. (2009). Application of chemical geothermometry to low-temperature trioctahedral chlorites. *Clays and Clay Minerals*, 57(3), 371–382. <https://doi.org/10.1346/CCMN.2009.0570309>
- Jowett Ph.D. P.Eng., E. C. (2021). Fitting Iron and Magnesium into the Hydrothermal Chlorite

- Geothermometer. *SSRN Electronic Journal*, 16, 62. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3863523>
- Kameda, J., Ujiie, K., Yamaguchi, A., & Kimura, G. (2011). Smectite to chlorite conversion by frictional heating along a subduction thrust. *Earth and Planetary Science Letters*, 305(1–2), 161–170. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2011.02.051>
- Kendrick, E., Bevis, M., Smalley, R., Brooks, B., Vargas, R. B., Lauría, E., & Fortes, L. P. S. (2003). The Nazca-South America Euler vector and its rate of change. *Journal of South American Earth Sciences*, 16(2), 125–131. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(03\)00028-2](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(03)00028-2)
- Kranidiotis, P., & MacLean, W. H. (1987). Systematics of chlorite alteration at the Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Quebec. *Economic Geology*, 82(7), 1898–1911. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.82.7.1898>
- Kristmannsdottir, H. (1979). Alteration of basaltic rocks by hydrothermal-activity at 100-300°C. *Developments in Sedimentology*, 27(C), 359–367. [https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(08\)70732-5](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(08)70732-5)
- Lahsen, A. (1978). Características geoquímicas y origen de las aguas de las termas de Chillán. *Comunicaciones, Geology Department, University of Chile.*, 35–47.
- Lahsen, A., Lahsen, A., Rojas, J., Rojas, J., Palacios, C., Palacios, C., & Nacional, E. (2005). Present Status of Geothermal Exploration in Chile. *Proceedings World Geothermal Congress, April, 24–29.*
- Lanari, P., Wagner, T., & Vidal, O. (2014). A thermodynamic model for di-trioctahedral chlorite from experimental and natural data in the system MgO-FeO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O: Applications to P-T sections and geothermometry. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 167(2), 1–19. <https://doi.org/10.1007/s00410-014-0968-8>
- Levi, B., Aguirre, L., Nystrom, J. O., Padilla, H., & Vergara, M. (1989). Low-grade regional metamorphism in the Mesozoic-Cenozoic volcanic sequences of the Central Andes. *Journal of Metamorphic Geology*, 7(5), 487–495. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1314.1989.tb00611.x>
- Li, C., Shen, P., Li, P., Sun, J., Feng, H., & Pan, H. (2022). Changes in the factors controlling the chlorite composition and their influence on hydrothermal deposit studies: A case study from Hongguleng Manto-type Cu deposit. *Journal of Geochemical Exploration*, 243(August), 107096. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2022.107096>
- Lonker, S. W., Franzson, H., & Kristmannsdottir, H. (1993). Mineral-fluid interactions in the Reykjanes and Svartsengi geothermal systems, Iceland. In *American Journal of Science* (Vol. 293, Issue 7, pp. 605–670). <https://doi.org/10.2475/ajs.293.7.605>
- López-Munguira, A., Nieto, F., & Morata, D. (2002). Chlorite composition and geothermometry: a comparative HRTEM/AEM-EMPA-XRD study of Cambrian basic lavas from the Ossa Morena Zone, SW Spain. *Clay Minerals*, 37(2), 267–281. <https://doi.org/10.1180/0009855023720033>
- Lupi, M., Tripanera, D., Gonzalez, D., D'amico, S., Acocella, V., Cabello, C., Stef, M. M., & Tassara, A. (2020). Transient tectonic regimes imposed by megathrust earthquakes and the growth of NW-trending volcanic systems in the Southern Andes. *Tectonophysics*, 774(September 2019), 228204. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2019.228204>

- Mas, A., Guisseau, D., Patrier Mas, P., Beaufort, D., Genter, A., Sanjuan, B., & Girard, J. P. (2006). Clay minerals related to the hydrothermal activity of the Bouillante geothermal field (Guadeloupe). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 158(3–4), 380–400. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2006.07.010>
- Maza, S. N., Collo, G., Morata, D., Lizana, C., Camus, E., Taussi, M., Renzulli, A., Mattioli, M., Godoy, B., Alvear, B., Pizarro, M., Ramírez, C., & Rivera, G. (2018). Clay mineral associations in the clay cap from the Cerro Pabellón blind geothermal system, Andean Cordillera, Northern Chile. *Clay Minerals*, 53(2), 117–141. <https://doi.org/10.1180/clm.2018.9>
- Meunier, A. (2005). *Clays*. Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/b138672>
- Moncada, D., Mutchler, S., Nieto, A., Reynolds, T. J., Rimstidt, J. D., & Bodnar, R. J. (2012). Mineral textures and fluid inclusion petrography of the epithermal Ag-Au deposits at Guanajuato, Mexico: Application to exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, 114(March), 20–35. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2011.12.001>
- Morata, D., Gallardo, R., Maza, S., Arancibia, G., López-Contreras, C., Mura, V., Cannatelli, C., & Reich, M. (2023). Hydrothermal Alteration in the Nevados de Chillán Geothermal System, Southern Andes: Multidisciplinary Analysis of a Fractured Reservoir. *Minerals*, 13(6), 722. <https://doi.org/10.3390/min13060722>
- Muñoz B., J., & Stern, C. R. (1988). The quaternary volcanic belt of the southern continental margin of South America: Transverse structural and petrochemical variations across the segment between 38°S and 39°S. *Journal of South American Earth Sciences*, 1(2), 147–161. [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(88\)90032-6](https://doi.org/10.1016/0895-9811(88)90032-6)
- Muñoz, J., & Niemeyer, H. (1984). Hoja Laguna del Maule, Regiones del Maule y Bío Bío. In *Carta Geológica de Chile, Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile, scale* (Vol. 64, Issue 250.000, p. 1). Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica 1984, 64, 98.
- Naranjo, J. A. (2008). *Geología del Complejo Volcánico Nevados de Chillán, Región del Biobío* (Vol. 148). Chile, Cart. Geológica.
- Naranjo, J. A., Gilbert, J. S., & Sparks, R. (2008). *Geología del complejo volcánico Nevados de Chillán, Región del Biobío. Servicio Nacional Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, mapa escala 1: 50,000, Santiago*.
- Oyarzún, A., Lara, L. E., & Tassara, A. (2022). Decoding the plumbing system of Nevados de Chillán Volcanic complex, Southern Andes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 422, 107455. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2021.107455>
- Pacey, A., Wilkinson, J. J., & Cooke, D. R. (2020). Chlorite and epidote mineral chemistry in porphyry ore systems: A case study of the northparkes district, New South Wales, Australia. *Economic Geology*, 115(4), 701–727. <https://doi.org/10.5382/econgeo.4700>
- Qaim Raza, M., Absar, N., Pandalai, H. S., & Patel, S. C. (2021). Chlorite thermometry and fluid inclusion studies on vein-type Tintini copper deposit, Eastern Dharwar Craton, India: Ore genetic implications. *Ore Geology Reviews*, 131(January), 104058. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104058>

- Radic, J. P. (2006). Anisotropías de basamento como control estructural del volcanismo en el complejo volcánico Chillan (Andes del Sur 36°S). *XI Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, May*, Actas, Vol. 2, Geodinámica Andina.
- Radic, J. P. (2010). Las cuencas cenozoicas y su control en el volcanismo de los Complejos Nevados de Chillan y Copahue-Callaqui (Andes del Sur, 36-39°S). *Andean Geology*, 37(1), 220–246. <https://doi.org/10.4067/S0718-71062010000100009>
- Ramos, V. A., & Folguera, A. (2005). Tectonic evolution of the Andes of Neuquén: constraints derived from the magmatic arc and foreland deformation. *Geological Society, London, Special Publications*, 252(1), 15–35. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2005.252.01.02>
- Ramos, V. A., & Kay, S. M. (2006). Overview of the tectonic evolution of the southern central andes of mendoza and neuquén (35°-39°S latitude). *Special Paper of the Geological Society of America*, 407(01), 1–17. [https://doi.org/10.1130/2006.2407\(01\)](https://doi.org/10.1130/2006.2407(01))
- Robinson, D., Schmidt, S. T., & Santana De Zamora, A. (2002). Reaction pathways and reaction progress for the smectite-to-chlorite transformation: Evidence from hydrothermally altered metabasites. *Journal of Metamorphic Geology*, 20(1), 167–174. <https://doi.org/10.1046/j.0263-4929.2001.00361.x>
- Schiffman, P., & Fridleifsson, G. O. (1991). The smectite–chlorite transition in drillhole NJ-15, Nesjavellir geothermal field, Iceland: XRD, BSE and electron microprobe investigations. *Journal of Metamorphic Geology*, 9(6), 679–696. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1314.1991.tb00558.x>
- Schiffman, P., & Staudigel, H. (1995). The smectite to chlorite transition in a fossil seamount hydrothermal system: the Basement Complex of La Palma, Canary Islands. *Journal of Metamorphic Geology*, 13(4), 487–498. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1314.1995.tb00236.x>
- Schmidt, D., Schmidt, S. T., Mullis, J., Mahlmann, R. F., & Frey, M. (1997). Very low grade metamorphism of the Taveyanne formation of western Switzerland. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 129(4), 385–403. <https://doi.org/10.1007/s004100050344>
- Schulz, C. (2020). *Química mineral de la cloritas hidrotermales del yacimiento el teniente, Chile Central. Implicancias en la exploración de pórfidos de cobre* [Universidad de Concepción.]. <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/429>
- Servicio Nacional de Geología y Minería. (2023). *SERNAGEOMIN baja a alerta verde Complejo Volcánico Nevados de Chillán*. <https://www.sernageomin.cl/sernageomin-baja-a-alerta-verde-complejo-volcanico-nevados-del-chillan/>
- Sielfeld, G., Ruz, J., Brogi, A., Cembrano, J., Stanton-Yonge, A., Pérez-Flores, P., & Iturrieta, P. (2019). Oblique-slip tectonics in an active volcanic chain: A case study from the Southern Andes. *Tectonophysics*, 770(October), 228221. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2019.228221>
- Somoza, R., & Ghidella, M. E. (2005). Convergencia en el margen occidental de América del sur durante el Cenozoico: Subducción de las placas de Nazca, Farallón y Aluk. *Revista de La Asociación Geológica Argentina*, 60(4), 797–809.
- Stanton-Yonge, A., Griffith, W. A., Cembrano, J., St. Julien, R., & Iturrieta, P. (2016). Tectonic role of margin-parallel and margin-transverse faults during oblique subduction in the Southern Volcanic Zone of the Andes: Insights from Boundary Element Modeling.

- Tectonics*, 35(9), 1990–2013. <https://doi.org/10.1002/2016TC004226>
- Stern, C. R. (2004). Active Andean Volcanism. In *Revista Geologica de Chile* (Vol. 31, Issue (2), pp. 161–206). <http://www.andeangeology.cl/index.php/revista1/article/view/V31n2-a01>
- Uno, M., Okamoto, A., Akatsuka, T., & Tsuchiya, N. (2023). Continuous thermal structures of the present-day and contact-metamorphic geothermal systems revealed by drill cuttings in the Kakkonda geothermal field, Japan. *Geothermics*, 115(August), 102806. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2023.102806>
- Vázquez, M., Nieto, F., Morata, D., Droguet, B., Carrillo-Rosua, F. J., & Morales, S. (2014). Evolution of clay mineral assemblages in the Tinguiririca geothermal field, Andean Cordillera of central Chile: An XRD and HRTEM-AEM study. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 282, 43–59. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2014.05.022>
- Verdecchia, S. O., Collo, G., Zandomeni, P. S., Wunderlin, C., & Fehrmann, M. (2019). Crystallochemical indexes and geothermobarometric calculations as a multiproxy approach to P-T condition of the low-grade metamorphism: The case of the San Luis Formation, Eastern Sierras Pampeanas of Argentina. *Lithos*, 324–325, 385–401. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2018.11.021>
- Vidal, O., Lanari, P., Munoz, M., Bourdelle, F., & De Andrade, V. (2016). Deciphering temperature, pressure and oxygen-activity conditions of chlorite formation. *Clay Minerals*, 51(4), 615–633. <https://doi.org/10.1180/claymin.2016.051.4.06>
- Vidal, O., Parra, T., & Trotet, F. (2001). A thermodynamic model for Fe-Mg aluminous chlorite using data from phase equilibrium experiments and natural pelitic assemblages in the 100° to 600°C, 1 to 25 kb range. *American Journal of Science*, 301(6), 557–592. <https://doi.org/10.2475/ajs.301.6.557>
- Vidal, O., Parra, T., & Vieillard, P. (2005). Thermodynamic properties of the Tschermak solid solution in Fe-chlorite: Application to natural examples and possible role of oxidation. *American Mineralogist*, 90(2–3), 347–358. <https://doi.org/10.2138/am.2005.1554>
- Wiewióra, A., & Weiss, Z. (1990). Crystallochemical classifications of phyllosilicates based on the unified system of projection of chemical composition: II. The chlorite group. *Clay Minerals*, 25(1), 83–92. <https://doi.org/10.1180/claymin.1990.025.1.09>
- Wilkinson, J. J., Baker, M. J., Cooke, D. R., & Wilkinson, C. C. (2020). Exploration targeting in porphyry Cu systems using propylitic mineral chemistry: A case study of the El Teniente deposit, Chile. *Economic Geology*, 115(4), 771–791. <https://doi.org/10.5382/ECONGEO.4738>
- Wu, D., Pan, J., Xia, F., Huang, G., & Lai, J. (2019). The mineral chemistry of chlorites and its relationship with uranium mineralization from Huangsha uranium mining area in the middle Nanling range, SE China. *Minerals*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/min9030199>
- Xie, X., Byerly, G. R., & Ferrell, R. E. (1997). Ilb trioctahedral chlorite from the Barberton greenstone belt: Crystal structure and rock composition constraints with implications to geothermometry. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 126(3), 275–291. <https://doi.org/10.1007/s004100050250>
- Zane, A., & Weiss, Z. (1998). A procedure for classifying rock-forming chlorites based on

microprobe data. *Rendiconti Lincei*, 9(1), 51–56. <https://doi.org/10.1007/BF02904455>

6 Anexos

ANEXO A: ANÁLISIS QUÍMICO SEM

A.1. IMÁGENES MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

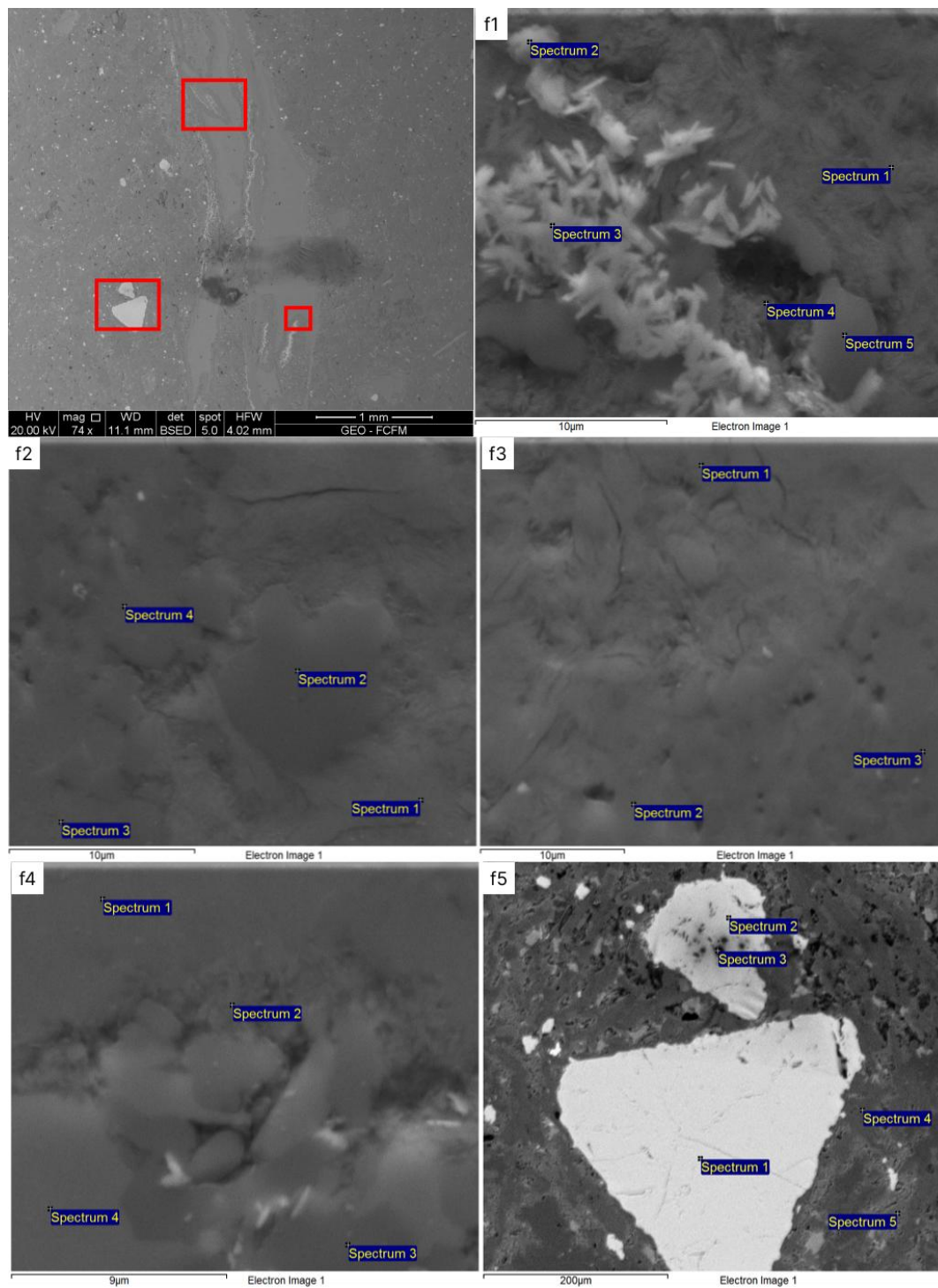


Figure 21: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB60, tomadas de la Zona 1, subzonas f1 - f5, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

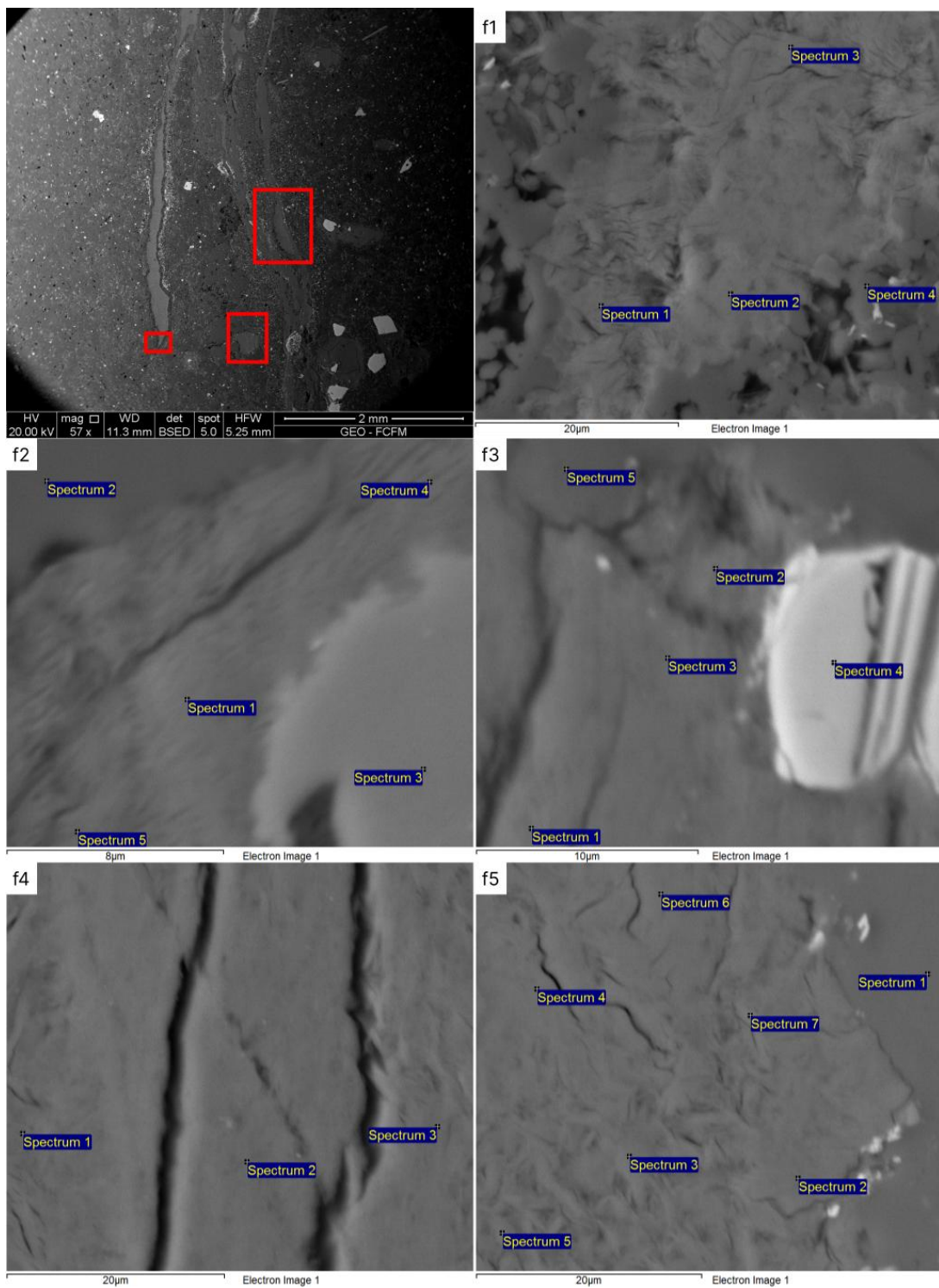


Figure 22: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB60, tomadas de la Zona 2, subzonas f1 - f5, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

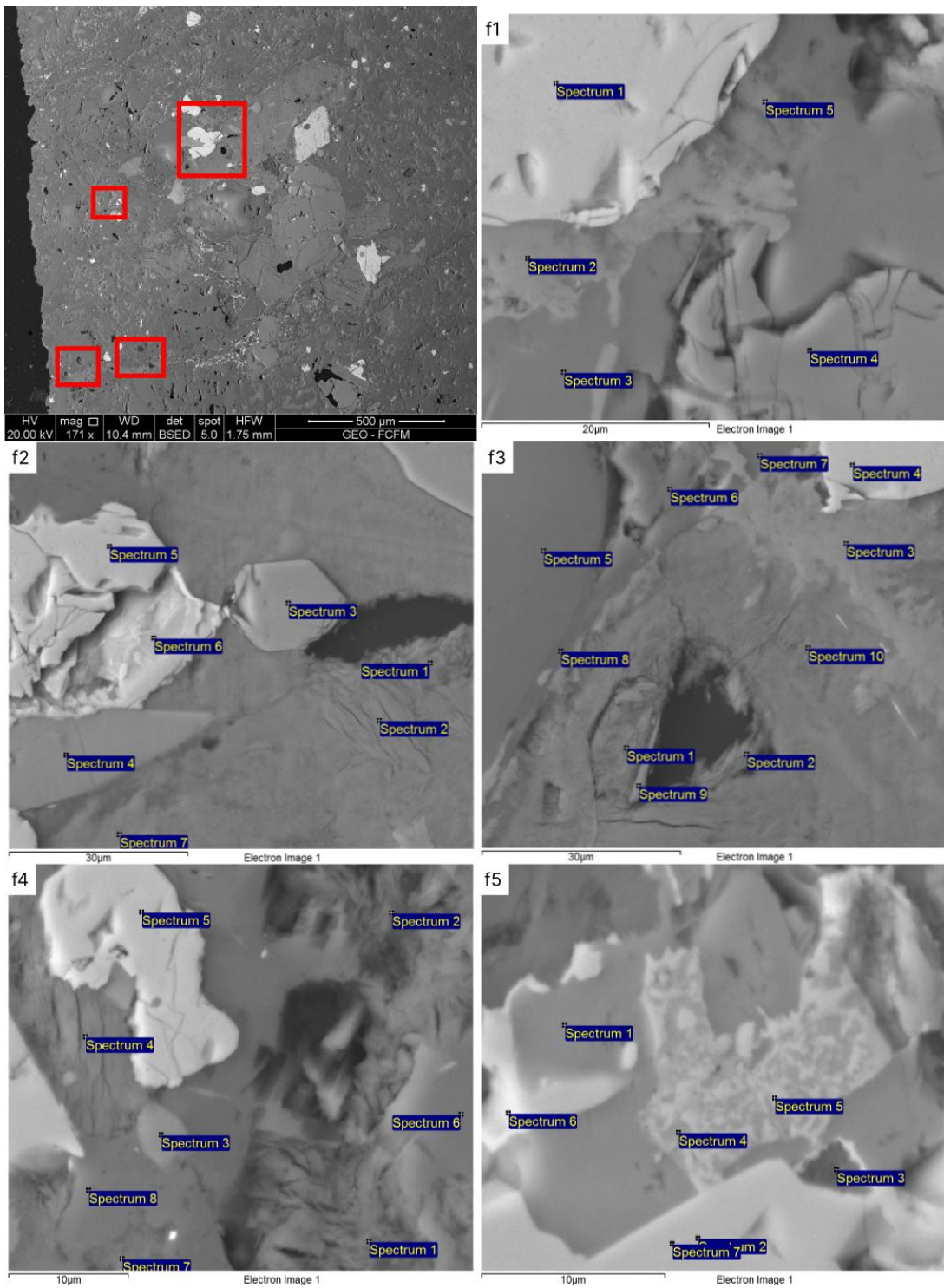


Figure 23: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB60, tomadas de la Zona 1i, subzonas f1 - f5, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

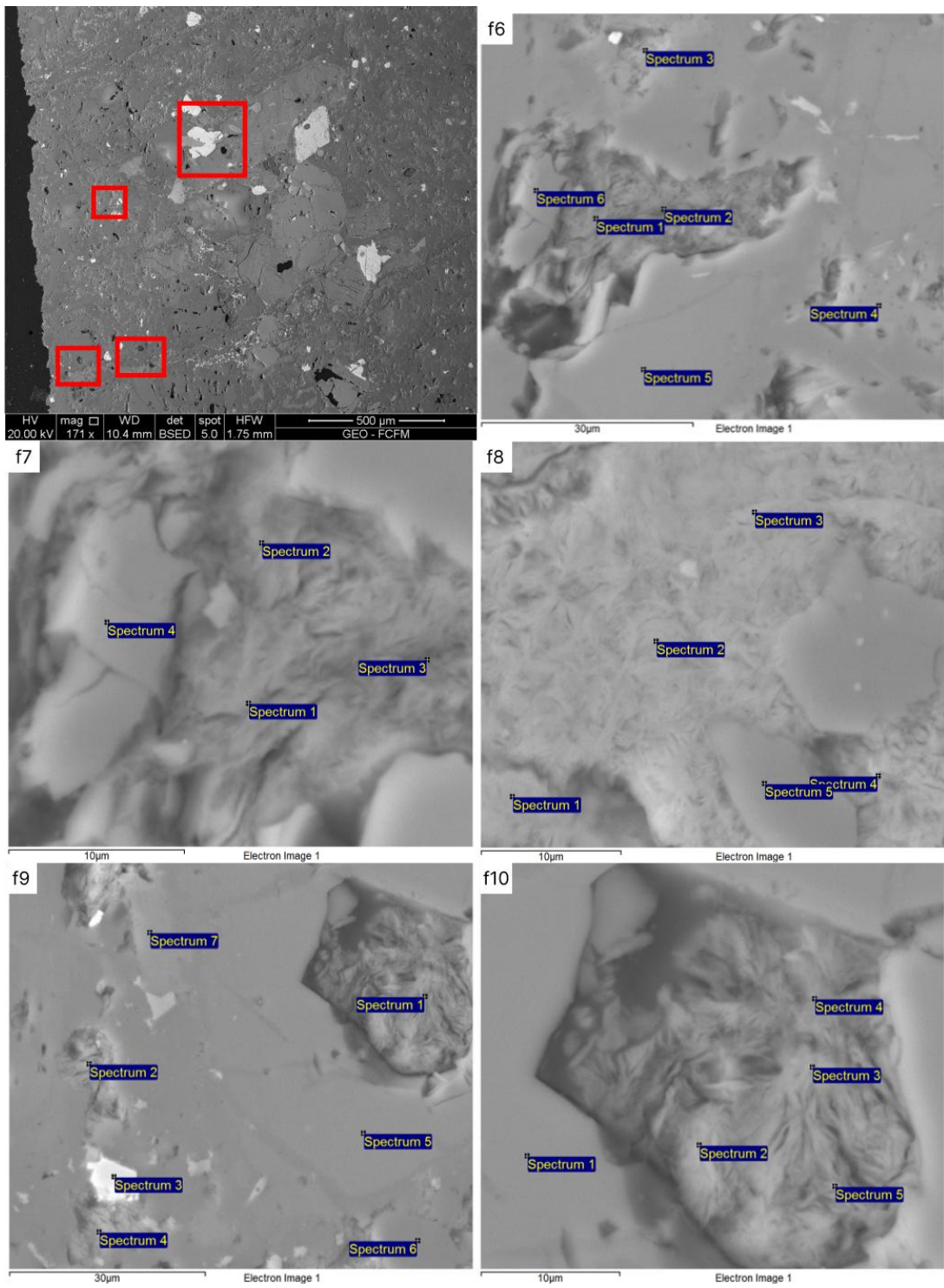


Figure 24: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB60, tomadas de la Zona 1i, subzonas f6 – f10, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

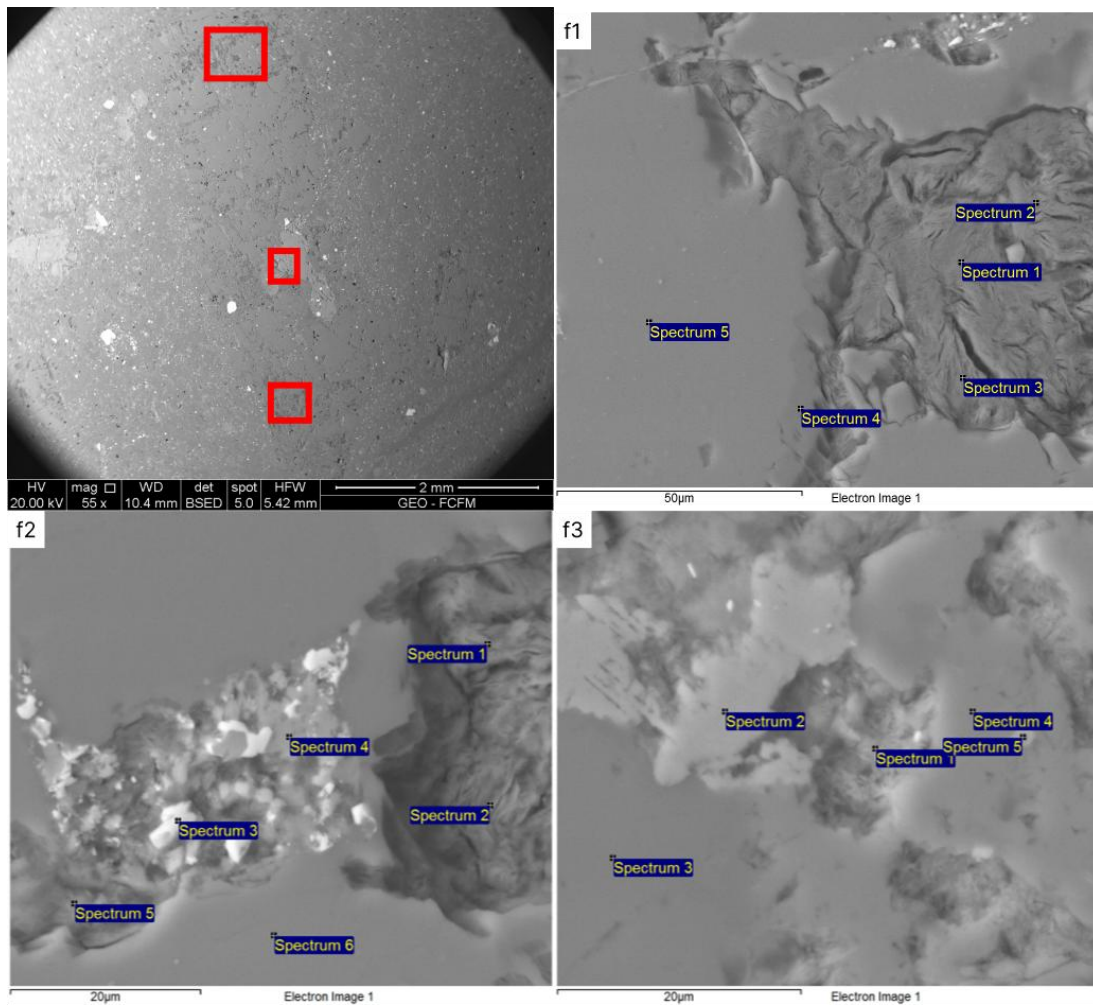


Figure 25: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB60, tomadas de la Zona 2i, subzonas f1 – f3, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

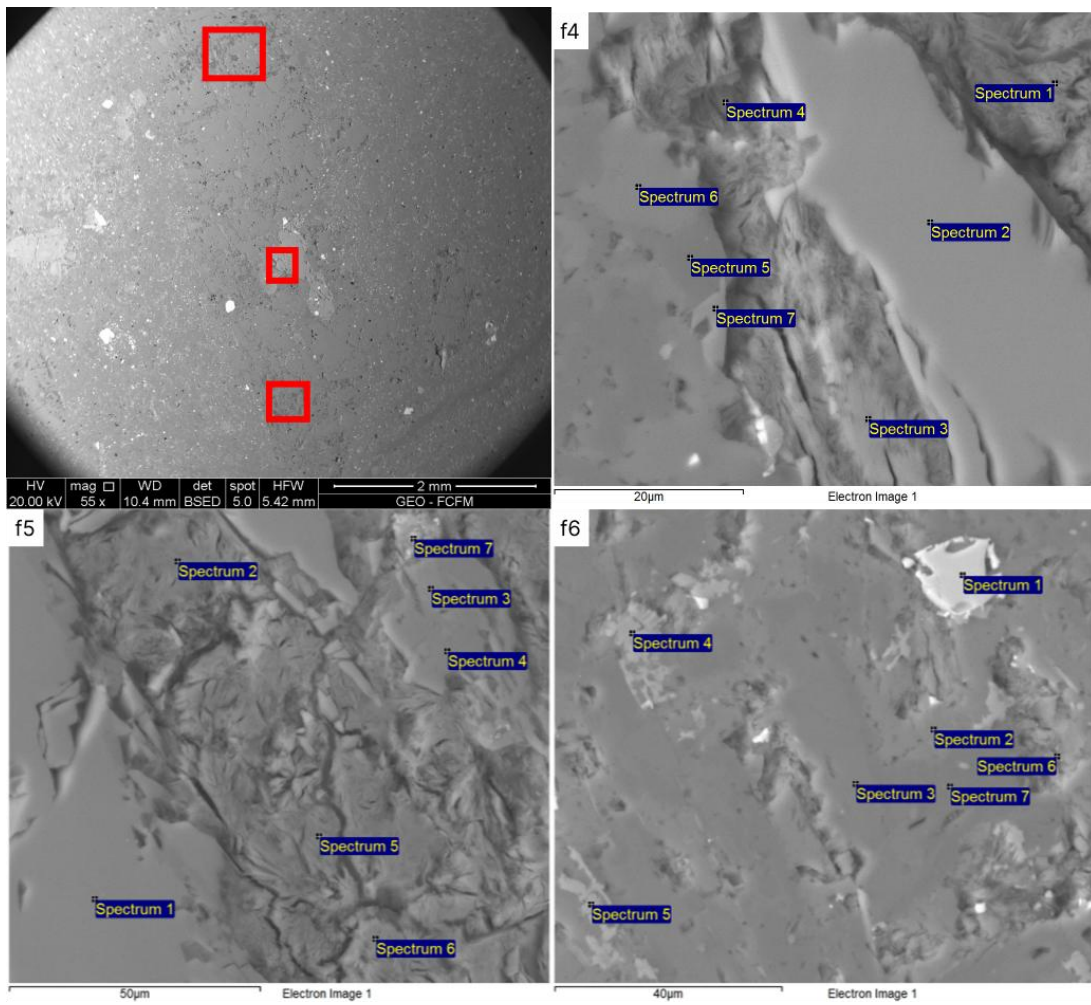


Figure 26: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB60, tomadas de la Zona 2i, subzonas f4 –f6, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

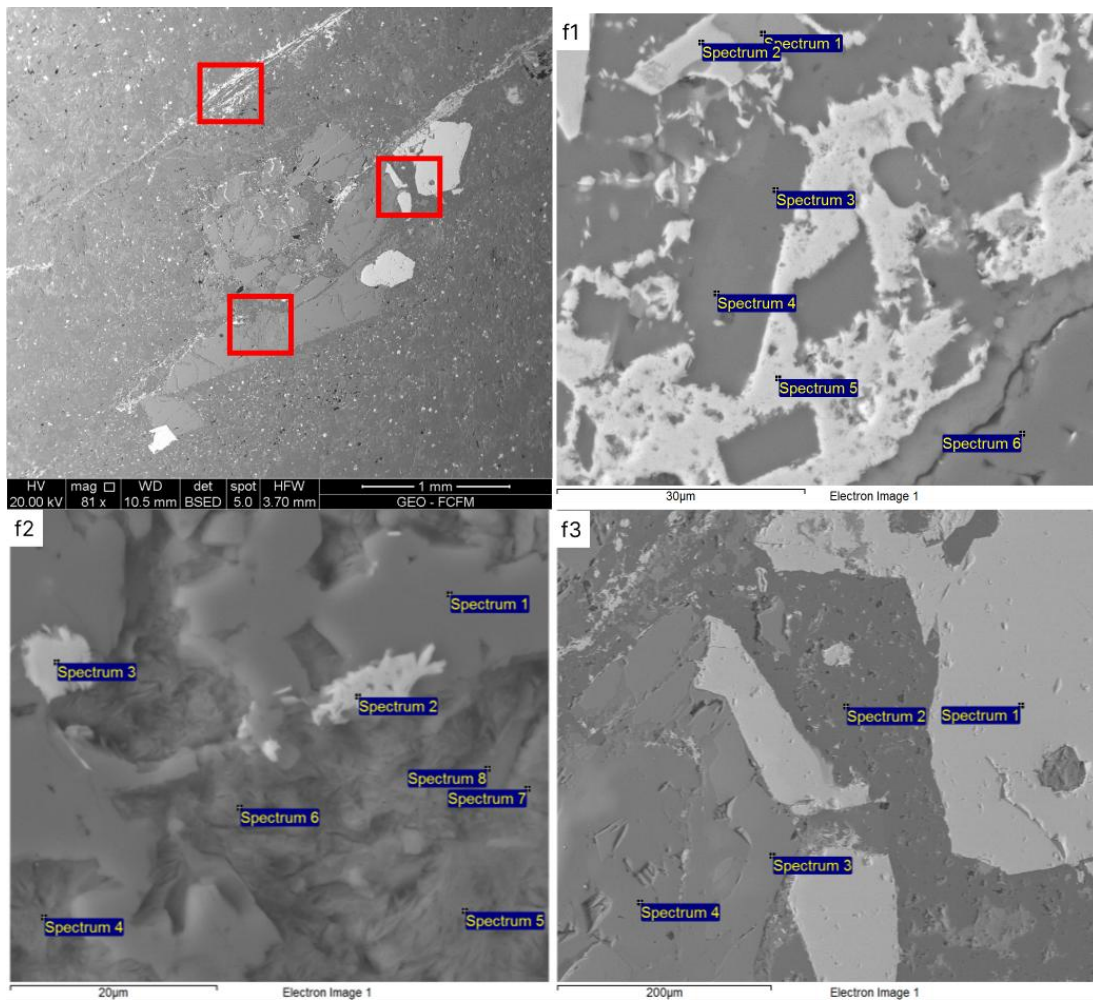


Figure 27: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB60, tomadas de la Zona 3i, subzonas f1 –f3, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

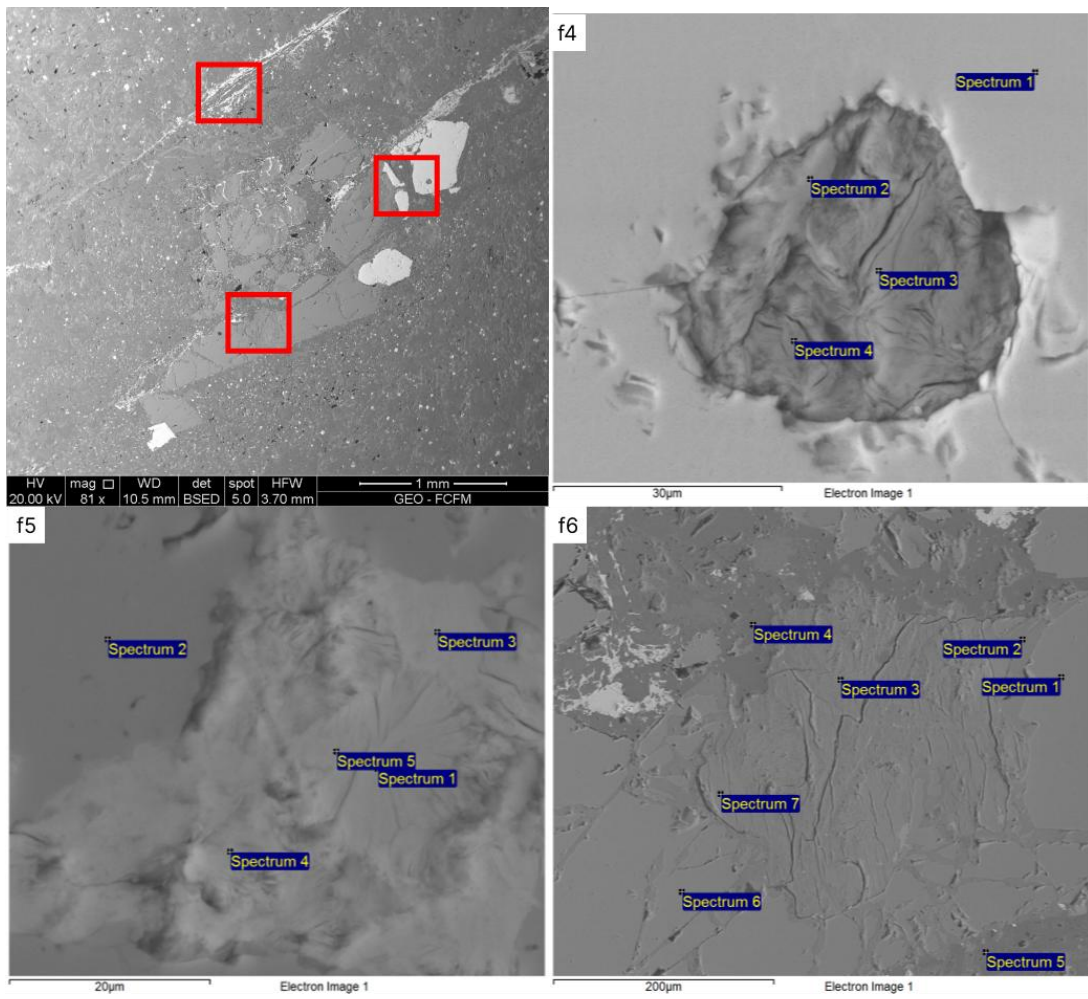


Figure 28: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB60, tomadas de la Zona 3i, subzonas f4 – f6, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

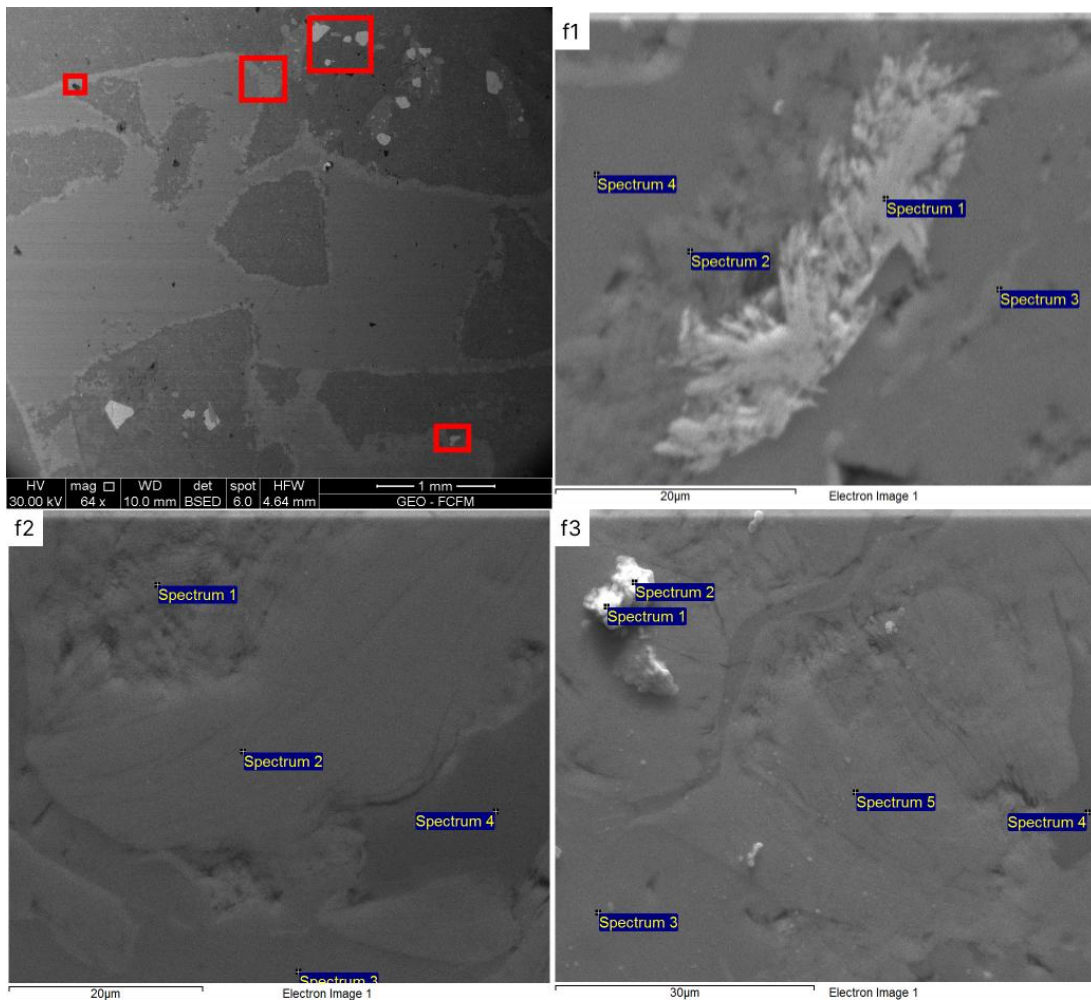


Figure 29: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB100, tomadas de la Zona 1, subzonas f1 –f3, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

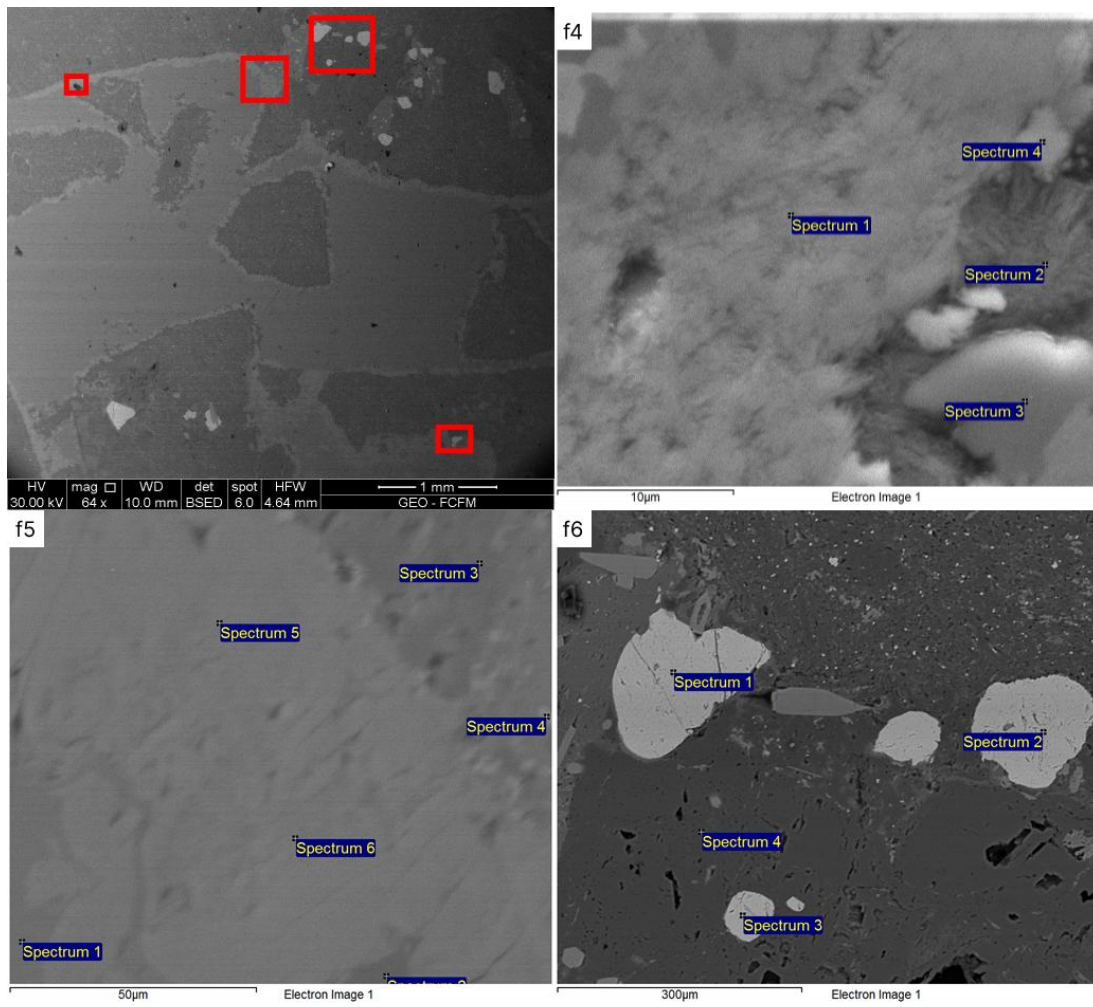


Figure 30: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB100, tomadas de la Zona 1, subzonas f4 – f6, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

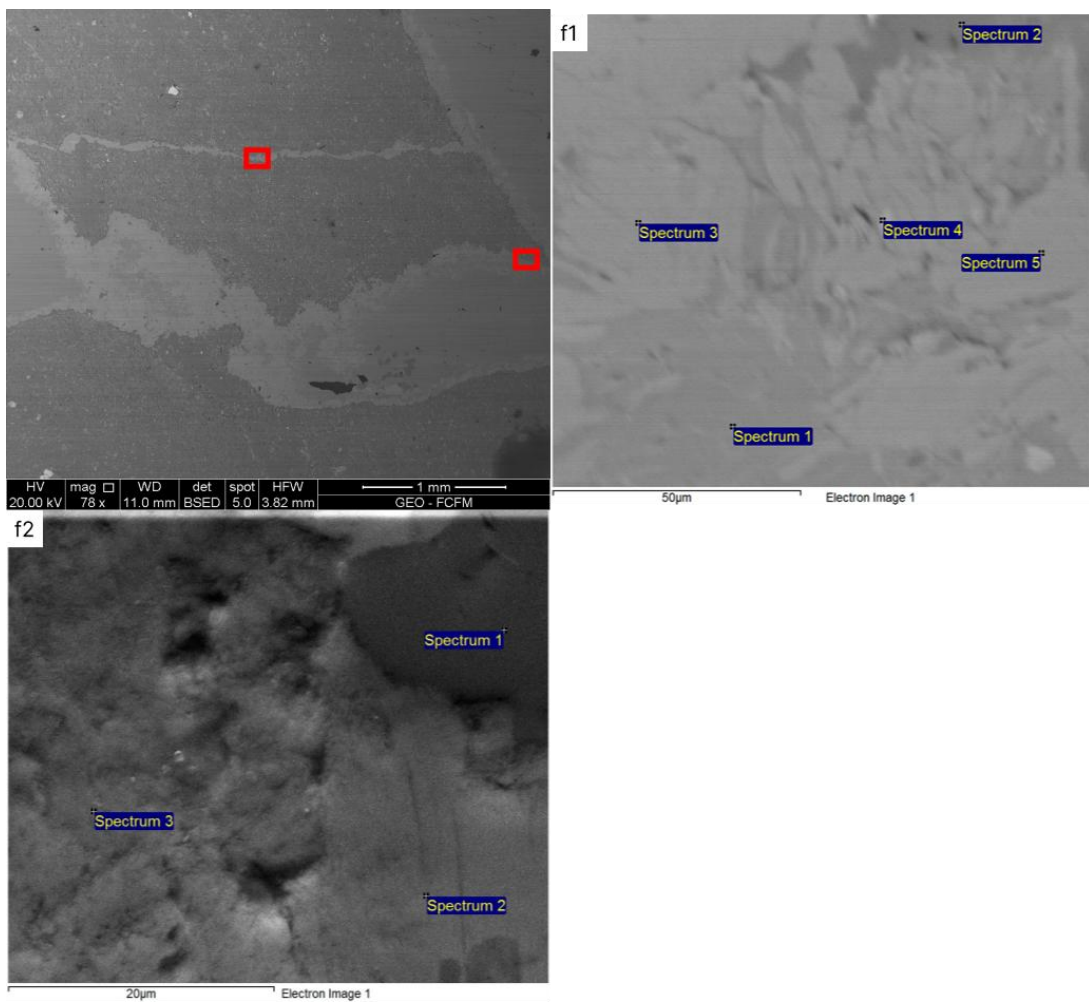


Figure 31: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB100, tomadas de la Zona 2, subzonas f1 –f2, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

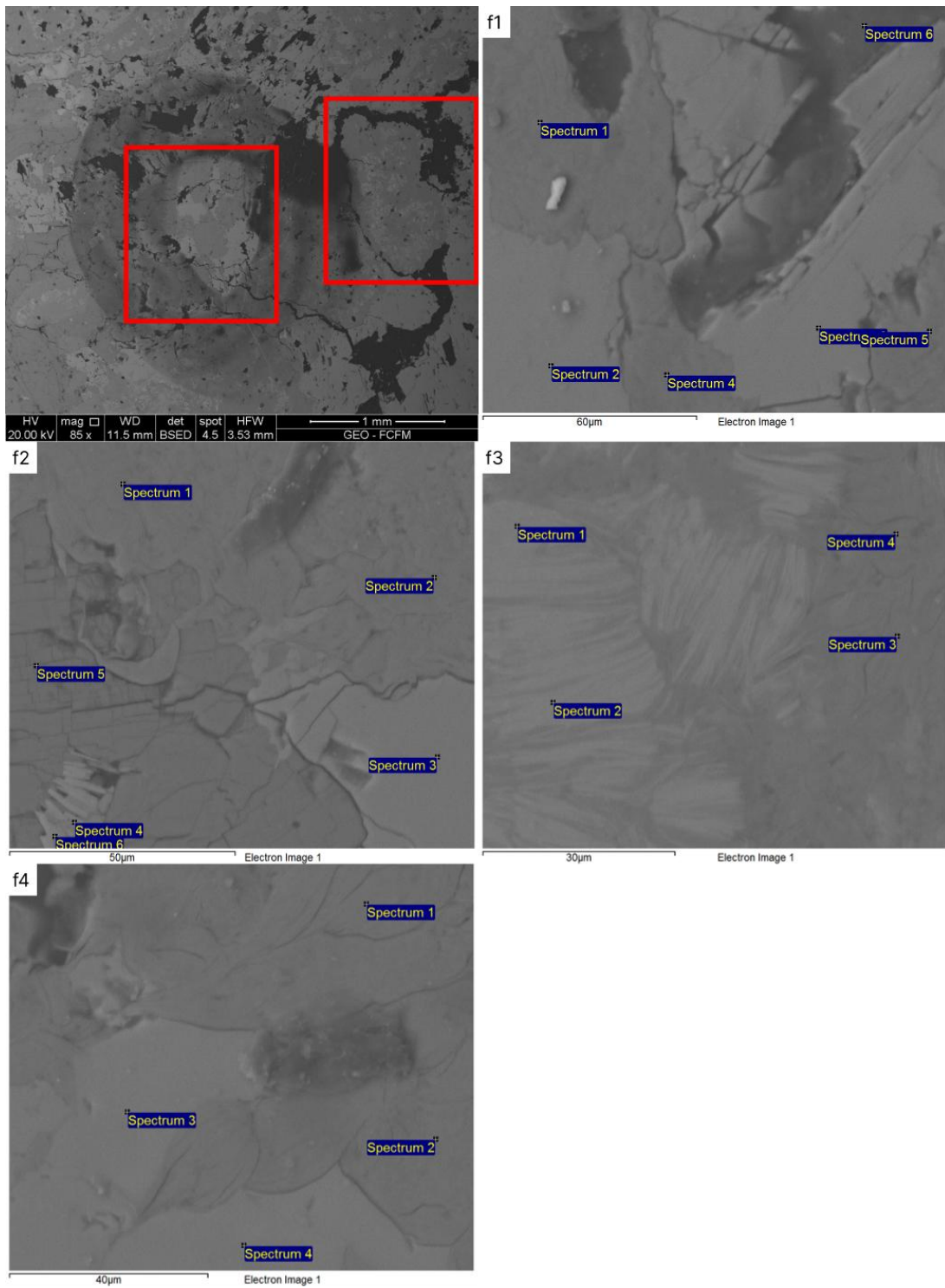


Figure 32: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB100, tomadas de la Zona 1i, subzonas f1 – f4, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

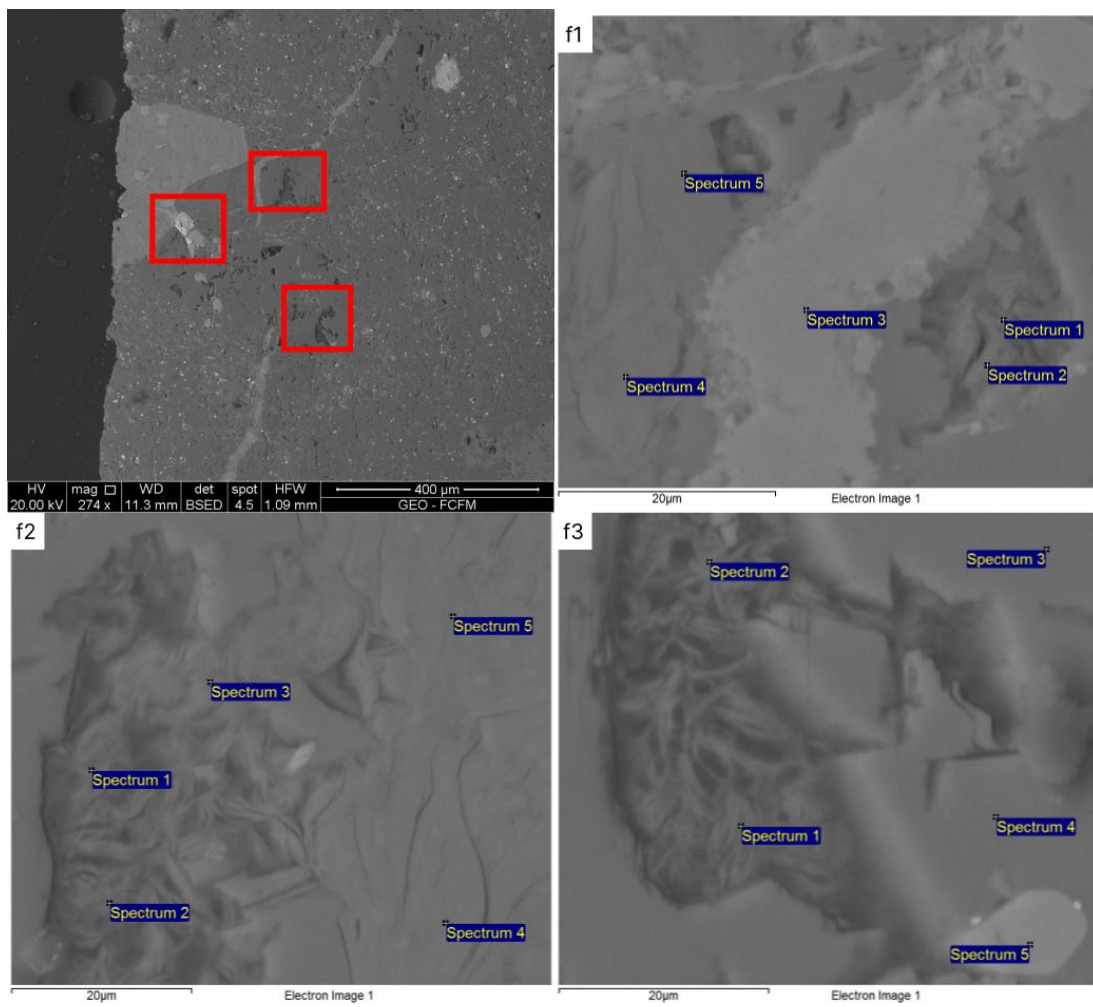


Figure 33: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB100, tomadas de la Zona 2i, subzonas f1 – f3, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

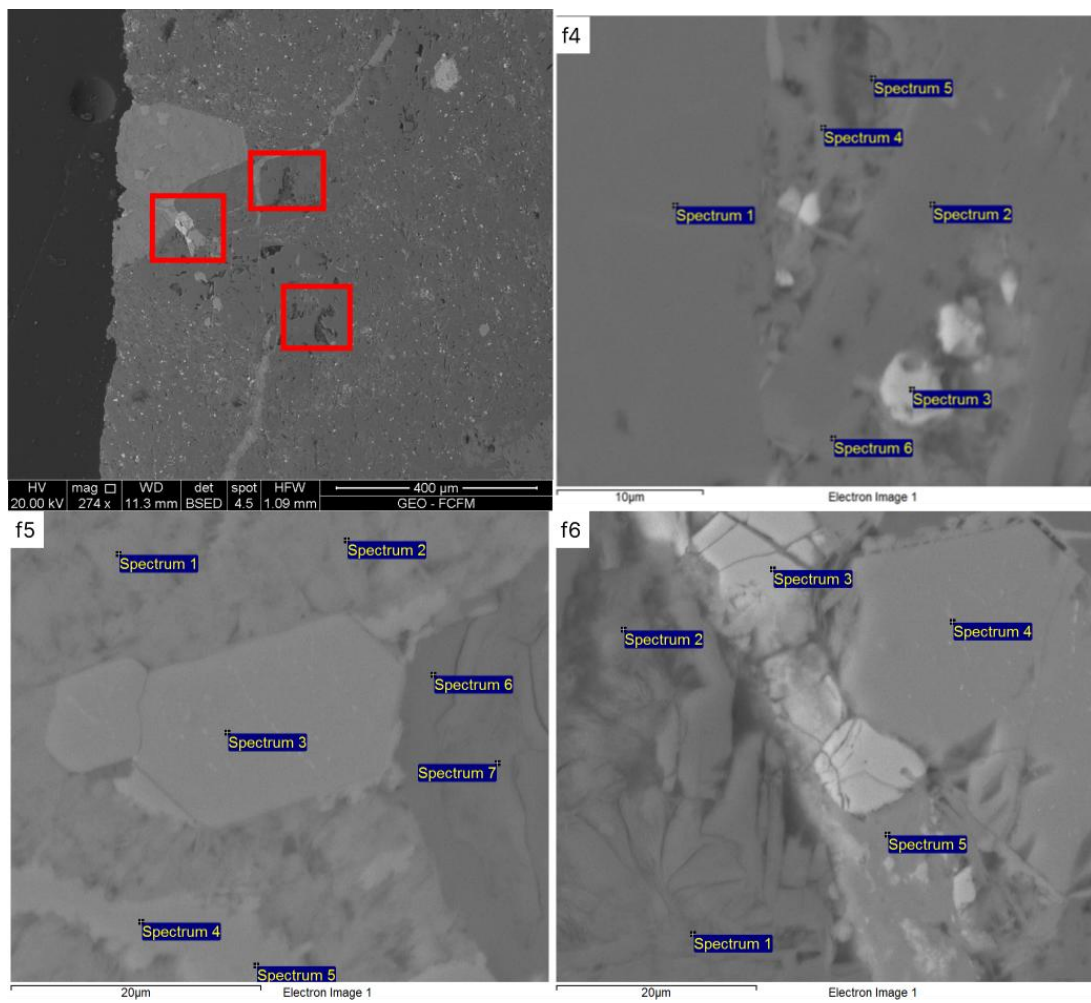


Figure 34: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB100, tomadas de la Zona 2i, subzonas f4 – f6, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

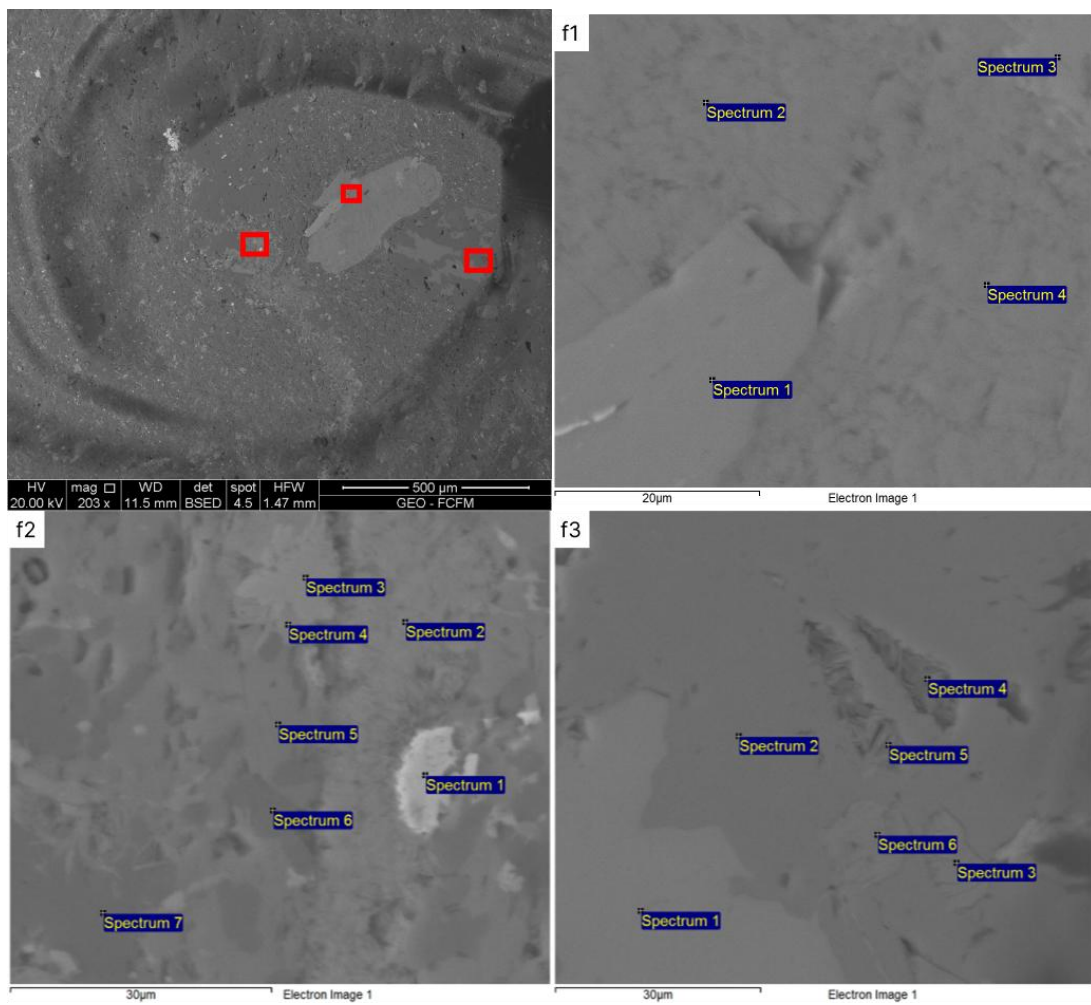


Figure 35: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB100, tomadas de la Zona 3i, subzonas f1 – f3, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

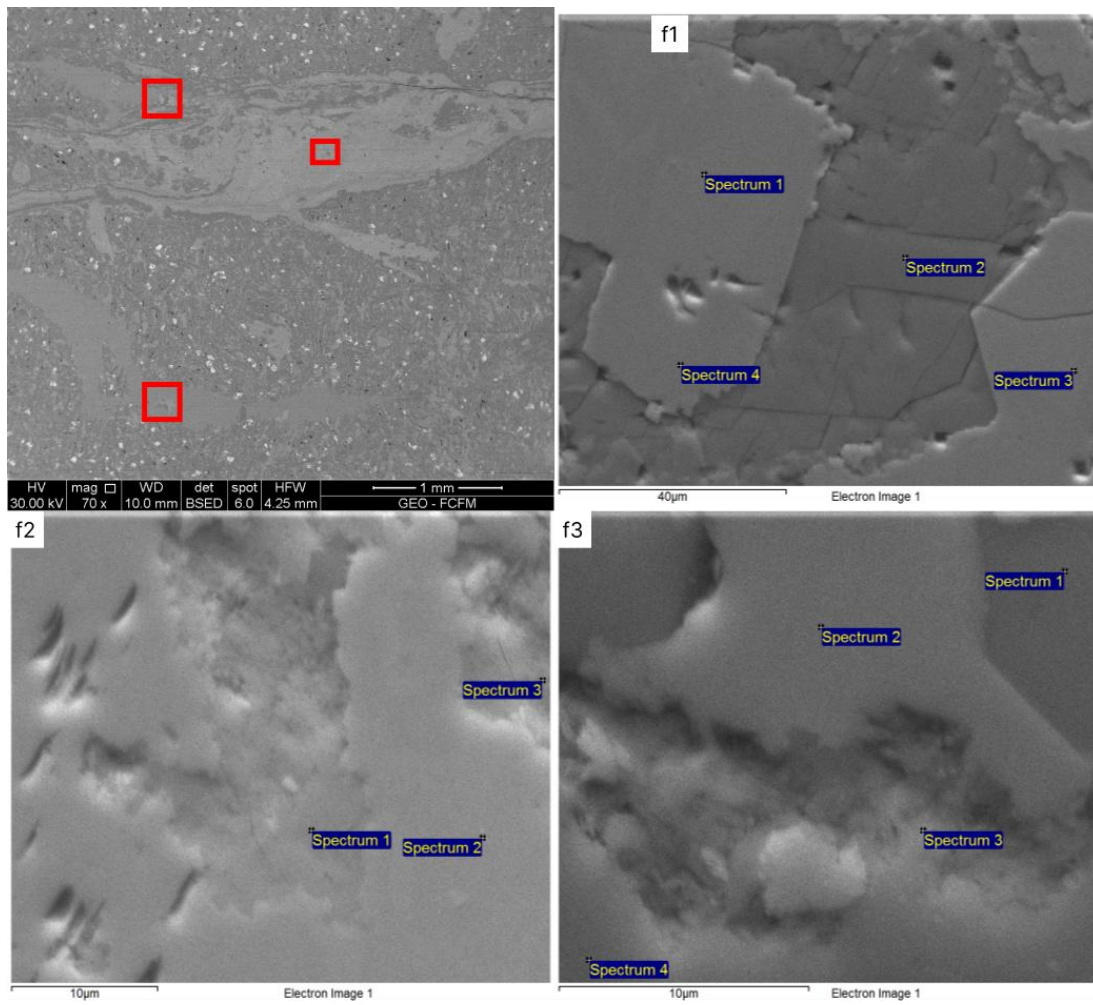


Figure 36: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB255, tomadas de la Zona 1, subzonas f1 –f3, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

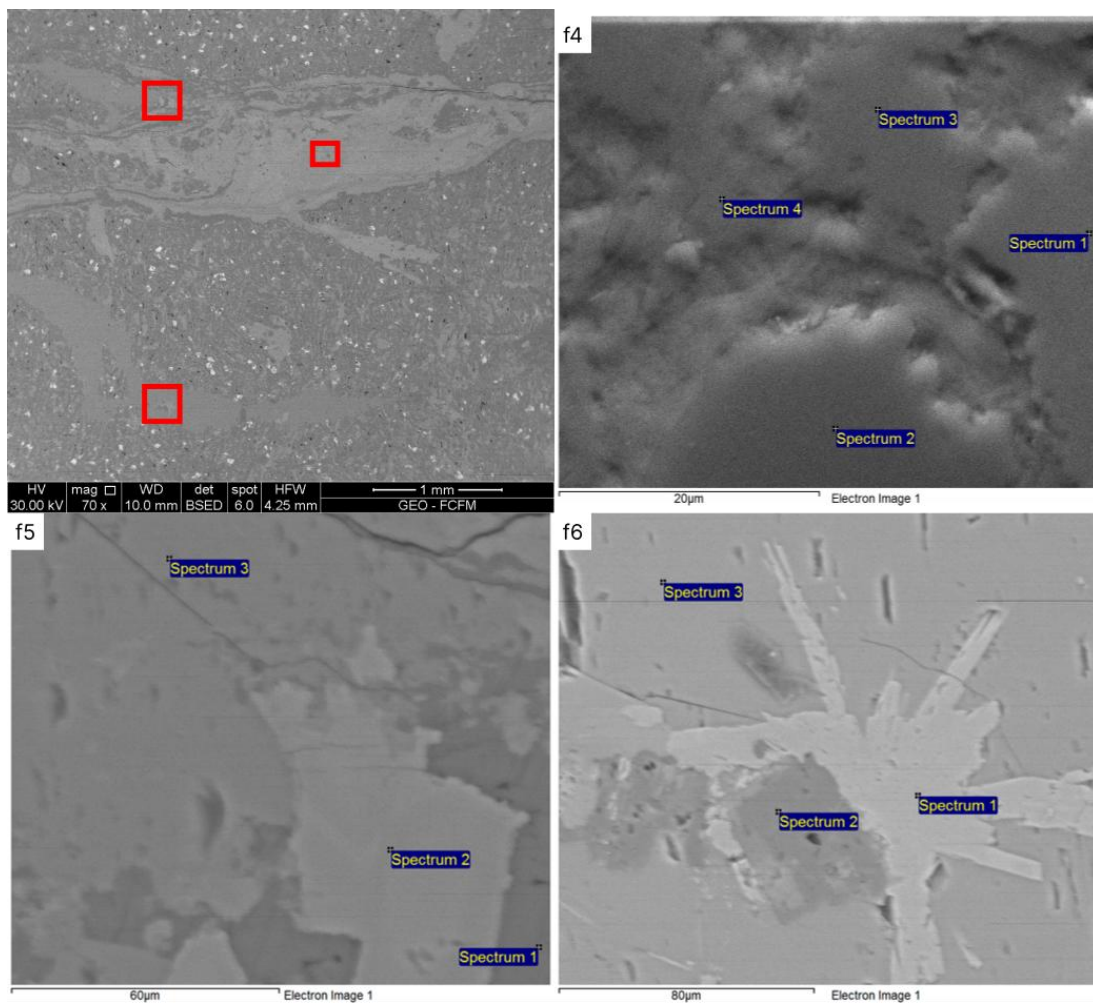


Figure 37: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB255, tomadas de la Zona 1, subzonas f4 – f6, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

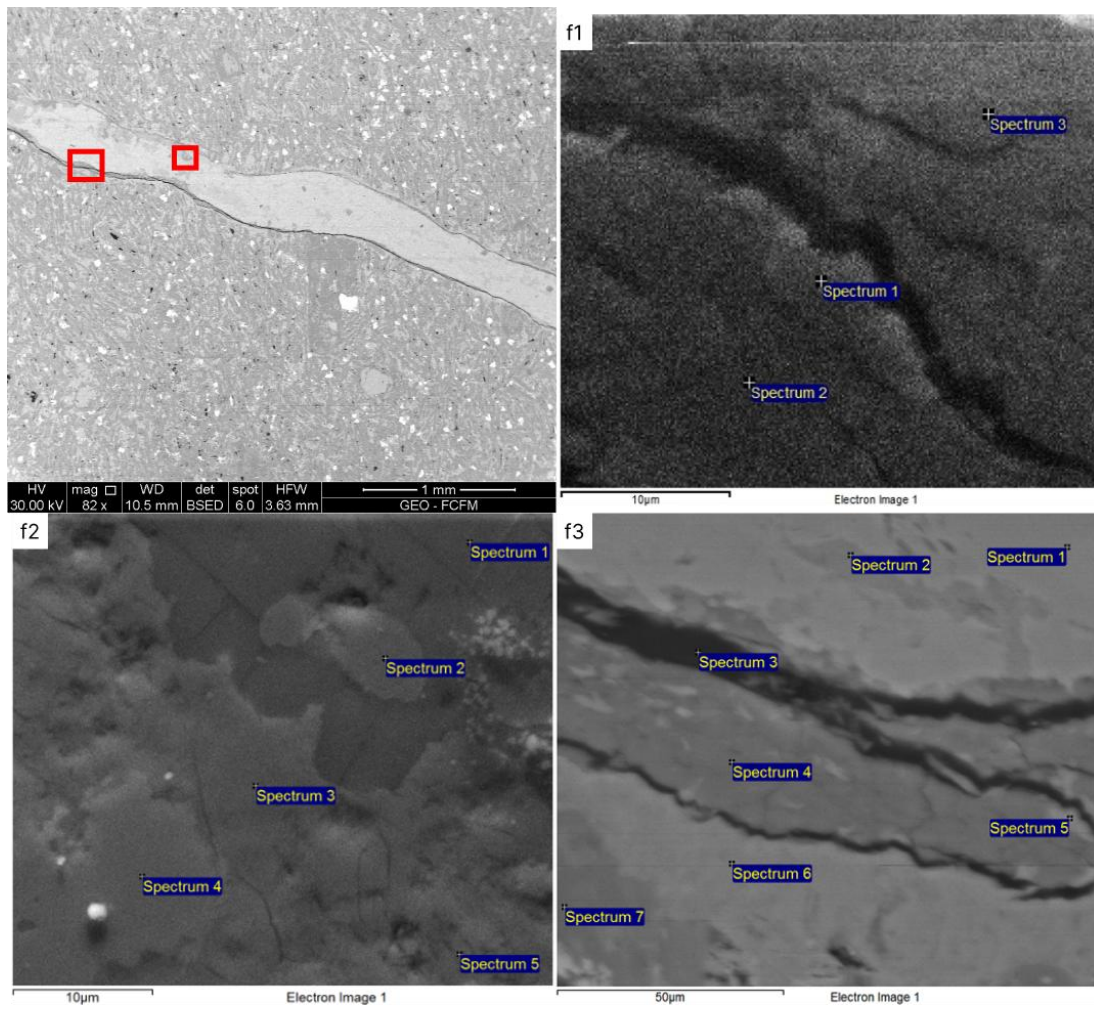


Figure 38: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB255, tomadas de la Zona 2, subzonas f1 – f3, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

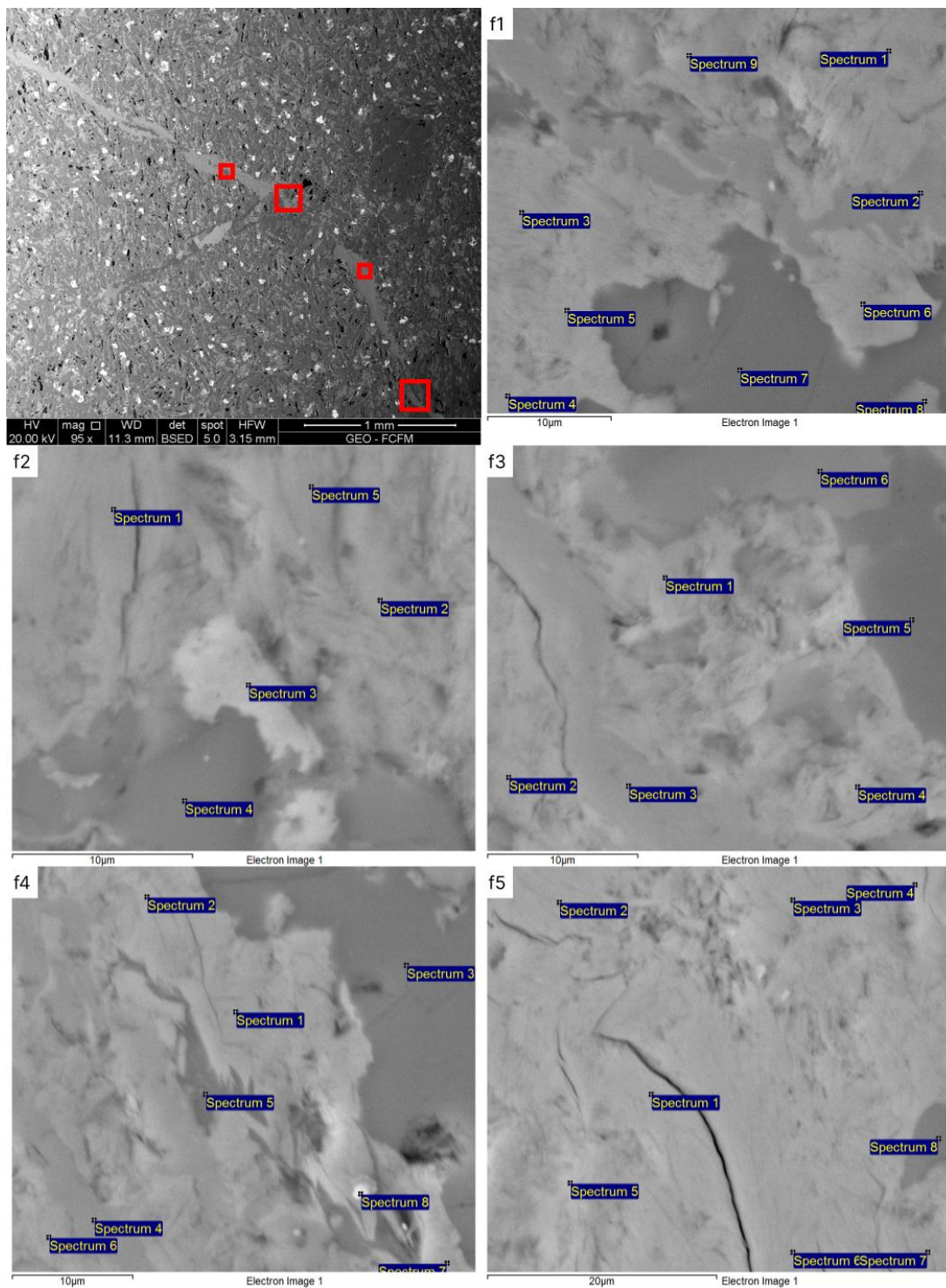


Figure 39: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB255, tomadas de la Zona 3, subzonas f1 – f5, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

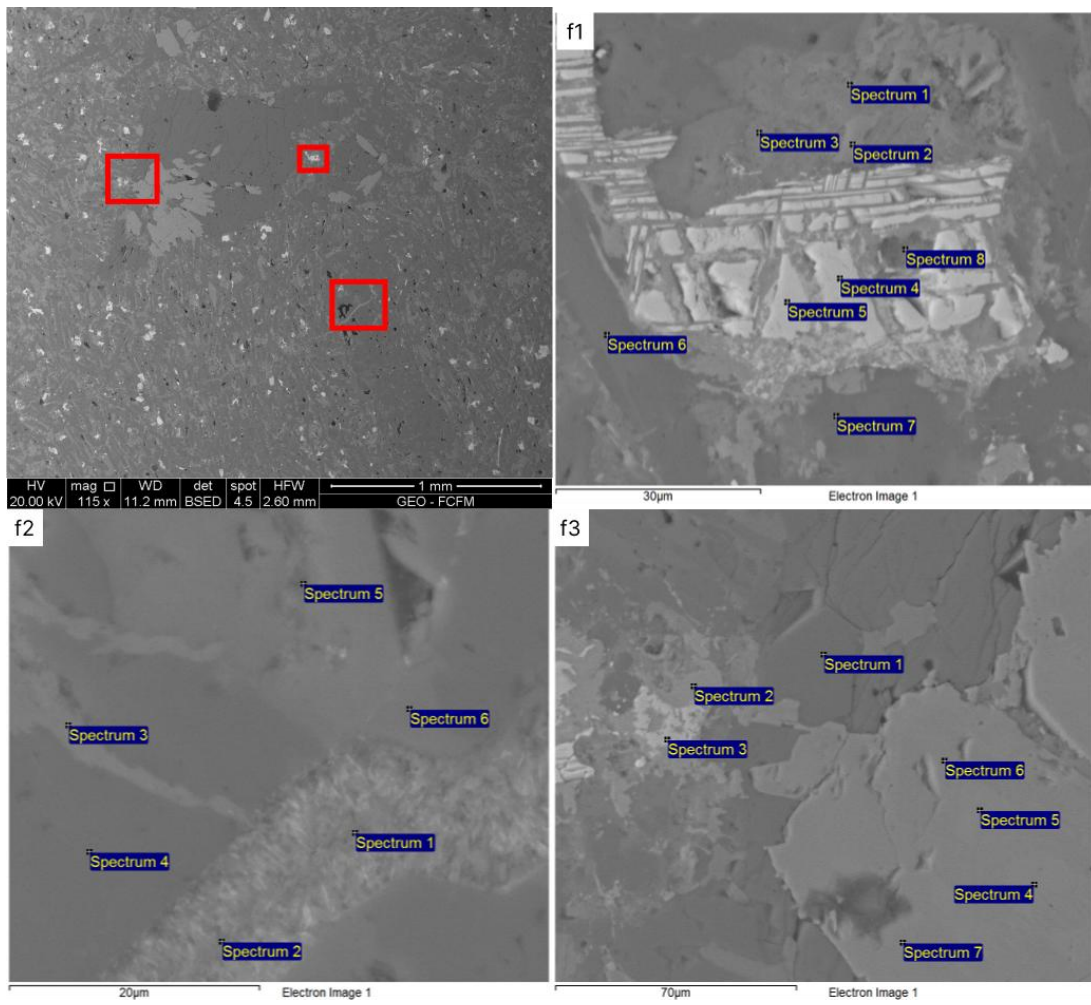


Figure 40: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB255, tomadas de la Zona 1i, subzonas f1 – f3, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

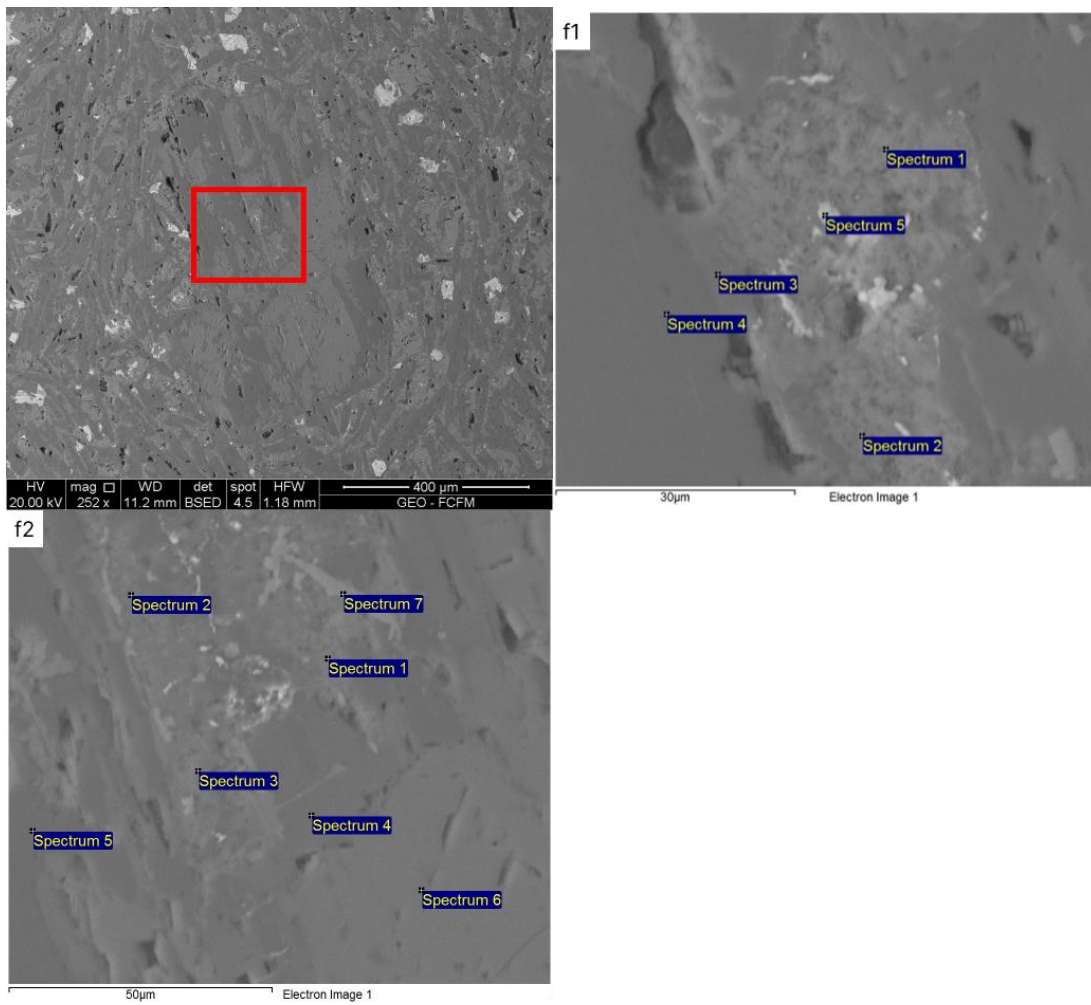


Figure 41: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB255, tomadas de la Zona 2i, subzonas f1 – f2, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

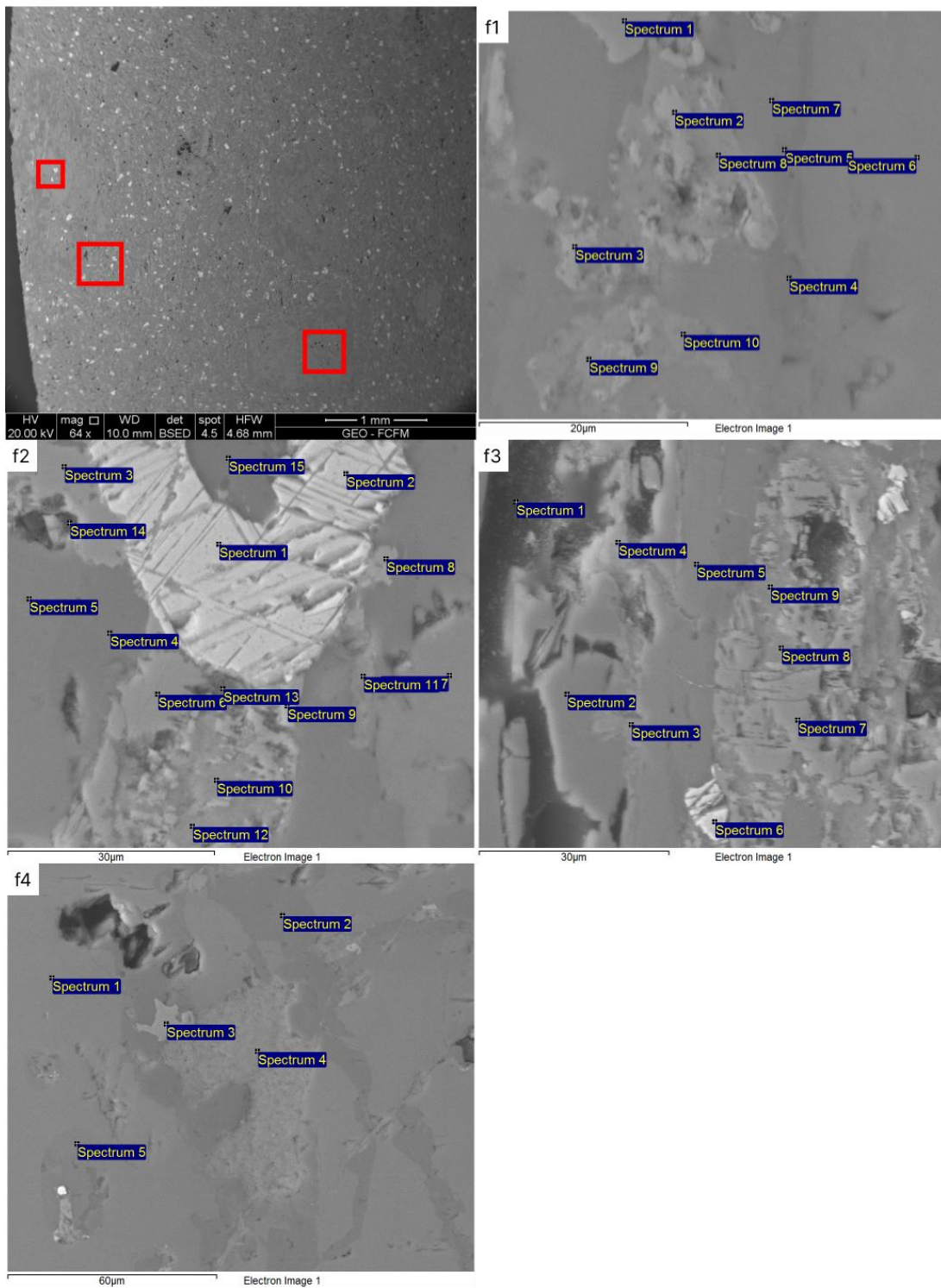


Figure 42: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB255, tomadas de la Zona 3i, subzonas f1 – f4, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

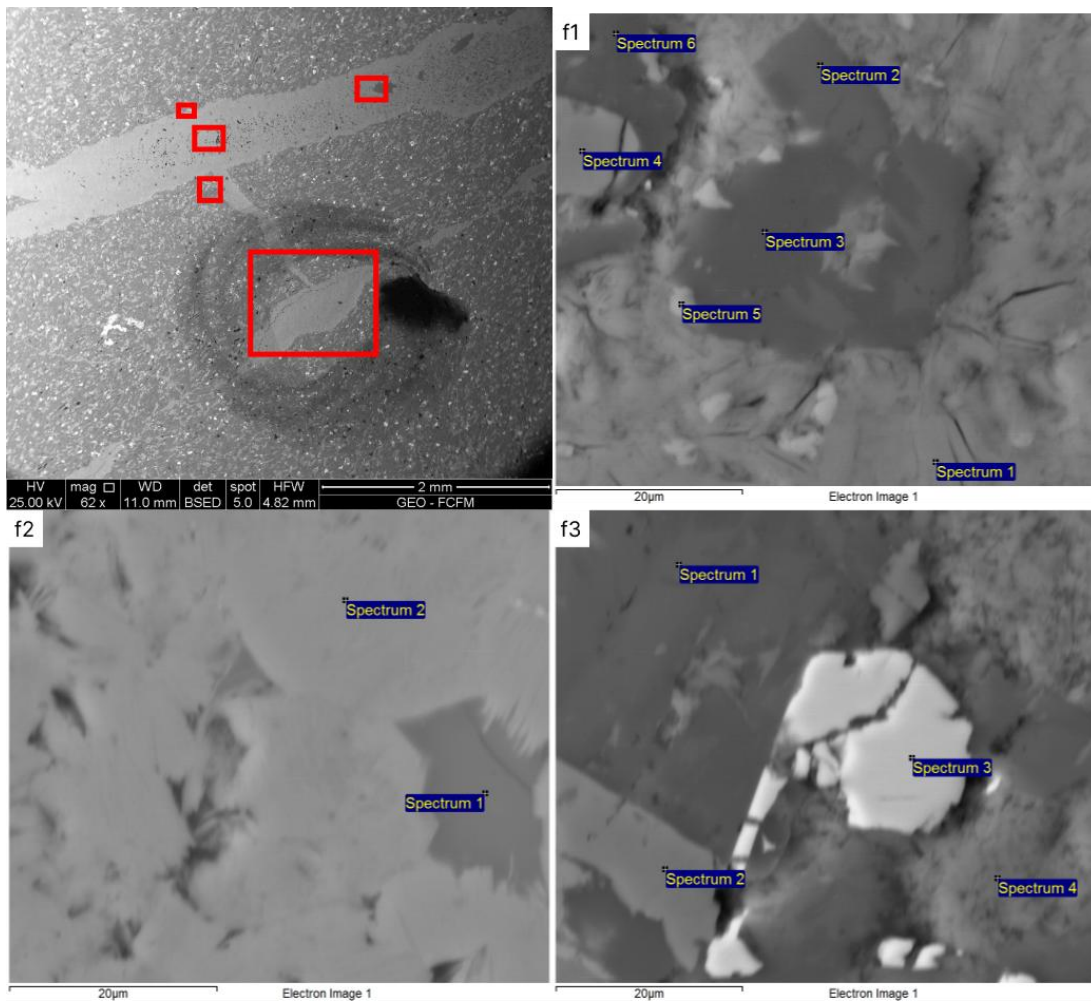


Figure 43: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB307, tomadas de la Zona 1, subzonas f1 –f3, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

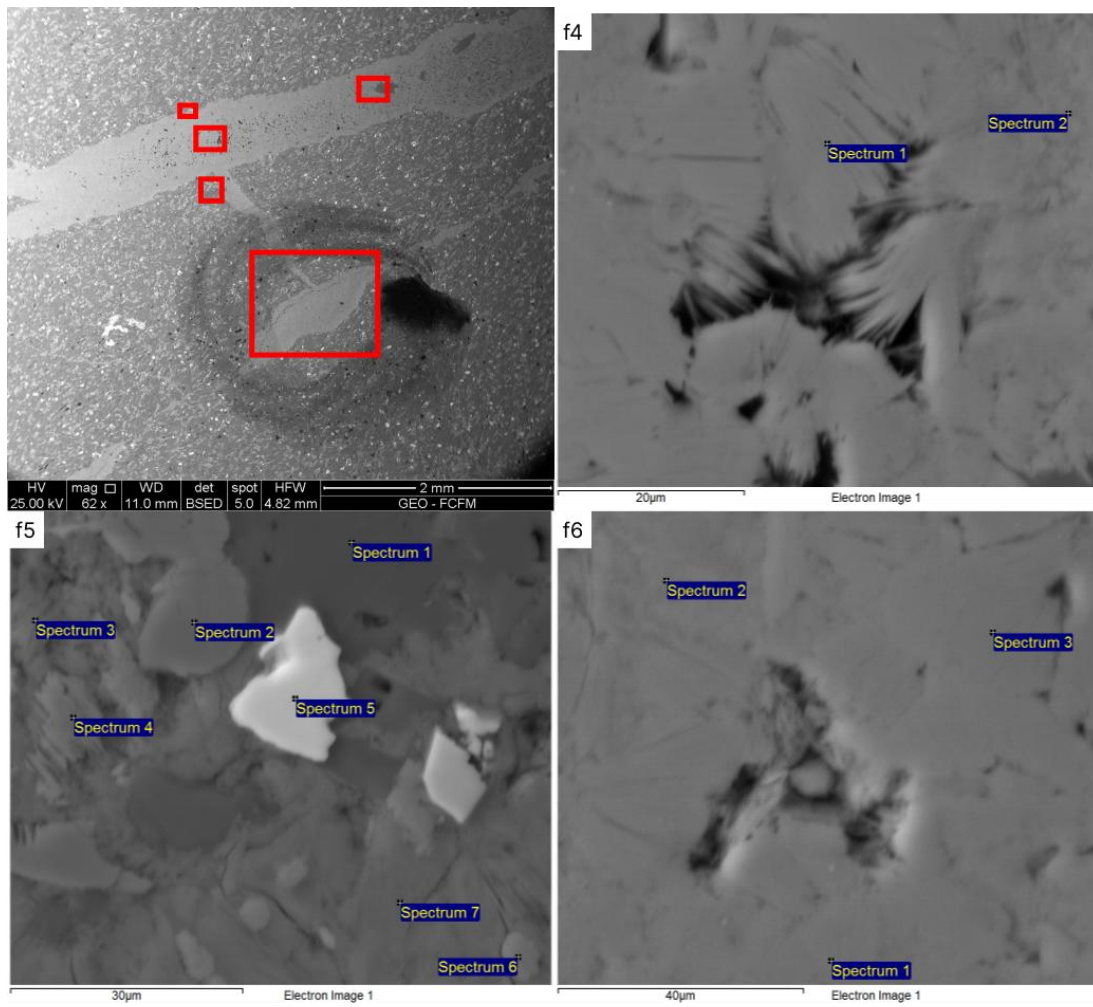


Figure 44: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB307, tomadas de la Zona 1, subzonas f4 – f6, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

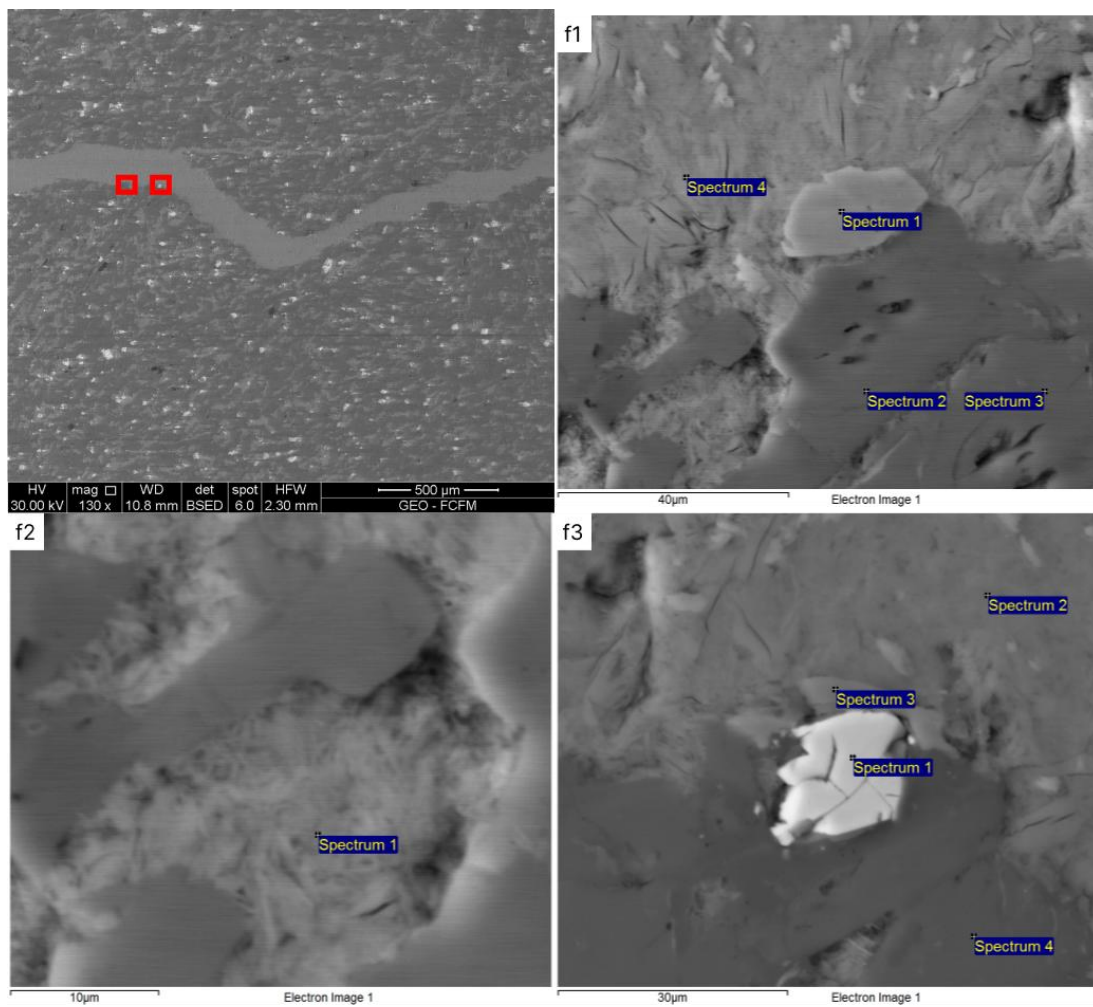


Figure 45: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB307, tomadas de la Zona 2, subzonas f1 – f3, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

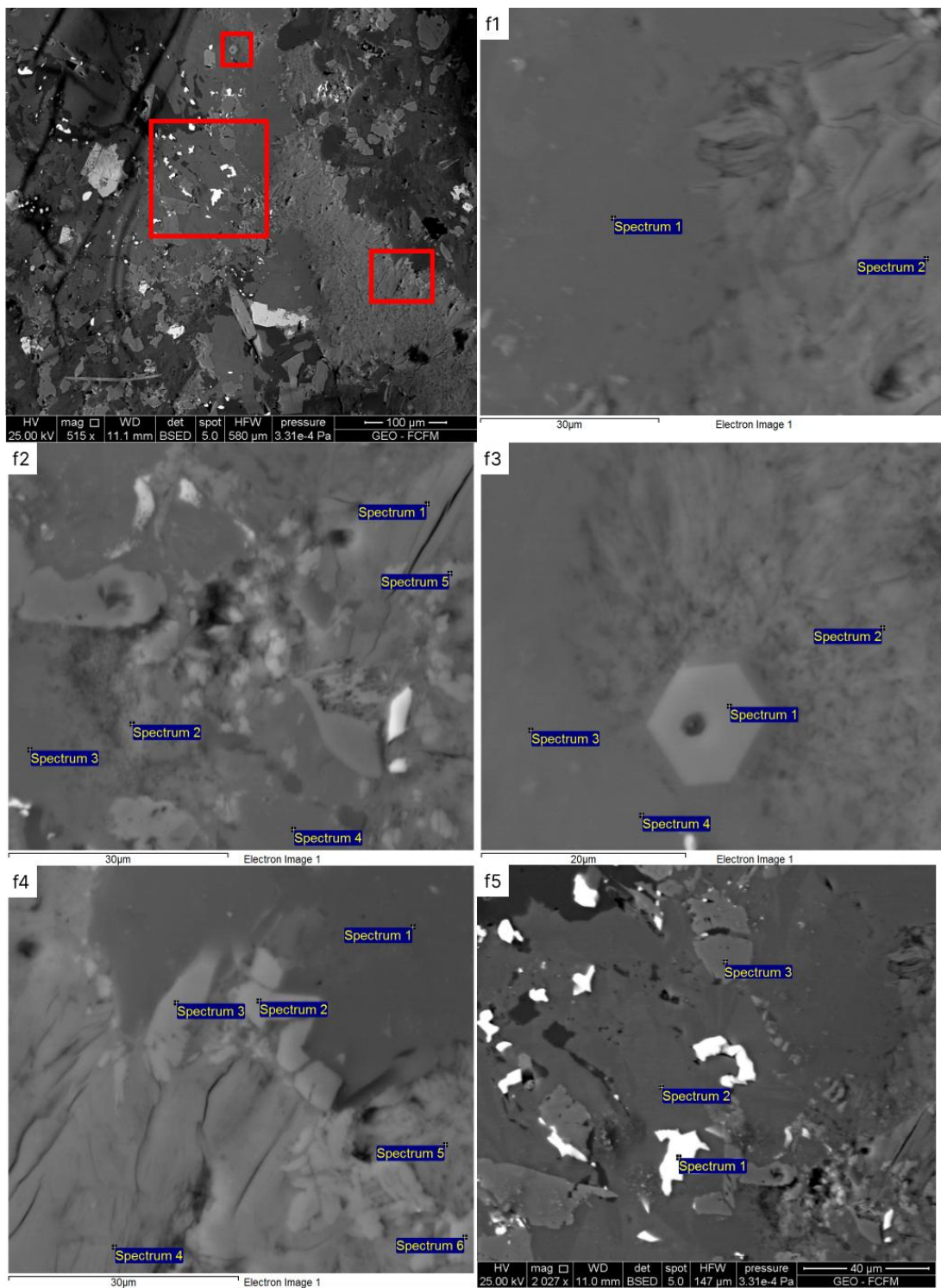


Figure 46: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB307, tomadas de la Zona 3, subzonas f1 – f5, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

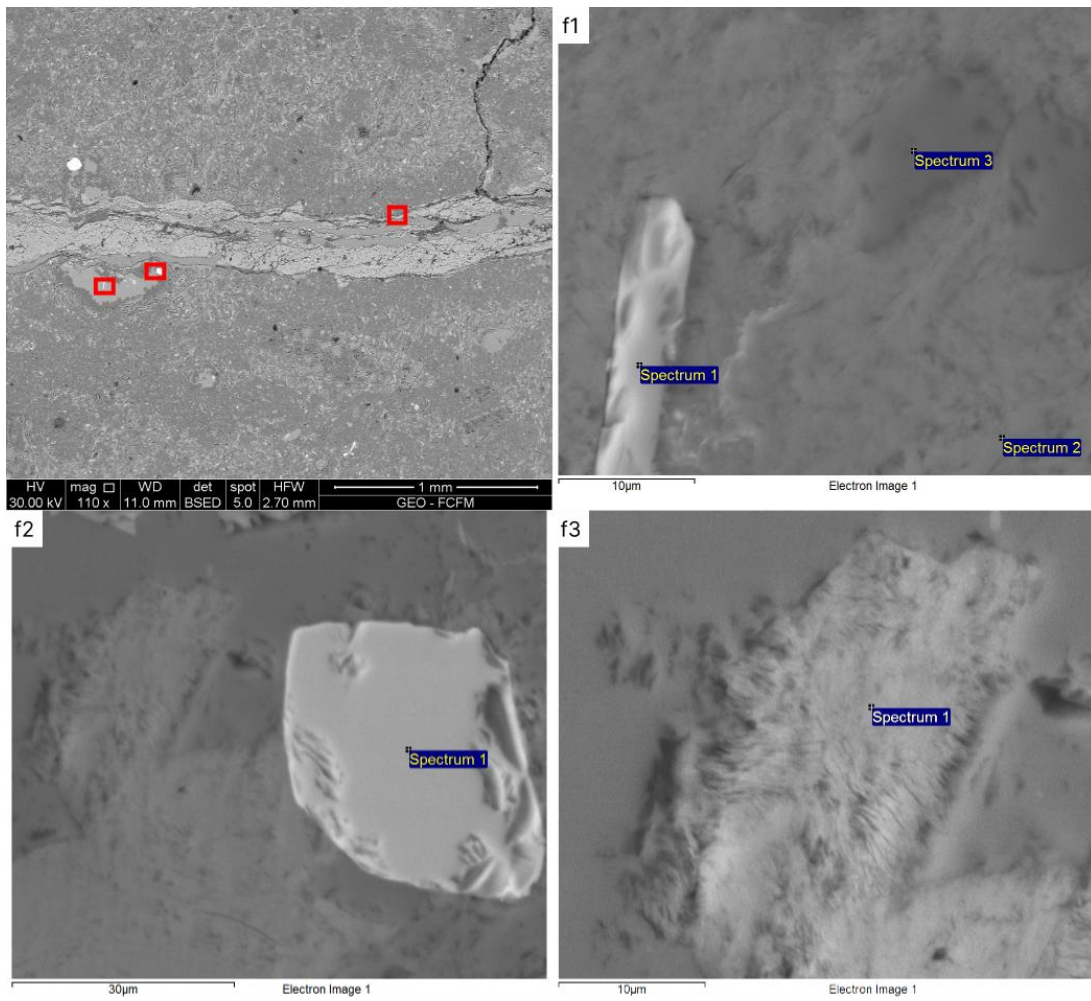


Figure 47: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB476, tomadas de la Zona 1, subzonas f1 – f3, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

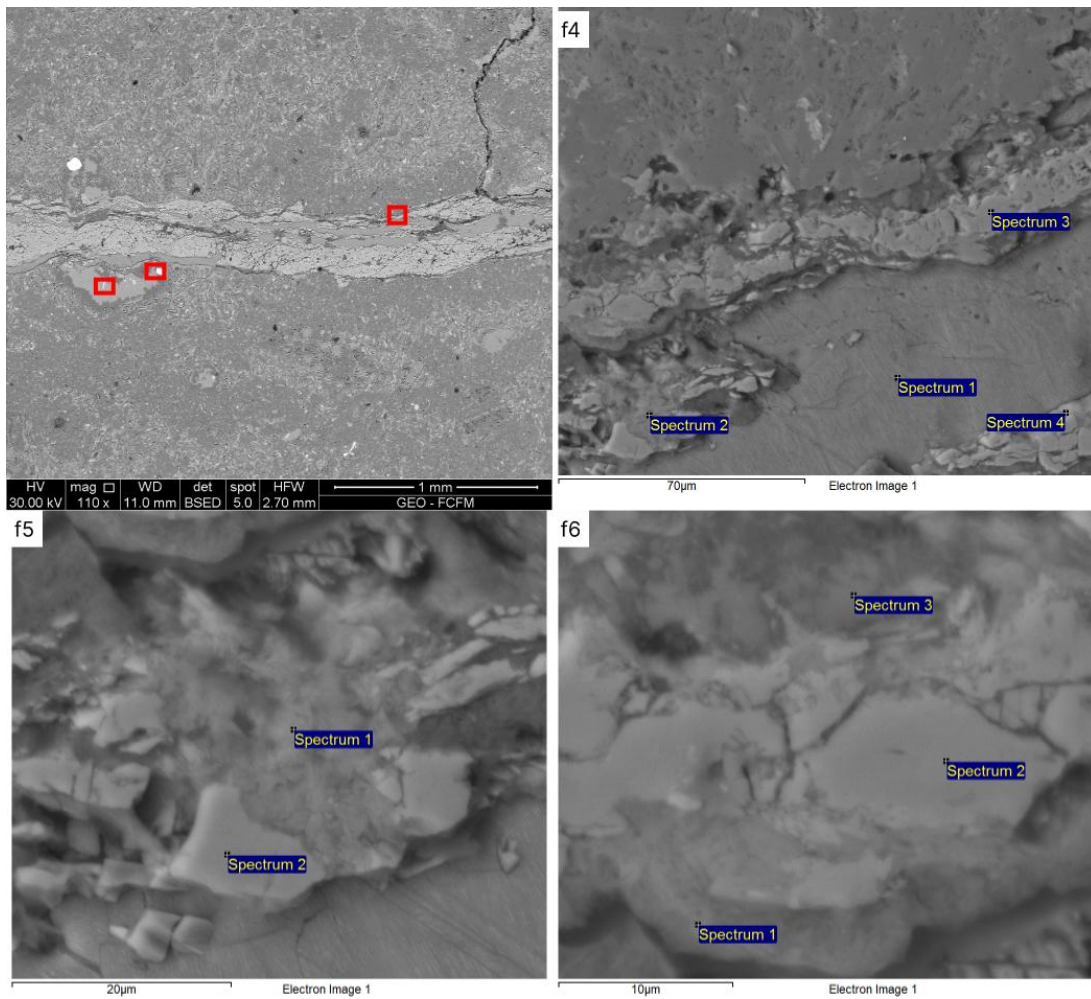


Figure 48: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB476, tomadas de la Zona 1, subzonas f4 – f6, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

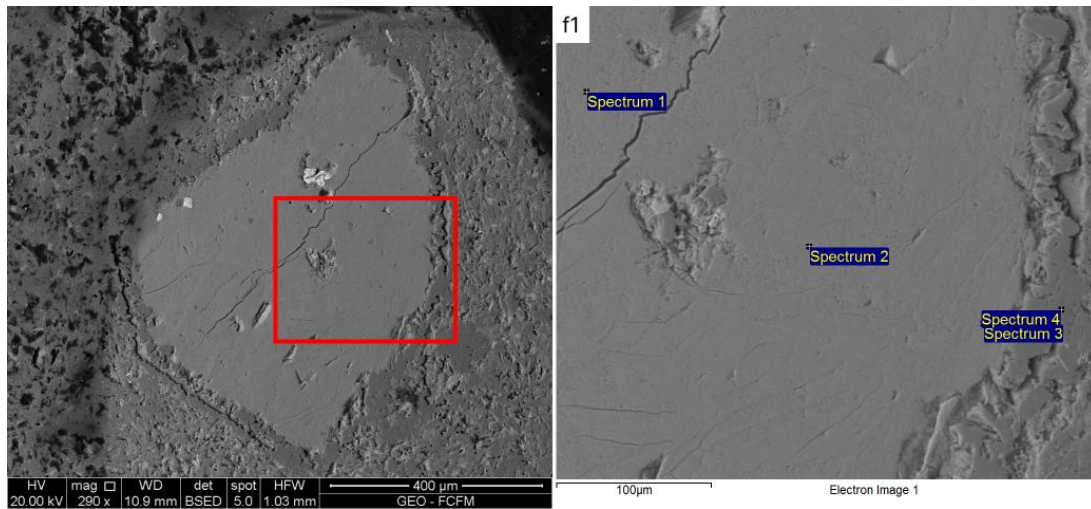


Figure 49: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB476, tomadas de la Zona 2, subzonas f1, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

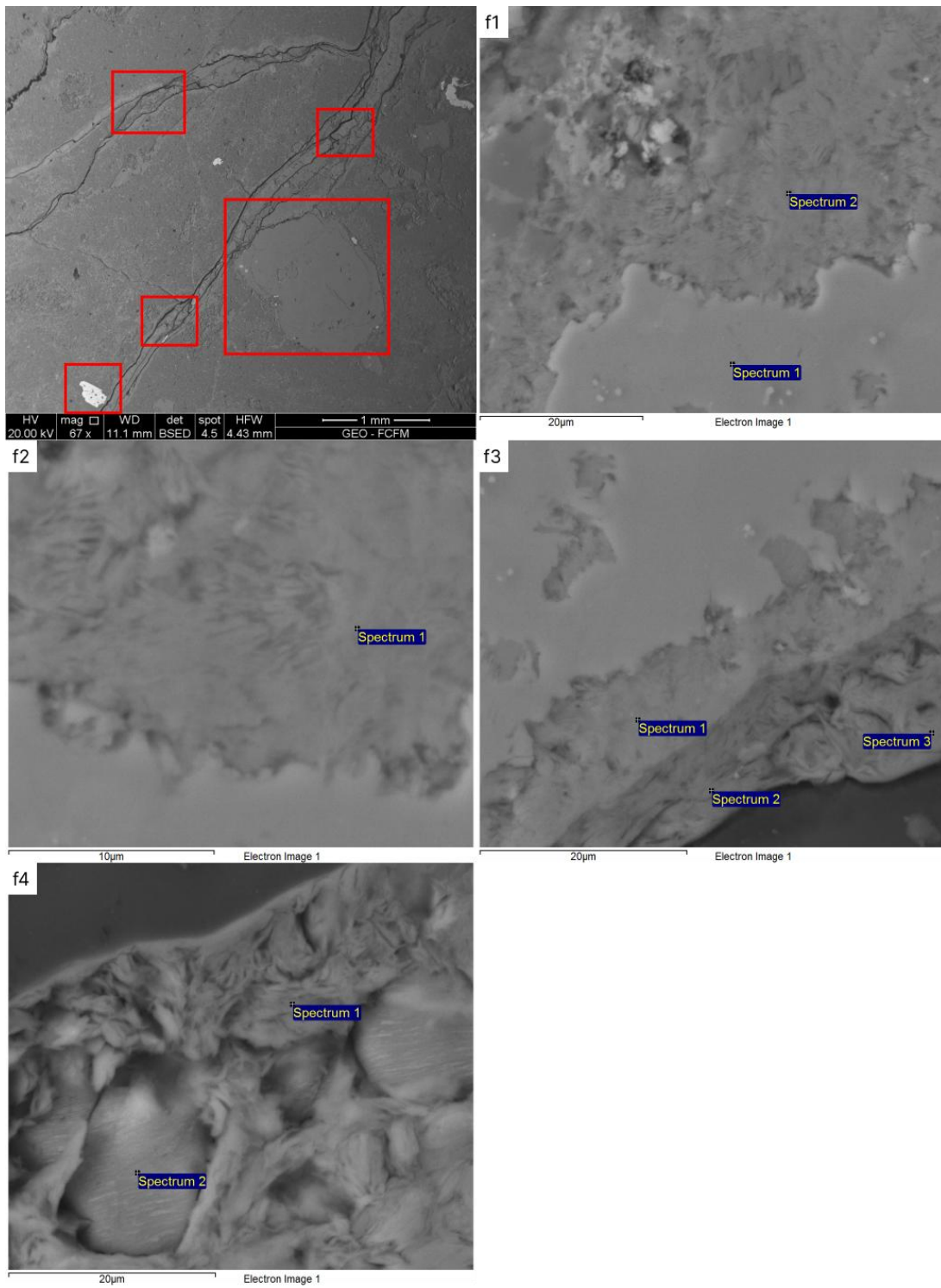


Figure 50: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB476, tomadas de la Zona 3, subzonas f1 – f4, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

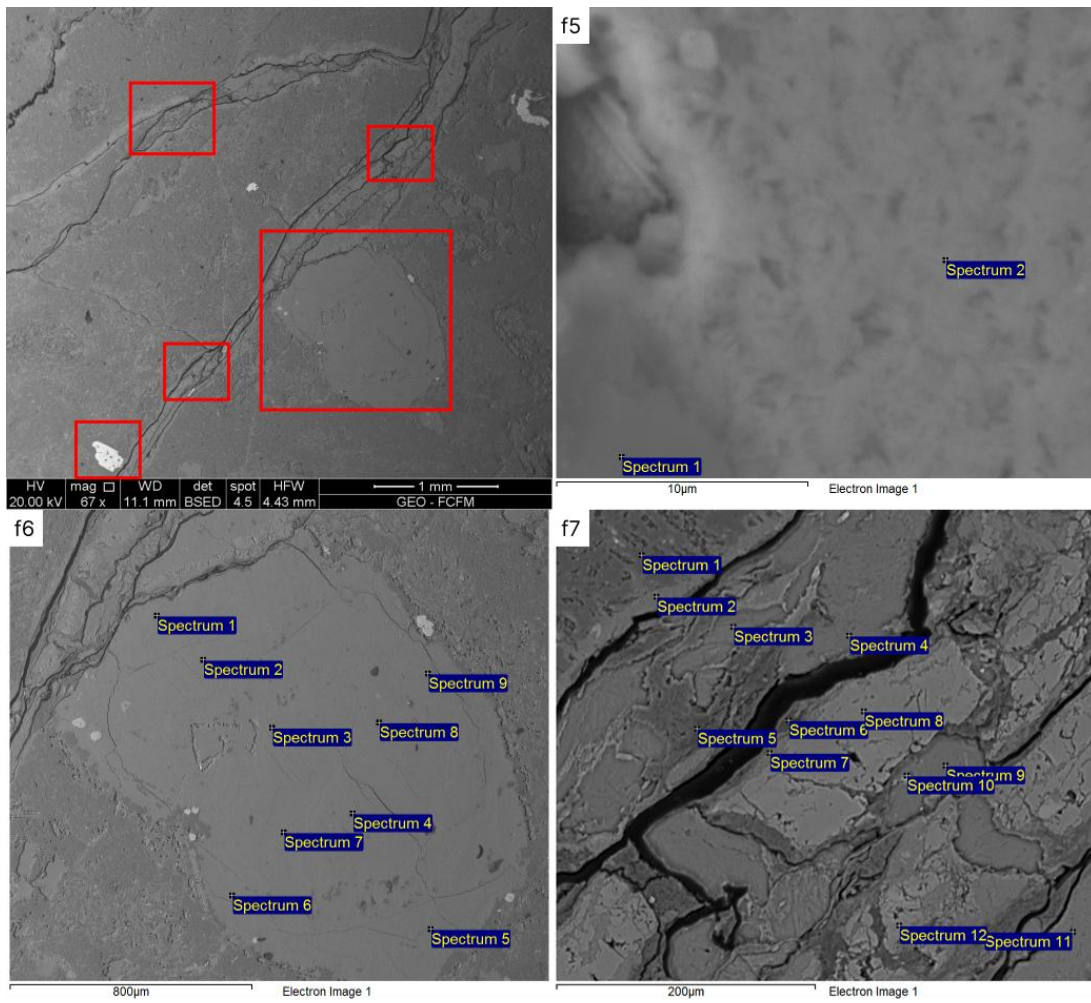


Figure 51: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB476, tomadas de la Zona 3, subzonas f5 –f7, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

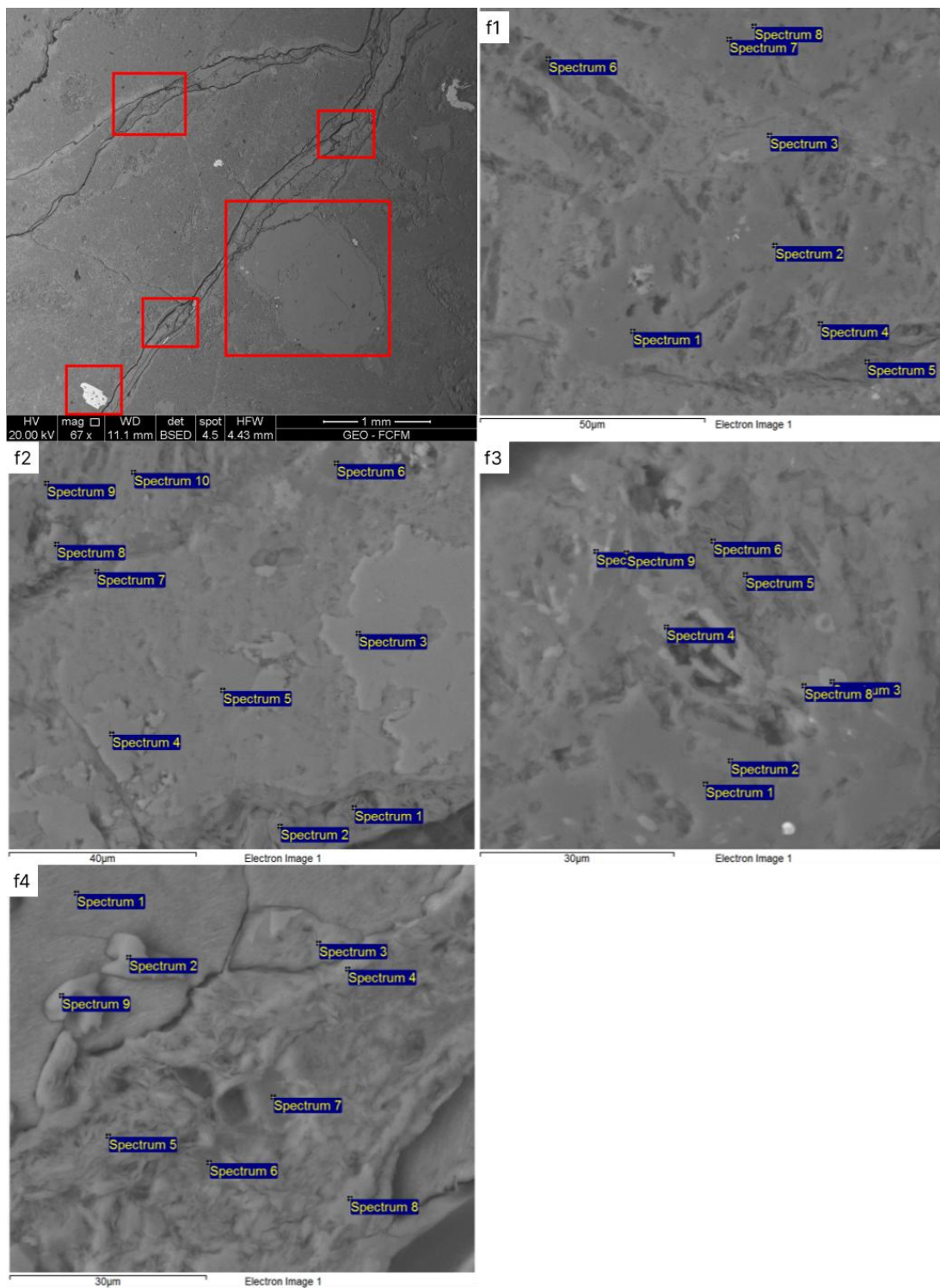


Figure 52: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB476, tomadas de la Zona 1i, subzonas f1 – f4, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

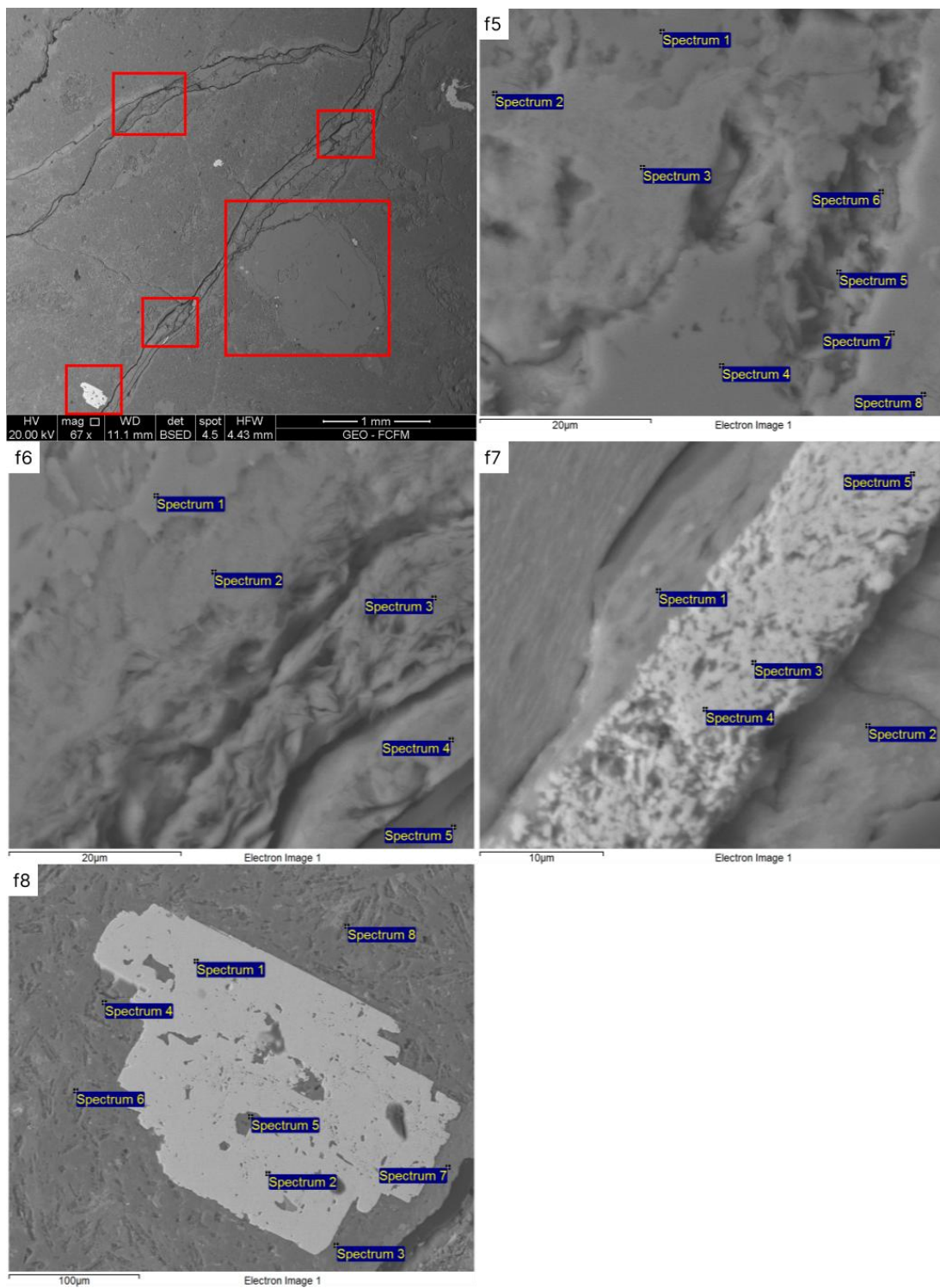


Figure 53: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB476, tomadas de la Zona 1i, subzonas f5 – f8, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

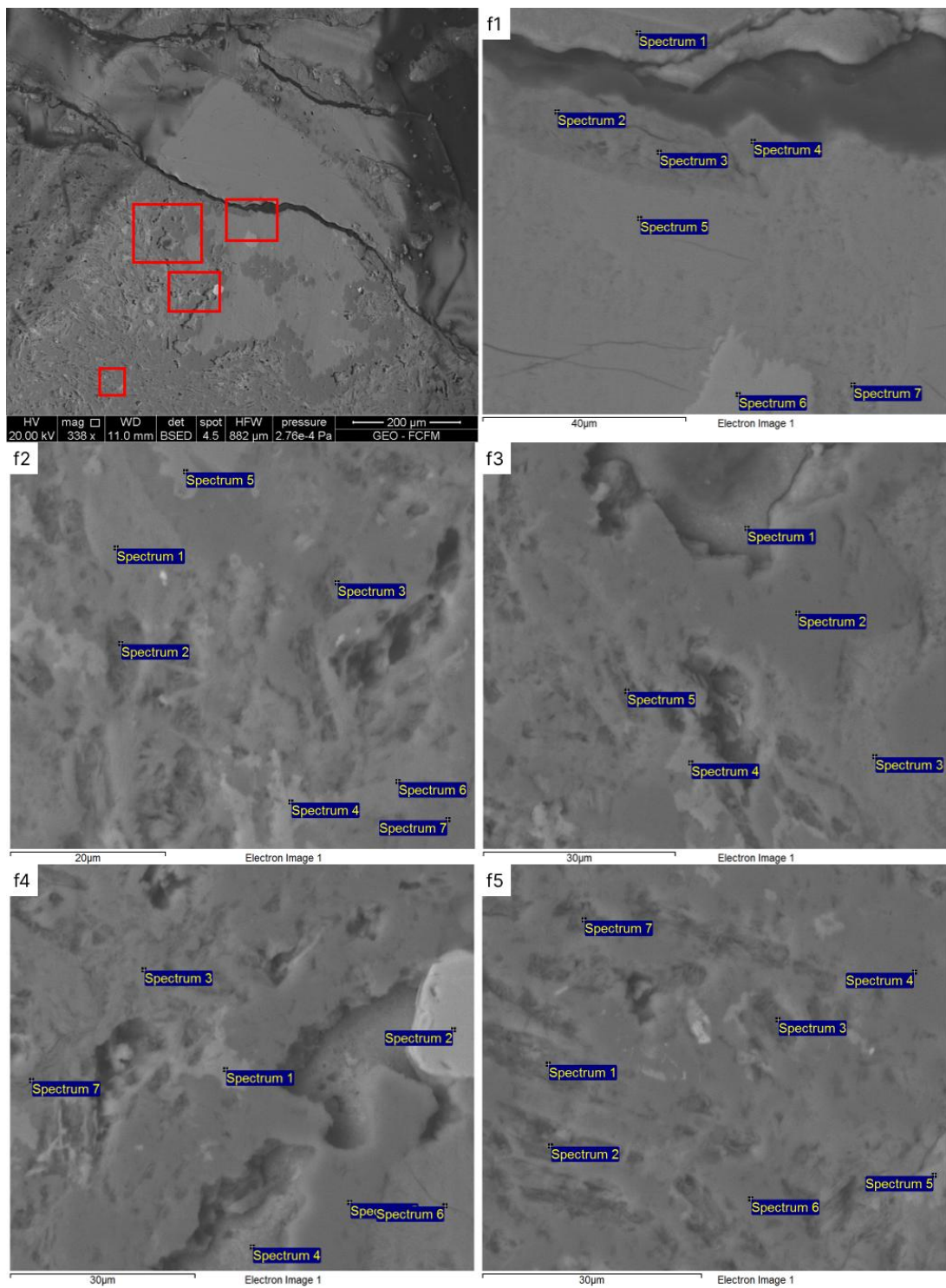


Figure 54: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB476, tomadas de la Zona 2i, subzonas f1 – f5, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

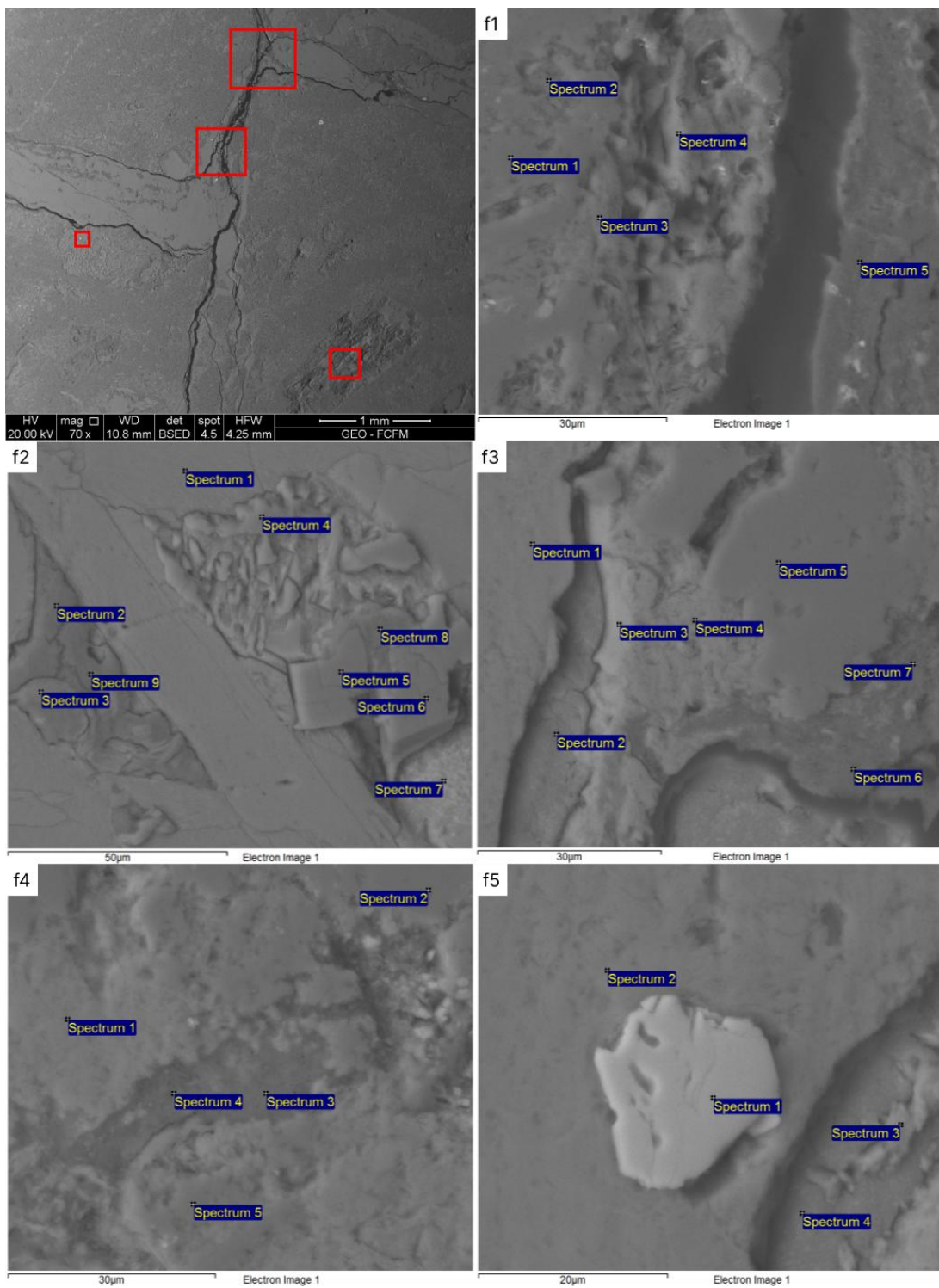


Figure 55: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB476, tomadas de la Zona 3i, subzonas f1 – f5, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

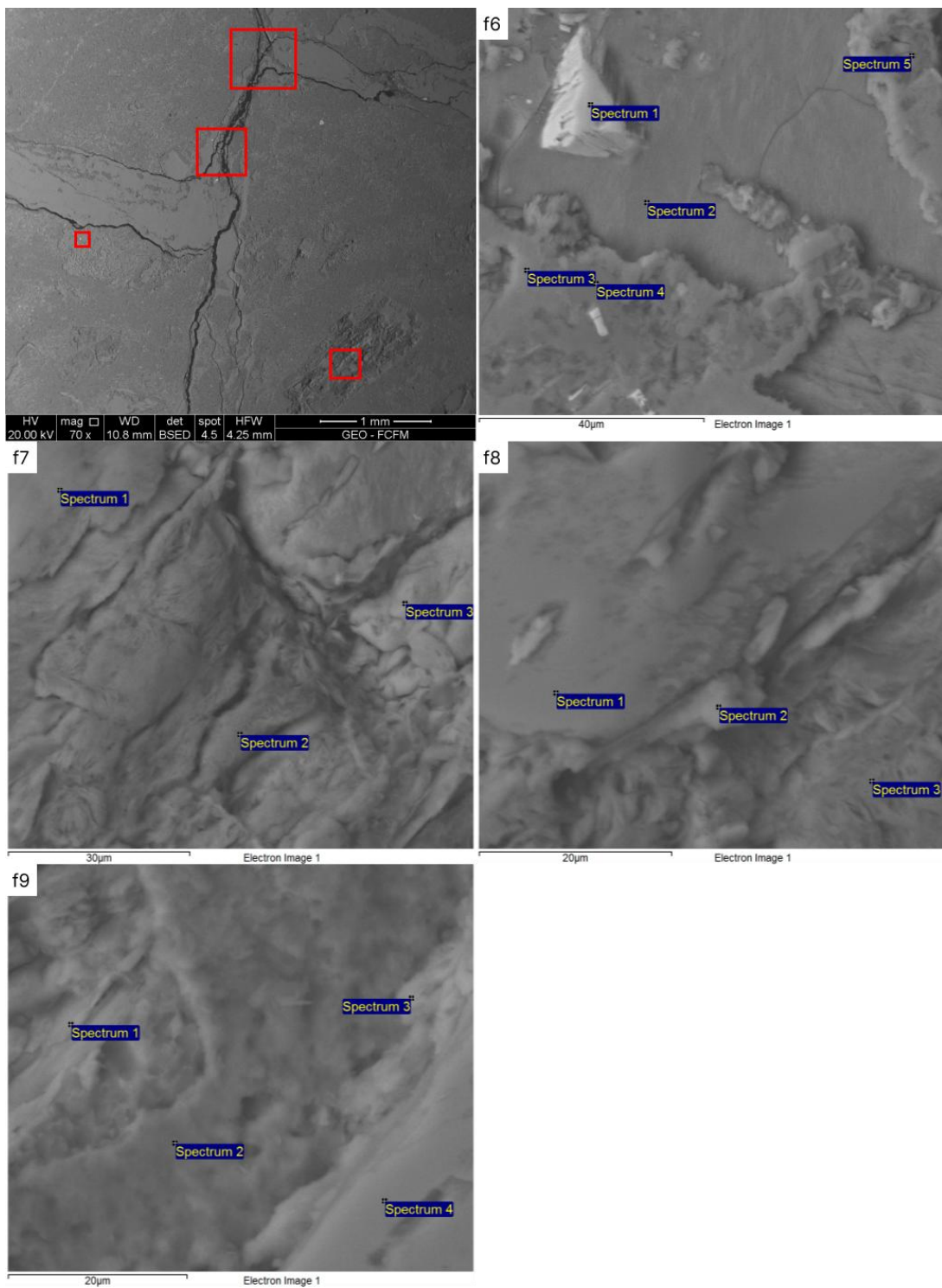


Figure 56: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB476, tomadas de la Zona 3i, subzonas f6 – f9, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

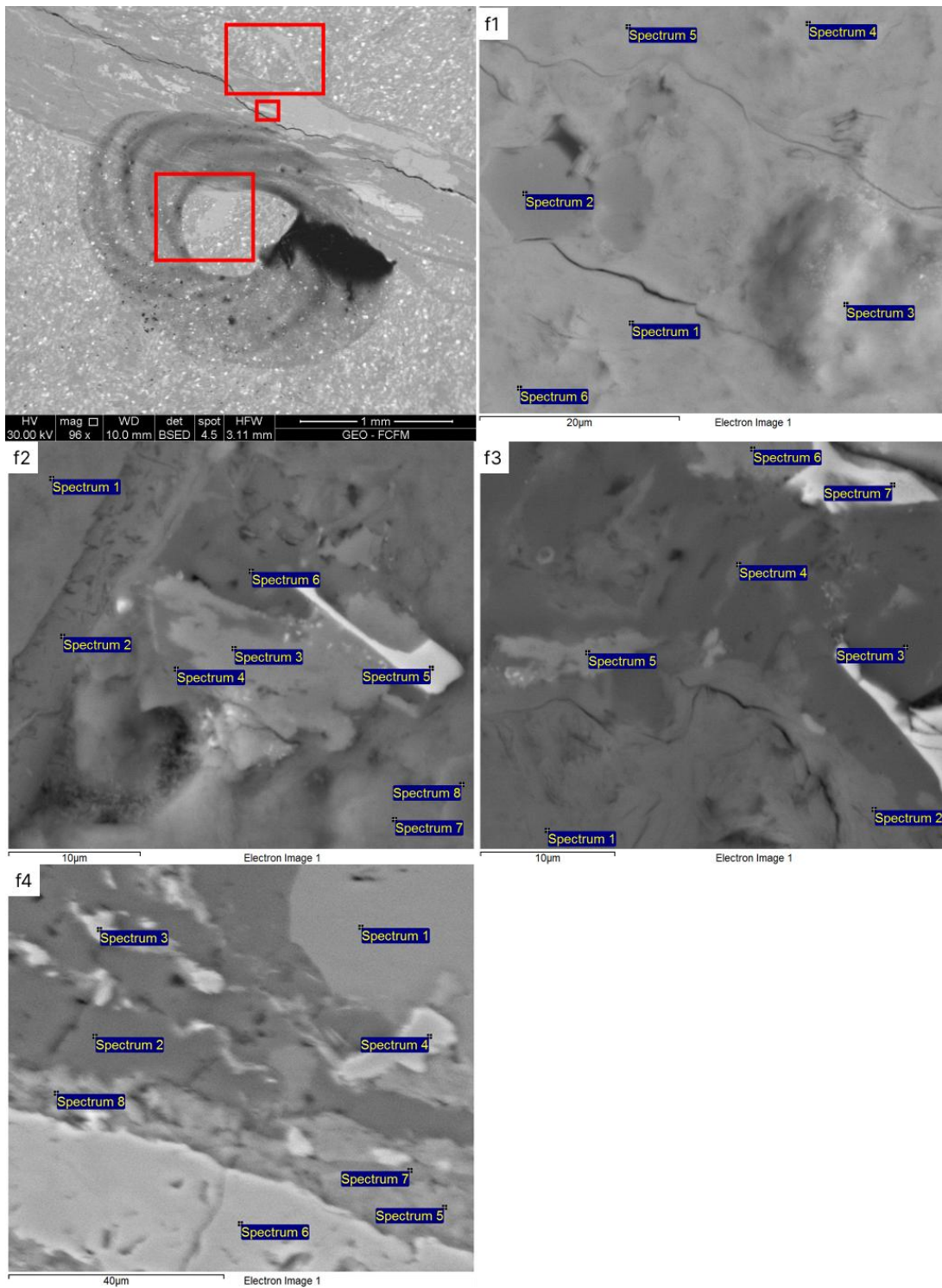


Figure 57: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB579, tomadas de la Zona 1, subzonas f1 – f4, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

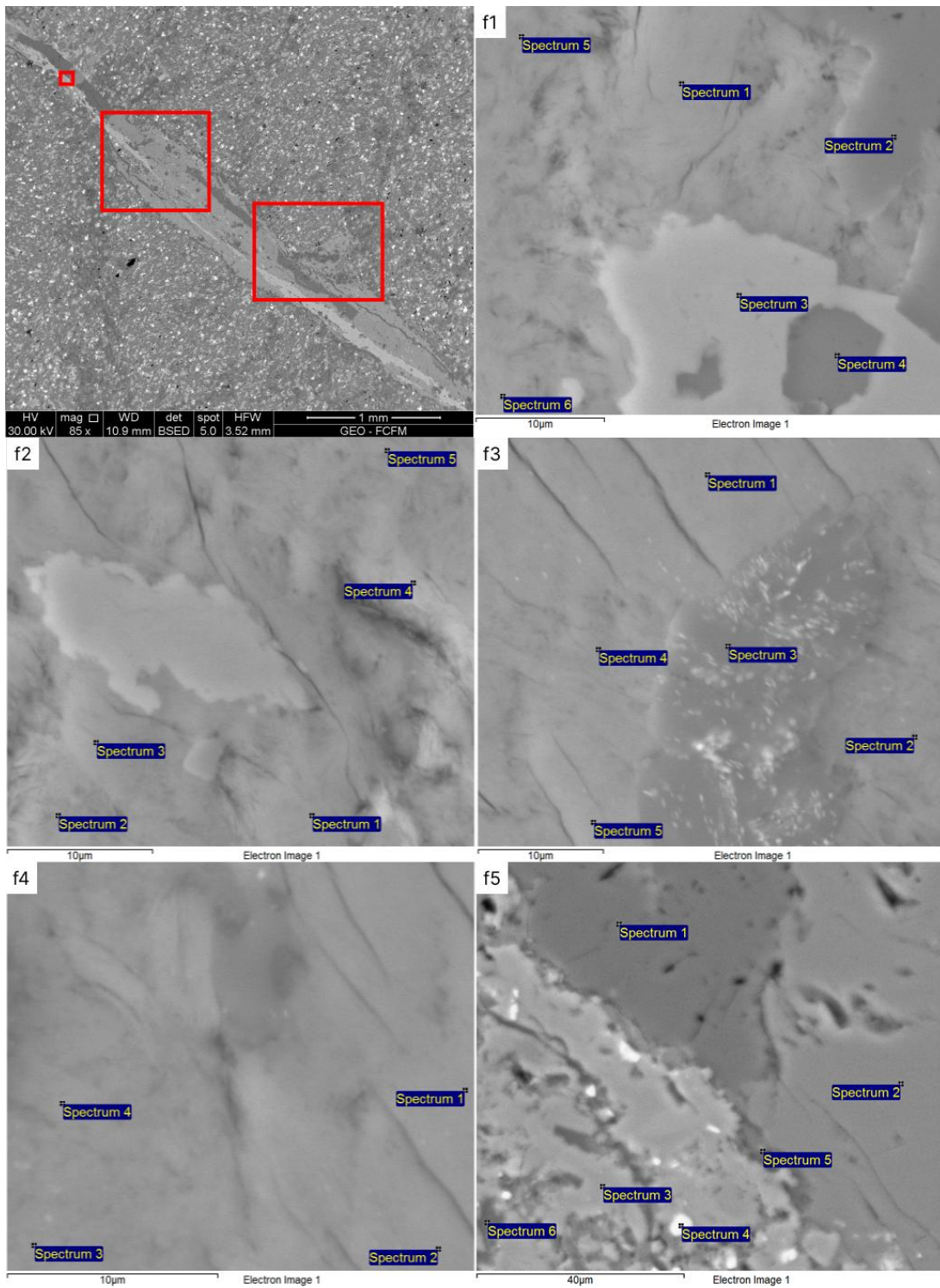


Figure 58: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB579, tomadas de la Zona 2, subzonas f1 – f5, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

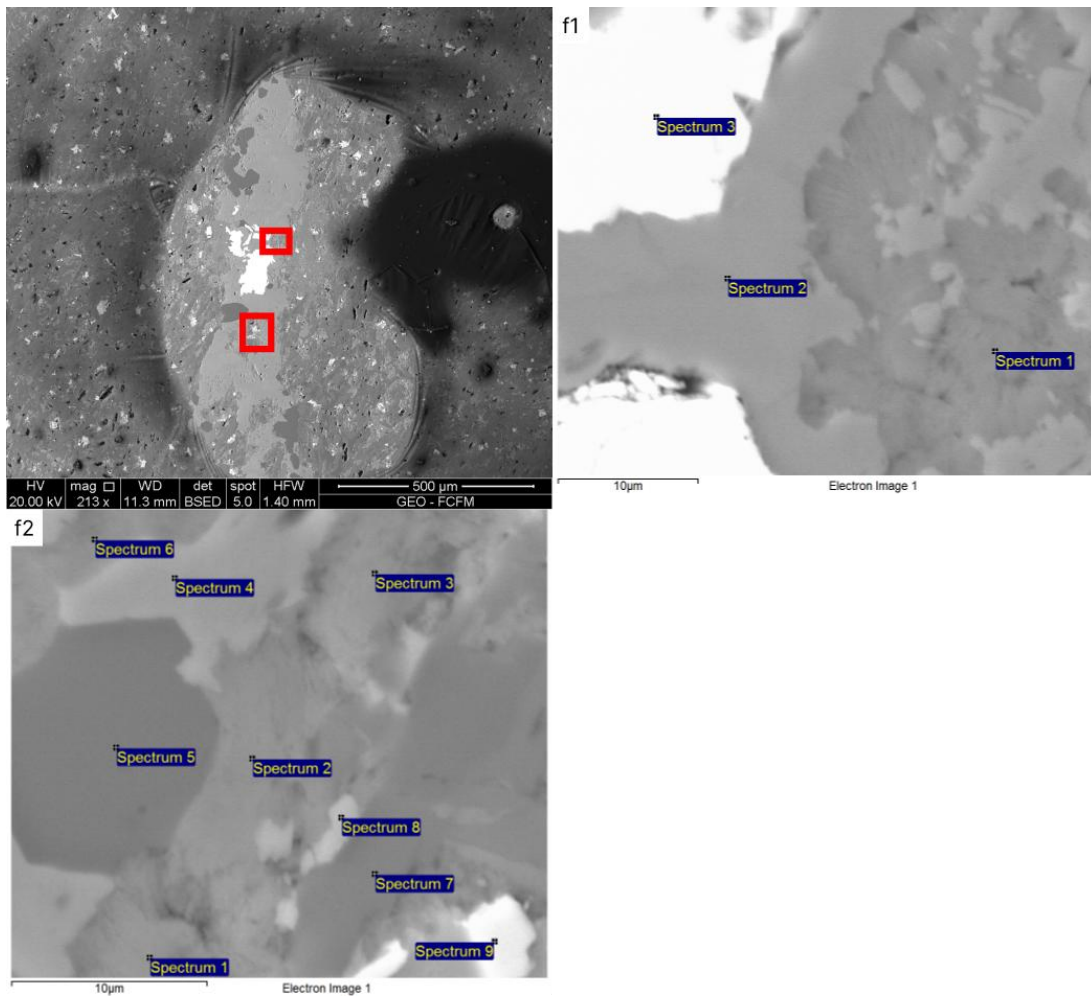


Figure 59: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB579, tomadas de la Zona 3, subzonas f1 – f2, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

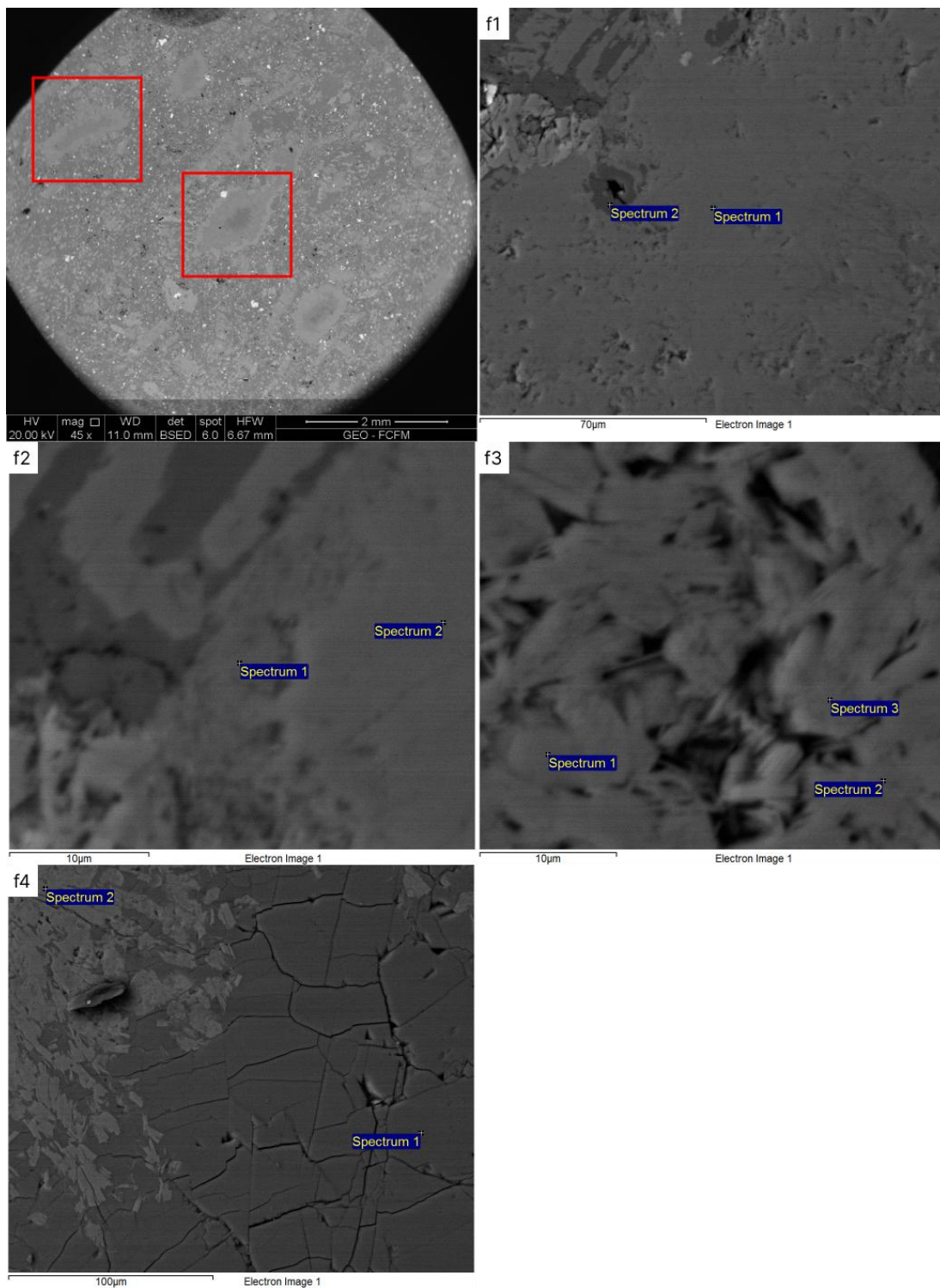


Figure 60: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB745, tomadas de la Zona 1, subzonas f1 – f4, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

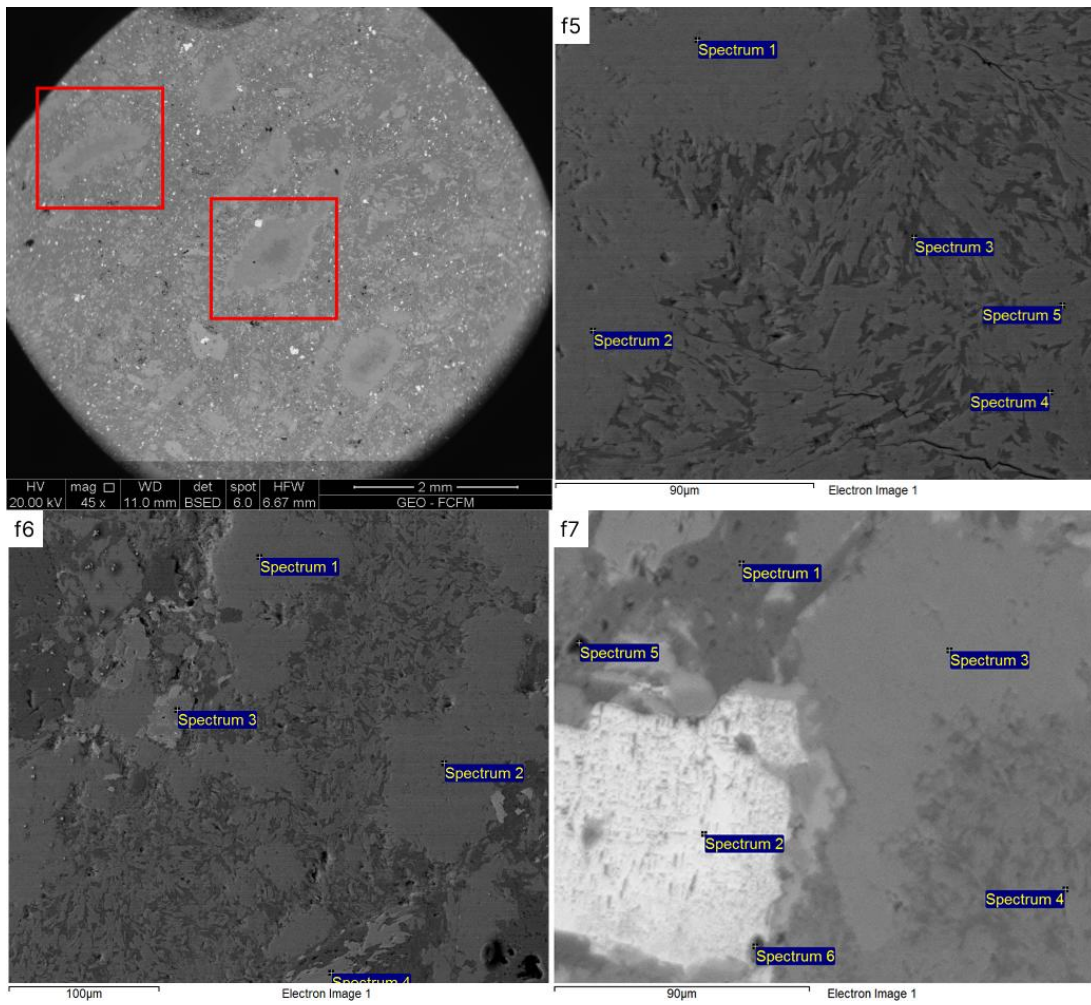


Figure 61: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB745, tomadas de la Zona 1, subzonas f5 –f7, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

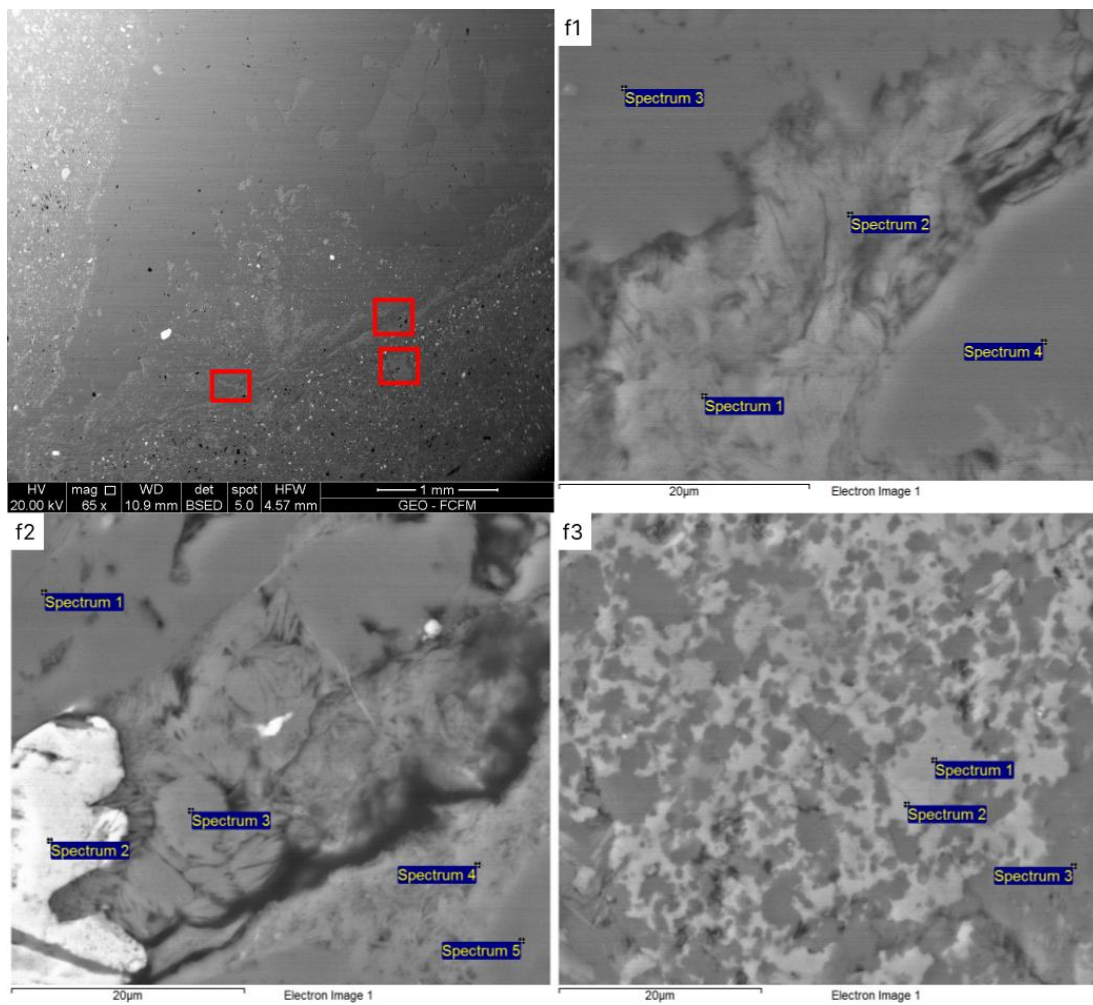


Figure 62: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB763, tomadas de la Zona 1, subzonas f1 –f3, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

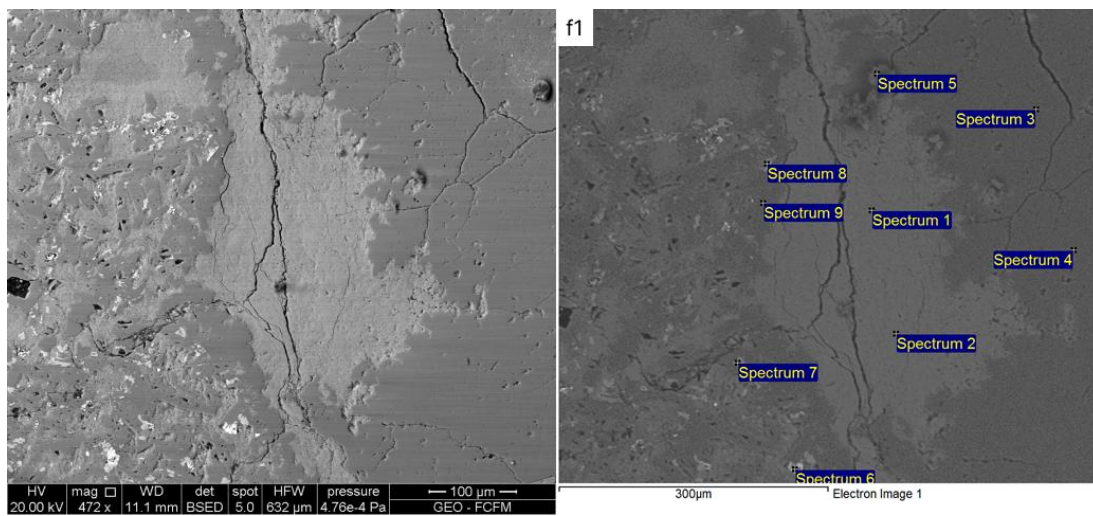


Figure 63: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB763, tomadas de la Zona 2, subzonas f1, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

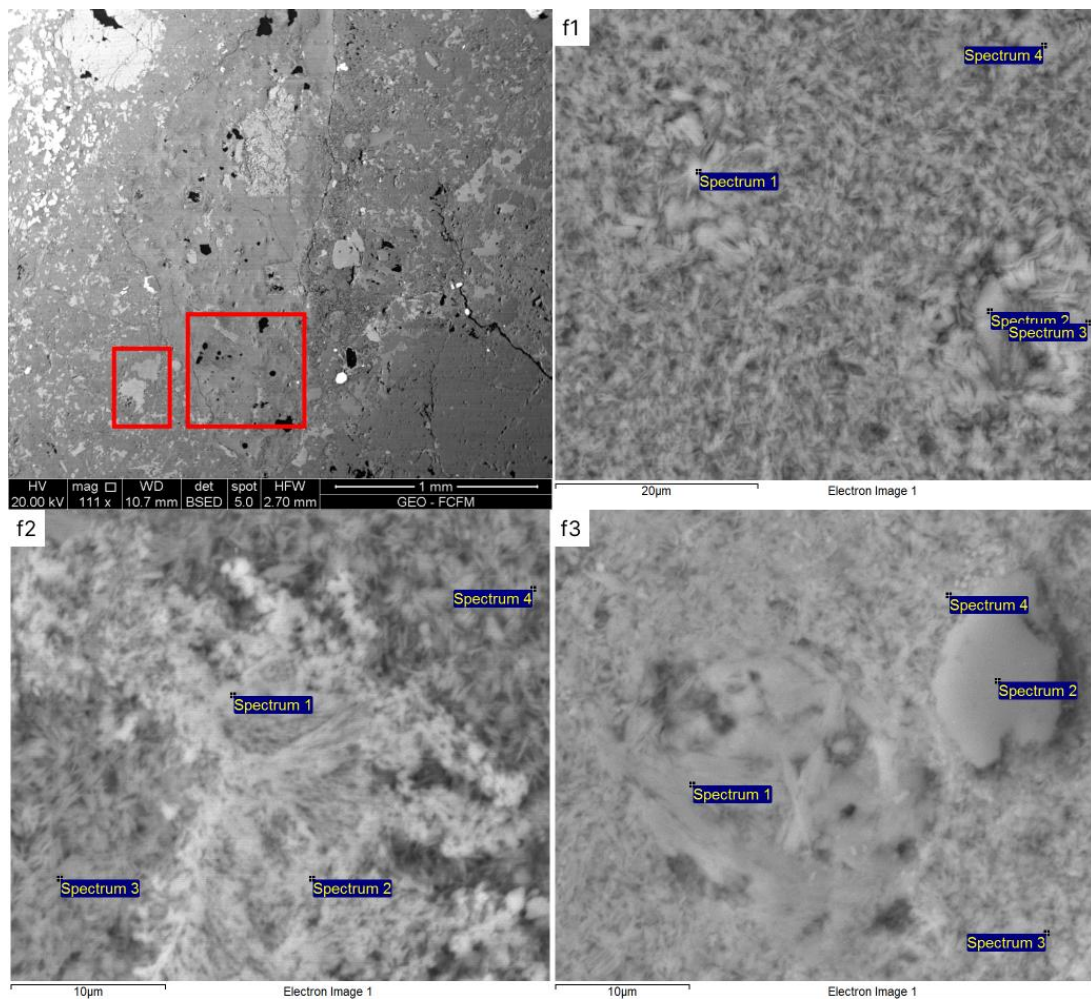


Figure 64: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB833, tomadas de la Zona 1, subzonas f1 –f3, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

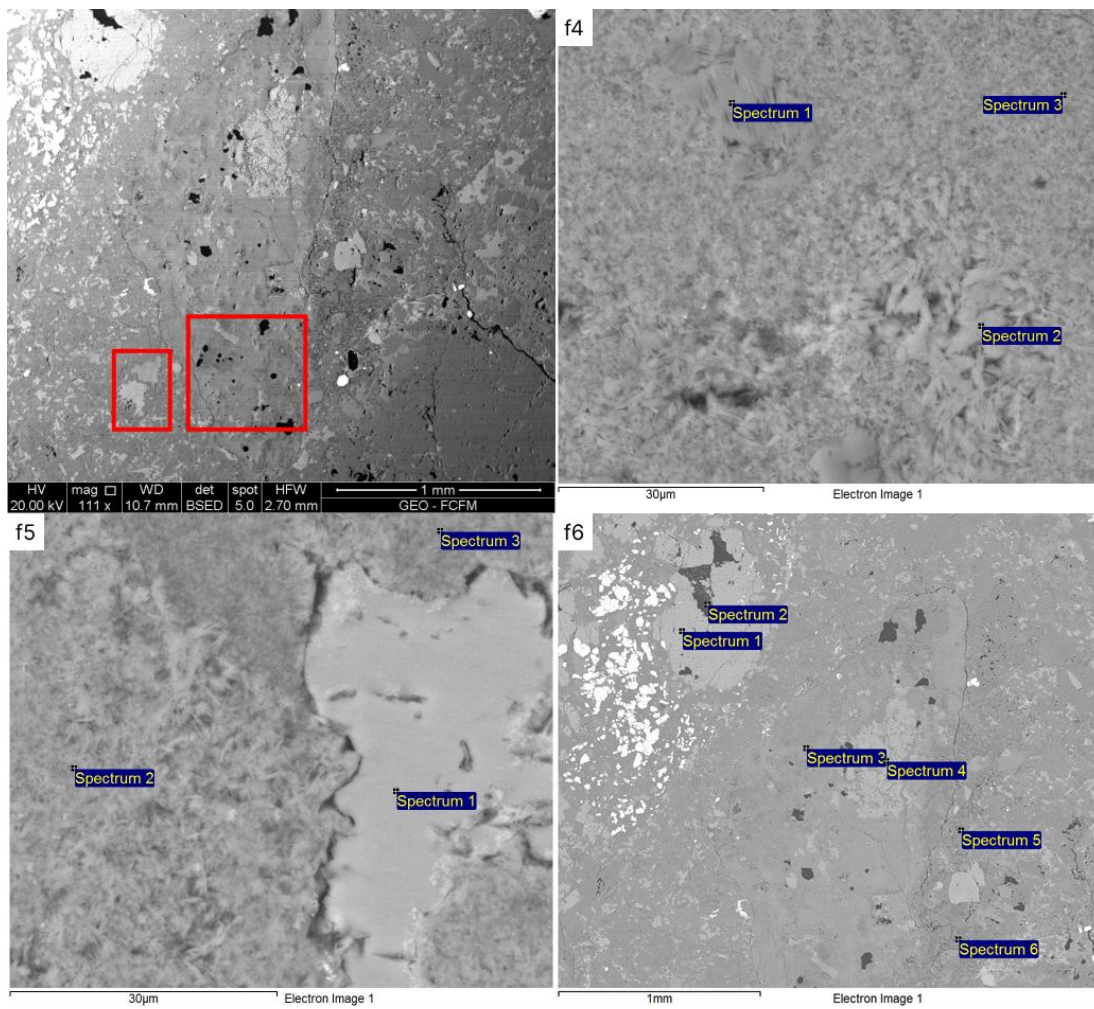


Figure 65: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB833, tomadas de la Zona 1, subzonas f4 – f6, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

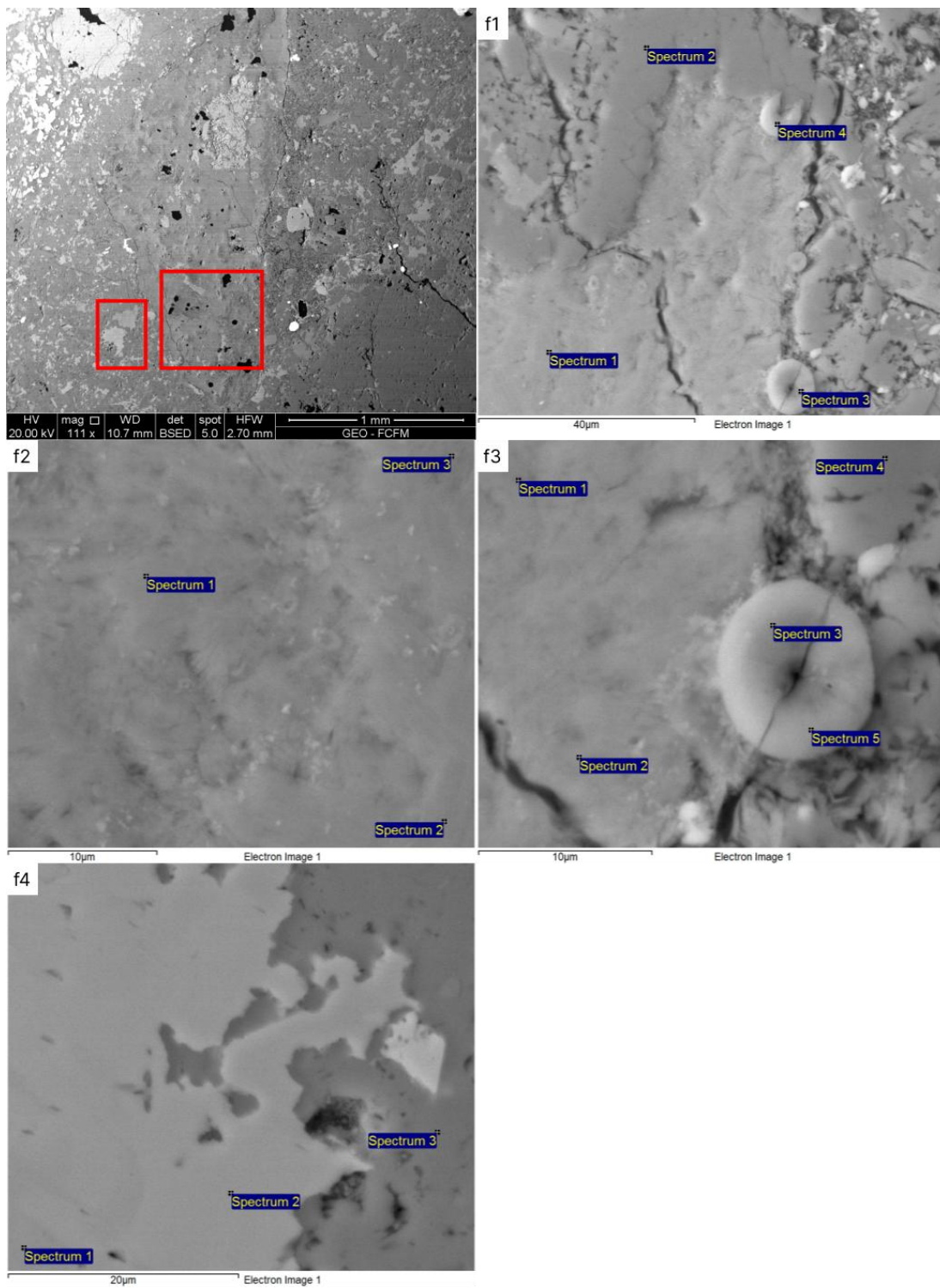


Figure 66: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB833, tomadas de la Zona 2, subzonas f1 – f4, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

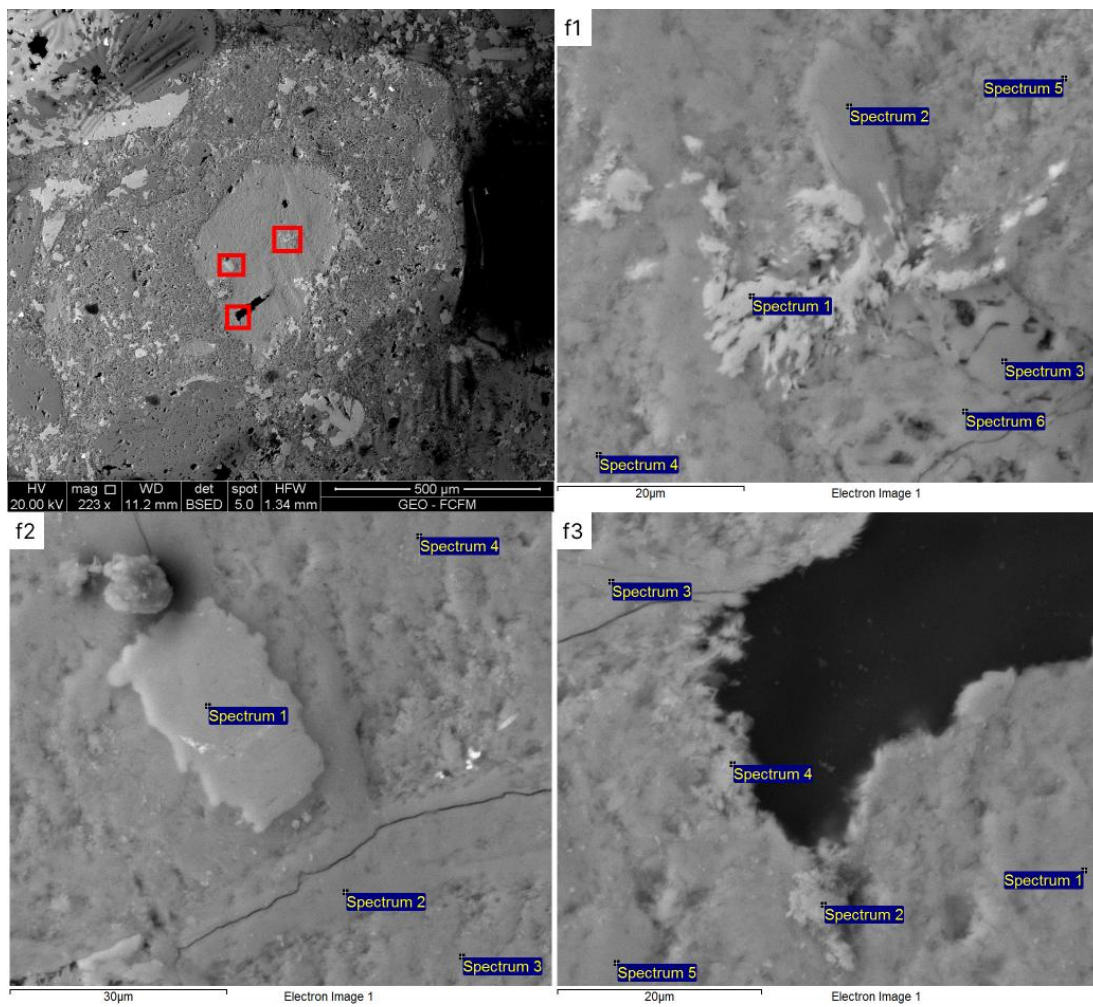


Figure 67: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB833, tomadas de la Zona 3, subzonas f1 – f3, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

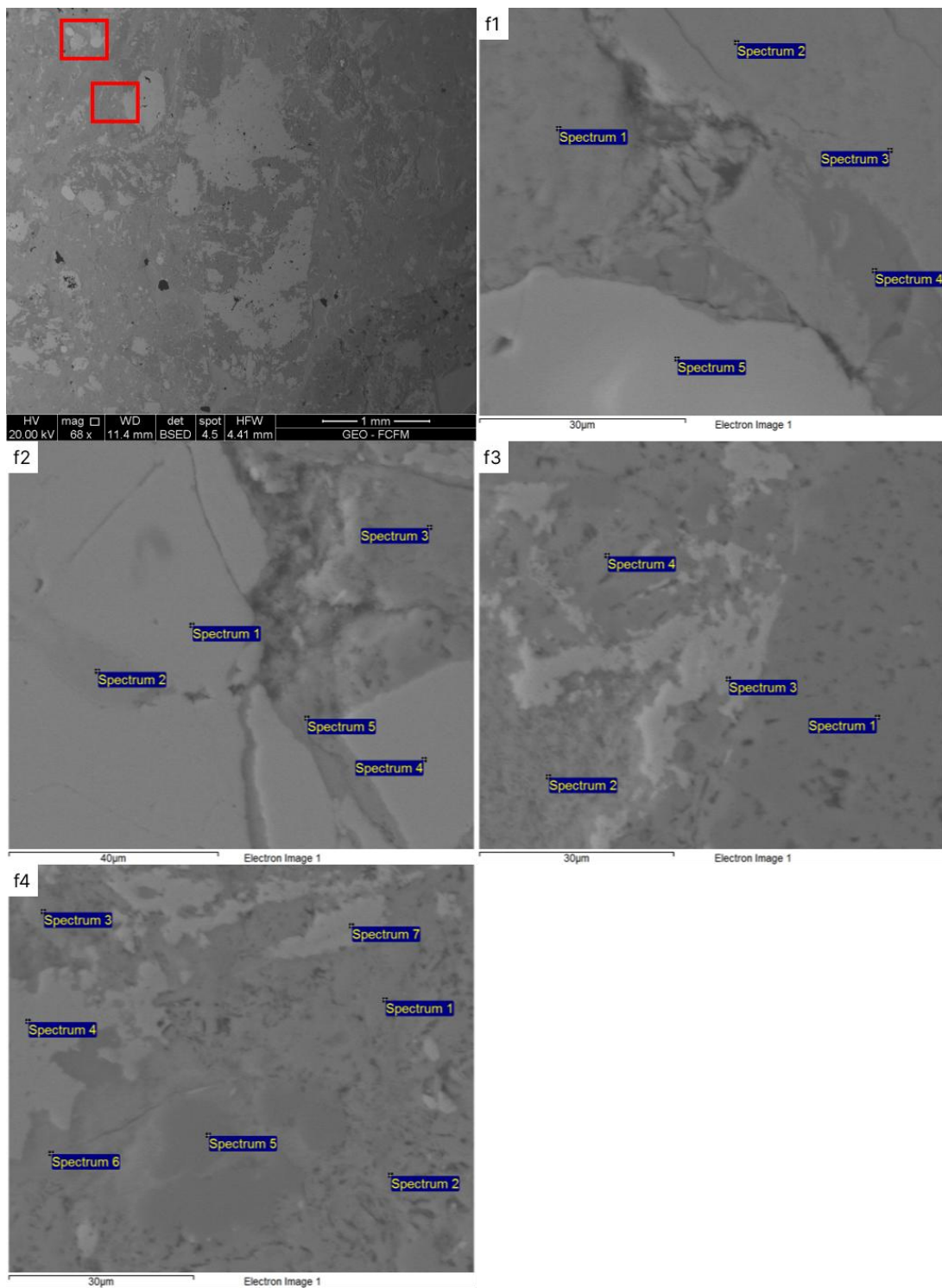


Figure 68: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB833, tomadas de la Zona 1i, subzonas f1 – f4, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

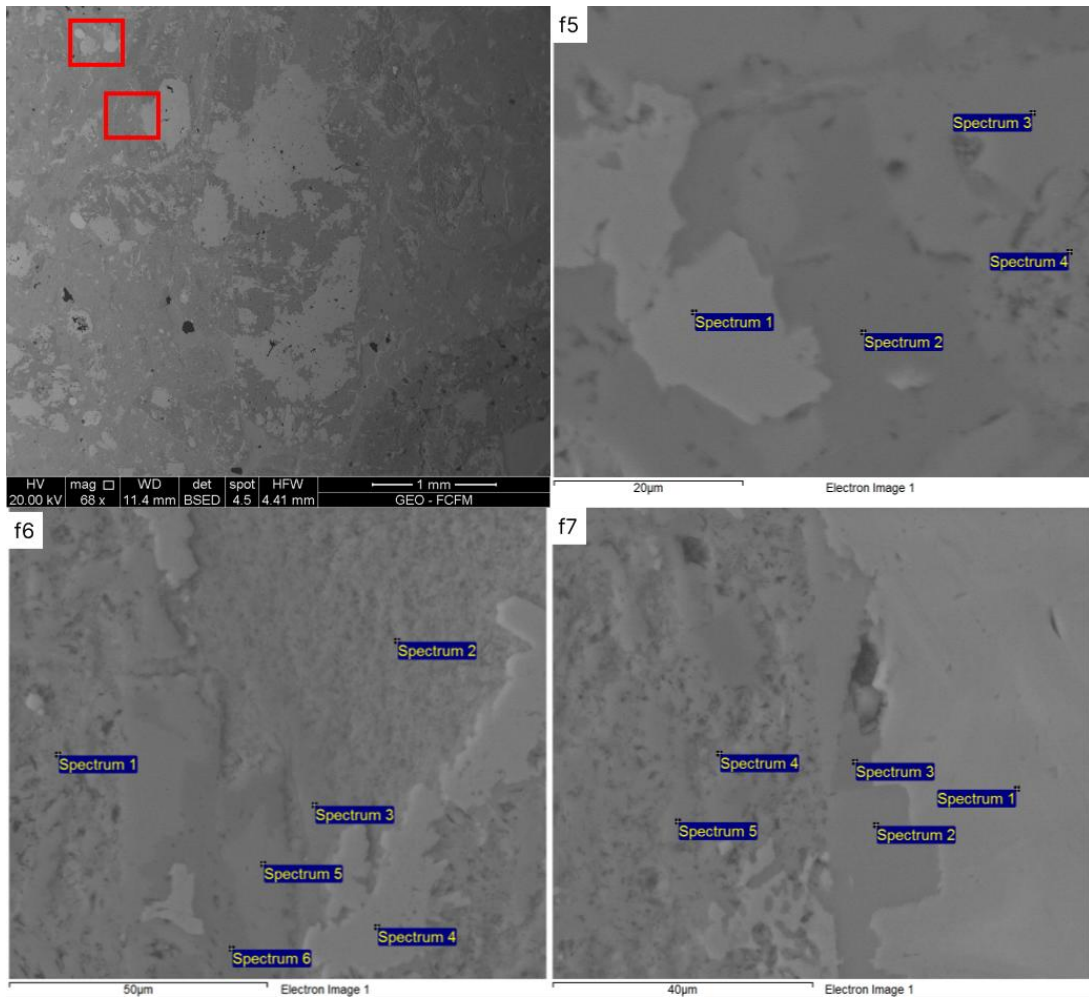


Figure 69: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB833, tomadas de la Zona 1i, subzonas f5 – f7, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

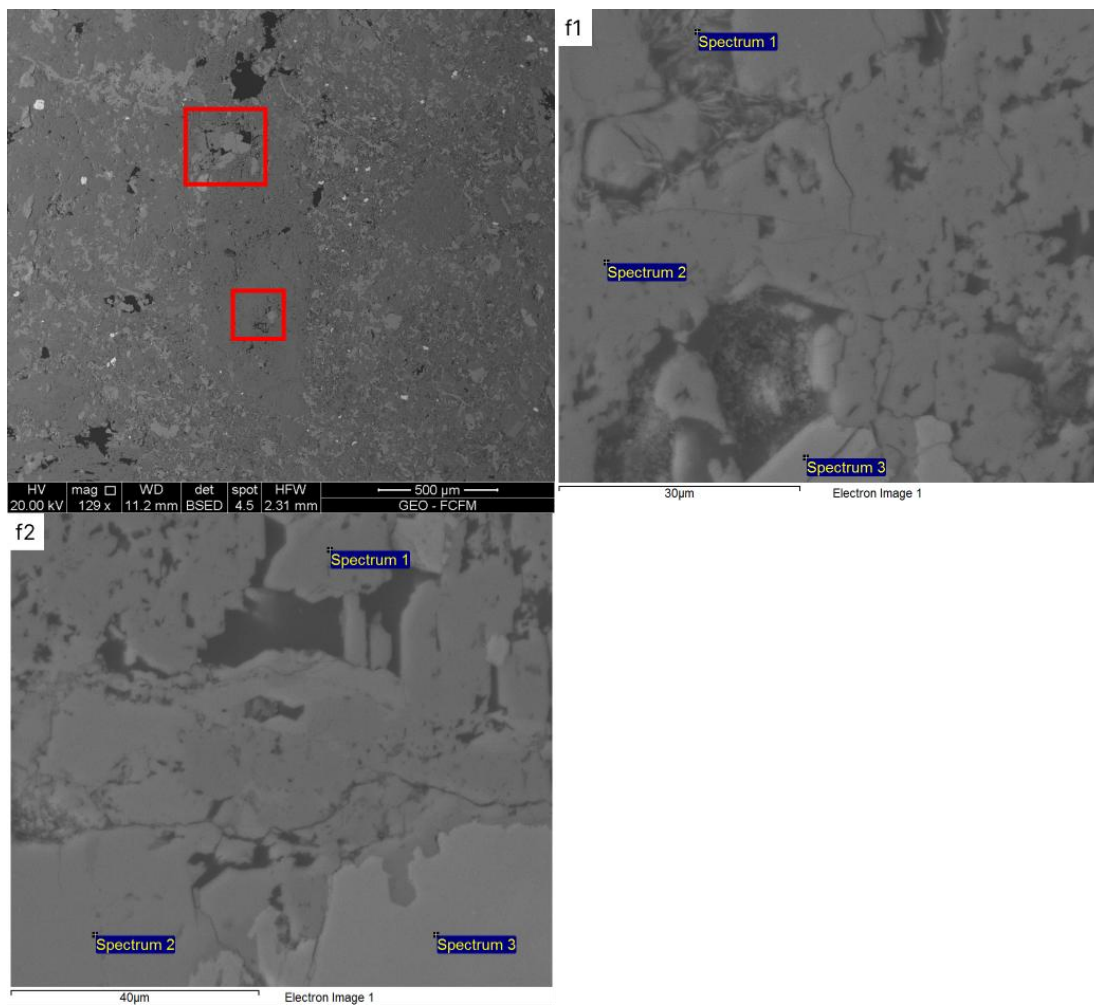


Figure 70: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB833, tomadas de la Zona 2i, subzonas f1 – f2, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

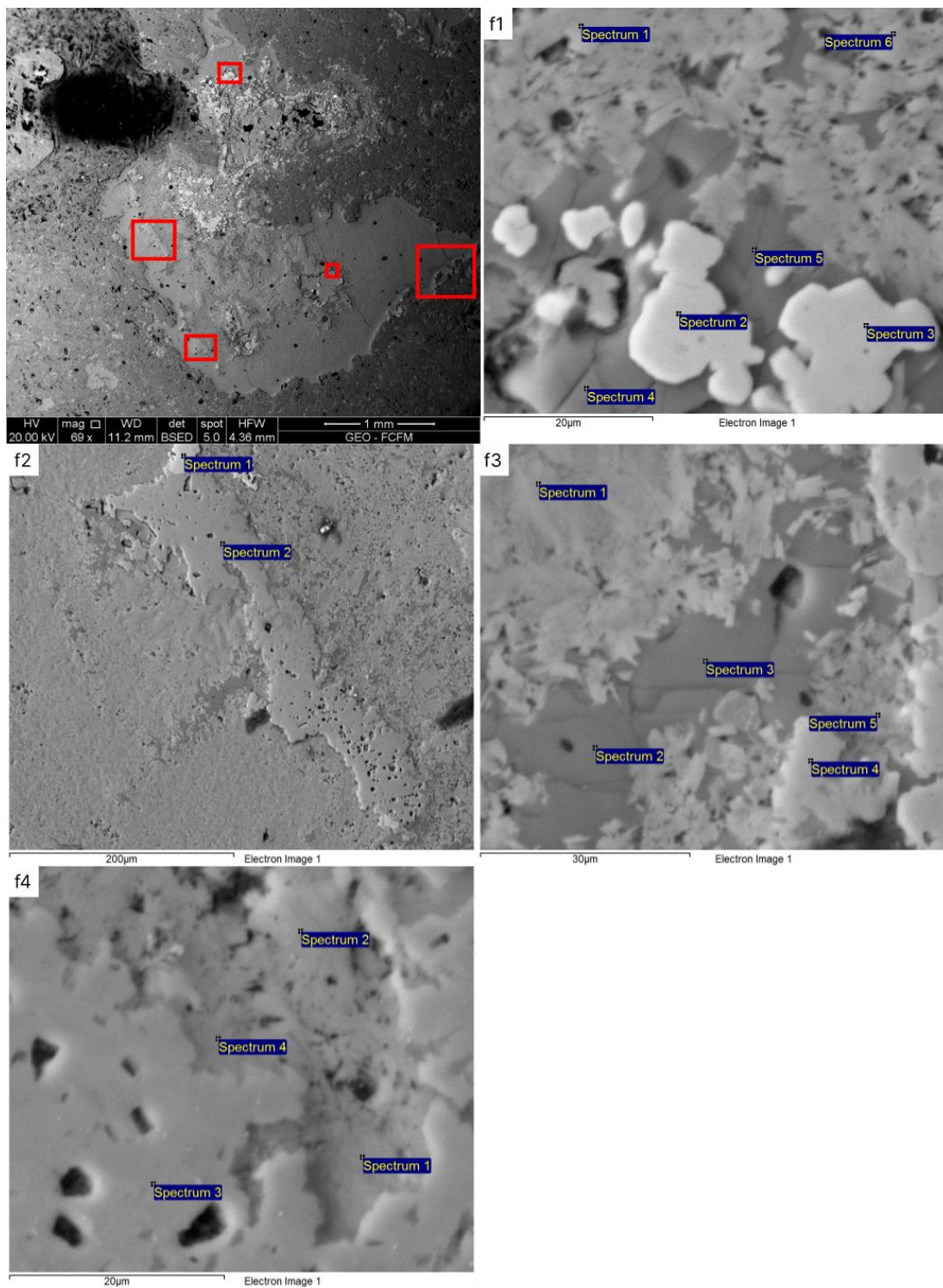


Figure 71: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB935, tomadas de la Zona 1, subzonas f1 – f4, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

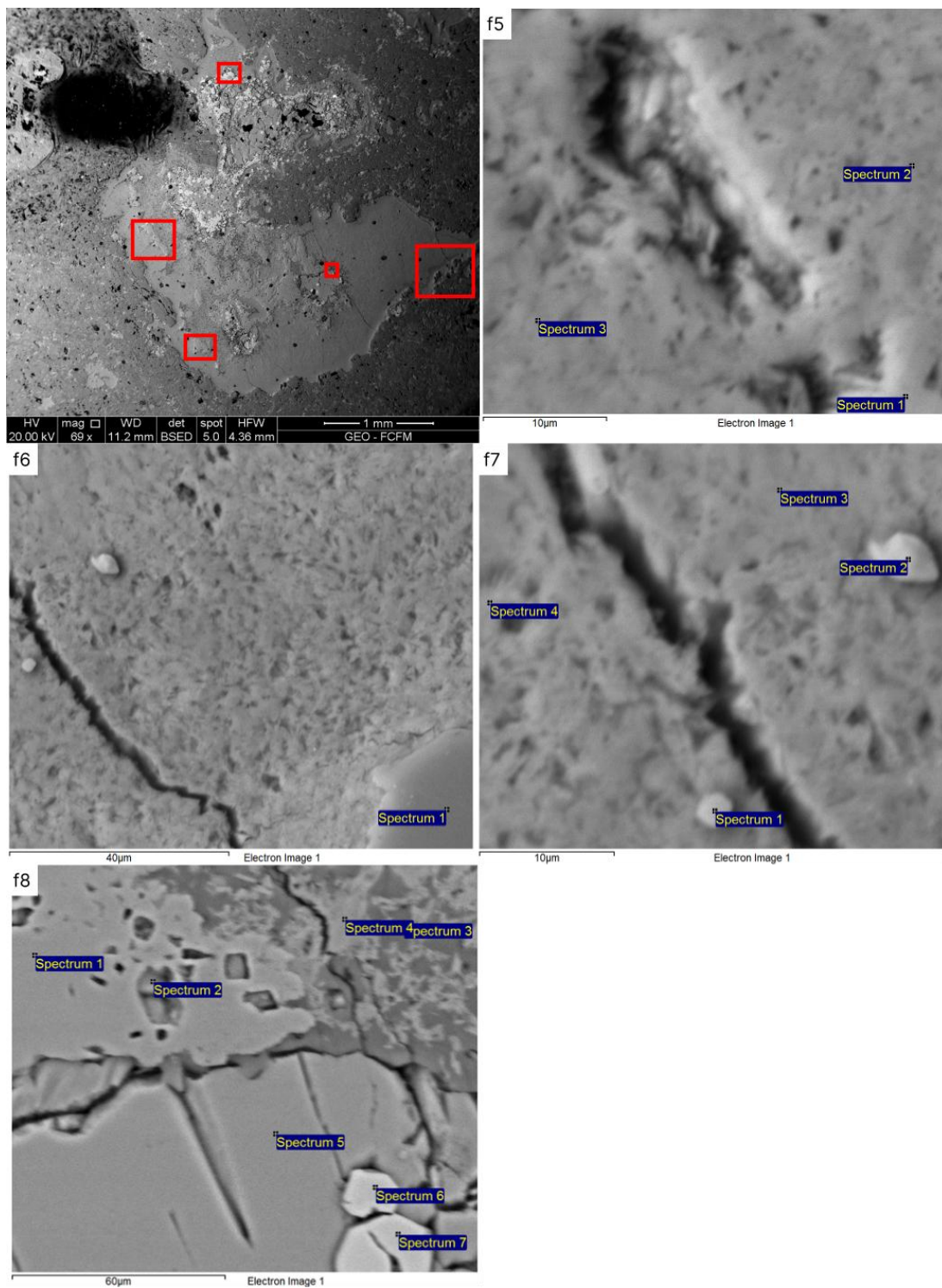


Figure 72: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB935, tomadas de la Zona 1, subzonas f5 – f8, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

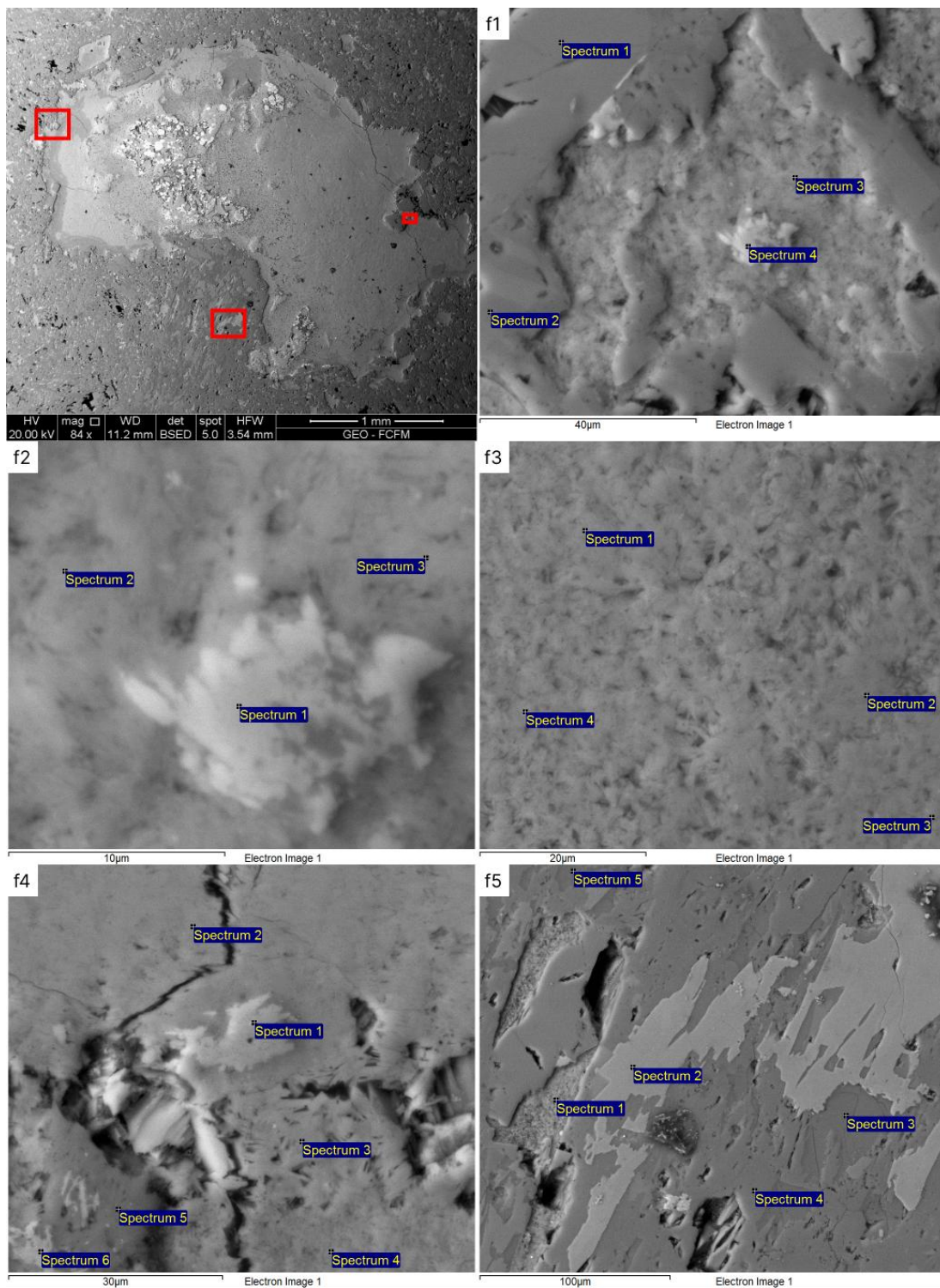


Figure 73: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB935, tomadas de la Zona 2, subzonas f1 – f5, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

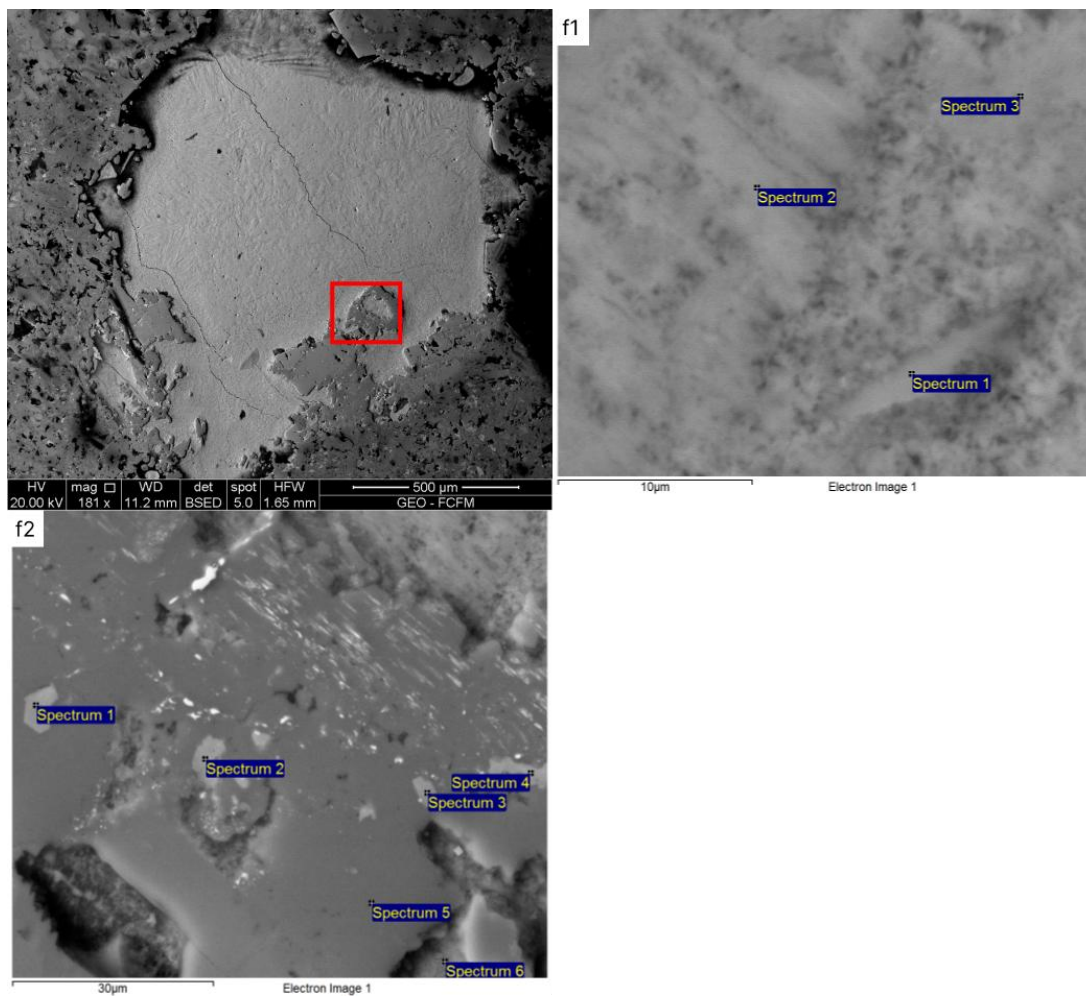


Figure 74: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB935, tomadas de la Zona 3, subzonas f1 – f2, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

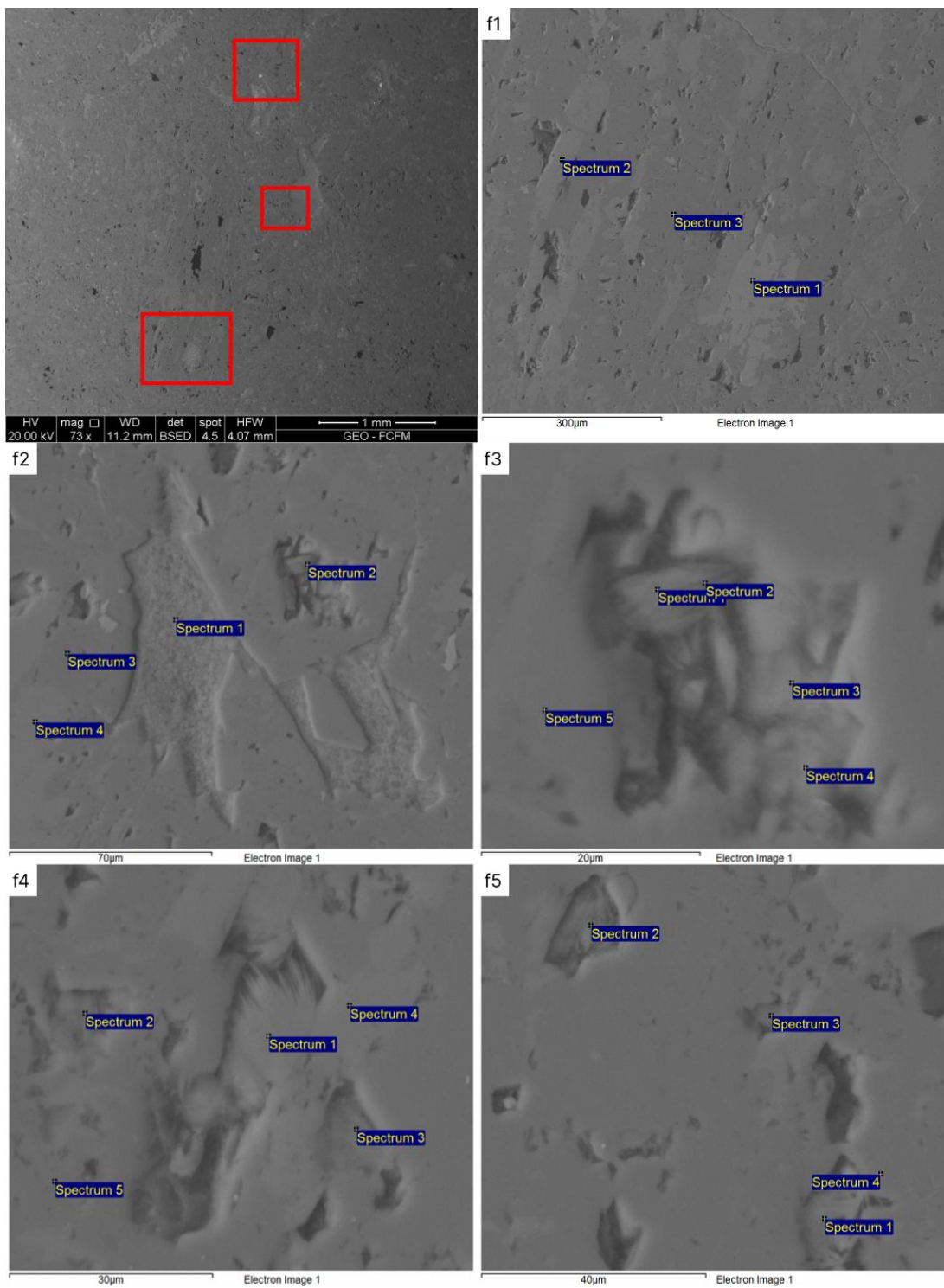


Figure 75: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB935, tomadas de la Zona 1i, subzonas f1 – f5, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

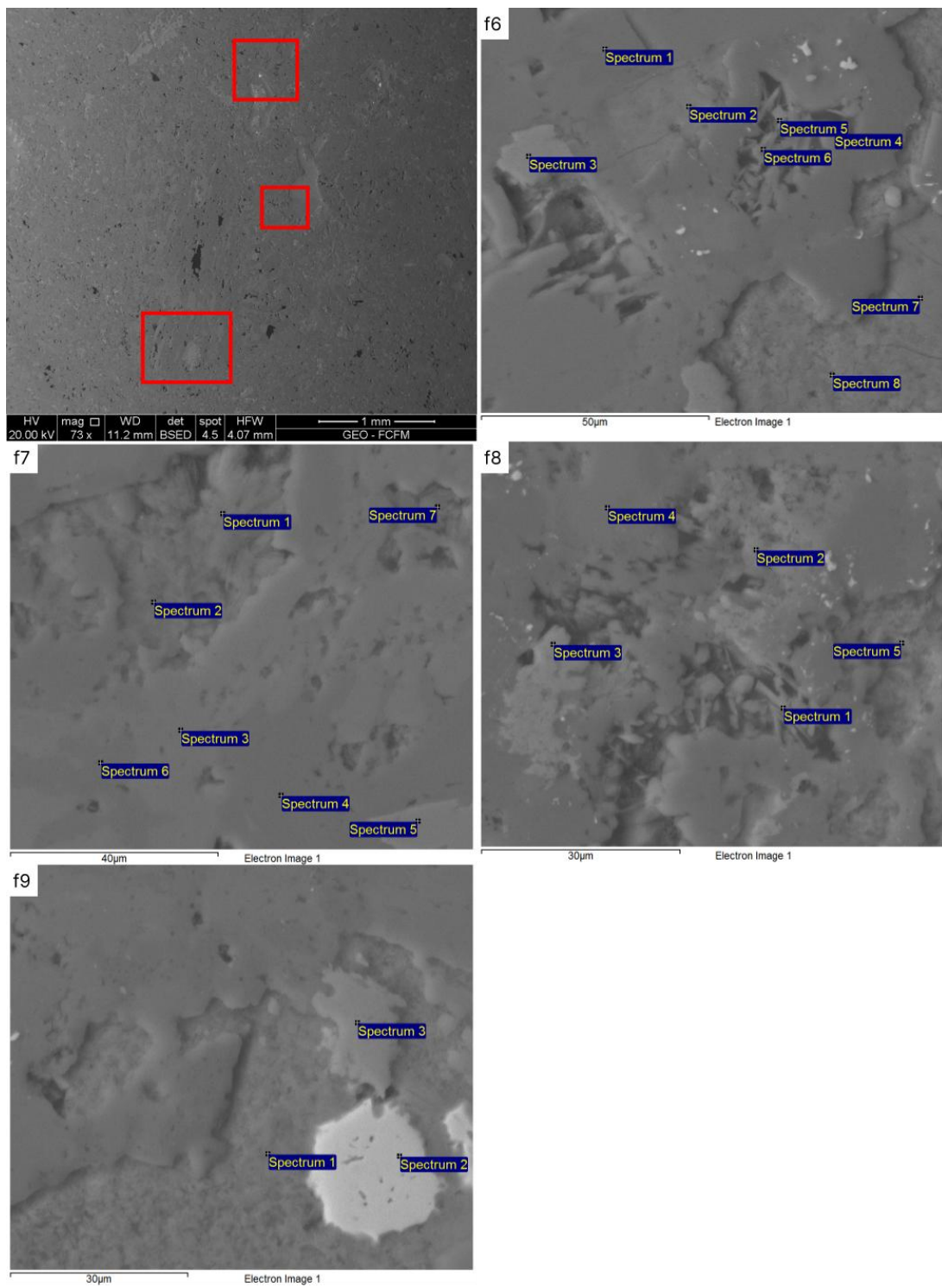


Figure 76: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB935, tomadas de la Zona 1i, subzonas f6 – f9, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

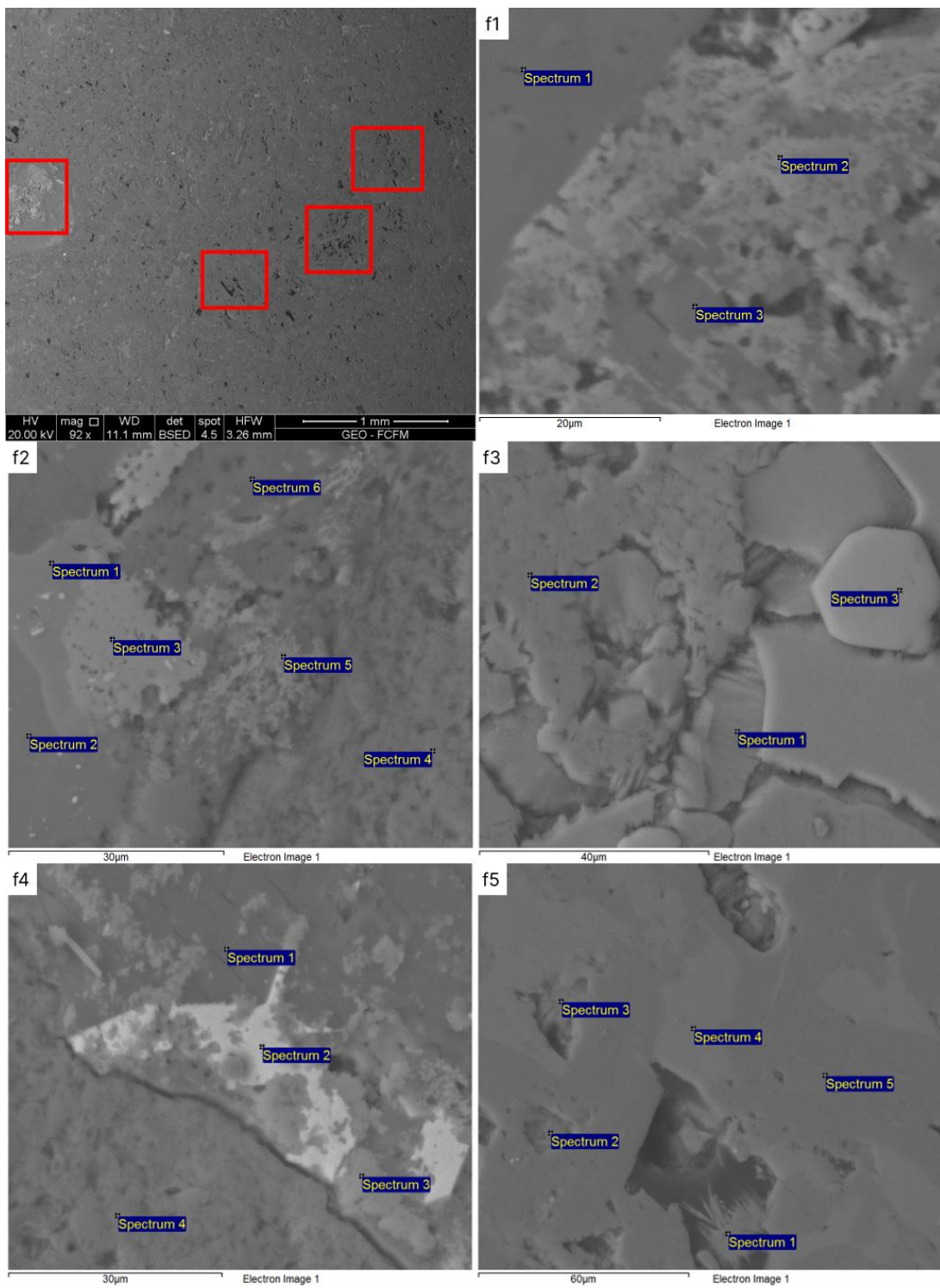


Figure 77: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB935, tomadas de la Zona 2i, subzonas f1 – f5, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

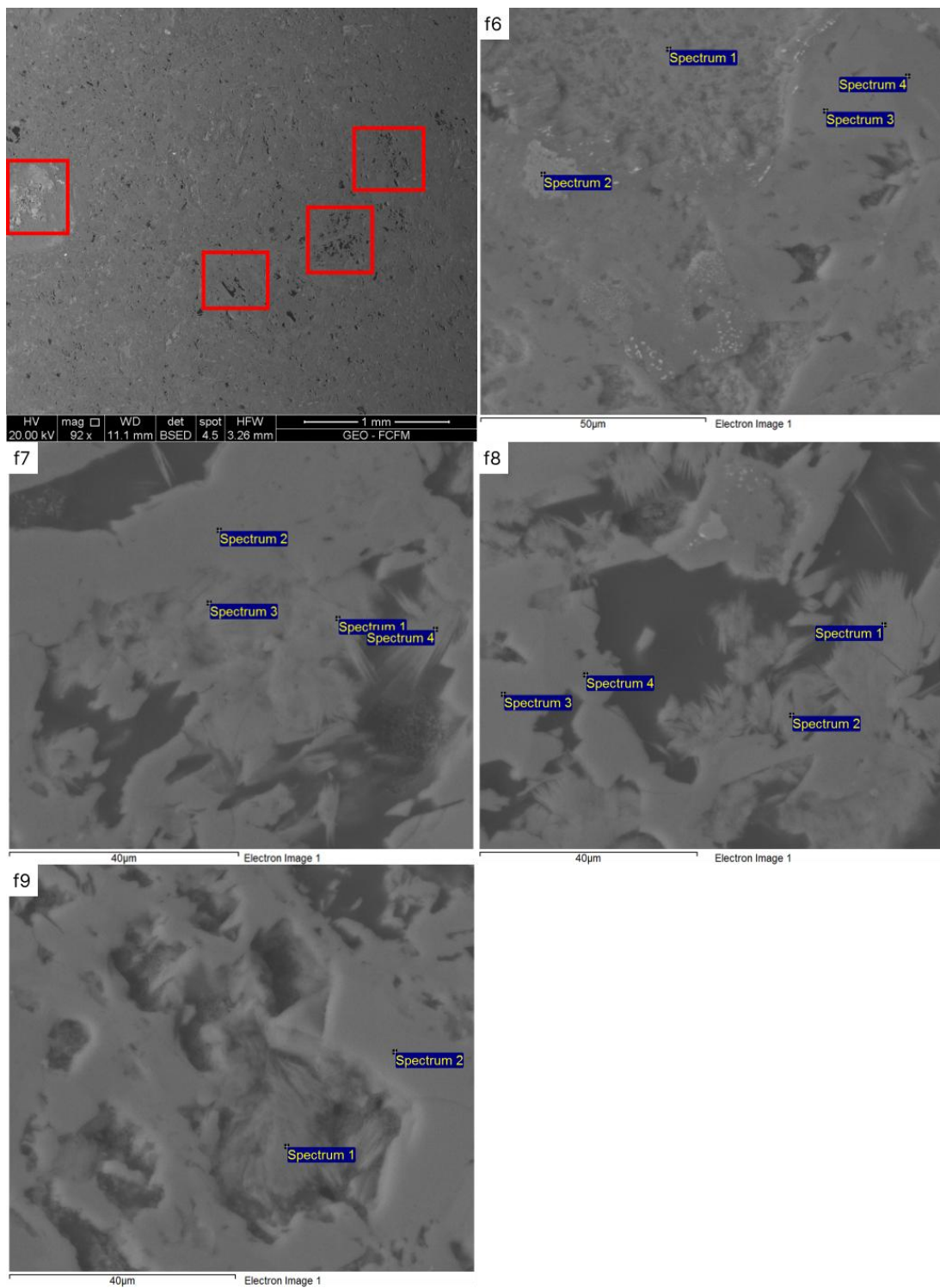


Figure 78: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB935, tomadas de la Zona 2i, subzonas f6 – f9, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

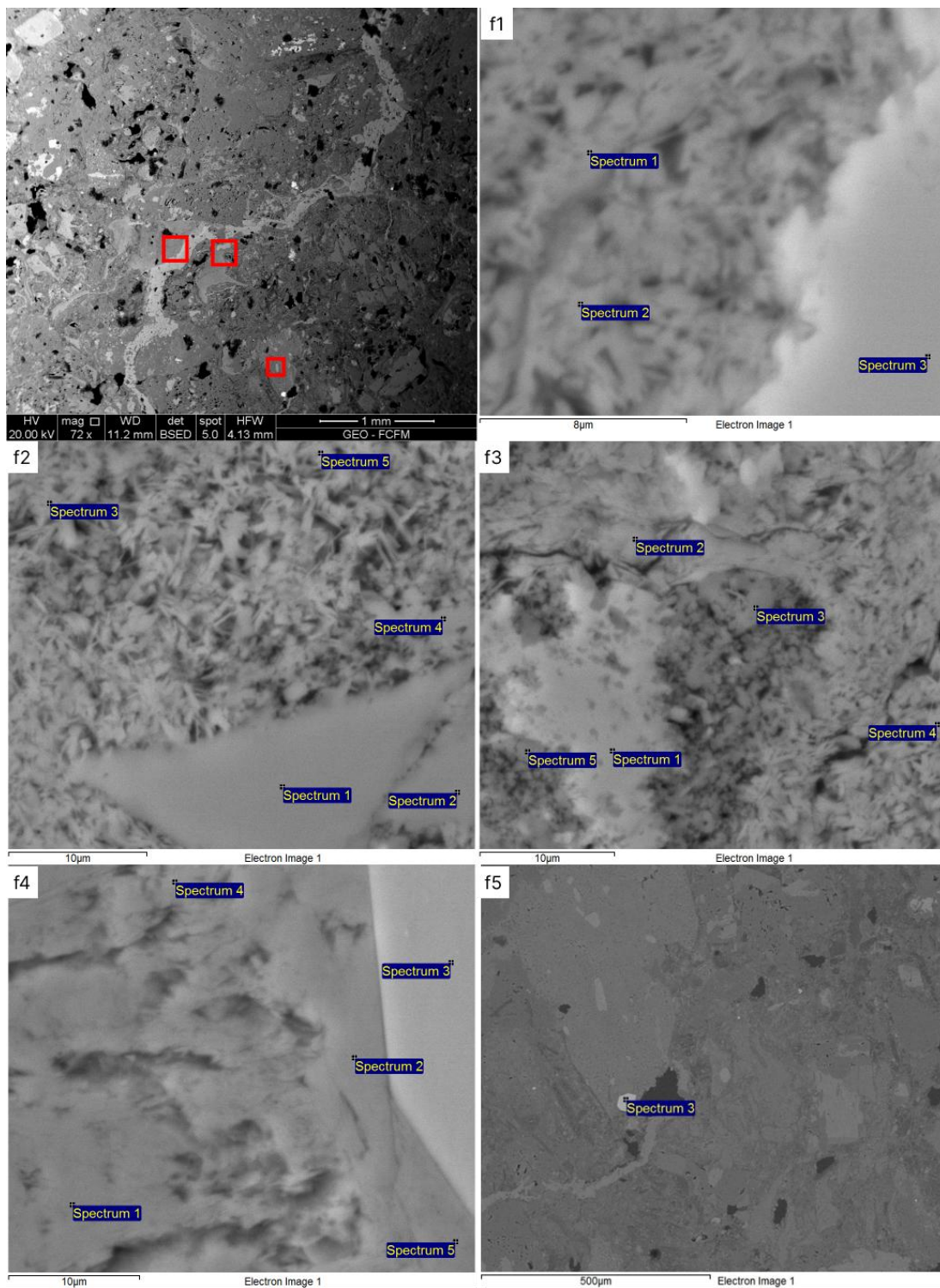


Figure 79: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB985, tomadas de la Zona 1, subzonas f1 – f5, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

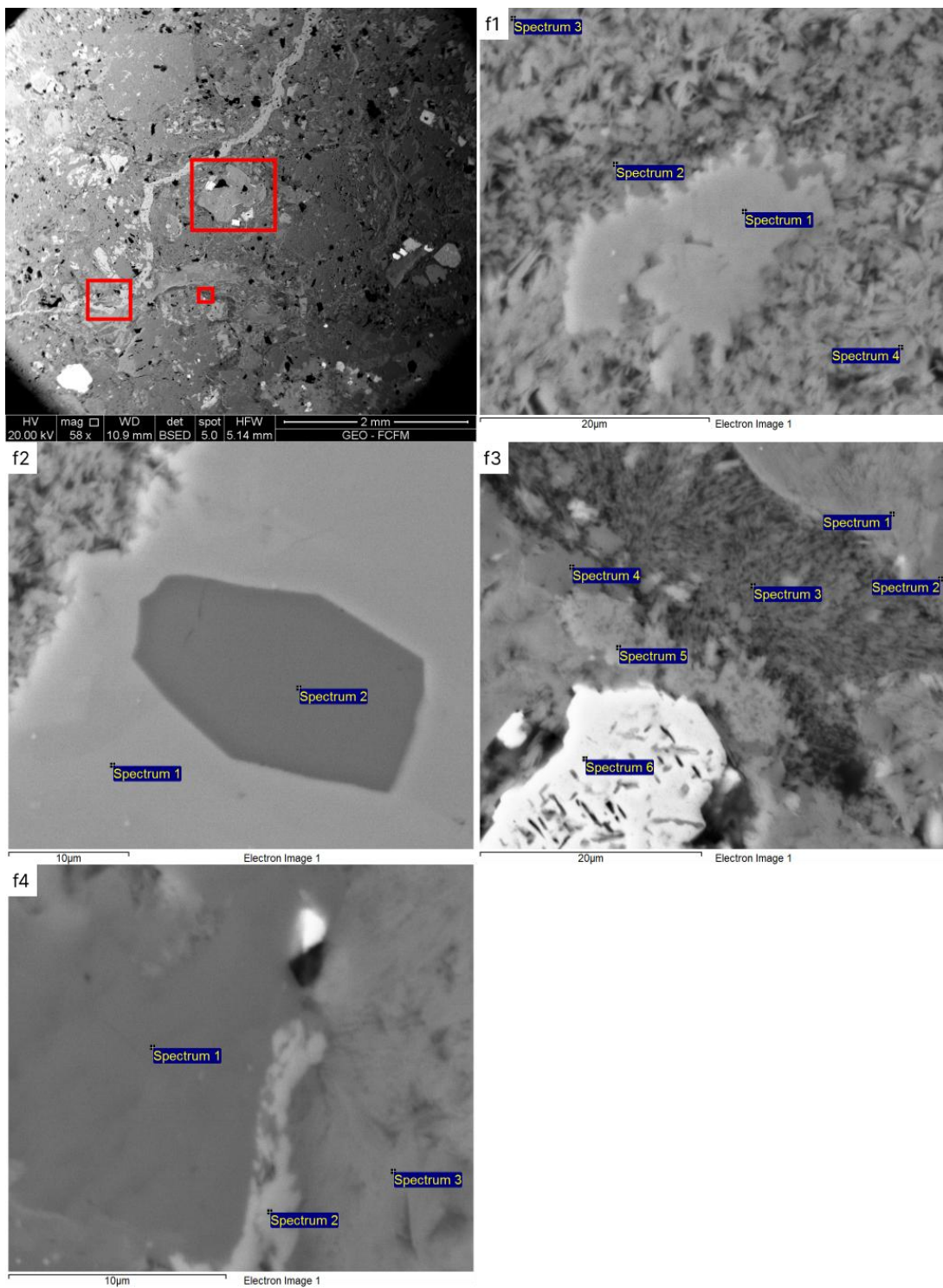


Figure 80: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB985, tomadas de la Zona 2, subzonas f1 –f4, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

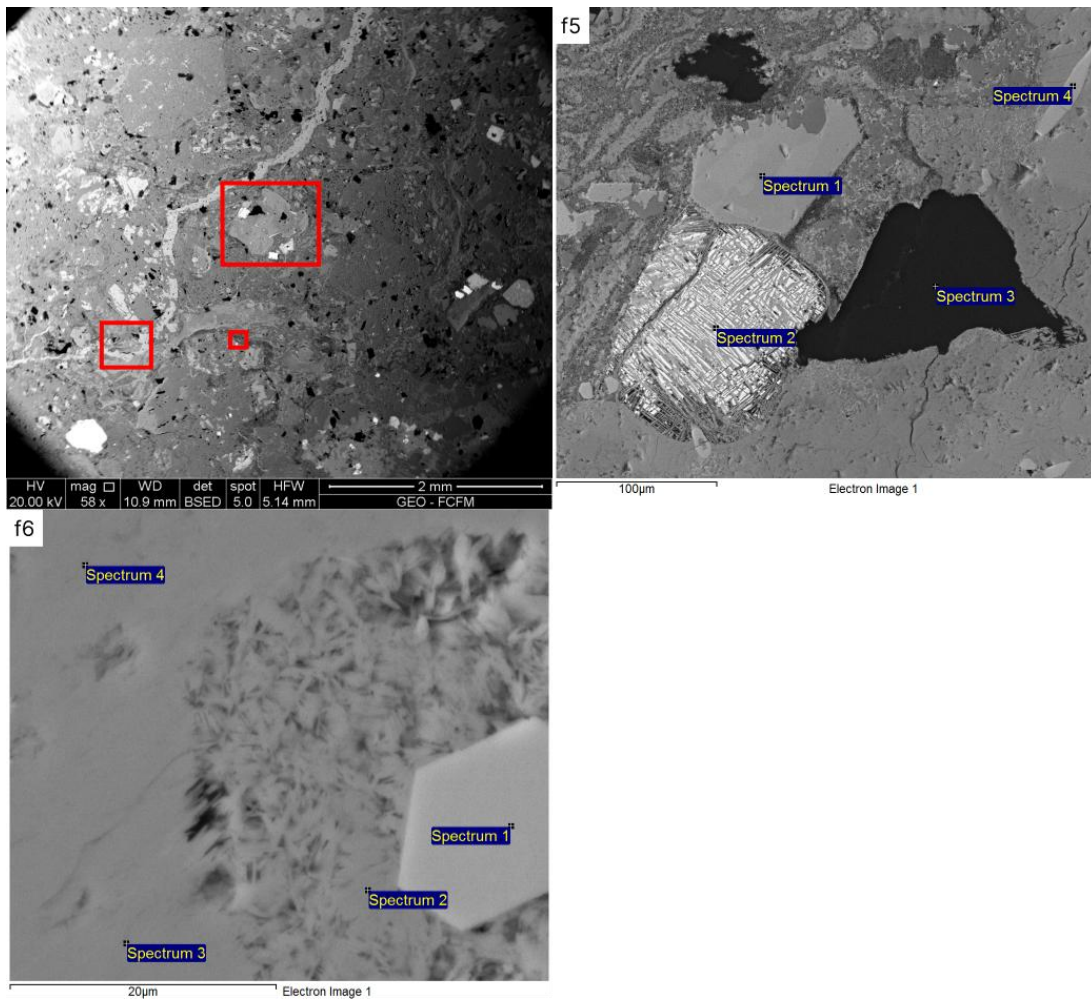


Figure 81: Imágenes detalladas de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la muestra NB985, tomadas de la Zona 2, subzonas f5 – f6, y sus respectivos puntos de interés para el análisis espectral.

A.2. RESULTADOS ANÁLISIS QUÍMICO SEM

Table 7: Análisis químicos en wt% para los puntos de interes

Id	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MgO	MnO	Cr2O3	CaO	Na2O	K2O	SO3	PO4	CuO	V2O5	Total
60-z1-f1-1	C/S	34.6	0	18.8	29.26	15.76	0.67	0	0.9	0	0	0	0	0	0	99.99
60-z1-f1-2	C/S	30.21	0	11.97	46.99	9.71	0.52	0	0.6	0	0	0	0	0	0	100
60-z1-f1-3	Oxi-Fe	3.15	0	1.47	95.38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
60-z1-f1-4	MinNoldn	70.92	0	16.68	7.9	1.17	0	0	1.82	0.67	0.84	0	0	0	0	100
60-z1-f1-5	Qz	93.05	0	3.81	1.81	0.7	0	0	0.38	0	0.26	0	0	0	0	100.01
60-z1-f2-1	Chl	36.45	0	17.43	27.95	16.99	0.71	0	0.47	0	0	0	0	0	0	100
60-z1-f2-2	Qz	98.29	0	0.75	0.96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
60-z1-f2-3	Cal	8.23	0	1.51	3.34	1.01	0	0	84.85	0	0	1.06	0	0	0	100
60-z1-f2-4	Cal	24.28	0	1.22	1.69	0.63	0	0	71.16	0	0	1.02	0	0	0	100
60-z1-f3-1	Chl	35.42	0	18.33	28.05	17.35	0.44	0	0.41	0	0	0	0	0	0	100
60-z1-f3-2	Cal	7.01	0	0	1.43	0	0	0	91.56	0	0	0	0	0	0	100
60-z1-f3-3	Qz	88.82	0	2.31	4.17	1.68	0	0	3.03	0	0	0	0	0	0	100.01
60-z1-f4-1	Cal	5.14	0	0	0.98	0	0	0	93.89	0	0	0	0	0	0	100.01
60-z1-f4-2	C/S	39.33	0	17.44	25.61	14.01	0.57	0	3.03	0	0	0	0	0	0	99.99
60-z1-f4-3	Qz	94.95	0	2	1.35	0	0	0	1.7	0	0	0	0	0	0	100
60-z1-f4-4	Prh	47.5	0	18.5	7.64	0	0	0	26.35	0	0	0	0	0	0	99.99
60-z1-f5-1	Ilm	0	19.91	5.27	72.18	0	0.99	0	0	0	0	0	0	0	1.65	100
60-z1-f5-2	Ilm	3.5	15.47	3.8	75.16	0	0	0	2.07	0	0	0	0	0	0	100
60-z1-f5-3	Ilm	0	22.13	6.64	68.73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	97.5
60-z1-f5-4	Ab	63.55	0.78	20.56	1.55	0.92	0	0	2.98	9.14	0.52	0	0	0	0	100
60-z1-f5-5	Ort	68.09	0	18.52	0	0	0	0	0	0.56	12.83	0	0	0	0	100
60-z1i-f1-1	Oxi-Fe	1.55	4.11	0	93.29	0	0.61	0	0.44	0	0	0	0	0	0	100
60-z1i-f1-2	Ttn	34.55	31.87	3	3.59	0.95	0	0	26.03	0	0	0	0	0	0	99.99
60-z1i-f1-3	Cal	2.06	0	0	0	0	0.65	0	97.29	0	0	0	0	0	0	100
60-z1i-f1-4	Aug	54.35	0.54	1.42	10.39	14.18	0.5	0	18.63	0	0	0	0	0	0	100.01
60-z1i-f1-5	C/S	46.68	0	17.92	19.44	11.63	0.42	0	1.27	2.31	0.32	0	0	0	0	99.99
60-z1i-f10-1	Ands	58.02	0	26	0.77	0	0	0	9.43	5.34	0.44	0	0	0	0	100
60-z1i-f10-2	I/S	65.32	0	23.96	1.57	3.01	0	0	2.13	1.02	1.93	0.72	0	0	0	99.66
60-z1i-f10-3	I/S	65.87	0	25.43	1.97	2.81	0	0	1.63	0.46	1.84	0	0	0	0	100.01
60-z1i-f10-4	I/S	65.96	0	24.95	2.04	2.94	0	0	2.39	0	1.31	0	0	0	0	99.59
60-z1i-f10-5	I/S	65.01	0	24.98	1.37	3.36	0	0	2.12	0.68	2.17	0	0	0	0	99.69
60-z1i-f2-1	C/S	38.9	0	17.73	26.02	16.61	0	0	0.75	0	0	0	0	0	0	100.01
60-z1i-f2-2	C/S	36.78	0	17.65	27.64	16.44	0.55	0	0.57	0	0.37	0	0	0	0	100
60-z1i-f2-5	Oxi-Fe	1.77	3	0	94.77	0	0	0	0.46	0	0	0	0	0	0	100
60-z1i-f2-6	Oxi-Fe	10.7	2.91	6.19	71.73	7.44	0.44	0	0.59	0	0	0	0	0	0	100
60-z1i-f2-7	C/S	37.18	0	17.59	27.45	15.62	0.74	0	0.84	0.58	0	0	0	0	0	100

Id	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MgO	MnO	Cr2O3	CaO	Na2O	K2O	SO3	PO4	CuO	V2O5	Total
60-zli-f3-1	C/S	38.48	0	16.73	25.97	16.02	0.53	0	0.91	0.85	0.52	0	0	0	0	100.01
60-zli-f3-1	C/S	38.41	0	17.63	25.77	16.37	0.64	0	0.79	0	0	0	0	0	0	99.61
60-zli-f3-2	Chl	35.25	0	16.86	28.2	18.13	0.55	0	0	0	0	0	0	0	0	98.99
60-zli-f3-3	Ttn	33.78	33.39	2.46	3	0.58	0	0	26.79	0	0	0	0	0	0	100
60-zli-f3-4	Oxi-Fe	1.58	2.65	0	95.21	0	0	0	0.56	0	0	0	0	0	0	100
60-zli-f3-5	Labr	57.1	0	26.6	0.71	0	0	0	10.04	5.22	0.32	0	0	0	0	99.99
60-zli-f3-6	Ands	57.25	0	25.56	1.88	0.73	0	0	8.67	5.64	0.27	0	0	0	0	100
60-zli-f3-7	Olg	60.33	0.69	22.56	2.37	0.63	0	0	5.66	7.18	0.58	0	0	0	0	100
60-zli-f3-8	Ands	56.38	8.51	15.13	2.03	0.8	0	0	9	8.16	0	0	0	0	0	100.01
60-zli-f3-9	Qz	95.44	0	1.67	1.27	1.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.78
60-zli-f4-1	C/S	64	0	26.03	2.08	1.93	0	0	1.19	2.49	2.28	0	0	0	0	100
60-zli-f4-2	C/S	65.14	0	24.12	2.74	2.82	0	0	1.31	1.07	2.79	0	0	0	0	99.99
60-zli-f4-3	Ap	6.27	0	2.1	1.36	0.45	0	0	44.43	0	0.96	0	37.79	0	0	93.36
60-zli-f4-4	C/S	37.99	0	16.86	27.44	15.8	0.72	0	0.66	0	0.52	0	0	0	0	99.99
60-zli-f4-5	Oxi-Fe	1.53	4.21	0	93.67	0	0.59	0	0	0	0	0	0	0	0	100
60-zli-f4-6	Olg	62.99	0	22.79	0.58	0	0	0	5.55	7.32	0.77	0	0	0	0	100
60-zli-f4-7	C/S	44.49	0	16.64	22.01	11.6	0.48	0	1.25	0.94	2.61	0	0	0	0	100.02
60-zli-f4-8	I/S	61.36	0	17.56	7.16	3.08	0	0	0	1.07	9.75	0	0	0	0	99.98
60-zli-f5-1	Ttn	33.78	32.23	2.33	4.49	0	0	0	26.67	0.49	0	0	0	0	0	99.99
60-zli-f5-2	Oxi-Fe	0.79	13.56	0.81	81.79	0	2.01	0	0	0	0	0	0	0	1.03	99.99
60-zli-f5-3	MinNoIdn	23.55	6.52	9.29	47.1	8.25	0.89	0	4.05	0	0.35	0	0	0	0	100
60-zli-f5-4	Ilm	2.66	69.95	0	24.18	0	1.25	0	1.96	0	0	0	0	0	0	100
60-zli-f5-5	Ilm	0.7	43.26	0	53.28	0	1.35	0	0.43	0.98	0	0	0	0	0	100
60-zli-f5-6	Oxi-Fe	4.21	10.09	1.19	77.49	0.49	2.35	0	1.57	1.1	0.57	0	0	0	0.93	99.99
60-zli-f5-7	Oxi-Fe	0.81	13.04	1.05	81.98	0	2.1	0	0	0	0	0	0	0	1.02	100
60-zli-f6-1	I/S	64.48	0	27.46	1.48	1.98	0	0	1.19	0.99	2.42	0	0	0	0	100
60-zli-f6-2	I/S	66.02	0	24.14	1.44	1.08	0	0	1.84	3.24	2.23	0	0	0	0	99.99
60-zli-f6-3	I/S	49.03	0	17.09	16.11	11.33	0	0	0.82	1.23	4.39	0	0	0	0	100
60-zli-f6-4	Ort	66.05	0	17.45	0.67	0.37	0	0	0	0.79	14.65	0	0	0	0	99.98
60-zli-f6-5	Ands	58.2	0	25.97	0.7	0	0	0	8.87	5.82	0.44	0	0	0	0	100
60-zli-f6-6	Olg	64.32	0	22.15	0.43	0	0	0	4.97	7.88	0.26	0	0	0	0	100.01
60-zli-f7-1	I/S	64.43	0	25.8	2.51	2.13	0	0	1.23	1.27	2.63	0	0	0	0	100
60-zli-f7-2	I/S	63.92	0	26.85	1.71	2.1	0	0	1.56	1.26	2.6	0	0	0	0	100
60-zli-f7-3	I/S	65.19	0	24.58	1.77	1.18	0	0	2.68	2.3	2.29	0	0	0	0	99.99
60-zli-f7-4	Ands	62.18	0	23.52	0.38	0	0	0	6.47	7.09	0.35	0	0	0	0	99.99
60-zli-f8-1	C/S	39.32	0	17.38	25.13	16.26	0.63	0	0.81	0	0.46	0	0	0	0	99.99
60-zli-f8-2	C/S	39.72	0	16.41	25.59	16.32	0.65	0	0.93	0	0.38	0	0	0	0	100
60-zli-f8-3	C/S	39.28	0	16.16	26.84	15.84	0.44	0	0.83	0	0.61	0	0	0	0	100
60-zli-f8-4	C/S	41.04	0	15.97	25.33	15.41	0.62	0	1.12	0	0.51	0	0	0	0	100

Id	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MgO	MnO	Cr2O3	CaO	Na2O	K2O	SO3	PO4	CuO	V2O5	Total
60-z1i-f8-5	Qz	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
60-z1i-f9-1	I/S	65.45	0	25.42	1.58	3.07	0	0	2.01	0.48	1.99	0	0	0	0	100
60-z1i-f9-2	C/S	38.9	0	17.45	25.2	16.25	0.63	0	0.7	0.54	0.34	0	0	0	0	100.01
60-z1i-f9-3	Oxi-Fe	1.69	3.48	0	94.83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
60-z1i-f9-4	C/S	41.97	0	14.72	26.85	13.94	0.66	0	0.72	0.76	0.38	0	0	0	0	100
60-z1i-f9-5	Labr	56.62	0	26.68	0.96	0	0	0	10.44	4.98	0.33	0	0	0	0	100.01
60-z1i-f9-6	Qz	99.61	0	0	0.39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
60-z1i-f9-7	Ort	66.41	0	17.04	0	0	0	0	0	0.4	16.15	0	0	0	0	100
60-z2-f1-1	Chl	36.21	0	17.63	28.38	16.72	0.58	0	0.48	0	0	0	0	0	0	100
60-z2-f1-2	C/S	35.84	0	17.98	29.12	15.83	0.63	0	0.6	0	0	0	0	0	0	100
60-z2-f1-3	C/S	35.39	0	17.48	29.66	16.14	0.67	0	0.65	0	0	0	0	0	0	99.99
60-z2-f1-4	Qz	88.64	0	2.42	7.02	1.63	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	100.01
60-z2-f2-1	C/S	35.84	0	17.77	28.87	16.09	0.68	0	0.75	0	0	0	0	0	0	100
60-z2-f2-2	Ands	61.97	0	23.4	0.84	0	0	0	6.22	6.78	0.78	0	0	0	0	99.99
60-z2-f2-3	Ttn	34.88	29.47	2.83	5.17	0	0	0	27.66	0	0	0	0	0	0	100.01
60-z2-f2-4	Chl	35.94	0	21.54	26.55	14.79	0.72	0	0.46	0	0	0	0	0	0	100
60-z2-f2-5	C/S	36.76	0	17.11	28.91	15.69	0.54	0	0.99	0	0	0	0	0	0	100
60-z2-f3-1	C/S	36.22	0	17.3	28.83	15.78	0.55	0	0.83	0.48	0	0	0	0	0	99.99
60-z2-f3-2	C/S	38.72	0	17.05	26.29	15.57	0.61	0	1.13	0.64	0	0	0	0	0	100.01
60-z2-f3-3	C/S	37.61	0	17.57	27.32	15.41	0.62	0	1.47	0	0	0	0	0	0	100
60-z2-f3-4	Oxi-Fe	4.46	3.85	2.22	87.07	1.89	0.53	0	0	0	0	0	0	0	0	100.02
60-z2-f3-5	Olg	63.82	0	21.89	1.25	0	0	0	4.85	7.55	0.63	0	0	0	0	99.99
60-z2-f4-1	C/S	36.62	0	17.89	27.98	15.92	0.86	0	0.74	0	0	0	0	0	0	100.01
60-z2-f4-2	C/S	37.68	0	17.35	27.26	15.79	0.54	0	0.89	0.48	0	0	0	0	0	99.99
60-z2-f4-3	C/S	37.54	0	17.18	27.29	16.27	0.78	0	0.94	0	0	0	0	0	0	100
60-z2-f5-1	Cal	0	0	0	0	0	0.53	0	48.09	0	0	0	0	0	0	48.62
60-z2-f5-2	C/S	35.59	0	17.3	29.26	16.24	0.6	0	1.01	0	0	0	0	0	0	100
60-z2-f5-3	C/S	35.52	0	17.94	29.23	16.14	0.57	0	0.62	0	0	0	0	0	0	100.02
60-z2-f5-4	C/S	35.95	0	17.4	29.25	15.95	0.76	0	0.75	0	0	0	0	0	0	100.01
60-z2-f5-5	C/S	35.88	0	18.1	27.89	16.69	0.75	0	0.69	0	0	0	0	0	0	100
60-z2-f5-6	C/S	35.67	0	16.93	30.36	15.75	0.5	0	0.79	0	0	0	0	0	0	100
60-z2-f5-7	C/S	36.22	0	17.78	28.46	15.68	0.64	0	1.23	0	0	0	0	0	0	100.01
60-z2i-f1-1	I/S	63.24	0	29.39	1.46	1.55	0	0	1.56	1.08	1.72	0	0	0	0	100
60-z2i-f1-2	I/S	62.78	0	29.42	1.24	1.62	0	0	2.08	0.74	2.13	0	0	0	0	100.01
60-z2i-f1-3	I/S	63.04	0	29.2	1.32	1.7	0	0	1.98	0.74	2.01	0	0	0	0	99.99
60-z2i-f1-4	Ab	68.36	0	19.68	0	0	0	0	1.61	10.35	0	0	0	0	0	100
60-z2i-f1-5	Ands	57.9	0	25.97	0.67	0	0	0	9.84	5.3	0.32	0	0	0	0	100
60-z2i-f2-1	I/S	61.99	0	28.45	1.31	1.57	0	0	3.2	0.94	1.65	0.61	0	0	0	99.72
60-z2i-f2-2	I/S	64.35	0	24.84	2.87	1.96	0	0	3.56	0.53	1.4	0	0	0	0	99.51

Id	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MgO	MnO	Cr2O3	CaO	Na2O	K2O	SO3	PO4	CuO	V2O5	Total
60-z2i-f2-3	Oxi-Fe	2.59	6.81	0.87	88.94	0	0	0	0.78	0	0	0	0	0	0	99.99
60-z2i-f2-4	Ttn	34.23	25.66	7.69	2.36	0.6	0	0	26.7	0	0	0	0	0	0	97.24
60-z2i-f2-5	I/S	63.86	0	24.18	2.81	2.73	0	0	3.66	1.92	0.83	0	0	0	0	99.99
60-z2i-f2-6	Labr	55.01	0	27.88	0.83	0	0	0	11.67	4.3	0.31	0	0	0	0	100
60-z2i-f3-1	C/S	39.78	0	16.07	25.61	13.81	0.68	0	2.14	0.51	1.4	0	0	0	0	100
60-z2i-f3-2	Ttn	34.79	30.83	2.73	4.31	0	0	0	27.34	0	0	0	0	0	0	100
60-z2i-f3-3	Olg	62.87	0	22.87	0.59	0	0	0	5.55	7.25	0.86	0	0	0	0	99.99
60-z2i-f3-4	Ort	64.65	0	17.59	2.63	0.98	0	0	0	0.59	13.56	0	0	0	0	100
60-z2i-f4-1	I/S	64.09	0	26.78	2.23	2.32	0	0	2.16	0.67	1.75	0	0	0	0	100
60-z2i-f4-2	Aug	54.86	0.43	1.32	9.08	14.8	0	0	19.11	0.4	0	0	0	0	0	100
60-z2i-f4-3	C/S	36.31	2.13	18.84	24.76	14.2	0.59	0	2.89	0	0.28	0	0	0	0	100
60-z2i-f4-4	I/S	60.3	0.73	26.38	4.11	2.05	0	0	3.55	0.93	1.95	0	0	0	0	100
60-z2i-f4-5	Qz	99.55	0	0.45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
60-z2i-f4-6	Ort	67.07	0	17.15	0	0	0	0	0	0.4	15.39	0	0	0	0	100.01
60-z2i-f4-7	MinNoldn	62.2	0.4	9.22	6.91	9.35	0.33	0	10.02	0.64	0.94	0	0	0	0	100.01
60-z2i-f5-1	Labr	54.58	0	28.48	0.66	0	0	0	12.4	3.88	0	0	0	0	0	100
60-z2i-f5-2	I/S	64.53	0	26.55	1.94	2.22	0	0	3.37	0.41	0.98	0	0	0	0	100
60-z2i-f5-3	Labr	57.94	0	26.6	0.62	0	0	0	9.85	4.99	0	0	0	0	0	100
60-z2i-f5-4	Ab	69.5	0	19.39	0	0	0	0	1.1	10.01	0	0	0	0	0	100
60-z2i-f5-5	I/S	63.14	0	28.51	1.19	1.59	0	0	3.03	0.79	1.44	0	0	0	0	99.69
60-z2i-f5-6	I/S	65.17	0	26.09	1.78	2.22	0	0	3.65	0.4	0.69	0	0	0	0	100
60-z2i-f5-7	Ttn	28.52	18.52	7.05	1.99	0	0	0	35.12	0	0	0	5.89	0	0	97.09
60-z2i-f6-1	Oxi-Fe	0.78	15.08	0.88	79.76	0	2.54	0	0	0	0	0	0	0	0.96	100
60-z2i-f6-2	Ort	64.66	0	17.59	1.97	0.81	0	0	0	0.65	14.31	0	0	0	0	99.99
60-z2i-f6-3	Ands	62.45	0	23.3	0.71	0	0	0	6.25	6.5	0.79	0	0	0	0	100
60-z2i-f6-4	Ttn	38.37	25.46	3.43	7.06	0	0	0	25.18	0	0.51	0	0	0	0	100.01
60-z2i-f6-5	Ttn	44.38	22.71	6.8	2.24	0	0	0	18.91	0	4.96	0	0	0	0	100
60-z2i-f6-6	I/S	54.3	0	16.8	11.03	6	0	0	1.14	0.7	10.03	0	0	0	0	100
60-z2i-f6-7	Olg	67.7	0	20.05	0.46	0	0	0	2.01	9.46	0.31	0	0	0	0	99.99
60-z3i-f1-1	Ttn	34.6	27.79	5.21	5.68	0.63	0	0	26.09	0	0	0	0	0	0	100
60-z3i-f1-2	Ilm	3.48	48.87	0	29.79	0	14.74	0	3.13	0	0	0	0	0	0	100.01
60-z3i-f1-3	Qz	81.09	0	10.35	0.94	0	0	0	0.57	6.51	0.54	0	0	0	0	100
60-z3i-f1-4	Ands	61.12	0	23.14	1.35	0	0	0	7.02	6.65	0.71	0	0	0	0	99.99
60-z3i-f1-5	Oxi-Fe	4.11	0.71	0.64	93.57	0	0	0	0.38	0	0	0	0	0	0.59	100
60-z3i-f1-6	Qz	98.87	0	0.39	0.74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
60-z3i-f2-1	Qz	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
60-z3i-f2-2	Oxi-Fe	9.01	0	0.88	90.12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
60-z3i-f2-3	Oxi-Fe	4.13	0	0	95.87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
60-z3i-f2-4	I/S	66.18	0	24.86	2	3.02	0	0	0.9	0.7	2.33	0	0	0	0	99.99

Id	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MgO	MnO	Cr2O3	CaO	Na2O	K2O	SO3	PO4	CuO	V2O5	Total
60-z3i-f2-5	I/S	63.94	0	28.2	1.37	2.06	0	0	2.03	0.7	1.7	0	0	0	0	100
60-z3i-f2-6	I/S	69.54	0	22.36	2.1	2.05	0	0	1.4	1.24	1.31	0	0	0	0	100
60-z3i-f2-7	I/S	64.1	0	27.67	1.29	2.21	0	0	1.68	0.91	2.14	0	0	0	0	100
60-z3i-f2-8	Ab	69.23	0	20.34	0	0	0	0	1.32	8.8	0.31	0	0	0	0	100
60-z3i-f3-1	Oxi-Fe	0	17.46	3.88	75.2	0	2.42	0	0	0	0	0	0	0	1.03	99.99
60-z3i-f3-2	Qz	99.61	0	0	0.39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
60-z3i-f3-3	Aug	53.71	0.71	1.91	9.36	14.85	0	0	19.08	0.38	0	0	0	0	0	100
60-z3i-f3-4	Cal	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100
60-z3i-f4-1	Oxi-Fe	0.77	18.01	3.52	74.92	0	1.72	0	0	0	0	0	0	0	1.05	99.99
60-z3i-f4-2	Ttn	33.69	26.01	6.85	5.24	2.1	0	0	24.22	0	0	0	0	0	0	98.11
60-z3i-f4-3	C/S	36.06	0	16.53	30.3	15.61	0.61	0	0.89	0	0	0	0	0	0	100
60-z3i-f4-4	C/S	37.44	0	17.71	27.05	16.39	0.56	0	0.85	0	0	0	0	0	0	100
60-z3i-f5-1	Chl	35.71	0	17.29	30.62	15.91	0.47	0	0	0	0	0	0	0	0	100
60-z3i-f5-2	Qz	99.56	0	0	0.44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
60-z3i-f5-3	Chl	34.75	0	15.68	33.35	15.66	0.57	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
60-z3i-f5-4	Chl	35.98	0	16.51	30.76	16.29	0.46	0	0	0	0	0	0	0	0	100
60-z3i-f5-5	Chl	35.12	0	16.9	30.84	15.95	0.71	0	0.47	0	0	0	0	0	0	99.99
60-z3i-f6-1	Aug	53.63	0.72	1.9	10.46	14.33	0.43	0	18.54	0	0	0	0	0	0	100.01
60-z3i-f6-2	Cal	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100
60-z3i-f6-3	C/S	38.1	0	17.29	26.69	16.06	0.88	0	0.72	0	0.26	0	0	0	0	100
60-z3i-f6-4	Qz	99.08	0	0.48	0.44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
60-z3i-f6-5	Ands	60.21	0	24.33	0.9	0	0	0	7.59	6.43	0.54	0	0	0	0	100
60-z3i-f6-6	Aug	54.02	0.82	1.75	10.17	14.66	0	0	18.58	0	0	0	0	0	0	100
60-z3i-f6-7	C/S	37.46	0	17.71	27.73	15.71	0.45	0	0.69	0	0.26	0	0	0	0	100.01
100-z1-f1-1	Oxi-Fe	1.35	6.87	0	90.32	0	0	0	1.46	0	0	0	0	0	0	100
100-z1-f1-2	C/S	34.78	0	19.72	28.63	15.52	0	0	1.36	0	0	0	0	0	0	100.01
100-z1-f1-3	C/S	28.99	0	18.34	28.25	11.68	1.2	0	11.53	0	0	0	0	0	0	99.99
100-z1-f1-4	Cal	0	0	0	0	0	0.39	0	31.65	0	0	0	0	0	0	32.04
100-z1-f2-1	C/S	32.45	0	19.3	33.8	13.11	0.8	0	0.54	0	0	0	0	0	0	100
100-z1-f2-2	Chl	33.62	0	18.2	33.95	13.27	0.96	0	0	0	0	0	0	0	0	100
100-z1-f2-3	Cal	0	0	0	0	0	0	0	40.3	0	0	0	0	0	0	40.3
100-z1-f2-4	Qz	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
100-z1-f3-1	MinNoldn	35.38	0	24.37	14.53	4.78	0	0	0	5.06	6.6	1.15	0	0	0	91.87
100-z1-f3-2	MinNoldn	25.46	0	15.89	22.81	9.69	0	0	1.11	2.84	10.82	1.15	0	0	0	89.77
100-z1-f3-3	Cal	0	0	0	0	0	0	0	37.64	0	0	0	0	0	0	37.64
100-z1-f3-4	Qz	99.26	0	0	0.74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
100-z1-f3-5	Chl	33.32	0	18.75	34.17	12.91	0.84	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99
100-z1-f4-1	Chl	34.33	0	18.28	33.41	13.09	0.89	0	0	0	0	0	0	0	0	100
100-z1-f4-2	I/S	57.22	5.08	26.69	2.69	0	0	0	6.27	0	2.05	0	0	0	0	100

Id	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MgO	MnO	Cr2O3	CaO	Na2O	K2O	SO3	PO4	CuO	V2O5	Total
100-z1-f4-3	Qz	93.39	1	3.21	1.23	0	0	0	1.18	0	0	0	0	0	0	100.01
100-z1-f4-4	Ttn	50.47	21.83	4.77	2.67	0.66	0	0	19.59	0	0	0	0	0	0	99.99
100-z1-f5-1	Qz	99.45	0	0	0.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
100-z1-f5-2	Chl	33.67	0	18	35.16	12.22	0.95	0	0	0	0	0	0	0	0	100
100-z1-f5-3	Chl	33.79	0	17.74	34.38	13.51	0.58	0	0	0	0	0	0	0	0	100
100-z1-f6-1	Oxi-Fe	1.531	20.11	2.59	74.98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8	100.01
100-z1-f6-2	Oxi-Fe	1.5	19.88	3.48	74.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.78	99.99
100-z1-f6-3	Oxi-Fe	1.35	21.47	5.48	70.98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.72	100
100-z1-f6-4	Ab	69.74	0	18.39	0	0	0	0	1.06	10.82	0	0	0	0	0	100.01
100-z1i-f1-1	Ilr	54.86	0	33.69	0.88	0.97	0	0	0	0	9.6	0	0	0	0	100
100-z1i-f1-2	Cal	0	0	0	0	0	2.92	0	97.08	0	0	0	0	0	0	100
100-z1i-f1-3	Cal	0	0	0	0	0	2.98	0	97.02	0	0	0	0	0	0	100
100-z1i-f1-4	I/S	55.01	0	31.33	1.77	1.22	0	0	0.86	0	9.82	0	0	0	0	100.01
100-z1i-f1-5	Ilr	55.59	0	31.57	1.84	1.11	0	0	0	0	9.89	0	0	0	0	100
100-z1i-f1-6	MinNoIdn	18.79	0	7.08	2.38	0	0	0	17.64	18.15	15.4	12.2	0	0	0	91.64
100-z1i-f2-1	Ilr	54.98	0	32.9	1.2	1.21	0	0	0	0	9.71	0	0	0	0	100
100-z1i-f2-2	Ilr	55.09	0	33	0.93	0.98	0	0	0	0	10	0	0	0	0	100
100-z1i-f2-3	Cal	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100
100-z1i-f2-4	C/S	25.86	0	16.66	26.32	11.59	0.92	0	18.64	0	0	0	0	0	0	99.99
100-z1i-f2-5	Wrk	63.14	0	23.75	0	0	0	0	13.12	0	0	0	0	0	0	100.01
100-z1i-f2-6	C/S	32.53	0	20.95	30.57	13.06	0.88	0	2.02	0	0	0	0	0	0	100.01
100-z1i-f3-1	Chl	33.84	0	20.18	32.29	12.71	1	0	0	0	0	0	0	0	0	100.02
100-z1i-f3-2	Chl	33.38	0	18.97	32.89	13.09	0.85	0	0	0	0.45	0	0	0	0	99.63
100-z1i-f3-3	Ilr	55.99	0	32.17	1.25	1.2	0	0	0	0	9.39	0	0	0	0	100
100-z1i-f3-4	Ilr	55.71	0	32.39	1.46	0.89	0	0	0	0	9.55	0	0	0	0	100
100-z1i-f4-1	Ilr	54.22	0	32.38	2.17	1.22	0	0	0	0	10.02	0	0	0	0	100.01
100-z1i-f4-2	Ilr	54.89	0	31.65	2.38	1.02	0	0	0	0	10.06	0	0	0	0	100
100-z1i-f4-3	Cal	0	0	0	0	0	1.35	0	98.65	0	0	0	0	0	0	100
100-z1i-f4-4	Cal	0	0	0	0	0	3.21	0	96.79	0	0	0	0	0	0	100
100-z2-f1-1	Cal	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100
100-z2-f1-2	Qz	95.88	0	1.24	2.88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
100-z2-f1-3	I/S	57.28	0	17.77	11.06	3.45	0	0	0.67	4.83	4.93	0	0	0	0	99.99
100-z2-f1-4	MinNoIdn	26.59	2.7	7.14	3.28	0	0	0	57.86	2.44	0	0	0	0	0	100.01
100-z2-f1-5	Chl	32.85	0	18.42	34.76	12.79	0.73	0	0.45	0	0	0	0	0	0	100
100-z2-f1-6	Chl	34	0	19.2	34.26	11.9	0.65	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
100-z2-f2-1	Cal	6.22	0	4.25	5.85	2.1	1.53	0	80.06	0	0	0	0	0	0	100.01
100-z2-f2-2	Ab	69.19	0	18.01	0.55	0	0	0	1.93	9.41	0.92	0	0	0	0	100.01
100-z2-f2-3	Chl	35.73	0	19.66	29.71	14.3	0.61	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
100-z2-f2-4	C/S	38.27	16.47	10.41	14.69	5.3	0	0	14.94	0	0	0	0	0	0	100.01

Id	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MgO	MnO	Cr2O3	CaO	Na2O	K2O	SO3	PO4	CuO	V2O5	Total
100-z2-f2-5	Chl	35.83	0	19.81	28.43	14.87	1.07	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
100-z2i-f1-1	I/S	61.84	0	30.31	1.67	0	0	0	0.96	0.94	4.28	0	0	0	0	100
100-z2i-f1-2	I/S	63.33	0	27.33	2.38	0.65	0	0	0.86	1.7	3.74	0	0	0	0	99.99
100-z2i-f1-3	I/S	41.81	0	22.48	12.73	0	0	0	22.98	0	0	0	0	0	0	100
100-z2i-f1-4	Ilit	56.5	0	31.54	2.19	0.76	0	0	0	0	9.01	0	0	0	0	100
100-z2i-f1-5	Ab	68.03	0	20.05	0	0	0	0	1.75	10.16	0	0	0	0	0	99.99
100-z2i-f2-1	I/S	62.68	0	30.51	1.51	0.68	0	0	0	0.57	3.68	0	0	0	0	99.63
100-z2i-f2-2	I/S	61.85	0	29.83	1.69	0.64	0	0	1.04	0.72	3.85	0	0	0	0	99.62
100-z2i-f2-3	Ilit	57.82	0	30.92	2.32	1.05	0	0	0	0	7.88	0	0	0	0	99.99
100-z2i-f2-4	Ilit	54.58	0	31.02	3.08	1.04	0	0	0	0	10.29	0	0	0	0	100.01
100-z2i-f2-5	Ilit	56.17	0	31.46	2.37	0.81	0	0	0	0	9.19	0	0	0	0	100
100-z2i-f3-1	Ilit	63.05	0	30.23	1.87	0.62	0	0	0	0	3.67	0	0	0	0	99.44
100-z2i-f3-2	I/S	62.62	0	30.38	2.07	0.68	0	0	1.16	0	3.09	0	0	0	0	100
100-z2i-f3-3	Olg	67.48	0	20.67	0	0	0	0	2.27	9.58	0	0	0	0	0	100
100-z2i-f3-4	Olg	71.59	0	18.99	0	0	0	0	2.3	7.12	0	0	0	0	0	100
100-z2i-f3-5	Ap	0	0	0	0	0	0	0	49.81	0	0	0	43.13	0	0	92.94
100-z2i-f4-1	Olg	67.72	0	20.3	0	0	0	0	2.25	9.73	0	0	0	0	0	100
100-z2i-f4-2	Ab	68.92	0	19.91	0	0	0	0	1.27	9.89	0	0	0	0	0	99.99
100-z2i-f4-3	Oxi-Fe	3.66	4.65	1.76	88.53	0	0.69	0	0.71	0	0	0	0	0	0	100
100-z2i-f4-4	I/S	59.56	0	19.18	8.41	3.11	0	0	0	6	3.74	0	0	0	0	100
100-z2i-f4-5	Olg	66.56	0	21.4	1.14	0	0	0	0.64	7.63	2.63	0	0	0	0	100
100-z2i-f4-6	Ort	67.01	0	18.06	0.99	0	0	0	0	2.62	11.31	0	0	0	0	99.99
100-z2i-f5-1	Chl	33.63	0	18.74	34.23	12.79	0.61	0	0	0	0	0	0	0	0	100
100-z2i-f5-2	Chl	33.7	0	18.84	33.68	12.87	0.92	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
100-z2i-f5-3	MinNoIdn	0	0	0	0.6	0	0	0	50.77	0	0	0	42.94	0	0	94.31
100-z2i-f5-4	Ttn	34.5	30.35	3.68	4.26	0	0	0	27.21	0	0	0	0	0	0	100
100-z2i-f5-5	Ttn	34.51	30.68	3.63	3.83	0	0	0	27.35	0	0	0	0	0	0	100
100-z2i-f5-6	Ab	67.52	0	20.65	0	0	0	0	1.24	10.03	0.56	0	0	0	0	100
100-z2i-f5-7	I/S	56.71	0	30.83	2.25	0.81	0	0	0	1.01	8.39	0	0	0	0	100
100-z2i-f6-1	I/S	59.58	0	28.43	2	0.61	0	0	0	2.61	6.76	0	0	0	0	99.99
100-z2i-f6-2	I/S	59.79	0	30.38	2.28	0.65	0	0	0	0.81	6.09	0	0	0	0	100
100-z2i-f6-3	Oxi-Fe	0	12.09	2.11	82.68	0	1.7	0	0	0	0	0	0	0	1.41	99.99
100-z2i-f6-4	MinNoIdn	0	0	0	4.44	0	0	0	48.05	0	0	0	40.98	0	0	93.47
100-z2i-f6-5	Ttn	31.51	34.25	3.09	5.42	0	0	0	25.72	0	0	0	0	0	0	99.99
100-z3i-f1-1	MinNoIdn	0	0	0	1.11	0	0	0	49.52	0	0	0	43.06	0	0	93.69
100-z3i-f1-2	Chl	33.94	0	18.86	33.31	13.04	0.85	0	0	0	0	0	0	0	0	100
100-z3i-f1-3	Ttn	34.12	31.1	3.28	4.8	0	0	0	26.7	0	0	0	0	0	0	100
100-z3i-f1-4	Chl	34.24	0	18.06	35.33	12.37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
100-z3i-f2-1	Oxi-Fe	0	6.1	0	90.79	0	0	0	1.7	0	0	0	0	0	0	98.59

Id	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MgO	MnO	Cr2O3	CaO	Na2O	K2O	SO3	PO4	CuO	V2O5	Total
100-z3i-f2-2	Chl	32.68	0	18.26	35.26	13.11	0.68	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99
100-z3i-f2-3	Ttn	35.77	29.67	0	3.68	0	0.68	0	27.82	0	0	0	0	0	0	97.55
100-z3i-f2-4	C/S	38.45	5.23	14.12	27.17	9.21	0	0	5.8	0	0	0	0	0	0	99.98
100-z3i-f2-5	Cal	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100
100-z3i-f2-6	Qz	86.72	0	0	0	0	0	0	13.28	0	0	0	0	0	0	100
100-z3i-f2-7	Qz	99.38	0	0.62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
100-z3i-f3-1	Cal	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100
100-z3i-f3-2	Olg	67.92	0	20.2	0	0	0	0	2.17	9.71	0	0	0	0	0	100
100-z3i-f3-3	Ilit	56.3	0	31.9	2.36	0.81	0	0	0	0	8.63	0	0	0	0	100
100-z3i-f3-4	I/S	64.2	0	28.75	2	0	0	0	1.23	1.29	2.53	0	0	0	0	100
100-z3i-f3-5	I/S	62.52	0	28.27	1.61	0.54	0	0	1.23	2.09	3.73	0	0	0	0	99.99
100-z3i-f3-6	I/S	56.53	0	29.25	3.14	1.33	0	0	0	0.68	9.08	0	0	0	0	100.01
255-z1-f1-1	Ep	40.66	0	21.63	13.58	0	0	0	23.43	0	0	0	0	0	0.69	99.99
255-z1-f1-2	Lmt	64.62	0	23.14	0	0	0	0	12.25	0	0	0	0	0	0	100.01
255-z1-f1-3	Ep	40.99	0	20.62	14.8	0	0	0	23.59	0	0	0	0	0	0	100
255-z1-f1-4	Ep	41.18	0	24.37	10.28	0	0	0	24.17	0	0	0	0	0	0	100
255-z1-f2-1	Chl	34.07	0	19.73	28.33	16.64	0.73	0	0.5	0	0	0	0	0	0	100
255-z1-f2-2	Ep	41.31	0	22.35	12.76	0	0	0	23.58	0	0	0	0	0	0	100
255-z1-f2-3	C/S	34.87	0	20.12	27.34	16.93	0	0	0.75	0	0	0	0	0	0	100.01
255-z1-f3-1	Qz	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
255-z1-f3-2	Ep	41.42	0	23.02	12.51	0	0	0	23.05	0	0	0	0	0	0	100
255-z1-f3-3	Chl	38.35	0	18.7	26.7	15.79	0	0	0	0	0.45	0	0	0	0	99.99
255-z1-f3-4	Qz	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
255-z1-f4-1	Ep	41.4	0	22.44	13.12	0	0	0	23.04	0	0	0	0	0	0	100
255-z1-f4-2	Qz	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
255-z1-f4-3	Prh	48.61	0	21.45	4.05	0	0	0	25.88	0	0	0	0	0	0	99.99
255-z1-f4-4	Chl	34.04	0	21.12	28.24	16.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
255-z1-f5-1	Lmt	64.11	0	23.61	0	0	0	0	12.29	0	0	0	0	0	0	100.01
255-z1-f5-2	Ep	42.65	0	25.58	8.79	0	0	0	22.98	0	0	0	0	0	0	100
255-z1-f5-3	Cal	9.65	0	3.61	0	0	0	0	86.74	0	0	0	0	0	0	100
255-z1-f6-1	Ep	47.89	0	25.32	8.27	0	0	0	18.51	0	0	0	0	0	0	99.99
255-z1-f6-2	Ab	64.11	0	22.15	0	0	0	0	2.52	11.22	0	0	0	0	0	100
255-z1-f6-3	Cal	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100
255-z1i-f1-1	C/S	42.08	0	12.16	21.32	14.44	0.62	0	9.38	0	0	0	0	0	0	100
255-z1i-f1-2	Aug	53.07	1.07	2.52	13.58	13.82	0	0	15.94	0	0	0	0	0	0	100
255-z1i-f1-3	C/S	32.97	0	21.39	28.38	15.73	0.59	0	0.95	0	0	0	0	0	0	100.01
255-z1i-f1-4	Oxi-Fe	0	1.45	1.2	95.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.56	100
255-z1i-f1-5	Oxi-Fe	0	1.15	0	97.38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.47	100
255-z1i-f1-6	Ands	57.33	0.45	25.54	1.65	0	0	0	9.2	5.52	0.31	0	0	0	0	100
255-z1i-f1-7	Olg	70.84	0	18.42	0	0	0	0	2.11	8.62	0	0	0	0	0	99.99

Id	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MgO	MnO	Cr2O3	CaO	Na2O	K2O	SO3	PO4	CuO	V2O5	Total
255-z1i-f1-8	C/S	28.21	1.42	16.87	32.25	19.22	0	0	2.01	0	0	0	0	0	0	99.98
255-z1i-f2-1	Chl	31.3	0	19.94	32.23	15.23	0.82	0	0.49	0	0	0	0	0	0	100.01
255-z1i-f2-2	Chl	31.77	0	18.75	34.85	14.63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
255-z1i-f2-3	C/S	39.14	0	20.6	24.07	14.23	0	0	0.52	1.44	0	0	0	0	0	100
255-z1i-f2-4	Olg	66.6	0	20.93	0	0	0	0	3.39	9.08	0	0	0	0	0	100
255-z1i-f2-5	MinNoIdn	21.49	0	8.9	8.25	6.04	0	0	53.4	1.93	0	0	0	0	0	100.01
255-z1i-f2-6	Labr	50.67	0	27.95	1.4	0	0	0	16.05	3.93	0	0	0	0	0	100
255-z1i-f3-1	Qz	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
255-z1i-f3-2	Ttn	34.6	28.92	5.28	3.36	0	0	0	27.83	0	0	0	0	0	0	99.99
255-z1i-f3-3	Ilm	0	51.15	0	39.7	0	8.47	0	0.68	0	0	0	0	0	0	100
255-z1i-f3-4	Ep	41.58	0	20.33	14.65	0	0	0	23.44	0	0	0	0	0	0	100
255-z1i-f3-5	Ep	41.07	0	20.62	14.25	0	0	0	24.07	0	0	0	0	0	0	100.01
255-z1i-f3-6	Ep	41.61	0	22.94	11.97	0	0	0	23.49	0	0	0	0	0	0	100.01
255-z1i-f3-7	Ep	41.59	0	23.77	11.25	0	0	0	23.39	0	0	0	0	0	0	100
255-z2-f1-1	Cal	16.77	0	8.66	0	0	0	0	73.44	0	0	0	0	0	0	98.87
255-z2-f1-2	MinNoIdn	48.73	0	18.83	0	0	0	0	32.45	0	0	0	0	0	0	100.01
255-z2-f1-3	Lmt	62.48	0	24.08	1.45	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	100.01
255-z2-f2-1	Lmt	65.11	0	22.99	0	0	0	0	11.9	0	0	0	0	0	0	100
255-z2-f2-2	Cal	7.47	0	3.53	0	0	0	0	89	0	0	0	0	0	0	100
255-z2-f2-3	Chl	37.62	0	18.77	24.42	19.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
255-z2-f2-4	Ep	42.96	0	26.42	8.55	0	0	0	22.06	0	0	0	0	0	0	99.99
255-z2-f2-5	C/S	38.29	0	22.04	18.58	11.52	0	0	9.57	0	0	0	0	0	0	100
255-z2-f3-1	Ep	42.26	0	21.93	12.55	0	0	0	23.25	0	0	0	0	0	0	99.99
255-z2-f3-2	C/S	35.49	0	21.32	25.09	15.12	0.54	0	2.44	0	0	0	0	0	0	100
255-z2-f3-3	MinNoIdn	37.26	0	21.07	4.76	0	0	0	31.42	0	0	0	0	0	0	94.51
255-z2-f3-4	Lmt	60.43	0	23.99	2.78	1.95	0	0	10.85	0	0	0	0	0	0	100
255-z2-f3-5	Cal	11.02	0	5.99	1.76	0	0	0	81.23	0	0	0	0	0	0	100
255-z2-f3-6	Chl	36.89	0	19.94	24.52	17.49	0.67	0	0.49	0	0	0	0	0	0	100
255-z2-f3-7	MinNoIdn	69.61	1.19	14.29	3.22	1.16	0	0	1.97	7.56	1	0	0	0	0	100
255-z2i-f1-1	Chl	34.77	0	21.15	29.21	14.86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99
255-z2i-f1-2	Chl	33.49	0	21.17	30.02	15.32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
255-z2i-f1-3	Ands	58.47	0	23.59	4.22	0.64	0	0	6.52	6.56	0	0	0	0	0	100
255-z2i-f1-4	Ab	69.1	0	19.34	0	0	0	0	0.82	10.73	0	0	0	0	0	99.99
255-z2i-f1-5	Oxi-Fe	17.09	0.76	11.16	63.35	7.63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99
255-z2i-f2-1	C/S	44.15	0	19.03	20.61	11.95	0	0	0	0	4.26	0	0	0	0	100
255-z2i-f2-2	I/S	57.74	0	17.69	9.67	4.85	0	0	0	0.67	9.38	0	0	0	0	100
255-z2i-f2-3	I/S	61.97	0	17.98	4.48	2.65	0	0	0	1	11.93	0	0	0	0	100.01
255-z2i-f2-4	Ands	60.26	0	24.23	0.78	0	0	0	7.54	6.62	0.57	0	0	0	0	100
255-z2i-f2-5	Ab	69.47	0	19.06	0	0	0	0	1.16	10.31	0	0	0	0	0	100

Id	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MgO	MnO	Cr2O3	CaO	Na2O	K2O	SO3	PO4	CuO	V2O5	Total
255-z2i-f2-6	Cal	1.88	0	0	0	0	0	0	96.9	0	0	1.22	0	0	0	100
255-z2i-f2-7	MinNoldn	10.96	0	3.43	4.32	2.14	0	0	38.76	0	0.82	0	34.48	0	0	94.91
255-z3-f1-1	Chl	35.6	0	19.47	26.3	17.57	0.62	0	0.44	0	0	0	0	0	0	100
255-z3-f1-2	Cal	5.21	0	2.71	4.36	2.11	0	0	84.44	0	0	1.17	0	0	0	100
255-z3-f1-3	Chl	33.47	0	21.5	27.46	17.14	0.44	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
255-z3-f1-4	C/S	34.98	0	20.24	26.23	17.42	0.58	0	0.55	0	0	0	0	0	0	100
255-z3-f1-5	C/S	33.89	0	21.38	26.98	16.7	0.53	0	0.53	0	0	0	0	0	0	100.01
255-z3-f1-6	Chl	34.02	0	21.4	26.99	17.07	0.53	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
255-z3-f1-7	Lmt	61.33	0	23.03	0.56	0	0	0	15.08	0	0	0	0	0	0	100
255-z3-f1-8	MinNoldn	33.09	0	13.23	0.95	0	0	0	52.73	0	0	0	0	0	0	100
255-z3-f1-9	C/S	35.16	0	19.99	26.38	17.84	0	0	0.62	0	0	0	0	0	0	99.99
255-z3-f2-1	Chl	35.02	0	20.72	25.74	17.7	0.45	0	0.36	0	0	0	0	0	0	99.99
255-z3-f2-2	Chl	35.7	0	20.69	25.3	17.52	0.48	0	0.3	0	0	0	0	0	0	99.99
255-z3-f2-3	Ttn	36.89	26.15	6.14	5.67	1.5	0	0	23.65	0	0	0	0	0	0	100
255-z3-f2-4	Ands	57.78	0	26.02	1.24	0	0	0	9.08	5.59	0.3	0	0	0	0	100.01
255-z3-f2-5	Chl	34.76	0	21.1	26.66	17	0.47	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99
255-z3-f3-1	C/S	38.88	0	20.47	23.06	14.67	0.42	0	1.53	0.98	0	0	0	0	0	100.01
255-z3-f3-2	C/S	35.42	0	19.49	26.32	17.6	0.55	0	0.62	0	0	0	0	0	0	100
255-z3-f3-3	Cal	3.7	0	1.89	2.46	1.43	0	0	90.51	0	0	0	0	0	0	99.99
255-z3-f3-4	C/S	36.73	0	20.4	24.94	16.5	0.45	0	0.99	0	0	0	0	0	0	100.01
255-z3-f3-5	Qz	98.83	0	0.69	0.49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
255-z3-f3-6	Labr	52.23	0	29.93	1.12	0	0	0	13.53	3.19	0	0	0	0	0	100
255-z3-f4-1	Chl	35.48	0	19.58	25.99	17.99	0.49	0	0.47	0	0	0	0	0	0	100
255-z3-f4-2	C/S	35.47	0	20.62	25.32	17.43	0.62	0	0.54	0	0	0	0	0	0	100
255-z3-f4-3	Lmt	64.08	0	23.5	0.4	0	0	0	12.02	0	0	0	0	0	0	100
255-z3-f4-4	Cal	5.08	0	3.35	3.41	2.92	0	0	85.24	0	0	0	0	0	0	100
255-z3-f4-5	Lmt	59.11	0	21.8	4.83	2.98	0	0	10.95	0	0.33	0	0	0	0	100
255-z3-f4-6	C/S	34.33	0	19	24.34	16.28	0.52	0	5.53	0	0	0	0	0	0	100
255-z3-f4-7	C/S	36.56	0	21.35	24.28	16.57	0.54	0	0.7	0	0	0	0	0	0	100
255-z3-f4-8	C/S	35.02	0	17.89	22.53	14.21	0	0	10.35	0	0	0	0	0	0	100
255-z3-f5-1	Chl	35.59	0	20.58	25.55	17.17	0.65	0	0.47	0	0	0	0	0	0	100.01
255-z3-f5-2	Chl	34.95	0	21.22	26.42	16.94	0.47	0	0	0	0	0	0	0	0	100
255-z3-f5-3	Chl	34.74	0	20.95	26.62	17.02	0.68	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
255-z3-f5-4	Chl	34.74	0	20.95	26.62	17.02	0.68	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
255-z3-f5-5	Chl	35.18	0	20.08	26.99	16.8	0.49	0	0.46	0	0	0	0	0	0	100
255-z3-f5-6	Chl	35.27	0	20.6	26.03	17.11	0.56	0	0.43	0	0	0	0	0	0	100
255-z3-f5-7	Chl	35.67	0	20.76	25.62	17.57	0	0	0.39	0	0	0	0	0	0	100.01
255-z3-f5-8	Qz	96.42	0	1.27	1.51	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
255-z3i-f1-1	MinNoldn	59.42	0	23.42	2.28	1.96	0	0	4.89	7.56	0.46	0	0	0	0	99.99

Id	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MgO	MnO	Cr2O3	CaO	Na2O	K2O	SO3	PO4	CuO	V2O5	Total
255-z3i-f1-1	Aug	56.53	0.93	2.31	8	16.04	0	0	16.2	0	0	0	0	0	0	100.01
255-z3i-f1-2	MinNoldn	48.47	9.44	4.23	9.78	7.26	0.87	0	19.95	0	0	0	0	0	0	100
255-z3i-f1-3	Aug	52.35	0	6.46	12.47	11.43	1.02	0	15.4	0.88	0	0	0	0	0	100.01
255-z3i-f1-4	Olg	66.64	0	20.55	0	0	0	0	2.23	10.58	0	0	0	0	0	100
255-z3i-f1-5	Ands	58.18	0	26.51	0.71	0	0	0	8.52	6.09	0	0	0	0	0	100.01
255-z3i-f1-6	Cal	0	0	1.27	0	0	0	0	98.73	0	0	0	0	0	0	100
255-z3i-f1-7	Ands	58.42	0	26.3	0.68	0	0	0	8.98	5.63	0	0	0	0	0	100.01
255-z3i-f1-8	C/S	37.25	0	20.68	23.03	17.11	0.64	0	1.28	0	0	0	0	0	0	99.99
255-z3i-f1-9	C/S	39.3	0	19.97	20.64	17.54	0	0	2.55	0	0	0	0	0	0	100
255-z3i-f2-1	C/S	40.43	0	19.31	20.68	16.69	0.61	0	2.29	0	0	0	0	0	0	100.01
255-z3i-f2-1	C/S	43.18	0	20.48	19.27	14.07	0	0	1.14	1.19	0.66	0	0	0	0	99.99
255-z3i-f2-1	C/S	41.69	0	16.15	19.2	15.12	0.68	0	7.17	0	0	0	0	0	0	100.01
255-z3i-f2-1	Ttn	24.26	20.97	6.35	28.5	1.09	0	0	18.83	0	0	0	0	0	0	100
255-z3i-f2-1	Aug	55.64	0.8	2.19	11.45	13.73	0	0	16.19	0	0	0	0	0	0	100
255-z3i-f2-1	Qz	99.37	0	0	0.63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
255-z3i-f2-1	Oxi-Fe	0	19.11	3.05	77.84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
255-z3i-f2-2	Oxi-Fe	0	16.53	3.21	78.91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.35	100
255-z3i-f2-3	Aug	57.04	0.71	1.3	11.66	13.57	0	0	15.72	0	0	0	0	0	0	100
255-z3i-f2-4	Ab	67.31	0	20.3	0	0	0	0	1.41	10.98	0	0	0	0	0	100
255-z3i-f2-5	Ands	59.62	0	25.26	0.68	0	0	0	6.99	7.07	0.36	0	0	0	0	99.98
255-z3i-f2-6	Aug	55.72	0.98	1.87	11.12	15.13	0	0	15.18	0	0	0	0	0	0	100
255-z3i-f2-7	Cal	0	0	0	0	0	0	0	98.56	0	0	1.44	0	0	0	100
255-z3i-f2-8	Ands	59.04	5.86	18.57	0.81	0	0	0	7.72	7.64	0.37	0	0	0	0	100.01
255-z3i-f2-9	Aug	53.74	2.42	2.61	11.48	12.41	0.65	0	15.81	0.9	0	0	0	0	0	100.02
255-z3i-f3-1	MinNoldn	46.33	0	37.56	0	0	0	0	1.48	4.75	0	3.59	0	0	0	93.71
255-z3i-f3-2	Ab	68.23	0	18.83	0	0	0	0	0.64	12.3	0	0	0	0	0	100
255-z3i-f3-3	C/S	37.7	0	23.01	19.97	18.1	0.67	0	0.55	0	0	0	0	0	0	100
255-z3i-f3-4	C/S	37.94	0	22.57	21.32	17.51	0.67	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
255-z3i-f3-5	Ands	59.72	0	25.78	0.71	0	0	0	6.77	7.02	0	0	0	0	0	100
255-z3i-f3-6	Oxi-Fe	17.08	0	16.24	52.97	9.32	0	0	1.31	1.26	0	1.84	0	0	0	100.02
255-z3i-f3-7	Aug	55.93	1.03	3.26	8.28	17.35	0	0	14.16	0	0	0	0	0	0	100.01
255-z3i-f3-8	Aug	44.62	0	13.89	18.54	13.78	0.92	0	8.25	0	0	0	0	0	0	100
255-z3i-f3-9	MinNoldn	56.62	0	2.53	10.74	10.23	1.23	0	18.65	0	0	0	0	0	0	100
255-z3i-f4-1	Bytw	53.11	0	31.81	0	0	0	0	12.25	2.83	0	0	0	0	0	100
255-z3i-f4-2	Ab	68.11	0	19.34	0	0	0	0	0.98	11.57	0	0	0	0	0	100
255-z3i-f4-3	MinNoldn	57.88	0	0.79	15.38	10.5	0	0	15.45	0	0	0	0	0	0	100
255-z3i-f4-4	C/S	38.15	0	22.05	20.87	18.31	0	0	0.62	0	0	0	0	0	0	100
255-z3i-f4-5	Ands	59.65	0	26.4	0	0	0	0	7.37	6.17	0.41	0	0	0	0	100
307-z1-f1-1	Chl	34.14	0	17.67	33.79	13.51	0.46	0	0.42	0	0	0	0	0	0	99.99

Id	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MgO	MnO	Cr2O3	CaO	Na2O	K2O	SO3	PO4	CuO	V2O5	Total
307-z1-f1-2	Ands	58.74	0	23.7	3.72	0.54	0	0	6.78	6.06	0.45	0	0	0	0	99.99
307-z1-f1-3	Qz	98.7	0	0.48	0.82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
307-z1-f1-4	Aug	53.22	0.75	1.56	13.24	13.51	0.36	0	17.37	0	0	0	0	0	0	100.01
307-z1-f1-5	MinNoIdn	59.35	13.9	5.34	6.04	2.24	0	0	13.13	0	0	0	0	0	0	100
307-z1-f1-6	Qz	94.53	0	2.71	1.25	0	0	0	0.72	0.79	0	0	0	0	0	100
307-z1-f2-1	Wrk	62.57	0	22.42	2.89	0	0	0	12.12	0	0	0	0	0	0	100
307-z1-f2-2	Chl	32.75	0	19.02	32.12	15.72	0.38	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99
307-z1-f3-1	Ands	58.55	0	25.51	1.31	0	0	0	8.4	5.93	0.31	0	0	0	0	100.01
307-z1-f3-2	Aug	52.79	0.92	1.71	13.4	13.05	0.45	0	17.28	0.4	0	0	0	0	0	100
307-z1-f3-3	Oxi-Fe	0.82	15.43	1.55	80.29	0	0.53	0	0	0	0	0	0	0	1.38	100
307-z1-f3-4	C/S	37.15	0	17.77	29.62	14.27	0.42	0	0.76	0	0	0	0	0	0	99.99
307-z1-f4-1	Chl	33.01	0	18.81	33.21	14.48	0.48	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99
307-z1-f4-2	Chl	33.44	0	19.13	32.34	14.61	0.48	0	0	0	0	0	0	0	0	100
307-z1-f5-1	Ab	67.03	0	20.8	0.51	0	0	0	2.74	8.92	0	0	0	0	0	100
307-z1-f5-2	Aug	52.84	0.78	1.37	13.23	13.67	0.4	0	17.71	0	0	0	0	0	0	100
307-z1-f5-3	Chl	34.68	0	19.36	29.97	15.52	0	0	0.48	0	0	0	0	0	0	100.01
307-z1-f5-4	Aug	52.38	0	0.9	16.36	7.57	1.17	0	21.61	0	0	0	0	0	0	99.99
307-z1-f5-5	Cpy	0.38	0	0	23.97	0	0	0	0	0	0	51.2	0	24.46	0	100.01
307-z1-f5-6	Ttn	34.11	27.38	6.46	6.63	1.67	0	0	23.74	0	0	0	0	0	0	99.99
307-z1-f5-7	Chl	34.04	0	18.05	33.02	14.05	0.52	0	0.32	0	0	0	0	0	0	100
307-z1-f6-1	Chl	32.16	0	18.51	34.76	14.15	0.42	0	0	0	0	0	0	0	0	100
307-z1-f6-2	Chl	32.93	0	18.35	34	14.3	0.43	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
307-z1-f6-3	Chl	32.61	0	18.67	33.02	15.22	0.48	0	0	0	0	0	0	0	0	100
307-z2-f1-1	Aug	52.85	0.78	1.59	14.99	12.5	0.39	0	16.89	0	0	0	0	0	0	99.99
307-z2-f1-2	Ands	58.06	0	25.33	1.16	0	0	0	9.28	5.77	0.4	0	0	0	0	100
307-z2-f1-3	Ands	57.68	0	25.46	2.31	0	0	0	8.57	5.64	0.35	0	0	0	0	100.01
307-z2-f1-4	Chl	34.67	0	18.18	32.28	13.92	0.45	0	0.49	0	0	0	0	0	0	99.99
307-z2-f2-1	C/S	35.67	0	18.34	31.24	13.24	0.4	0	0.88	0	0.23	0	0	0	0	100
307-z2-f3-1	Oxi-Fe	1.13	15.77	2.26	78.92	0	0.38	0	0.4	0	0	0	0	0	1.15	100.01
307-z2-f3-2	Chl	34.64	0	18.63	32.53	13.47	0.36	0	0.37	0	0	0	0	0	0	100
307-z2-f3-3	Aug	52.1	0.88	3	13.96	14.47	0.43	0	15.14	0	0	0	0	0	0	99.984
307-z2-f3-4	Ands	58.49	0	25.12	1.76	0	0	0	8.49	5.85	0.29	0	0	0	0	100
307-z3-f1-1	Prh	46.89	0	22.08	3.49	0.43	0	0	27.11	0	0	0	0	0	0	100
307-z3-f1-2	Chl	34.61	0	18.13	33.29	13.08	0.41	0	0.47	0	0	0	0	0	0	99.99
307-z3-f2-1	C/S	35.01	0	17.74	32.77	13.51	0.35	0	0.63	0	0	0	0	0	0	100.01
307-z3-f2-2	C/S	34.58	0	18.22	32.61	12.56	0.38	0	1.02	0	0.62	0	0	0	0	99.99
307-z3-f2-3	Prh	47.5	0	22.53	2.42	0	0	0	27.55	0	0	0	0	0	0	100
307-z3-f2-4	Prh	47.27	0	22.41	2.54	0	0	0	27.4	0	0	0	0	0	0.38	100
307-z3-f2-5	Ttn	35.97	19.53	9.83	12.07	4.02	0	0	18.58	0	0	0	0	0	0	100

Id	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MgO	MnO	Cr2O3	CaO	Na2O	K2O	SO3	PO4	CuO	V2O5	Total
307-z3-f3-1	MinNoldn	1.43	0	0.59	0.94	0	0	0	49	0	0	0	40.73	0	0	92.69
307-z3-f3-2	C/S	34.91	0	18.38	31.13	14.26	0.38	0	0.94	0	0	0	0	0	0	100
307-z3-f3-3	Prh	47.02	0	19.63	6.16	0	0	0	27.19	0	0	0	0	0	0	100
307-z3-f3-4	Prh	47.46	0	19.9	5.6	0	0	0	27.04	0	0	0	0	0	0	100
307-z3-f4-1	Qz	97.74	0	1.39	0.35	0	0	0	0	0.52	0	0	0	0	0	100
307-z3-f4-2	MinNoldn	4.02	1.09	1.1	1.54	0.48	0	0	47.79	0.44	0.32	0	36.86	0	0	93.64
307-z3-f4-3	MinNoldn	6.25	2.28	2.09	2.57	0.42	0	0	43.8	0.82	0	0	37	0	0	95.23
307-z3-f4-4	Chl	35.29	0	17.35	32.97	13.56	0.35	0	0.49	0	0	0	0	0	0	100.01
307-z3-f4-5	C/S	34.91	0	17.92	32.27	13.98	0.33	0	0.59	0	0	0	0	0	0	100
307-z3-f4-6	Ttn	32.3	29.65	5.35	3.93	0.85	0	0	26.48	1.44	0	0	0	0	0	100
307-z3-f5-1	Cpy	1.15	0	0	20.91	0	0	0	0.63	0	0	56.52	0	20.69	0	99.9
307-z3-f5-2	Prh	49.38	0	21.27	4.78	0	0	0	24.57	0	0	0	0	0	0	100
307-z3-f5-3	Aug	57.11	0.65	1.5	9.76	15	0	0	15.98	0	0	0	0	0	0	100
476-z1-f1-1	Mt	0	4.73	18.74	41.86	6.96	0	27	0	0	0	0	0	0	0.71	100
476-z1-f1-2	Chl	34.8	0	19.86	26.33	18.26	0.43	0	0.33	0	0	0	0	0	0	100.01
476-z1-f1-3	Qz	99.63	0	0	0.37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
476-z1-f2-1	Mt	0	4.57	15.5	45.73	5.34	0	28.86	0	0	0	0	0	0	0	100
476-z1-f3-1	Chl	35.06	0	19.97	27.02	17.96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
476-z1-f4-1	Cal	0	0	0	0	0	0	0	38.18	0	0	0	0	0	0	38.18
476-z1-f4-2	C/S	38.07	0	23.04	20.78	11.6	0	0	5.66	0	0.85	0	0	0	0	100
476-z1-f4-3	Ep	40.93	0	21.97	13.19	0	0	0	23.91	0	0	0	0	0	0	100
476-z1-f4-4	MinNoldn	42.46	0	22.37	14.49	4.53	0	0	15.09	0	1.06	0	0	0	0	100
476-z1-f5-1	C/S	40.46	0	23.69	15.2	7.48	0	0	12.34	0	0.84	0	0	0	0	100.01
476-z1-f5-2	Ep	40.31	0	24.18	11.12	0	0.37	0	24.02	0	0	0	0	0	0	100
476-z1-f6-1	C/S	48.84	0	28.4	11.99	7.86	0	0	0.55	0	2.36	0	0	0	0	100
476-z1-f6-2	Ep	40.84	0.65	21.84	12.68	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	100.01
476-z1-f6-3	I/S	60	0	24.85	4.03	2.3	0	0	8.44	0	0.38	0	0	0	0	100
476-z1i-f1-1	Qz	99.39	0	0	0.61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
476-z1i-f1-2	C/S	47.2	0	17.89	19.09	14.11	0	0	0	0	1.71	0	0	0	0	100
476-z1i-f1-3	Chl	35	0	20.71	26.18	18.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
476-z1i-f1-4	I/S	56.76	0	19.2	8.7	5.02	0	0	0	2.06	8.26	0	0	0	0	100
476-z1i-f1-5	I/S	64.08	0	29.18	1	1.35	0	0	2.59	0	1.79	0	0	0	0	99.99
476-z1i-f1-6	I/S	61.4	0	27.94	1.61	1.46	0	0	5.07	0	2.52	0	0	0	0	100
476-z1i-f1-7	Qz	99.49	0	0	0.51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
476-z1i-f1-8	MinNoldn	63.3	0	11.26	15.33	10.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99
476-z1i-f2-1	Chl	36	0	20.59	25.09	17.86	0	0	0.46	0	0	0	0	0	0	100
476-z1i-f2-1	MinNoIdn	59.2	0	33.16	0	0.71	0	0	2.3	0	4.63	0	0	0	0	100
476-z1i-f2-2	MinNoldn	57.02	0	33.28	0.79	0.91	0	0	0.94	0	7.05	0	0	0	0	99.99
476-z1i-f2-3	Ep	41.06	0	23.99	11.39	0	0	0	23.56	0	0	0	0	0	0	100

Id	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MgO	MnO	Cr2O3	CaO	Na2O	K2O	SO3	PO4	CuO	V2O5	Total
476-zli-f2-4	Ep	41.59	0	25.67	9.24	0	0	0	23.5	0	0	0	0	0	0	100
476-zli-f2-5	C/S	34.86	0	21.5	25.86	17.24	0	0	0.55	0	0	0	0	0	0	100.01
476-zli-f2-6	Qz	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
476-zli-f2-7	I/S	60.41	0	29.79	2.04	1.47	0	0	2.99	0	3.3	0	0	0	0	100
476-zli-f2-8	MinNoldn	75.83	0	14.06	0.62	0	0	0	0	2.52	6.98	0	0	0	0	100.01
476-zli-f2-9	MinNoldn	74.79	0	12.43	3.65	1.86	0	0	1.23	2.41	2.66	0	0.98	0	0	100.01
476-zli-f3-1	Qz	98.49	0	0.93	0	0	0	0	0	0	0.57	0	0	0	0	99.99
476-zli-f3-2	Ort	69.26	0	17.11	0	0	0	0	0	1.47	12.17	0	0	0	0	100.01
476-zli-f3-3	Ttn	39.87	23.52	7.39	4.32	1	0	0	22	0	0	0	0	0	0	98.1
476-zli-f3-4	Ttn	39.73	27.96	4.92	2.81	0	0	0	24.58	0	0	0	0	0	0	100
476-zli-f3-5	Ab	68.06	0	20.9	0	0	0	0	0.88	8.98	1.17	0	0	0	0	99.99
476-zli-f3-6	I/S	57.08	0	33.35	0.55	0.8	0	0	1.44	0	6.78	0	0	0	0	100
476-zli-f3-7	Ttn	37.89	28.42	4.94	3.58	0.67	0	0	22.9	0	1.59	0	0	0	0	99.99
476-zli-f3-8	C/S	40.1	0	20.36	25.28	10.57	0	0	0.71	0	2.99	0	0	0	0	100.01
476-zli-f3-9	Ap	42.09	0	1.33	0.79	0	0	0	25.63	0	1.24	1.28	24.97	0	0	97.33
476-zli-f4-1	Cal	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100
476-zli-f4-2	MinNoldn	63.05	0	23.05	0	0	0	0	13.9	0	0	0	0	0	0	100
476-zli-f4-3	Cal	2.01	0	1.47	1.02	0	0	0	95.5	0	0	0	0	0	0	100
476-zli-f4-4	C/S	40.64	0	25.26	16.93	11.58	0	0	3.94	0	1.66	0	0	0	0	100.01
476-zli-f4-5	I/S	57.95	0	32.26	1.41	1.2	0	0	1.8	0	5.39	0	0	0	0	100.01
476-zli-f4-6	I/S	59.24	0	31.94	1.33	1.15	0	0	2.19	0	4.15	0	0	0	0	100
476-zli-f4-7	I/S	58.74	0	30.47	1.42	0	0	0	4.6	0	4.77	0	0	0	0	100
476-zli-f4-8	C/S	38.62	0	23.09	21.86	15.35	0	0	0.58	0	0.51	0	0	0	0	100.01
476-zli-f4-9	MinNoldn	55.37	0	21.15	0	0	0	0	23.49	0	0	0	0	0	0	100.01
476-zli-f5-1	Ab	69.68	0	18.97	0.6	0	0	0	0.8	9.95	0	0	0	0	0	100
476-zli-f5-2	C/S	35.86	0	20.7	24.86	17.9	0	0	0.68	0	0	0	0	0	0	100
476-zli-f5-3	C/S	34.36	0	20.38	26.66	18.07	0	0	0.52	0	0	0	0	0	0	99.99
476-zli-f5-4	Olg	68.03	0	20.29	0	0	0	0	2.15	9.53	0	0	0	0	0	100
476-zli-f5-5	Prh	47.34	0	17.41	6.99	4.77	0	0	17.34	5.24	0.54	0	0	0	0	99.63
476-zli-f5-6	Cal	3.75	0	1.42	4.78	0.7	0	0	89.35	0	0	0	0	0	0	100
476-zli-f5-7	C/S	34.76	0.76	20.68	24.58	18.06	0	0	1.16	0	0	0	0	0	0	100
476-zli-f5-8	C/S	34.77	0	20.68	24.45	19.32	0	0	0.78	0	0	0	0	0	0	100
476-zli-f6-1	Pmp	41.15	0	22.22	12.97	0	0	0	23.66	0	0	0	0	0	0	100
476-zli-f6-2	C/S	33.83	0	22.74	28.01	14.88	0	0	0.54	0	0	0	0	0	0	100
476-zli-f6-3	I/S	57.52	0	33.3	0.96	0	0	0	1.1	0	7.12	0	0	0	0	100
476-zli-f6-4	C/S	36.02	0	23.4	23.96	15.26	0	0	0.91	0	0.45	0	0	0	0	100
476-zli-f6-5	Cal	0	0	0	1.1	0	0	0	98.9	0	0	0	0	0	0	100
476-zli-f7-1	C/S	37.27	0	22.78	22.13	13.07	0	0	1.33	0	1.36	2.05	0	0	0	99.99
476-zli-f7-2	Cal	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100

Id	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MgO	MnO	Cr2O3	CaO	Na2O	K2O	SO3	PO4	CuO	V2O5	Total
476-zli-f7-3	Py	1.72	0	0.66	28.64	0	0	0	0.49	0.52	0	66.19	0	0	0	98.22
476-zli-f7-4	Py	1.13	0	0.73	28.83	0	0	0	0.43	0	0	67.33	0	0	0	98.45
476-zli-f7-5	Py	0.87	0	0	28.68	0	0	0	0.47	0	0	67.98	0	0	0	98
476-zli-f8-1	Py	0.32	0	0	29.07	0	0	0	0	0	0	70.6	0	0	0	99.99
476-zli-f8-2	Py	0	0	0	29.46	0	0	0	0	0.36	0	70.18	0	0	0	100
476-zli-f8-3	Qz	99.48	0	0	0.52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
476-zli-f8-4	Ab	69.3	0	19.83	0	0	0	0	1.74	9.14	0	0	0	0	0	100.01
476-zli-f8-5	Olg	67.87	0	19.86	0.79	0	0	0	2.05	9.44	0	0	0	0	0	100.01
476-zli-f8-6	C/S	36.73	0	21.3	23.31	17.69	0	0	0.42	0	0.56	0	0	0	0	100.01
476-zli-f8-7	C/S	34.98	0	20.57	24.78	19.13	0	0	0.54	0	0	0	0	0	0	100
476-zli-f8-8	I/S	62.41	0	27.61	1.17	0.7	0	0	2.65	1.24	4.23	0	0	0	0	100.01
476-z2-f1-1	Chl	34.84	0	20.06	26.21	18.51	0	0	0.38	0	0	0	0	0	0	100
476-z2-f1-2	Chl	34.48	0	19.91	27.1	18.07	0	0	0.45	0	0	0	0	0	0	100.01
476-z2-f1-3	Chl	35.49	0	19.07	26.07	18.9	0.47	0	0	0	0	0	0	0	0	100
476-z2-f1-4	Qz	99.67	0	0	0.33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
476-z2i-f1-1	Cal	1.11	0	0	1.72	0	1.12	0	91.48	0	0	0	0	0	0	95.43
476-z2i-f1-2	I/S	57.33	0	32.79	0.99	0.68	0	0	1.22	0	6.99	0	0	0	0	100
476-z2i-f1-3	I/S	56.49	0	33.37	0.97	0.66	0	0	0.99	0	7.52	0	0	0	0	100
476-z2i-f1-4	I/S	56.79	0	32.59	1.18	0.8	0	0	1.19	0	7.44	0	0	0	0	99.99
476-z2i-f1-5	Chl	35.24	0	20.74	24.99	18.61	0	0	0.42	0	0	0	0	0	0	100
476-z2i-f1-6	Ttn	34.02	33.17	2.44	3.11	0	0	0	27.26	0	0	0	0	0	0	100
476-z2i-f1-7	Chl	34.92	0	21.12	25.87	17.66	0	0	0.44	0	0	0	0	0	0	100.01
476-z2i-f2-1	C/S	38.31	0	23.14	22.25	14.69	0	0	0	0	1.62	0	0	0	0	100.01
476-z2i-f2-2	I/S	61.52	0	28.38	1.17	0	0	0	2.9	2.53	3.49	0	0	0	0	99.99
476-z2i-f2-3	I/S	60.9	0	29.18	1.31	0.64	0	0	1.68	1.14	5.14	0	0	0	0	99.99
476-z2i-f2-4	Ttn	37.55	29.63	4.14	2.28	0	0	0	25.25	0	1.16	0	0	0	0	100.01
476-z2i-f2-5	Prh	43.71	0	24.31	9.3	0	0	0	22.68	0	0	0	0	0	0	100
476-z2i-f2-6	C/S	41	0	18.19	23.67	16.51	0	0	0.62	0	0	0	0	0	0	99.99
476-z2i-f2-7	Qz	94.34	0	1.68	2.13	0.85	0	0	1	0	0	0	0	0	0	100
476-z2i-f3-1	Cal	2.74	0	0	0	0	0	0	97.26	0	0	0	0	0	0	100
476-z2i-f3-2	Qz	99.5	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
476-z2i-f3-3	Chl	37.01	0	20.45	26.28	16.26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
476-z2i-f3-4	Ttn	35.06	30.81	4.49	3.51	0	0	0	26.13	0	0	0	0	0	0	100
476-z2i-f3-5	MinNoldn	60.63	0	26.27	3.15	1.74	0	0	2.66	1.38	3.87	0	0	0	0	99.7
476-z2i-f4-1	Ttn	36.88	30.43	2.92	3.9	0	0	0	25.86	0	0	0	0	0	0	99.99
476-z2i-f4-2	Mt	0	5.27	13.97	46.92	4.58	0	29.26	0	0	0	0	0	0	0	100
476-z2i-f4-3	C/S	39.46	0	22.6	21.78	13.28	0.59	0	0.63	0.72	0.94	0	0	0	0	100
476-z2i-f4-4	Cal	3.85	0	0	1.43	1.56	2.57	0	90.59	0	0	0	0	0	0	100
476-z2i-f4-5	Qz	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100

Id	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MgO	MnO	Cr2O3	CaO	Na2O	K2O	SO3	PO4	CuO	V2O5	Total
476-z2i-f4-6	Chl	34.03	0	19.61	27.81	18.11	0	0	0.45	0	0	0	0	0	0	100.01
476-z2i-f4-7	I/S	55.58	0	31.88	2.7	1.84	0	0	1.27	0	6.72	0	0	0	0	99.99
476-z2i-f5-1	I/S	61.76	0	28.78	0.83	0	0	0	2.98	1.81	3.84	0	0	0	0	100
476-z2i-f5-2	MinNoIdn	68.56	0	22.4	0.79	0.79	0	0	2.04	2.14	3.28	0	0	0	0	100
476-z2i-f5-3	MinNoIdn	74.65	0	19.22	0.82	0	0	0	1.13	1.56	2.62	0	0	0	0	100
476-z2i-f5-4	Qz	98.38	0	0.84	0	0	0	0	0	0	0.78	0	0	0	0	100
476-z2i-f5-5	Ttn	35.6	26.47	6.46	5.23	2.31	0	0	23.93	0	0	0	0	0	0	100
476-z2i-f5-6	Qz	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
476-z2i-f5-7	I/S	65.55	0	27.07	0	0	0	0	3.66	2.05	1.67	0	0	0	0	100
476-z3-f1-1	Ep	40.77	0	23.02	12.78	0	0	0	23.43	0	0	0	0	0	0	100
476-z3-f1-2	C/S	34.45	0	20.74	25.57	18.24	0.42	0	0.59	0	0	0	0	0	0	100.01
476-z3-f2-1	Chl	34.71	0	20.65	25.45	18.21	0.48	0	0.5	0	0	0	0	0	0	100
476-z3-f3-1	Chl	33.96	0	20.99	25.83	18.15	0.61	0	0.46	0	0	0	0	0	0	100
476-z3-f3-2	I/S	60.56	0	31.29	1.08	1.17	0	0	1.7	0	4.22	0	0	0	0	100.02
476-z3-f3-3	I/S	58.09	0	32.22	0.98	0.92	0	0	1.39	0	6.41	0	0	0	0	100.01
476-z3-f4-1	I/S	60.37	0	31.72	0.71	0.94	0	0	3.91	0	2.35	0	0	0	0	100
476-z3-f4-2	Cal	1.12	0	0.7	0	0	0	0	98.18	0	0	0	0	0	0	100
476-z3-f5-1	Qz	99.42	0	0	0.58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
476-z3-f5-2	Chl	34.55	0	20.8	25.57	18.12	0.48	0	0.47	0	0	0	0	0	0	99.99
476-z3-f6-1	Chl	34.51	0	20.74	25.68	18.27	0.43	0	0.38	0	0	0	0	0	0	100.01
476-z3-f6-2	Chl	34.59	0	20.33	26.25	18.82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99
476-z3-f6-3	Chl	34.92	0	20.1	25.86	18.73	0	0	0.39	0	0	0	0	0	0	100
476-z3-f6-4	Chl	35.06	0	19.94	24.93	19.27	0.46	0	0.33	0	0	0	0	0	0	99.99
476-z3-f6-5	Chl	35.56	0	20.29	25.84	18.32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
476-z3-f6-6	Chl	35.54	0	19.93	24.92	18.52	0.61	0	0.48	0	0	0	0	0	0	100
476-z3-f6-7	Chl	34.58	0	20.51	25.62	18.84	0.46	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
476-z3-f6-8	Chl	35.27	0	20.08	25.78	18.39	0	0	0.48	0	0	0	0	0	0	100
476-z3-f6-9	Chl	36.2	0	20.69	24.94	18.17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
476-z3-f7-1	Prh	46.16	0	24.27	7.79	0	0	0	21.46	0	0	0	0	0	0	99.68
476-z3-f7-1	Chl	39.58	0	23.58	16.09	20.1	0.32	0	0.34	0	0	0	0	0	0	100.01
476-z3-f7-1	Prh	47.64	0	25.04	8.33	0	0	0	19.98	0	0	0	0	0	0	100.99
476-z3-f7-1	Qz	79.77	0	11.68	0.78	1.11	0	0	0.52	5.65	0.5	0	0	0	0	100.01
476-z3-f7-2	Chl	39.46	0	22.66	16.11	21.01	0.3	0	0.46	0	0	0	0	0	0	100
476-z3-f7-3	Cal	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100
476-z3-f7-4	Cal	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100
476-z3-f7-5	Smc	61.69	0	32.02	0.33	0.97	0	0	1.62	0	3.18	0	0	0	0	99.81
476-z3-f7-6	Smc	63.65	0	30.75	0.58	1.06	0	0	2.5	0	1.45	0	0	0	0	99.99
476-z3-f7-7	C/S	39.88	0	24.17	15.3	19.78	0.28	0	0.6	0	0	0	0	0	0	100.01
476-z3-f7-8	Prh	46.87	0	25.08	8.85	0	0	0	19.21	0	0	0	0	0	0	100.01

Id	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MgO	MnO	Cr2O3	CaO	Na2O	K2O	SO3	PO4	CuO	V2O5	Total
476-z3-f7-9	Cal	3.37	0	1.61	0	0	0	0	95.02	0	0	0	0	0	0	100
476-z3i-f1-1	Qz	98.48	0	1.52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
476-z3i-f1-2	I/S	58.53	0	31.56	0.76	0.71	0	0	1.49	0.58	6.36	0	0	0	0	99.99
476-z3i-f1-3	C/S	44.82	0	25.84	15.63	10.43	0	0	1.07	0	2.21	0	0	0	0	100
476-z3i-f1-4	I/S	60.26	0	31.05	0.87	0.93	0	0	2.45	0	4.45	0	0	0	0	100.01
476-z3i-f1-5	I/S	64.98	0	29.44	0.95	0.97	0	0	3.31	0	0.35	0	0	0	0	100
476-z3i-f2-1	Cal	1.21	0	0	0	0	0	0	98.79	0	0	0	0	0	0	100
476-z3i-f2-2	Smc	65.41	0	27.1	0.75	1.83	0	0	4.92	0	0	0	0	0	0	100.01
476-z3i-f2-3	I/S	58.06	0	32.83	0	0.79	0	0	1.75	0	6.56	0	0	0	0	99.99
476-z3i-f2-4	Lmt	63.58	0	23.35	0	0	0	0	13.07	0	0	0	0	0	0	100
476-z3i-f2-5	Lmt	64.19	0	22.74	0	0	0	0	13.06	0	0	0	0	0	0	99.99
476-z3i-f2-6	Lmt	62.91	0	23.16	0	0	0	0	13.93	0	0	0	0	0	0	100
476-z3i-f2-7	Cal	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100
476-z3i-f2-8	I/S	65.43	0	27.49	0.89	1.76	0	0	3.76	0	0.67	0	0	0	0	100
476-z3i-f2-9	I/S	63.87	0	29.67	0	1.07	0	0	5.04	0	0.35	0	0	0	0	100
476-z3i-f3-1	C/S	34.82	0	20.47	26.71	17.3	0	0	0.7	0	0	0	0	0	0	100
476-z3i-f3-2	Cal	0	0	0	1.45	0	0	0	98.55	0	0	0	0	0	0	100
476-z3i-f3-3	MinNoldn	24.36	0	12.7	47.82	7.87	0	0	7.25	0	0	0	0	0	0	100
476-z3i-f3-4	C/S	34.24	0	20.9	27.98	16.07	0	0	0.81	0	0	0	0	0	0	100
476-z3i-f3-5	Qz	99.38	0	0.62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
476-z3i-f3-6	Smc	64.87	0	30.48	1.22	1.42	0	0	2.01	0	0	0	0	0	0	100
476-z3i-f3-7	I/S	65.55	0	29.25	0.73	1.11	0	0	2.87	0	0.49	0	0	0	0	100
476-z3i-f4-1	Chl	36.42	0	21.67	25.11	16.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
476-z3i-f4-2	Qz	98.11	0	0.9	0.99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
476-z3i-f4-3	I/S	65.04	0	28.01	1.41	1.23	0	0	3.82	0	0.49	0	0	0	0	100
476-z3i-f4-4	I/S	64.4	0	29.03	0.95	1.45	0	0	3.41	0	0.76	0	0	0	0	100
476-z3i-f4-5	Qz	98.27	0	0.94	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
476-z3i-f5-1	Mt	0	6.31	11.3	41.45	5.27	0	35.05	0.63	0	0	0	0	0	0	100.01
476-z3i-f5-2	C/S	33.89	0	20.02	27.24	18.15	0	0	0.7	0	0	0	0	0	0	100
476-z3i-f5-3	Prh	43.76	0	22.6	9.39	5.81	0	0	18.44	0	0	0	0	0	0	100
476-z3i-f5-4	Cal	1.61	0	0	1.48	0	1.61	0	95.3	0	0	0	0	0	0	100
476-z3i-f6-1	Py	0	0	0	29.39	0	0	0	0.35	0	0	70.26	0	0	0	100
476-z3i-f6-2	Cal	1.28	0	0	0	0	1.3	0	97.43	0	0	0	0	0	0	100.01
476-z3i-f6-3	C/S	32.21	0	22.69	32.19	11.52	0	0	0.97	0	0.43	0	0	0	0	100.01
476-z3i-f6-4	Olg	65.08	0	20.63	1.52	0	0	0	3.9	8.87	0	0	0	0	0	100
476-z3i-f6-5	I/S	57.67	0	31.7	1.09	0.85	0	0.71	1.49	0	6.49	0	0	0	0	100
476-z3i-f7-1	I/S	57.98	0	33.09	0	1.09	0	0	1.19	0	6.65	0	0	0	0	100
476-z3i-f7-2	MinNoldn	64.85	0	30.39	0	0.97	0	0	2.84	0	0.95	0	0	0	0	100
476-z3i-f7-3	Cal	10.71	0	3.92	0	0	0	0	84.78	0	0.6	0	0	0	0	100.01

Id	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MgO	MnO	Cr2O3	CaO	Na2O	K2O	SO3	PO4	CuO	V2O5	Total
476-z3i-f8-1	Cal	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100
476-z3i-f8-2	Olg	65.97	0	20.12	0.62	0	0	0	2.46	10.83	0	0	0	0	0	100
476-z3i-f8-3	MinNoIdn	64.42	0	31.42	0	0	0	0	3.59	0	0.57	0	0	0	0	100
476-z3i-f9-1	MinNoIdn	45.92	0	16.71	0	0	0	0	31.46	4.93	0.97	0	0	0	0	99.99
476-z3i-f9-2	MinNoIdn	36.18	0	19.73	8.32	6.01	0	0	26.89	1.56	1.3	0	0	0	0	99.99
476-z3i-f9-3	MinNoIdn	24.46	0	10.19	17.23	0	0	0	26.28	0	21.84	0	0	0	0	100
476-z3i-f9-4	Cal	0	0	0	0	0	0	0	98.34	0	0	1.66	0	0	0	100
579-z1-f1-1	Chl	35.94	0	18.91	24.5	20.26	0	0	0.39	0	0	0	0	0	0	100
579-z1-f1-2	Qz	98.72	0	0.51	0.77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
579-z1-f1-3	Chl	36.01	0	18.69	24.64	20.67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
579-z1-f1-4	Chl	36.12	0	18.4	24.38	20.68	0.42	0	0	0	0	0	0	0	0	100
579-z1-f1-5	Chl	36.4	0	18.86	24.03	20.71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
579-z1-f1-6	Chl	36.58	0	18.58	23.95	20.89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
579-z1-f2-1	Chl	35.94	0	18.41	25.04	19.91	0.38	0	0.32	0	0	0	0	0	0	100
579-z1-f2-2	Cal	9.37	0	4.57	6.78	4.63	0	0	74.65	0	0	0	0	0	0	100
579-z1-f2-3	Ttn	33.84	31.84	3.06	4.17	0.82	0	0	26.26	0	0	0	0	0	0	99.99
579-z1-f2-4	C/S	39.11	0.71	16.68	22.26	15.6	0.4	0	2.98	1.18	0	0	1.06	0	0	99.98
579-z1-f2-5	Oxi-Fe-Fe	2.18	0.57	0.98	95.59	0	0	0	0.68	0	0	0	0	0	0	100
579-z1-f2-6	MinNoIdn	58.61	0	18.83	1.11	0.5	0	0	12.56	8.12	0.26	0	0	0	0	99.99
579-z1-f2-7	Chl	36.66	0	18.48	23.73	20.65	0.48	0	0	0	0	0	0	0	0	100
579-z1-f2-8	Olg	57.52	0	21.51	6.72	4.14	0	0	2.76	7.35	0	0	0	0	0	100
579-z1-f3-1	Chl	35.71	0	18.73	24.7	20.39	0.47	0	0	0	0	0	0	0	0	100
579-z1-f3-2	Chl	36.81	0	19.06	24.38	19.45	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	100
579-z1-f3-3	Qz	98.2	0	0	0.64	0.35	0	0	0.81	0	0	0	0	0	0	100
579-z1-f3-4	C/S	46.53	0	19.67	17.22	11.43	0	0	1.14	4.01	0	0	0	0	0	100
579-z1-f3-5	Ttn	36.03	25.42	5.6	3.21	1.05	0	0	24.33	1.21	0.63	0	2.52	0	0	100
579-z1-f3-6	Ttn	26.87	35.55	2.45	13.98	0	1.26	0	19.88	0	0	0	0	0	0	99.99
579-z1-f3-7	Oxi-Fe	2.12	3	6.37	87.06	0	0	0	0.75	0	0	0	0	0	0.69	99.99
579-z1-f4-1	Cal	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100
579-z1-f4-2	Lmt	64.54	0	24.5	0.18	0	0	0	9.46	1.32	0	0	0	0	0	100
579-z1-f4-3	Prh	48.33	0	25.28	8.13	1.08	0	0	17.17	0	0	0	0	0	0	99.99
579-z1-f4-4	Prh	46.63	0	26.73	7.46	0	0	0	19.18	0	0	0	0	0	0	100
579-z1-f4-5	C/S	40.05	0	21.61	14.47	23.03	0.28	0	0.56	0	0	0	0	0	0	100
579-z1-f4-6	Prh	46.02	0	26.04	8.16	0	0.29	0	19.5	0	0	0	0	0	0	100.01
579-z1-f4-7	MinNoIdn	22.46	0	13.48	13	10.41	0	0	40.65	0	0	0	0	0	0	100
579-z1-f4-8	MinNoIdn	23.7	0	13.82	12.09	12.92	0.35	0	37.12	0	0	0	0	0	0	100
579-z2-f1-1	Chl	35.27	0	18.36	25.54	19.82	0.64	0	0.38	0	0	0	0	0	0	100.01
579-z2-f1-2	Qz	98.64	0	0.47	0.52	0.37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
579-z2-f1-3	Ep	41.06	0	22.29	13.41	0	0	0	23.25	0	0	0	0	0	0	100.01

Id	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MgO	MnO	Cr2O3	CaO	Na2O	K2O	SO3	PO4	CuO	V2O5	Total
579-z2-f1-4	Qz	98.21	0	0.91	0.42	0	0	0	0.45	0	0	0	0	0	0	99.99
579-z2-f1-5	Chl	36.13	0	18.14	25.26	19.78	0.69	0	0	0	0	0	0	0	0	100
579-z2-f1-6	Chl	35.02	0	19.99	25.95	19.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99
579-z2-f2-1	C/S	36.12	0	19.55	23.63	20.07	0	0	0.63	0	0	0	0	0	0	100
579-z2-f2-2	C/S	36.49	0	18.4	23.77	20.71	0	0	0.63	0	0	0	0	0	0	100
579-z2-f2-3	C/S	36.24	0	18.65	23.82	20.09	0.63	0	0.57	0	0	0	0	0	0	100
579-z2-f2-4	Chl	35.26	0	18.91	25.52	19.36	0.61	0	0.34	0	0	0	0	0	0	100
579-z2-f2-5	Chl	35.06	0	19.58	24.42	20.1	0.5	0	0.34	0	0	0	0	0	0	100
579-z2-f3-1	Chl	35.81	0	18.45	25.08	19.83	0.45	0	0.38	0	0	0	0	0	0	100
579-z2-f3-2	Chl	36.67	0	18.72	24.24	20.37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
579-z2-f3-3	Qz	97.94	0	0	2.06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
579-z2-f3-4	Chl	36.49	0	18.33	24.88	20.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
579-z2-f3-5	Chl	35.97	0	18.55	25.85	19.62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99
579-z2-f4-1	Chl	36.1	0	18.82	24.69	19.99	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0	100
579-z2-f4-2	Chl	36.77	0	18.32	24.59	20.32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
579-z2-f4-3	Chl	36.43	0	18.4	24.33	20.33	0.52	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
579-z2-f4-4	Chl	36.19	0	18.38	24.64	20.05	0.4	0	0.34	0	0	0	0	0	0	100
579-z2-f5-1	Lmt	64.67	0	24	0	0	0	0	10.21	1.12	0	0	0	0	0	100
579-z2-f5-2	Cal	21.66	0	3.96	4.83	7.34	0	0	62.21	0	0	0	0	0	0	100
579-z2-f5-3	Aug	54.9	0.74	7.05	8.54	13.8	0.43	0	14.67	0	0	0	0	0	0	100.13
579-z2-f5-4	Aug	56.89	0.74	4.1	8.54	14.64	0.43	0	14.67	0	0	0	0	0	0	100.01
579-z2-f5-5	Aug	52.91	0.36	11.69	8.83	11.77	0.24	0	14.19	0	0	0	0	0	0	99.99
579-z2-f5-6	MinNoIdn	50.97	0.99	15.08	8.52	7.13	0	0	17.31	0	0	0	0	0	0	100
579-z3-f1-1	C/S	33.59	0	21.02	25.64	18.99	0	0	0.76	0	0	0	0	0	0	100
579-z3-f1-2	Ep	39.78	0	22.82	13.17	0	0	0	23.55	0	0	0	0	0.68	0	100
579-z3-f1-3	Cpy	0.33	0	0	23.55	0	0	0	0	0	0	50.66	0	25.45	0	99.99
579-z3-f2-1	Chl	33.83	0	20.91	23.59	20.59	0.61	0	0.48	0	0	0	0	0	0	100.01
579-z3-f2-2	Chl	35.22	0	20.25	24.91	18.62	0.52	0	0.48	0	0	0	0	0	0	100
579-z3-f2-3	C/S	34.37	0	20.63	23.44	18.45	0.49	0	2.63	0	0	0	0	0	0	100.01
579-z3-f2-4	Ep	41.56	0	22.36	12.71	0.5	0	0	22.87	0	0	0	0	0	0	100
579-z3-f2-5	Qz	99.08	0	0.49	0.42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99
579-z3-f2-6	C/S	34.65	0	20.7	22.39	14.41	0.46	0	7.4	0	0	0	0	0	0	100.01
579-z3-f2-7	Olg	62.32	0.62	21.77	1.53	0.59	0	0	5.5	7.06	0.61	0	0	0	0	100
579-z3-f2-8	MinNoIdn	38.13	15.8	11.98	12.34	7.76	0	0	12.64	1.36	0	0	0	0	0	100.01
579-z3-f2-9	Oxi-Fe	3.2	1.53	0	92.9	0	0	0	1.11	0	0	0	0	0	0	98.74
678-z1-f1-1	Labr	52.7	0	29.33	0.9	0	0	0	13.14	3.68	0.24	0	0	0	0	99.99
678-z1-f2-1	C/S	38.62	0	17.23	21.32	21.75	0.45	0	0.63	0	0	0	0	0	0	100
678-z1-f2-2	Qz	98.92	0	0	0.6	0.48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
678-z1-f3-1	Ap	1.48	0	0	1.01	0	0	0	50.81	0	0	0	41.32	0	0	94.62

Id	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MgO	MnO	Cr2O3	CaO	Na2O	K2O	SO3	PO4	CuO	V2O5	Total
678-z1-f3-2	MinNoldn	21.58	35.88	1.11	34.64	1.22	5.03	0	0.54	0	0	0	0	0	0	100
678-z1i-f1-1	C/S	38.17	0	18.89	18.31	23.18	0.51	0	0.94	0	0	0	0	0	0	100
678-z1i-f1-2	Bytw	48.13	0	33.65	0	0	0	0	16.65	1.57	0	0	0	0	0	100
678-z1i-f1-3	Qz	92.81	0	3.63	1.02	0.63	0	0	0.95	0.96	0	0	0	0	0	100
678-z2-f1-1	Aug	52.58	0	1.89	14.82	7.96	0.46	0	22.29	0	0	0	0	0	0	100
678-z2-f1-2	C/S	41.23	0	16.61	18.61	21.31	0.46	0	0.85	0	0.94	0	0	0	0	100.01
678-z2-f1-3	C/S	39.68	0	16.4	20.16	22.98	0	0	0.78	0	0	0	0	0	0	100
678-z2-f2-1	Ttn	33.78	33.27	3.3	2.07	0	0	0	27.59	0	0	0	0	0	0	100.01
678-z2-f2-2	MinNoldn	26.09	0	11.14	14.24	12.45	0	0	13.09	0.55	0	22.44	0	0	0	100
678-z2-f2-3	Oxi-Fe	3.35	8.14	0	84.74	0.62	0.67	0	0.53	0	0	0	0	0	0.93	98.98
678-z2-f2-4	Labr	56.88	0	26.19	1.31	0	0	0	10.57	4.74	0.31	0	0	0	0	100
678-z2-f2-5	Qz	97.72	0	0.59	0.95	0.73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99
678-z2-f2-6	Labr	58.31	0	25.55	1.45	0	0	0	10.05	4.41	0.23	0	0	0	0	100
678-z2-f2-7	C/S	38.76	0	17.76	20.71	22.14	0	0	0.63	0	0	0	0	0	0	100
678-z2-f2-8	MinNoldn	27.71	0	11.94	15.44	14.08	0	0	10.97	1.05	0.29	18.52	0	0	0	100
678-z2-f2-9	MinNoldn	29.05	0	12.83	17.3	13.99	0	0	9.78	0	0	17.04	0	0	0	99.99
678-z2-f3-1	Ilt	57.42	0	17.54	7.13	8.09	0	0	0	0	9.82	0	0	0	0	100
678-z2-f3-2	MinNoldn	28.73	0	12.73	16.78	14.08	0.46	0	10.12	0	0	17.1	0	0	0	100
678-z2-f3-3	C/S	38.72	0	17.54	20.53	22.07	0.51	0	0.64	0	0	0	0	0	0	100.01
678-z2-f4-1	C/S	40.08	0	17.34	20.42	19.52	0.61	0	1.67	0	0.37	0	0	0	0	100.01
678-z2-f4-2	C/S	38.46	0	18.17	21.63	19.84	0.47	0	1.43	0	0	0	0	0	0	100
678-z2-f5-1	C/S	40	0	16.97	20.81	19.68	0	0	1.55	0.49	0.5	0	0	0	0	100
678-z2i-f1-1	C/S	40.59	0	18.41	17.2	22.93	0	0	0.87	0	0	0	0	0	0	100
678-z2i-f1-2	Bytw	50.4	0	31.74	0.6	0	0	0	14.76	2.5	0	0	0	0	0	100
678-z2i-f2-1	Ttn	36.59	30.57	3.06	2.12	1.26	0	0	26.39	0	0	0	0	0	0	99.99
678-z2i-f2-2	Aug	57.19	0.64	2.43	9.57	16.13	0	0	14.02	0	0	0	0	0	0	99.98
678-z2i-f2-3	Ands	57.58	0	26.12	1.5	0	0	0	9.39	5.41	0	0	0	0	0	100
678-z2i-f2-4	Qz	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
678-z2i-f2-5	Cal	4.17	0	2.4	1.66	1.88	0	0	89.88	0	0	0	0	0	0	99.99
678-z2i-f2-6	C/S	35.91	0	17.04	15.22	21.01	0	0	10.83	0	0	0	0	0	0	100.01
678-z2i-f2-7	Cal	5.17	0	2.8	1.3	4.27	0	0	86.47	0	0	0	0	0	0	100.01
678-z2i-f2-8	MinNoldn	38.55	18.22	1.28	35.63	0	3.16	0	3.16	0	0	0	0	0	0	100
678-z2i-f3-1	C/S	39.39	0	17.29	17.63	22.48	0	0	2.52	0	0.68	0	0	0	0	99.99
678-z2i-f3-2	C/S	39.35	0	18.57	17.19	22.77	0.55	0	1.03	0	0.54	0	0	0	0	100
678-z2i-f3-3	C/S	39.6	0	17.7	18.52	22.57	0	0	1.04	0	0.57	0	0	0	0	100
678-z2i-f4-1	Ilm	0	48.07	0.94	41.83	0	9.15	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99
678-z2i-f4-2	Aug	52.09	1.65	3.29	11	15.27	0	0	16.71	0	0	0	0	0	0	100.01
678-z2i-f4-3	Labr	55.2	0	28.03	1.17	0	0	0	11.1	4.5	0	0	0	0	0	100
678-z2i-f5-1	C/S	41.32	0	18.41	16.04	23.09	0	0	0.74	0	0.41	0	0	0	0	100.01

Id	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MgO	MnO	Cr2O3	CaO	Na2O	K2O	SO3	PO4	CuO	V2O5	Total
678-z2i-f5-2	C/S	40.03	0	18.38	18.32	21.91	0	0	0.69	0	0.67	0	0	0	0	100
678-z2i-f5-3	Ttn	35.08	25.9	4.57	3.51	3.04	0	0	25.39	0	0	0	2.5	0	0	99.99
678-z2i-f5-4	Aug	53.84	2.46	2.14	9.65	14.52	0	0	17.39	0	0	0	0	0	0	100
678-z2i-f5-5	Labr	53.63	0	28.91	0.6	0	0	0	12.87	4	0	0	0	0	0	100.01
678-z2i-f5-6	C/S	42.95	0	15.45	17.43	21.49	0	0	2.68	0	0	0	0	0	0	100
678-z2i-f6-1	C/S	39.37	0	19	18.32	22.14	0	0	0.63	0	0.54	0	0	0	0	100
678-z2i-f6-2	Aug	54.19	0.76	2.22	10.35	16.57	0	0	15.92	0	0	0	0	0	0	100.01
678-z2i-f6-3	Labr	57.15	0	27.02	0.66	0	0	0	10.11	5.07	0	0	0	0	0	100.01
678-z2i-f6-4	Bytw	49.73	0	32.28	0.75	0	0	0	15.54	1.71	0	0	0	0	0	100.01
678-z2i-f7-1	C/S	40.69	0	18.31	17.19	23.36	0	0	0.46	0	0	0	0	0	0	100.01
678-z2i-f7-2	Bytw	50.69	0	31.67	0	0	0	0	15.23	2.41	0	0	0	0	0	100
678-z2i-f7-3	C/S	40.38	0	19.39	16.47	20.17	0	0	3.06	0	0.52	0	0	0	0	99.99
678-z2i-f8-1	Chl	40.28	0	17.43	18.37	23.3	0.62	0	0	0	0	0	0	0	0	100
678-z2i-f8-2	C/S	39.16	0	17.87	19.11	22.67	0.55	0	0.63	0	0	0	0	0	0	99.99
678-z2i-f8-3	Aug	58.08	0	0.7	17.15	10.48	0.77	0	12.81	0	0	0	0	0	0	99.99
678-z2i-f8-4	Qz	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
678-z2i-f8-5	Qz	93	0	0.74	2.37	2.05	0	0	1.85	0	0	0	0	0	0	100.01
678-z2i-f8-6	Chl	39.94	0	17.71	18.03	23.88	0	0	0.44	0	0	0	0	0	0	100
678-z2i-f8-7	Oxi-Fe	18.09	0	2.22	76.62	1.87	0	0.59	0.62	0	0	0	0	0	0	100.01
678-z2i-f9-1	C/S	40.45	0	18.07	17.85	23	0	0	0.63	0	0	0	0	0	0	100
678-z2i-f9-2	C/S	39.63	0	18.29	17.89	23.66	0	0	0.53	0	0	0	0	0	0	100
678-z2i-f9-3	C/S	40.05	0	17.64	18.28	22.88	0.53	0	0.62	0	0	0	0	0	0	100
678-z3-f1-1	Aug	57.11	0	0.69	17.95	11.69	0.59	0	11.98	0	0	0	0	0	0	100.01
678-z3-f1-2	Aug	53.66	0	0.95	15.4	9.32	0.52	0	20.16	0	0	0	0	0	0	100.01
678-z4-f1-1	C/S	39.16	0	17.71	20.07	22.13	0	0	0.93	0	0	0	0	0	0	100
678-z4-f2-1	C/S	39.91	0	16.18	20.34	22.95	0	0	0.61	0	0	0	0	0	0	99.99
678-z4-f3-1	Chl	39.17	0	16.66	19.4	24.4	0	0	0.37	0	0	0	0	0	0	100
678-z4-f3-2	C/S	40.15	0	17.25	18.17	23.81	0	0	0.63	0	0	0	0	0	0	100.01
678-z4-f4-1	C/S	38.86	0	17.73	19.59	22.46	0.56	0	0.79	0	0	0	0	0	0	99.99
678-z4-f5-1	MinNoldn	21.09	0	9.75	10.93	14.1	0.25	0	0.34	0	0	0	0	0	0	56.46
678-z4-f5-2	Chl	39.49	0	16.81	19.4	23.37	0.44	0	0.49	0	0	0	0	0	0	100
678-z5-f1-1	Qz	99.57	0	0	0.43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
678-z5-f1-2	C/S	38.89	0	17.94	20.07	22.47	0	0	0.63	0	0	0	0	0	0	100
678-z5-f1-3	C/S	37.46	0	17.35	23.41	20.68	0	0	1.1	0	0	0	0	0	0	100
678-z5-f1-4	C/S	38.59	0	17.8	20.57	21.82	0	0	1.22	0	0	0	0	0	0	100
678-z5-f1-5	MinNoldn	40.25	0	21.38	17.66	2.96	0	0	17.75	0	0	0	0	0	0	100
678-z5-f1-6	C/S	38.81	0	17.76	20.3	21.62	0.48	0	1.02	0	0	0	0	0	0	99.99
678-z5-f2-1	MinNoldn	53.86	0	1.83	15.87	9.64	0.49	0	18.31	0	0	0	0	0	0	100
678-z5-f2-2	C/S	39.91	0	16.18	20.33	22.57	0.4	0	0.6	0	0	0	0	0	0	99.99

Id	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MgO	MnO	Cr2O3	CaO	Na2O	K2O	SO3	PO4	CuO	V2O5	Total
678-z5-f2-3	C/S	40.29	0	15.84	20.37	22.89	0	0	0.61	0	0	0	0	0	0	100
678-z5-f3-1	C/S	38.73	0	16.49	21.58	21.81	0.49	0	0.91	0	0	0	0	0	0	100.01
745-z1-f1-1	Prh	47.02	0	22.42	3.4	1.48	0	0	25.68	0	0	0	0	0	0	100
745-z1-f1-2	Qz	98.39	0	0.87	0	0	0	0	0.74	0	0	0	0	0	0	100
745-z1-f2-1	Prh	44.88	0	21.54	8.37	5.59	0	0	19.62	0	0	0	0	0	0	100
745-z1-f2-2	Prh	47.28	0	22.15	2.89	0.7	0	0	26.97	0	0	0	0	0	0	99.99
745-z1-f3-1	Chl	34.85	0	21.18	20.77	22.52	0.68	0	0	0	0	0	0	0	0	100
745-z1-f3-2	Chl	35.14	0	20.35	21.63	22.25	0.63	0	0	0	0	0	0	0	0	100
745-z1-f3-3	Chl	35.1	0	20.53	21.84	21.88	0.65	0	0	0	0	0	0	0	0	100
745-z1-f4-1	Lmt	63.67	0	23.45	0	0	0	0	12.88	0	0	0	0	0	0	100
745-z1-f4-2	Chl	35.37	0	20.51	22.17	21.33	0.63	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
745-z1-f5-1	Prh	47.52	0	22.71	2.77	0	0	0	27	0	0	0	0	0	0	100
745-z1-f5-2	Prh	47.07	0	21.46	4.16	0	0	0	27.31	0	0	0	0	0	0	100
745-z1-f5-3	Lmt	61.7	0	22.67	2.55	1.05	0	0	12.03	0	0	0	0	0	0	100
745-z1-f5-4	Chl	35.54	0	20.3	21.11	22.58	0.48	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
745-z1-f5-5	Chl	35.15	0	20.61	23.55	20.73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99
745-z1-f6-1	Prh	46.98	0	22.04	3.86	0	0	0	27.13	0	0	0	0	0	0	100.01
745-z1-f6-2	Prh	46.92	0	22.57	3.05	0.62	0	0	26.83	0	0	0	0	0	0	99.99
745-z1-f6-3	Aug	52.83	1.04	2.67	11.03	15.79	0	0	16.1	0.55	0	0	0	0	0	100.01
745-z1-f6-4	Ep	41.11	0	24.09	10.97	0	0	0	23.83	0	0	0	0	0	0	100
745-z1-f7-1	Ab	68.27	0	19.78	0	0	0	0	1.65	10.31	0	0	0	0	0	100.01
745-z1-f7-2	Oxi-Fe	2.17	11.22	4.98	81.17	0	0	0.46	0	0	0	0	0	0	0	100
745-z1-f7-3	Prh	48.5	0	22.66	3.24	0.88	0	0	24.72	0	0	0	0	0	0	100
745-z1-f7-4	C/S	44.61	0	22.65	13.1	16.64	0	0	3	0	0	0	0	0	0	100
745-z1-f7-5	MinNoIdn	1.33	0	23.86	1.08	0.55	0	0	4.54	6.74	0.94	1.33	0	0	0	40.37
745-z1-f7-6	MinNoIdn	39.3	0	15.43	32.71	0	0	0	3.63	7.21	0	1.73	0	0	0	100.01
763-z1-f1-1	Chl	36.38	0	20.06	21.11	21.5	0.55	0	0.41	0	0	0	0	0	0	100.01
763-z1-f1-2	Chl	36.49	0	20.11	21.14	21.62	0.65	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
763-z1-f1-3	Qz	98.58	0	0.98	0	0	0	0	0.45	0	0	0	0	0	0	100.01
763-z1-f1-4	Qz	99.36	0	0.64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
763-z1-f2-1	Ab	66.59	0	19.36	2.17	1.11	0	0	0.74	9.48	0.54	0	0	0	0	99.99
763-z1-f2-2	Oxi-Fe	1.66	9.02	0	88.81	0	0	0	0.51	0	0	0	0	0	0	100
763-z1-f2-3	Chl	35.24	0	20.56	21.79	21.86	0.55	0	0	0	0	0	0	0	0	100
763-z1-f2-4	C/S	35.6	0	19.55	22.57	21.09	0.63	0	0.57	0	0	0	0	0	0	100.01
763-z1-f2-5	Olg	65.25	0	21.5	0.69	0	0	0	3.92	8.07	0.57	0	0	0	0	100
763-z1-f3-1	Ep	41.9	0	19.8	15.51	0	0	0	22.79	0	0	0	0	0	0	100
763-z1-f3-2	Adr	41.06	0.59	9.92	14.22	0	0.73	0	33.48	0	0	0	0	0	0	100
763-z1-f3-3	Qz	88.54	0	6.19	0.69	0.37	0	0	2.91	1.3	0	0	0	0	0	100
763-z2-f1-1	Chl	36.41	0	21.11	19.97	21.85	0.65	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99

Id	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MgO	MnO	Cr2O3	CaO	Na2O	K2O	SO3	PO4	CuO	V2O5	Total
763-z2-f1-2	Chl	37.35	0	20.49	19.52	22.05	0.59	0	0	0	0	0	0	0	0	100
763-z2-f1-3	Qz	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
763-z2-f1-4	Qz	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
763-z2-f1-5	Qz	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
763-z2-f1-6	Oxi-Fe	14.08	3.25	8.13	67.25	0	0	0	6.89	0	0	0	0	0	0	99.6
763-z2-f1-7	Ap	34.53	0	1.52	0.53	0	0	0	34.17	0	0	0	28.89	0	0	99.64
763-z2-f1-8	MinNoldn	43.29	1.43	2.25	50.9	0	0	0	2.12	0	0	0	0	0	0	99.99
763-z2-f1-9	Qz	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
833-z1-f1-1	Chl	33.55	0	22.13	25.12	18.68	0.52	0	0	0	0	0	0	0	0	100
833-z1-f1-2	Qz	96.14	0	1.59	0.98	1.06	0	0	0.23	0	0	0	0	0	0	100
833-z1-f1-3	Chl	34.76	0	21.52	23.35	19.85	0.51	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99
833-z1-f1-4	Chl	34.93	0	22.16	22.99	18.7	0.55	0	0.4	0	0	0	0	0	0	99.73
833-z1-f2-1	Ttn	34.82	28.27	7.29	1.91	0.54	0	0	27.16	0	0	0	0	0	0	99.99
833-z1-f2-2	Ttn	33.88	27.84	7.03	1.86	0	0	0	27.22	0	0	0	0	0	0	97.83
833-z1-f2-3	C/S	33.76	0	21.45	24.39	18.76	0.65	0	0.63	0	0	0	0	0	0	99.64
833-z1-f2-4	Chl	34.43	0	22.76	0	19.17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	76.36
833-z1-f3-1	Chl	35.93	0.48	22.36	16.2	24.12	0.42	0	0	0	0.25	0	0	0	0	99.76
833-z1-f3-2	Qz	97.31	0	0.95	1.27	0.48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
833-z1-f3-3	C/S	32.98	0	21.22	23.3	17.4	0.46	0	2.51	0	0	0	2.13	0	0	100
833-z1-f3-4	C/S	38.97	0	18.61	20.57	16.46	0.46	0	2.26	0	0	0.93	1.42	0	0	99.68
833-z1-f4-1	Chl	36.79	0.5	22.82	14.56	24.96	0.37	0	0	0	0	0	0	0	0	100
833-z1-f4-2	Chl	34.72	0	20.42	25.43	18.83	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	100
833-z1-f4-3	C/S	34.77	0	21.8	20.65	20.26	0	0	1.37	0	0	0	0.87	0	0	99.72
833-z1-f5-1	Anh	0	0	0	0.35	0	0	0	38.92	0	0	60.73	0	0	0	100
833-z1-f5-2	Chl	34.87	0	22.27	23.07	19.2	0.59	0	0	0	0	0	0	0	0	100
833-z1-f5-3	C/S	34.76	0	22.65	20.78	19.88	0.56	0	0.36	0	0	1.01	0	0	0	100
833-z1-f6-1	Anh	0	0	3.73	0	0	0	0	35.57	0	0	60.7	0	0	0	100
833-z1-f6-2	MinNoldn	16.54	0	25.86	0	0	0	0	0	0	0	13.26	0	0	0	55.66
833-z1-f6-3	C/S	39.88	0	19.87	19.7	16.81	0.49	0	0.97	0	0	0.76	1.07	0	0	99.55
833-z1-f6-4	Anh	8.11	0	4.27	0	0	0	0	32.31	1.59	0	53.72	0	0	0	100
833-z1-f6-5	Qz	82.77	0	8.99	1.68	1.65	0	0	0.71	1.55	2.35	0	0	0	0	99.7
833-z1-f6-6	Qz	78.15	0.53	9.04	3.46	4.31	0	0	0.8	1.18	2.22	0	0	0	0	99.69
833-z1i-f1-1	Chl	35.58	0	20.84	21.8	21.05	0.73	0	0	0	0	0	0	0	0	100
833-z1i-f1-2	Chl	36.09	0	21	21.38	21.52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99
833-z1i-f1-3	Chl	34.89	0	20.77	22.94	21.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
833-z1i-f1-4	Lmt	64.01	0	22.85	0	0	0	0	13.14	0	0	0	0	0	0	100
833-z1i-f1-5	Ap	0	0	0	0	0	0	0	50.35	0	0	0	44.76	0	0	95.11
833-z1i-f2-1	Ap	0	0	0	0.57	0	0	0	51.66	0	0	0	44.12	0	0	96.35
833-z1i-f2-2	Ep	41.36	0	22.62	12.53	0	0	0	23.49	0	0	0	0	0	0	100

Id	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MgO	MnO	Cr2O3	CaO	Na2O	K2O	SO3	PO4	CuO	V2O5	Total
833-zli-f2-3	Chl	35.87	0	20.24	21.28	22.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99
833-zli-f2-4	Ap	0	0	0	0.56	0	0	0	50.93	0	0	0	43.61	0	0	95.1
833-zli-f2-5	C/S	35.19	0	21.61	20.89	21.32	0.47	0	0.53	0	0	0	0	0	0	100.01
833-zli-f3-1	Ab	69.82	0	19.26	0	0	0	0	0.82	10.1	0	0	0	0	0	100
833-zli-f3-2	Chl	35.39	0	21.33	22.98	20.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
833-zli-f3-3	Ttn	36.24	29.97	5.59	1.02	0	0	0	25.7	0	1.47	0	0	0	0	99.99
833-zli-f3-4	Ort	65.16	0	17.45	0.75	0.65	0	0	0	0.56	15.42	0	0	0	0	99.99
833-zli-f4-1	Ort	65.21	0	17.4	1.45	1.2	0	0	0	0.48	14.25	0	0	0	0	99.99
833-zli-f4-2	MinNoIdn	65.12	0	17.2	1.26	1.36	0	0	0	0	15.06	0	0	0	0	100
833-zli-f4-3	Ort	64.64	0	18.04	2.04	1.12	0	0	0	0.7	13.45	0	0	0	0	99.99
833-zli-f4-4	Ep	41.43	0	22.74	12.44	0	0	0	23.38	0	0	0	0	0	0	99.99
833-zli-f4-5	Qz	99.48	0	0	0	0.52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
833-zli-f4-6	Chl	35.45	0	20.77	22.07	21.19	0.52	0	0	0	0	0	0	0	0	100
833-zli-f4-7	Ttn	37.8	29.02	5.48	0.99	0	0	0	24.49	0	2.21	0	0	0	0	99.99
833-zli-f5-1	Ep	40.62	0	23.77	12.21	0	0	0	23.4	0	0	0	0	0	0	100
833-zli-f5-2	Ab	69.38	0	19.22	0	0	0	0	1.31	10.09	0	0	0	0	0	100
833-zli-f5-3	Ab	66.41	0	17.57	0	0	0	0	0	0.48	15.54	0	0	0	0	100
833-zli-f5-4	Ort	64.87	0	17.2	1.61	1.85	0	0	0	0	14.47	0	0	0	0	100
833-zli-f6-1	C/S	38.01	0	21.25	20.89	18.66	0	0	0	0	1.19	0	0	0	0	100
833-zli-f6-2	Chl	34.28	0	21.91	23.21	20.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
833-zli-f6-3	Chl	35.82	0	21.06	20.23	22.25	0.64	0	0	0	0	0	0	0	0	100
833-zli-f6-4	Ep	41.5	0	23.16	12.11	0.68	0	0	22.55	0	0	0	0	0	0	100
833-zli-f6-5	Ort	66.84	0	17.66	0	0	0	0	0	0	15.5	0	0	0	0	100
833-zli-f6-6	Ab	69.94	0	19.05	0	0	0	0	0.64	10.37	0	0	0	0	0	100
833-zli-f7-1	Ep	42.63	0	24.73	9.6	0	0	0	23.05	0	0	0	0	0	0	100.01
833-zli-f7-2	Ort	66.44	0	17.57	0	0	0	0	0	0.51	15.48	0	0	0	0	100
833-zli-f7-3	Ab	69.23	0	19.55	0	0	0	0	0.92	10.3	0	0	0	0	0	100
833-zli-f7-4	C/S	38.62	0	21.44	20.91	17.31	0	0	0	0	1.72	0	0	0	0	100
833-zli-f7-5	I/S	62.47	0	18.19	2.41	2.19	0	0	0	0.59	14.16	0	0	0	0	100.01
833-z2-f1-1	Chl	34.68	0	20.67	20.85	23.38	0.42	0	0	0	0	0	0	0	0	100
833-z2-f1-2	Qz	99.63	0	0	0.37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
833-z2-f1-3	Qz	99.63	0	0	0.37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
833-z2-f1-4	MinNoIdn	20.65	0	12.81	15.59	10.32	0	0	13.22	2.34	0	25.06	0	0	0	99.99
833-z2-f2-1	Chl	34.01	0	20.79	23.58	21.17	0.46	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
833-z2-f2-2	Chl	33.93	0	21.78	21.55	22.33	0.42	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
833-z2-f2-3	Chl	34.15	0	20.96	21.93	22.33	0.63	0	0	0	0	0	0	0	0	100
833-z2-f3-1	Chl	33.56	0	21.44	22.24	22.15	0.61	0	0	0	0	0	0	0	0	100
833-z2-f3-2	Chl	33.95	0	21.45	22.47	21.6	0.53	0	0	0	0	0	0	0	0	100
833-z2-f3-3	MinNoIdn	21.25	0	12.31	15.04	8.73	0	0	13.99	2.29	0.79	25.59	0	0	0	99.99

Id	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MgO	MnO	Cr2O3	CaO	Na2O	K2O	SO3	PO4	CuO	V2O5	Total
833-z2-f3-4	Qz	97.58	0	1.44	0.56	0.41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99
833-z2-f3-5	MinNoldn	39.22	0	11.49	1.99	1.2	0	0	13.85	4.19	3.64	24.42	0	0	0	100
833-z2-f4-1	Ep	41.58	0	26.39	7.79	0	0	0	24.24	0	0	0	0	0	0	100
833-z2-f4-2	Ep	41.58	0	24.1	10.4	0	0	0	23.91	0	0	0	0	0	0	99.99
833-z2-f4-3	Qz	96.85	0	2.12	0	0	0	0	0.24	0.79	0	0	0	0	0	100
833-z2i-f1-1	Chl	32.83	0	27.98	22.44	14.46	0	0	1.18	0	0	0	0	0	0	98.89
833-z2i-f1-2	Ab	69.71	0	19.27	0	0	0	0	0.72	10.3	0	0	0	0	0	100
833-z2i-f1-3	Ep	41.35	0	27.06	8.22	0	0	0	23.37	0	0	0	0	0	0	100
833-z2i-f2-1	Ab	68.84	0	18.88	0	0	0	0	0.82	10.16	1.3	0	0	0	0	100
833-z2i-f2-2	Ort	66.35	0	17.52	0	0	0	0	0	0	16.14	0	0	0	0	100.01
833-z2i-f2-3	Ep	41.63	0	27.14	7.63	0	0	0	23.6	0	0	0	0	0	0	100
833-z3-f1-1	Ttn	34.09	29.83	5.74	2.42	0.67	0	0	27.24	0	0	0	0	0	0	99.99
833-z3-f1-2	Chl	35.68	0	19.71	21.66	22.67	0	0	0.28	0	0	0	0	0	0	100
833-z3-f1-3	Ort	66.17	0	17.39	0.48	0	0	0	0	0.41	15.54	0	0	0	0	99.99
833-z3-f1-4	Chl	35.92	0	20.45	23.41	19.83	0.39	0	0	0	0	0	0	0	0	100
833-z3-f1-5	Chl	35.34	0	20.55	23.24	19.69	0.7	0	0.47	0	0	0	0	0	0	99.99
833-z3-f1-6	Chl	36.56	0	19.82	21.46	22.16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
833-z3-f2-1	Ep	41.27	0	23.26	12.51	0	0	0	22.96	0	0	0	0	0	0	100
833-z3-f2-2	Chl	35.51	0	19.64	21.79	22.57	0.49	0	0	0	0	0	0	0	0	100
833-z3-f2-3	Chl	36.1	0	19.26	21.62	22.58	0.45	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
833-z3-f2-4	Chl	35.2	0	20.26	22.15	22.05	0.39	0	0	0	0	0	0	0	0	100
833-z3-f3-1	Chl	36.15	0	19.3	22.03	21.92	0.59	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99
833-z3-f3-2	MinNoldn	13.95	0	51.14	7.86	7.22	0	0	7.36	0.55	0	11.92	0	0	0	100
833-z3-f3-3	Chl	35.94	0	19.37	21.97	22.31	0.41	0	0	0	0	0	0	0	0	100
833-z3-f3-4	Chl	34.66	0	22.33	22.82	19.36	0.55	0	0	0	0	0	0	0	0	99.72
833-z3-f3-5	Chl	36.31	0	19.82	21.36	22.56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99
935-z1-f1-1	Chl	31.13	0	22.71	32.4	13.17	0.59	0	0	0	0	0	0	0	0	100
935-z1-f1-2	Adr	39.38	0	0	26.67	0.49	1.53	0	31.93	0	0	0	0	0	0	100
935-z1-f1-3	Adr	39.99	0	0	26.22	0.89	1.3	0	31.59	0	0	0	0	0	0	99.99
935-z1-f1-4	Lmt	62.13	0	23.61	0.52	0	0	0	13.73	0	0	0	0	0	0	99.99
935-z1-f1-5	Lmt	62.21	0	23.93	0.86	0	0	0	12.99	0	0	0	0	0	0	99.99
935-z1-f1-6	Chl	31.67	0	22.36	32.02	13.42	0.54	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
935-z1-f2-1	Adr	38.53	0	0	27.38	0	0.85	0	32.9	0	0	0	0	0	0	99.66
935-z1-f2-2	Ep	41.53	0	24.06	10.64	0	0	0	23.77	0	0	0	0	0	0	100
935-z1-f3-1	Chl	31.95	0	21.45	30.13	15.83	0.64	0	0	0	0	0	0	0	0	100
935-z1-f3-2	Lmt	61.96	0	23.96	0.53	0	0	0	13.55	0	0	0	0	0	0	100
935-z1-f3-3	Lmt	61.65	0	23.71	0.81	0	0	0	13.84	0	0	0	0	0	0	100.01
935-z1-f3-4	Ep	40.47	0	24.16	11.53	0	0	0	23.84	0	0	0	0	0	0	100
935-z1-f3-5	Chl	32.28	0	21.26	30.49	15.04	0.57	0	0.36	0	0	0	0	0	0	100

Id	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MgO	MnO	Cr2O3	CaO	Na2O	K2O	SO3	PO4	CuO	V2O5	Total
935-z1-f4-1	Chl	33.12	0	21.76	28.04	16.5	0.58	0	0	0	0	0	0	0	0	100
935-z1-f4-2	Chl	32.86	0	21.44	28.7	16.47	0.53	0	0	0	0	0	0	0	0	100
935-z1-f4-3	Ep	41.29	0	24.35	10.74	0	0	0	23.62	0	0	0	0	0	0	100
935-z1-f4-4	C/S	34.47	0	22.26	25.35	15.64	0.43	0	1.85	0	0	0	0	0	0	100
935-z1-f5-1	Chl	31.5	0	22.09	32.66	13.19	0.57	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
935-z1-f5-2	Chl	32.86	0	21.05	30.44	15.01	0.64	0	0	0	0	0	0	0	0	100
935-z1-f5-3	Chl	34.22	0	20.78	28.08	16.48	0.45	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
935-z1-f6-1	Qz	98.48	0	0.93	0.59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
935-z1-f7-1	Horn	55.8	0	20.09	7.84	7.76	0	0	0.42	7.86	0.23	0	0	0	0	100
935-z1-f7-2	Horn	58.7	0	21.04	4.87	4.1	0	0	2.1	8.6	0.58	0	0	0	0	99.99
935-z1-f7-3	Chl	33.05	0	21.24	28.34	16.79	0.58	0	0	0	0	0	0	0	0	100
935-z1-f7-4	Chl	34.14	0	21.88	26.66	16.75	0.58	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
935-z1-f8-1	Ep	39.76	0	23.78	8.56	0	0	0	23.38	0	0	4.52	0	0	0	100
935-z1-f8-2	Anh	4.44	0	3.07	0	0	0	0	51.07	0	0	41.42	0	0	0	100
935-z1-f8-3	MinNoIdn	51.86	0	23.6	10.81	4.4	0	0	9.34	0	0	0	0	0	0	100.01
935-z1-f8-4	Chl	34.05	0	23.53	27.22	15.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
935-z1-f8-5	Anh	0	0	0	0	0	0	0	38.31	0	0	61.69	0	0	0	100
935-z1-f8-6	Adr	43.86	0	0	22.95	0	1.09	0	29.48	0	0	2.62	0	0	0	100
935-z1-f8-7	Adr	44.32	0	0	24.28	0	1.24	0	30.17	0	0	0	0	0	0	100.01
935-z1i-f1-1	Ep	41.75	0	25.16	9.77	0	0	0	23.32	0	0	0	0	0	0	100
935-z1i-f1-2	Ort	66.78	0	17.56	0	0	0	0	0	0	15.66	0	0	0	0	100
935-z1i-f1-3	Olg	66.42	0	21.28	0	0	0	0	3.29	9.02	0	0	0	0	0	100.01
935-z1i-f2-1	Chl	31.61	0	20.71	31.18	15.87	0.62	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99
935-z1i-f2-2	Ilt	52.91	0	30.94	3.9	1.77	0	0	0	0	10.48	0	0	0	0	100
935-z1i-f2-3	Olg	63.71	0	22.51	0	0	0	0	3.16	10.61	0	0	0	0	0	99.99
935-z1i-f2-4	Ort	66.64	0	18.7	0	0	0	0	0	0	14.65	0	0	0	0	99.99
935-z1i-f3-1	Ilt	55.98	0	29.09	3.11	2.01	0	0	0	0	9.8	0	0	0	0	99.99
935-z1i-f3-2	Ilt	53.97	0	27.24	4.96	1.82	0	0	0	0	12	0	0	0	0	99.99
935-z1i-f3-3	Ilt	54.07	0	28	3.78	1.63	0	0	0	0	12.51	0	0	0	0	99.99
935-z1i-f3-4	Olg	64.06	0	22.95	0	0	0	0	4.07	8.93	0	0	0	0	0	100.01
935-z1i-f3-5	Labr	58.26	0	26.56	0	0	0	0	9.84	5.34	0	0	0	0	0	100
935-z1i-f4-1	Ilt	54.2	0	30.45	2.44	1.33	0	0	0	0	11.58	0	0	0	0	100
935-z1i-f4-2	Ilt	54.52	0	32.56	1.63	0.96	0	0	0	0	10.34	0	0	0	0	100.01
935-z1i-f4-3	Ort	54.21	0	34.9	0	0	0	0	0	0.48	10.41	0	0	0	0	100
935-z1i-f4-4	Ort	65.83	0	17.12	0	0	0	0	0	0.47	15.7	0	0	0	0	99.12
935-z1i-f4-5	Olg	68.12	0	20.19	0	0	0	0	2.18	9.51	0	0	0	0	0	100
935-z1i-f5-1	Ilt	55.64	0	30.19	2.79	1.2	0	0	0	0	10.19	0	0	0	0	100.01
935-z1i-f5-2	Ilt	54.83	0	31.18	2.11	1.47	0	0	0	0	10.41	0	0	0	0	100
935-z1i-f5-3	I/S	55.09	0	29.97	2.49	1.08	0	0	0	0.85	10.53	0	0	0	0	100.01

Id	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MgO	MnO	Cr2O3	CaO	Na2O	K2O	SO3	PO4	CuO	V2O5	Total
935-zli-f5-4	Olg	66.79	0	20.94	0	0	0	0	2.76	9.02	0.49	0	0	0	0	100
935-zli-f6-1	Ands	58.16	0	26.04	1.07	0	0	0	9.18	5.55	0	0	0	0	0	100
935-zli-f6-2	Chl	33.67	0	20.64	30.92	14.77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
935-zli-f6-3	Ttn	33.62	33.28	2.83	1.97	0	0	0	28.31	0	0	0	0	0	0	100.01
935-zli-f6-4	Qz	99.35	0	0.65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
935-zli-f6-5	Illt	52.07	0	16.32	22.75	7.67	0	0	0	0	1.2	0	0	0	0	100.01
935-zli-f6-6	C/S	44.1	0	23.88	20.52	7.53	0	0	0	0	3.97	0	0	0	0	100
935-zli-f6-7	Chl	34.2	0	19.95	29.99	15.85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99
935-zli-f6-8	Chl	33.61	0	19.77	29.89	16.72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99
935-zli-f7-1	Illt	53.7	0	30.15	2.79	1.61	0	0	0	0	11.75	0	0	0	0	100
935-zli-f7-2	I/S	55.87	0	28.89	2.73	1.47	0	0	0	1.4	9.64	0	0	0	0	100
935-zli-f7-3	Ort	66.47	0	17.63	0	0	0	0	0	0	15.9	0	0	0	0	100
935-zli-f7-4	Ab	68.54	0	19.99	0	0	0	0	1.57	9.9	0	0	0	0	0	100
935-zli-f7-5	Ep	41.25	0	25.8	9.73	0	1.13	0	22.09	0	0	0	0	0	0	100
935-zli-f7-6	Ab	66.48	0	20.95	0	0	0	0	1.97	8.63	1.96	0	0	0	0	99.99
935-zli-f7-7	Illt	54.52	0	31.13	2.26	1.55	0	0	0	0	10.54	0	0	0	0	100
935-zli-f8-1	Chl	35.81	0	21.16	31.14	11.17	0.71	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99
935-zli-f8-2	Chl	33.88	0	21.8	28.88	14.81	0.64	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
935-zli-f8-3	Ttn	35.72	24.54	9.07	1.84	0	0	0	25.45	0	0	0	0	0	0	96.62
935-zli-f8-4	Ort	66.4	0	17.63	0	0	0	0	0	0.59	15.38	0	0	0	0	100
935-zli-f8-5	C/S	47.11	0	16.85	22.39	13.23	0	0	0.42	0	0	0	0	0	0	100
935-zli-f9-1	Chl	34.71	0	19.66	29.07	15.87	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
935-zli-f9-2	Cpy	0	0	0	23.15	0	0	0	0	0	0	52.91	0	23.94	0	100
935-zli-f9-3	Ttn	33.2	33.39	3.56	1.97	0	0	0	27.88	0	0	0	0	0	0	100
935-z2-f1-1	Ands	57.76	0	25.76	1.03	0	0	0	10.04	5.42	0	0	0	0	0	100.01
935-z2-f1-2	Aug	40.38	1.24	3.74	22.78	0	2.95	0	28.92	0	0	0	0	0	0	100.01
935-z2-f1-2	Olg	66.33	0	21.07	0.5	0	0	0	3.45	8.66	0	0	0	0	0	100.01
935-z2-f1-3	Chl	34.41	0	20.41	27.35	16.94	0.52	0	0.38	0	0	0	0	0	0	100.01
935-z2-f1-4	Ttn	33.46	28.02	6.74	2.33	0	0	0	26.83	0	0	0	0	0	0	97.38
935-z2-f2-1	Ttn	34.29	28.04	6.7	2.76	0	0	0	26.78	0	0	0	0	0	0	98.57
935-z2-f2-2	Chl	34.58	0	20.58	27.14	17.3	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	100
935-z2-f2-3	Chl	33.51	0	20.58	28.24	16.84	0.44	0	0.43	0	0	0	0	0	0	100
935-z2-f3-1	Chl	35.2	0	19.85	26.9	17.29	0.41	0	0.34	0	0	0	0	0	0	99.99
935-z2-f3-2	C/S	34.7	0	20.38	27.84	16.54	0	0	0.54	0	0	0	0	0	0	100
935-z2-f3-3	C/S	34.59	0	19.9	28.44	16	0.55	0	0.52	0	0	0	0	0	0	100
935-z2-f3-4	Chl	34.27	0	21.43	27.65	16.25	0.41	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
935-z2-f4-1	Ttn	34.16	26.59	7.55	2.39	0.44	0	0	26.49	0	0	0	0	0	0	97.62
935-z2-f4-2	Chl	34.16	0	20.29	28.01	16.68	0.46	0	0.41	0	0	0	0	0	0	100.01
935-z2-f4-3	Chl	32.33	0	21.49	30.77	14.93	0.47	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99

Id	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MgO	MnO	Cr2O3	CaO	Na2O	K2O	SO3	PO4	CuO	V2O5	Total
935-z2-f4-4	Chl	34.31	0	20.08	28.71	16.07	0.5	0	0.33	0	0	0	0	0	0	100
935-z2-f4-5	Olg	64.24	0	21.47	0.74	0	0	0	4.03	8.55	0	0.98	0	0	0	100.01
935-z2-f4-6	Ttn	38.35	23.34	9.71	1.52	0	0	0	23.93	1.12	0	0	0	0	0	97.97
935-z2-f5-1	C/S	33.72	0	21.12	28.58	15.69	0	0	0.89	0	0	0	0	0	0	100
935-z2-f5-2	Ep	40.73	0	25.04	10.2	0	0.66	0	22.28	0	0.73	0	0	0	0	99.64
935-z2-f5-3	Lmt	63.18	0	23.66	0	0	0	0	13.16	0	0	0	0	0	0	100
935-z2-f5-4	Olg	67.98	0	20.43	0	0	0	0	2.33	9.26	0	0	0	0	0	100
935-z2-f5-5	Lmt	62.46	0	23.67	0	0	0	0	13.87	0	0	0	0	0	0	100
935-z2i-f1-1	Olg	65.94	0	21.78	0	0	0	0	3.71	8.56	0	0	0	0	0	99.99
935-z2i-f1-2	Pmp	40.38	1.24	3.74	22.78	0	2.95	0	28.92	0	0	0	0	0	0	100.01
935-z2i-f1-3	Olg	64.37	0.55	19.94	2.19	0	0	0	4.46	7.55	0.94	0	0	0	0	100
935-z2i-f2-1	Ep	41.18	0	21.44	13.76	0	0	0	23.62	0	0	0	0	0	0	100
935-z2i-f2-2	Prh	47.33	0	23.74	1.89	0	0	0	27.03	0	0	0	0	0	0	99.99
935-z2i-f2-3	Adr	38.55	0	0	26.23	0	1.73	0	32.26	0	0	0.87	0	0	0	99.64
935-z2i-f2-4	Chl	33.74	0	22.34	28.33	15.59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
935-z2i-f2-5	Prh	44.01	0.83	9.13	15.57	0	1.92	0	27.2	1.35	0	0	0	0	0	100.01
935-z2i-f2-6	Ands	61.15	2.11	21.32	0	0	0	0	7.34	7.09	0	1	0	0	0	100.01
935-z2i-f3-1	Anh	0	0	0	0	0	0	0	38.06	0	0	61.94	0	0	0	100
935-z2i-f3-2	Chl	30.97	0	20.2	31.14	17.68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99
935-z2i-f3-3	Adr	38.6	0	0	26.1	1.98	0.87	0	32.45	0	0	0	0	0	0	100
935-z2i-f4-1	Lmt	62.84	0	22.81	0	0	0	0	14.35	0	0	0	0	0	0	100
935-z2i-f4-2	Cpy	0.5	0.47	0	22.75	0	0	0	0.42	0	0	51.43	0	24.43	0	100
935-z2i-f4-3	Ttn	32.67	27.41	7.45	1.7	0	0	0	28.33	0	0	0	0	0	0	97.56
935-z2i-f4-4	Chl	32.73	0	21.72	31.91	12.86	0.77	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99
935-z2i-f5-1	Ilt	54.98	0	28.85	3.21	1.82	0	0	0	0	11.14	0	0	0	0	100
935-z2i-f5-2	Ilt	54.77	0	29.66	2.94	1.76	0	0	0	0	10.87	0	0	0	0	100
935-z2i-f5-3	Ilt	53.43	0	31.06	2.84	1.33	0	0	0	0	11.34	0	0	0	0	100
935-z2i-f5-4	Ort	66.46	0	17.39	0	0	0	0	0	0.53	15.62	0	0	0	0	100
935-z2i-f5-5	Olg	65.63	0	21.55	0	0	0	0	4.28	8.53	0	0	0	0	0	99.99
935-z2i-f6-1	Chl	33.87	0	21.75	30.38	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
935-z2i-f6-2	Ttn	35.9	25.74	7.58	1.23	0	0	0	26.09	0	0.35	0	0	0	0	96.89
935-z2i-f6-3	Ort	66.45	0	17.49	0	0	0	0	0	0	16.06	0	0	0	0	100
935-z2i-f6-4	Olg	67.82	0	20.65	0	0	0	0	2.44	9.09	0	0	0	0	0	100
935-z2i-f7-1	Ilt	55.11	0	28.78	3.27	1.7	0	0	0	0	11.14	0	0	0	0	100
935-z2i-f7-2	Olg	65.13	0	21.96	0	0	0	0	4.2	8.71	0	0	0	0	0	100
935-z2i-f7-3	Ilt	53.93	0	33.34	1.28	0.69	0	0	0	0	10.77	0	0	0	0	100.01
935-z2i-f7-4	Ilt	54.92	0	28.37	3.49	1.89	0	0	0	0	11.32	0	0	0	0	99.99
935-z2i-f8-1	Ilt	53.7	0	30.51	3	1.42	0	0	0	0	11.37	0	0	0	0	100
935-z2i-f8-2	Ilt	56.71	0	27.94	3.34	1.95	0	0	0	0	10.06	0	0	0	0	100

Id	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MgO	MnO	Cr2O3	CaO	Na2O	K2O	SO3	PO4	CuO	V2O5	Total
935-z2i-f8-3	Bytw	49.15	0	32.74	0	0	0	0	16.88	1.23	0	0	0	0	0	100
935-z2i-f8-4	Olg	64.3	0	22.75	0	0	0	0	4.89	8.06	0	0	0	0	0	100
935-z2i-f9-1	Ilt	55.36	0	28.55	3.33	1.84	0	0	0	0	10.93	0	0	0	0	100.01
935-z2i-f9-2	Labr	56.09	0	26.79	0.75	0	0	0	10.61	3.73	2.04	0	0	0	0	100.01
935-z3-f1-1	Qz	91.67	0	1.91	4.98	1.43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99
935-z3-f1-2	Chl	34.26	0	20.32	29.14	15.72	0.56	0	0	0	0	0	0	0	0	100
935-z3-f1-3	Chl	34.18	0	19.96	29.74	15.59	0.53	0	0	0	0	0	0	0	0	100
935-z3-f2-1	Ap	39.86	0	0.44	0.55	0	0	0	25.46	1.04	0	2.49	24.28	0	0	94.12
935-z3-f2-2	Ap	24.52	0.54	0.58	1.42	0	0	0	35.67	0	0	0.69	32.59	0	0	96.01
935-z3-f2-3	Ap	36.67	0	0.38	0.6	0	0	0	29.52	0.49	0	1.12	27.82	0	0	96.6
935-z3-f2-4	Ap	17.88	0	0.53	0.8	0	0	0	41.91	0.51	0	0	33.59	0	0	95.22
935-z3-f2-5	Qz	98.62	0	0.89	0.49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
935-z3-f2-6	Chl	30.7	0	15.95	41.21	11.51	0.63	0	0	0	0	0	0	0	0	100
985-z1-f1-1	Chl	33.27	0	21.86	27.62	16.25	0.65	0	0.35	0	0	0	0	0	0	100
985-z1-f1-2	Chl	33.7	0	22.18	27.59	15.77	0.43	0	0.33	0	0	0	0	0	0	100
985-z1-f1-3	Ep	40.84	0	23.15	11.98	0	0	0	24.04	0	0	0	0	0	0	100.01
985-z1-f2-1	Ort	65.76	0	17.58	0.69	0	0	0	0	0.48	15.49	0	0	0	0	100
985-z1-f2-2	Ort	64.84	0	17.55	0.59	0	0	0	0	0.46	15.36	0	0	0	0	98.8
985-z1-f2-3	C/S	39.25	0	20.42	23.28	12.5	0.47	0	0	0	3.79	0	0	0	0	99.71
985-z1-f2-4	Ort	67.11	0	17.13	0.71	0	0	0	0	0.66	14.39	0	0	0	0	100
985-z1-f2-5	Chl	33.92	0	21.6	27.49	16.35	0.64	0	0	0	0	0	0	0	0	100
985-z1-f3-1	Ep	42.95	0	22.5	11.78	0	0	0	21.9	0	0.88	0	0	0	0	100.01
985-z1-f3-2	Chl	34.25	0	22.36	25.53	17.39	0.47	0	0	0	0	0	0	0	0	100
985-z1-f3-3	San	64.46	0	18.77	1.62	0.7	0	0	1.4	5.09	7.95	0	0	0	0	99.99
985-z1-f3-4	Chl	32.53	0	22.87	28.19	15.88	0.54	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01
985-z1-f3-5	MinNoldn	50.78	0	19.24	7.8	0	0	0	15.48	1.58	5.12	0	0	0	0	100
985-z1-f4-1	Chl	33.54	0	20.91	27.22	17.74	0.59	0	0	0	0	0	0	0	0	100
985-z1-f4-2	C/S	34.41	0	18.21	24.68	17.51	0.5	0	2.28	0	0	0	2.41	0	0	100
985-z1-f4-3	Ap	0	0	0	0.75	0	0	0	51.19	0.42	0	0	43.51	0	0	95.87
985-z1-f4-4	Chl	34.09	0	21.49	26.08	17.36	0.65	0	0.34	0	0	0	0	0	0	100.01
985-z1-f4-5	C/S	33.77	0	18.57	26.16	15.75	0.49	0	2.28	0	0	0	2.99	0	0	100.01
985-z2-f1-1	Ep	41.45	0	23.03	12.23	0	0	0	23.29	0	0	0	0	0	0	100
985-z2-f1-2	Ab	65.6	0	17.63	1.25	0	0	0	0	0.51	14.7	0	0	0	0	99.69
985-z2-f1-3	Chl	33.26	0	22.21	26.76	17.19	0.58	0	0	0	0	0	0	0	0	100
985-z2-f1-4	Chl	33.49	0	21.39	27.64	16.73	0.47	0	0	0	0	0	0	0	0	99.72
985-z2-f2-1	Ep	41.69	0	24.58	10.38	0	0.46	0	22.89	0	0	0	0	0	0	100
985-z2-f2-2	Qz	99.68	0	0	0.32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
985-z2-f3-1	Chl	35.1	0	20.81	23.1	20.32	0.67	0	0	0	0	0	0	0	0	100
985-z2-f3-2	Ab	68.34	0	20.04	0.46	0	0	0	2.46	8.7	0	0	0	0	0	100

Id	Mineral	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MgO	MnO	Cr2O3	CaO	Na2O	K2O	SO3	PO4	CuO	V2O5	Total
985-z2-f3-3	Ab	69.01	0	19.35	0.46	0	0	0	1.62	8.78	0.37	0	0	0	0	99.59
985-z2-f3-4	Qz	85.65	0	8.12	1.2	0	0	0	1.66	3.38	0	0	0	0	0	100.01
985-z2-f3-5	Horn	42.92	0	22.62	16.2	4.51	0.37	0	12.13	1.25	0	0	0	0	0	100
985-z2-f3-6	Oxi-Fe	0.94	6.11	0	89.99	0	0	2.95	0	0	0	0	0	0	0	99.99
985-z2-f4-1	Ab	62.73	0	20.89	3.43	1.5	0	0	2.08	9.37	0	0	0	0	0	100
985-z2-f4-2	Ttn	36.62	26.84	6.5	2.64	2.43	0	0	21.75	1.03	0	0	0	0	0	97.81
985-z2-f4-3	Chl	35.89	0	21.01	21.55	21.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
985-z2-f5-1	Ep	41.22	0	24.81	10.14	0	0.4	0	23.43	0	0	0	0	0	0	100
985-z2-f5-2	MinNoIdn	19.52	21.26	0.89	44.87	0	0	0	13.44	0	0	0	0	0	0	99.98
985-z2-f5-4	Ap	0.6	0	0	0.88	0	0	0	50.37	0	0	0	43.11	0	0	94.96
985-z2-f6-1	Ap	0.78	0	0	0.92	0	0	0	49.82	0	0	0	42.57	0	0	94.09
985-z2-f6-2	C/S	33.65	0	20.05	25.57	17.59	0.48	0	1.45	0	0	0	1.2	0	0	99.99
985-z2-f6-3	Chl	35.4	0	18.91	25.48	19.65	0.56	0	0	0	0	0	0	0	0	100
985-z2-f6-4	Chl	36.29	0	18.52	24.98	19.79	0.42	0	0	0	0	0	0	0	0	100

ANEXO B: RESULTADOS GEOTERMOMÉTRICOS

Table 8: Datos geotermometría

Id	Tipo	Microdominio	Cathelineau (1988)	Kranidiotis y MacLean (1987)	Jowett (1991)	Lanari (2014)	Bourdelle et al. (2013)	Inoue et al. (2018)
060-z1-f2-1-Chl	1	Vesícula	156	197		174	111	90
060-z1-f3-1-Chl	1	Vesícula	185	216	191	180	131	124
060-z1i-f3-2-Chl	1	Fisura	176	209	182	201	144	149
060-z2-f1-1-Chl	1	Vesícula	161	201		175	113	96
060-z2-f2-4-Chl	1	Vesícula	183	216	190	147	93	69
060-z3i-f5-1-Chl	1	Reemplazo	165	206	172	186	120	119
060-z3i-f5-3-Chl	1	Reemplazo	174	214	182	223	165	173
060-z3i-f5-4-Chl	1	Reemplazo	156	200		191	121	120
060-z3i-f5-5-Chl	1	Reemplazo	176	213	183	190	141	126
100-z1-f2-2-Chl	1	Cemento	205	237	214	181	151	148
100-z1-f3-5-Chl	1	Cemento	213	244	223	174	152	153
100-z1-f4-1-Chl	1	Cemento	189	227	198	173	128	121
100-z1-f5-2-Chl	1	Cemento	198	235		179	142	137
100-z1-f5-3-Chl	1	Cemento	199	233	208	193	152	160
100-z1i-f3-1-Chl	1	Reemplazo	210	241	219	151	126	118
100-z1i-f3-2-Chl	1	Reemplazo	212	241	221	150	144	136
100-z2-f1-5-Chl	1	Cemento	222	250		172	175	164
100-z2-f1-6-Chl	1	Cemento	197	234		163	122	119
100-z2-f2-3-Chl	1	Cemento	173	212	181	161	100	86
100-z2-f2-5-Chl	1	Cemento	174	212	181	157	100	81
100-z2i-f5-1-Chl	1	Reemplazo	206	239		173	141	146
100-z2i-f5-2-Chl	1	Reemplazo	205	238	215	170	139	136
100-z3i-f1-2-Chl	1	Vesícula	201	235	210	170	134	130
100-z3i-f1-4-Chl	1	Vesícula	186	227		183	127	141
100-z3i-f2-2-Chl	1	Fisura	226	252		186	188	195
255-z1-f2-1-Chl	1	Vetilla	220	240	226	156	153	143
255-z1-f4-4-Chl	1	Vetilla	228	245	234	151	140	163
255-z1i-f2-1-Chl	1	Vetilla	277	282	284	236	320	240
255-z1i-f2-2-Chl	1	Vetilla	256	270	264	163	287	304
255-z2-f2-3-Chl	1	Vetilla	149	188		168	94	87
255-z2-f3-6-Chl	1	Vetilla	165	200	170	159	95	71
255-z2i-f1-1-Chl	1	Reemplazo	205	233	212	154	113	119
255-z2i-f1-2-Chl	1	Reemplazo	235	252	242	141	145	170
255-z3-f1-1-Chl	1	Vetilla	189	217	195	165	121	108
255-z3-f1-3-Chl	1	Vetilla	245	255	250	102	158	175
255-z3-f1-6-Chl	1	Vetilla	232	247	238	139	142	152
255-z3-f2-1-Chl	1	Vetilla	210	230	215	154	128	123

Id	Tipo	Microdominio	Cathelineau (1988)	Kranidiotis y MacLean (1987)	Jowett (1991)	Lanari (2014)	Bourdelle et al. (2013)	Inoue et al. (2018)
255-z3-f2-2-Chl	1	Vetilla	194	220	199	155	113	102
255-z3-f2-5-Chl	1	Vetilla	214	235	219	153	126	129
255-z3-f4-1-Chl	1	Vetilla	194	220	199	165	126	116
255-z3-f5-1-Chl	1	Vetilla	195	221	200	152	114	98
255-z3-f5-2-Chl	1	Vetilla	211	232	216	151	121	122
255-z3-f5-3-Chl	1	Vetilla	214	234	219	153	128	127
255-z3-f5-4-Chl	1	Vetilla	214	234	219	153	128	127
255-z3-f5-5-Chl	1	Vetilla	199	225	204	159	122	112
255-z3-f5-6-Chl	1	Vetilla	201	226	207	153	119	108
255-z3-f5-7-Chl	1	Vetilla	196	221	201	157	113	109
307-z1-f1-1-Chl	1	Vetilla	191	228	201	185	143	137
307-z1-f2-2-Chl	1	Vetilla	240	257	247	172	210	230
307-z1-f4-1-Chl	1	Vetilla	228	250	236	183	181	197
307-z1-f4-2-Chl	1	Vetilla	221	245	229	177	160	174
307-z1-f5-3-Chl	1	Vetilla	200	229	207	170	130	131
307-z1-f5-7-Chl	1	Vetilla	198	232	207	184	147	144
307-z1-f6-1-Chl	1	Vetilla	244	262	252	170	237	247
307-z1-f6-2-Chl	1	Vetilla	226	250	234	195	191	208
307-z1-f6-3-Chl	1	Vetilla	239	257	247	177	220	232
307-z2-f1-4-Chl	1	Vetilla	185	223	194	174	127	116
307-z2-f3-2-Chl	1	Vetilla	186	224	195	171	122	114
307-z3-f1-2-Chl	1	Fisura	182	222	192	173	123	112
307-z3-f4-4-Chl	1	Fisura	165	210	174	177	115	102
476-z1-f1-2-Chl	1	Fisura	212	231	216	167	143	143
476-z1-f3-1-Chl	1	Fisura	205	228	210	173	132	150
476-z1i-f1-3-Chl	1	Fisura	211	231	216	163	130	146
476-z1i-f2-10-Chl	1	Fisura	189	216	194	159	109	102
476-z2-f1-1-Chl	1	Vesícula	213	232	218	168	142	151
476-z2-f1-2-Chl	1	Vesícula	218	236	223	169	151	160
476-z2-f1-3-Chl	1	Vesícula	194	219	199	179	134	140
476-z2i-f1-5-Chl	1	Vesícula	209	228	213	160	128	131
476-z2i-f1-7-Chl	1	Vesícula	214	233	219	153	127	130
476-z2i-f3-3-Chl	1	Vesícula	159	199		157	86	73
476-z2i-f4-6-Chl	1	Vesícula	226	242	231	176	170	184
476-z3-f2-1-Chl	1	Fisura	219	235	223	151	139	134
476-z3-f3-1-Chl	1	Fisura	236	247	241	127	158	154
476-z3-f5-2-Chl	1	Fisura	222	238	227	148	142	138
476-z3-f6-1-Chl	1	Vesícula	223	239	228	152	144	145
476-z3-f6-2-Chl	1	Vesícula	221	237	225	171	148	174
476-z3-f6-3-Chl	1	Vesícula	213	231	217	169	141	150

Id	Tipo	Microdominio	Cathelineau (1988)	Kranidiotis y MacLean (1987)	Jowett (1991)	Lanari (2014)	Bourdelle et al. (2013)	Inoue et al. (2018)
476-z3-f6-4-Chl	1	Vesícula	211	229	215	168	143	142
476-z3-f6-5-Chl	1	Vesícula	198	222	202	167	121	132
476-z3-f6-6-Chl	1	Vesícula	198	221	202	162	126	114
476-z3-f6-7-Chl	1	Vesícula	222	237	227	162	148	160
476-z3-f6-8-Chl	1	Vesícula	204	226	208	166	130	132
476-z3-f6-9-Chl	1	Vesícula	186	214	191	160	106	107
476-z3i-f4-1-Chl	1	Vesícula	182	212	187	152	93	85
579-z1-f1-1-Chl	1	Vetilla	190	214	194	182	135	140
579-z1-f1-3-Chl	1	Vetilla	189	213	192	191	137	156
579-z1-f1-4-Chl	1	Vetilla	185	210	188	189	136	143
579-z1-f1-5-Chl	1	Vetilla	182	208	185	184	126	139
579-z1-f1-6-Chl	1	Vetilla	177	204	180	185	124	137
579-z1-f2-1-Chl	1	Vetilla	186	212	189	185	136	134
579-z1-f2-7-Chl	1	Vetilla	174	202	177	181	122	121
579-z1-f3-1-Chl	1	Vetilla	194	217	197	188	142	151
579-z1-f3-2-Chl	1	Vetilla	169	201	173	171	109	104
579-z2-f1-1-Chl	1	Vesícula	199	221	203	188	157	150
579-z2-f1-5-Chl	1	Vesícula	179	207	183	186	131	129
579-z2-f1-6-Chl	1	Vesícula	211	230	215	177	141	163
579-z2-f2-4-Chl	1	Vesícula	201	223	205	180	147	142
579-z2-f2-5-Chl	1	Vesícula	212	229	216	175	153	153
579-z2-f3-1-Chl	1	Vesícula	188	214	192	183	139	134
579-z2-f3-2-Chl	1	Vesícula	174	203	177	181	118	127
579-z2-f3-4-Chl	1	Vesícula	175	204	178	187	124	137
579-z2-f3-5-Chl	1	Vesícula	184	211	188	189	131	147
579-z2-f4-1-Chl	1	Vesícula	185	211	189	181	129	132
579-z2-f4-2-Chl	1	Vesícula	169	200	173	184	118	127
579-z2-f4-3-Chl	1	Vesícula	177	205	180	182	125	126
579-z2-f4-4-Chl	1	Vesícula	181	208	184	182	130	126
579-z3-f2-1-Chl	1	Fisura	249	252	251	95	190	185
579-z3-f2-2-Chl	1	Fisura	207	227	211	159	132	124
745-z1-f3-1-Chl	2	Vesícula	236	239	237	147	165	176
745-z1-f3-2-Chl	2	Vesícula	224	232	225	170	161	172
745-z1-f3-3-Chl	2	Vesícula	224	233	226	166	157	167
745-z1-f4-2-Chl	2	Vesícula	216	228	218	165	145	151
745-z1-f5-4-Chl	2	Vesícula	216	227	218	174	152	164
745-z1-f5-5-Chl	2	Vesícula	219	232	221	171	145	170
763-z1-f1-1-Chl	1	Fisura	194	213	195	165	125	115
763-z1-f1-2-Chl	1	Fisura	191	211	193	168	122	119
763-z1-f2-3-Chl	1	Fisura	221	231	223	167	152	163

Id	Tipo	Microdominio	Cathelineau (1988)	Kranidiotis y MacLean (1987)	Jowett (1991)	Lanari (2014)	Bourdelle et al. (2013)	Inoue et al. (2018)
763-z2-f1-1-Chl	1	Fisura	200	216	201	159	120	116
763-z2-f1-2-Chl	1	Fisura	178	200	179	163	106	96
833-z1-f1-1-Chl	2	Vesícula	254	258	257	117	163	180
833-z1-f1-3-Chl	2	Vesícula	229	239	232	145	142	152
833-z1-f1-4-Chl	2	Vesícula	223	236	227	131	126	119
833-z1-f4-2-Chl	2	Vesícula	219	235	223	162	144	151
833-z1-f5-2-Chl	2	Vesícula	228	239	231	134	130	134
833-z1i-f1-1-Chl	1	Reemplazo	212	226	215	160	135	136
833-z1i-f1-2-Chl	1	Reemplazo	205	220	206	166	125	138
833-z1i-f1-3-Chl	1	Reemplazo	228	237	230	168	157	187
833-z1i-f2-3-Chl	1	Reemplazo	209	222	211	180	143	166
833-z1i-f3-2-Chl	1	Reemplazo	216	230	219	160	131	148
833-z1i-f4-6-Chl	1	Reemplazo	215	228	217	163	139	147
833-z1i-f6-2-Chl	1	Reemplazo	244	248	247	124	159	190
833-z1i-f6-3-Chl	1	Reemplazo	214	225	215	160	136	139
833-z2-f1-1-Chl	1	Fisura	240	242	241	156	188	209
833-z2-f2-1-Chl	1	Fisura	246	249	248	126	189	209
833-z2-f2-2-Chl	1	Fisura	258	255	259	150	192	215
833-z2-f2-3-Chl	1	Fisura	249	249	250	93	195	208
833-z2-f3-1-Chl	1	Fisura	263	259	265	178	215	228
833-z2-f3-2-Chl	1	Fisura	253	253	255	116	187	205
833-z3-f1-2-Chl	1	Vesícula	211	223	212	185	155	171
833-z3-f1-4-Chl	1	Vesícula	198	219	201	165	122	124
833-z3-f1-5-Chl	1	Vesícula	211	227	214	155	134	124
833-z3-f1-6-Chl	1	Vesícula	190	210	192	177	125	138
833-z3-f2-2-Chl	1	Vesícula	213	225	215	185	159	173
833-z3-f2-3-Chl	1	Vesícula	199	215	200	187	144	154
833-z3-f2-4-Chl	1	Vesícula	221	231	223	175	158	175
833-z3-f3-1-Chl	1	Vesícula	195	214	197	181	137	141
833-z3-f3-3-Chl	1	Vesícula	201	218	203	185	146	158
833-z3-f3-4-Chl	1	Vesícula	232	241	235	128	134	140
833-z3-f3-5-Chl	1	Vesícula	197	214	199	182	134	152
935-z1-f1-1-Chl	2	Vesícula	288	292	296	208	190	211
935-z1-f1-6-Chl	2	Vesícula	275	282	283	181	176	196
935-z1-f3-1-Chl	2	Vesícula	273	277	280	196	207	221
935-z1-f3-5-Chl	2	Vesícula	262	271	269	160	185	188
935-z1-f4-1-Chl	2	Vesícula	252	261	257	109	161	176
935-z1-f4-2-Chl	2	Vesícula	256	264	261	131	173	191
935-z1-f5-1-Chl	2	Vesícula	276	284	285	188	184	203
935-z1-f5-2-Chl	2	vesicula	247	261	254	69	163	176

Id	Tipo	Microdominio	Cathelineau (1988)	Kranidiotis y MacLean (1987)	Jowett (1991)	Lanari (2014)	Bourdelle et al. (2013)	Inoue et al. (2018)
935-z1-f5-3-Chl	2	Vesícula	222	241	228	153	138	146
935-z1-f7-3-Chl	2	Vesícula	251	260	257	103	172	188
935-z1-f7-4-Chl	2	Vesícula	231	246	237	131	134	139
935-z1-f8-4-Chl	2	Vesícula	237	252	243	110	118	128
935-z1i-f2-1-Chl	2	Vesícula	277	280	283	223	253	252
935-z1i-f6-2-Chl	2	Vesícula	226	247	233	156	140	163
935-z1i-f6-7-Chl	2	Vesícula	214	238	221	169	139	161
935-z1i-f6-8-Chl	2	Vesícula	230	247	236	172	168	202
935-z1i-f8-2-Chl	2	Vesícula	228	248	235	132	128	130
935-z1i-f9-1-Chl	2	Vesícula	202	229	208	166	129	127
935-z2-f1-3-Chl	2	Vesícula	218	238	223	153	140	136
935-z2-f2-2-Chl	2	Vesícula	216	236	222	159	135	144
935-z2-f2-3-Chl	2	Vesícula	238	252	244	132	165	167
935-z2-f3-1-Chl	2	Vesícula	199	224	204	163	126	121
935-z2-f3-4-Chl	2	Vesícula	224	242	230	144	131	138
935-z2-f4-2-Chl	2	Vesícula	222	241	227	153	146	144
935-z2-f4-3-Chl	2	Vesícula	261	270	268	153	177	197
935-z2-f4-4-Chl	2	Vesícula	214	237	221	158	138	136
935-z2i-f2-4-Chl	2	Vesícula	238	253	244	121	133	151
935-z2i-f4-4-Chl	2	Vesícula	245	263	253	55	143	148
935-z2i-f6-1-Chl	2	Vesícula	225	247	232	141	124	136
935-z3-f1-2-Chl	2	Vesícula	215	238	221	159	134	139
935-z3-f1-3-Chl	2	Vesícula	214	238	221	164	138	144
985-z1-f1-1-Chl	2	Vesícula	249	259	254	99	154	155
985-z1-f1-2-Chl	2	Vesícula	239	253	245	102	137	138
985-z1-f2-5-Chl	2	Vesícula	233	248	238	132	138	144
985-z1-f3-2-Chl	2	Vesícula	234	247	239	124	133	140
985-z1-f3-4-Chl	2	Vesícula	269	273	275	164	164	182
985-z1-f4-1-Chl	2	Vesícula	243	253	248	123	167	181
985-z1-f4-4-Chl	2	Vesícula	233	246	238	126	143	140
985-z2-f1-3-Chl	2	Vesícula	254	261	259	122	158	173
985-z2-f1-4-Chl	2	Vesícula	241	253	246	122	152	166
985-z2-f3-1-Chl	1	Reemplazo	219	232	222	158	142	147
985-z2-f4-3-Chl	1	Reemplazo	209	223	211	166	130	145
985-z2-f6-3-Chl	1	Vesícula	199	221	202	185	144	151
985-z2-f6-4-Chl	1	Vesícula	178	207	182	182	124	127