



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**GEOQUÍMICA Y MINERALOGÍA DE SULFUROS EN XENOLITOS MANTÉLICOS
DEL MACIZO DEL DESEADO Y SUS ALREDEDORES**

MEMORIA PARA OPTAR EL TÍTULO DE GEÓLOGO

DANIEL ALONSO MUÑOZ OLGUÍN

PROFESOR GUÍA:

Dr. MANUEL SCHILLING DANYAU

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

Dr. MARTIN REICH MORALES

Dr. FERNANDO BARRA PANTOJA

Dr. JOSÉ MARÍA GONZÁLEZ-JIMÉNEZ

SANTIAGO DE CHILE

2014

Resumen

Se presentan análisis de elementos mayores (S, Fe, Ni, Cu y Co) de 108 sulfuros, así como 28 mapas de distribución de elementos de rayos X, derivados de 31 xenolitos de peridotitas que han muestreado el manto litosférico bajo el Macizo del Deseado (MD) y sus alrededores. Específicamente, en 7 localidades distribuidas dentro (Volcán Auvernia y Gobernador Gregores), en los bordes (Cerro Clark y Tres Lagos) y fuera del Macizo del Deseado (Coyhaique, Cerro del Fraile y Pali Aike).

Los xenolitos corresponden a 27 lherzolitas y 4 harzburgitas, en su mayoría equilibradas en facies de espinela, a excepción de 3 de las 4 peridotitas de la localidad Pali Aike, las cuales se equilibraron en las condiciones de las facies de espinela-granate.

La química de elementos mayores en roca total de los xenolitos del MD, sugiere mayores procesos de fusión parcial en comparación con las peridotitas localizadas en sus alrededores.

Los sulfuros se presentan como minerales accesorios. Se reconocen 4 localizaciones microestructurales de sulfuros: (1) sulfuros aislados en silicatos (SAS); (2) sulfuros alineados (SA); (3) sulfuros en zonas de reacción (SZR) y (4) sulfuros intersticiales (SI). Estas características sugieren distintos procesos de formación de sulfuros en el manto superior y/o durante su transporte a superficie.

Los sulfuros identificados, en orden de abundancia, son: pentlandita (Pn), solución sólida monosulfurada (MSS), calcopirita (Cp), cubanita (Cb) y pirrotina (Po), que pueden estar presentes como granos aislados o formando agregados de 2 ó 3 fases. Las paragénesis más comunes son Pn+MSS; Pn+Cp; Pn+MSS+Cp y MSS+Cb.

La predominancia de sulfuros alineados (SA), en 5 de los 6 xenolitos correspondientes a la localidad de Coyhaique indica que estos sufrieron intensa percolación de fluidos secundarios o metasomáticos.

La abundante presencia de texturas de reacción en piroxenos en los xenolitos de la localidad de Cerro Clark, así como las características microestructurales (SZR) y químicas (Pn+Cp/Cb) de sus sulfuros, podrían ser explicadas por la percolación de fundidos ricos en volátiles a bajas razones fundido/roca.

Pese a lo evidenciado en la química de elementos mayores en roca total de los xenolitos y a la presencia de abundantes manifestaciones auroargentíferas/polimetálicas en el Macizo del Deseado, las características petrográficas y químicas de los sulfuros contenidos en las peridotitas provenientes de manto litosférico del MD no muestran diferencias claras respecto a aquellas provenientes de localidades vecinas.

Agradecimientos

En primer lugar es necesario agradecer al proyecto FONDECYT 1100724, que financió esta investigación.

A los doctores Schilling, Reich, Barra y González, les agradezco toda su paciencia y rigurosidad, ya que sus correcciones me permitieron darle forma real a este trabajo.

Gracias Manuel por darme la oportunidad de viajar a las profundidades del manto. Si bien no fue un camino fácil, ni menos rápido, fuiste capaz de entregarme tus conocimientos de manera alegre y sencilla.

Mamá, que quieres que te diga, haz estado siempre conmigo, incluso en los momentos no tan buenos, antes de cualquier cosa siempre me haz apoyado. Sin ti no sería nada de lo que soy actualmente, gracias por permitirme seguir mi camino, elegir mi profesión. Gracias por aceptarme como soy, con amigos, condoros, carretes, Suyai, deporte y todo. Te Amo.

Papá, se que no te han faltado las ganas de tirarme las orejas, pero si de algo sirve, creeme que soy una persona muy feliz. Gracias por todo tu esfuerzo y sacrificio, se te extraña.

Ximenita, gracias por existir chanchita, tu cariño y compañía son parte esencial de mi alegría. Gracias mi Amor por darme las ganas de querer ser cada día un poco mejor.

Familia, Ricardo y Naty, Cucos, tíos y primos, al fin se termina esto!!! jajaja Se que pese a cualquier cosa puedo contar con ustedes. Los Quiero.

Amigos de primer año, Palape, Naty, Wernerer, Marito, Sobrino, Maxito, Ferrada, Polanco y Jope. Que quieren que les diga, que manera de pasarlo bien, deberíamos escribir un libro con los despropósitos varios, jamás olvidare estos weeeenos años. Se les quiere cabros.

Amigos geólogos, Nico G. (gracias por todas las largas conversaciones y pelás de cable), Vicho, Naravena, Feñita, Rayemmmmmsssss, Turco, Oscarín, Jose, Hevia, Moyris, Alvarito, Mary, Vale, Vladi, Guga, como se extrañan los terrenos o encontrarlos por casualidad en el patio de los naranjos, obligao a plantar un par de naranjos y unos lemons para que se vengan a dar una vuelta =).

Al ludus, toda una institución, gracias Guru y Vicho por compartir tantos wenos momentos, fueron una gran familia. Se les quiere.

Por último, agradecer a todos los funcionarios de la universidad, en especial a María Rosa, Blanca, Don Carlos, Quilo, Rosita, por su trabajo silencioso en la formación de cada uno de nosotros.

Tabla de Contenido

1	Introducción.....	1
1.1	Xenolitos Mantélicos	1
1.2	Marco Geológico	2
1.2.1	Introducción y Contexto Geodinámico de Patagonia.	2
1.2.2	Marco Geológico Regional	3
1.2.3	Provincia Volcánica Jurásica de Chon Aike (PVJCA).....	5
1.2.4	Provincia Auroargentífera del Deseado (PAD).....	7
1.2.5	Manto Litosférico Subcontinental en Patagonia.....	9
1.3	Hipótesis.....	12
1.4	Objetivos	12
1.4.1	Objetivo General.....	12
1.4.2	Objetivos Específicos.....	12
2	Metodología.....	13
2.1	Localización de las Muestras	16
3	Resultados	17
3.1	Petrografía	17
3.1.1	Coyhaique	17
3.1.2	Cerro Clark.....	18
3.1.3	Volcán Auvernia.....	18
3.1.4	Gobernador Gregores.....	18
3.1.5	Tres Lagos	19
3.1.6	Cerro del Fraile.....	19
3.1.7	Pali Aike.....	20
3.2	Estimación de Moda Mineral	21
3.2.1	Metodología Computacional	21
3.2.2	Contaje Modal	23
3.3	Geoquímica de Roca Total.....	24
3.4	Sulfuros	26
3.4.1	Localización Microestructural de los Sulfuros.....	26
3.4.1.1	Sulfuros Aislados en Silicatos (SAS).....	26
3.4.1.2	Sulfuros Alineados (SA).....	27

3.4.1.3	Sulfuros en Zonas de Reacción (SZR)	28
3.4.1.4	Sulfuros Intersticiales (SI)	29
3.4.2	Abundancia de Sulfuros	30
3.4.3	Geoquímica de Sulfuros.....	30
3.4.3.1	Agregados de Sulfuros	30
3.4.3.2	Composición Química de Sulfuros	32
3.4.3.3	Reconstrucción de la Composición Química Total de Sulfuros	35
4	Discusión.....	37
4.1	Petrografía	37
4.2	Tipos de Localizaciones Microestructurales de Sulfuros	38
4.3	Composición Química de Sulfuros	39
4.4	Origen de los Sulfuros.....	40
4.5	Índices de Tasas de Fusión Parcial	43
4.6	Provincia Auroargentífera del Deseado (PAD)	45
5	Conclusión.....	47
6	Bibliografía.....	48
	Anexo Petrografía.....	56
	Anexo Composición Química de Sulfuros.....	138
	Anexo Geoquímica de Roca Total.....	144
	Anexo Imágenes Reconstrucción Química Total de Sulfuros.....	145
	Anexo Porcentaje Modal Sulfuros por Muestra.....	147

Índice de Tablas

Tabla 1: Coordenadas de localidades.	16
Tabla 2: Resultados moda mineral con metodología computacional.	22
Tabla 3: Resultados moda mineral mediante conteo modal.	23
Tabla 4: Resumen de agregados de sulfuros, por tipo y localidad	34
Tabla 5: Composición química total reconstruida de agregados de sulfuros.	36
Tabla 6: Edades modelo de empobrecimiento de Re (TRD).	46

Índice de Figuras

Figura 1: Mapa esquemático del contexto tectónico del margen sur de Sudamérica.	3
Figura 2: Columna estratigráfica de la provincia geológica.	4
Figura 3: Ubicación de depósitos, prospectos y manifestaciones de Au-Ag en la Patagonia.	8
Figura 4: Concentración de elementos del Grupo del Platino más Re publicados por Schilling, <i>et al.</i> (2012).	10
Figura 5: Topografía y batimetría del sur de Sudamérica y alrededores; b) mapa computarizado del espesor elástico (Te).	11
Figura 6: Imagen del extremo sur de Sudamérica, mostrando la ubicación de las localidades de los xenolitos considerados en este estudio.	16
Figura 7: Imágenes metodología computacional,	21
Figura 8: Clasificación de xenolitos según diagrama de rocas ultramáficas.	23
Figura 9: Diagrama Al ₂ O ₃ vs MgO en wt.% por muestra,	24
Figura 10: Diagrama SiO ₂ vs MgO en wt.% por muestra.	25
Figura 11: Sulfuros aislados en silicatos (SAS)..	27
Figura 12: Sulfuros alineados (SA).....	28
Figura 13: Sulfuros en zonas de reacción (SZR)..	29
Figura 14: Sulfuros intersticiales (SI).	29
Figura 15. Mapas de rayos X de distribución de elementos (Cu, Fe, Ni, O)..	31
Figura 16: Diagrama ternario Fe-Ni-Cu en porcentajes atómicos.	33
Figura 17: Reconstrucción sulfuro PM20-01-1B.	35
Figura 18: Diagrama ternario Fe-Ni-Cu en porcentajes atómicos de sulfuros.	39
Figura 19: Procesos ocurridos en xenolitos de Cerro Clark (PM24).	42
Figura 20: Composición química total de los agregados de sulfuros reconstruidos representados en el diagrama Fe-(Ni+Co)-S en wt.%.	43

1 Introducción

1.1 Xenolitos Mantélicos

Los afloramientos de rocas del manto son muy limitados en superficie. Estos son principalmente de dos tipos: macizos tectónicamente emplazados y xenolitos arrastrados a superficie por magmas en sistemas volcánicos. Dentro de los primeros, se incluyen macizos de peridotitas, complejos ofiolíticos y peridotitas hipabisales. A partir de ellos se obtiene una vasta información del manto, estudiando las relaciones de contacto entre las distintas litologías, así como el orden temporal de procesos de reacción fundido-roca y deformación. Los xenolitos mantélicos ascienden a superficie rápidamente, con lo cual se obtiene una "foto instantánea" del manto litosférico (O'Reilly y Griffin, 2010). La desventaja es que al ser muestras puntuales del manto, generalmente de medidas centimétricas, acentúan heterogeneidades y producen dificultades para determinar la composición de roca total, además de las relaciones de contacto de las distintas litologías presentes (Pearson *et al.*, 2005). Los xenolitos mantélicos se encuentran en kimberlitas y basaltos alcalinos, siendo estos últimos los más comunes. Además, son agrupados de acuerdo al contexto en que se encuentran: Cratónicos, circuncratónicos, y no cratónicos. Los xenolitos se pueden clasificar también en función de la mineralogía, condiciones de formación y número de Mg (del xenolito). La mineralogía principal de los xenolitos corresponde a olivino (Ol), clinopiroxeno (Cpx) y ortopiroxeno (Opx); la presencia de plagioclasa (Plg), espinela (Sp) y granate (Gte), dan información sobre las condiciones P-T en las cuales se han equilibrado en el manto.

Adicionalmente, los xenolitos contienen sulfuros de metales base (Fe-Ni-Cu-Co), siendo minerales accesorios que se pueden encontrar distribuidos en el manto superior. Estos sulfuros en rocas mantélicas típicamente son soluciones sólidas monosulfuradas (MSS), reequilibradas a baja temperatura. Estas cristalizan a partir de un fundido sulfurado, y son comúnmente interpretados como resultado de eventos de fusión parcial o cristalizados a partir de procesos metasomáticos (Dromgoole y Pasteris, 1987; Lorand, 1988; O'Reilly y Griffin, 2013). El estudio de sulfuros mantélicos nos proporciona una valiosa información sobre el comportamiento geoquímico de los elementos altamente siderófilos (HSE: osmio (Os), iridio (Ir), rutenio (Ru), rodio (Rh), platino (Pt), paladio (Pd), oro (Au) y renio (Re)), como también de otros elementos calcófilos/siderófilos en el manto.

1.2 Marco Geológico

1.2.1 Introducción y Contexto Geodinámico de Patagonia.

La provincia geológica Macizo del Deseado (MD; Feruglio, 1949) se encuentra ubicada en el sur de la Patagonia Argentina, provincia de Santa Cruz, entre los 46° y 49° S, abarcando un área de 60.000 Km², que se extiende entre el río Deseado (límite norte que lo separa de la cuenca del Golfo San Jorge) hasta el río Chico (que limita al sur con la cuenca Austral) y desde la costa Atlántica en el este, hasta la Cordillera Patagónica Austral al oeste.

Estructuralmente, el Macizo del Deseado se caracteriza ser un relieve positivo, con comportamiento rígido, escasa deformación y sedimentación, a diferencia de la marcada subsidencia al norte y sudoeste que da origen a las cuencas bien definidas del Golfo de San Jorge y Austral, respectivamente. También, una característica notable de la región es la extensión de la plataforma continental de Sudamérica desde el Macizo del Deseado, hacia el este-sudeste, hasta las islas y el plateau de las Malvinas, así como el banco Maurice Ewing.

Actualmente, no existe un consenso generalizado sobre el origen de Patagonia, existiendo diversas hipótesis en relación a su aloctonía, para-autoctonía o autoctonía con respecto al supercontinente Gondwana.

La idea de que Patagonia tendría una historia geológica distinta (Keidel, 1925), fue apoyada por el descubrimiento de los procesos de acreción de terrenos (Ramos, 1984), donde fue considerada como un terreno alóctono, el cuál colisionó con la Sudamérica cratónica (perteneciente al supercontinente Gondwana).

Posteriormente, Ramos (2002; 2004) sugirió dos colisiones bajo un régimen de subducción con dirección suroeste, la primera durante el Paleozoico temprano entre el Macizo Norpatagónico (MNP) y el Macizo del Deseado, la segunda, durante el Paleozoico tardío entre ambas masas con el supercontinente, siendo este último evento responsable de la formación del orógeno colisional que se extiende desde Sierra de la Ventana, en el este de Sudamérica, hasta el Cinturón Plegado del Cabo (Cape Fold Belt), en el suroeste de Sudáfrica. Ramos (2008), incorporó la existencia de un cinturón magmático de orientación NNW, durante el Devónico hasta mediados del Carbonífero, abarcando desde la parte noroccidental del MNP hasta el alto de Punta Dúngenes, el cual separa la cuenca Austral de las cuencas de las Malvinas.

Por otra parte, Pankhurst *et al.* (2006) señala que la parte sur de Patagonia, denominada como “terreno Deseado”, el cual comprende el Macizo del Deseado, colisionó con el autóctono Macizo Norpatagónico durante el Carbonífero (320-310 Ma), mediante un régimen de subducción hacia el noreste. La deformación Carbonífera-Pérmica registrada en el Cinturón Plegado de Sierra de la Ventana estaría asociada a las etapas finales de esta colisión. Además, dichos autores sugieren que el “terreno Deseado” pudo haberse separado del margen suroccidental de Gondwana debido a procesos de rifting durante el Cámbrico, proponiendo un origen para-autóctono para Patagonia.

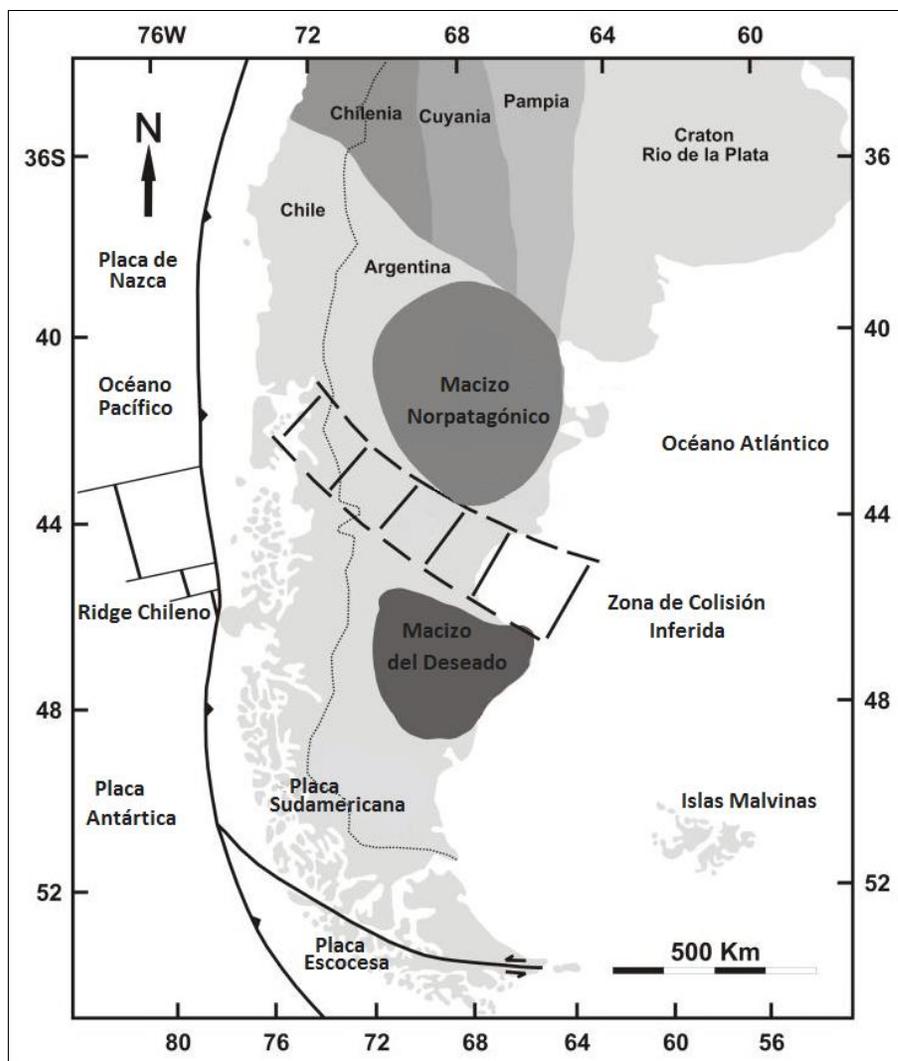


Figura 1: Mapa esquemático del contexto tectónico del margen sur de Sudamérica. Placas tectónicas, zonas de colisión inferida entre el MD y el MNP y principales terrenos sugeridos: Cratón del Río de la Plata, Pampia, Cuyania y Chileña. Macizo Norpatagónico (MNP) y Macizo del Deseado (MD). Modificado de Gervasoni (2012).

1.2.2 Marco Geológico Regional

El basamento pre-Mesozoico en Patagonia está compuesto por afloramientos pequeños (de algunos cientos de metros en superficie) dispersos y escasamente expuestos, debido a la extensa cobertura de rocas volcánicas jurásicas, rocas sedimentarias del Cretácico al Cuaternario y lavas basálticas del Terciario.

Por su parte, el Macizo del Deseado posee una secuencia estratigráfica compleja con dominio de las unidades volcánicas jurásicas. El basamento está compuesto de dos unidades ígneo-metamórficas, la más antigua denominada Complejo Río Deseado, localizada principalmente en el margen noreste del MD (Viera y Pezzuchi, 1976). Mediante el método SHRIMP de U-Pb en zircón, Pankhurt *et al.* (2006) determinó las edades de origen de metapelitas deformadas del

complejo, con picos de edades a 1000-1100 y 580±6 Ma, siendo la última considerada como una posible edad de sedimentación y representando el episodio geológico más antiguo conocido en el Macizo del Deseado. Además, el mismo autor obtuvo edades SHRIMP de 476±4 y 472±5 Ma en conglomerados pérmicos, evidenciando la existencia de actividad magmática ordovícica cercana. Edades similares fueron obtenidas para la población más joven de la segunda unidad del basamento del MD, correspondiente a la Formación La Modesta (Moreira *et al.*, 2005), utilizando el mismo tipo de análisis, obteniéndose además picos para edades anteriores de 550-700, 950-1200, 1800-1900 y 2600-2700 Ma. Pankhurst *et al.* (2003) dató granitoides in-situ, mediante el método de U-Pb, registrando picos de 422 ± 2, 395 ± 3 y 346 ± 4 Ma, siendo considerados como evidencia de actividad magmática durante el Silúrico tardío al Carbonífero temprano.

Sobre el basamento se ubican depósitos continentales de edad pérmica inferior a triásica, relacionados a la extensión tectónica y rifting que generó la separación de Gondwana, desarrollándose un sistema de graben de orientación NO-SE originando la cuenca de rift La Golondrina (Homocv y Constantini, 2001).

Hacia el final del Triásico y principios del Jurásico, se intensifican los eventos extensionales localizados y se emplaza un complejo granítico-granodiorítico, denominado como Formación la Leona, de naturaleza geoquímica de arco magmático, siendo interpretado como parte del Batolito de la Patagonia Central (Pankhurst *et al.*, 1993a).

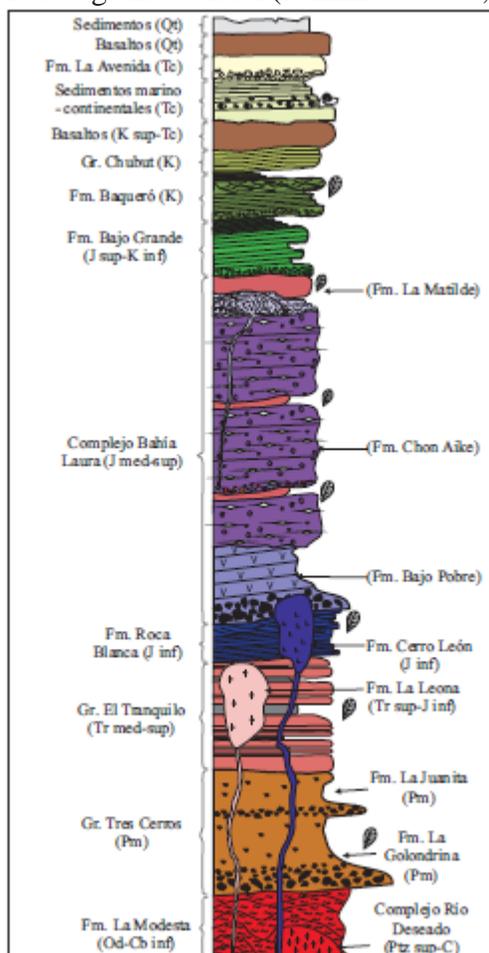


Figura 2: Columna estratigráfica de la provincia geológica Macizo del Deseado. Modificado de Ruiz (2012).

Ya en el Jurásico medio, se instaura en el sur de Sudamérica, una gran provincia ígnea (Large Igneous Province) asociada al proceso de fragmentación continental, denominada como Provincia Volcánica Jurásica Chon Aike (PVJCA) (Pankhurst *et al.*, 1998). Esta se caracteriza por depósitos de rocas volcánicas y piroclásticas de composición básica-intermedia a ácida. (Pankhurst *et al.*, 1993b). Dentro del MD se observa una relación espacio-temporal y genética, entre estas litologías, con la presencia de numerosas mineralizaciones epitermales de metales preciosos (Moreira *et al.*, 2008; Ruiz, 2012), lo que llevo a Schalamuk *et al.*, (1999) a definir una nueva entidad metalogénica conocida como Provincia Auro-argentífera Deseado (PAD). Estas provincias geológicas serán revisadas en detalle más adelante.

Luego de la tectónica extensional, en el Jurásico superior-Cretácico inferior, se deposita una secuencia volcanoclástica-sedimentaria en pequeñas cuencas cerradas, dando lugar a la Formación Bahía Grande y, posteriormente, a la Formación Baqueró (Di Persia, 1958; Archangelsky, 1967).

Cubriendo las unidades anteriores, y con una distribución ONO-ESE, afloran sedimentitas

cretácicas continentales agrupadas en el Grupo del Chubut (Lesta, 1969).

A fines del Cretácico, comienza un nuevo ciclo efusivo en el centro del Macizo del Deseado, el cual se extiende todo el Paleógeno y Neógeno, pudiendo distinguirse siete ciclos efusivos basálticos (Panza y Franchi, 2002). Ramos y Kay (1992) interpretan que esto es producto de la migración de suroeste a noreste de una ventana astenosférica generada por la subducción del punto triple entre las placas Sudamericana, Antártica y Nazca. Además estos sugieren dos periodos de magmatismo: (1) uno voluminoso, desde el Mioceno tardío hasta el Plioceno temprano (12-5 Ma) con secuencias toleíticas de plateau; (2) uno joven, menos voluminoso, del tipo post-plateau alcalino desde el Mioceno tardío hasta el Pleistoceno (7-2 Ma) (Gorring y Kay, 2000b). Precisamente, dentro de estas dos unidades basálticas, se encuentran numerosos xenolitos mantélicos, algunos de ellos son objeto del presente estudio.

Alrededor del Macizo del Deseado las rocas más antiguas corresponden a metareniscas de grano fino del basamento del Macizo Norpatagónico que contienen zircones detríticos cuyas edades jóvenes se agrupan en torno a 535 y 515 Ma, Pankhurst *et al.*, (2006) sugiere que estas edades son cercanas a la sedimentación. También, algunos análisis evidenciaron orígenes Gondwanicos con edades de 550-700 Ma y 1000-1200 Ma, así como dataciones más antiguas, llegando a los 2200 Ma probablemente derivados desde el cratón del Río de la Plata. Hacia el sur, en Tierra del Fuego Pankhurst *et al.*, (2006) obtuvo edades U-Pb en zircones de 521 ± 4 Ma, para una granodiorita pre-Jurásica evidenciando un magmatismo máfico calco-alcalino. Por otro lado, hacia el sureste se han registrado rocas metamórficas que constituyen el basamento con edades de 990-1140 Ma, ubicadas en el Cabo Belgrano (Jacobs *et al.*, 1999), en las Islas Malvinas. Esto respalda la idea de que estas islas deben ser consideradas en la reconstrucción grenviliana (1.0-1.2 Ga) del supercontinente Rodinia, formando una extensión oriental del sector de Natal, de la provincia Proterozoica Namaqua-Natal, en el sur de Sudáfrica (Thomas *et al.*, 2000).

1.2.3 Provincia Volcánica Jurásica de Chon Aike (PVJCA)

Las provincias ígneas gigantes son eventos volcánicos anómalos puntuales, en los cuales se generan y emplazan enormes volúmenes de magmas (máficos, silíceos y ultramáficos), debido a procesos distintos a los comúnmente predichos por la tectónica de placas.

De acuerdo a lo señalado por Bryan y Ernst (2008), se define a las Provincias Ígneas Gigantes (Large Igneous Province) como provincias magmáticas con una extensión superficial superior al millón de km^2 , que involucran un volumen de rocas ígneas mayor a 0,1 millones de km^3 , con un tiempo de actividad máxima cercana a los 50 Ma, y teniendo afinidades geoquímicas y características típicas de zonas de intraplaca.

La Provincia Volcánica Jurásica Chon Aike (PVJCA), corresponde a un importante evento volcánico jurásico de naturaleza bimodal, con un volumen superior a los 235.000 km^3 y una amplia distribución superficial. Esta provincia se encuentra expuesta en cuatro provincias geológicas: Macizo Norpatagónico, Macizo del Deseado, en un sector de los Andes Australes y en la Península Antártica (Kay *et al.*, 1989; Pankhurst *et al.*, 1998).

Pankhurst *et al.* (2000), plantea el desarrollo de la Provincia Volcánica Jurásica Chon Aike entre el Jurásico temprano a Jurásico tardío, definiendo tres episodios con picos de actividad

denominados: V1 entre los 188-178 Ma, V2 entre 172-162 Ma y V3 entre 157-153 Ma. Estos autores reconocen un cambio geoquímico desde un magmatismo ácido de intraplaca para el evento V1, a un carácter más asociado a un ambiente de subducción en las riolitas de los eventos V2 y V3, con una migración desde este-noreste hacia el oeste-suroeste a lo largo de 650 km.

En el contexto de la apertura del océano Atlántico por el fracturamiento de Gondwana, Pankhurst *et al.*, (2000) y Riley *et al.*, (2001) interpretaron que estos patrones de dispersión geográfica estarían relacionados en espacio y tiempo a la migración de un magmatismo asociado a una pluma mantélica (que estaría evidenciada en el registro geológico en la Provincia Basáltica de Karoo en Sudáfrica, y la Provincia Ferrar en la Antártida), junto con variaciones en las características físicas de la subducción.

Sobre la naturaleza de su origen, Pankhurst y Rapela (1995) proponen que el volcanismo básico esta generado por la anatexis a niveles profundos por fusión parcial de una corteza inferior grenvilliana (1150-1600 Ma), mientras que el vulcanismo ácido estaría generado por procesos de fraccionamiento cristal-líquido a partir de estas andesitas primarias, involucrando además estadios de cristalización multi-episódicos y refundidos a través del ascenso de este magma. Igualmente, estos autores señalan que es poco probable que este voluminoso volcanismo ácido haya sido generado directamente en el manto, considerando además que la relación inicial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de 0,7067 y la composición del isótopo no radiogénico Nd tampoco son representativos de una fuente mantélica normal. Pankhurst *et al.* (1998), asimismo, consideran que un modelo petrogenético único, para todo el material generado en la provincia, es poco probable debido a las grandes variaciones en las edades, las características geoquímicas y el contexto geológico regional.

De acuerdo con la misma línea de investigación y considerando estudios isotópicos de Sr, Nd y O, junto con análisis geoquímicos en elementos mayoritarios y trazas, Riley *et al.*,(2001) sugieren que si la fuente de calor para la fusión parcial está relacionada a un fundido máfico subcontinental, la derivación de un magma de composición intermedia a uno ácido con una geoquímica isotópica uniforme puede ser mejor explicada a través de eventos de mezcla, asimilación, almacenamiento y homogenización (MASH) de una corteza profunda del proto-margen pacífico de Gondwana. De esta manera, Riley *et al.*,(2001) proponen que las rocas de la Provincia Volcánica Jurásica Chon Aike fueron generadas como resultado de anatexis de una corteza inferior Grenvilliana hidratada, la cual se mezcla con componentes fraccionados desde un fundido máfico subcontinental, con un posterior almacenamiento que permite desarrollar una uniformidad isotópica en sus magmas. La composición primaria probablemente sería cercana a andesítica-dacítica, siendo las riolitas el resultado final de una cristalización fraccionada simple o combinada con evento de asimilación cortical en una cámara magmática ubicada en la corteza superior (Ruiz, 2012).

Finalmente, diversos autores sugieren que las condiciones fueron favorables para la generación y el emplazamiento de grandes cantidades de rocas volcánicas silíceas a partir de la generación de una importante extensión litosférica evidenciada en el intenso fallamiento normal jurásico, adjudicándole el impulsar dicha extensión al impacto que habría tenido la pluma mantélica y una extensión en el retroarco a lo largo de la zona de subducción paleo-Pacífica (Kay *et al.*, 1989; Pankhurst y Rapela, 1995; Pankhurst *et al.*, 1998; Pankhurst *et al.*, 2000).

1.2.4 Provincia Auroargentífera del Deseado (PAD)

El Macizo del Deseado está caracterizado por la presencia de abundantes mineralizaciones epitermales de baja sulfuración lo que llevo a Schalamuk *et al.*, (1999) a definir una nueva localidad metalogénica denominada Provincia Auroargentífera del Deseado.

A partir de 1995, con el descubrimiento de mineralizaciones auríferas en el área del Cerro Vanguardia y fundamentalmente por la definición de sus importantes recursos, que se desarrolló en el Macizo del Deseado una intensa actividad prospectiva que ha dado como resultado el descubrimiento de varios distritos vetiformes con presencia de metales preciosos. Actualmente, esta provincia es una importante productora de Au-Ag con cuatro minas activas (Cerro Vanguardia, Martha, San José y Manantial Espejo) y es objeto de intensa exploración con más de 50 proyectos en distinto grado de desarrollo (ver Figura 3)

La importante actividad hidrotermal formadora de los depósitos minerales se encuentra espacial, temporal y genéticamente relacionada con el extenso volcanismo bimodal, ocurrido en el Jurásico medio-superior y que está representado por rocas volcanoclásticas y magmáticas riolíticas calcoalcalinas y peraluminosas del Grupo Chon-Aike (o Bahía Laura) y rocas volcanoclásticas de composición andesítica calcoalcalina de la Formación Bajo Pobre (Guido y Schalamuk, 2003). Las mineralizaciones reconocidas en el Macizo del Deseado presentan características de depósitos epitermales de baja sulfuración (Hedenquist *et al.*, 2000). Estas están formadas por vetas, venas, stockworks y brechas hidrotermales de cuarzo y calcedonia con un importante control estructural de rumbo predominante NO y en menor medida NE y E-O (Jovic, 2010).

La geoquímica se caracteriza por presentar anomalías en metales preciosos (Au-Ag con relaciones de 1:9, respectivamente) y ocasionales contenidos anómalos de As, Sb, Hg, Mo, Pb, Zn, Mn y Cu. Los minerales metálicos se encuentran en menos del 1% en volumen y están representados por pirita, oro nativo, electrum, argentita, plata nativa, sulfosales de plata, hematites, esfalerita, galena y calcopirita. Con mineralogía de ganga compuesta por sílice (principalmente cuarzo y en menor medida calcedonia y opalo) acompañado, en ocasiones, por calcita, adularia, baritina, fluorita y zeolitas. La alteración hidrotermal está restringida en proximidades de las vetas y está representada por silicificación, argilización, sericitización y propilitización en menor medida. Los fluidos hidrotermales están caracterizados por soluciones H₂O-NaCl neutras a algo alcalinas con salinidades correspondientes a soluciones diluidas o débilmente salinas.

El rango de temperaturas de homogenización del cuarzo y la adularia va desde <100° a 320° C y los valores $\delta^{18}\text{O}$ de fluidos del cuarzo van entre -10 y +4% lo que sugiere una importante participación de aguas meteóricas en las soluciones hidrotermales. Los valores de $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ varían entre -6,4 y +5‰ indicando una fuente magmática para el azufre (Schalamuk *et al.*, 1999,2002, y 2005; Fernández *et al.*, 2008; Ruiz, 2012).

En los últimos años, se han encontrado mineralizaciones con características metalogénicas que difieren del típico modelo epitermal de la PAD. El mejor ejemplo es Mina Martha que se caracteriza por ser un depósito rico en Ag con una relación Ag:Au 1000:1, altos contenidos de metales base y gran cantidad de sulfuros, siendo definido por Gonzalez Guillot *et al.*, (2004) como un depósito epitermal de sulfuración intermedia.

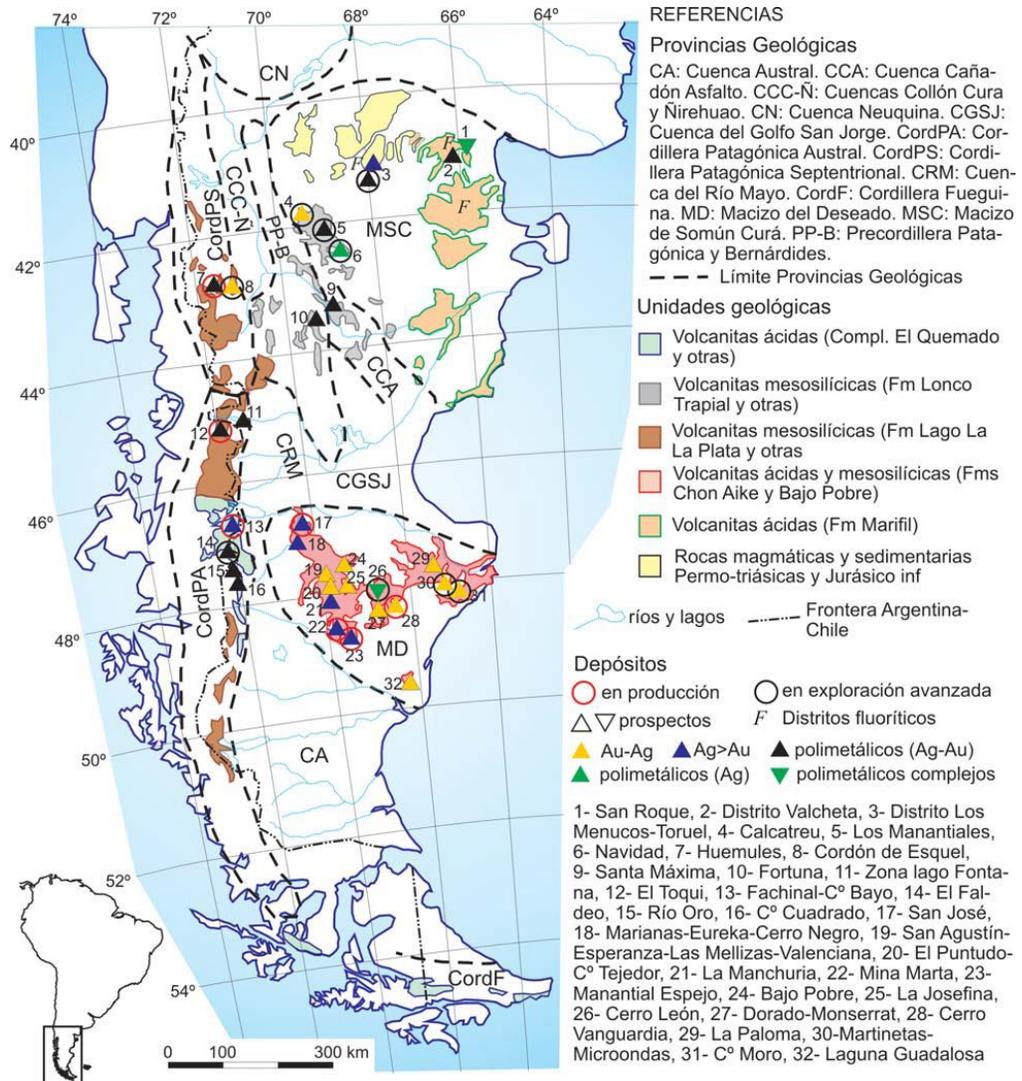


Figura 3: Extraída de Fernández *et al.* (2008). Ubicación de depósitos, prospectos y manifestaciones de Au-Ag en la Patagonia. Macizo de Somún Curá (MSC) es otra denominación para el Macizo Norpatagónico (MNP).

1.2.5 Manto Litosférico Subcontinental en Patagonia

Nódulos ultramáficos provenientes del manto litosférico subcontinental son relativamente comunes en las lavas máficas alcalinas de plateau y post-plateau que cubren una amplia área en el trasarco de Patagonia, desde el Mioceno tardío hasta la actualidad (Faccini *et al.*, 2013; Gorrington *et al.*, 1997). Estos han sido ampliamente caracterizados con el fin de comprender los procesos ocurridos en el manto litosférico subcontinental (Stern *et al.*, 1999; Gorrington and Kay, 2000a; Laurora *et al.*, 2001; Rivalenti *et al.*, 2004, 2007; Conceição *et al.*, 2005; Bjerg *et al.*, 2005; Ntaflos *et al.*, 2007; Gervasoni, 2012; Vásquez, 2012; Faccini *et al.*, 2013; entre otros).

En estudios recientes (Schilling *et al.*, 2008; 2012; en preparación), llevados a cabo en xenolitos mantélicos provenientes de distintas localidades de Patagonia (entre 42° y 52°S), se observó que los nódulos ultramáficos ubicados dentro del Macizo del Deseado poseen razones isotópicas $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ bajas, variando usualmente entre 0,1139 y 0,1198 (con edades de empobrecimiento de Re (T_{RD}) entre 1,34 y 2,13 Ga). A diferencia de los xenolitos mantélicos de los alrededores del Macizo del Deseado, los cuales presentan variaciones considerablemente mayores que van desde 0,1145 a 0,1293 (T_{RD} entre 0,03 y 2,04 Ga).

Además, Schilling *et al.*, (2012) presentan concentraciones de elementos del grupo del Platino (EGP) en xenolitos mantélicos del Macizo del Deseado, los que muestran patrones característicos de peridotitas residuales producidas por altos grados de fusión parcial, con empobrecimientos progresivos de Pt, Pd y Re (Figura 4a). Consecuentemente, estos también presentan los mayores valores de Mg# y las menores concentraciones de Al_2O_3 (entre 0,6 y 2,12 wt.%). Alrededor del Macizo del Deseado, se observan muestras empobrecidas en Pd y Re (Figura 4b), junto a muestras con patrones similares al manto primitivo (PUM), e incluso con enriquecimientos en Pt, Pd y Re (Figura 4c), vinculados con valores mayores de Al_2O_3 (entre 1,0 y 3,97 wt.%).

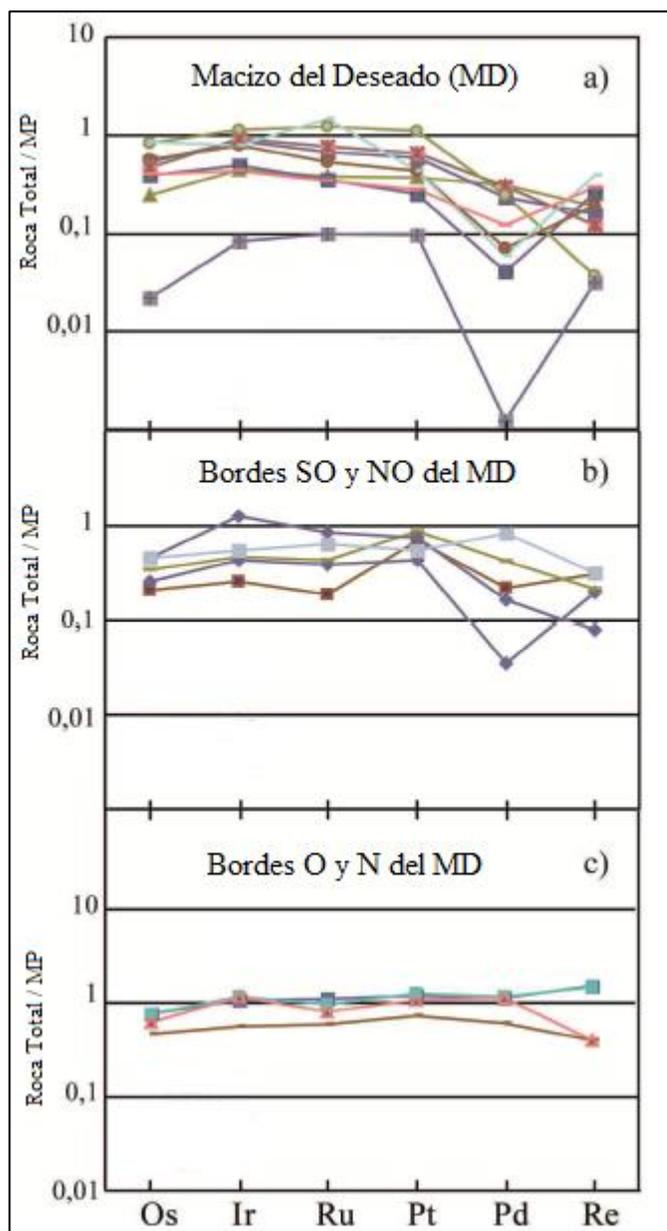


Figura 4: Concentración de elementos del Grupo del Platino más Re publicados por Schilling, *et al.* (2012), normalizados con valores del manto primitivo (MP) propuestos por Becker *et al.* (2006). a) Peridotitas del MD; b) Peridotitas del borde suroeste y noroeste del MD; c) Peridotitas del borde norte y oeste del MD. Modificado de Schilling *et al.*, 2012.

Adicionalmente, Schilling (2012) presentan una estimación del espesor elástico (T_e) para el Macizo del Deseado, determinada mediante la inversión de datos gravimétricos obtenidos por satélite y datos topográficos/batimétrico. El T_e es una aproximación al espesor de la litósfera y variaciones laterales de este parámetro han sido interpretadas como cambios espaciales en la estructura termal de la litósfera continental, dependiente de la edad (Tassara *et al.*, 2007). Los máximos valores de T_e obtenidos en esta región alcanzan 30 a 40 km justo entre el MD y las Islas Malvinas (IM), sugiriendo que la litósfera en esta zona es más gruesa, fría y rígida que en los alrededores (Figura 5b).

Considerando los resultados geoquímicos y geofísicos obtenidos, los autores concluyen que bajo el MD existe un manto litosférico formado durante el Mesoproterozoico por altos grados de fusión parcial, mucho antes de lo que sugieren las edades publicadas hasta ahora para rocas de su basamento cortical (~0,6 Ga; Pankurst *et al.*, 2003). Esta litósfera parece ser más gruesa, fría y rígida, que en las zonas contiguas de Patagonia, y aparentemente se extiende hacia el sureste, probablemente hasta las IM. Contrariamente, la litósfera en las zonas que rodean al MD, habría sufrido menores grados de fusión parcial, sería considerablemente más joven y químicamente más semejante al manto primitivo fértil.

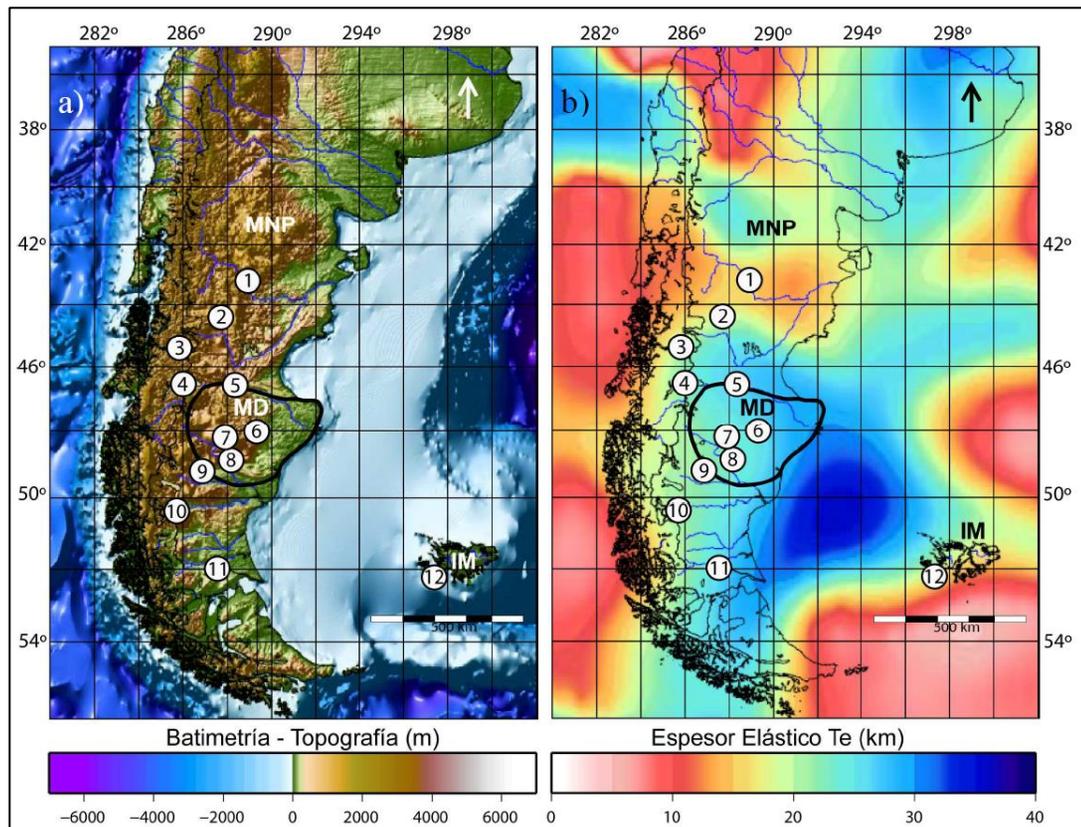


Figura 5: Extraída del trabajo de Schilling, *et al.*, (2012). a) Topografía y batimetría del sur de Sudamérica y alrededores; b) mapa computarizado del espesor elástico (Te). Los números representan las localidades de los xenolitos considerados en Schilling *et al.*, (2012). Se muestra el límite tradicionalmente sugerido para el Macizo del Deseado (MD), y la ubicación del Macizo Norpatagónico (MNP).

1.3 Hipótesis

Los sulfuros de xenolitos peridotíticos provenientes del manto litosférico del Macizo del Deseado (MD) y sus alrededores presentan características petrográficas y químicas distintivas, que reflejan diferentes tasas de fusión parcial ocurridas en el manto litosférico subcontinental a escala regional. Estas diferencias son sugeridas por las siguientes evidencias:

1. La existencia de gran cantidad de yacimientos auroargentíferos y polimetálicos en el MD, vinculados a procesos de anatexia de una corteza inferior Grenvilliana.
2. Evidencias geoquímicas: concentraciones bajas de EGP y Al_2O_3 , así como altas de MgO en los xenolitos peridotíticos correspondientes al MD en comparación a los ubicados fuera de este.
3. La existencia en el MD de una corteza más gruesa, rígida y fría que en las zonas contiguas de Patagonia.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Contribuir a la comprensión de procesos petrogenéticos registrados en xenolitos provenientes del manto litosférico del Macizo del Deseado y sus alrededores, ocurridos en el manto superior o durante su transporte a la superficie.

1.4.2 Objetivos Específicos

- A) Determinar características mineralógicas y texturales de los xenolitos mantélicos del MD y sus alrededores.
- B) Determinar diferencias texturales entre los sulfuros presentes en los xenolitos mantélicos del MD y sus alrededores.
- C) Determinar la composición química de los sulfuros presentes en las inclusiones sulfuradas.
- D) Estimar la composición química total de las inclusiones de sulfuros.
- E) Determinar la abundancia de sulfuros presentes por muestra.
- F) Identificar heterogeneidades en las características petrográficas y químicas de las inclusiones de sulfuros presentes en los xenolitos mantélicos del MD y sus alrededores, que permitan reconocer procesos de fusión parcial y/o metasomáticos, relacionados con la evolución del manto litosférico subcontinental de la región, o que hayan ocurrido durante su transporte a superficie.

2 Metodología

Este trabajo es parte del proyecto FONDECYT 1100724, dirigido por el Dr. Manuel Schilling Danyau, que lleva por nombre: “Lithospheric mantle of the Deseado Massif: Searching an ancient continental block” y tiene por objetivo constreñir la evolución del manto litosférico subcontinental del extremo sur de Sudamérica.

Las muestras incluidas en este estudio incluyen 31 xenolitos derivados de 7 localidades (ver Figura 6). Específicamente, se estudiaron 27 cortes transparentes-pulidos gruesos de 90 μm , más gruesos que los estándares de 30 μm para poder emplearse en futuros estudios geoquímicos utilizando análisis de ICP-MS, y a 4 bloques gruesos dobles pulidos.

La procedencia, código y cantidad de muestras por localidad, son ordenadas de norte a sur como sigue:

Coyhaique-PM25 (6 transparentes-pulidos), Cerro Clark-PM24 (4 transparentes-pulidos), Volcán Auvernia-PM27 (6 transparentes-pulidos), Gobernador Gregore-PM23 (4 transparentes-pulidos), Tres Lagos-PM21 (3 transparentes-pulidos), Cerro del Fraile-PM20 (4 transparentes-pulidos) y Pali Aike-PM18 (4 bloques dobles pulidos).

Relacionado al objetivo específico (A)

Revisión de las muestras a luz transmitida y reflejada, en los laboratorios de microscopía del SERNAGEOMIN, con el uso de los microscopios:

- Olympus, BH-2 BHSP con cámara fotográfica: Micrometrics 590 CU; CCD 5Mp modelo CD-5.
- Olympus, BX51, con cámara fotográfica: QImaging Digital Camera (v 100). Micropublisher 3.3 RTV.

Además, con el fin de generar una mejor estimación de la moda mineral de los xenolitos, se trabajó con imágenes escaneadas de las láminas delgadas (27 cortes), generadas previo a este estudio mediante el uso del escáner Epson Stylus Photo RX520, adaptado para diapositivas, el cual obtiene imágenes de la sección transparente completa con colores similares a los observados a nicoles paralelos. Estas imágenes se utilizaron mediante dos metodologías: una metodología computacional desarrollada por Vásquez (2012), usando los programas Envi 4.3 y Photoshop en 24 de ellas, y un conteo modal digital con el uso del software JMicroVision 1.2.7, considerando 500 puntos de conteo al azar, en las 3 muestras restantes.

Para los 4 bloques gruesos doble pulidos (Pali Aike-PM18), no fue posible determinar la moda mineral mediante ninguna de estas metodologías, por lo que se consideró la clasificación realizada previamente por Gervasoni (2012).

Relacionado al objetivo específico (B)

Revisión exhaustiva de los sulfuros encontrados, a luz transmitida y reflejada en los laboratorios de microscopía del SERNAGEOMIN, con el uso de los microscopios y cámaras mencionados en el punto anterior.

Relacionado al objetivo específico (C)

Se realizó análisis químicos de elementos mayores (Fe, Ni, Cu, Co, S, O, Si) de 108 inclusiones de sulfuros, en el laboratorio del instituto GEA perteneciente a la Universidad de Concepción, mediante el uso de microsonda electrónica modelo Jeol Jxa8600 con 5 espectrómetros dispersores de longitud de onda (WDS) y un espectrómetro dispersor de energía (EDS) Bruker, modelo Xflash 5010. Las condiciones de los análisis cuantitativos realizados con sistema WDS son las siguientes: 15 Kv de voltaje de aceleración; 20 nA de corriente del haz de electrones; tiempo de conteo de 30 seg en peak y 30 seg en cada background (o el tiempo necesario para llegar a una estadística de conteo menor o igual al 1%); las líneas y los cristales usados por elemento son: S: Ka, cristal PET; Fe: Ka, cristal LIF; Cu: Ka, cristal LIF; Co: Ka, cristal LIF; Ni: Ka, cristal LIF; estándares utilizados: calcopirita sintética para S, Fe y Cu; CoO sintético para Co; pentlandita sintética para Ni. Además, se generaron 28 mapas de distribución de elementos de rayos X, para los sulfuros de mayor tamaño, con 15 Kv y 10 nA, utilizando el software Quantax200 Bruker.

Los sulfuros fueron denominados considerando en primer lugar la localidad de procedencia del xenolito, luego el número de muestra y, finalmente, un número correlativo de acuerdo a la ubicación del sulfuro dentro del corte o bloque (Ejemplo: PM18-22-1; localidad Pali Aike-muestra 22- ubicación 1). Si bien los sulfuros alineados (tipo SA) se caracterizan por ser grupos de sulfuros, ocasionalmente más de un sulfuro de los otros tipos (SAS, SZR o SI) también pueden encontrarse en una misma zona. Debido a esto, al momento de la denominación de la ubicación de las inclusiones analizadas se utilizó letras mayúsculas (A, B, C) al final de algunos nombres con el fin de diferenciar las inclusiones sulfuradas situadas en una misma zona.

Los sulfuros analizados fueron normalizados al 100%, sin considerar los porcentajes en peso de silicio ni oxígeno, y llevados a concentraciones atómicas de acuerdo a los siguientes pesos atómicos por elemento: azufre (32,064 g/mol), hierro (55,847 g/mol), cobre (63,546 g/mol), níquel (58,710 g/mol) y cobalto (58,933 g/mol).

Relacionado al objetivo específico (D)

Se llevó a cabo la reconstrucción de la composición química total de 5 agregados de sulfuros, de las cuales se dispone mapas de distribución de elementos con bordes nítidos entre sus fases, así como análisis de microsonda electrónica en cada una de ellas. Combinando los mapas de distribución de elementos de rayos X junto con los análisis cuantitativos de los sulfuros, con el uso de los programas Envi 4.3 y Photoshop.

Relacionado al objetivo específico (E)

Estimación del porcentaje modal de sulfuros por muestra, mediante el uso de fotomicrografías, imágenes de electrones retrodispersados (BEI) e imágenes digitales de los xenolitos, todas procesadas con el software Envi 4,3.

Relacionado al objetivo específico (F)

Integración de toda la información previamente descrita, para reconocer posibles heterogeneidades.

Considerar los análisis de elementos mayores de roca total en 26 muestras, facilitados por Schilling (en preparación) y Conceição (comunicación interna), además de los publicados por Gervasoni (2012).

Comparación de los resultados obtenidos en este trabajo con estudios previos de sulfuros en xenolitos mantélicos.

2.1 Localización de las Muestras

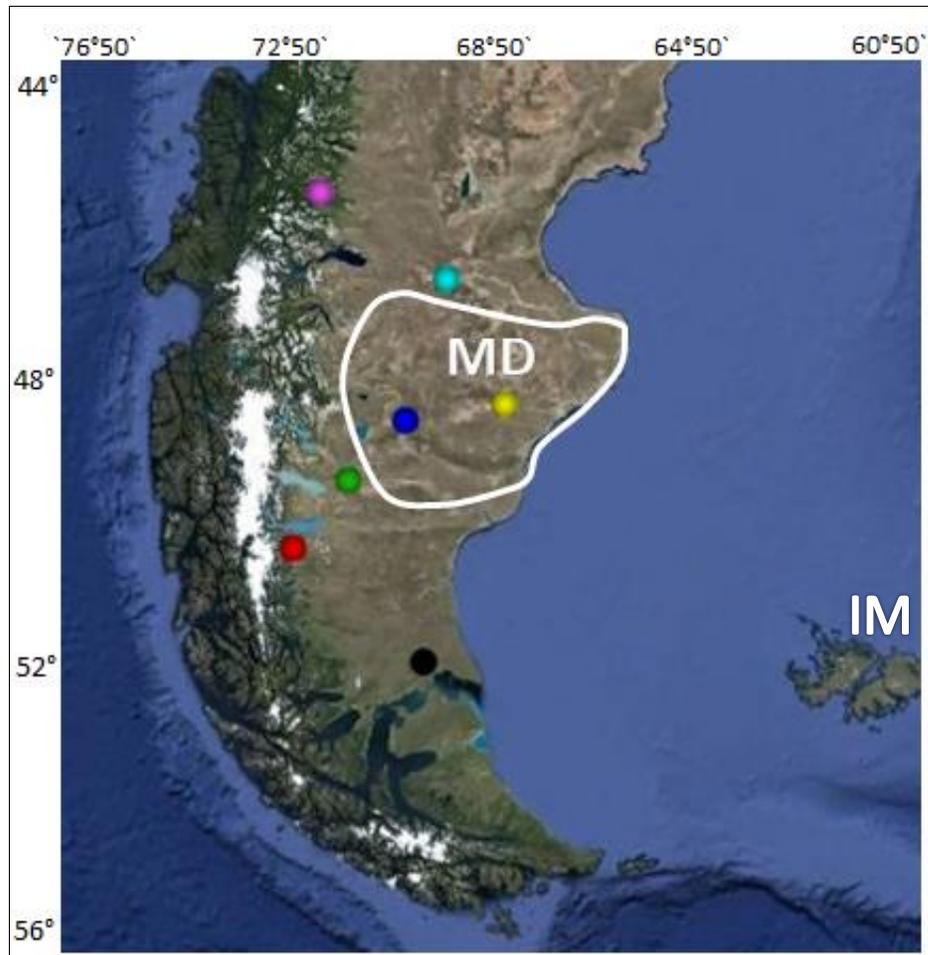


Figura 6: Imagen del extremo sur de Sudamérica, mostrando la ubicación de las localidades de los xenolitos considerados en este estudio. Símbolos en Tabla 1; MD: Macizo del Deseado; IM: Islas Malvinas

Tabla 1: Coordenadas de localidades.

Código	Localidad	Símbolo	Lat. (S)	Long. (W)
PM25	Coyhaique	●	45°47'	71°54'
PM24	Cerro Clark	●	46°43'	69°30'
PM27	Volcán Auvernia	●	48°25'	68°10'
PM23	Gobernador Gregores	●	48°34'	70°10'
PM21	Tres Lagos	●	49°13'	71°18'
PM20	Cerro del Fraile	●	52°32'	72°41'
PM18	Pali Aike	●	52°01'	70°12'

3 Resultados

3.1 Petrografía

Las peridotitas estudiadas están compuestas por olivino, ortopiroxeno, clinopiroxeno, espinela, y granate, este último exclusivamente presente en los xenolitos pertenecientes a Pali Aike. Olivino es la fase predominante en casi todas las muestras, luego siguen ortopiroxeno>clinopiroxeno>espinela y/o granate.

Es relevante señalar, que debido al grosor de los cortes transparentes-pulidos (90 μm), las características ópticas varían notablemente, en especial su color de interferencia y el ángulo de extinción, por lo que las fases fueron diferenciadas considerando esencialmente las tonalidades observadas a nicoles paralelos. El olivino se observa usualmente incoloro; el ortopiroxeno se muestra pardo claro, con leve pleocroísmo, y ocasionalmente pardo oscuro en zonas esponjosas; el clinopiroxeno presenta variaciones desde verde esmeralda a verde pálido, mostrando tonos opacos en zonas esponjosas; la espinela presenta tonalidades pardas oscuras, a tonos levemente rojizos.

Además, la descripción textural de los nódulos ultramáficos se realizó en base al trabajo de Mercier y Nicolas, 1975.

3.1.1 Coyhaique

Las xenolitos de la localidad de Coyhaique son 5 lherzolitas y una harzburgita con espinela. Caracterizados por la presencia de gran cantidad de venas de serpentina, que cortan principalmente al olivino.

Las lherzolitas PM25-06, PM25-22 y PM25-25, son clasificadas como protogranulares I, mientras que las lherzolitas PM25-02 y PM25-08, junto con la harzburgita PM25-10 son transicionales de protogranular I a porfiroclásticas I. Estas últimas presentan porfiroclastos elongados de ortopiroxeno llegando a los 10 mm, con leve desarrollo de bandas de deformación. En general, olivino y ortopiroxeno muestran bordes redondeados a rectos. Por su parte, clinopiroxeno muestra formas anhedrales elongadas con tamaños inferiores a 3 mm. Espinela se observa vermicular, comúnmente en contacto con piroxenos y tamaños inferiores a 3 mm.

Texturalmente, se observa leves bordes esponjosos en clinopiroxenos en las rocas PM25-10 y PM25-22. Además, PM25-25 presenta zonas esponjosas en ortopiroxeno asociados ocasionalmente a la percolación de basalto.

3.1.2 Cerro Clark

Los xenolitos de Cerro Clark corresponden a 4 lherzolitas con espinela, bastante pequeños, no alcanzando a cubrir la superficie del portamuestras y mostrando percolación del basalto hospedante.

Las lherzolitas PM24-28, PM24-40 y PM24-41 son clasificadas como porfiroclásticas I, mientras que PM24-28 y PM24-31 presentan leves indicios transicionales de protogranular I a porfiroclástica I, manifestado en la presencia de escasos cristales mayores (4,5 mm) de ortopiroxeno con bandas de deformación. Olivino alcanza tamaños cercanos a los 3 mm, con bordes rectos a redondeados. Orto y clinopiroxenos muestran tamaños inferiores a 3 y 1,5 mm, respectivamente, ambos con desarrollo de texturas de reacción esponjosas en sus bordes o en todo el cristal, observándose pardos poco traslucidos, diferenciándose ocasionalmente solo por tonalidades pardas levemente verdosas atribuidas a clinopiroxenos (nícoles paralelos-luz transmitida). Estos bordes esponjosos pueden estar en contacto con bolsas de vidrio, mostrando ambos relación con la percolación de fundidos/fluidos desde el basalto en algunas partes de las láminas delgadas. Espinela se muestra como cristales vermiculares inferiores a 1 mm, con desarrollo de bordes de reacción. Además, es común encontrar pequeños ($\approx 30 \mu\text{m}$) cristales romboédricos opacos de mediana-baja reflectividad en zonas vítreas, mostrando texturas de reabsorción.

3.1.3 Volcán Auvernia

Los xenolitos de volcán Auvernia corresponden a 6 lherzolitas con espinela, bastante pequeños (PM27B-12B es de 1x1 cm aproximadamente), mostrando percolación de basalto en dos de ellos (PM27B-01B y PM27B-23).

Las lherzolitas son clasificadas como porfiroclásticas I, excepto PM27B-23 con leves indicios transicionales de protogranular I a porfiroclástica I. Olivino y ortopiroxeno muestran bordes redondeados a rectos, con tamaños en promedio inferiores a 3 y 4 mm, respectivamente. Clinopiroxeno presenta tamaños entre 0,5 y 2 mm, formas levemente elongadas y abundantes bordes de reacción esponjosos (0,1 mm). Espinela muestra formas vermiculares, asociadas preferentemente a ortopiroxeno, con tamaños inferiores a 1 ó 2 mm.

También, es común observar cristales de ortopiroxeno, olivino y espinela mostrando texturas de reacción en contacto directo con el basalto hospedante.

3.1.4 Gobernador Gregores

Los xenolitos de Gobernador Gregores corresponden a 3 lherzolitas y una harzburgita con espinela, con todos mostrando cierto grado de foliación.

La lherzolita PM23-02 y la harzburgita PM23-03 son clasificadas como transicionales de porfiroclásticas I a equigranular I, mientras que las lherzolititas PM23-21 y PM23-23 son transicionales de protogranular I a porfiroclásticas I. Las primeras presentan una foliación marcada, de cristales de olivino, orto y clinopiroxeno con tamaños entre 0,5 y 2 mm, con bordes poligonales, así como espinelas con formas alargadas diseminadas entre los silicatos, con tamaños cercanos a los 0,5 mm.

Las segundas muestran tamaños notablemente mayores, con cristales de olivino, ortopiroxeno y clinopiroxeno que alcanzan los 4, 5 y 1,5 mm, respectivamente, excepto algunos cristales mayores (<10 mm) elongados de ortopiroxeno, presentando todos bordes rectos. Además, espinela presenta formas vermiculares elongadas, con tamaños inferiores a 1,5 mm, asociadas comúnmente con ortopiroxeno.

Texturalmente, las rocas PM23-02, PM23-03 y PM23-23 presentan desarrollo de bordes esponjosos en clinopiroxeno, mientras que en PM23-21 se observó exsolución mutua de piroxenos.

3.1.5 Tres Lagos

Los xenolitos de Tres Lagos corresponden a 2 lherzolititas y una harzburgita con espinela.

La harzburgita PM21-01 y la lherzolita PM21-04 son clasificadas como transicionales de protogranular II a porfiroclástica II, mientras que la lherzolita PM21-01 es transicional de protogranular I a porfiroclásticas I. Las primeras están caracterizadas por grandes cristales levemente elongados de olivino y ortopiroxeno entre 1 y 7 mm, aproximadamente. Clinopiroxenos y espinelas se observan diseminadas en la muestra, con formas elongadas y tamaños inferiores a 2 y 1,5 mm, respectivamente. Además, se observan inclusiones redondeadas de espinelas (0,05 mm) en olivino y piroxenos.

PM21-01 muestra algunos cristales de olivino y ortopiroxeno que alcanzan los 4 mm, siendo comúnmente entre 1 y 2 mm, ambos con bordes rectos. Clinopiroxeno y espinela presentan tamaños cercanos a 1.5 mm, asociándose frecuentemente a ortopiroxeno. Espinela muestra formas vermiculares

Texturalmente, PM21-01 muestra abundantes exsoluciones mutuas de piroxenos, mientras que PM21-04 se caracteriza por el desarrollo de bordes esponjosos en clinopiroxenos y exsoluciones mutuas de piroxenos menos desarrolladas que en PM21-01. Por último, PM21-05 presenta bordes esponjosos y exsoluciones de clinopiroxeno en ortopiroxeno, ambos de manera leve.

3.1.6 Cerro del Fraile

Los xenolitos de Cerro del Fraile son 4 lherzolititas de espinela, los cuales no alcanzan a cubrir la superficie del portamuestras, mostrando percolación de basalto en láminas PM20-13 y PM20-23. Se caracterizan por la presencia de pequeñas inclusiones de espinela (<0,1 mm) en cristales mayores de ortopiroxeno y en menor medida en el olivino.

Las lherzolitas PM20-13, PM20-20 y PM20-23 son clasificadas como protogranulares II, con cristales de olivino y ortopiroxenos con bordes redondeados a rectos y tamaños entre los 1 y 5 mm, en promedio. Clinopiroxeno y espinelas presentan tamaños inferiores a los 1,5 mm, con formas anhedrales.

La lherzolita PM20-01 es clasificada como equigranular mozaico I a protogranular II, caracterizada por dos familias de cristales, una mayor entre 1 y 5 mm, compuesta por olivino y piroxenos con bordes rectos a redondeados, y una segunda población con tamaños entre 0,5 y 0,2 mm, comprendiendo olivino, ortopiroxeno, clinopiroxeno no deformados y bordes poligonales, así como espinela de forma vermicular asociada a piroxenos.

Texturalmente, PM20-01 muestra exsolución mutua de piroxenos, mientras que en las otras tres muestras solo se observó exsolución de clinopiroxenos en ortopiroxenos.

3.1.7 Pali Aike

Los xenolitos de Pali Aike corresponden a 2 lherzolitas y una harzburgita con granate-espinela, además de una lherzolita con espinela, correspondiendo a bloques gruesos pulidos por ambos lados, con tamaños aproximados de 2,5x4 cm.

Al no disponer de láminas delgadas se consideró las clasificaciones realizadas por Gervasoni (2012), donde las lherzolitas con granate-espinela PM18-09 y PM18-13 son descritas como protogranulares I, mientras que la harzburgita de granate-espinela PM18-22 y la lherzolita de espinela PM18-35 lo son como transicionales de protogranular I a porfiroclásticas I.

Olivino y ortopiroxeno presentan tamaños entre 1 a 4 mm, con bordes redondeados a rectos, mientras que clinopiroxeno alcanza tamaños cercanos a los 2 mm, con formas vermiculares y asociados comúnmente a ortopiroxenos. Granate se observa con tamaños inferiores a 2,5 mm, en contacto con pequeños granos de espinela. PM18-35 solo presenta espinela, con tamaños cercanos a 1 mm y formas anhedrales.

Texturalmente, se observan bordes de reacción en los contactos de espinela y granate.

3.2 Estimación de Moda Mineral

3.2.1 Metodología Computacional

Debido a que las imágenes obtenidas mediante el uso del scanner EPSON proporcionan colores característicos para cada una de las fases minerales presentes, fue posible su análisis utilizando el software ENVI 4,3 y Photoshop C6.

Al inicio, la imagen se prepara mediante Photoshop para definir el área que será analizada en ENVI (Figura 7A). Para su reconocimiento, ENVI requiere la generación de regiones de interés (ROI) mediante la selección de polígonos en la imagen (Figura 7B), abarcando los rangos de colores pertenecientes a cada región. En este caso, las regiones consideradas fueron olivino (amarillo), ortopiroxeno (rojo), clinopiroxeno (verde), espinela (azul), el fondo (celeste) y, para las muestras con importante presencia de vetillas se consideró una región extra, vetillas (rosado). Finalmente, para la determinación de la distribución de las regiones en la imagen se utilizó la herramienta Support Vector Machine (SVM) del programa ENVI (Figura 7C).

La metodología computacional genera una buena correlación entre la distribución mineral observada por las imágenes de escáner y las imágenes de resultados obtenidas con la herramienta SVM. Sin embargo, se observa una sobrestimación de espinela, al confundirla con fracturas, zonas de reacción y zonas de percolación del basalto, por lo que sus porcentajes no son considerados confiables. Además, para 3 muestras (PM25-08; PM25-10; PM25-22) que presentan una serpentinización intensa, el programa confunde las tonalidades pardas del ortopiroxeno con tonalidades similares observadas en olivino en contacto con las vetillas de serpentina, generando una sub-estimación de olivino y una sobreestimación de ortopiroxeno. Por lo que no se consideraron los resultados obtenidos mediante esta metodología para las 3 muestras antes mencionadas.

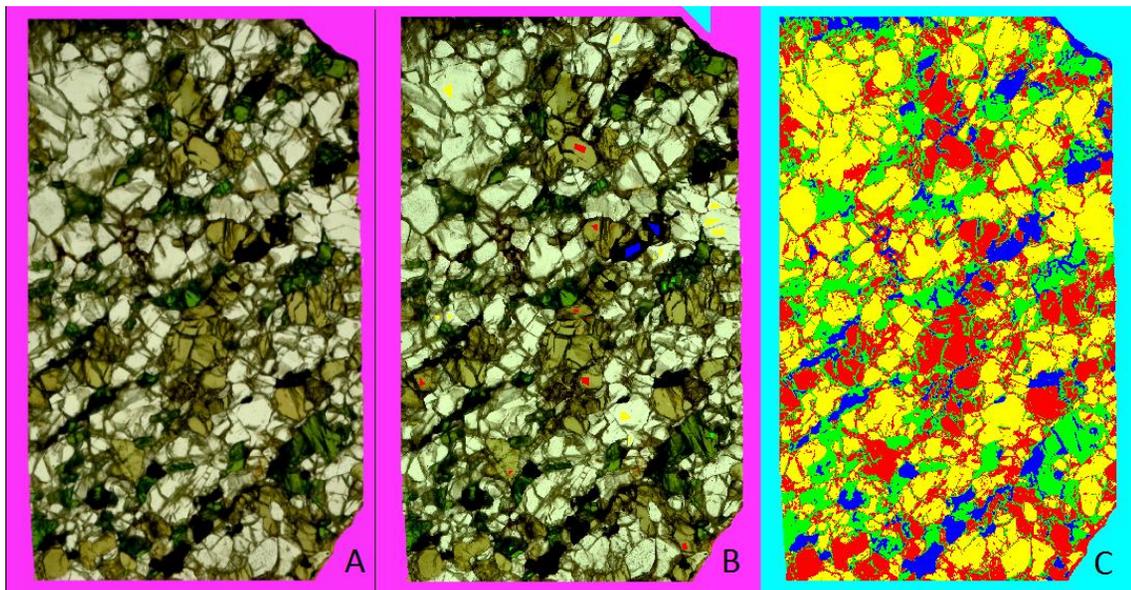


Figura 7: Imágenes metodología computacional, muestra PM23-23. (A) Imagen de escáner EPSON preparada con Photoshop, con zona a analizar definida. (B) Definición de las regiones de interés necesarias. (C) Imagen generada en ENVI con herramienta SVM.

Tabla 2: Resultados moda mineral con metodología computacional.

Muestras	Metodología Computacional				Nombre de la Roca
	% Ol	% Opx	% Cpx	% Sp	
Coyhaique					
PM25-02	42,84	37,66	16,82	2,69	Lherzolita con Sp
PM25-06	42,63	33,81	17,73	5,83	Lherzolita con Sp
PM25-25	39,71	34,73	14,66	10,90	Lherzolita con Sp
Cerro Clark					
PM24-28	41,55	35,41	10,20	12,83	Lherzolita con Sp
PM24-31	38,76	26,42	19,80	15,02	Lherzolita con Sp
PM24-40	37,28	37,39	13,36	11,97	Lherzolita con Sp
PM24-41	62,92	18,67	8,49	9,92	Lherzolita con Sp
Volcán Auvernia					
PM27A-09	64,00	24,00	5,40	6,60	Lherzolita con Sp
PM27A-28	79,00	11,10	5,80	4,10	Lherzolita con Sp
PM27B-01B	63,40	23,70	4,70	8,20	Lherzolita con Sp
PM27B-12B	85,00	5,50	7,20	2,30	Lherzolita con Sp
PM27B-18	63,40	21,40	11,70	3,50	Lherzolita con Sp
PM27B-23	52,50	37,80	7,30	2,40	Lherzolita con Sp
Gobernador Gregores					
PM23-02	49,64	30,93	15,56	3,87	Lherzolita con Sp
PM23-03	59,16	31,40	3,39	6,05	Harzburgita con Sp
PM23-21	46,32	34,86	9,54	9,27	Lherzolita con Sp
PM23-23	39,17	35,36	17,37	8,10	Lherzolita con Sp
Tres Lagos					
PM21-01	55,12	35,02	3,33	6,53	Harzburgita con Sp
PM21-04	58,72	28,09	7,99	5,20	Lherzolita con Sp
PM21-05	47,48	27,49	15,20	9,83	Lherzolita con Sp
Cerro del Fraile					
PM20-01	55,44	27,61	11,36	5,59	Lherzolita con Sp
PM20-13	53,91	31,25	4,99	9,84	Lherzolita con Sp
PM20-20	49,19	36,47	7,16	7,18	Lherzolita con Sp
PM20-23	45,69	42,40	4,85	7,06	Lherzolita con Sp

3.2.2 Contaje Modal

Se llevó a cabo un contaje modal digital con el uso del software JMicroVision 1.2.7 y las imágenes generadas con el escáner Epson, para las rocas PM25-08, PM25-10 y PM25-22. Mediante el empleo de la herramienta Point Counting se realizó el conteo considerando 500 puntos distribuidos al azar y 6 clases definidas previamente, correspondientes a olivino, ortopiroxeno, clinopiroxeno, espinela, vetillas y el fondo. Para obtener los porcentajes modales finales se eliminó los porcentajes correspondientes a vetillas y el fondo.

Tabla 3: Resultados moda mineral mediante conteo modal.

Muestras	Conteo Modal				Nombre de Roca
	% Ol	% Opx	% Cpx	% Sp	
Coyhaique					
PM25-08	48,24	35,69	14,15	1,92	Lherzolita con Sp
PM25-10	60,75	35,75	3,07	0,44	Harzburgita con Sp
PM25-22	46,24	38,43	12,53	2,80	Lherzolita con Sp

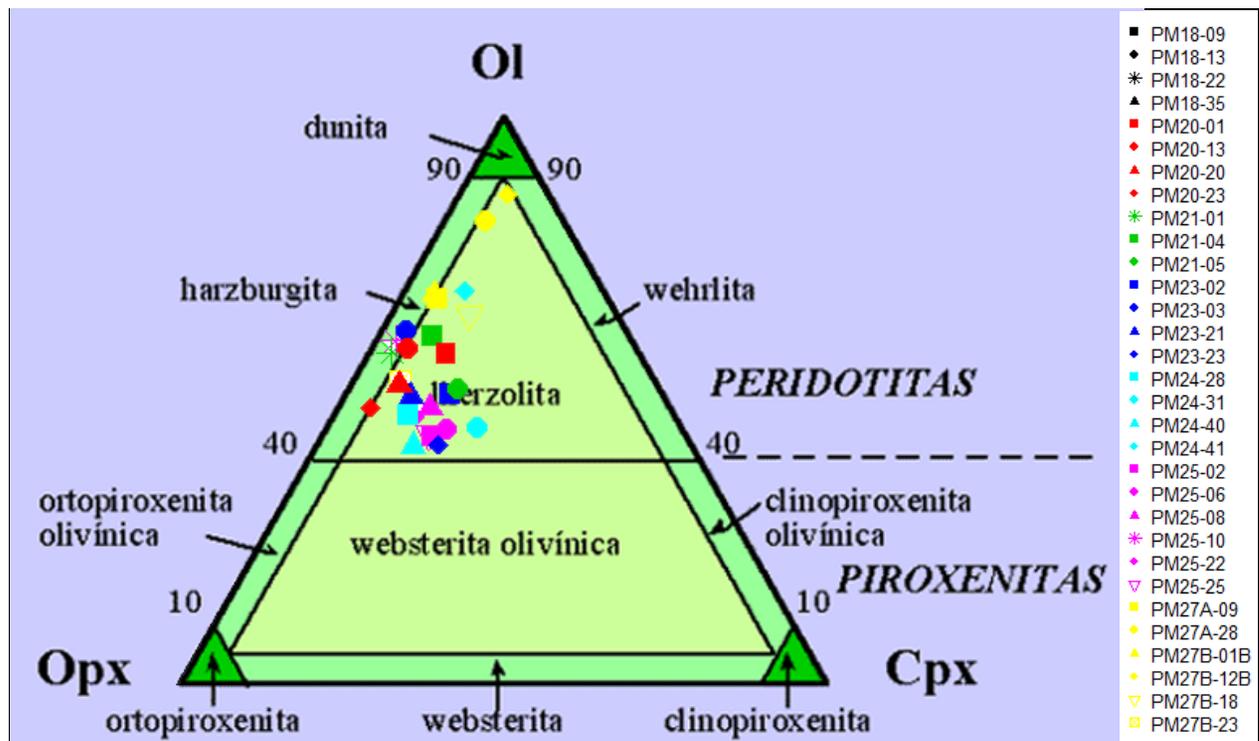


Figura 8: Clasificación de xenolitos según diagrama de rocas ultramáficas.

3.3 Geoquímica de Roca Total

Se dispone de análisis químicos de elementos mayores en roca total para 26 de los 31 xenolitos de este estudio (Tabla Anexo 33), mediante fluorescencia de rayos X realizados en laboratorios del Servicio Nacional de Geología (Chile) y del Departamento de Magnetismo Terrestre, en Carnegie Institution of Washington, USA (Cerro Clark; Volcán Auvernia; Gobernador Gregores; Tres Lagos; Cerro del Fraile) por Schilling *et al.* (en preparación); además de los realizados en la Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, Brasil (Pali Aike; Coyhaique) por Gervasoni (2012) y Conceição (comunicación personal), respectivamente.

Normalmente, se considera que a mayores tasas de fusión parcial el manto residual tiene menos componentes basálticos (CaO , SiO_2 , Al_2O_3) y esta enriquecido en MgO .

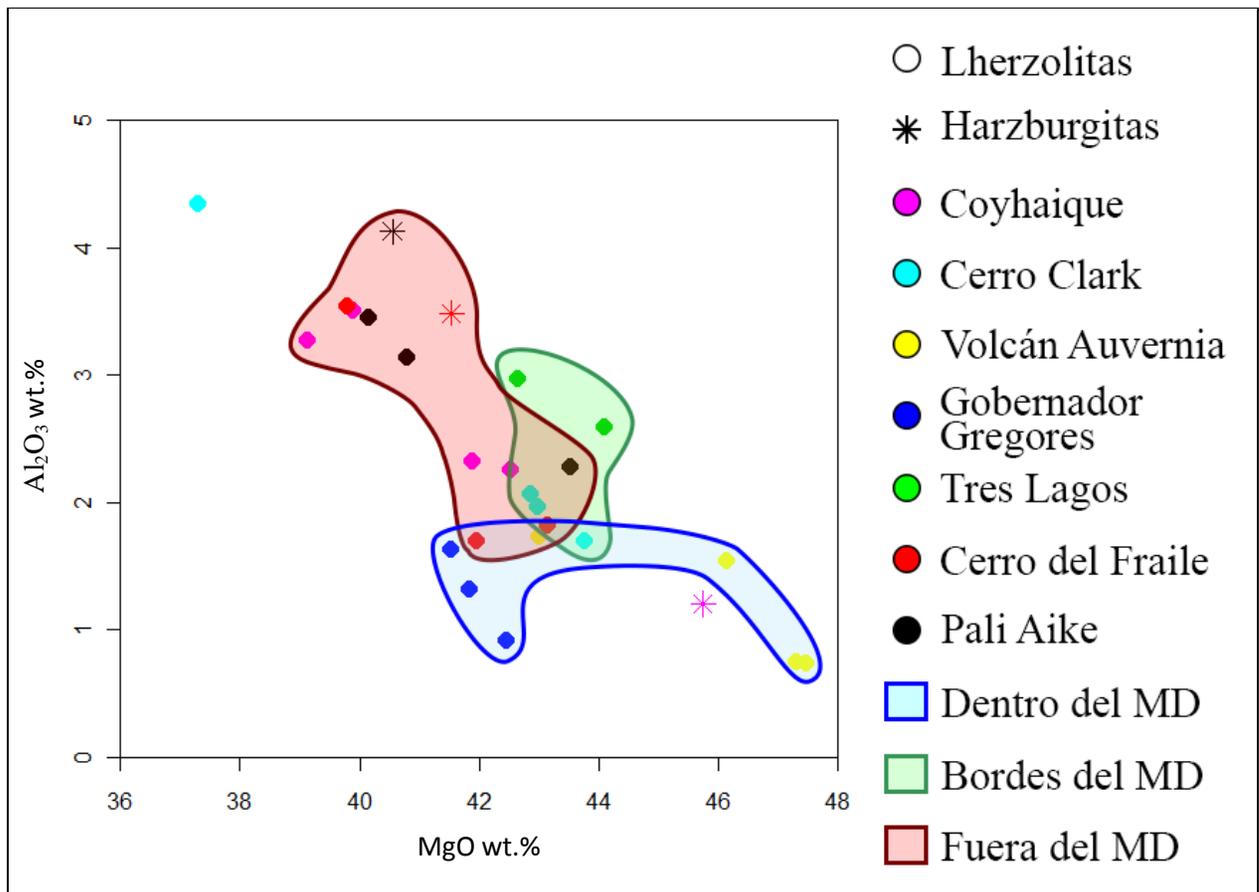


Figura 9: Diagrama Al_2O_3 vs MgO en wt.% por muestra, normalizado al 100%, según datos en Tabla Anexo 33: Composiciones químicas en roca total en wt.%, normalizados al 100%.

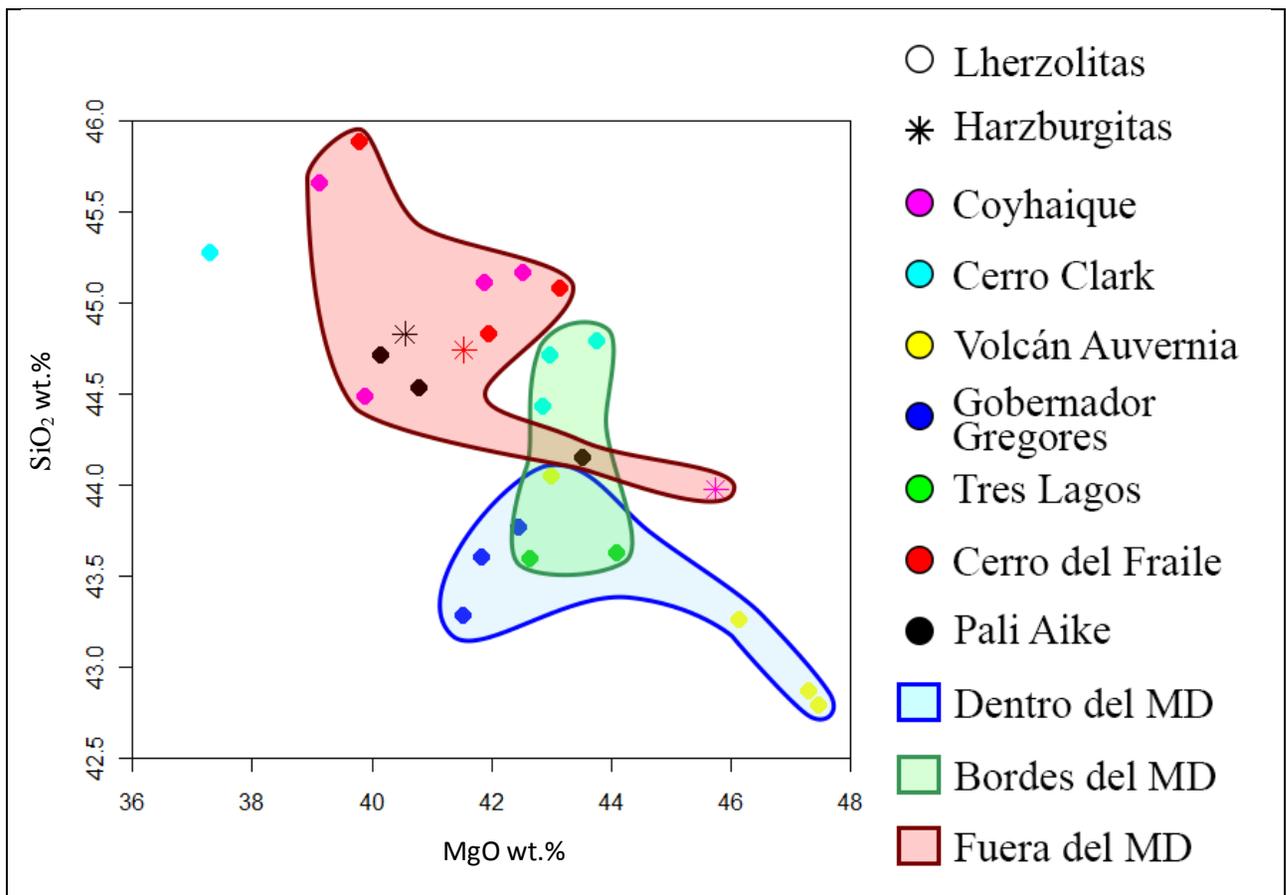


Figura 10: Diagrama SiO₂ vs MgO en wt.% por muestra normalizado al 100%, según datos en Tabla Anexo 33: Composiciones químicas en roca total en wt.%, normalizados al 100%.

De acuerdo a las Figura 9 y Figura 10, se observan tendencias relativamente lineales, sugiriendo que todas las muestras provienen de una fuente mantélica que ha sufrido diversos grados de fusión parcial. Las localidades dentro del Macizo del Deseado (MD) (Volcán Auvernia PM27; Gobernador Gregores, PM23) poseen valores medios a altos en MgO, así como las concentraciones más bajas de SiO₂ y Al₂O₃, indicando una proveniencia desde un manto más refractario. A su vez, los xenolitos provenientes de localidades en los bordes del MD (Tres Lagos, PM21; Cerro Clark, PM24) muestran concentraciones intermedias de MgO, SiO₂ y Al₂O₃, sugiriendo una menor pérdida de componentes basálticos. Por último, las muestras que presentan composiciones más próximas al manto primitivo son las ubicadas fuera del MD (Coyhaique, PM25; Cerro del Fraile, PM21; Pali Aike, PM18), con las concentraciones más bajas de MgO, así como las más altas de SiO₂ y Al₂O₃.

3.4 Sulfuros

3.4.1 Localización Microestructural de los Sulfuros

De acuerdo a las observaciones microscópicas realizadas, se reconoce que los sulfuros se encuentran en 4 tipos de posiciones microestructurales en los xenolitos. Estas corresponden a sulfuros aislados en silicatos (SAS), sulfuros alineados (SA), sulfuros en zonas de reacción (SZR) y sulfuros intersticiales (SI).

3.4.1.1 Sulfuros Aislados en Silicatos (SAS)

Como su nombre lo dice, son sulfuros aislados, que están encerrados completamente dentro de un silicato, ya sea ortopiroxeno, olivino o clinopiroxeno, siendo más frecuentes en los dos primeros. Abarcan un amplio rango de tamaños, desde los 16 hasta los 220 μm , siendo los mayores aquellos incluidos en ortopiroxeno. Las inclusiones exhiben formas esféricas a elípticas de bordes redondeados (Figura 11C y D), aunque también se observan bordes irregulares y formas de “hojas de acebo” (holly leaf).

Algunas inclusiones sulfuradas aisladas están rodeadas de otras inclusiones de sulfuros de mucho menor tamaño, acompañadas frecuentemente de inclusiones fluidas o fundidas, generando “halos” o formas vermiculares que radian desde la inclusión principal. Andersen et al., (1987), analizó inclusiones fluidas muy similares, obteniendo que los fluidos corresponden principalmente a CO_2 , por lo que fueron interpretadas como estructuras de decrepitación ocurridas en inclusiones de sulfuros inicialmente ricas en CO_2 (Figura 11A y B), generadas debido a la ebullición y expansión explosiva del CO_2 como resultado del calentamiento y descompresión durante el transporte de los xenolitos. Estos autores también concluyen que estas inclusiones de sulfuros aisladas se encontraban aún fundidas durante el ascenso de los magmas, mientras que los silicatos tenían un comportamiento más bien sólido-frágil.

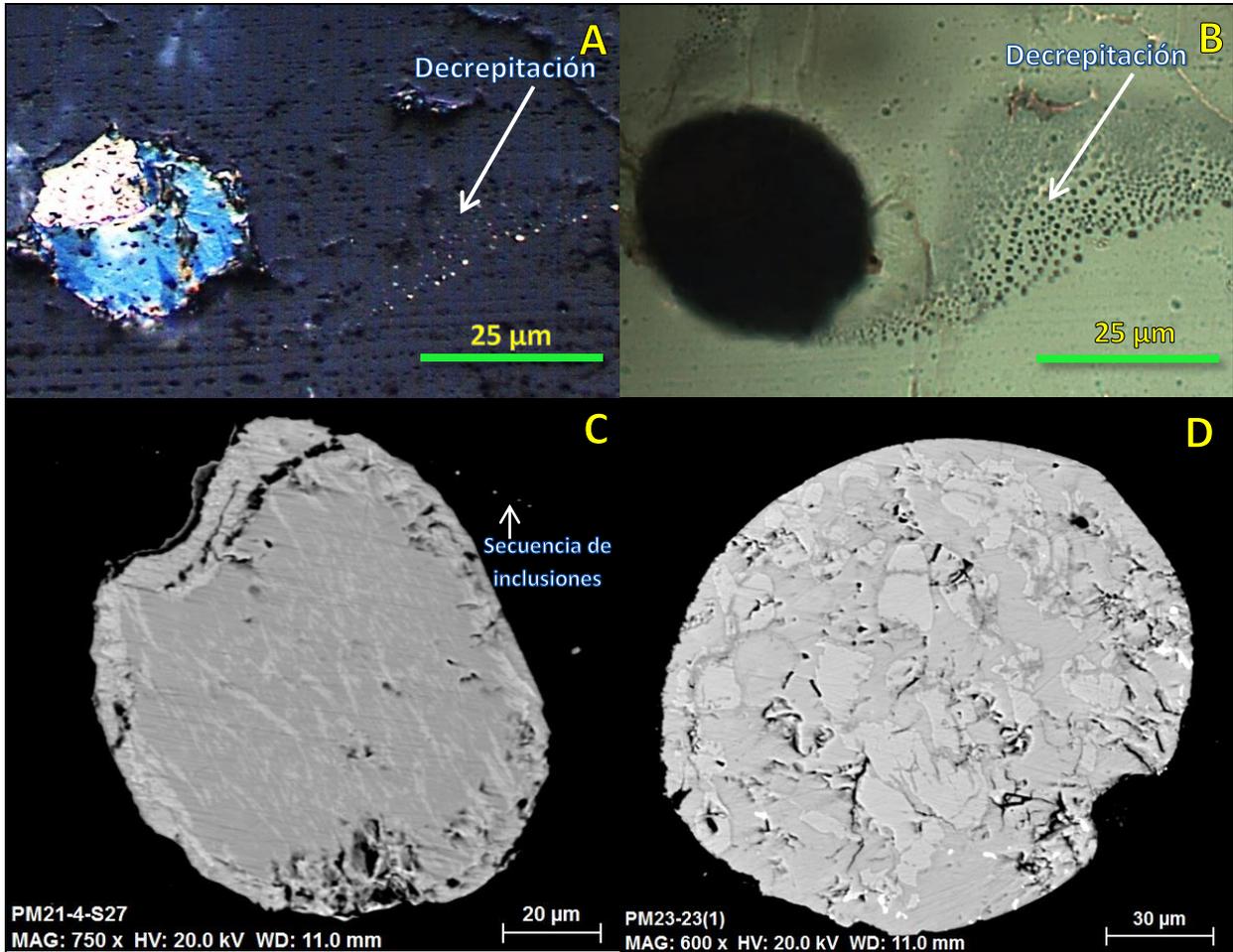


Figura 11: Sulfuros aislados en silicatos (SAS). (A)(B) Sulfuro PM20-01-1B: Luz refleja-nicoles paralelos y luz transmitida-nicoles paralelos mostrando estructura de decrepitación de inclusiones fluidas y de sulfuros. (C) Sulfuro PM21-04-1: Imagen BEI mostrando inclusión elíptica con desarrollo de inclusiones tipo E2. (D) Sulfuro PM23-23-1A: Imagen BEI.

3.4.1.2 Sulfuros Alineados (SA)

Consisten de sulfuros alineados a lo largo de planos de fractura o antiguos bordes de grano sellados, localizados dentro de ortopiroxeno (Figura 12A) u olivino (Figura 12B). Estas inclusiones de sulfuros muestran tamaños inferiores a los 20 μm , con formas redondeadas a irregulares, usualmente elongadas en el sentido del alineamiento. Algunos de estos sulfuros están asociados con inclusiones fluidas (Figura 12C y D). Diversos autores analizaron inclusiones fluidas similares mostrando que están compuestas esencialmente por CO_2 (Dromgoole y Pasteris, 1987; Andersen *et al.*, 1987; Szabó y Bodnar, 1995).

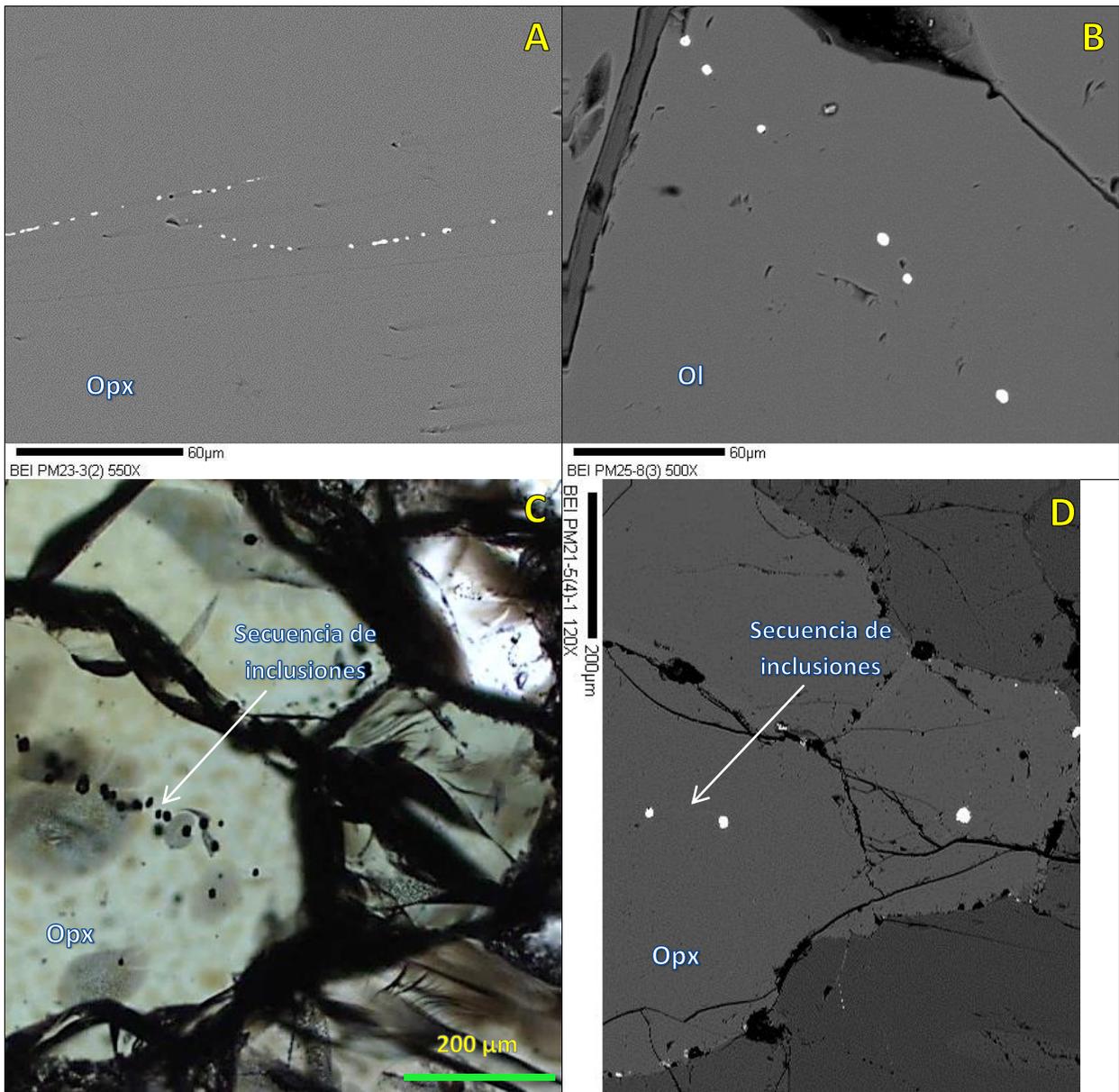


Figura 12: Sulfuros alineados (SA). (A) Sulfuro PM23-03-2: Imagen BEI de secuencias de sulfuros en Opx. (B) Sulfuro PM25-08-3: Imagen BEI de secuencia de inclusiones de sulfuro en Ol. (C)(D) Sulfuro PM21-05-4: Fotomicrografía a luz transmitida – nicoles paralelos e imagen BEI de secuencia de inclusiones fluidas y de sulfuros en Opx.

3.4.1.3 Sulfuros en Zonas de Reacción (SZR)

Sulfuros localizados en zonas de reacción de piroxeno y olivino con vidrio intersticial, o incluidas en este último (Figura 13B). Estos sulfuros están, ocasionalmente, vinculados con la percolación del basalto hospedante.

Estos sulfuros muestran formas esféricas a irregulares (anhedrales), con tamaños variables entre los 5 y 100 µm, además se han identificado dos sulfuros mayores, de 240 y 260 µm, ambos presentes en la muestra PM25-25.

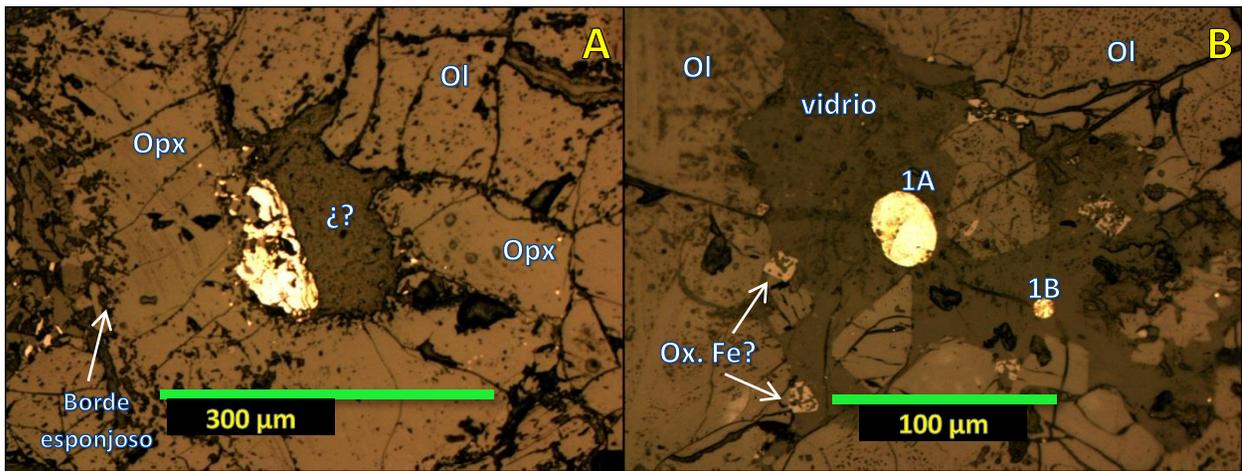


Figura 13: Sulfuros en zonas de reacción (SZR). (A) Sulfuro PM25-25-2: Imagen luz reflejada-nicoles paralelos de sulfuro en Opx nuboso con borde de reacción esponjoso. ¿?= Superficie rugosa. (B) Sulfuros PM24-28-1A y 1B: Imagen a luz reflejada-nicoles paralelos de inclusiones de sulfuros en zona vítrea entre cristales de Ol, también se observan cristales romboédricos de mediana reflectividad (óxidos de Fe?) con texturas de desequilibrio.

3.4.1.4 Sulfuros Intersticiales (SI)

Sulfuros irregulares ubicados en fracturas o espacios entre las fases principales. Usualmente, alargados con bordes curvilíneos a rectos, y tamaños entre los 8 y 120 μm.

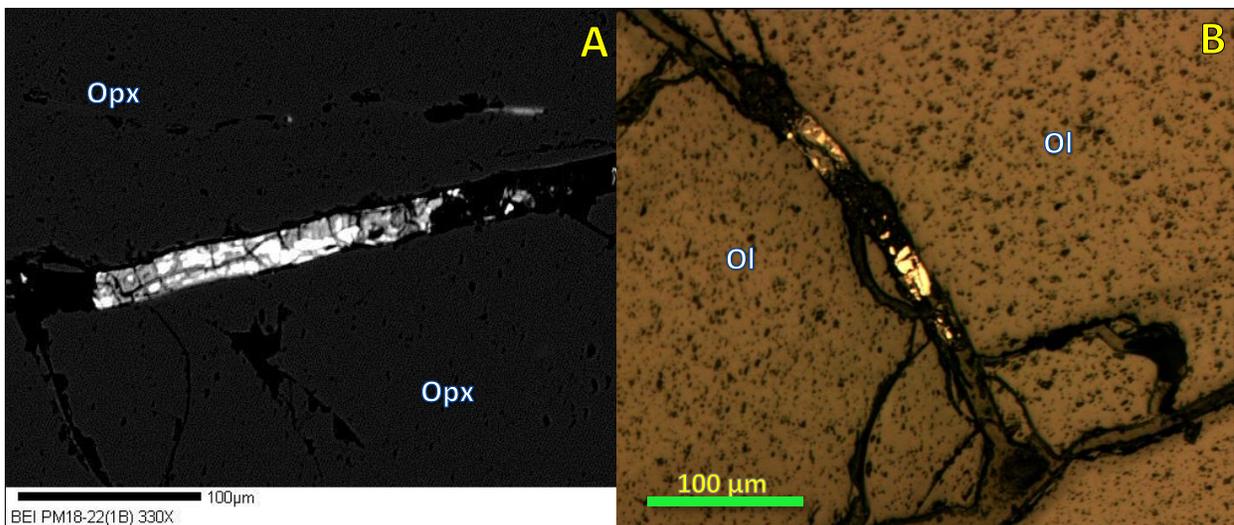


Figura 14: Sulfuros intersticiales (SI). (A) Sulfuro PM18-22-1B: Imagen BEI. (B) Sulfuro PM23-23-2: Fotomicrografía a luz reflejada-nicoles paralelos.

3.4.2 Abundancia de Sulfuros

La abundancia modal de sulfuros en las rocas estudiadas es baja, con solo una peridotita (lherzolita con Sp PM25-25) presentando un valor cercano a 0,012 %, tres xenolitos entre los 0,008 y 0,002 % (PM24-41; PM24-31; PM27B-18) y todas las demás muestras inferiores a un 0,002% (ver 84).

Es importante notar que en tres de las cuatro rocas que registran porcentajes superiores a 0,002 % (PM25-25; PM24-41; PM24-31), sus sulfuros son del tipo SZR, localizados en zonas vítreas o bordes de reacción en ortopiroxeno.

Además, si bien los xenolitos correspondientes a la localidad de Coyhaique (excepto PM25-25) registran gran cantidad de sulfuros analizados (ver Tabla 4), estos corresponden principalmente a sulfuros alineados (SA) con tamaños cercanos a los 20 μm , no representando porcentajes modales importantes.

3.4.3 Geoquímica de Sulfuros

3.4.3.1 Agregados de Sulfuros

Los mapas de distribución de elementos de rayos X muestran la presencia de varios tipos de sulfuros de Fe-Ni-Cu en las posiciones texturales anteriormente descritas. El análisis de microsonda electrónica de granos individuales permite distinguir que estos corresponden a pentlandita (Pn; $(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$), solución sólida monosulfurada (MSS; $(\text{Fe}, \text{Ni})_{1-x}\text{S}$), calcopirita (Cp; CuFeS_2), cubanita (Cb; Fe_2CuS_3) y pirrotina (Po; FeS). Estos se disponen como asociaciones de 1, 2 y 3 fases, con contactos nítidos entre ellas (Figura 15C). No obstante, en algunas inclusiones, asociadas a zonas de reacción o con signos de oxidación, los contactos de granos son difusos (Figura 15A). Tanto calcopirita como cubanita suelen ubicarse en los bordes externos de los agregados, estando más expuestos a posibles eventos de removilización, ocasionalmente también se observan siguiendo direcciones cristalográficas de alguna de las fases ricas en Fe-Ni (Figura 15B), lo que sugiere que estas últimas cristalizaron previo a las soluciones sulfuradas ricas en Cu. En los casos de inclusiones polifásicas (MSS+Pn+Cp/Cb) (Figura 15C), es usual que la solución sólida monosulfurada este en contacto directo principalmente con pentlandita, y ésta, con alguna de las fases ricas en Cu. La única inclusión compuesta por 4 fases, presenta exsolución de minerales del grupo del platino no identificados en la fase externa rica en Cu (sulfuro PM21-05-3).

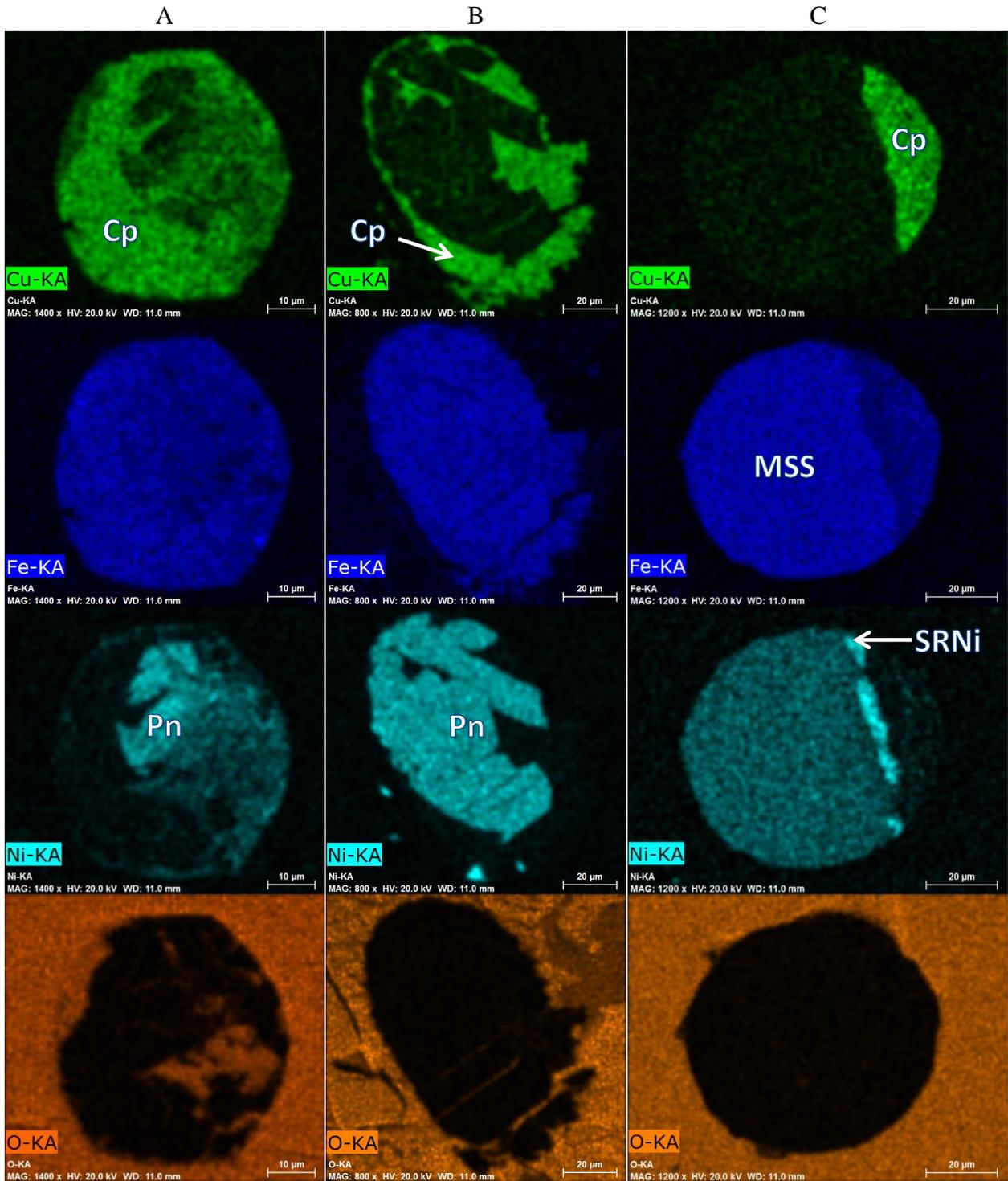


Figura 15. Mapas de rayos X de distribución de elementos (Cu, Fe, Ni, O). (A) Sulfuro PM21-04-3: contacto de granos difusos entre sulfuros con signos de oxidación. (B) Sulfuro PM24-41-1: cristalización de Cp siguiendo dirección cristalográfica de Pn. (C) Sulfuro PM27A-18-1: contactos de grano nítidos entre sulfuros, sulfuro rico en níquel sin análisis de microsonda (SRNi) entre MSS y Cp.

3.4.3.2 Composición Química de Sulfuros

La Pentlandita [formula estructural promedio = $(\text{Fe}_{4,14} \text{Ni}_{4,68} \text{Co}_{0,06} \text{Cu}_{0,04})_{\Sigma=8,93} \text{S}_{8,07}$] muestra un rango amplio de concentraciones de Ni, el cual va entre un 24,2-44,6 wt.%, coincidiendo con los valores de pentlanditas naturales propuestos por Misra y Fleet (1973). S varía desde un 32,2 a un 35,5 wt.%, Fe lo hace entre un 22,0 y un 39,7 wt.%, mientras que los porcentajes de Cu son inferiores a 1,93 wt.%.

La sigla MSS o solución sólida monosulfurada [formula estructural promedio = $(\text{Fe}_{5,84} \text{Ni}_{1,96} \text{Co}_{0,03} \text{Cu}_{0,02})_{\Sigma=7,86} \text{S}_{8,76}$] hace relación con las fases de alta temperatura determinadas por Kullerud *et al.* (1969), caracterizadas por altas concentraciones de Fe y S, entre 36,3-54,4 wt.% y 36,7-40,2 wt.%, respectivamente. Ni en MSS registra valores variables entre 5,6 y 25,9 wt.%. Por otra parte, Cu y Co están prácticamente ausentes (<1 wt.%).

Calcopirita [formula estructural promedio = $(\text{Fe}_{1,00} \text{Cu}_{0,97} \text{Co}_{0,02})_{\Sigma=2,01} \text{S}_{1,99}$] exhibe concentraciones entre 32,8 y 35,5 wt.% de S, 27,8 a 33,9 wt.% de Fe, 30,3 a 38,9 de Cu, y en menor medida Ni, con concentraciones inferiores a 1,5 wt.%.

Cubanita [formula estructural promedio = $(\text{Fe}_{1,90} \text{Cu}_{0,97} \text{Ni}_{0,10} \text{Co}_{0,01})_{\Sigma=2,98} \text{S}_{3,02}$] al igual que calcopirita muestra concentraciones de S entre un 35,4 a 36,3 at.%, aunque en Fe, Cu, y Ni registra contenidos bastante variados, entre 35,4 a 42,8 wt.% de Fe, 17,6 a 26,7 wt.% de Cu, y con concentraciones de Ni inferiores a un 3,1 wt.%.

Se consideró como pirrotina [formula estructural promedio = $(\text{Fe}_{0,92} \text{Ni}_{0,04})_{\Sigma=0,96} \text{S}_{1,04}$] a los sulfuros de Fe-Ni, con menos de un 5 wt.% de Ni. Con valores de 37,6 y 39,4 wt.% de S, 61,1 y 56,7 wt.% de Fe, junto con 1,1 y 3,7 wt.% de Ni, respectivamente.

Los análisis realizados representados en un diagrama ternario Cu-Ni-Fe (Figura 16) denotan que hay cierta dispersión. La composición de la calcopirita se desvía de la ideal, debido a una pérdida de Cu en sulfuros con concentraciones significativas de oxígeno (1 y 3 wt.%). Por su parte, la cubanita está caracterizada por concentraciones bajas de Ni, en sulfuros localizados aislados en silicatos (SAS).

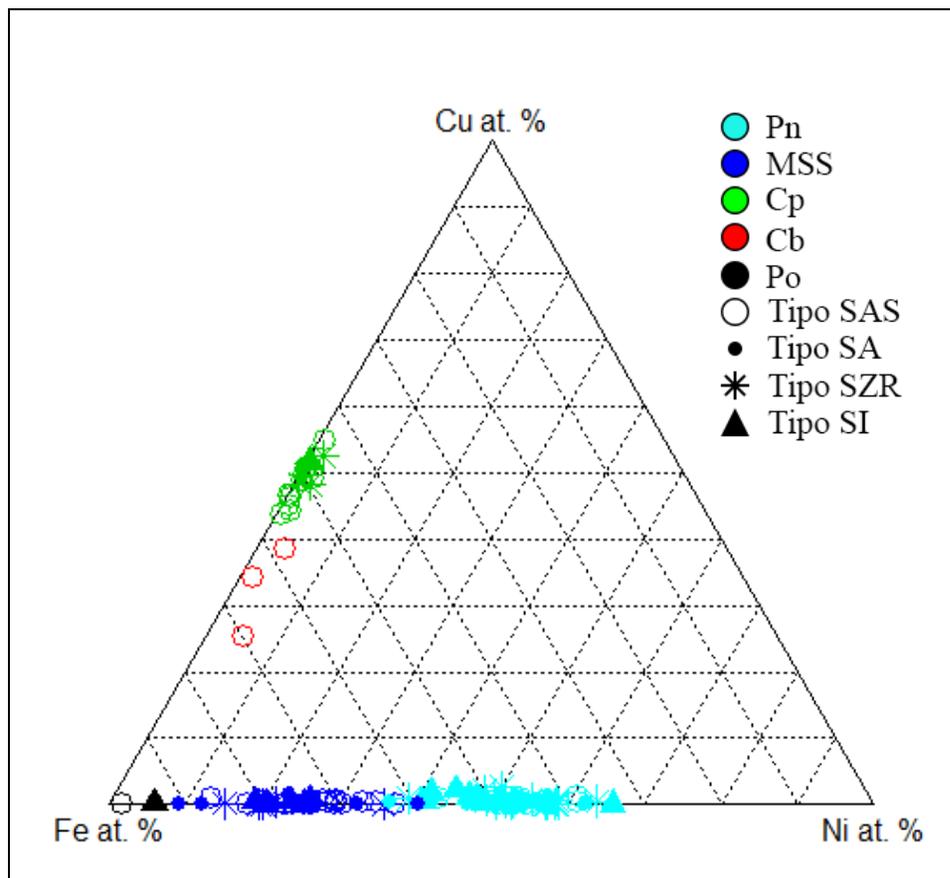


Figura 16: Diagrama ternario Fe-Ni-Cu en porcentajes atómicos.

La Tabla 4 resume los agregados de sulfuros analizados de acuerdo a su localización microestructural y la localidad de proveniencia de las muestras.

Los sulfuros alineados (SA) es el tipo de sulfuro más abundante entre los xenolitos de Coyhaique (PM25), este hecho se acentúa aún más si se consideran 5 de sus 6 muestras, dado que una de ellas (lherzolita con espinela PM25-25) muestra solo sulfuros en zonas de reacción (SZR).

Las peridotitas de Cerro Clark (PM24) presentan casi exclusivamente sulfuros en zonas de reacción (SZR), sin que se hayan observado sulfuros alineados (SA) o sulfuros aislados en silicatos (SAS). Además, la composición química de los agregados de sulfuros está dominada por pentlandita más calcopirita (Pn+Cp), sin que se hayan registrado análisis de solución sólida monosulfurada (MSS) (Figura 19).

Por otro lado, Gobernador Gregores (PM23) es la localidad con menor cantidad de sulfuros, con dos de sus peridotitas presentando solo un sulfuro. Solo se observó sulfuros aislados en silicatos (SAS) e intersticiales (SI).

De todas las localidades consideradas en este estudio, Pali-Aike (PM18) es la que posee la mayor cantidad de granos de solución sólida monosulfurada (MSS) analizados, sin embargo la calcopirita no fue observada en ninguno de sus xenolitos.

Tabla 4: Resumen de agregados de sulfuros, por tipo y localidad. MGP: mineral del grupo del platino.

LOCALIDAD	TIPO SAS	TIPO SA	TIPO SZR	TIPO SI
Coyhaique (PM25)	Cp Pn+Cp	Pn (11) MSS (2) Pn+MSS Pn+Cp	Pn Pn+MSS (2)	Pn
Cerro Clark (PM24)			Pn (4) Pn+Cp (3) Cp	
Volcán Auvernia (PM27)	Pn (2) MSS (2) Pn+Cp Pn+MSS+Cb MSS+Cp	Pn (6)	Pn (2) Pn+MSS	Pn
Gobernador Gregores (PM23)	MSS			Pn (2)
Tres Lagos (PM21)	Pn+MSS Pn+Cp MSS+Cp MSS+Cb Pn+MSS+MGP	MSS (2) Pn+MSS	Pn Pn+MSS	Pn Pn+Po
Cerro del Fraile (PM20)	Pn MSS+Cp Pn+MSS+Cp (3) Pn+Po	Pn+MSS	Pn (2) MSS	MSS
Pali Aike (PM18)	MSS (7) MSS+ Cb (2)		Pn	Pn (3) MSS (3)

3.4.3.3 Reconstrucción de la Composición Química Total de Sulfuros

Mediante el uso de mapas de distribución de elementos de rayos X y análisis cuantitativos de microsonda electrónica, se estimó la composición química total de 5 agregados de sulfuros que presentan contactos de granos nítidos, así como análisis de todos los sulfuros identificados.

Para esto, se seleccionó el mapa del elemento que mostraba mayor contraste entre las fases. Luego, considerando la distribución de azufre en el mapa de rayos X se delimitó la zona a analizar, mediante el uso de Photoshop 6 (Figura 17A). Para su reconocimiento, ENVI 4,3 requiere la generación de regiones de interés (ROI) mediante la selección de polígonos en la imagen, abarcando los rangos de colores pertenecientes a cada región (Figura 17B). En este caso, las regiones consideradas fueron calcopirita/cubanita (azul), solución sólida monosulfurada (verde), pentlandita (púrpura), el fondo (amarillo) y para zonas sin presencia de azufre (rojo) (ver Figura Anexo 83). Finalmente, para la determinación de la distribución de las regiones en la imagen se utilizó la herramienta Support Vector Machine (SVM) del programa ENVI 4,3.

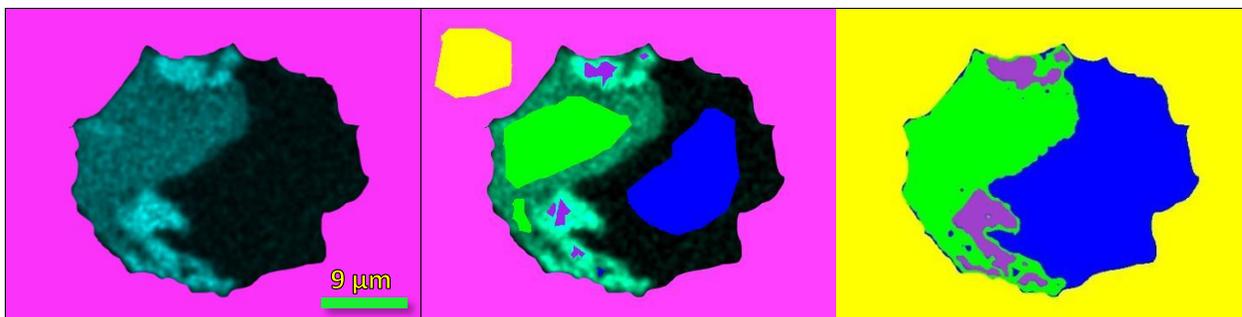


Figura 17: Reconstrucción sulfuro PM20-01-1B. (A) Mapa de rayos X de distribución de níquel, con zona a analizar seleccionada. (B) Selección de regiones de interés (ROI) en programa Envi 4,3. Cp (azul); MSS (verde); Pn (púrpura); fondo (amarillo). (C) Imagen que muestra el resultado de distribución de las regiones de interés en ENVI con uso de herramienta SVM.

No obstante solo se obtuvo la composición total de 5 agregados de sulfuros (Tabla 5), es posible notar una relación directa entre las concentraciones de S y Fe. Con valores notoriamente bajos en ambos elementos para los dos agregados de sulfuros de Cerro Clark (PM24), las cuales también registran los mayores porcentajes de Ni. Si bien no se observa una tendencia clara entre el wt.% de O y S, el sulfuro PM24-41-2A presenta el mayor contenido de O (2,84 wt.%) y el menor de S (32,23 wt.%), sugiriendo una posible pérdida de azufre.

Tabla 5: Composición química total reconstruida de agregados de sulfuros.

Localidad/Sulfuro	Fases	Concentraciones reconstruidas wt. %							
		S	Fe	Cu	Co	Ni	Si	O	Total
Cerro Clark									
PM24-41-2A	Pn-Cp	32,23	28,13	15,21	0,11	19,62	0,74	2,84	98,88
Volcán Auvernia									
PM27B-18-2	Pn-MSS-Cb	38,04	43,81	3,00	0,30	15,65	0,01	0,06	100,85
Cerro del Fraile									
PM20-01-1B	Pn-MSS-Cp	36,08	36,84	16,82	0,21	9,36	0,01	0,92	100,24
Pali Aike									
PM18-22-1	MSS	38,12	43,72	0,46	0,31	17,69	0,01	0,45	100,76
PM18-35-1A	MSS-Cb	37,25	41,05	4,78	0,35	15,87	0,05	0,42	99,77

4 Discusión

4.1 Petrografía

De acuerdo a las descripciones petrográficas realizadas, fue posible reconocer dos tipos de texturas de desequilibrio, la presencia de cristales esponjosos y exsolución laminar de piroxenos.

La generación de bordes o cristales esponjosos en silicatos de xenolitos mantélicos, han sido interpretados como generados debido a (1) reacción con el basalto encajante (Shaw *et al.*, 2006; Schilling, 2005), (2) ocurrencia de un evento descompresivo previo a la interacción con el basalto hospedante (Su *et al.*, 2011) o (3) fusión parcial incongruente inducida por percolación de fluidos de baja densidad (Carpenter *et al.*, 2002).

Los xenolitos correspondientes a la localidad de Cerro Clark (PM24) presentan ocasionalmente relación entre venas que se inyectan desde la zona de contacto, bolsas de vidrio y zonas de recristalización esponjosas en orto y clinopiroxenos, abarcando los bordes u ocasionalmente todo el cristal (Figura 19C). Un metasomatismo producido por el basalto hospedante podría ser una causa probable, sin embargo sería necesario de información geoquímica del basalto, los cristales no recristalizados, las zonas esponjosas y las bolsas de vidrio, para determinar con mayor certeza los procesos ocurridos.

Los bordes esponjosos también fueron descritos en ambos piroxenos en tres de las seis peridotitas de Coyhaique (PM25), así como solamente en clinopiroxeno en la mayoría de las muestras provenientes del Volcán Auvernia (PM27), Gobernador Gregores (PM23) y Tres Lagos (PM21). En todas estas localidades, no se observó ningún tipo de relación con el basalto hospedante. Con respecto a esto, Vásquez (2012) atribuye la presencia de bordes esponjosos en las muestras de Volcán Auvernia consideradas en este estudio a la percolación de fundidos astenosféricos carbonatíticos de baja densidad. Del mismo modo, estudios previos en xenolitos provenientes de la localidad de Gobernador Gregores, llevados a cabo por Gorrington y Kay (2000a) y Laurora *et al.*, (2001), explican la presencia de bordes esponjosos en clinopiroxeno debido a la percolación de fundidos de baja densidad. El primero considera un fundido carbonatítico derivado del manto, similar al propuesto por Vásquez, y el segundo propone un fundido silicatado rico en Cl derivado del slab como responsable del metasomatismo.

En relación a las texturas de exsolución en piroxenos, estas se observan nítidamente desarrolladas en todas las muestras de Cerro del Fraile (PM20), así como en dos xenolitos que no presentan generación de bordes esponjosos provenientes de Gobernador Gregores (PM23-21) y Tres Lagos (PM21-04), además estas exsoluciones son descritas con características leves en las otras dos muestras de Tres Lagos (PM21-01; PM21-05) y en una muestra de Volcán Auvernia (PM27B-23), las tres con escasos bordes esponjosos en clinopiroxenos. Se observa una relación inversa entre la ocurrencia de bordes esponjosos y la exsolución de piroxenos.

Respecto a lo anterior, si se toma en cuenta que en promedio la temperatura de exsolución de piroxenos es de 900°C, un evento metasomático que alcance tal temperatura y genere silicatos esponjosos, podría borrar cualquier evidencia de estas exsoluciones, explicando la presencia de una u otra textura.

4.2 Tipos de Localizaciones Microestructurales de Sulfuros

Los 4 tipos de sulfuros petrográficamente identificados en este estudio, muestran características similares a los descritos anteriormente por Dromgoole y Pasteris (1987), Szabó y Bodnar (1995), Shaw (1997), entre otros, presentes tanto en xenolitos mantélicos como en macizos peridotíticos alpinos.

Si bien los sulfuros aislados en silicatos (SAS) han sido descritos como inclusiones de sulfuros incorporados durante la cristalización de los silicatos hospedantes (Dromgoole y Pasteris, 1987), estos pueden representar fundidos metasomáticos atrapados en espacios intersticiales, incorporados posteriormente en los silicatos debido a la migración de sus bordes durante eventos de recristalización (Wang *et al.*, 2009).

Con respecto a los sulfuros intersticiales (SI), algunos autores (e.g. Dromgoole y Pasteris, 1987; Szabó y Bodnar, 1995) han observado sulfuros intersticiales de gran tamaño ubicados en puntos de unión triple de las fases principales, por lo que han sido considerados como incorporados al manto superior previo a los procesos de cristalización y/o deformación sufridos por los silicatos. Sin embargo, ninguno de los sulfuros intersticiales considerados en este estudio muestra la textura antes señalada.

Por otro lado, los sulfuros alineados (SA), tienen características comunes de percolación secundaria de fundidos o fluidos (Roedder, 1984; Bishop *et al.*, 1975), por lo que su predominancia en las muestras de Coyhaique (excepto en PM25-25), sugiere una intensa ocurrencia de estos eventos.

Respecto a los sulfuros incluidos en zonas de reacción (SZR), Dromgoole y Pasteris, (1987) sugieren que es probable que un evento de fusión parcial comience por discontinuidades físicas dentro de la roca y que los sulfuros podrían actuar como tal. Esto, podría explicar la existencia casi exclusiva de sulfuros en zonas de reacción en las lherzolitas correspondientes a la localidad de Cerro Clark (PM24) y un xenolito de Coyhaique (lherzolita con Sp PM25-25) (Figura 19C). Sin embargo, de acuerdo a las evidencias petrográficas y químicas de las inclusiones de sulfuros no es posible determinar si esto se debe a que las reacciones comenzaron en los sulfuros existentes, a una removilización total de estos o si los sulfuros fueron incorporados durante el evento de desequilibrio.

4.3 Composición Química de Sulfuros

Al comparar los análisis realizados a granos de sulfuros en los xenolitos del MD y sus alrededores, con datos previamente publicados de xenolitos peridotíticos (Figura 18), se interpreta que las fases encontradas son esencialmente las mismas, abarcando rangos composicionales similares. Esto, es coherente con que las composiciones de las fases provenientes de las distintas localidades de este estudio no muestren diferencias químicas claras, y que por lo tanto posibles heterogeneidades en las composiciones de los fundidos sulfurados podrían más bien verse reflejados en la abundancia modal de cada uno de los sulfuros.

En el caso de violarita (Vi) descrita por Szabó y Bodnar (1995), esta tiene un origen metasomático, y está asociada a la pérdida de Fe y S en los bordes de pentlandita, lo que no fue observado en las inclusiones de este estudio. Por otra parte, Guo *et al.* (1999) descubrieron pentlandita con concentraciones de hasta un 6 wt.% Cu, atribuyéndolas a contaminación por inclusiones submicroscópicas de calcopirita

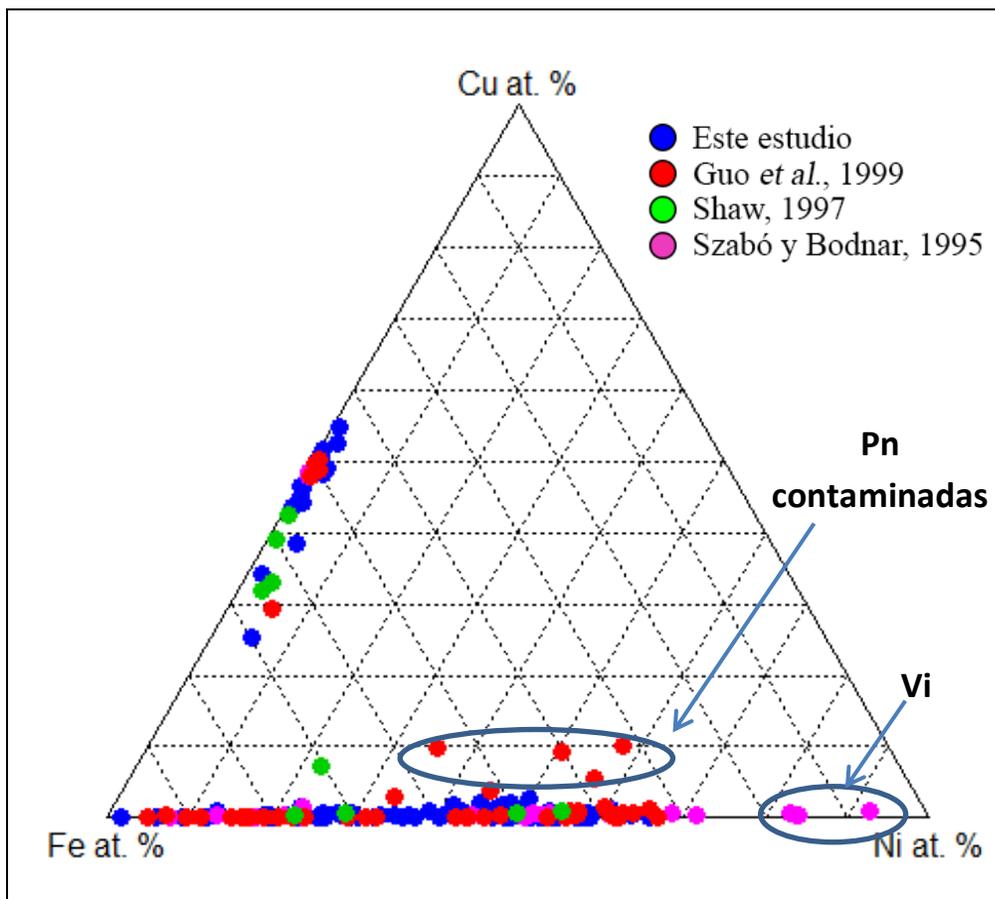


Figura 18: Diagrama ternario Fe-Ni-Cu en porcentajes atómicos de sulfuros en xenolitos mantelicos.

Con respecto a la presencia de minerales del grupo del platino (MGP) en el sulfuro PM21-01-4 (Figura Anexo 53), Holwell y McDonald (2010) sugieren que durante el fraccionamiento y enfriamiento de líquidos sulfurados, Rh, Ir, Os y Ru suelen particionarse en la fase de cristalización temprana, correspondiente a la solución de monosulfuro, la cual con posteriores enfriamientos recrystaliza como pentlandita y pirrotina, manteniendo a los elementos antes mencionados como solución sólida en estos sulfuros. Por su parte Pt, Pd y Au suelen fraccionarse

en fundidos sulfurados ricos en Cu (solución sólida intermedia; ISS), sin embargo, estos elementos son también incompatibles con ISS, y al cristalizar como fases de baja temperatura como calcopirita o cubanita, estos nuevamente se particionan a líquidos inmiscibles ricos en elementos semimetálicos, como Te, Bi, As o Sb. La cantidad de semi-metales disponibles es determinante en el comportamiento de Pt, Pd y probablemente Au, dado que a altas concentraciones de estos podrán cristalizar como minerales discretos (MGP) en los bordes o potencialmente fuera de las fases sulfuradas, de lo contrario, si la cantidad de semi-metales es limitada, gran parte del Pd y quizás de Pt estarán presentes en solución sólida dentro de los sulfuros, preferencialmente pentlandita.

Si se considera que las exsoluciones de MGP se encuentran hospedadas en la fase sulfurada rica en Cu de PM21-01-4, es posible pensar que el hecho que provocó la presencia de MGP discretos en este sulfuro en particular fue la alta presencia de elementos semimetálicos.

4.4 Origen de los Sulfuros

Considerando las formas esféricas a levemente poligonales de los sulfuros, su distribución interna y las composiciones químicas de los sulfuros coexistentes mencionados anteriormente, estos intercrecimientos multifásicos, son interpretados como asociaciones de baja temperatura exseltas desde una solución sólida de alta temperatura que se enfrió durante el ascenso y erupción de los magmas basálticos hospedantes (Lorand, 1987; Aulbach *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2009).

Si bien diversos autores han interpretado el origen de los sulfuros de acuerdo a observaciones petrográficas (Bishop *et al.*, 1975; Roedder, 1984; Dromgoole y Pasteris, 1987; Szabó y Bodnar, 1995, entre otros), actualmente su origen, y por lo tanto, de los procesos sufridos por las rocas provenientes del manto litosférico, se basa principalmente en análisis in-situ de elementos mayores, elementos altamente siderófilos (HSE: osmio (Os), iridio (Ir), rutenio (Ru), rodio (Rh), platino (Pt), paladio (Pd), oro (Au) y renio (Re)) y variaciones en las relaciones isotópicas de Os (Guo *et al.*, 1999; Wang *et al.*, 2009; Lorand *et al.*, 2013).

De acuerdo a esto, se considera que los sulfuros en peridotitas pueden originarse a partir de: (1) fundidos sulfurados residuales inmiscibles atrapados durante procesos de fusión parcial (Szabó y Bodnar, 1995), (2) precipitación directa de fundidos/fluidos metasomáticos (Irving, 1980; Lorand *et al.*, 2003), o (3) una combinación de ambos.

Kullerud *et al.*, (1969) determinó que en las condiciones de presión y temperatura que predominan en el manto la fase sulfurada estable es la MSS. De acuerdo a sus experimentos en el sistema Fe-Ni-Cu-S, la fase monosulfurada FeS cristaliza alrededor de los 1192°C. Al descender la temperatura, Ni y Cu pueden entrar a la fase FeS formando MSS, el cual contiene <5 wt.% Cu y hasta un 14 wt.% Ni a 1100°C. Con enfriamientos posteriores, el campo de la solución de monosulfuro se expande aún más hacia el Cu y el Ni, convirtiéndose rica en Ni con sobre un 46 wt.% alrededor de 1000°C. La MSS puede contener alrededor de un 7,5 wt.% de Cu a 935°C, el cual es exsuelto como solución sólida intermedia (ISS), el precursor de alta temperatura de Cp y Cb (Cabri, 1973). Cercano a los 900°C, se alcanza la máxima solubilidad de Ni en MSS, pudiendo alcanzar un 60 wt.%, el cual puede ser retenido durante el enfriamiento hasta

temperaturas de 700°C (Kullerud *et al.*, 1969; Guo *et al.*, 1999), siendo exsuelto ya sea como pentlandita o como MSS rica en Ni (Zajacz y Szabó, 2003).

Debido a que los sulfuros mantélicos no conservan las relaciones de fase de alta temperatura, las interpretaciones sobre el posible origen de los sulfuros deben hacerse de acuerdo a la química total de los agregados de sulfuros (Tabla 5), obtenidos solo para 5 de ellos.

De acuerdo a las reconstrucciones realizadas, 2 de ellos (PM20-01-1B, PM24-41-2A) muestran valores superiores a 7,5 wt.% de Cu, el cual excede el límite de solubilidad de la MSS. Esto sugiere que derivan de la descomposición de una ISS exsuelta desde MSS residuales o por precipitación de algún fundido sulfurado rico en Cu (Lorand *et al.*, 2003), o por interacción de este fundido con MSS residuales.

Diversos autores interpretan que la asociación Pn+Cp/Cb es característica de sulfuros metasomáticos depositados por fundidos fraccionados ricos en volátiles (Alard *et al.*, 2000; Lorand y Alard, 2001; Lorand *et al.*, 2003). Lo que sugiere un posible origen para el sulfuro PM24-41-2A y la gran mayoría de los agregados de sulfuros correspondientes a la localidad de Cerro Clark (PM24), compuestos de pentlandita más una fase rica en Cu (Pn+Cp/Cb) (Figura 19D).

Las 3 inclusiones reconstruidas con concentraciones de Cu bajo el 7,5 wt.%, al ser representadas en el diagrama ternario Fe-(Ni+Co)-S (Figura 20) se ubican en el campo de MSS entre 1100 y 1000°C, lo que indica que pudieron cristalizar como MSS a altas temperaturas. Pese a esto, solo se dispone de la temperatura de formación de los xenolitos de Volcán Auvernia, la cual va entre 970 y 1130°C (Vásquez, 2012), abarcando el rango de temperatura en que la inclusión PM27B-18-1 es estable como MSS, y pudiendo haber sido incorporada como una MSS residual al manto superior durante su formación.

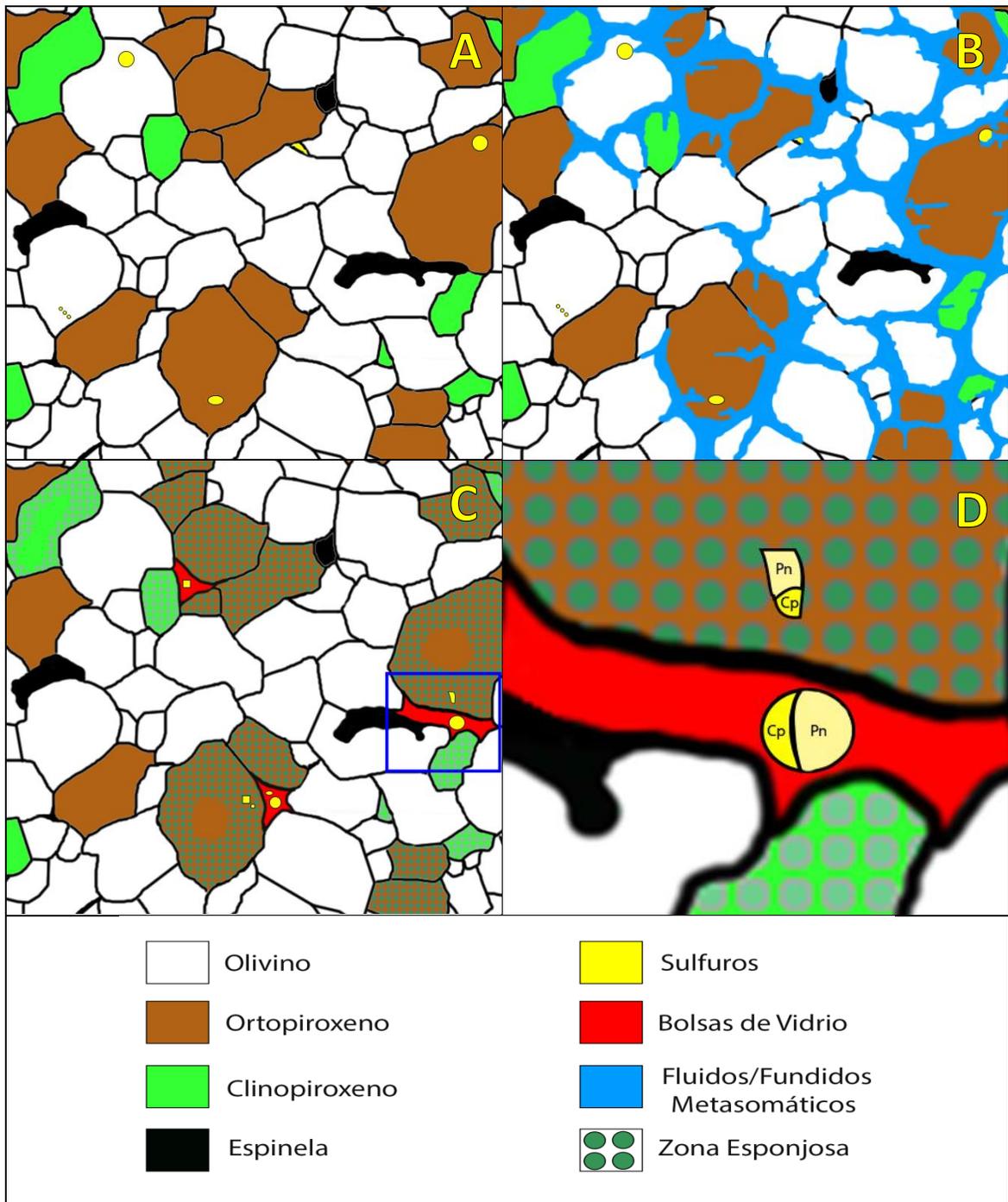


Figura 19: Procesos ocurridos en xenolitos de Cerro Clark (PM24). (A) Xenolitos con sulfuros en distintas localizaciones microestructurales. (B) Percolación fluidos/fundidos metasomáticos movilizand sulfuros previos. (C) Zonas esponjosas en piroxenos y sulfuros localizados en zonas de reacción (SZR). (D) Recuadro en imagen C: Agregados de sulfuros en zonas esponjosas y bolsas de vidrio, compuestos por Pn+Cp.

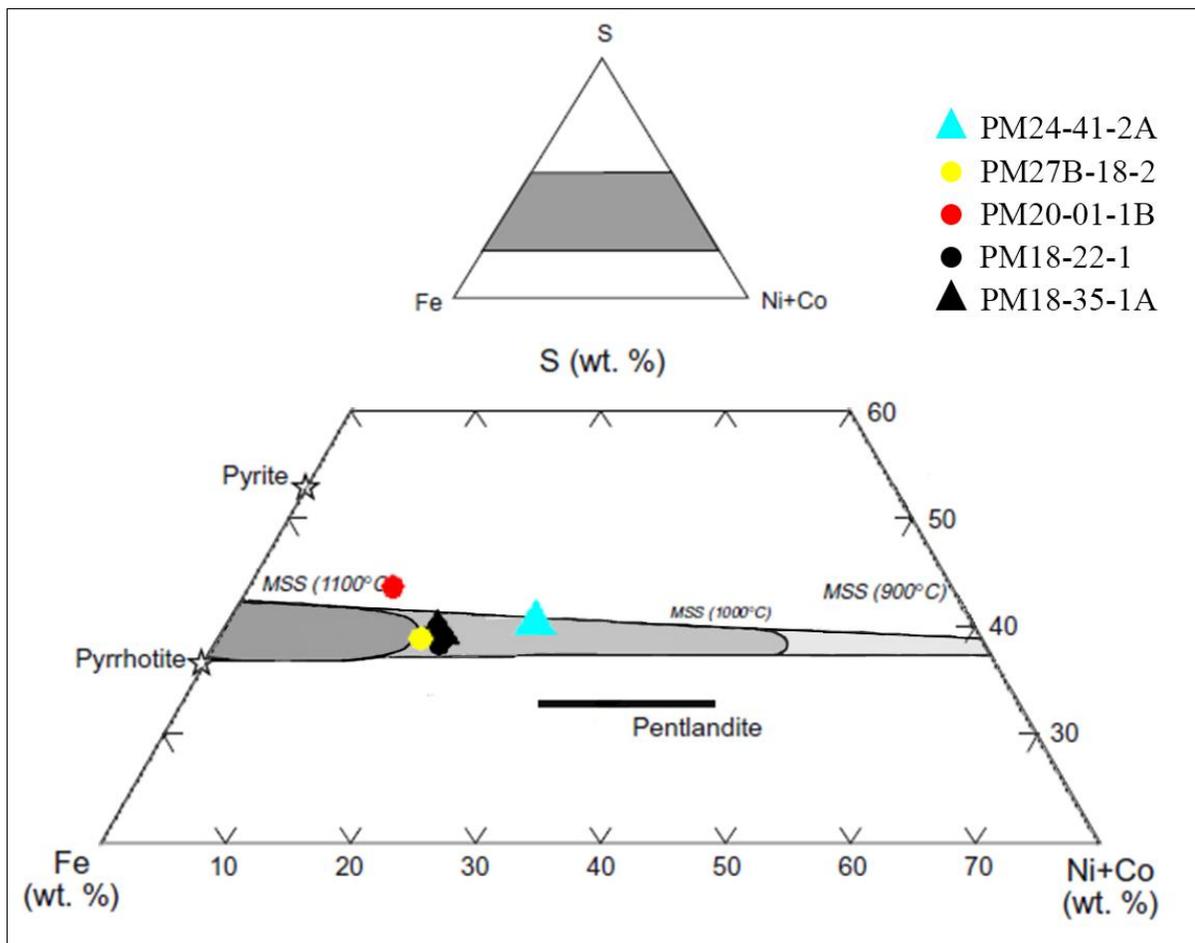


Figura 20: Composición química total de los agregados de sulfuros reconstruidos representados en el diagrama Fe-(Ni+Co)-S en wt.%. Campos composicionales de MSS a 900°C, 1000°C y 1100°C de acuerdo a Kullerud *et al.* (1969). Modificado de Wang *et al.* (2009).

4.5 Índices de Tasas de Fusión Parcial

Bjerg *et al.* (2005) determinan que a un mayor grado de deformación observado en los xenolitos de Patagonia, evidenciado por su textura y posición en el ciclo descrito por Mercier y Nicolas (1975) se tienen muestras que han sufrido mayores procesos de fusión parcial.

Pese a esto, los xenolitos considerados en este estudio no muestran ningún tipo de relación entre su ubicación en el ciclo de Mercier y Nicolas (1975) y las composiciones de roca total representados en las Figura 9 y Figura 10. Ya que las localidades que reflejan un mayor grado de deformación son Cerro del Fraile (PM20) y Tres Lagos (PM21) con muestras clasificadas como protogranular II, ambas ubicadas fuera del Macizo del Deseado (MD). Disminuyendo en grado de deformación esta la localidad de Gobernador Gregores, con dos muestras clasificadas como porfiroclásticas I a equigranular I, después vendrían las localidades de Coyhaique, Pali Aike y Cerro Clark clasificadas como protogranular I a porfiroclásticas I, y finalmente Volcán Auvernia, con todas sus muestras clasificadas como protogranular I, casi sin evidencias de deformación y que presenta las composiciones más residuales de este estudio.

Otra relación esperable, es la manifestada por Carlson *et al.*, (2005) en que la expresión mineralógica de la transición de peridotitas fértiles a empobrecidas es la pérdida inicial de clinopiroxenos. A partir de esto, se esperaría que las muestras clasificadas como lherzolitas sean más primitivas que las harzburgitas. De las Figura 9 y Figura 10 se desprende que de los xenolitos clasificados como harzburgitos (simbolizados con asteriscos) solo PM25-10 presenta composiciones más cercanas al manto residual, en comparación con todos los xenolitos en estudio, como con los correspondientes a su localidad de proveniencia (Coyhaique), no ocurriendo lo mismo con las otras harzburgitas (PM18-22 y PM21-01).

Respecto a los sulfuros, diversos autores señalan que el manto residual debería perder su contenido en sulfuros de metales base después de sufrir importantes grados de fusión parcial (~12-20%) considerando una fuente fértil, debido a la baja solubilidad de S en el fundido a altas presiones (Lorand *et al.*, 1999, Luguét *et al.*, 2003; Marchesi *et al.*, 2013). Debido a esto, y considerando los índices de fertilidad dados por la química de elementos mayores, se esperaría que los xenolitos de las localidades ubicadas dentro del MD presenten menores cantidades de inclusiones sulfuradas, en comparación a las localidades ubicadas en sus bordes y fuera de este.

Sin embargo, la ocurrencia y abundancia de sulfuros son escasas para casi todas las muestras analizadas, observándose un promedio de 3 inclusiones por lámina delgada, Gobernador Gregores presenta dos secciones con solo un sulfuro, y porcentajes modales inferiores a los 0,002% (excepto para PM25-25, PM24-41, PM24-31, PM27B-18), siendo considerablemente inferiores al 0,1 vol% que deberían representar los sulfuros de metales base en el manto superior (Lorand, 1990).

Las causas de la no relación entre los distintos índices de fertilidad propuestos con las composiciones químicas de elementos mayores en roca total, pueden ser variadas. En primer lugar, existe una pérdida de representatividad dado por el análisis de solamente una lámina delgada por muestra, pudiendo acrecentar aún más posibles heterogeneidades generadas por el xenolito, en particular para aquellos de menor tamaño (Cerro Clark; Cerro del Fraile; Volcán Auvernia) en que la ocurrencia de solo un cristal (o un sulfuro) podría generar cambios significativos en los resultados.

En segundo lugar, se debe considerar que las rocas mantélicas que llegan a superficie pueden haber sufrido uno o varios de los siguientes procesos petrogenéticos: (1) fusión parcial (como resultado de descompresión adiabática de corrientes ascendentes del manto o por ingreso de fluidos); (2) Percolación de fundidos o también llamados procesos de “refertilización” que pueden enriquecer la litósfera rígida incorporando elementos mayores formadores de basalto (e.g. Al_2O_3 , CaO, FeO); (3) Metasomatismo magmático dando lugar a enriquecimiento en elementos menores y trazas. (Lorand *et al.*, 2013; Marchesi *et al.*, 2013). Estos procesos pueden modificar considerablemente las características iniciales generadas durante eventos de fusión parcial, ya sea su composición de elementos mayores o trazas, como cristalización o desestabilización de fases minerales.

En lo que respecta específicamente a la abundancia de sulfuros, Lorand *et al.*, 2013 sugiere que en eventos de reacción fundido-roca, se comporta como un sistema abierto a altas razones fundido/roca, removiendo los sulfuros base residuales y todos los EGP excepto Ru. Por el contrario, reacciones a bajas razones fundido/roca (metasomatismo) precipitará sulfuros de metales base enriquecidos en EGP. Si bien petrográficamente no es posible distinguir ningún proceso de reacción responsable de la escasa presencia de sulfuros, tampoco es posible descartar

la ocurrencia de algún evento de reacción a altas razones fundido/roca. Por otro lado, la estrecha relación existente entre las zonas de reacción y los sulfuros, en la localidad de Cerro Clark (PM24) más la muestra PM25-25 de Coyhaique, junto con los altos porcentajes modales de sulfuros registrados, podrían ser explicados por la percolación de fundidos a bajas razones fundido/roca.

4.6 Provincia Auroargentífera del Deseado (PAD)

Los elementos del grupo del platino (EGP: Os, Ir, Ru, Rh, Pt y Pd), Au y Re son considerados como elementos altamente siderófilos (HSE), y conocidos por ser muy compatibles con fundidos sulfurados en sistemas magmáticos (Mungall y Brenan, 2014).

Los yacimientos que comprenden la Provincia Auroargentífera del Deseado (PAD) se encuentren íntimamente relacionados con la actividad magmática Jurásica en Patagonia, más conocida como Provincia Volcánica Jurásica Chon-Aike (PVJCA). A su vez, la PVJCA ha sido asociada a la anatexia de corteza inferior profunda grenvilliana, sugiriendo una alta sustracción de sulfuros ricos en HSE desde el manto durante el Grenvilliano.

Dado las edades publicadas para la corteza inferior grenvilliana (1,15-1,6 Ga) por Pankhurst y Rapela (1995), lo ideal sería poder observar las características de su contraparte en el manto litosférico subcontinental correspondiente a ese evento de fusión, el cual se esperaría tuviese edades similares. Considerando las edades modelo de extracción de Re (T_{RD}) para algunas de las muestras de este estudio (Schilling *et al.*, 2012) (Tabla 6), dos de ellas caen en el rango antes mencionado, PM25-8 y PM27B-12B, con 1,31 y 1,59 Ga, respectivamente. En estos xenolitos, la química de elementos mayores refleja las diferencias esperadas, con composiciones notoriamente más residuales para PM27B-12B, sin embargo ni la química ni la abundancia de inclusiones de sulfuros permiten hacer algún tipo de interpretación, dado que ambos poseen porcentajes modales bajo un 0,001% y no se dispone de la química total de ningún agregado de sulfuros en estas rocas.

El hecho que el Macizo del Deseado (MD) presente abundantes manifestaciones auroargentíferas/polimetálicas, y que no se observen diferencias entre los sulfuros estudiados, más allá de las causas posibles señaladas en el punto de índices de tasas de fusión parcial, podría también ser explicado por características propias de la PAD. Más aún, si se considera que el volcanismo jurásico se encuentra ampliamente distribuido en el Macizo del Deseado, el Macizo Norpatagónico, los Andes Australes y la Península Antártica.

En primer lugar, Fernández *et al.*, (2008) señala que debido a la importante participación de aguas meteóricas en las soluciones hidrotermales, es probable que las variaciones climáticas durante el Jurásico hayan tenido un rol primordial en la generación de las manifestaciones de Au-Ag, tanto dentro del Macizo del Deseado (MD) como en el Macizo Norpatagónico (MNP). Según Cravero *et al.* (1991) a fines del Jurásico y principios del Cretácico prevaleció en Patagonia un clima templado y húmedo, el que se evidencia por el desarrollo de coníferas y la proliferación de sistemas lagunares en el MD. Asimismo, en el MNP los sistemas lacustres con formaciones biohermales indican cambios climáticos con predominio de condiciones cálidas y subáridas, con menor participación de aguas meteóricas posiblemente inhibiendo la formación de celdas hidrotermales convectivas

Tabla 6: Edades modelo de empobrecimiento de Re (TRD). Publicadas por Schilling *et al.* (2012), basadas en composiciones isotópicas Re-Os.

Muestra	T _{RD} (Ga)
Coyhaique	
PM25-8	1.31
PM25-10	1.70
Cerro Clark	
PM24-41	0.78
Volcán Auvernia	
PM27A-9	2.02
PM27B-12B	1.59
Gobernador Gregores	
PM23-3	1.86
PM23-21	-0.82
Tres Lagos	
PM21-1A	0.70
Cerro del Fraile	
PM20-20	0.99

Por otro lado, si bien la mayor parte de los prospectos y manifestaciones de oro y metales preciosos se encuentra actualmente en el MD, la relación entre el volcanismo Jurásico y las mineralizaciones fue señalada recientemente por Fernández y Barrios (1994), extendiéndose con posterioridad el interés hacia el resto de Patagonia. Respecto a esto, la literatura actual no es clara en señalar si la menor abundancia de yacimientos fuera del MD se debe a un menor desarrollo de la actividad exploratoria, o si definitivamente el Macizo del Deseado posee características únicas para la generación de yacimientos minerales auroargentíferos.

5 Conclusión

Los xenolitos peridotíticos provenientes del manto litosférico del Macizo del Deseado (MD) y sus alrededores corresponden a 27 lherzolitas y 4 harzburgitas, en su mayoría equilibradas en facies de espinela, a excepción de 3 de las 4 peridotitas de la localidad Pali Aike, las cuales se equilibraron en las condiciones de las facies de espinela-granate.

La química de elementos mayores en roca total de los xenolitos provenientes del MD sugiere mayores procesos de fusión parcial, en comparación con los xenolitos localizados en los bordes y fuera del MD.

Los sulfuros se presentan como minerales accesorios. Observaciones petrográficas permiten reconocer 4 localizaciones microestructurales de sulfuros: (1) sulfuros aislados en silicatos (SAS); (2) sulfuros alineados (SA); (3) sulfuros en zonas de reacción (SZR) y (4) sulfuros intersticiales (SI). Sugiriendo distintos procesos de formación de sulfuros en el manto superior y/o durante su transporte a superficie.

Los sulfuros analizados, en orden de abundancia son: pentlandita (Pn), solución sólida monosulfurada (MSS), calcopirita (Cp), cubanita (Cb) y pirrotina (Po), presentándose como granos aislados o formando agregados de 2 ó 3 fases. Las paragénesis más comunes son Pn+MSS; Pn+Cp; Pn+MSS+Cp y MSS+Cb.

La predominancia de sulfuros alineados (SA), en 5 de los 6 xenolitos correspondientes a la localidad de Coyhaique indica que estos sufrieron intensa percolación de fluidos secundarios o metasomáticos.

La abundante presencia de texturas de reacción en piroxenos en los xenolitos de la localidad de Cerro Clark, así como las características microestructurales (SZR) y químicas (Pn+Cp/Cb) de sus sulfuros, podrían ser explicadas por la percolación de fundidos ricos en volátiles a bajas razones fundido/roca.

Pese a lo evidenciado en la química de elementos mayores de los xenolitos y a la presencia de abundantes manifestaciones auroargentíferas/polimetálicas en el Macizo del Deseado, las características petrográficas y químicas de los sulfuros contenidos en las peridotitas provenientes de manto litosférico del MD no muestran diferencias claras respecto a aquellas provenientes de localidades vecinas.

6 Bibliografía

Alard O., Griffin W. L., Lorand J-P., Jackson S. E. and O'Reilly S. Y., 2000. Non-chondritic distribution of the highly siderophile elements in mantle sulfides. *Nature*, 407, 891.

Andersen, T., Griffin, W. L. & O'Reilly, S. Y., 1987. Primary sulfide melt inclusions in mantle-derived megacrysts and pyroxenites. *Lithos*. 20, 279–294.

Archangelsky, S., 1967. Estudio de la Formación Baquero, Cretácico inferior de Santa Cruz, Argentina. *Revista del Museo de La Plata (nueva serie). Paleontología*, 5: 63-171. La Plata

Aulbach, S., Griffin, W.L., Pearson, N.J., O'Reilly, S.Y., Kivi, K., 2004. Mantle formation and evolution, Slave Craton: constraints from HSE abundances and Re–Os isotope systematics of sulfide inclusions in mantle xenocrysts. *Chem. Geol.* 208, 61–88.

Bishop, F. C., Smith, J. V., and Dawson, J. B., 1975. Pentlandite-magnetite intergrowth in DeBeers spinel Iherzolite. Review of sulphides in nodules, in Ahrens, L. H., and others, eds., *Physics and chemistry of the earth*, v. 9, 323-337.

Bjerg E., Ntaflos T., Kurat G., Dobosi G., Labudía C., 2005. The upper mantle beneath Patagonia, Argentina, documented by xenoliths from alkali basalts. *Journal of South American Earth Sciences* 18, 125–145.

Bryan, S.E. y Ernst, R.E., 2008. Revised definition of Large Igneous Province (LIPs). *Earth Science Reviews*, 86:175-202.

Cabri L. J., 1973. New data on phase relations in the Cu–Fe–S system. *Econ. Geol.* 68, 443–454.

Carlson, R.W., Pearson, D.G., James, D.E., 2005. Physical, chemical, and chronological characteristics of continental mantle. *Rev. Geophys.* 43, RG1001. doi: 10.029/2004RG000156. (G3 1–24).

Carpenter R., Edgar A., Thibault Y., 2002. Origin of spongy textures in clinopyroxene and spinel from mantle xenoliths, Hessian Depression, Germany. *Mineral Petrology* 74, 149–162.

Craig, J. R., 1973. Pyrite–pentlandite assemblages and other low temperature relations in the Fe–Ni–S system. *American Journal of Science* 273A, 496–510.

Cravero, F., Dominguez, E. y Murray, H.H. 1991. Valores $\delta^{18}O$ y δD en caolinitas indicadores de un clima templado-húmedo para el Jurásico Superior-Cretácico Inferior de la Patagonia. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 46 (1): 20-25.

Conceição, R., Mallman, G., Koester E., Schilling, M., Bertotto, G., Rodriguez-Vera, A., 2005. Andean subduction-related xenoliths: Isotopic evidence of Sr-Nd decoupling during metasomatism. *Lithos* 82, 273-287.

Di Persia, C., 1958. Informe previo al levantamiento geológico en escala 1:100000 de la zona

norte de la provincia de Santa Cruz, al Sur del rio Deseado. Quinta Campana. Yacimientos Petrolíferos Fiscales, Buenos Aires. Informe inédito.

Dromgoole, E. L., Pasteris, J. D., 1987. Interpretation of the sulfide assemblages in a suite of xenoliths from Kilbourne Hole and Potrillo Maar, New Mexico. In: Morros, E. & Pasteris, J. D. (eds) Mantle Metasomatism and Alkaline Magmatism. *Geological Society of America, Special Paper* 215, 25–46.

Faccini, B., Bonadiman, C., Coltorti, M., Grégoire, M., Siena, F., 2013. Oceanic Material Recycled within the Sub-Patagonian Lithospheric Mantle (Cerro del Fraile, Argentina). *Journal of Petrology*, 54(6): 1211-1258.

Feruglio, E., 1949. Descripción geológica de la Patagonia. 3 Tomos, Dirección Nacional de Yacimientos Petrolíferos Fiscales, Buenos Aires.

Fernández, R.R. y de Barrio, R.E. 1994. Mineralizaciones de oro y plata del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. Argentina. *Revista Comunicaciones, Universidad de Chile*, 45: 59-66, Santiago.

Fernández, R. R., Blesa, A., Moreira, P., Echeveste, H., Mykietiuik, K., Andrada de Palomera, P., Tessone, M., 2008. Los depósitos de oro y plata vinculados al magmatismo jurásico de la Patagonia: revisión y perspectivas para la exploración. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 63 (4): 665-681.

Gervasoni, F., 2012. Heterogeneidades del manto litosférico subcontinental bajo Patagonia: Influencias de la subducción en la cuña mantélica e interacción litósfera-asténósfera. Tesis (maestría en geociencias). Puerto Alegre, Brasil. Universidad Federal de Río Grande del Sur.

Gonzalez Guillot, M., De Barrio, R. y Ganem, F., 2004. Mina Martha, un yacimiento epitermal argentífero en el Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz. VII Congreso de Mineralogía y Metalogenia, Actas: 119-204. Rio Cuarto.

Gorring M., Kay S., 2000a. Carbonatite metasomatized peridotite xenoliths from southern Patagonia: implications for lithospheric processes and Neogene plateau magmatism. *Contribution Mineral Petrology* 140, 55-72.

Gorring, M., Kay, S., 2000b. Mantle Processes and Sources of Neogene Slab Window Magmas from Southern Patagonia, Argentina. *Journal Of Petrology*, 42(6):1067-1094.

Gorring, M., Kay, S., Zeitle, P., Ramos, V., Rubiolo D., Fernandez, M., Panza, J., 1997. Neogene Patagonian plateau lavas: Continental magmas associated with ridge collision at the Chile Triple Junction. *Tectonics*, 16(1), 1-17.

Guido, D. y Schalamuk, I., 2003. Genesis and exploration potential of epithermal deposits from the Deseado Massif, Argentinean Patagonia. En: Eliopoulos et al. (ed.). *Mineral Exploration and Sustainable Development*. Balkema-Rotterdam, Vol I, 493-496.

- Guo, J., Griffin, W., O'Reilly, S., 1999. Geochemistry and origin of sulphide minerals in mantle xenoliths: Qilin, Southeastern China. *Journal of Petrology*, 40(7): 1125-1149.
- Harte B., Hawkesworth C., 1989. Mantle domains and mantle xenoliths. En: Ross J.,(Ed) Kimberlites and Related Rocks. *Geological Society of Australia, special publication 14* (2), 649–686.
- Hedenquist, J., Arribas, A. y González-Urien, E., 2000. Exploration for epithermal gold deposits. *Reviews in Economic Geology*, 13: 245-278.
- Holwell, D., McDonald, I., 2010. A Review of the Behaviour of Platinum Group Elements within Natural Magmatic Sulfide Ore Systems: The importance of semimetals in governing partitioning behavior. *Platinum Metals Review*. 54(1), 26-36.
- Homocv, J. Constantini, L., 2001. Hydrocarbon exploration potential within intraplate shear-related depocentres: Deseado and San Julian basins, southern Argentina. *American Association of Petroleum Geologists*, 85 (10): 1795-1816.
- Irving A. J., 1980. Petrology and geochemistry of composite ultramafic xenoliths in alkalic basalts and implications for magmatic processes within the mantle. *Am. J. Sci.*, 389–426.
- Jacobs, J., Thomas, R.J., Armstrong, R.A., Henjes-Kunst, F., 1999. Age and thermal evolution of the Mesoproterozoic Cape Meredith Complex, West Falkland. *J. Geol. Soc. Lond.* 156, 917–928.
- Kay, S. M., Ramos, V.A., Mpodozis C. y Sruoga, P., 1989. Late Paleozoic to Jurassic silicic magmatism at the Gondwanaland margin: analogy to the Middle Proterozoic in NorthAmerica?. *Geology*, 17 (4): 324-328.
- Keidel, J., 1925. Sobre la estructura tectónica de las capas petrolíferas en el oriente del territorio del Neuquén. Dirección General de Minas, Geología e Hidrología, sección Geología, Buenos Aires, Publicación, vol. 8, p. 67
- Kullerud, G., Yund, R. A., and Moh, G. H., 1969, Phase relations in the Cu-Fe-S, Cu-Ni-S, Fe-Ni-S systems, in Wilson, H. D., ed., *Magmatic ore deposits: Economic Geology Monograph*, v. 4, p. 323-343.
- Laurora A., Mazzucchelli M., Rivalenti G., Vannucci R., Zannetti A., Barbieri M., Cingolani C., 2001. Metasomatism and Melting in Carbonated Peridotite Xenoliths from the Mantle Wedge The Gobernador Gregores Case (Southern Patagonia). *Journal of Petrology*, 42(1), 69-87.
- Lesta, P., 1969. Algunas nuevas comprobaciones en la geología de la Patagonia. *Anales 4a Jornadas Geológicas Argentinas*, 2: 187-194.
- Lorand, J.-P. & Conquére, F., 1983. Contribution à l'étude des sulfures dans les enclaves de lherzolite à spinelle des basaltes alcalins (Massif Central, et Languedoc, France). *Bulletin de Minéralogie* 106, 585–605.

- Lorand, J.-P., 1987. Caractères mineralogiques et chimiques généraux des microphases du système Cu-Fe-Ni-S dans les roches du manteau supérieur: exemples d'hétérogénéités en domaine sub-continental. *Bull. Soc. Geol. Fr.* 4, 643-656.
- Lorand J.-P., 1988. The Cu-Fe-Ni sulfide assemblages of tectonic peridotites from the Maqсад district, Sumail ophiolite, Southern Oman: implications for the origin of the sulfide component in the oceanic upper-mantle. *Tectonophysics* 151, 57-73.
- Lorand, J.-P., Pattou, L., Gros, M., 1999. Fractionation of Platinum-group Elements and Gold in the Upper Mantle: a Detailed Study in Pyrenean Orogenic Lherzolites. *Journal of Petrology*, 40(6): 957-981.
- Lorand, J.-P., 1990. Are spinel lherzolite xenoliths representative of the abundance of sulfur in the upper mantle? *Geochim. Cosmochim. Acta* 54, 1487-1492.
- Lorand J.-P., Alard O., 2001. Platinum-group element abundances in the upper mantle: new constraints from in situ and whole-rock analyses of Massif Central xenoliths (France). *Geochim. Cosmochim Acta.* 65, 2789.
- Lorand, J.-P., Reisberg, L., Bedini, R.M., 2003. Platinum-group elements and melt percolation processes in Sidamo spinel peridotite xenoliths, Ethiopia, East African Rift. *Chem. Geol.* 196, 57-75.
- Lorand J.-P., Luguet A., Alard O., 2013. Platinum-group element systematics and petrogenetic processing of the continental upper mantle: a review. *Lithos* 164-167:2-21
- Luguet, A., Lorand, J.-P., Seyler, M., 2003. Sulfide petrology and highly siderophile element geochemistry of abyssal peridotites; a coupled study of samples from the Kane fracture zone (45°W 23° 20N, MARK area, Atlantic Ocean). *Geochim. Cosmochim. Acta* 67, 1553-1570.
- Marchesi, C., Garrido, C., Harvey, J., González-Jiménez, J. M., Hidas, K., Lorand, J.-P., Gervilla, F., 2013. Platinum-group elements, S, Se and Cu in highly depleted abyssal peridotites from the Mid-Atlantic Ocean Ridge (ODP Hole 1274A): Influence of hydrothermal and magmatic processes. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 166: 1521-1538.
- Mercier J., Nicolas A., 1975. Textures and fabrics of upper mantle peridotites as illustrated by basalt xenoliths. *Journal of Petrology* 16(2), 454-487.
- Misra, K. C., Fleet, M. E., 1973. The chemical composition of synthetic and natural pentlandite assemblages. *Economic Geology*, v. 68, p. 518-539.
- Moreira P., Fernández R., Etcheverry R., Schalamuk I., 2005. Complejos de domos Jurásicos (~150 Ma) La Josefina y María Esther, sector central del Macizo del Deseado, Patagonia. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 66(3), 335-348.
- Moreira, P., Fernandez, R., Cabana, C. y Schalamuk, I. B., 2008. Análisis estructural de las mineralizaciones Jurásicas del proyecto epitermal La Josefina (Au-Ag), Macizo del Deseado, Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 63 (2): 244-253.

Mungall, J., Brenan, J., 2014. Partitioning of platinum-group elements and Au between sulfide liquid and basalt and the origins of mantle-crust fractionation of the chalcophile elements. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 125, 265–289.

Ntaflos Th., Bjerg E., Labudia C., Kurat G., 2007. Depleted lithosphere from the mantle wedge beneath Tres Lagos southern Patagonia, Argentina. *Lithos* 94, 46 – 65.

O'Reilly S, Griffin W, 2010a. The continental lithosphere-asthenosphere boundary: can we sample it?. *Lithos* 102:1–13

O'Reilly S, Griffin W, 2013. Mantle Metasomatism. *En: Harlov D. E. Metasomatism and the Chemical Transformation of Rock. Cap 12. 471-533.*

Panza J., Franchi M., 2002. Magmatismo Basáltico Cenozoico Extrandino. Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz. Relatorio del XV Congreso Geológico Argentino. El Calafate, I-14, 201-236.

Pankhurst, R., Rapela C. y Marquez, M., 1993a. Geocronología y patogénesis de los granitoides jurásicos del noreste del Macizo del Deseado. XII Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 134-141. Mendoza.

Pankhurst, R., Sruoga, P. y Rapela, C., 1993b. Estudio Geocronológico Rb-Sr de los complejos Chon-Aike y El Quemado a los 47°30' L.S. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Actas IV: 171-178.

Pankhurst, R.J. y Rapela, C.R., 1995. Production of Jurassic rhyolite by anatexis of the lower crust of Patagonia. *Earth and Planetary Science Letters*, 134: 23-36.

Pankhurst, R.J., Leat, P.T., Sruoga, P., Rapela, C.W., Marquez, M., Storey, B. C. y Riley, T. R., 1998. The Chon Aike province of Patagonia and related rocks in West Antarctica; a silicic large igneous province. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 81: 113-136.

Pankhurst, R. J., Riley, T. R., Fanning, C. M., y Kelley, S. P., 2000. Episodic silicic volcanism in Patagonia and the Antarctic Peninsula: Chronology of magmatism associated with the break-up of Gondwana. *Journal of Petrology*, 41: 605-625.

Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Loske, W.P., Márquez, M., Fanning, C.M., 2003. Chronological study of the pre-Permian basement rocks of southern Patagonia. *J. South Am. Earth Sci.* 16, 27–44.

Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Fanning, C.M., Márquez, M., 2006. Gondwanide continental collision and the origin of Patagonia. *Earth-Sci. Reviews* 76, 235–257.

Panza, J. y Franchi, M., 2002. Magmatismo basáltico Cenozoico extrandino. *En: M. Haller (Edit): Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz, Relatorio XV Congreso Geológico Argentino, I-14: 201-236.*

- Pearson D., Canil D., Shirey B., 2005. Mantle Samples Included in Volcanic Rocks: Xenoliths and Diamonds. En: Carlson R., Holland H., Turekian K., (Eds). *Treatise on geochemistry: The mantle and core 2*, 171-276
- Ramos, V.A., 1984. Patagonia, Un continente a la deriva? 10° Congreso Geológico Argentino, *Actas 2*, 311–325.
- Ramos, V., Kay S., 1992. Southern Patagonian plateau basalts and deformation: backarc testimony of ridge collisions. *Tectonophysics* 205, 261-282.
- Ramos V., 2002. El magmatismo paleógeno de la cordillera patagónica. En: Haller M. (Ed). *Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz. Relatorio del XV Congreso Geológico Argentino. El Calafate*. I-11, 165-175.
- Ramos, V. A., 2004. Cuyania, an exotic block to Gondwana: review of a historical success and the present problems. *Gondwana Research*, 7: 1009-1026.
- Ramos V.A., 2008. Patagonia: A paleozoic continent a drift?. *Journal of South American Earth Sciences*, 26 (3): 235-251.
- Riley, T. R., Leat, P. T., Pankhurst, R. J., y Harris, C., 2001. Origins of large volume rhyolitic volcanism in the Antarctic Peninsula and Patagonia by crustal melting. *Journal of Petrology*, 42: 1043-1065.
- Rivalenti G., Mazzuchelli M., Laurora A., Ciuffi S., Zanetti A., Vannucci R., Cingolani., 2004. The backarc mantle lithosphere in Patagonia, South America. *Journal of South American Sciences*, 121-152.
- Roedder, E., 1984. Final report on a study of fluid inclusions in core from Gibson Dome No. 1 bore, Paradox Basin, Utah. U.S. Geol. Survey Open File Report 84-696, 16p.
- Ruiz, R., 2012. Geología y Mineralizaciones del sector sudoccidental del Macizo del Deseado, Santa Cruz. Tesis Doctoral. La Plata, Argentina. Universidad Nacional de la Plata, Facultad de Ciencias Naturales.
- Jovic, S., 2010. Geología y metalogénesis de las mineralizaciones polimetálicas del área El Tranquilo (Cerro León), sector central del Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz. Tesis Doctoral. La Plata, Argentina. Universidad Nacional de la Plata, Facultad de Ciencias Naturales.
- Schalamuk, I., de Barrio, R., Zubia, M., Genini, A. y Echeveste, H., 1999. Provincia Auroargentífera del Deseado. Santa Cruz: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales. SEGEMAR, Anales 35, p.1177-1188.
- Schalamuk I., de Barrio R., Zubia M., Genini A., Valvano J., 2002. Mineralizaciones auroargentíferas del Macizo del Deseado y su encuadre metalogénico. En: Haller MJ (ed.) Geología y recursos naturales de Santa Cruz. Relatorio 15° Congreso Geológico Argentino: 679–713.

Schalamuk, I., Rios, F., de Barrio, R., Moreira, P., Fuzikawa, K., Echeveste, H., Cunningham, C., Alves, K., 2005. Mineralized fluids related to Au-Ag ores in selected districts of epithermal Province Macizo del Deseado, Southern Patagonia, Argentina. XVI Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 355- 360.

Schilling M., Conceição R., Mallmann G., Koester E., Kawashita K., Herve´ F., Morata D., Motoki A., 2005. Spinel-facies mantle xenoliths from Cerro Redondo, Argentine Patagonia: Petrographic, geochemical, and isotopic evidence of interaction between xenoliths and host basalt. *Lithos* 82, 485 – 502.

Schilling M., Carlson R., Conceição R., Dantas C., Bertotto G., Koester E., 2008. Re –Os isotope constraints on subcontinental lithospheric mantle evolution of southern South America. *Earth and Planetary Science Letters* 268, 89 – 101.

Schilling M., Carlson, R., Tassara, A., Conceição R., Bertotto, G., Jalowitski, T., Gervasoni, F., Vásquez, M., Morata D., 2012. Evidencias geoquímicas y geofísicas de la existencia de un manto litosférico Mesoproterozoico bajo el Macizo del Deseado, Patagonia. *XIII Congreso Geológico Chileno*. Antofagasta, Chile.

Shaw C., 1997. Origin of sulfide blebs in variably metasomatized mantle xenoliths, quaternary West Eifel Volcanic Field, Germany. *The Canadian Mineralogist*, 35, 1453-1463.

Shaw C., Heidelbach F., Dingwell D., 2006. The origin of reaction textures in mantle peridotite xenoliths from Sal Island, Cape Verde: the case for “metasomatism” by the host lava. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 151, 681–697

Stern C., Kilian R., Olker B., Hauri E., Kyser T., 1999. Evidence from mantle xenoliths for relatively thin (~100 km) continental lithosphere below the Phanerozoic crust of southernmost South America. *Lithos* 48, 217 – 235.

Su B., Zhang H, Sakyi P., Yang Y., Ying J., Tang Y., Qin K., Xiao Y., Zhao X., Mao Q., Ma Y., 2011. The Origin of spongy texture in minerals of mantle xenoliths from the Western Qinling, central China. . *Contributions to Mineralogy and Petrology* 161, 465-482.

Szabó, C. S. & Bodnar, R. J., 1995. Chemistry and origin of mantle sulfides in spinel peridotite xenoliths from alkaline basaltic lavas, Nógrád–Gömör Volcanic Field, northern Hungary and southern Slovakia. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59, 3917–3927.

Tassara, A., Swain, C., Hackney, R. and Kirby J. 2007. Elastic thickness structure of South America estimated using wavelets and satellite-derived gravity data. *Earth Planet. Sci. Lett.* 253, 17-36.

Thomas, R.J., Jacobs, J., Eglington, B.M., 2000. Geochemistry and isotopic evolution of the Mesoproterozoic Cape Meredith Complex, West Falkland. *Geological Magazine*, v. 137, p. 537–553.

Vásquez, M., 2012. Petrografía y geoquímica de xenolitos mantélicos del volcán Auvernia (Plioceno-Pleistoceno), Provincia de Santa Cruz, Patagonia Argentina. Memoria para optar al título de geólogo. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

Viera, R., Pezzuchi, H., 1976. Presencia de sedimentitas pérmicas en contacto con rocas del 'Complejo Metamórfico' de la patagonia extrandina, Estancia Dos Hermanos, Provincia de Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 31, 281–283.

Wang, K.-L., O'Reilly, S.Y., Griffin, W.L., Pearson, N.J., Zhang, M., 2009. Sulfides in mantle peridotites from Penghu, Taiwan: melt percolation, PGE fractionation, and the lithospheric evolution of the South China block. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 73, 4531–4557.

Zajacz, Z., Szabó, C., 2003. Origin of sulfide inclusions in cumulate xenoliths from Nógrád–Gömör Volcanic Field, Pannonian Basin (north Hungary/south Slovakia). *Chemical Geology* 194: 105-117.

.

Anexo Petrografia

PM25-02	
Nombre de la roca	Lherzolita de Sp
Texturas	Protogranular I a Porfiroclástica I
Mineralogía primaria	Sección compuesta por Ol, Opx, Cpx y Sp en orden modal descendente. Ol presenta cristales intensamente fracturados por vetillas relativamente rectas de serpentina (<0,1 mm), con tamaños entre 0,4 y 2,8 mm y bordes rectos a levemente redondeados. Opx muestra fenocristales elongados llegando hasta los 3,5x7 mm, con algunas bandas de deformación, bordes rectos e inclusiones de Ol (<0,7 mm). Además, Opx cristales menores fracturados entre 0,4 y 2 mm, con bordes rectos. Cpx se observa asociado preferentemente a Opx, con tamaños entre 0,5 y 1,5 mm, con formas irregulares y bordes redondeados a rectos. Sp muestra formas vermiculares, asociadas a Opx y Cpx, con tamaños inferiores a 1,5 mm y presentando algunos leves bordes de reacción en contacto con Opx.
Sulfuros	1A) Tipo SA; FA: Pn; Secuencia de inclusiones fluidas y sulfuradas en Opx fracturado; Forma esférica.
	2A) Tipo SA; FA: Pn; Secuencia de inclusiones fluidas y sulfuradas en Opx; Forma irregular.
	2B) Tipo SA; FA: Pn; Secuencia de inclusiones fluidas y sulfuradas en Opx; Forma irregular.
	3) Tipo SA; FA: Pn+MSS; Secuencia recta de inclusiones fluidas y sulfuradas en Opx fracturado; Forma irregular.
Observaciones	Xenolito muestra intenso fracturamiento frágil de vetillas de serpentina, sin mostrar reacción con la mineralogía primaria.

Tabla Anexo 1: Ficha descripción corte transparente pulido PM25-02. FA: Fases registrada con análisis en microsonda; Pn: Pentlandita; MSS: Solución sólida monosulfurada.

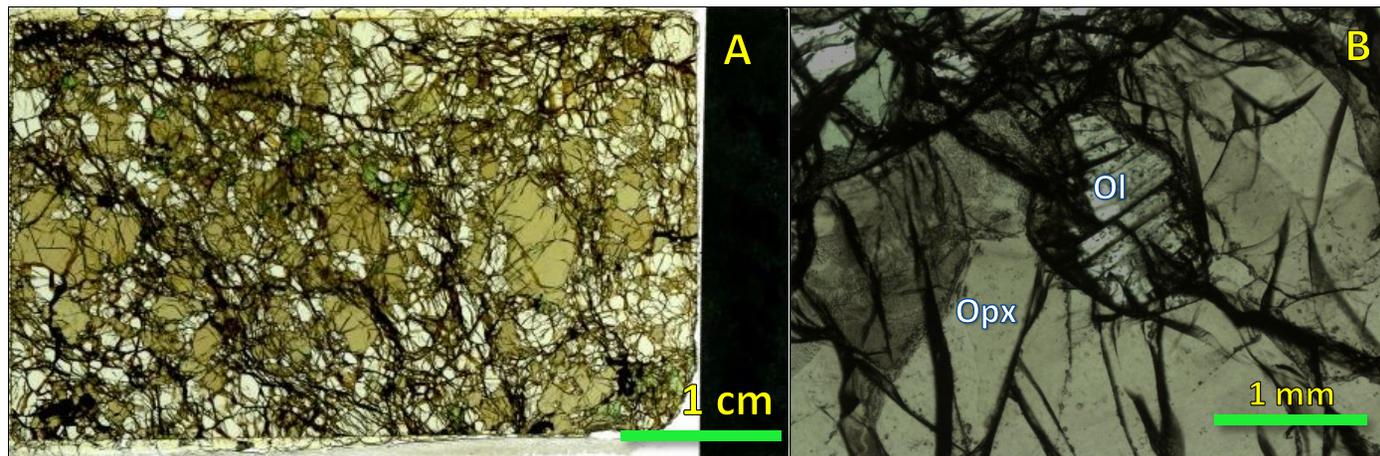


Figura Anexo 1: Muestra PM25-02. (A) Imagen corte obtenida con escáner Epson. Fotomicrografía a luz transmitida-nicoles paralelos mostrando inclusión de Ol en Opx.

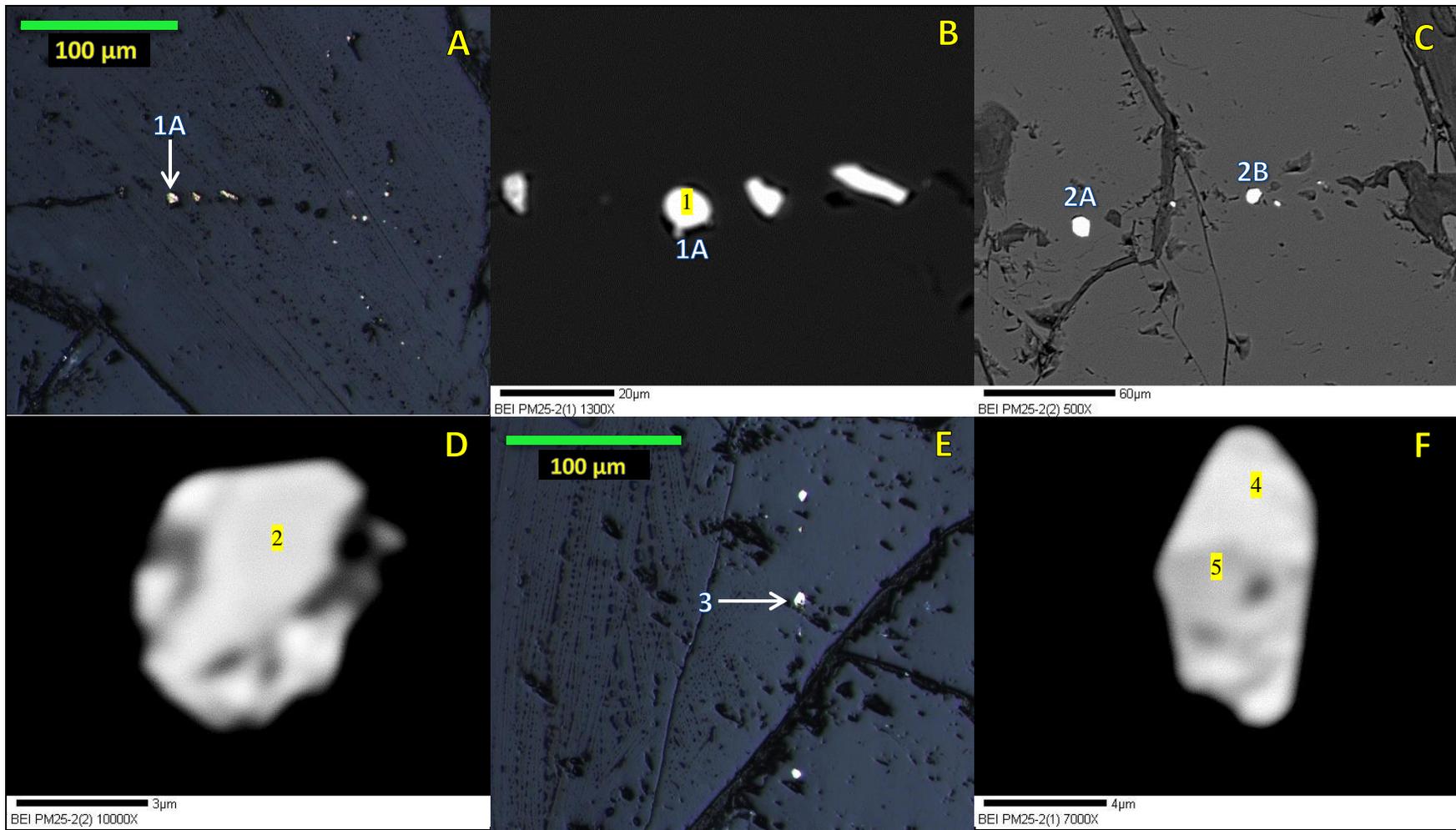


Figura Anexo 2: Sulfuros PM25-02-1A: (A) Fotomicrografía a luz reflejada-nicoles paralelos, (B) imagen BEI. (C) Imagen BEI de sulfuros PM25-02-2A y 2B. (D) Imagen BEI sulfuro PM25-02-2A. Sulfuro PM25-02-3: (E) Fotomicrografía a luz reflejada-nicoles paralelos, (F) imagen BEI.

PM25-06	
Nombre de la roca	Lherzolita de Sp
Texturas	Protogranular I
Mineralogía primaria	Sección compuesta por Ol, Opx, Cpx y Sp en orden modal descendente. Ol presenta cristales fracturados, con tamaños entre 1 y 3 mm y bordes rectos. Opx muestra dos poblaciones de cristales, entre 2 y 5 mm con formas levemente elongadas, algunas bandas de deformación e inclusiones de Ol (<0,4 mm), además de cristales inferiores a 1 mm, ambas poblaciones con bordes rectos. Cpx se observa preferentemente en contacto con Opx, con tamaños entre 0,5 y 3 mm, con formas irregulares y bordes redondeados a rectos. Sp muestra formas vermiculares (a excepción de un cristal hexagonal), asociadas a Opx y Cpx, con tamaños inferiores a 2 mm.
Sulfuros	1) Tipo SA; FA: MSS; Secuencia de inclusiones fluidas y sulfuradas en Opx; Forma irregular.
	2) Tipo SI; FA: Pn; Forma irregular.
	3) Tipo SA; FA: Pn; Secuencia de inclusiones fluidas y sulfuradas.
Observaciones	Xenolito muestra intensa percolación de basalto hospedante, con desarrollo de vetillas pardas (a nicoles paralelos) asociadas al mismo. Zonas vítreas muestran cristales opacos romboédricos.

Tabla Anexo 2: Ficha descripción corte transparente pulido PM25-06. FA: Fases registrada con análisis en microsonda; Pn: Pentlandita; MSS: Solución sólida monosulfurada.

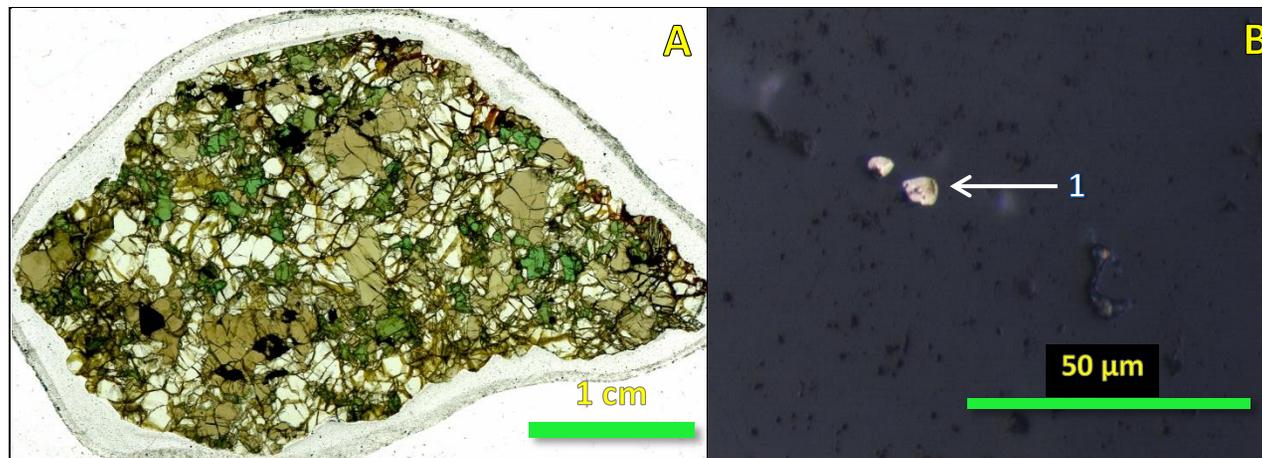


Figura Anexo 3: Muestra PM25-06. (A) Imagen corte obtenida con escáner Epson. (B) Fotomicrografía a luz reflejada-nicoles paralelos de sulfuro PM25-06-1.

PM25-08	
Nombre de la roca	Lherzolita de Sp
Texturas	Protogranular I a Porfiroclástica I
Mineralogía primaria	Sección compuesta por Ol, Opx, Cpx y Sp en orden modal descendente. Ol presenta cristales intensamente fracturados por vetillas relativamente rectas de serpentina (<0,1 mm), con tamaños entre 0,5 y 3 mm y bordes rectos a levemente redondeados. Opx muestra 3 fenocristales elongados cercanos a los 3x10 mm, con algunas bandas de deformación, bordes rectos a redondeados e inclusiones de Ol (<0,4 mm). Además, Opx presenta cristales menores fracturados entre 0,5 y 2 mm, con bordes rectos. Cpx se observa asociado preferentemente a Opx, con tamaños entre 0,5 y 3 mm, con formas irregulares y bordes rectos a levemente redondeados. Sp muestra formas vermiculares a “holly leaf”, asociadas a Opx y Cpx, con tamaños inferiores a 2 mm.
Sulfuros	2A) Tipo SA; FA: MSS; Secuencia de inclusiones fluidas y sulfuradas en Cpx; Forma esférica.
	2B) Tipo SA; FA: Pn; Secuencia de inclusiones fluidas y sulfuradas en Opx; Forma irregular.
	2C) Tipo SA; FA: Pn; Secuencia de inclusiones fluidas y sulfuradas en Opx; Forma irregular.
	3A) Tipo SA; FA: Pn; Secuencia de sulfuros en Ol; Forma esférica.
	3B) Tipo SA; FA: Pn; Secuencia de sulfuros en Ol; Forma esférica.
	4) Tipo SAS; FA: Pn+Cp; Hospedado en Opx; Forma elipsoidal con bordes estrellados; Muestra decrepitación.
	5A) Tipo SA; FA: Pn+Cp; Secuencia recta de inclusiones fluidas y sulfuradas en Opx, cortando fracturas; Forma irregular.
	5B) Tipo SA; FA: Pn; Secuencia recta de inclusiones fluidas y sulfuradas en Opx, cortando fracturas; Forma irregular.
6) Tipo SA; FA: Pn; Secuencia recta de inclusiones fluidas y sulfuradas en Opx.	
Observaciones	Xenolito muestra intenso fracturamiento frágil de vetillas de serpentina, sin mostrar zonas de reacción con la mineralogía primaria.

Tabla Anexo 3: Ficha descripción corte transparente pulido PM25-08. FA: Fases registrada con análisis en microsonda; Pn: Pentlandita; MSS: Solución sólida monosulfurada; Cp: Calcopirita.

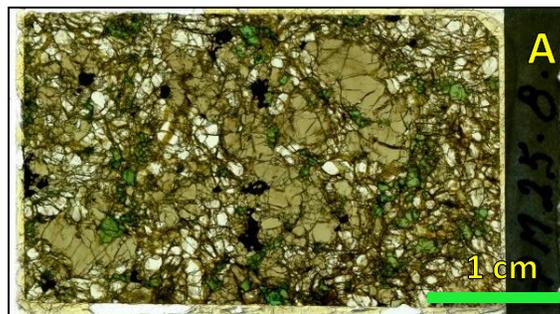


Figura Anexo 4: Muestra PM25-08. (A) Imagen corte obtenida con escáner Epson.

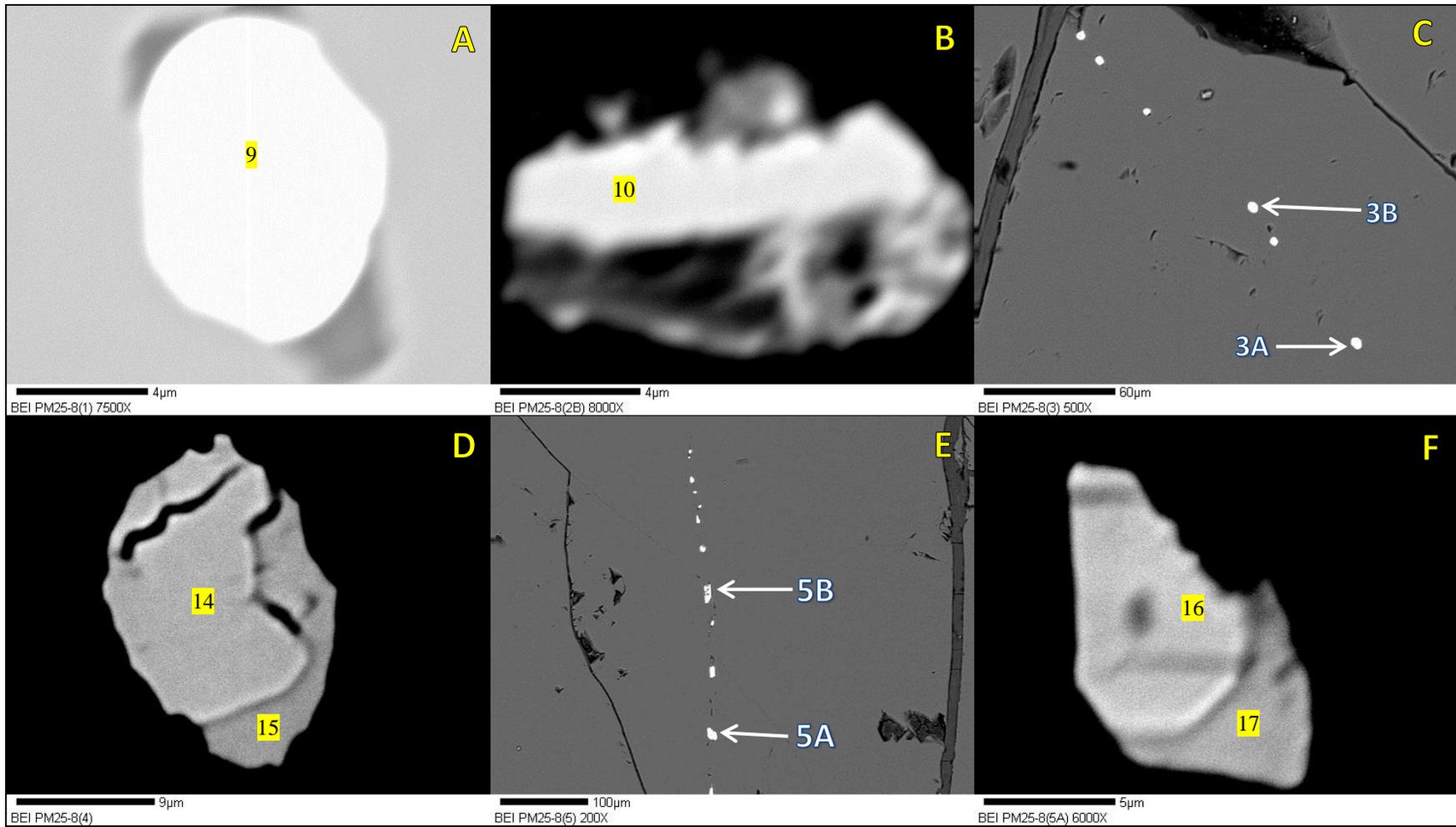


Figura Anexo 5: Imágenes de electrones retrodispersados (BEI) de sulfuros PM25-08. (A) Sulfuro PM25-08-2A. (B) Sulfuro PM25-08-2B. (C) Sulfuro PM25-08-3. (D) Sulfuro PM25-08-4. (E) Sulfuro PM25-08-5. (F) Sulfuro PM25-08-5A.

PM25-10	
Nombre de la roca	Harzburgita de Sp
Texturas	Protogranular I a Porfiroclástica I
Mineralogía primaria	Sección compuesta por Ol, Opx, Cpx y Sp en orden modal descendente. Ol presenta cristales intensamente fracturados por vetillas relativamente rectas de serpentina (<0,1 mm), con tamaños entre 0,5 y 3,5 mm y bordes rectos a levemente redondeados. Opx muestra 4 fenocristales, el mayor de 5x14 mm, con bandas de deformación, bordes rectos a redondeados e inclusiones de Ol (<0,8 mm), Cpx (<0,5 mm) y Sp poligonales (<0,8 mm). Además, Opx presenta cristales menores fracturados entre 0,5 y 1,5 mm, con bordes rectos. Cpx se observa con tamaños entre 0,5 y 2,5 mm, formas irregulares y bordes rectos a levemente redondeados. Sp muestra formas vermiculares asociadas a Opx y Cpx, con tamaños inferiores a 1,5 mm. Texturalmente, algunos cristales de Cpx muestran desarrollo de bordes esponjosos.
Sulfuros	1) FA: Pn. Inclusión analizada en microsonda pero no encontrada en revisión posterior.
	2A) Tipo SA; FA: Pn; Inclusiones fluidas y sulfuradas no alineadas en Ol; Forma irregular.
	2B) Tipo SA; FA: Pn; Inclusiones fluidas y sulfuradas no alineadas en Ol; Forma irregular.
Observaciones	Xenolito muestra intenso fracturamiento frágil de vetillas de serpentina.

Tabla Anexo 4: Ficha descripción corte transparente pulido PM25-10. FA: Fases registrada con análisis en microsonda; Pn: Pentlandita.

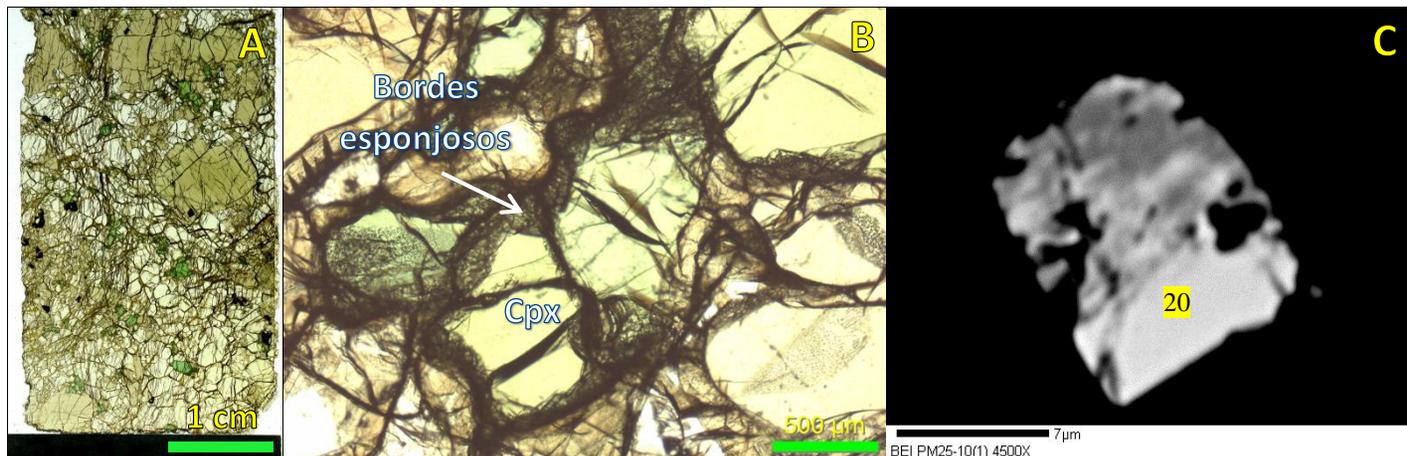


Figura Anexo 6: Muestra PM25-10. (A) Imagen corte obtenida con escáner Epson. (B) Fotomicrografía a luz transmitida-nicoles paralelos mostrando bordes esponjosos en Cpx. (C) Imagen BEI de sulfuro PM25-10-1.

PM25-22	
Nombre de la roca	Lherzolita de Sp
Texturas	Protogranular I
Mineralogía primaria	Sección compuesta por Ol, Opx, Cpx y Sp en orden modal descendente. Ol presenta cristales fracturados por vetillas relativamente rectas de serpentina (<0,1 mm), con tamaños entre 0,5 y 2,5 mm y bordes rectos a levemente redondeados. Opx muestra fenocristales levemente elongados cercanos a los 4x6 mm, con algunas bandas de deformación, bordes rectos a redondeados e inclusiones de Ol (<0,7 mm). Además, Opx presenta cristales menores fracturados entre 0,5 y 1,5 mm, con bordes rectos. Cpx se observa asociado preferentemente a Opx, con tamaños entre 0,5 y 2 mm, con formas irregulares y bordes rectos a levemente redondeados. Sp muestra formas vermiculares a “holly leaf”, asociadas a bordes de piroxenos, con tamaños entre 1 y 2 mm, además de inclusiones cercanas a 0.5 mm en fenocristales de Opx. Texturalmente, se observa escasas zonas esponjosas en Opx y Cpx.
Sulfuros	1) Tipo SAS; FA: Cp; Hospedado en fenocristal de Opx; Forma irregular.
	2) Tipo SA; FA: Pn; Secuencia de inclusiones fluidas y sulfuradas en Opx fracturado; Forma irregular.
Observaciones	Xenolito muestra intenso fracturamiento frágil de vetillas de serpentina.

Tabla Anexo 5: Ficha descripción corte transparente pulido PM25-22. FA: Fases registrada con análisis en microsonda; Pn: Pentlandita; Cp: Calcopirita.

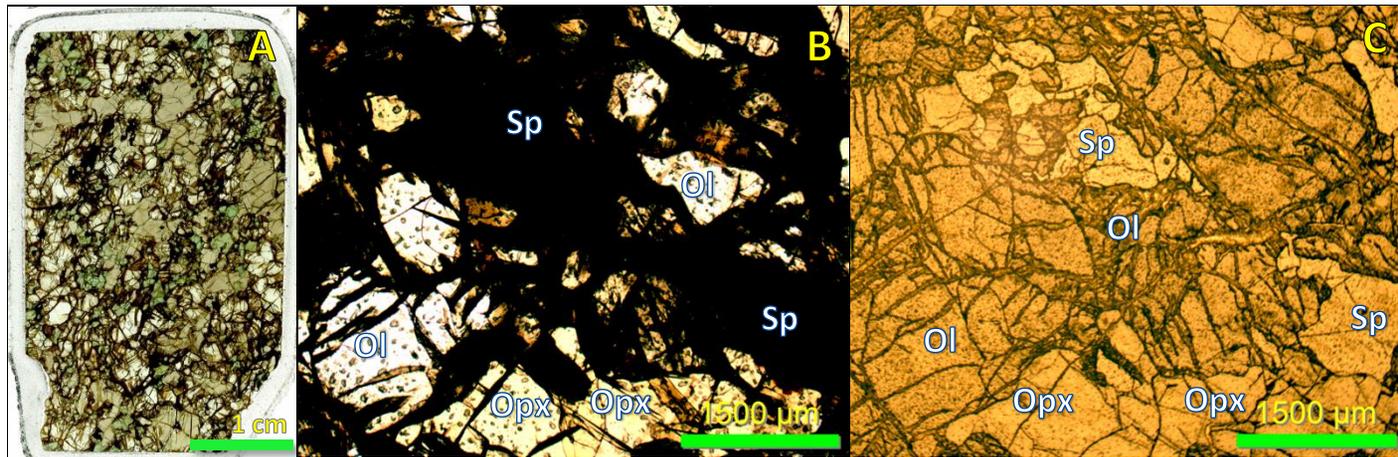


Figura Anexo 7: Muestra PM25-22. (A) Imagen corte obtenida con escáner Epson. (B)(C) Fotomicrografías a luz transmitida-nicoles paralelos y luz reflejada-nicoles paralelos mostrando Ol intensamente fracturado y Sp con forma vermicular a “holly leaf”.

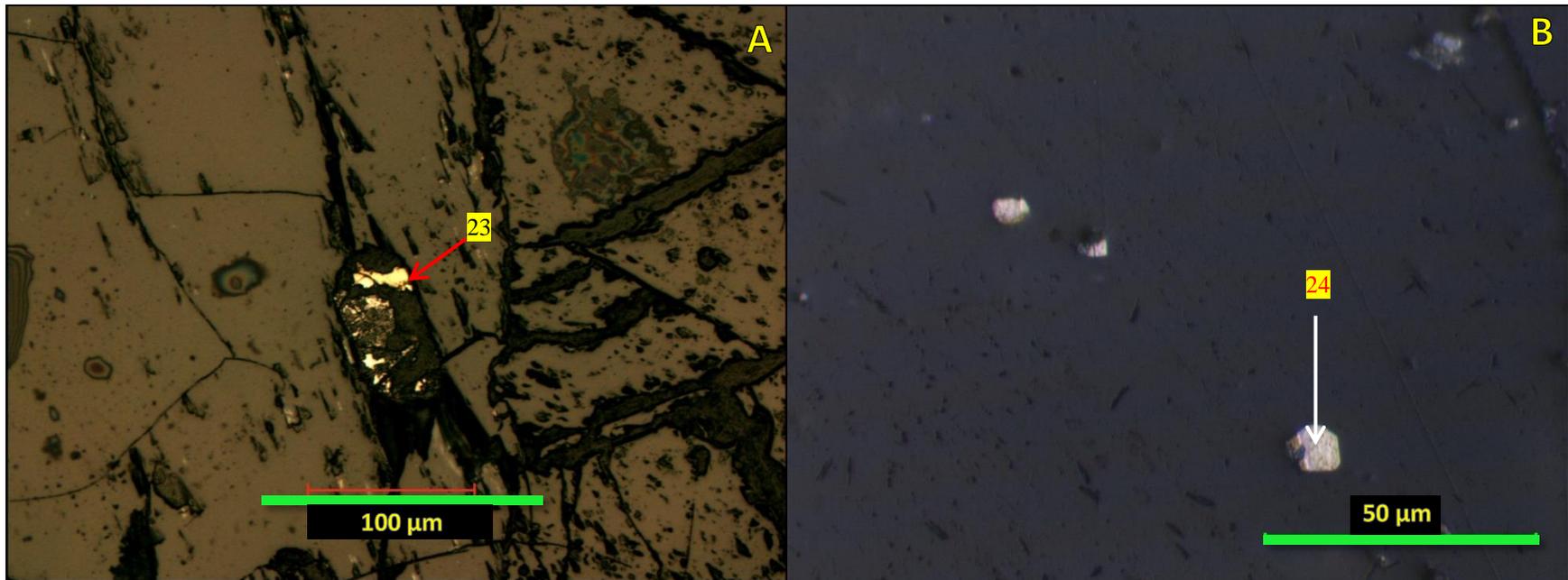


Figura Anexo 8: Sulfuro PM25-22. Fotomicrografías a luz reflejada-nicoles paralelos: (A) sulfuro PM25-22-1, (B) sulfuro PM25-22-2.

PM25-25	
Nombre de la roca	Lherzolita de Sp
Texturas	Protogranular I
Mineralogía primaria	Sección compuesta por Ol, Opx, Cpx y Sp en orden modal descendente. Ol presenta cristales fracturados, con tamaños entre 0,5 y 3 mm y bordes rectos a levemente redondeados. Opx muestra tamaños entre 0,5 y 3 mm, con formas irregulares, bordes rectos a redondeados. Cpx se observa asociado preferentemente a Opx, con tamaños entre 0,5 y 1,5 mm, con formas levemente elongadas irregulares y bordes rectos a levemente redondeados. Sp muestra formas vermiculares a subhedrales, asociadas a Opx y Cpx, con tamaños inferiores a 2 mm, además de inclusiones cercanas a 0.5 mm en Opx. Texturalmente, se observa bordes esponjosos en Opx (<1 mm).
Sulfuros	1A) Tipo SZR; FA: Pn+MSS; Ubicado en zona vítrea cercana a borde esponjoso de Opx; Forma irregular dada por espacio intercrystalino; Figura Anexo 11 muestra granos de sulfuro rico en Cu no analizado (SRCu) en bordes externos de la inclusión.
	1B) Tipo SZR; FA: Pn; Ubicado en zona vítrea cercana a borde esponjoso de Opx;
	2) Tipo SZR; FA: Pn+MSS; Ubicado en Opx totalmente nuboso con borde esponjoso; Forma irregular; Figura Anexo 12 muestra sulfuro rico en Cu no analizado (SRCu).
Observaciones	Xenolito pequeño, percolado por basalto hospedante.

Tabla Anexo 6: Ficha descripción corte transparente pulido PM25-25. FA: Fases registrada con análisis en microsonda; Pn: Pentlandita; MSS: Solución sólida monosulfurada.

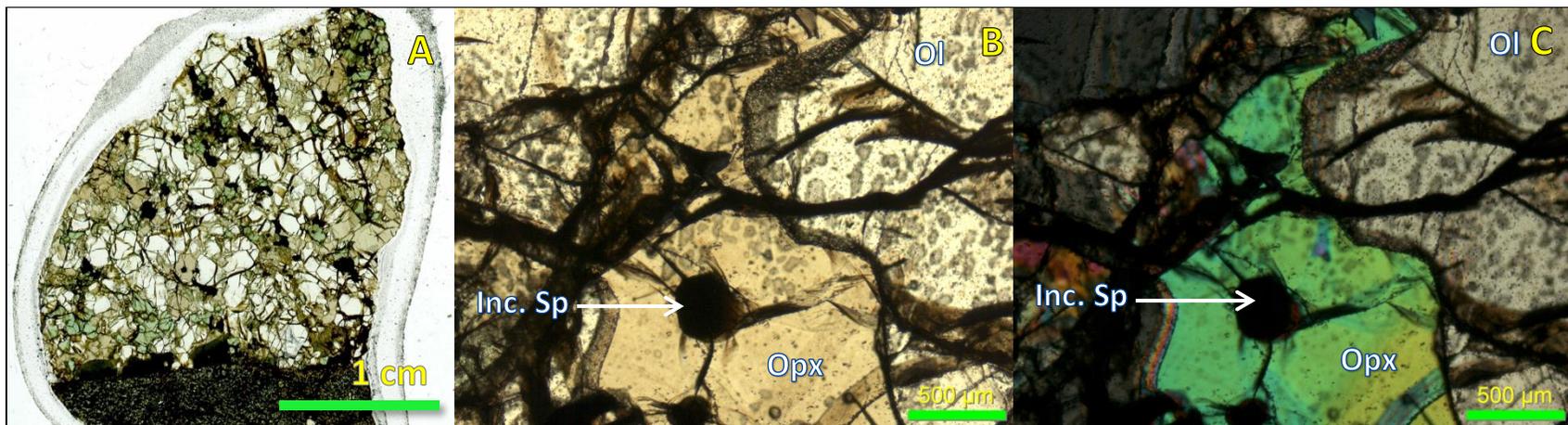


Figura Anexo 9: Muestra PM25-25. (A) Imagen corte obtenida con escáner Epson. (B)(C) Fotomicrografías a luz transmitida-nicoles paralelos y luz reflejada-nicoles paralelos mostrando leves bordes esponjosos e inclusión de Sp en Opx.

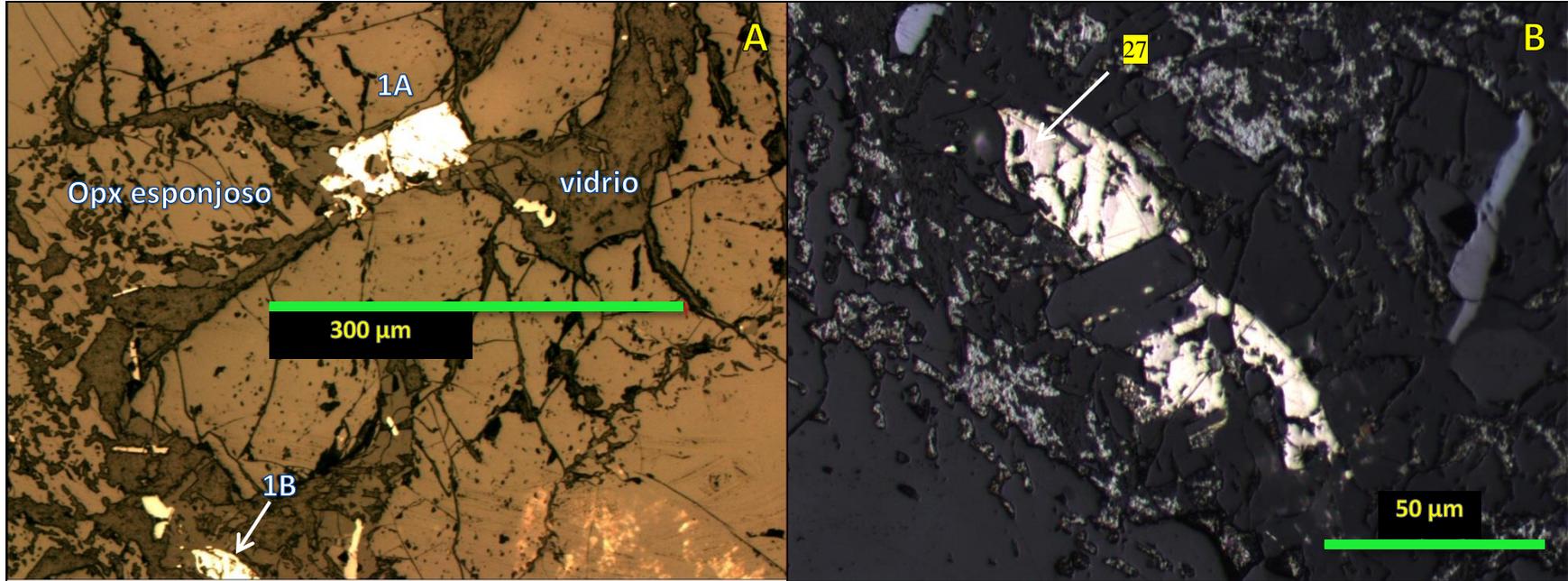


Figura Anexo 10: Sulfuro PM25-25-1. Fotomicrografías a luz reflejada-nicoles paralelos: (A) sulfuros PM25-25-1A y 1B, (B) sulfuro PM25-25-1B.

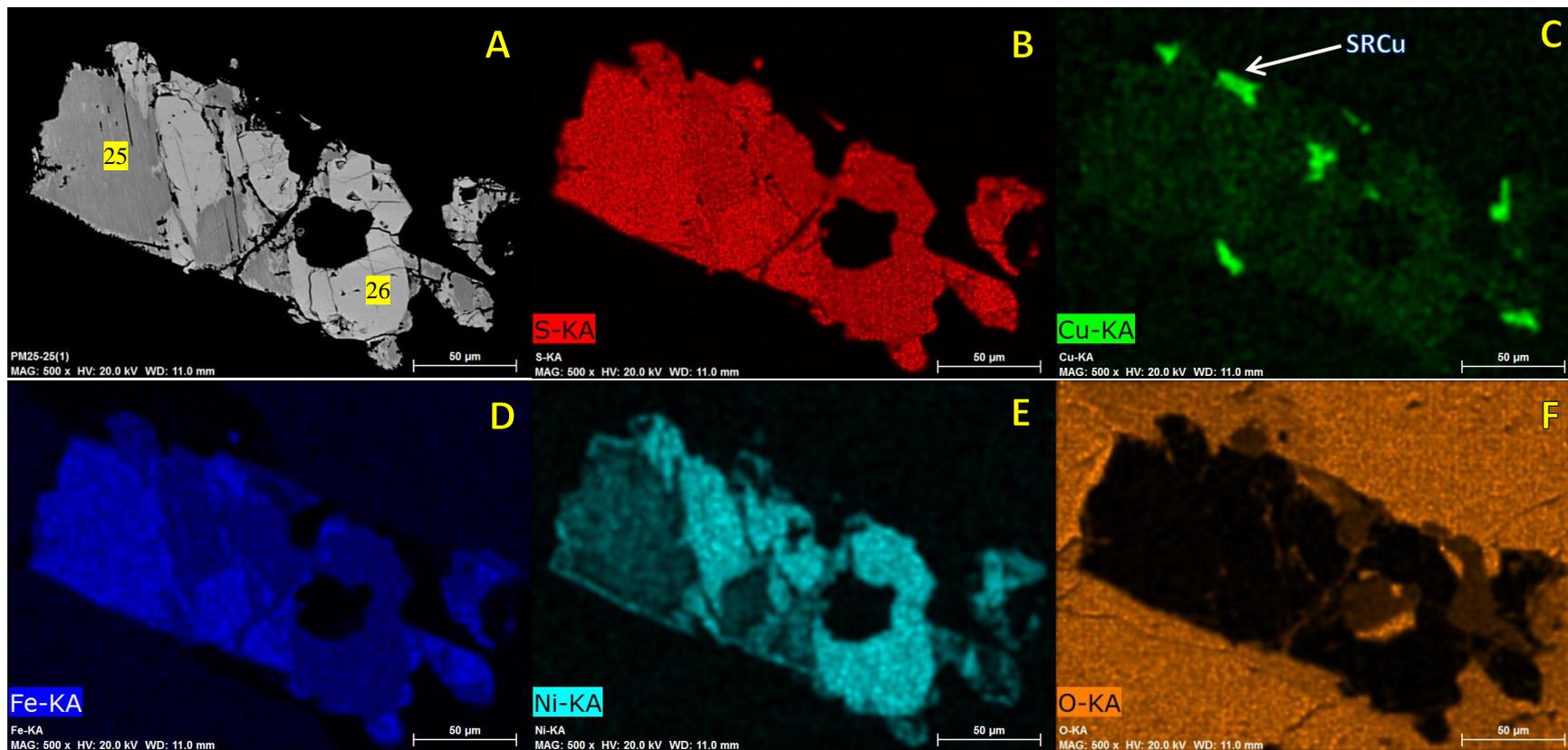


Figura Anexo 11: Sulfuro PM25-25-1A. Imagen de electrones retrodispersados (BEI) (solo A) y Mapas de rayos X de distribución de elementos (B hasta F). (B) Azufre, (C) cobre, (D) hierro, (E) níquel, (F) oxígeno. SRCu: Sulfuro rico en cobre sin análisis de microsonda.

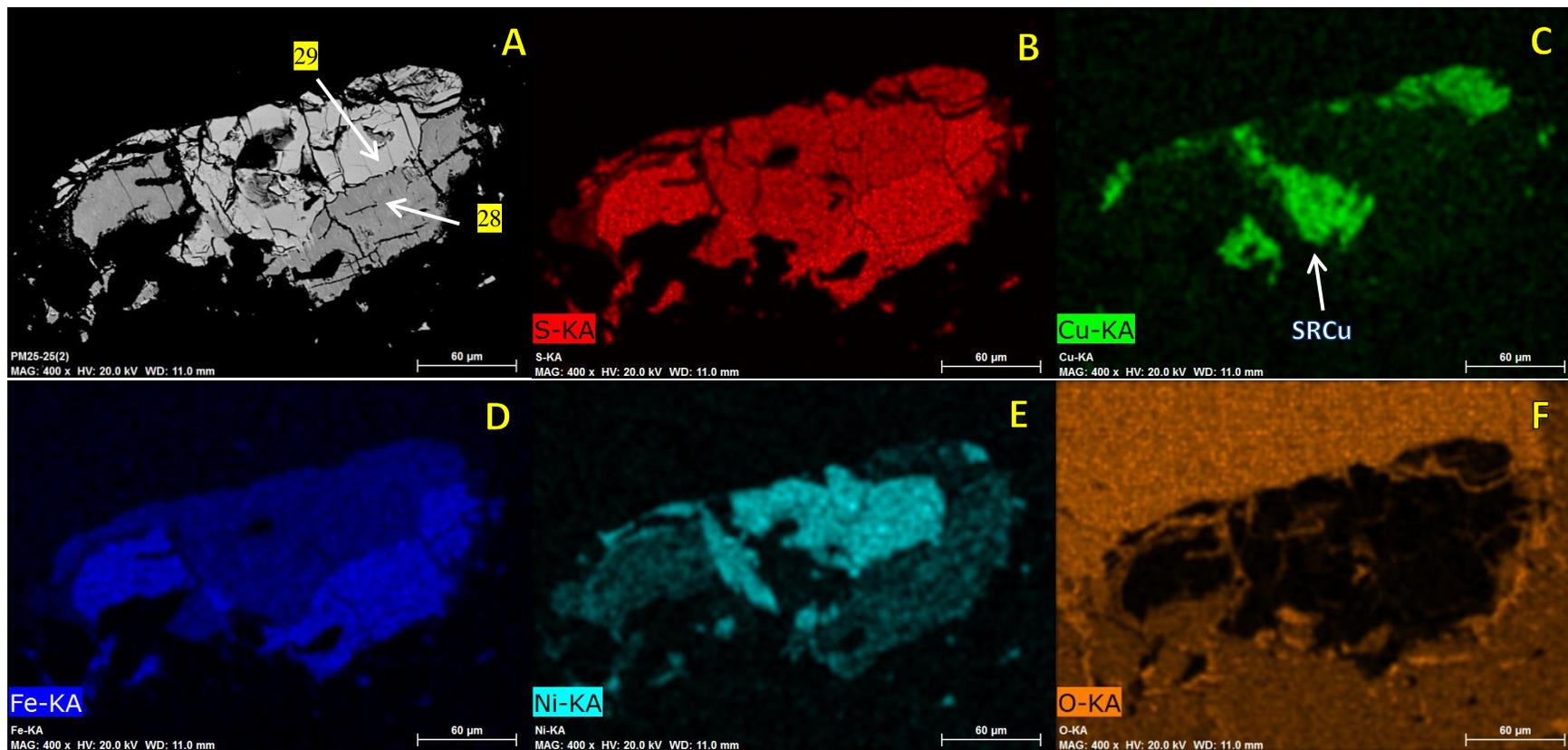


Figura Anexo 12: Sulfuro PM25-25-2. Imagen de electrones retrodispersados (BEI) (solo A) y Mapas de rayos X de distribución de elementos (B hasta F). (B) Azufre, (C) cobre, (D) hierro, (E) níquel, (F) oxígeno. SRCu: Sulfuro rico en cobre sin análisis de microsonda.

PM24-28	
Nombre de la roca	Lherzolita de Sp
Texturas	Protogranular I a levemente Porfiroclástica I
Mineralogía primaria	<p>Sección compuesta por Ol, Opx, Cpx y Sp en orden modal descendente. Ol presenta tamaños entre 0,5 y 4 mm, por su parte Opx muestra tamaños entre 1 y 2,5 mm, a excepción de un cristal de 1,8x4,6 mm, ambos minerales con bordes rectos. Cpx se observa con cristales entre 0,5 y 1,3 mm, con formas irregulares y dispersos en la lámina. Sp es escasa, se observan algunos cristales vermiculares con tamaños inferiores a 1 mm, con leves bordes de reacción esponjosos.</p> <p>Además se observan pequeños cristales romboédricos en zonas vítreas, parcialmente reabsorbidos, con reflectividad baja-media a luz reflejada (óxidos de hierro?).</p> <p>Texturalmente, se observan Cpx totalmente esponjosos asociados frecuentemente con el basalto hospedante, así como bordes esponjosos en Opx y reacción en cristales de Ol ubicados próximos al basalto.</p>
Sulfuros	1A) Tipo SZR; FA: Pn+Cp+PnCu (13,9 at.% Cu); Ubicado en zona vítrea entre granos de Ol; Forma elipsoidal; Figura Anexo 14 muestra removilización de Cu a través del clivaje de Pn.
	1B) Tipo SZR; FA: MSS; Ubicado en zona vítrea entre granos de Ol; Forma esférica.
	2) Tipo SZR; FA: Pn; Ubicado en borde vítreo de Ol; Forma ovoide.
Observaciones	Xenolito muestra intensa percolación de basalto hospedante, con desarrollo de vetillas pardas asociadas comúnmente al mismo.

Tabla Anexo 7: Ficha descripción corte transparente pulido PM24-28. FA: Fases registrada con análisis en microsonda; Pn: Pentlandita; Cp: Calcopirita.

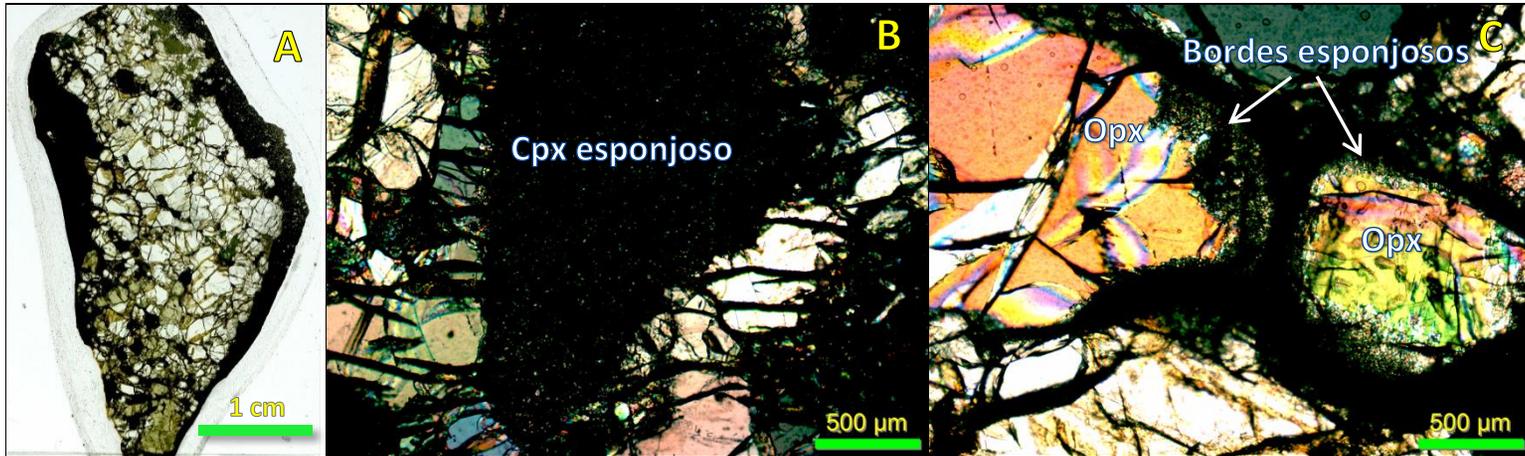


Figura Anexo 13: Muestra PM24-28. (A) Imagen corte obtenida con escáner Epson. Fotomicrografías a luz transmitida-nicoles cruzados: (B) mostrando Cpx totalmente esponjoso y (C) Opx con bordes esponjosos.

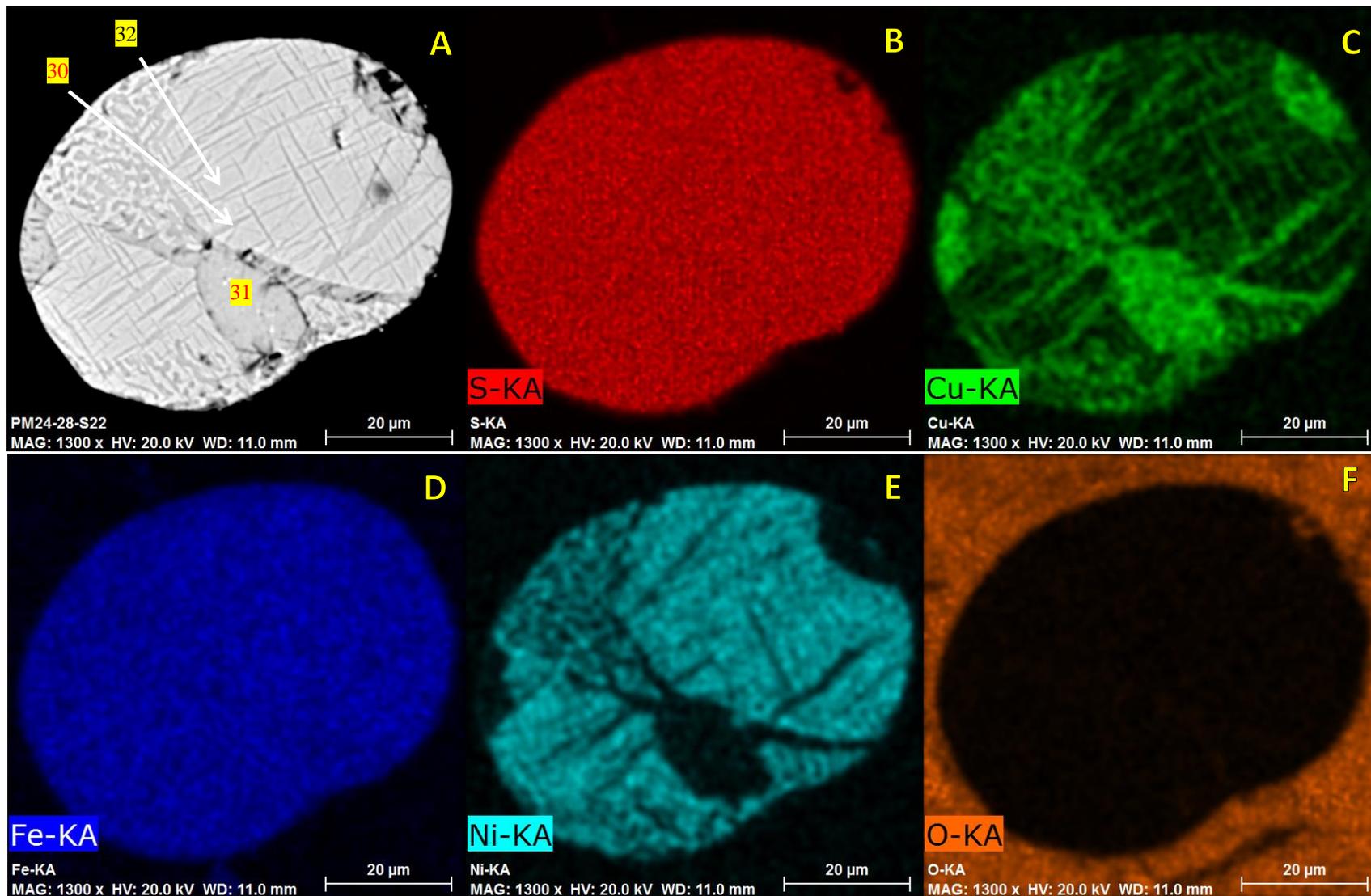


Figura Anexo 14: Sulfuro PM24-28-1A. Imagen de electrones retrodispersados (BEI) (solo A) y Mapas de rayos X de distribución de elementos (B hasta F). (B) Azufre, (C) cobre, (D) hierro, (E) níquel, (F) oxígeno.

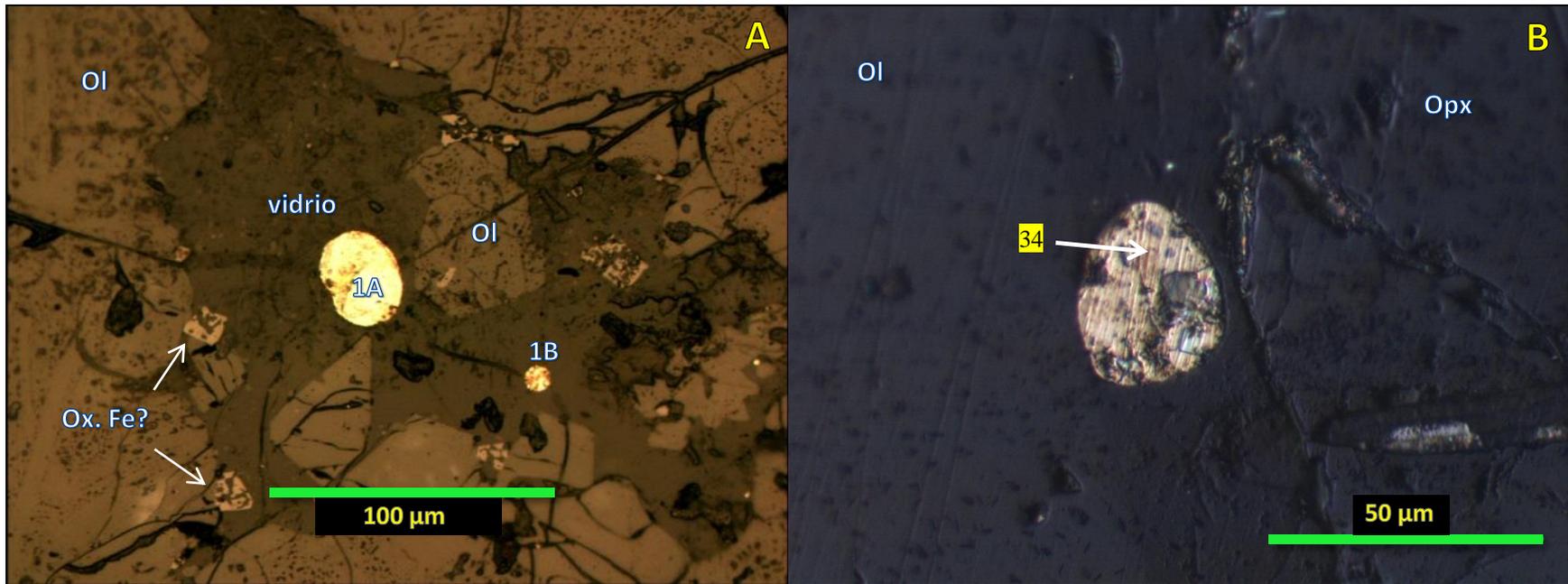


Figura Anexo 15: Sulfuro PM24-28. Fotomicrografías a luz reflejada-nicoles paralelos: (A) sulfuros PM24-28-1A y 1B, (B) sulfuro PM24-28-2.

PM24-31	
Nombre de la roca	Lherzolita de Sp
Texturas	Protogranular I.
Mineralogía primaria	Sección compuesta por Ol, Opx, Cpx y Sp en orden modal descendente. Ol presenta cristales fracturados con tamaños entre 0,5 y 2 mm y bordes rectos a redondeados. Opx muestra un fenocristal de 4 mm, con una inclusión de Ol (0,4 mm), bordes de reacción esponjosos (0,2 mm) y desarrollo de bandas de deformación. En general, Opx presenta tamaños entre 1 y 2,5 mm, levemente elongados con bordes esponjosos (0,1-0,2 mm). Escasos Cpx primarios son observados, entre 0,5 y 1 mm, con bordes esponjosos (0,1-0,3 mm) muy similares a los descritos en Opx. Debido a lo mismo, la ocurrencia de cristales totalmente esponjosos entre 0,5 y 3 mm, no permite determinar con certeza si se trata de desestabilización de Opx o Cpx primarios. Sp muestra tamaños inferiores a 1.5 mm, con formas vermiculares a subhedrales, reflectividad baja-media a luz reflejada (óxidos de Fe?) y mostrando ocasionalmente bordes de reacción esponjosos.
Sulfuros	1A) Tipo SZR; FA: Pn; Ubicado en zona esponjosa en Opx; Forma esférica.
	1B) Tipo SZR; FA: Cp; Ubicado en zona esponjosa en Opx; Forma irregular dada por espacio intercrystalino.
	1C) Tipo SZR; FA: Pn; Ubicado en zona esponjosa en Opx; Forma irregular dada por espacio intercrystalino.
	2) Tipo SI; FA: Pn+Cp; Ubicado en vetilla irregular en Opx; Forma esférica a levemente irregular; Figura Anexo 18 muestra percolación de fase silicatada en contacto nítido con sulfuros.
Observaciones	Xenolito muestra intensa percolación de basalto hospedante, con desarrollo de vetillas pardas asociadas al mismo.

Tabla Anexo 8: Ficha descripción corte transparente pulido PM24-31. FA: Fases registrada con análisis en microsonda; Pn: Pentlandita; Cp: Calcopirita.

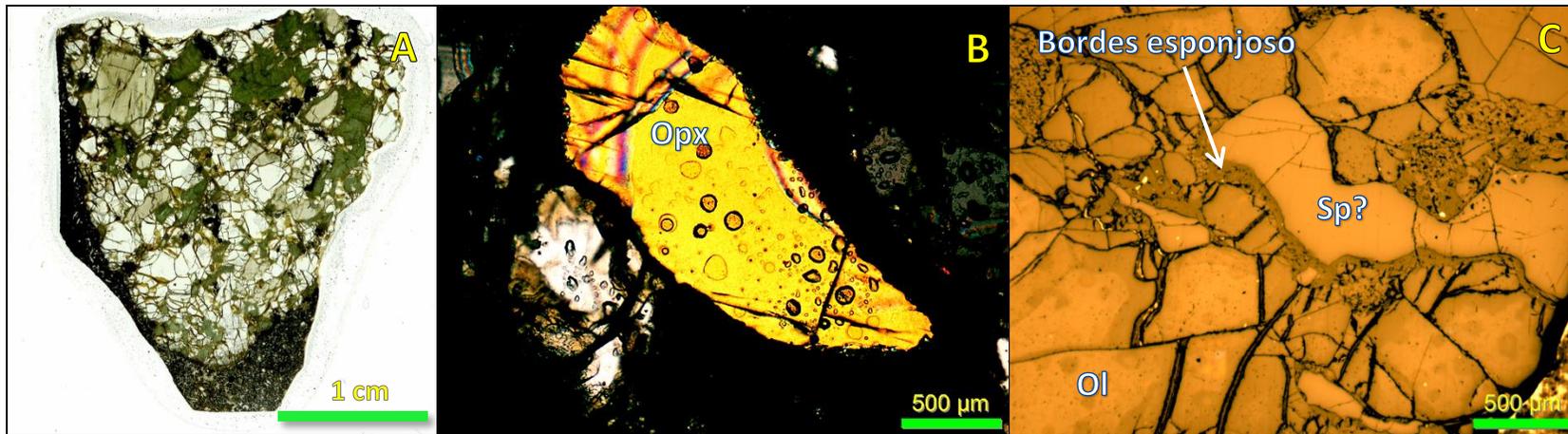


Figura Anexo 16: Muestra PM24-31. (A) Imagen corte obtenida con escáner Epson. (B) Fotomicrografía a luz transmitida-nicoles cruzados mostrando bordes esponjosos en Opx. (C) Fotomicrografía a luz reflejada-nicoles paralelos mostrando Sp? vermicular con bordes esponjosos.

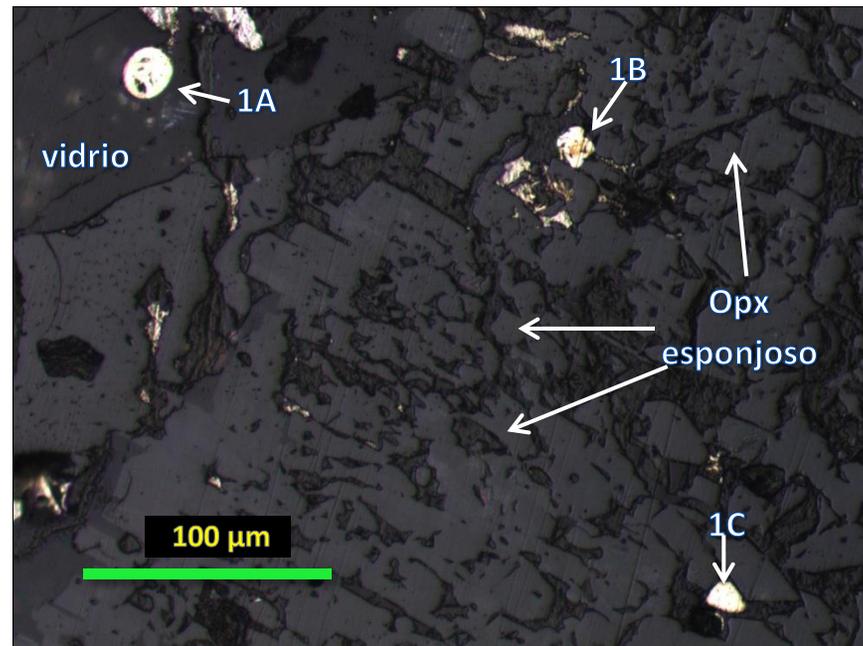


Figura Anexo 17: Sulfuros PM24-31-1A, 1B y 1C.

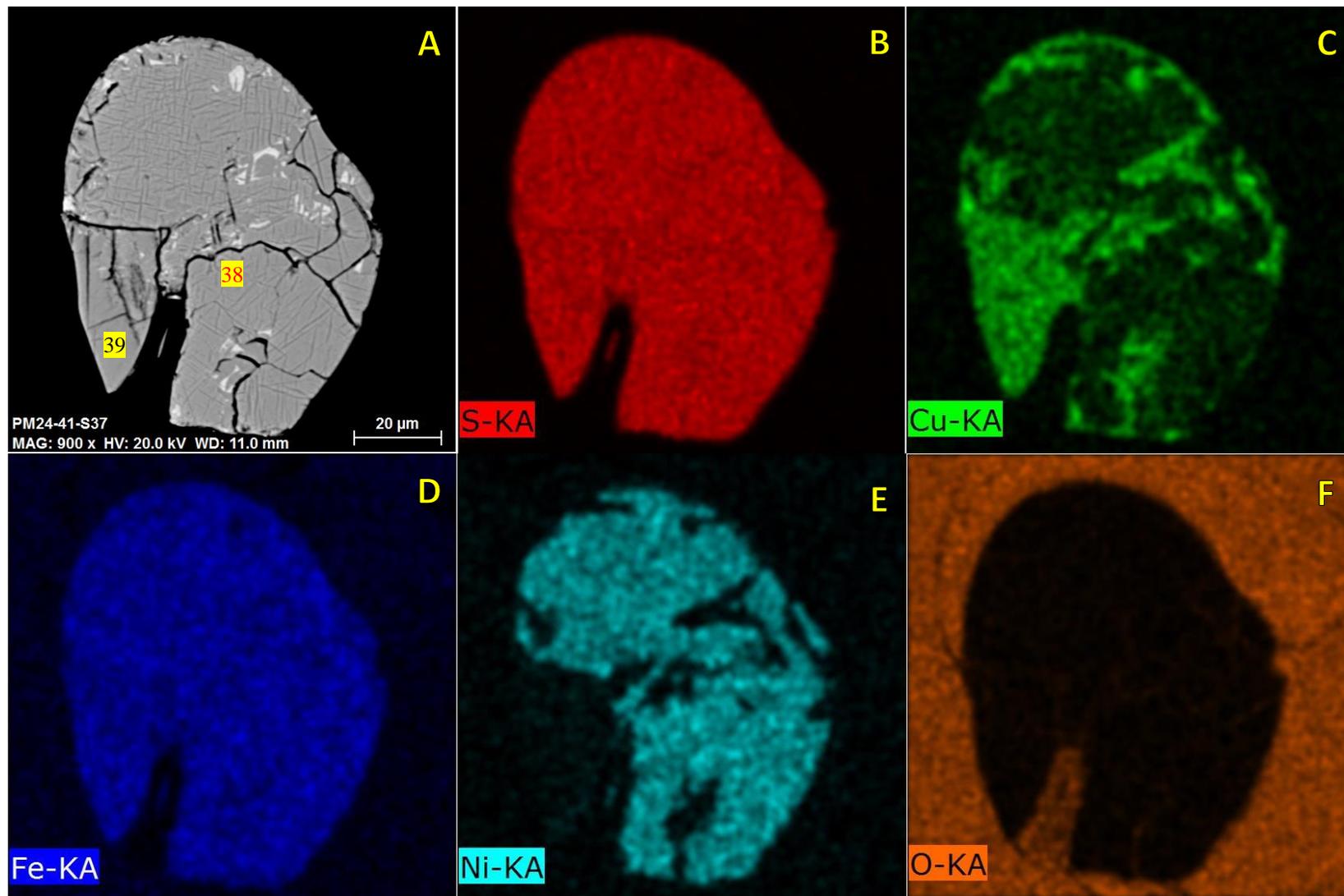


Figura Anexo 18: Sulfuro PM24-31-2. Imagen de electrones retrodispersados (BEI) (solo A) y Mapas de rayos X de distribución de elementos (B hasta F). (B) Azufre, (C) cobre, (D) hierro, (E) níquel, (F) oxígeno.

PM24-40	
Nombre de la roca	Lherzolita de Sp
Texturas	Protogranular I.
Mineralogía primaria	Sección compuesta por Ol, Opx, Cpx y Sp en orden modal descendente. Ol presenta cristales fracturados con tamaños entre 0,5 y 2,5 mm y bordes rectos a redondeados. Opx muestra un fenocristal de 1,3x4 mm, con bordes de reacción esponjosos o nubosos (0,2 mm) y desarrollo de bandas de deformación. En general, Opx presenta tamaños entre 0,8 y 2 mm, levemente elongados con bordes esponjosos (0,1-0,2 mm) y contactos rectos a redondeados. No se observan cristales limpios de Cpx, aunque la ocurrencia de cristales totalmente esponjosos, entre 0,4 y 1 mm, con tonalidades levemente verdosas (a luz transmitida, nicoles paralelos) comparadas con los bordes de reacción de Opx, sugiere la desestabilización total de Cpx. Estos últimos poseen formas vermiculares con bordes redondeados a rectos. Sp es escasa, con tamaños cercanos a 1 mm y formas irregulares, asociados comúnmente a Cpx. Además, se observan pequeños cristales romboédricos opacos en zonas vítreas, parcialmente reabsorbidos, con reflectividad baja-media a luz reflejada (óxidos de hierro?).
Sulfuros	1A) Tipo SZR; FA: Cp+Cb; Ubicado en zona vítrea cercana a borde esponjoso de Opx; Forma esférica; Figura Anexo 21 muestra bordes pocos nítidos entre fases sulfuradas, además de presencia de oxidación y sulfuro rico en níquel no analizado (SRNi).
	1B) Tipo SZR; FA: Pn; Ubicado en zona vítrea cercana a borde esponjoso de Opx; Forma esférica.
	1C) Tipo SZR; FA: Pn; Ubicado en zona vítrea cercana a borde esponjoso de Opx; Forma esférica.
	2) Tipo SZR; FA: Pn+Cp; Ubicado en zona vítrea entre granos de Ol; Forma esférica con bordes irregulares; Figura Anexo 22 muestra bordes nítidos entre Cp y Pn, con la primera ubicada en los bordes y en centro de la inclusión.
Observaciones	Xenolito muestra intensa percolación de basalto hospedante, con desarrollo de vetillas pardas (a nicoles paralelos) asociadas al mismo.

Tabla Anexo 9: Ficha descripción corte transparente pulido PM24-40. FA: Fases registrada con análisis en microsonda; Pn: Pentlandita; Cp: Calcopirita; Cb: Cubanita.



Figura Anexo 19: Muestra PM24-40. (A) Imagen corte obtenida con escáner Epson. (B)(C) Fotomicrografías a luz transmitida-nicoles paralelos y luz reflejada-nicoles paralelos mostrando bordes esponjosos en Opx y zona vítrea con cristales romboédricos opacos e sulfuros PM24-40-1A, 1B y 1C.

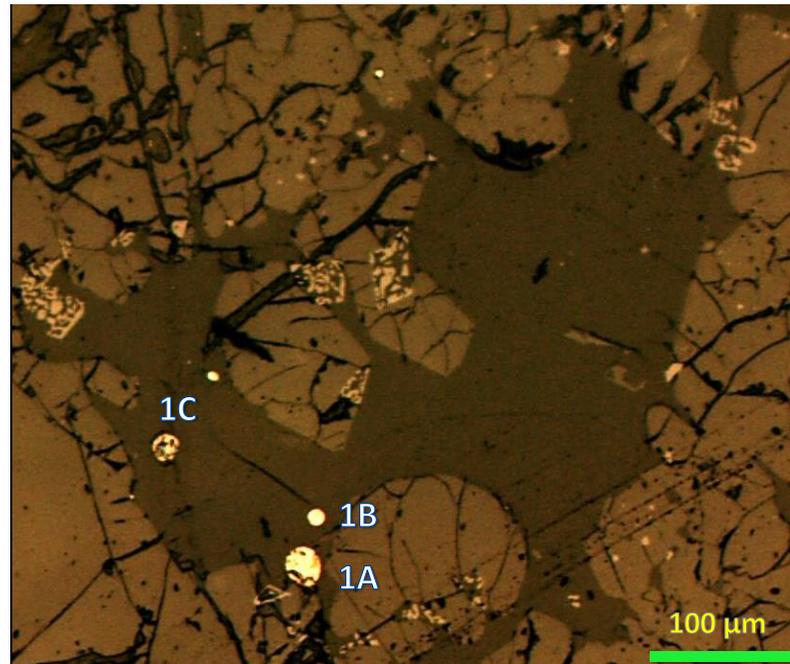


Figura Anexo 20: Sulfuros PM24-40-1A, 1B y 1C. Fotomicrografía a luz reflejada-nicoles paralelos

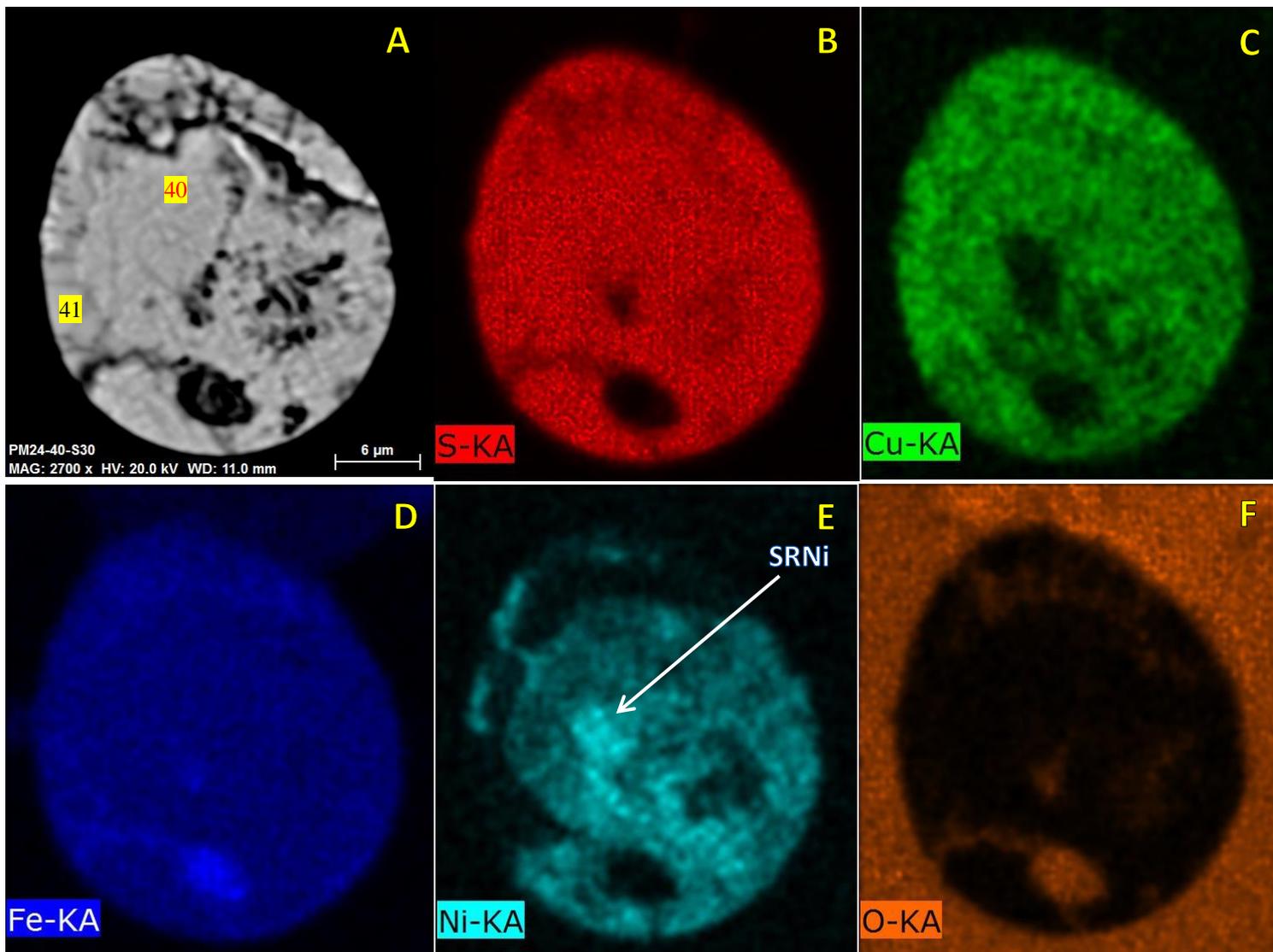


Figura Anexo 21: Sulfuro PM24-40-1A. Imagen de electrones retrodispersados (BEI) (solo A) y Mapas de rayos X de distribución de elementos (B hasta F). (B) Azufre, (C) cobre, (D) hierro, (E) níquel, (F) oxígeno. SRNi: Sulfuro rico en níquel sin análisis de microsonda.

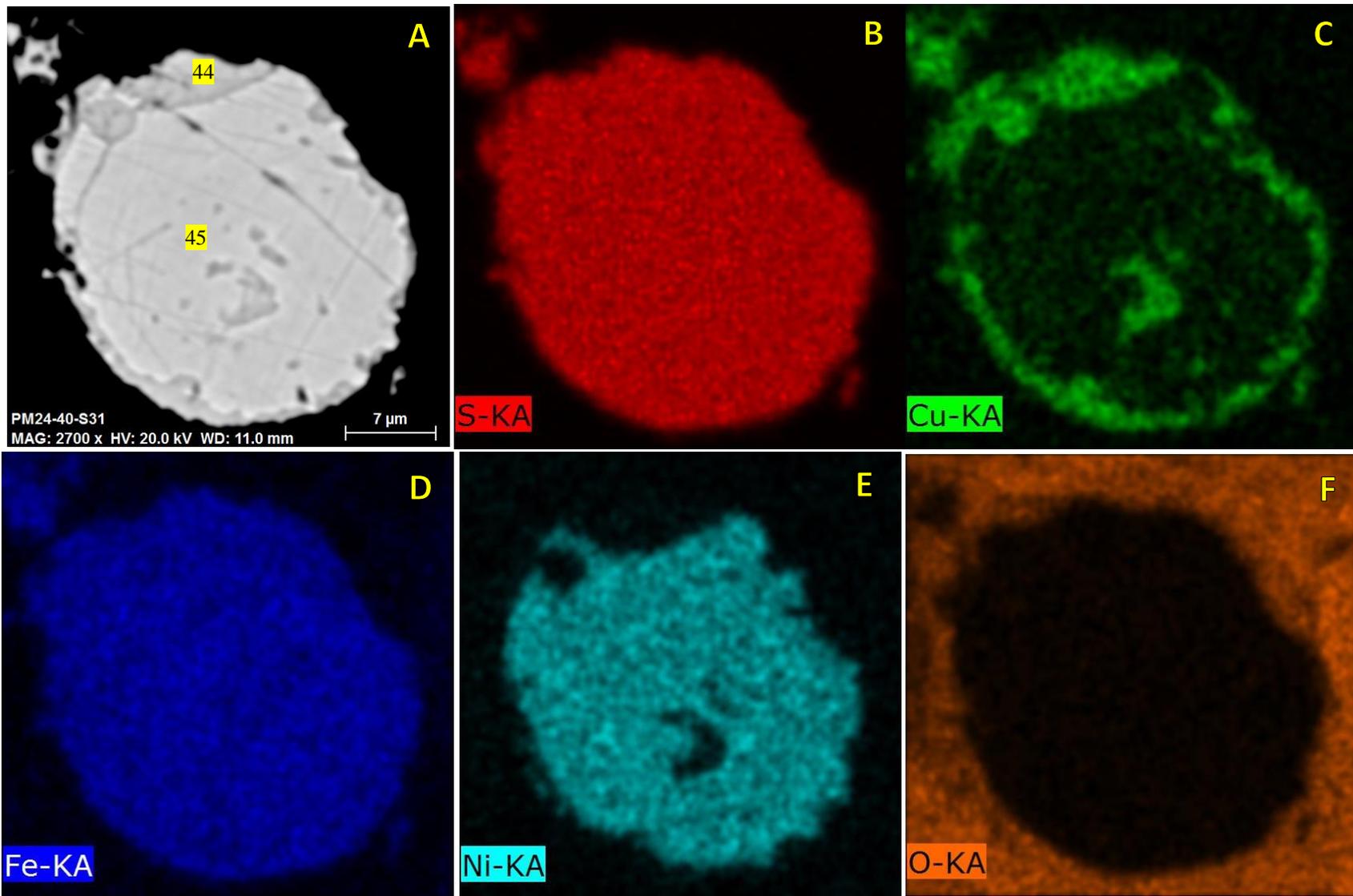


Figura Anexo 22: Sulfuro PM24-40-2. Imagen de electrones retrodispersados (BEI) (solo A) y Mapas de rayos X de distribución de elementos (B hasta F). (B) Azufre, (C) cobre, (D) hierro, (E) níquel, (F) oxígeno.

PM24-41	
Nombre de la roca	Lherzolita de Sp
Texturas	Protogranular I
Mineralogía primaria	Sección compuesta por Ol, Opx, Cpx y Sp en orden modal descendente. Ol presenta cristales fracturados con tamaños entre 0,5 y 3 mm y bordes rectos a redondeados. Piroxenos escasos, solo Opx muestra un cristal limpio de 0,5x1,2 mm, con leves bordes esponjosos (0,1 mm) y contactos redondeados a rectos. Los restantes corresponden a cristales totalmente esponjosos entre 0,4 y 1 mm, con formas vermiculares y bordes redondeados a levemente rectos. Sp es escasa, con formas irregulares, entre granos de Ol y en contacto con el basalto hospedante. Además se observan pequeños cristales romboédricos en zonas vítreas, parcialmente reabsorbidos, con reflectividad baja-media a luz reflejada (óxidos de hierro?).
Sulfuros	1) Tipo SZR; FA: Pn+Cp; Ubicado en zona vítrea entre granos de Ol; Forma elipsoidal con bordes irregulares; Figura Anexo 24 muestra reemplazo a través del clivaje de Pn por Cp.
	2A) Tipo SZR; FA: Pn+Cp; Ubicado en Opx totalmente esponjoso; Forma irregular dada por espacio intercrystalino; Figura Anexo 25 muestran contactos rectos entre Cp y Pn.
	2B) Tipo SZR; FA: Pn; Ubicado en zona vítrea cercana a Opx esponjoso; Forma irregular.
	2C) Tipo SZR; FA: Pn; Ubicado en Opx totalmente esponjoso; Forma irregular.
Observaciones	Xenolito muestra percolación de basalto hospedante, con desarrollo de vetillas pardas (a nicoles paralelos) asociadas al mismo.

Tabla Anexo 10: Ficha descripción corte transparente pulido PM24-41. FA: Fases registrada con análisis en microsonda; Pn: Pentlandita; Cp: Calcopirita.

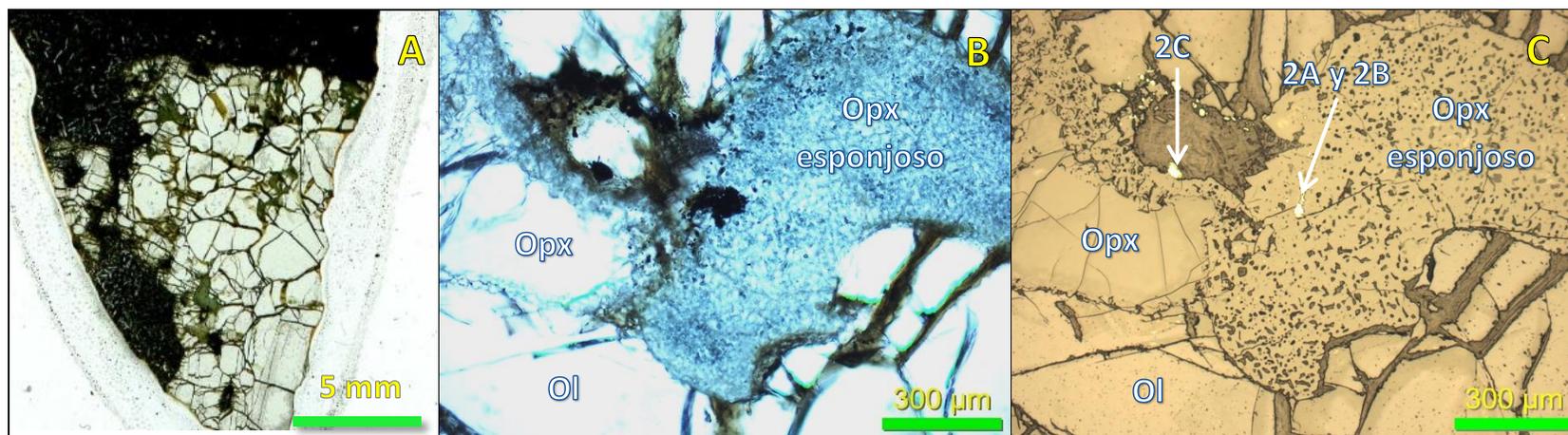


Figura Anexo 23: Muestra PM24-41. (A) Imagen corte obtenida con escáner Epson. (B)(C) Fotomicrografías a luz transmitida-nicoles paralelos y luz reflejada-nicoles paralelos mostrando Opx esponjoso y ubicación de sulfuros PM24-41-2A, 2B y 2C.

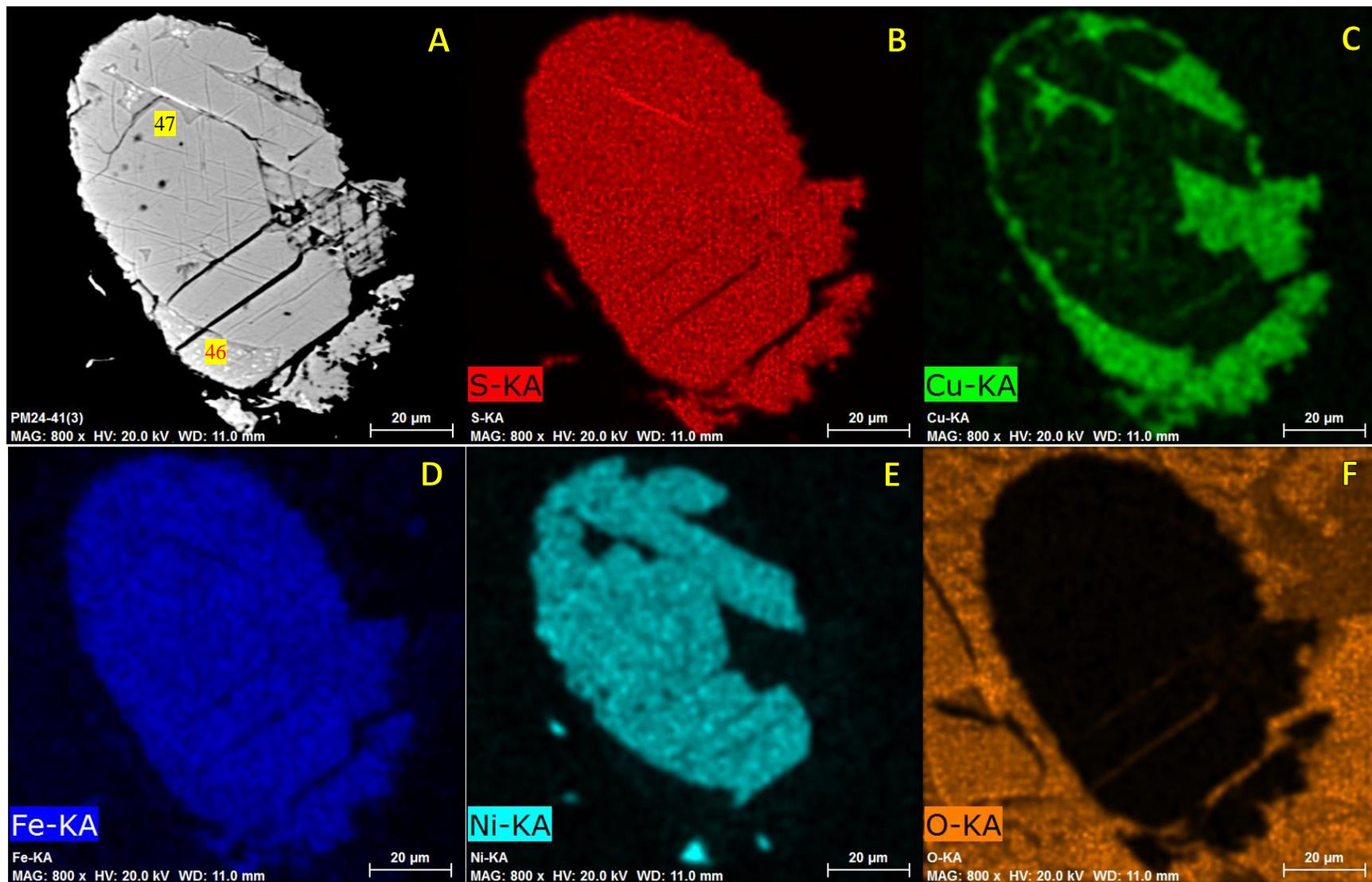


Figura Anexo 24: Sulfuro PM24-41-1. Imagen de electrones retrodispersados (BEI) (solo A) y Mapas de rayos X de distribución de elementos (B hasta F). (B) Azufre, (C) cobre, (D) hierro, (E) níquel, (F) oxígeno.

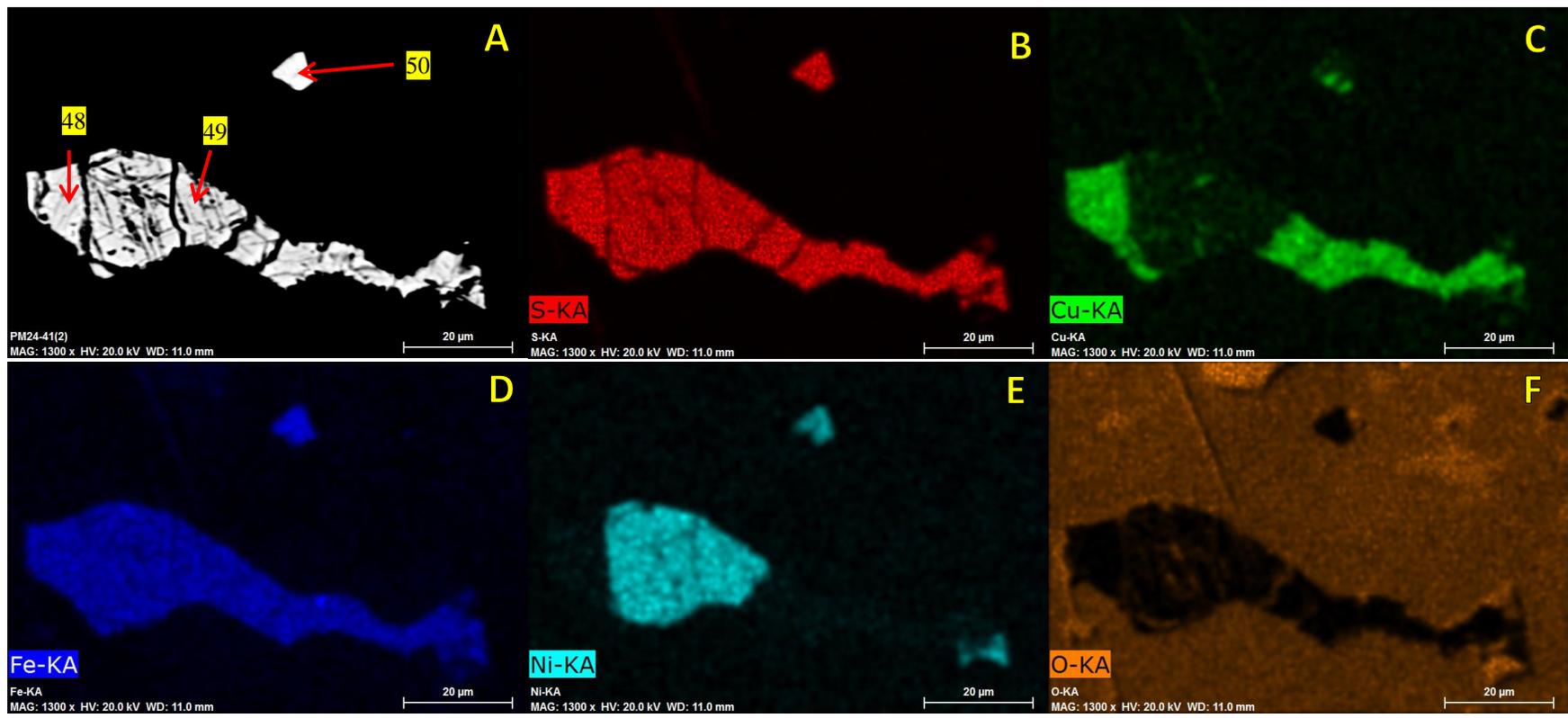


Figura Anexo 25: Inclusiones PM24-41-2A y 2B. Imagen de electrones retrodispersados (BEI) (solo A) y Mapas de rayos X de distribución de elementos (B hasta F). (B) Azufre, (C) cobre, (D) hierro, (E) níquel, (F) oxígeno.

PM27A-09	
Nombre de la roca	Lherzolita de Sp
Texturas	Protogranular I
Mineralogía primaria	Sección compuesta por Ol, Opx, Cpx y Sp en orden modal descendente. Ol presenta cristales con tamaños entre 1 y 4 mm y bordes redondeados a levemente rectos. Opx muestra tamaños entre 0,5 y 2,5 mm, con formas levemente elongadas y bordes redondeados. Cpx se observa con tamaños entre 0,5 y 1,5 mm, con bordes esponjosos (0,1 mm) y contactos redondeados. Sp muestra formas vermiculares a subhedrales, asociadas a Opx, con tamaños cercanos a 1 mm. Texturalmente, también se observa reacción de Opx y Ol en contacto directo con el basalto hospedante.
Sulfuros	1A) Tipo SI; FA: Pn; Ubicado en fractura en cristal de Ol; Forma ovoide.
	1B) Tipo SI; FA: Pn; Ubicado en fractura en cristal de Ol; Forma irregular.
	2A) Tipo SA; FA: Pn; Secuencia de inclusiones fluidas y sulfuradas en Ol.
	2B) Tipo SA; FA: Pn; Secuencia de inclusiones fluidas y sulfuradas en Ol.
	3A) Tipo SA; FA: Pn; Ubicado en fractura sanada en Opx.
	3B) Tipo SA; FA: Pn; Ubicado en fractura sanada en Opx.
Observaciones	Xenolito pequeño, percolado levemente por el basalto hospedante.

Tabla Anexo 11: Ficha descripción corte transparente pulido PM27A-09. FA: Fases registrada con análisis en microsonda; Pn: Pentlandita.

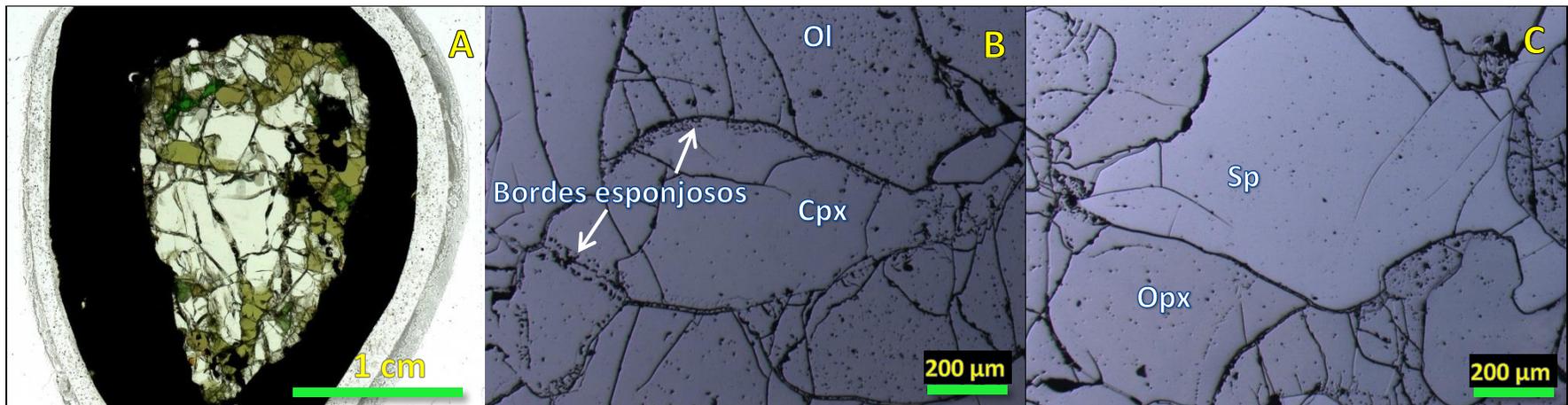


Figura Anexo 26: Muestra PM27A-09. (A) Imagen corte obtenida con escáner Epson. Fotomicrografías a luz reflejada-nicoles paralelos: (B) bordes esponjosos en Cpx; (C) Sp en contacto con Opx.

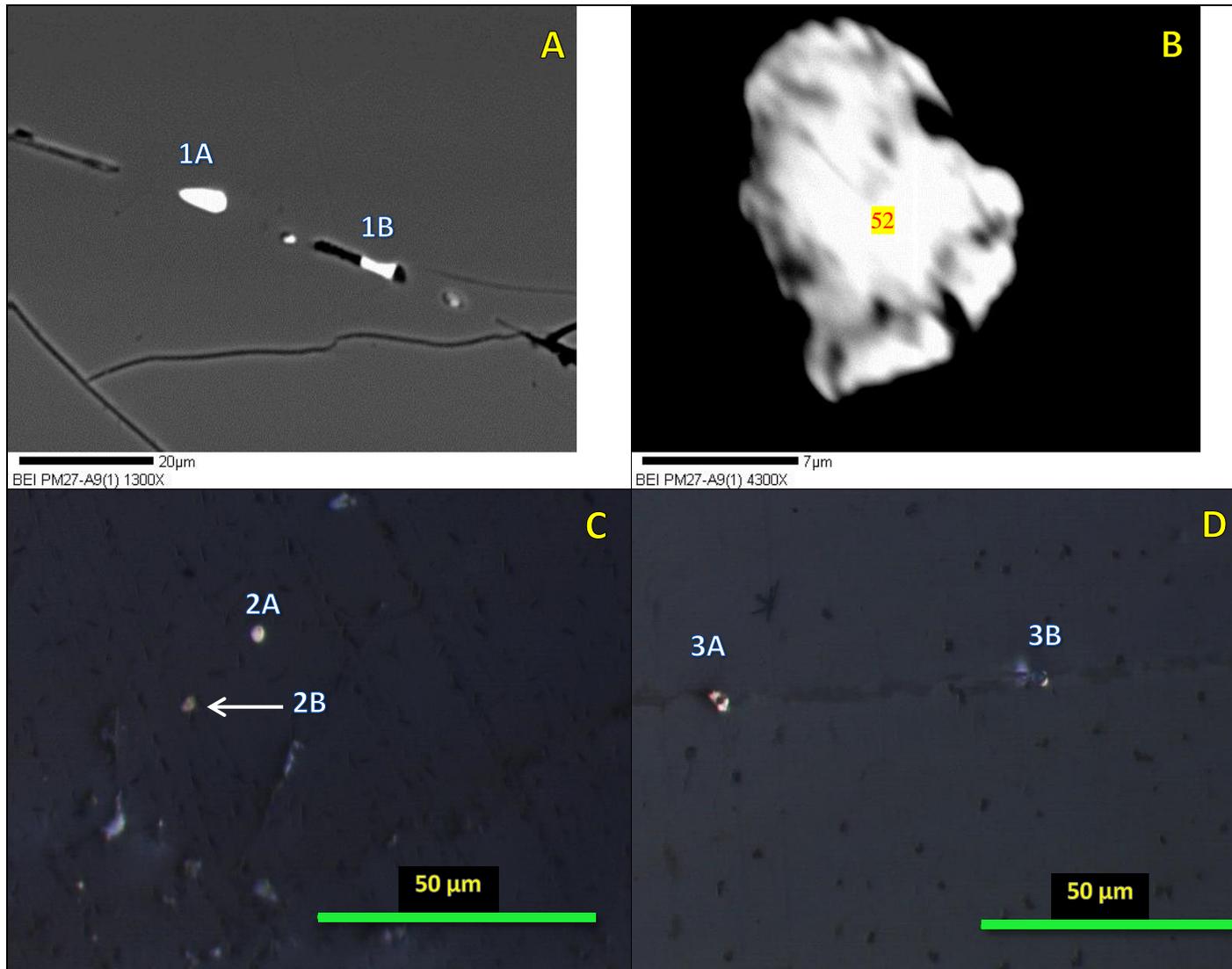


Figura Anexo 27: Sulfuros PM27A-09. Imágenes BEI:(A) sulfuros PM27A-09-1A y 1B, (B) sulfuro PM27A-09-1A. Fotomicrografías a luz reflejada-nicoles paralelos: (C) sulfuros PM27A-09-2A y 2B, (D) sulfuros PM27A-09-3A y 3B.

PM27A-28	
Nombre de la roca	Lherzolita de Sp
Texturas	Protogranular I
Mineralogía primaria	Sección compuesta por Ol, Opx, Cpx y Sp en orden modal descendente. Ol y Opx presentan cristales con tamaños similares entre 1 y 3 mm, además de bordes rectos a levemente redondeados. Cpx se observa con tamaños entre 0,5 y 2 mm, con escasos bordes esponjosos, formas levemente elongadas irregulares y contactos rectos a redondeados. Sp muestra formas vermiculares alargadas, asociadas a Opx y Cpx, con tamaños inferiores a 2 mm, además de bordes de reacción en contacto con Cpx. Texturalmente, se observa leve reacción de Opx y Ol en contacto directo con el basalto hospedante.
Sulfuros	1) Tipo SZR; FA: Pn; Ubicado en zona esponjosa en Opx; Forma irregular (anhedral).
	2A) Tipo SZR; FA: Pn+MSS; Ubicado en zona esponjosa en Cpx; Forma irregular (anhedral).
	2B) Tipo SAS; FA: MSS; Ubicado en zona esponjosa en Cpx; Forma esférica con bordes estrellados.
	3) Tipo SAS; FA: Pn; Hospedada en Ol; Forma irregular.
Observaciones	Xenolito pequeño, percolado por basalto hospedante.

Tabla Anexo 12: Ficha descripción corte transparente pulido PM27A-28. FA: Fases registrada con análisis en microsonda; Pn: Pentlandita; MSS: Solución sólida monosulfurada.

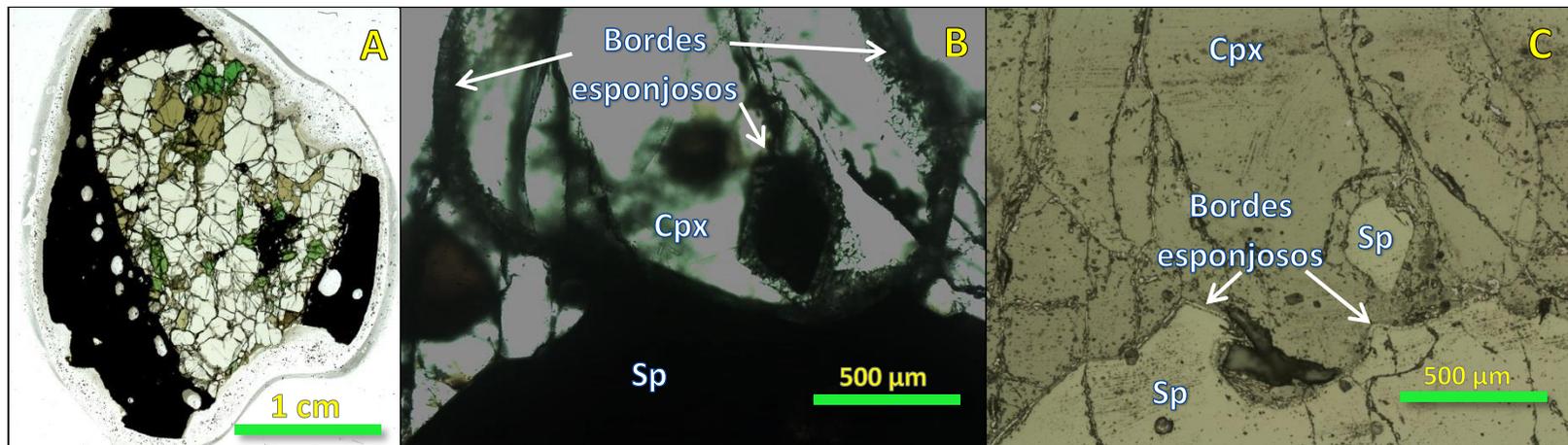


Figura Anexo 28: Muestra PM27A-28. (A) Imagen corte obtenida con escáner Epson. (B)(C) Fotomicrografías a luz transmitida-nicoles paralelos y luz reflejada-nicoles paralelos mostrando bordes esponjosos en Cpx y Sp, e inclusión de Sp en Cpx.

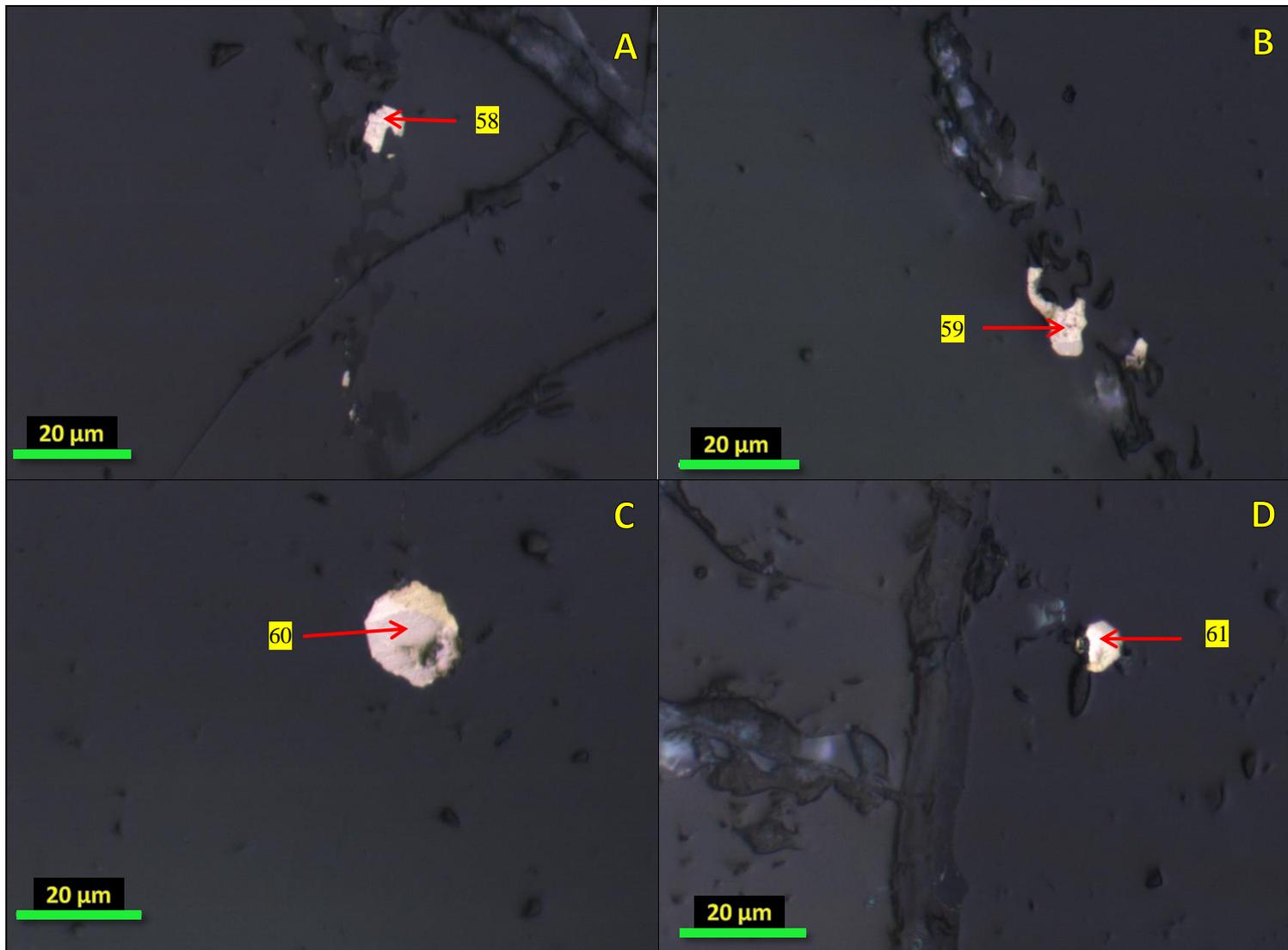


Figura Anexo 29: Sulfuros PM27A-28. Fotomicrografías a luz reflejada-nicoles paralelos: (A) sulfuro PM27A-28-1, (B) sulfuro PM27A-28-2A, (C) sulfuro PM27A-28-2B, (D) sulfuro PM27A-28-3.

PM27B-01B	
Nombre de la roca	Lherzolita de Sp
Texturas	Protogranular I
Mineralogía primaria	Sección compuesta por Ol, Opx, Cpx y Sp en orden modal descendente. Ol presenta cristales levemente fracturados, con tamaños entre 1 y 4 mm, además de bordes rectos a redondeados. Opx muestra tamaños entre 1 y 5 mm, con formas irregulares, bordes rectos a redondeados. Cpx se observa con tamaños entre 0,5 y 2 mm, con bordes de reacción esponjosos, formas levemente elongadas y contactos rectos a levemente redondeados. Sp muestra tamaños inferiores a 0,5 mm, mostrando reacción parcial (en bordes) y total, asociado comúnmente con el basalto hospedante. Texturalmente, también se observa leve reacción de Opx y Ol en contacto directo con el basalto hospedante.
Sulfuros	1) Tipo SAS; FA: Pn+Cp; Hospedado en fenocristal de Opx; Forma poligonal; Figura Anexo 31 muestra bordes nítidos entre las fases sulfuradas.
	2) Tipo SZR; FA: Pn; Ubicado en zona de reacción en Ol; Forma levemente poligonal..
Observaciones	Xenolito pequeño, percolado por basalto hospedante.

Tabla Anexo 13: Ficha descripción corte transparente pulido PM27B-01B. FA: Fases registrada con análisis en microsonda; Pn: Pentlandita; Cp: Calcopirita.

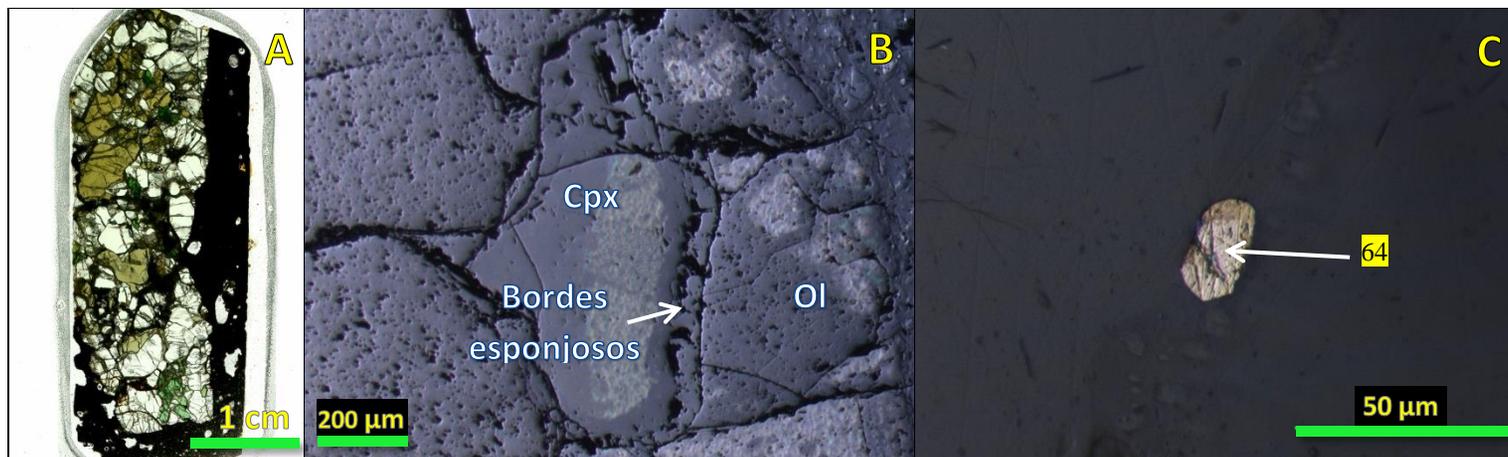


Figura Anexo 30: Muestra PM27B-01B. (A) Imagen corte obtenida con escáner Epson. Fotomicrografías a luz reflejada-nicoles paralelos: (B) bordes esponjosos en Cpx; (C) sulfuro PM27B-01B-2.

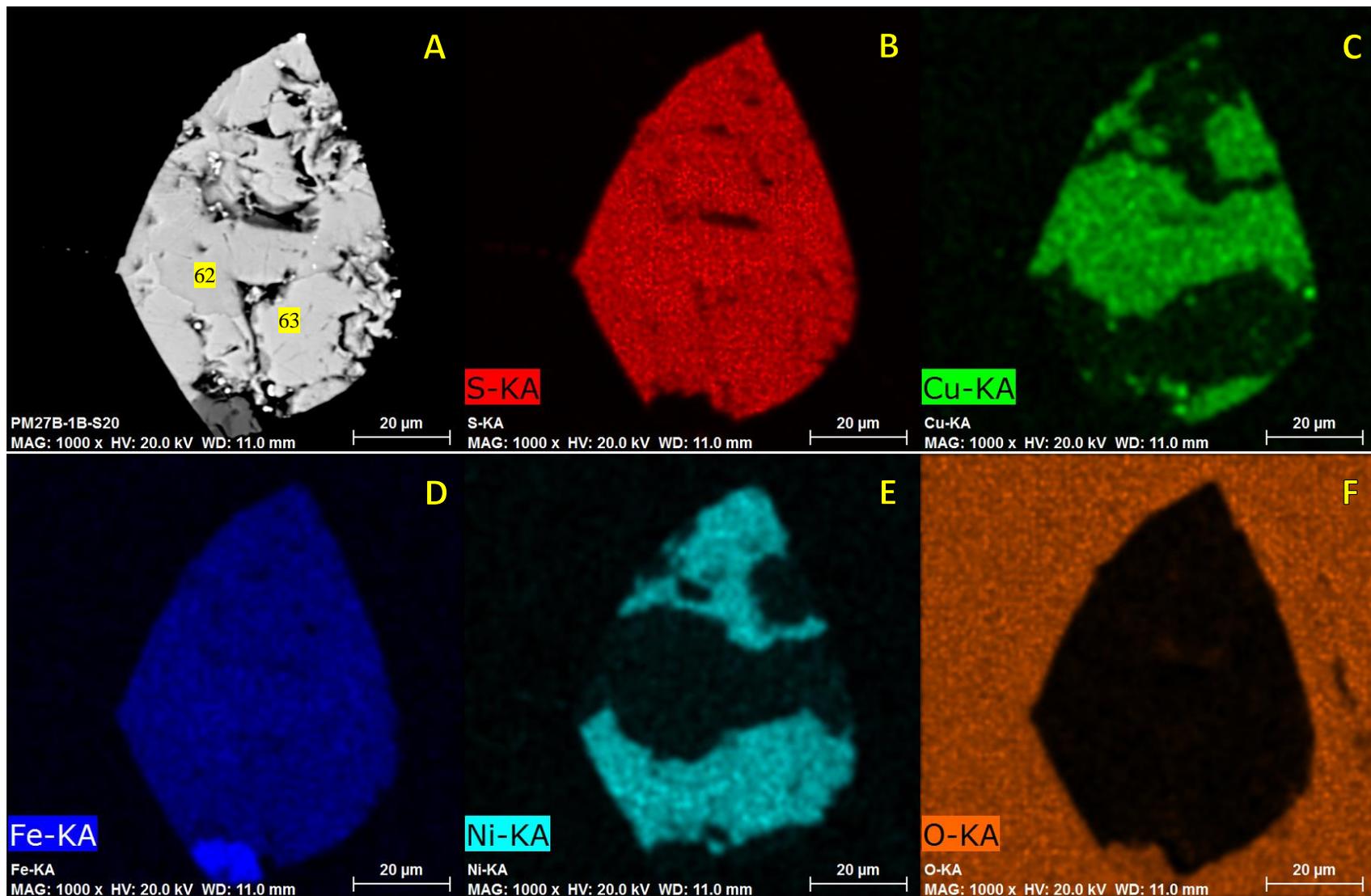


Figura Anexo 31: Sulfuro PM27B-01B-1. Imagen de electrones retrodispersados (BEI) (solo A) y Mapas de rayos X de distribución de elementos (B hasta F). (B) Azufre, (C) cobre, (D) hierro, (E) níquel, (F) oxígeno.

PM27B-12B	
Nombre de la roca	Lherzolita de Sp
Texturas	Protogranular I
Mineralogía primaria	Sección compuesta por Ol, Cpx, Cpx y Sp en orden modal descendente. Ol presenta tamaños entre 1 y 3 mm con bordes rectos a levemente redondeados. Cpx muestra tamaños entre 1 y 1,5 mm, con bordes de reacción esponjosos y contactos rectos a redondeados. Opx y Sp son escasos, ambos mostrando tamaños cercanos a 1 mm, Sp con formas vermiculares. Texturalmente, también se observa leve reacción de Opx, Ol y Sp en contacto directo con el basalto hospedante.
Sulfuros	1) Tipo SAS; FA: MSS; Hospedado en Ol, muy cerca del basalto (10 μ m); Forma esférica.
	2) Tipo SI; FA: Pn; Ubicado en fractura (vetilla) en Ol; Forma irregular.
Observaciones	Xenolito pequeño, percolado por basalto hospedante.

Tabla Anexo 14: Ficha descripción corte transparente pulido PM27B-12B. FA: Fases registrada con análisis en microsonda; Pn: Pentlandita; MSS: Solución sólida monosulfurada.

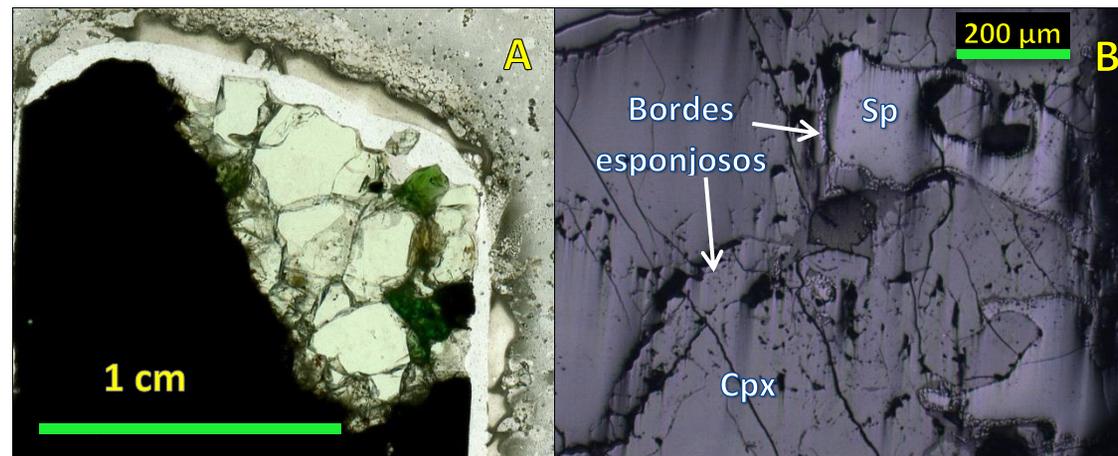


Figura Anexo 32: Muestra PM27B-12B. (A) Imagen corte obtenida con escáner Epson. (B) Fotomicrografía a luz reflejada-nicoles paralelos mostrando bordes esponjosos en Cpx y Sp.

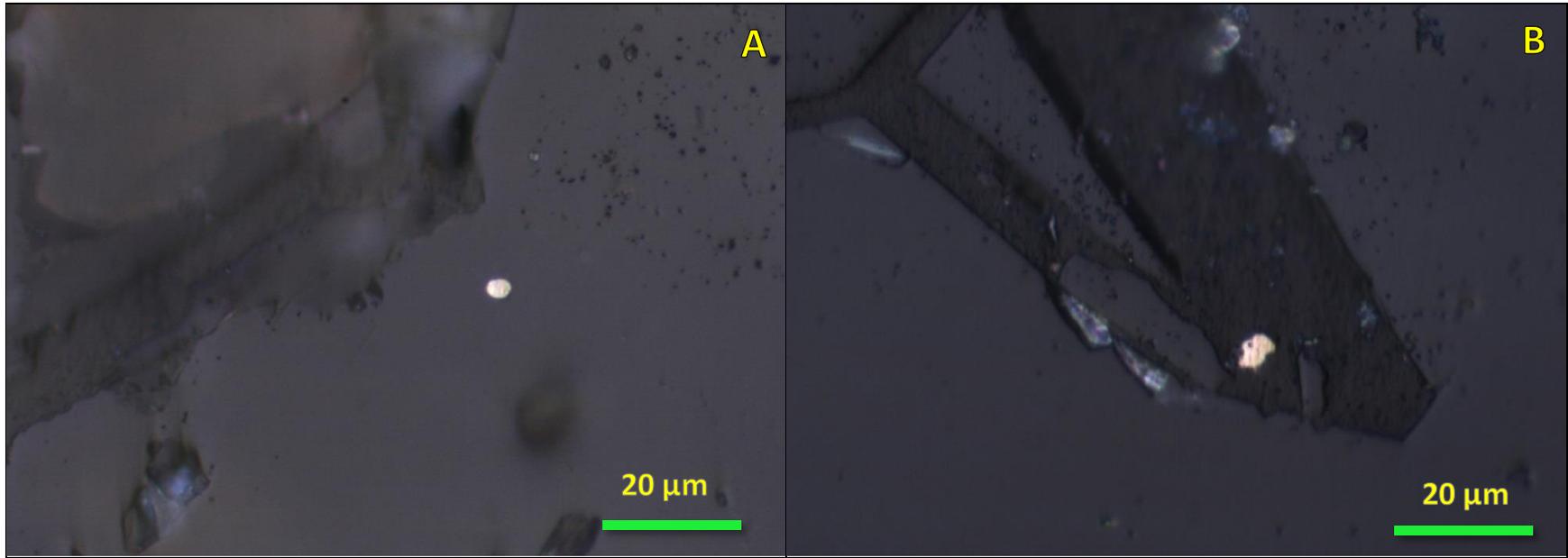


Figura Anexo 33: Sulfuros PM27B-12B. Fotomicrografías a luz reflejada-nicoles paralelos: (B) sulfuro PM27B-12B-1; (C) sulfuro PM27B-12B-2.

PM27B-18	
Nombre de la roca	Lherzolita de Sp
Texturas	Protogranular I a Porfiroclástica I
Mineralogía primaria	Sección compuesta por Ol, Opx, Cpx y Sp en orden modal descendente. Ol presenta cristales levemente fracturados, con tamaños entre 1 y 3 mm y bordes rectos a redondeados. Opx y Cpx muestran tamaños similares cercanos a 2 mm. Opx con bordes rectos a redondeados y Cpx con bordes de reacción esponjosos. Sp muestra formas vermiculares, asociadas preferentemente a Opx y Cpx, con tamaños inferiores a 2 mm. Texturalmente, también se observa leve reacción de Opx, Ol y Sp en contacto directo con el basalto hospedante.
Sulfuros	1) Tipo SAS; FA: MSS+Cp; Hospedado en Ol; Mostrando dos secuencias de pequeñas inclusiones fluidas y sulfuradas; Forma esférica; Figura Anexo 35 muestra franja de sulfuro rico en Ni no analizado (SRNi) entre Cp y MSS.
	2) Tipo SAS; FA: Pn+MSS+Cb; Hospedado en Cpx fracturado con desarrollo de borde esponjoso; Formas elipsoidal a irregular; Figura Anexo 36 muestra generación de óxidos de Fe, además de bordes nítidos entre las fases sulfuradas.
	3) Tipo SAS; FA: Pn; Hospedado en Cpx cercano a borde esponjoso; Forma irregular.
	4A) Tipo SA; FA: Pn; Secuencia recta de inclusiones fluidas (<5 um) y sulfuradas en Ol fracturado; Formas irregular.
	4B) Tipo SA; FA: Pn; Secuencia recta de inclusiones fluidas (<5 um) y sulfuradas en Ol fracturado; Forma irregular.
Observaciones	Xenolito pequeño, percolado por basalto hospedante.

Tabla Anexo 15: Ficha descripción corte transparente pulido PM27B-18. FA: Fases registrada con análisis en microsonda; Pn: Pentlandita; MSS: Solución sólida monosulfurada; Cp: Calcopirita; Cb: Cubanita.

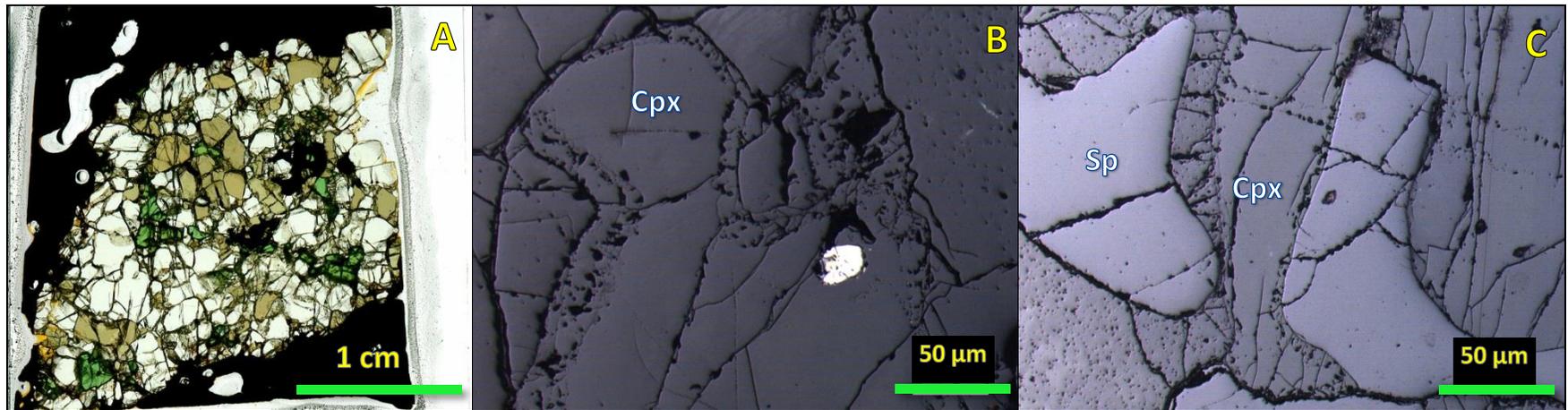


Figura Anexo 34: Muestra PM27B-18. (A) Imagen corte obtenida con escáner Epson. Fotomicrografías a luz reflejada-nicoles paralelos. (B) Sulfuro PM27B-18-2 en Cpx con bordes esponjosos. (C) Sp sin bordes de reacción.

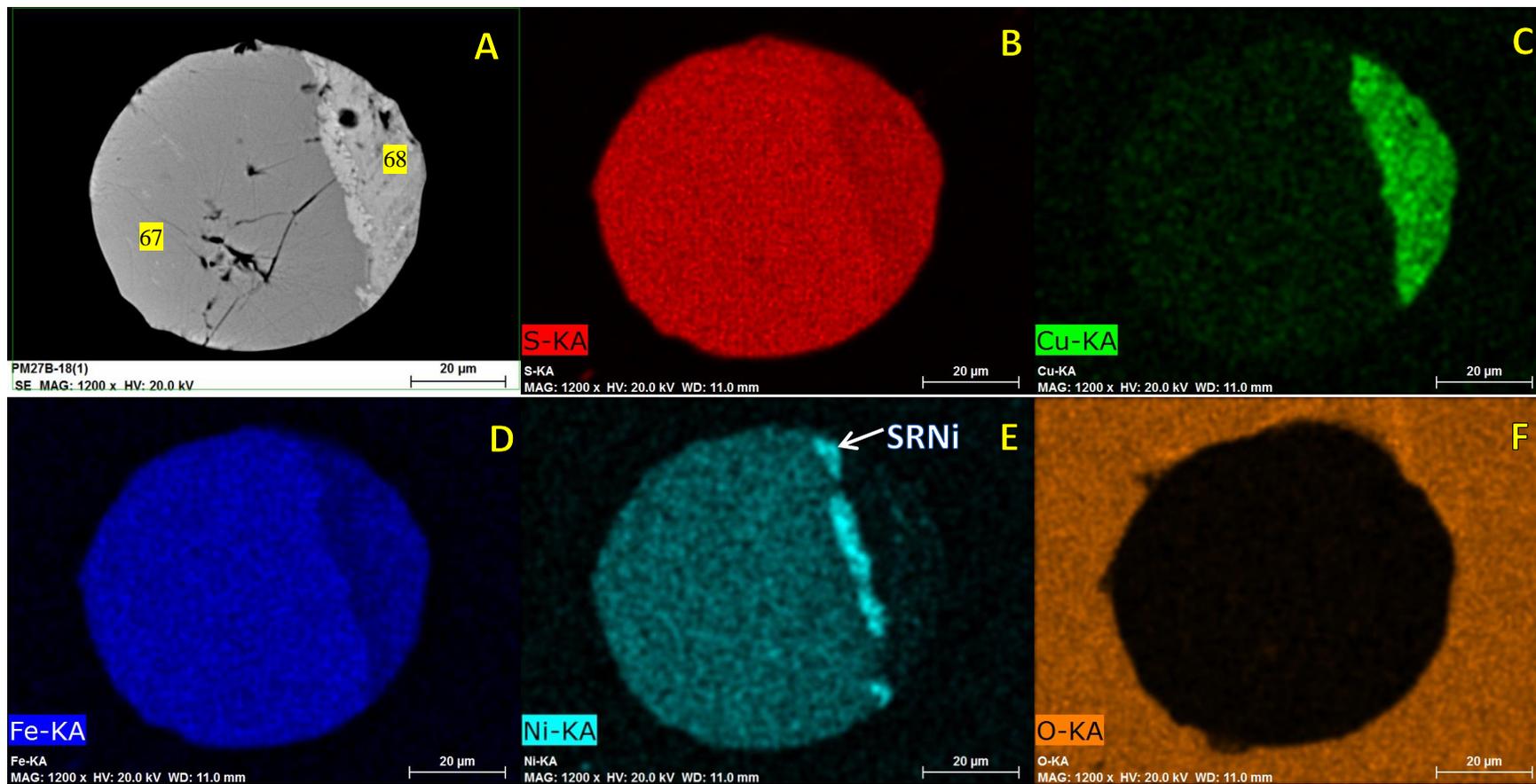


Figura Anexo 35: Sulfuro PM27B-18-1. Imagen de electrones retrodispersados (BEI) (solo A) y Mapas de rayos X de distribución de elementos (B hasta F). (B) Azufre, (C) cobre, (D) hierro, (E) níquel, (F) oxígeno. SRNi: Sulfuro rico en níquel sin análisis de microsonda.

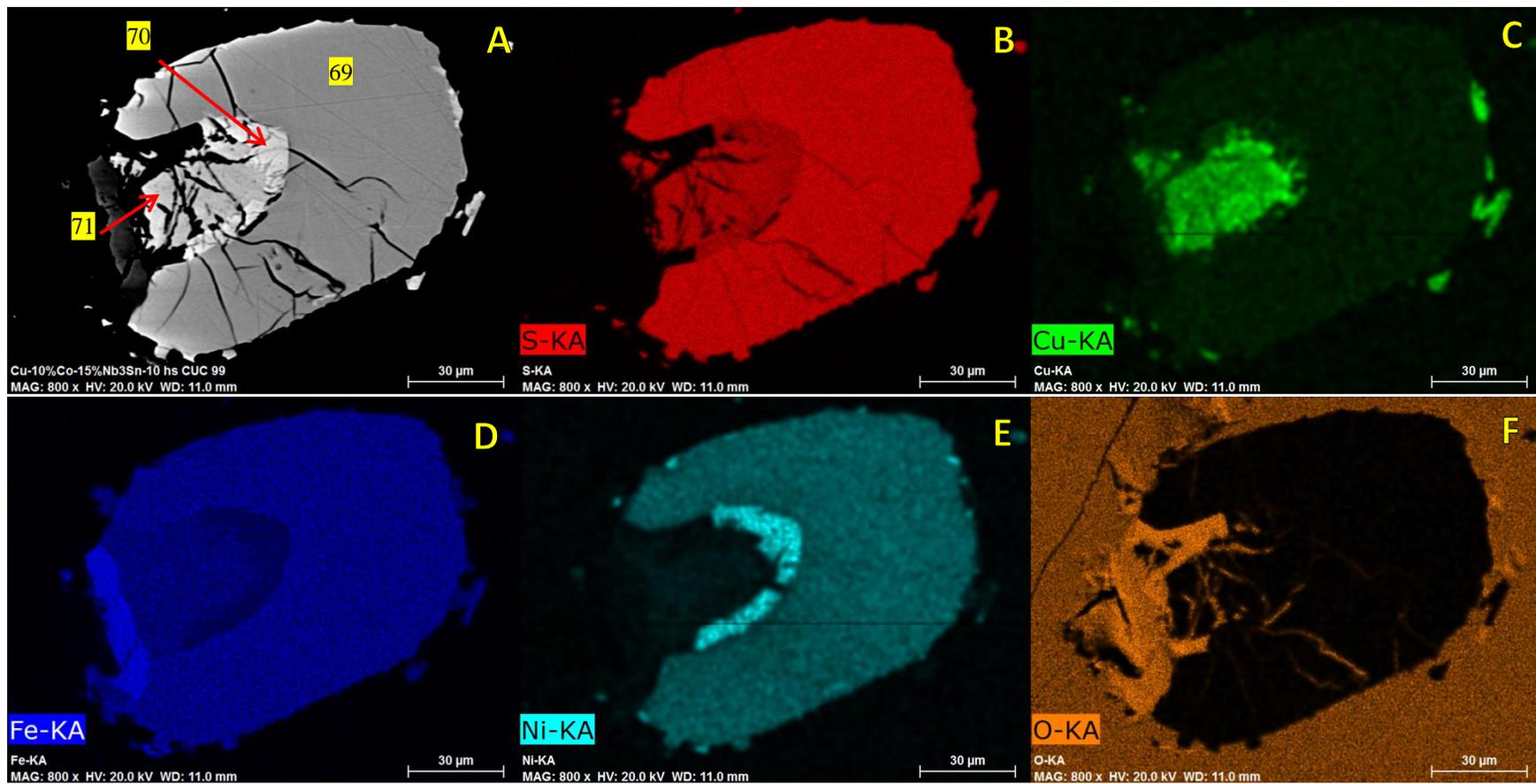


Figura Anexo 36: Sulfuro PM27B-18-2. Imagen de electrones retrodispersados (BEI) (solo A) y Mapas de rayos X de distribución de elementos (B hasta F). (B) Azufre, (C) cobre, (D) hierro, (E) níquel, (F) oxígeno.

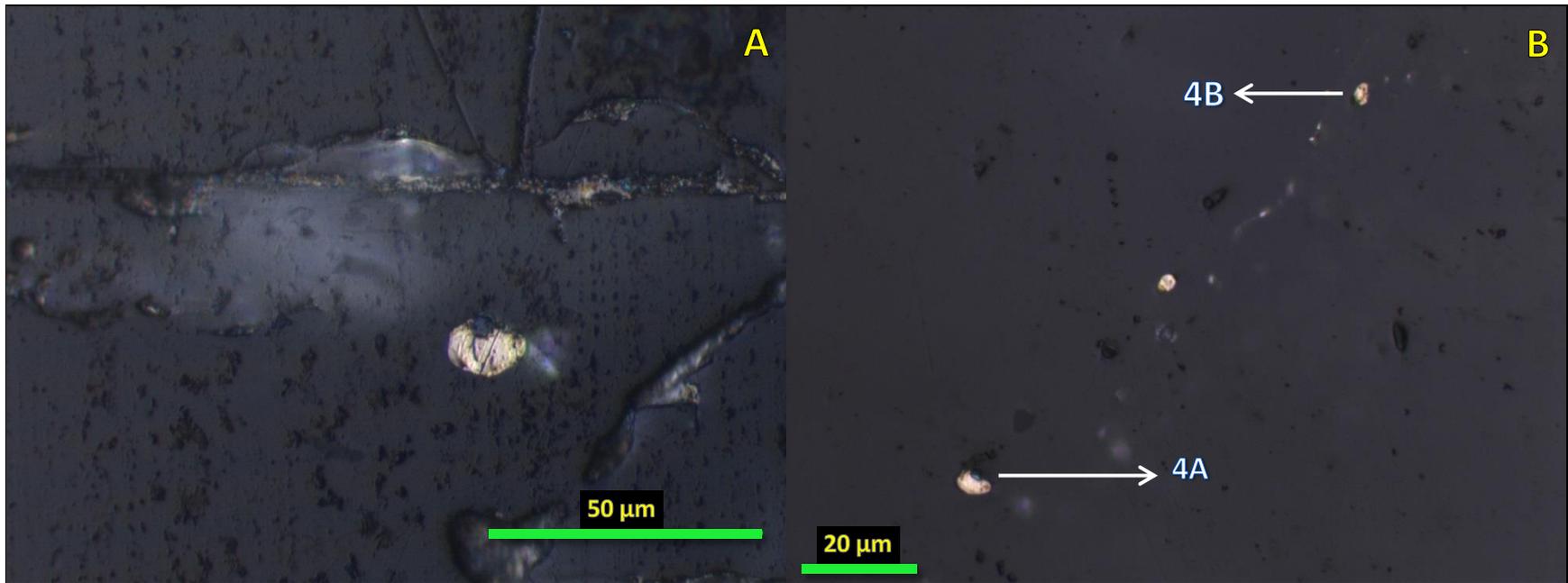


Figura Anexo 37: Sulfuros PM27B-18. Fotomicrografías a luz reflejada-nicoles paralelos: (A) sulfuro PM27B-18-3, (B) sulfuro PM27B-18-4A y 4B.

PM27B-23	
Nombre de la roca	Lherzolita de Sp
Texturas	Protogranular I
Mineralogía primaria	Sección compuesta por Ol, Opx, Cpx y Sp en orden modal descendente. Ol presenta cristales fracturados, con tamaños entre 1 y 3 mm y bordes rectos. Opx muestra tamaños cercanos a los 3 mm, con un cristal mayor de 3x5 mm, con bordes rectos a levemente redondeados. Cpx se observa con tamaños cercanos a 1 mm, con bordes de reacción esponjosos y contactos rectos a levemente redondeados. Sp muestra formas vermiculares, con tamaños cercanos a 1 mm. Texturalmente, también se observa leve reacción de Opx, Ol y Sp en contacto directo con el basalto hospedante, además de exsolución de Cpx en un cristal de Opx.
Sulfuros	1) Tipo SA; FA: Pn; Secuencia de inclusiones fluidas en Ol; Forma irregular redondeada. 2) Tipo SA; FA: MSS; Secuencia recta de inclusiones fluidas y sulfuradas (10 inclusiones cercanas a los 3 um) en Opx; Formas esférica a irregular.
Observaciones	Xenolito pequeño, percolado por basalto hospedante.

Tabla Anexo 16: Ficha descripción corte transparente pulido PM27B-23. FA: Fases registrada con análisis en microsonda; Pn: Pentlandita; MSS: Solución sólida monosulfurada.

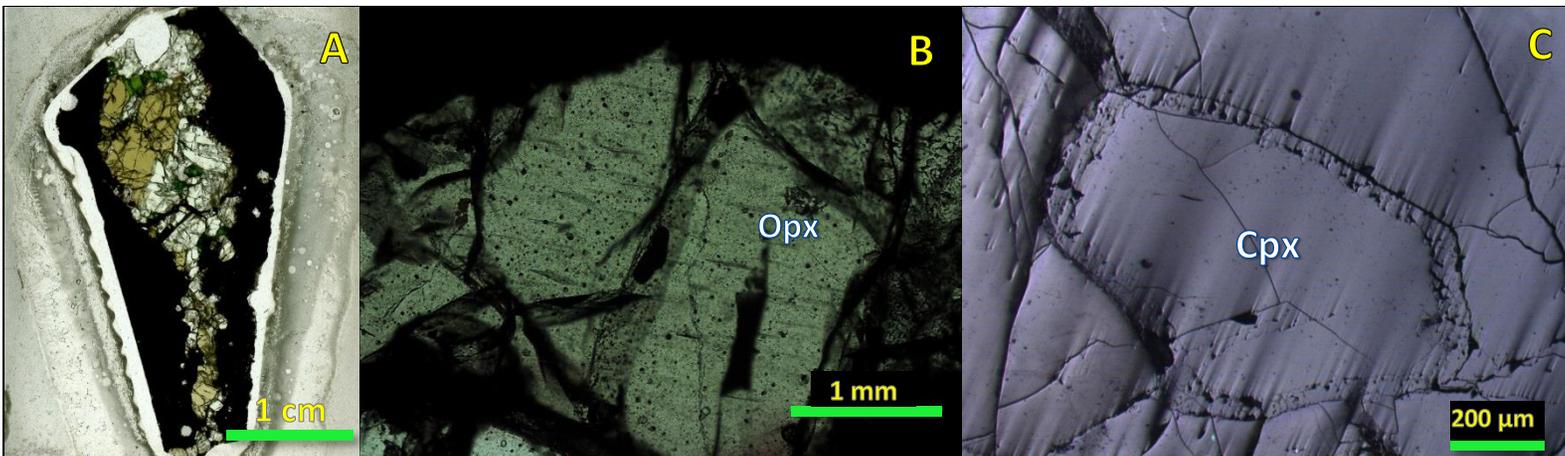


Figura Anexo 38: Muestra PM27B-23. (A) Imagen corte obtenida con escáner Epson. (B) Fotomicrografías a luz transmitida-nicoles paralelos mostrando exsolución de Cpx en Opx. (C) Fotomicrografía a luz reflejada-nicoles paralelos mostrando bordes esponjosos en Cpx.

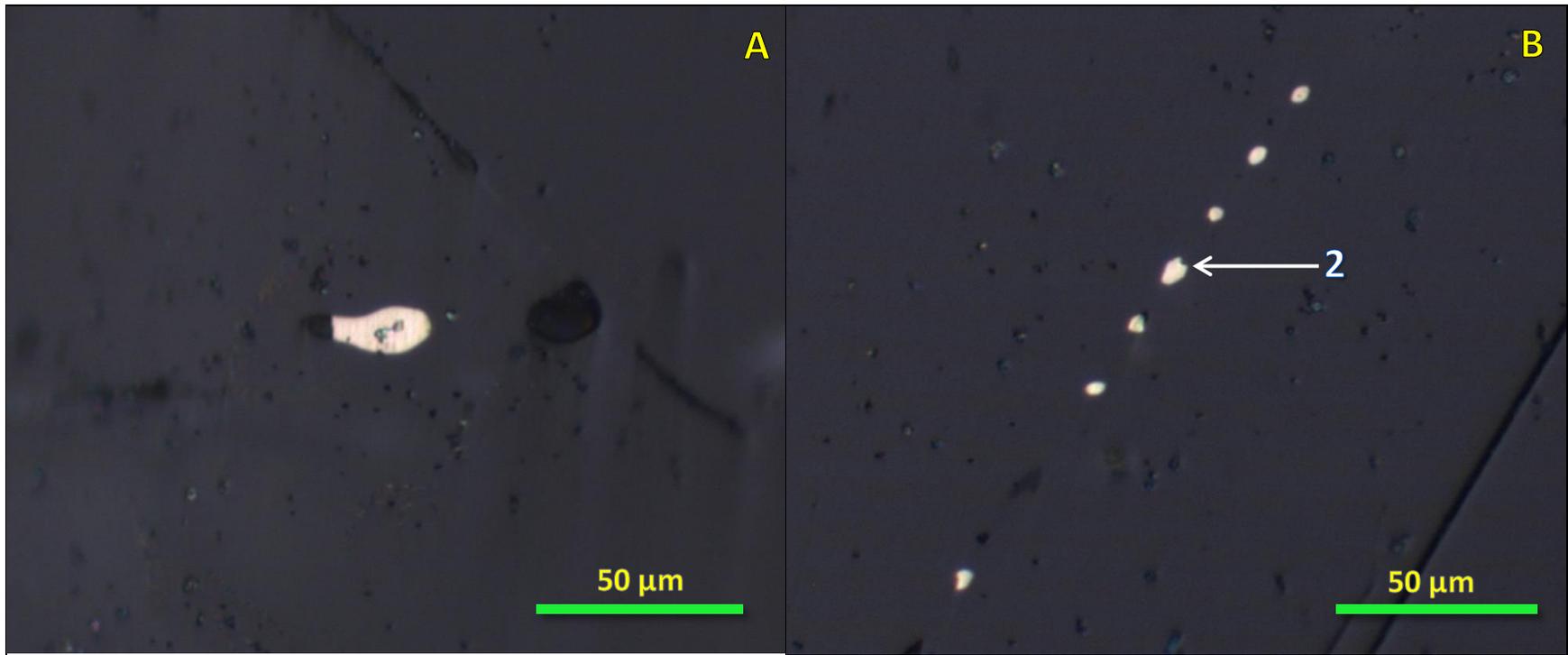


Figura Anexo 39: Sulfuros PM27B-23. Fotomicrografías a luz reflejada-nicoles paralelos: (A) sulfuro PM27B-23-1, (B) sulfuro PM27B-23-2.

PM23-02	
Nombre de la roca	Lherzolita de Sp
Texturas	Equigranular tabular I
Mineralogía primaria	Sección compuesta por Ol, Opx, Cpx y Sp en orden modal descendente, con una clara foliación dada por la orientación de los cristales. Escasos Ol y Opx alcanzan tamaños 3.5x1.8 mm aproximadamente, aunque al igual que Cpx presentan tamaños entre 0.4 y 1.5 mm, con formas elongadas, bordes rectos y puntos triples. Sp presenta tamaños cercanos a los 0.5 mm, dispersos entre las fases silicatadas, con formas alargadas y algunos bordes rojizos. Texturalmente, se observan bordes esponjosos en Cpx.
Sulfuros	1) Tipo SAS; FA: MSS; Hospedado en Opx; Forma esférica; Figura Anexo 41 muestra sulfuro rico en Cu no analizado (SRCu) en los bordes de la inclusión, probablemente removilizada.
	2) Tipo SI; FA: Pn; Ubicado en espacio intercrystalino, asociado a carbonatos?; Forma de media esfera; Figura Anexo 42 muestra sulfuro rico en Cu no analizado (SRCu), con bordes poco nítidos entre las fases.
Observaciones	Xenolito presenta dos cristales, con formas alargadas, alto relieve, clivaje marcado en una dirección y pleocroísmo. Flogopita? Anfíbola?

Tabla Anexo 17: Ficha descripción corte transparente pulido PM23-02. FA: Fases registrada con análisis en microsonda; Pn: Pentlandita; MSS: Solución sólida monosulfurada.

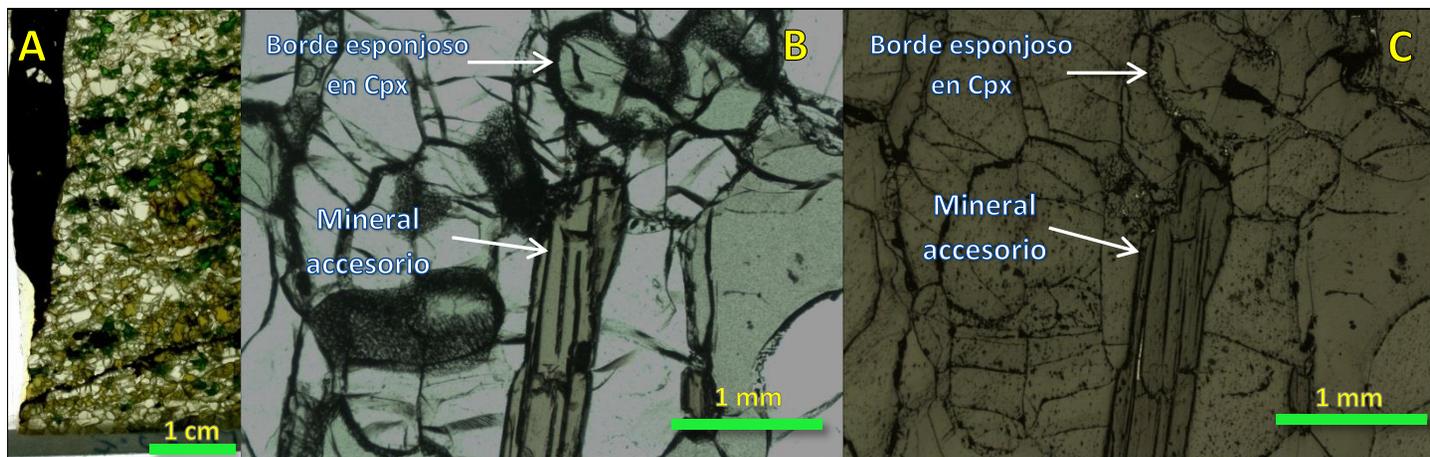


Figura Anexo 40: Muestra PM23-02. (A) Imagen corte obtenida con escáner Epson. (B)(C) Fotomicrografías a luz transmitida-nicoles paralelos y luz reflejada-nicoles paralelos mostrando bordes esponjosos en Cpx y presencia de mineral accesorio (flogopita? anfíbola?).

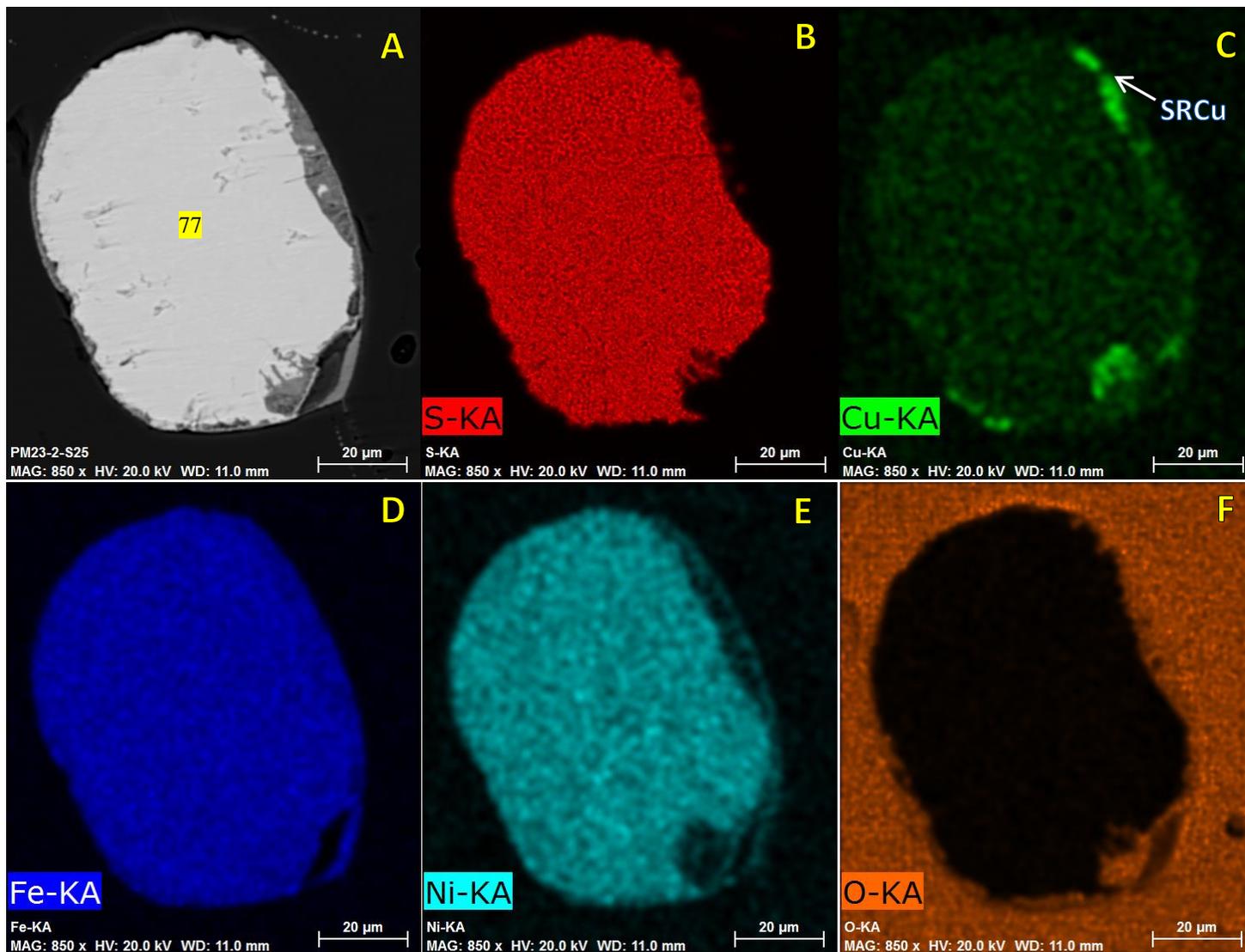


Figura Anexo 41: Sulfuro PM23-02-1. Imagen de electrones retrodispersados (BEI) (solo A) y Mapas de rayos X de distribución de elementos (B hasta F). (B) Azufre, (C) cobre, (D) hierro, (E) níquel, (F) oxígeno. SRCu: Sulfuro rico en cobre sin análisis de microsonda.

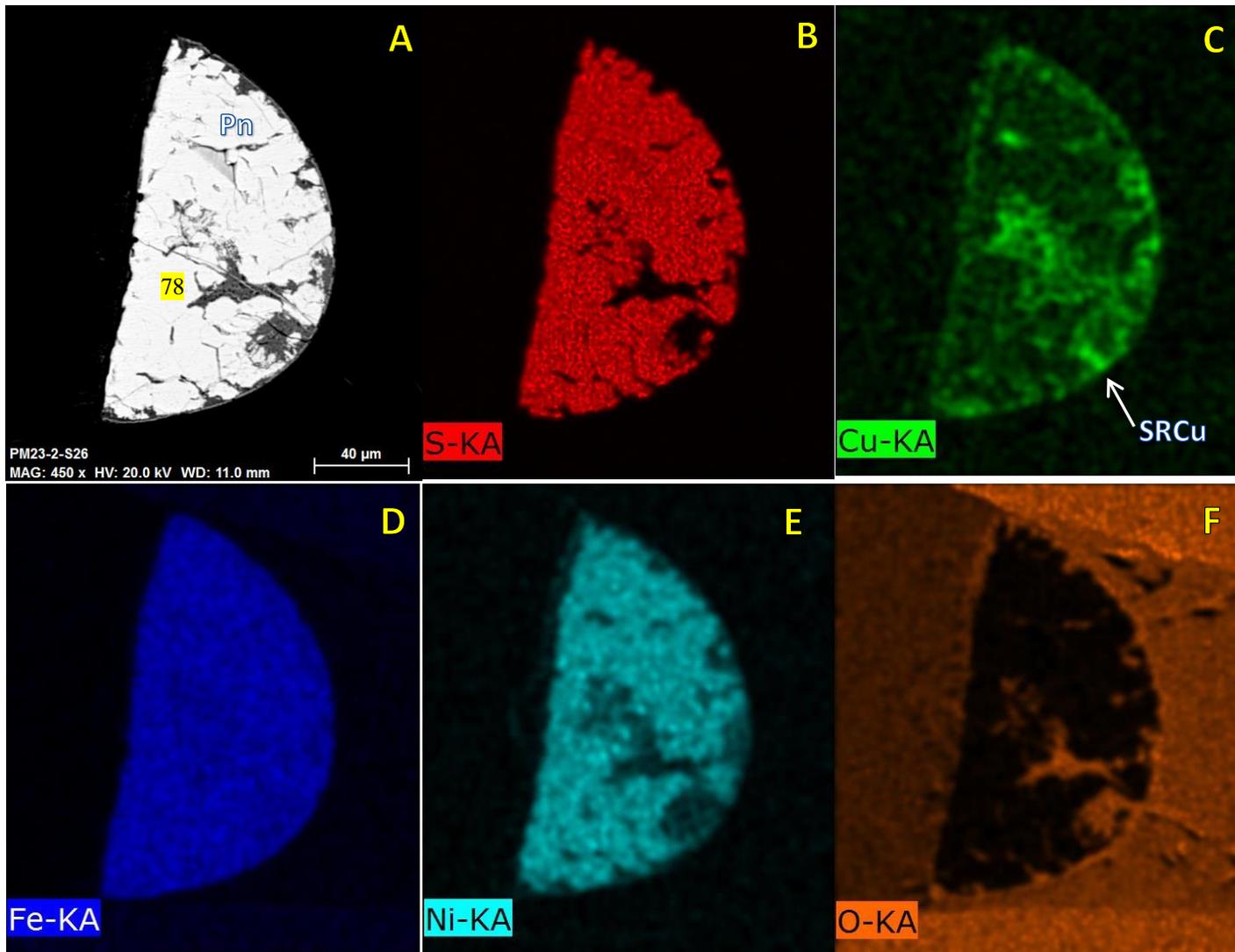


Figura Anexo 42: Sulfuro PM23-02-2. Imagen de electrones retrodispersados (BEI) (solo A) y Mapas de rayos X de distribución de elementos (B hasta F). (B) Azufre, (C) cobre, (D) hierro, (E) níquel, (F) oxígeno. SRCu: Sulfuro rico en cobre sin análisis de microsonda.

PM23-03	
Nombre de la roca	Harzburgita de Sp
Texturas	Porfiroclástica I a Equigranular I
Mineralogía primaria	Sección compuesta por Ol, Opx, Cpx y Sp en orden modal descendente. Opx presenta algunos cristales mayores entre 3 y 4.8 mm, levemente elongados, con bordes rectos, aunque al igual que Ol, muestra generalmente tamaños entre 0.5 y 2.5 mm, levemente elongados, con bordes rectos y algunos puntos triples. Sp y Cpx son bastante escasos, este último con tamaños inferiores a 1.5 mm, dispersos en la muestra, con bordes rectos a redondeados. Sp muestra tamaños inferiores a 1 mm, con formas irregulares entre las fases silicatadas, asociada preferentemente a piroxenos. Texturalmente, se observan bordes esponjosos en Cpx. También, se reconoce textura poikilitica de Ol en Opx.
Sulfuros	1) Tipo SA; FA: MSS; 2 Secuencias rectas de microinclusiones (2-4 um) fluidas y sulfuradas en Opx.
Observaciones	

Tabla Anexo 18: Ficha descripción corte transparente pulido PM23-03. FA: Fases registrada con análisis en microsonda; MSS: Solución sólida monosulfurada.

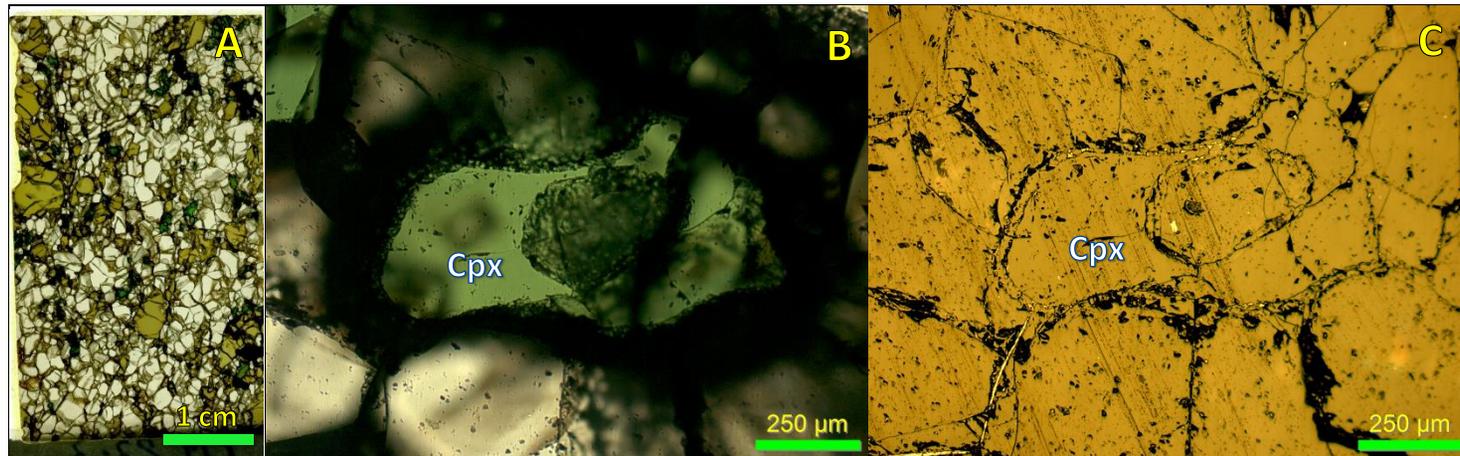


Figura Anexo 43: Muestra PM23-03. (A) Imagen corte obtenida con escáner Epson. (B)(C) Fotomicrografías a luz transmitida-nicoles paralelos y luz reflejada-nicoles paralelos mostrando bordes esponjosos en Cpx.

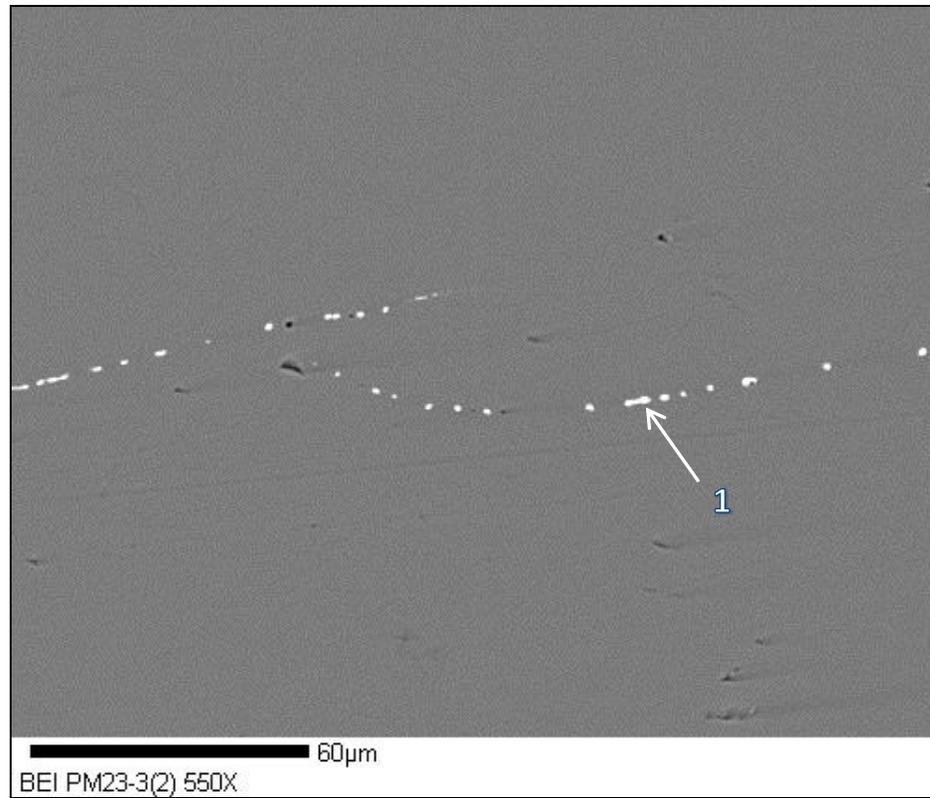


Figura Anexo 44: Sulfuro PM23-03-1: Imagen BEI

PM23-21	
Nombre de la roca	Lherzolita de Sp
Texturas	Protogranular I a Porfiroclástica I
Mineralogía primaria	Sección compuesta por Ol, Opx, Cpx y Sp en orden modal descendente, con cristales moderadamente fracturados. Opx muestra fenocristales elongados de hasta 5x10 mm, junto con cristales menores entre 1 y 2 mm, por su parte Ol presenta tamaños entre 1 y 5 mm, ambos con bordes rectos. Cpx es escaso, diseminado en la muestra, con formas irregulares y tamaños entre 0.5 y 1.5 mm. Sp presenta tamaños inferiores a 1.5 mm, con formas vermiculares a redondeadas, asociadas preferentemente a bordes de Opx. Texturalmente, se observan exsoluciones de Cpx en Opx.
Sulfuros	1) Tipo SI; FA: Pn; Ubicado en espacio vetilla entre cristales de Ol; Forma redondeada irregular.
Observaciones	

Tabla Anexo 19: Ficha descripción corte transparente pulido PM20-21. FA: Fases registrada con análisis en microsonda; Pn: Pentlandita.

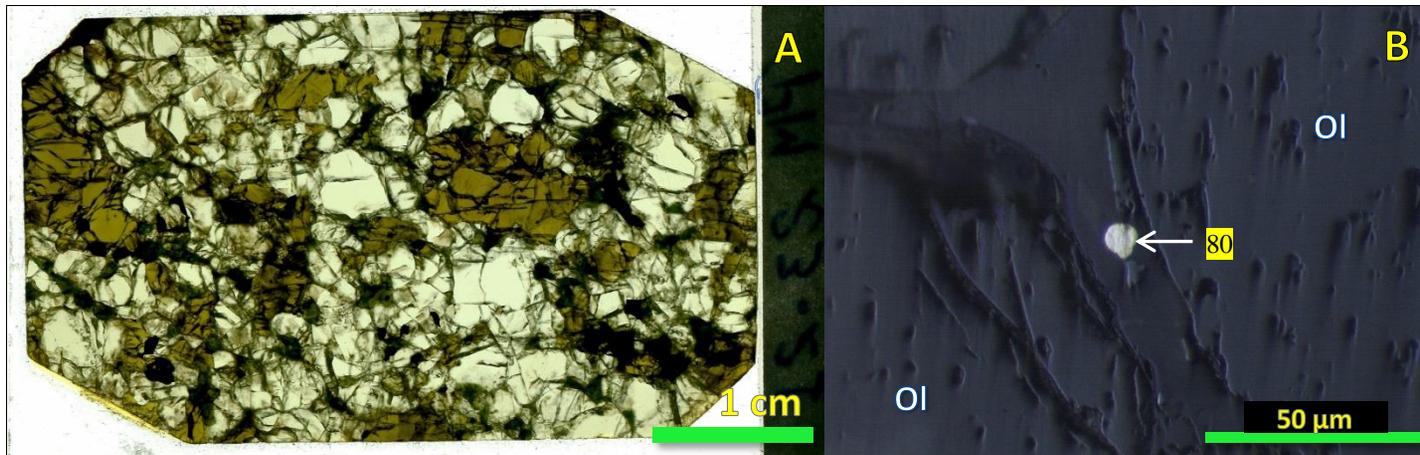


Figura Anexo 45: Muestra PM23-21. (A) Imagen corte obtenida con escáner Epson. (B) Fotomicrografía a luz reflejada-nicoles paralelos de sulfuro PM23-21-1.

PM23-23	
Nombre de la roca	Lherzolita de Sp
Texturas	Protogranular I
Mineralogía primaria	Sección compuesta por Ol, Opx, Cpx y Sp en orden modal descendente. Ol y Opx presentan tamaños entre 1 y 4.5 mm, con bordes rectos a redondeados. Cpx se muestra diseminado, con tamaños entre 0.5 y 2 mm, a excepción de un cristal que alcanza los 3 mm., formas irregulares y bordes rectos. Sp muestra tamaños inferiores a 1.5 mm, con formas vermiculares elongadas o redondeadas, asociada a bordes de Opx o intersticial en contacto con Cpx. Texturalmente, se observan bordes esponjosos en Cpx.
Sulfuros	1A) Tipo SAS; FA: Cb; Hospedado en fenocristal de Opx; Muestra decrepitación; Figura Anexo 47 muestra sulfuro rico en Ni no analizado (SRNi), mostrando bordes nítidos con Cb.
	1B) Tipo SAS; FA: Pn; Hospedado en fenocristal de Opx; Forma irregular.
	2) Tipo Si; FA: Pn; Ubicado entre cristales de Ol; Forma irregular.
Observaciones	Xenolito presenta escasos cristales pleocroicos, de alto relieve, tonos pardos oscuros, asociados a Cpx. Flogopita?

Tabla Anexo 20: Ficha descripción corte transparente pulido PM23-23. FA: Fases registrada con análisis en microsonda; Pn: Pentlandita; Cb: Cubanita.

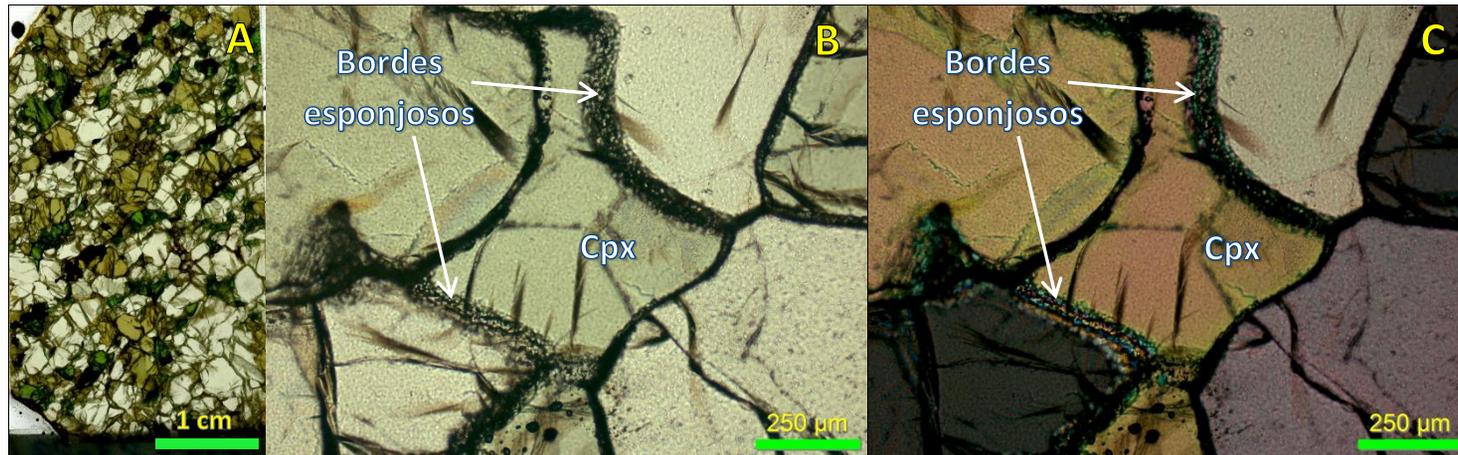


Figura Anexo 46: Muestra PM23-23. (A) Imagen corte obtenida con escáner Epson. (B)(C) Fotomicrografías a luz transmitida-nicoles paralelos y luz transmitida-nicoles cruzados mostrando bordes esponjosos en Cpx.

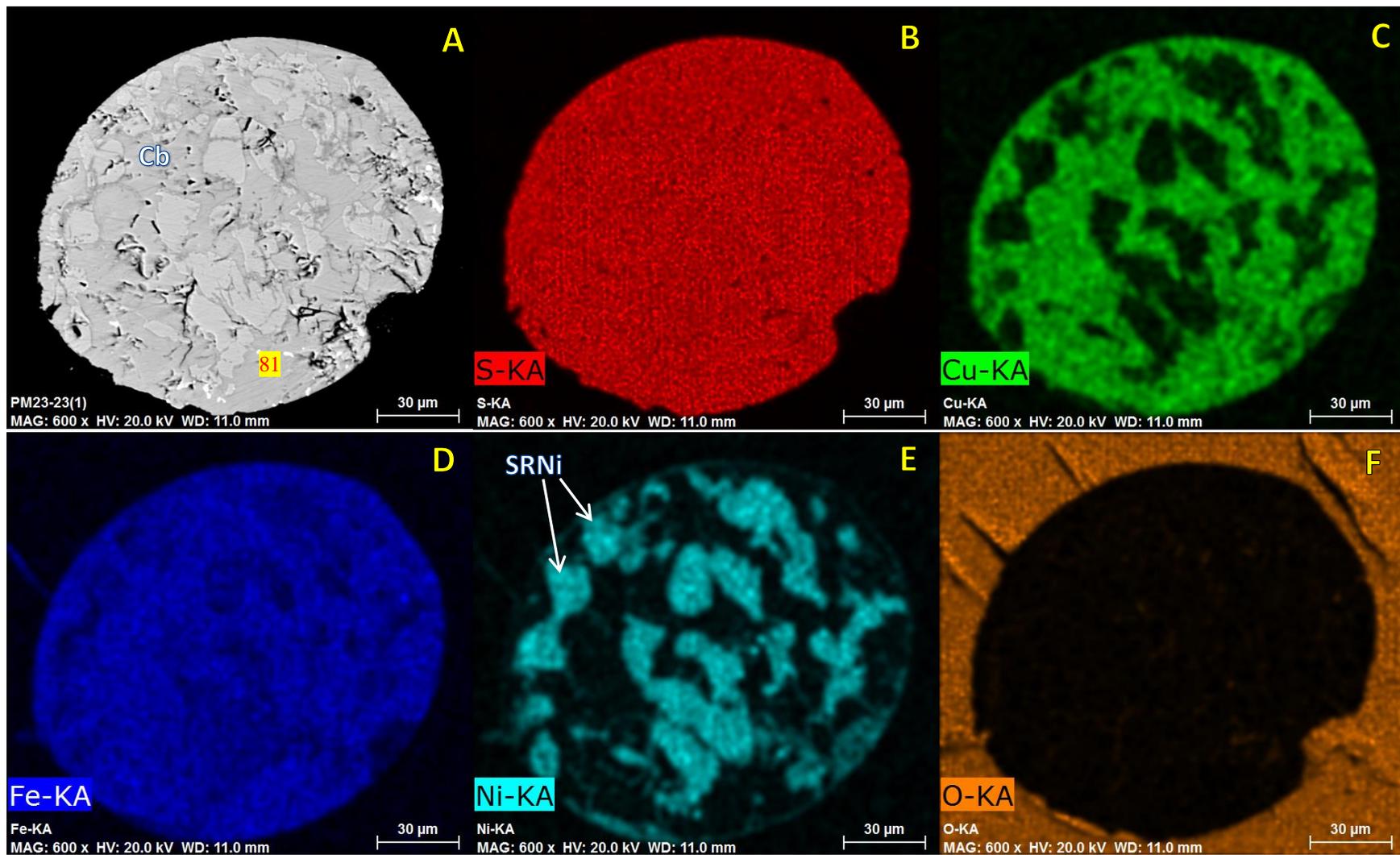


Figura Anexo 47: Sulfuro PM23-23-1A. Imagen de electrones retrodispersados (BEI) (solo A) y Mapas de rayos X de distribución de elementos (B hasta F). (B) Azufre, (C) cobre, (D) hierro, (E) níquel, (F) oxígeno. SRNi: Sulfuro rico en níquel sin análisis de microsonda.

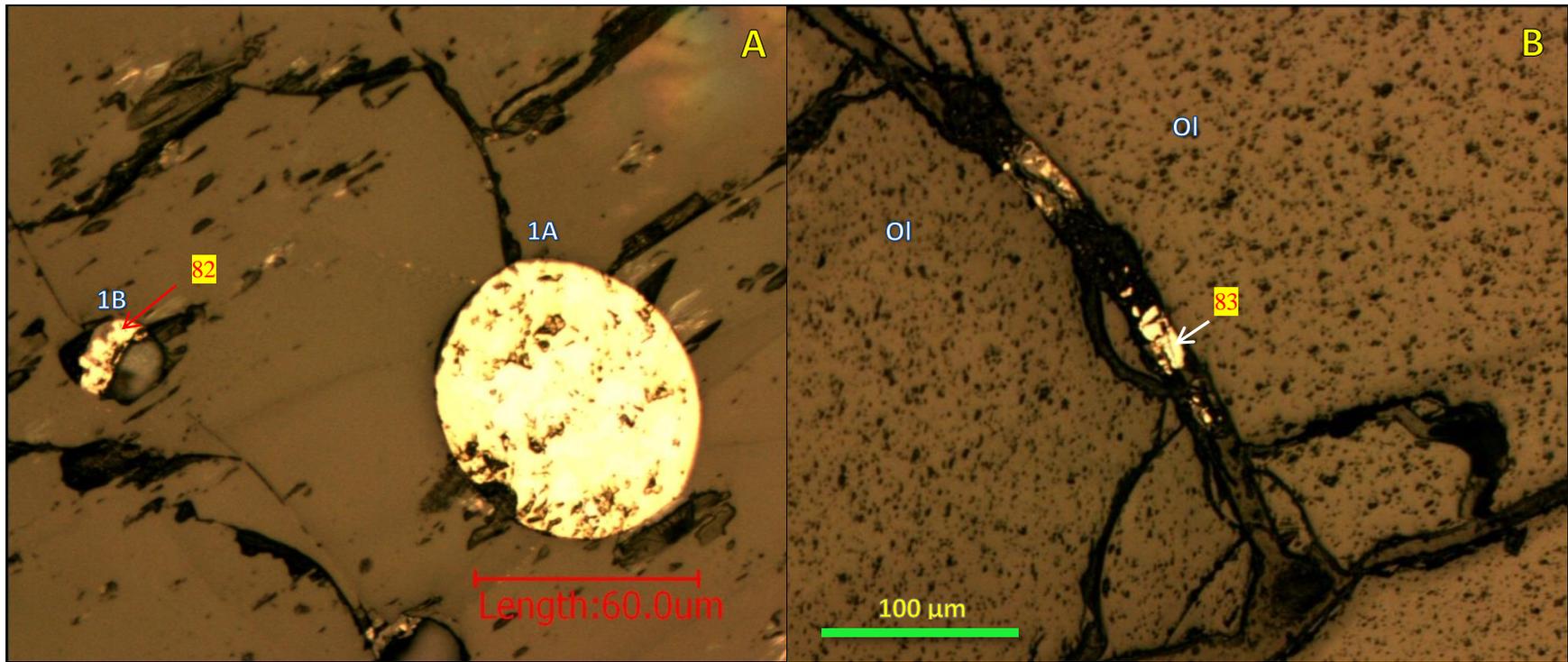


Figura Anexo 48: Sulfuros PM23-23. Fotomicrografías a luz reflejada-nicoles paralelos: (A) sulfuros PM23-23-1A y 1B, (B) sulfuro PM23-23-2.

PM21-01	
Nombre de la roca	Harzburgita de Sp
Texturas	Protogranular II
Mineralogía primaria	Sección compuesta por Ol, Opx, Cpx y Sp en orden modal descendente. Ol presenta tamaños entre 2 y 7 mm, por su parte Opx muestra cristales entre 3 y 8 mm elongados, además de cristales menores cercanos a 1 mm. Ol y Opx muestran bordes rectos. Cpx presenta tamaños <1.2 mm y formas elongadas, asociados a Opx y Sp. Sp se observa diseminada con formas vermiculares y tamaños cercanos a 1 mm, así como escasas inclusiones redondeadas (0.05 mm) en Ol y Opx. Texturalmente, se observa exsolución mutua de piroxenos y leve reacción de Ol, Opx y Sp en contacto con basalto.
Sulfuros	1) Tipo SI; FA: Pn; Ubicado entre cristales de Ol y Opx; Forma irregular.
	2) Tipo SZR; FA: Pn+MSS+Cb; Ubicado en zona de reacción entre Opx y Ol; Forma irregular; Figura Anexo 51 muestran inclusión de alta reflectividad (posiblemente platinoide), además de texturas de reemplazo para Cb.
	3) Tipo SAS; FA: Pn+MSS; Hospedado en Ol fracturado; Forma ovoide; Figura Anexo 52 muestran sulfuro rico en Cu no analizado (SRCu).
	4) Tipo SAS; FA: Pn+MSS+MGP; Hospedado en Ol fracturado; Forma irregular; Figura Anexo 53 muestran exsolución de minerales del grupo del platino en sulfuro rico en Cu no analizado (SRCu).
Observaciones	

Tabla Anexo 21: Ficha descripción corte transparente pulido PM21-01. FA: Fases registrada con análisis en microsonda; Pn: Pentlandita; MSS: Solución sólida monosulfurada; Cb: Cubanita; MGP: Mineral del grupo del platino.

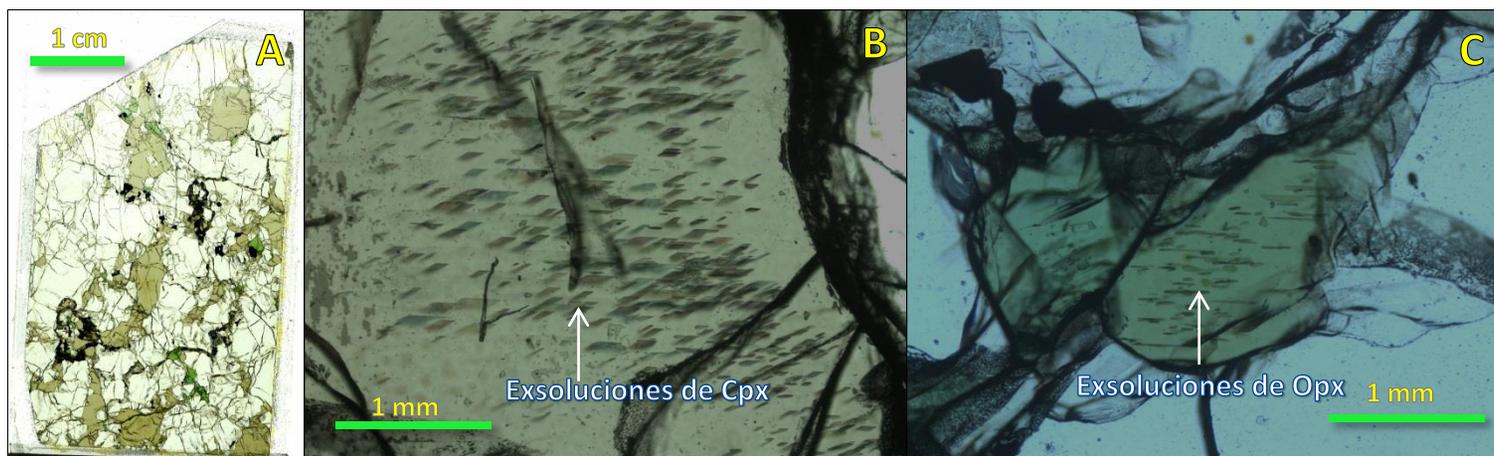


Figura Anexo 49: Muestra PM21-01. (A) Imagen corte obtenida con escáner Epson. Fotomicrografías a luz transmitida-nicoles paralelos, (B) exsolución de Cpx en Opx, (C) exsolución de Opx en Cpx.

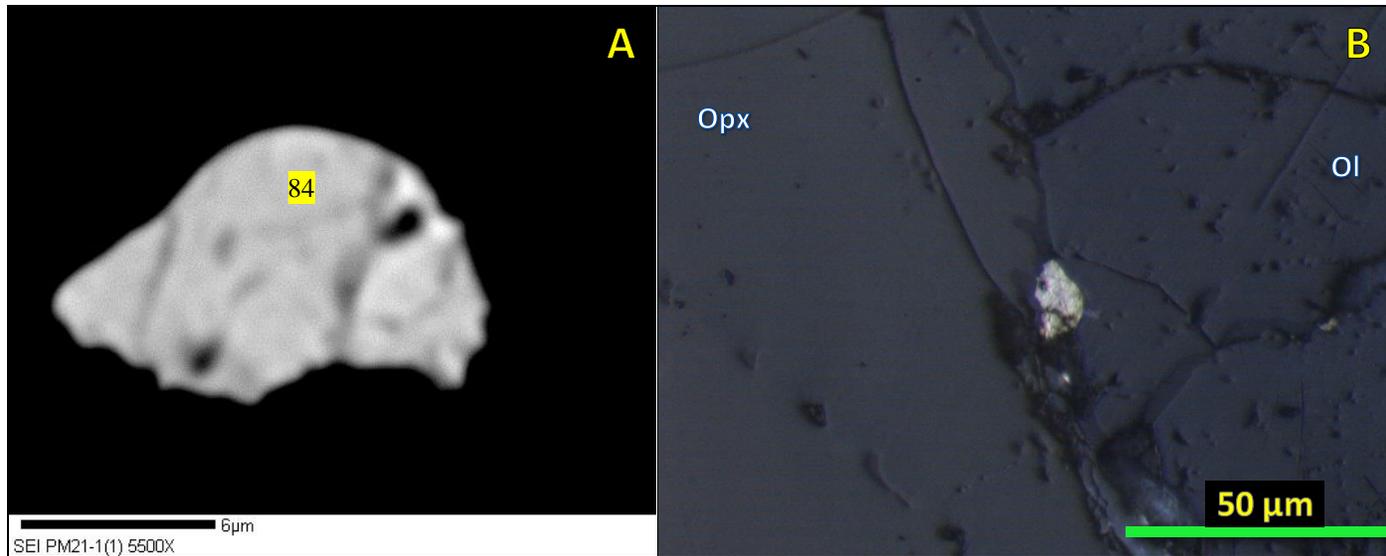


Figura Anexo 50: Sulfuro PM21-01-1. (A) Imagen de electrones retrodispersados (BEI), (B) fotomicrografía a luz reflejada-nicoles paralelos.

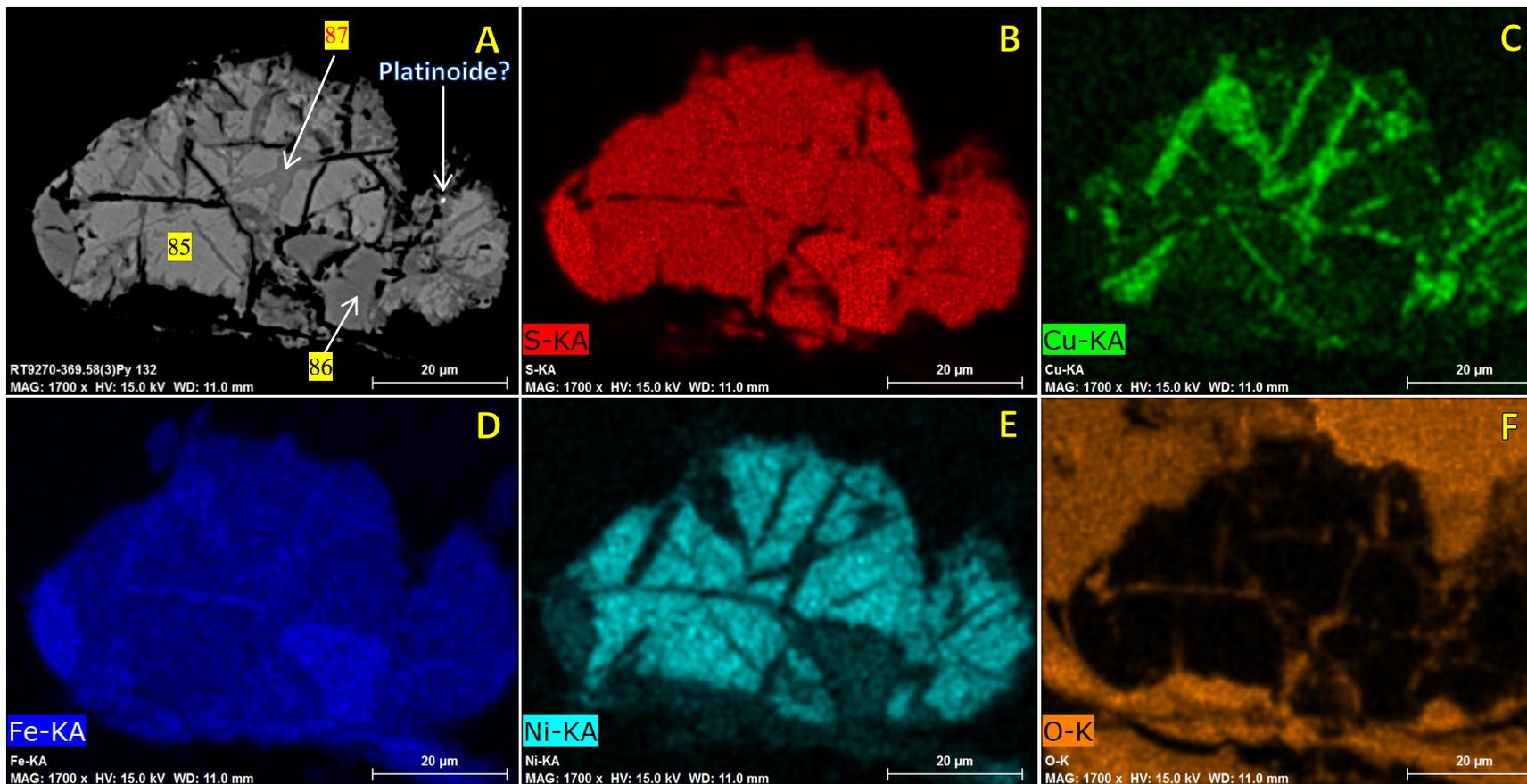


Figura Anexo 51: Sulfuro PM21-01-2. Imagen de electrones retrodispersados (BEI) (solo A) y Mapas de rayos X de distribución de elementos (B hasta F). (B) Azufre, (C) cobre, (D) hierro, (E) níquel, (F) oxígeno.

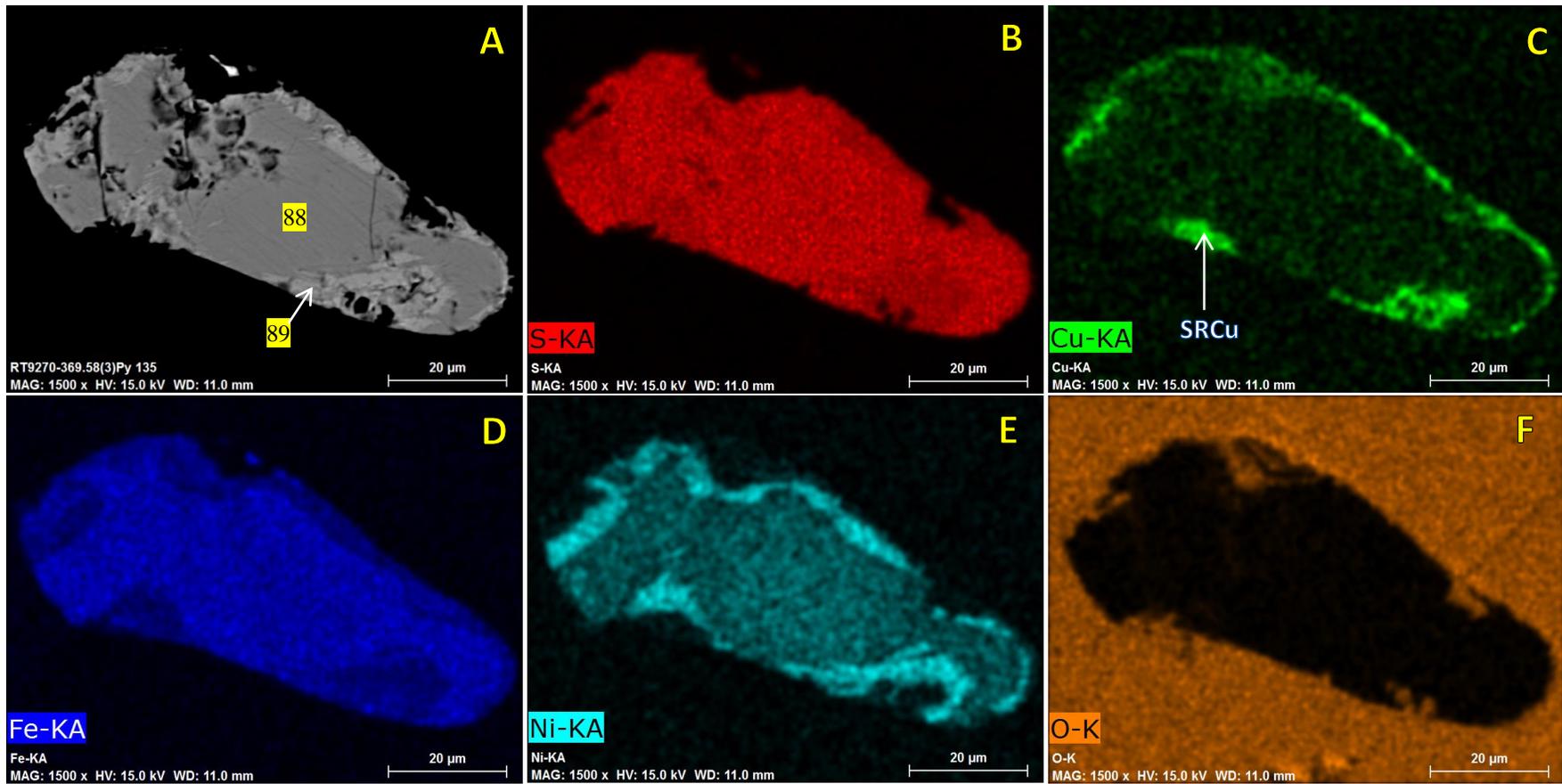


Figura Anexo 52: Sulfuro PM21-01-3. Imagen de electrones retrodispersados (BEI) (solo A) y Mapas de rayos X de distribución de elementos (B hasta F). (B) Azufre, (C) cobre, (D) hierro, (E) níquel, (F) oxígeno. SRCu: Sulfuro rico en cobre sin análisis de microsonda.

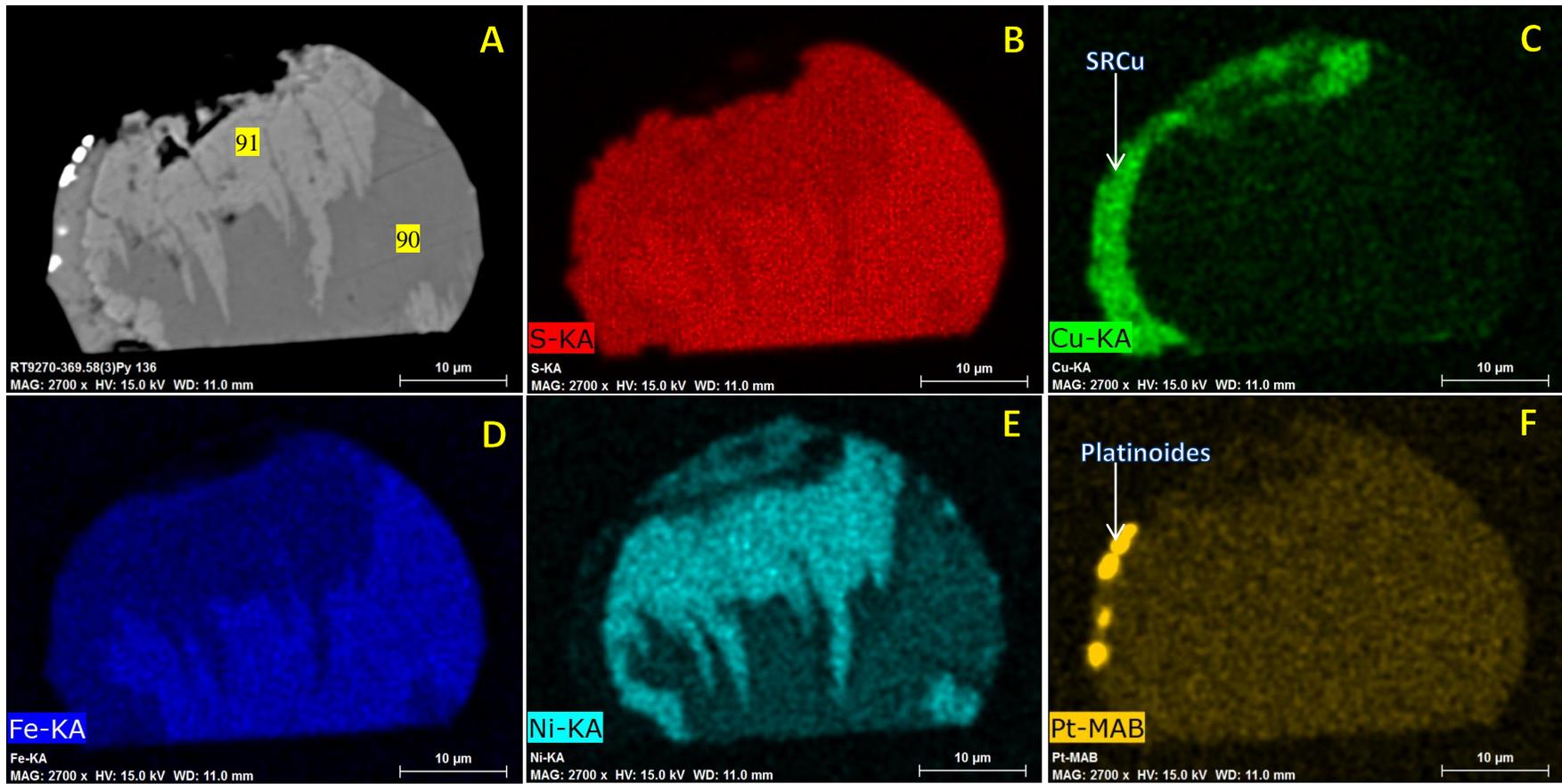


Figura Anexo 53: Sulfuro PM21-01-4. Imagen de electrones retrodispersados (BEI) (solo A) y Mapas de rayos X de distribución de elementos (B hasta F). (B) Azufre, (C) cobre, (D) hierro, (E) níquel, (F) platino. SRCu: Sulfuro rico en cobre sin análisis de microsonda.

PM21-04	
Nombre de la roca	Lherzolita de Sp
Texturas	Protogranular II
Mineralogía primaria	Sección compuesta por Ol, Opx, Cpx y Sp en orden modal descendente. Mostrando dos familias de tamaño de grano. Una mayor entre 3 y 6 mm, compuesta por Ol, Opx, mostrando formas levemente elongadas, bordes rectos a redondeados. La segunda población presenta tamaños entre 0.8 y 2 mm, comprendiendo Ol, Opx, Cpx y Sp, esta última se observa con formas vermiculares, así como escasas inclusiones redondeadas (0.05 mm) en Cpx y Ol. Texturalmente, Cpx muestra intensa recristalización de sus bordes (bordes esponjosos), cercanos a 0.1 mm, así como leve exsolución de Opx. Por su parte, Opx presenta exsolución de Cpx y textura poikilitica encerrando chadacristales de Ol.
Sulfuros	1) Tipo SAS; FA: Cp+MSS; Hospedado en Opx; Forma ovoide; Mostrando secuencia de microinclusiones; Figura Anexo 55 muestra leves exsoluciones en centro de la inclusión y Cp en los límites de la inclusión.
	2) Tipo SZR; FA: Pn; Hospedado en fractura sanada en Ol; Forma ovoide alargada; Figura Anexo 56 muestra fase alta en Cu no analizado (SRCu) y leve oxidación de la inclusión.
	3) Tipo SAS; FA: Pn+Cp; Hospedado en Opx; Forma esférica; Figura Anexo 57 muestra límites poco nítidos entre las fases y oxidación.
Observaciones	Las exsoluciones de Opx en Cpx son notoriamente más escasas en comparación con PM21-01.

Tabla Anexo 22: Ficha descripción corte transparente pulido PM21-04. FA: Fases registrada con análisis en microsonda; Pn: Pentlandita; MSS: Solución sólida monosulfurada; Cp: Calcopirita.

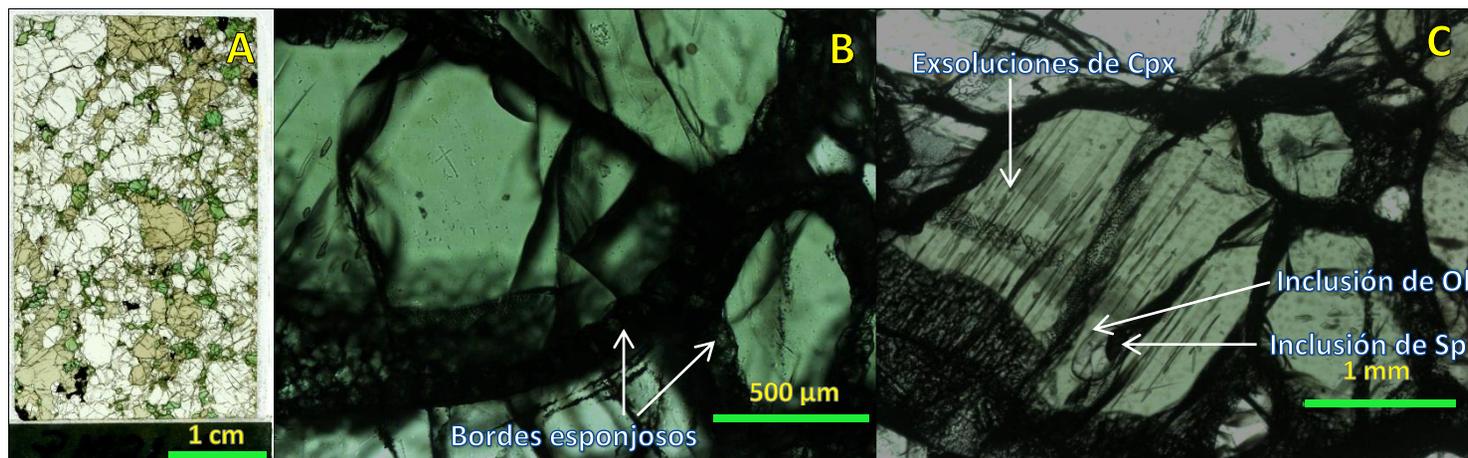


Figura Anexo 54: Muestra PM21-04. (A) Imagen corte obtenida con escáner Epson. Fotomicrografías a luz transmitida-nicoles paralelos, (B) bordes esponjosos en Cpx, (C) exsolución de Cpx e inclusiones de Ol y Sp en Opx.

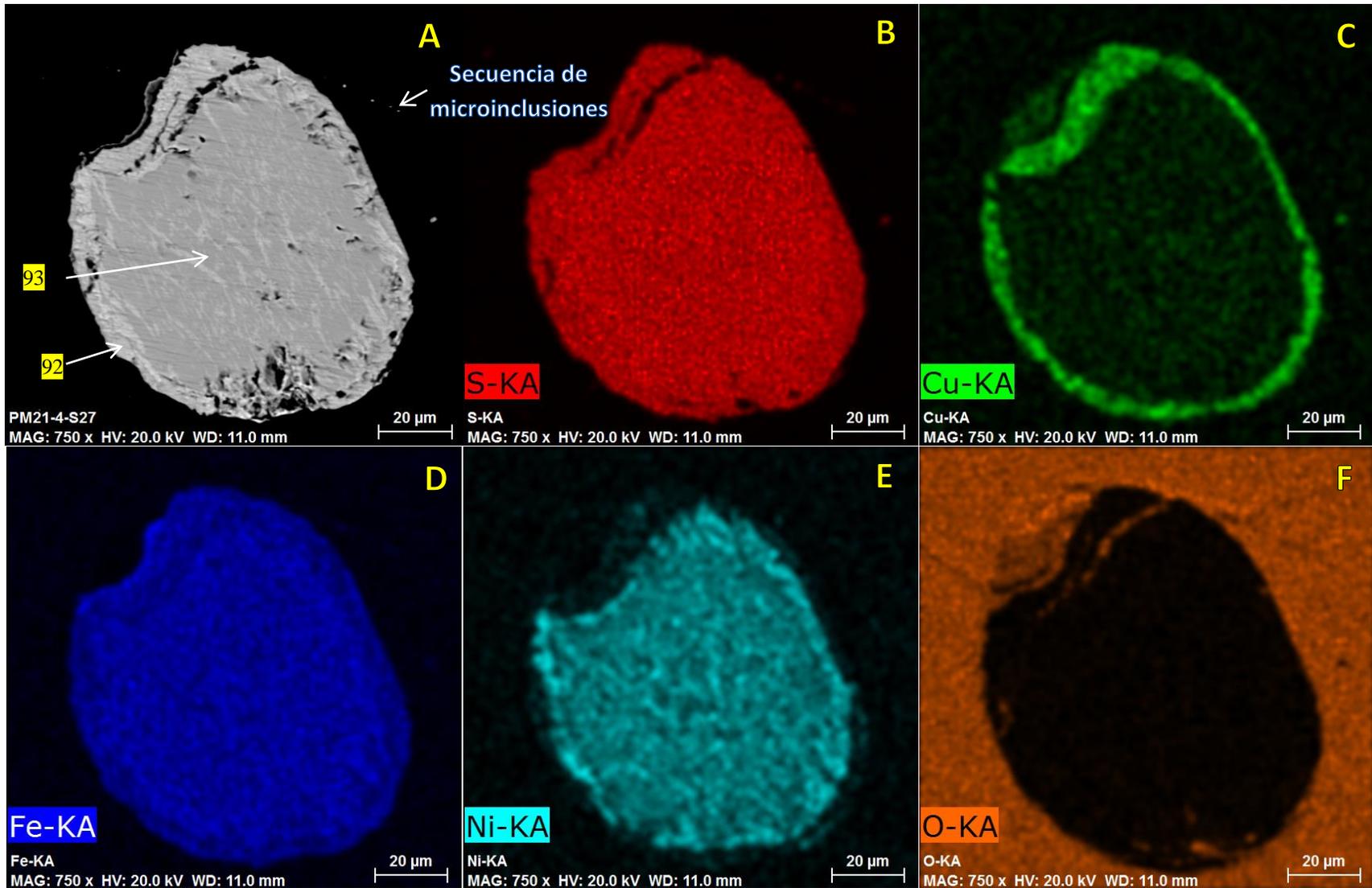


Figura Anexo 55: Sulfuro PM21-04-1. Imagen de electrones retrodispersados (BEI) (solo A) y Mapas de rayos X de distribución de elementos (B hasta F). (B) Azufre, (C) cobre, (D) hierro, (E) níquel, (F) oxígeno.

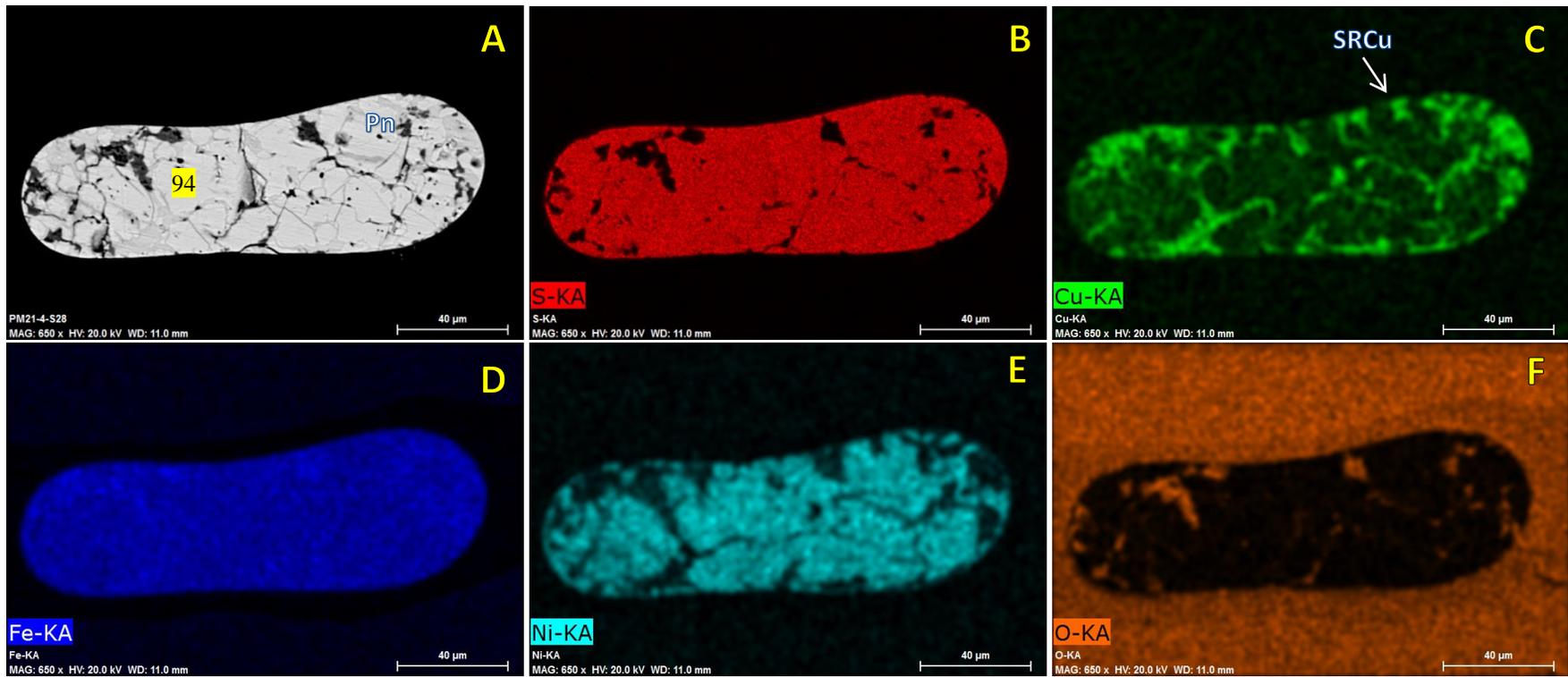


Figura Anexo 56: Sulfuro PM21-04-2. Imagen de electrones retrodispersados (BEI) (solo A) y Mapas de rayos X de distribución de elementos (B hasta F). (B) Azufre, (C) cobre, (D) hierro, (E) níquel, (F) oxígeno. SRCu: Sulfuro rico en cobre sin análisis de microsonda.

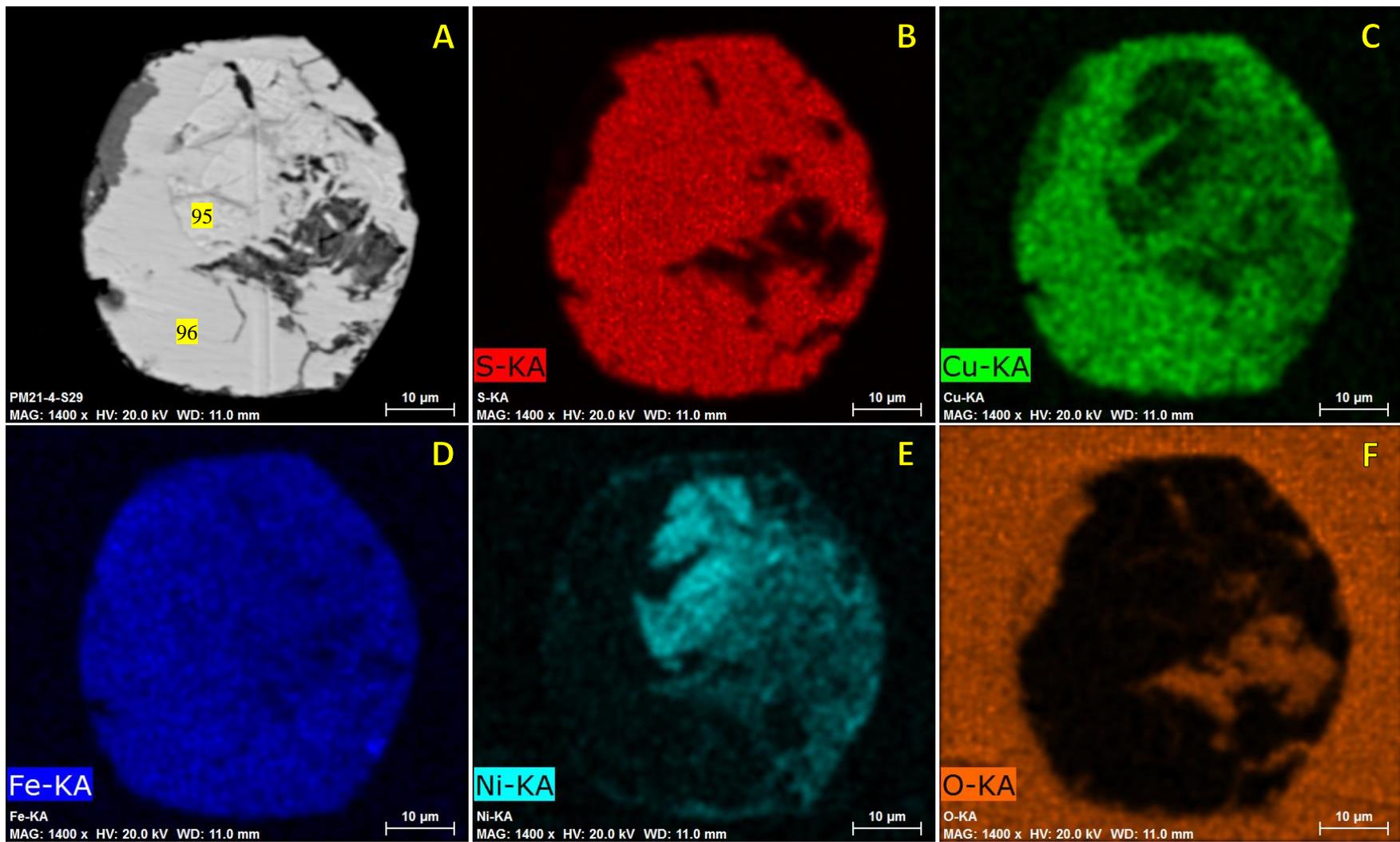


Figura Anexo 57: Sulfuro PM21-04-3. Imagen de electrones retrodispersados (BEI) (solo A) y Mapas de rayos X de distribución de elementos (B hasta F). (B) Azufre, (C) cobre, (D) hierro, (E) níquel, (F) oxígeno.

PM21-05	
Nombre de la roca	Lherzolita de Sp
Texturas	Protogranular I a Porfiroclástica I
Mineralogía primaria	Sección compuesta por Ol, Opx, Cpx y Sp en orden modal descendente. Algunos cristales de Ol y Opx alcanzan tamaños de 4 mm, siendo frecuentemente entre 1 y 2 mm, ambos con bordes rectos. Cpx y Sp presentan tamaños cercanos a 1.5 mm, asociándose comunmente a Opx. Sp muestra formas vermiculares. Texturalmente, se observan leves exsoluciones mutuas de piroxenos, así escasos bordes esponjosos en Cpx. También, se reconoce textura poikilitica de Ol en Opx.
Sulfuros	1) Tipo SAS; FA: MSS; Hospedado en Opx; Forma irregular; Figura Anexo 59 muestra sulfuro rico en Cu no analizado (SRCu).
	2) Tipo SAS; FA: Pn+MSS; Hospedado en Opx?; Forma esférica a irregular.
	3A) Tipo SA; FA: Pn+MSS; Secuencia de inclusiones fluidas y sulfuradas en Opx; Forma elipsoidal con bordes irregulares.
	3B) Tipo SA; FA: MSS; Secuencia de inclusiones fluidas y sulfuradas en Opx
	4A) Tipo SAS; FA: MSS+Cb; Hospedado en piroxeno; Forma irregular.
	4B) Tipo SA; FA: MSS; Secuencia de inclusiones fluidas y sulfuradas en Opx; Forma irregular; Muestra decrepitación.
4C) Tipo SI; FA: Pn+Po; Ubicado en fractura de piroxeno; Forma irregular.	
Observaciones	

Tabla Anexo 23: Ficha descripción corte transparente pulido PM21-05. FA: Fases registrada con análisis en microsonda; Pn: Pentlandita; MSS: Solución sólida monosulfurada; Cb: Cubanita.

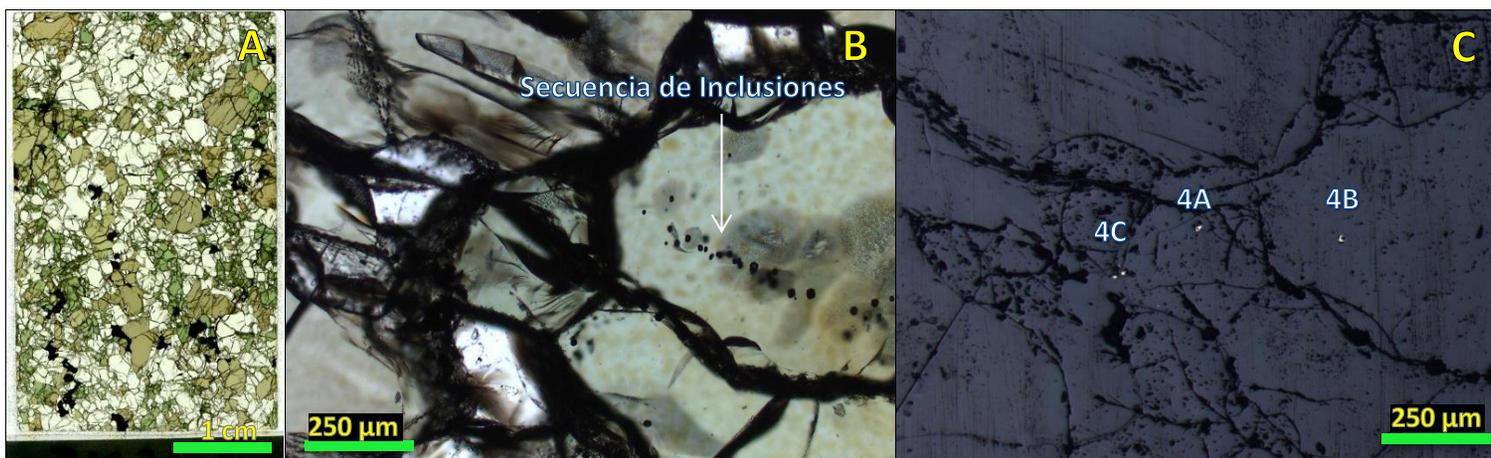


Figura Anexo 58: Muestra PM21-05. (A) Imagen corte obtenida con escáner Epson. (B)(C) Fotomicrografías a luz transmitida-nicoles paralelos y luz reflejada-nicoles paralelos de ubicación de sulfuros 4A, 4B y 4C.

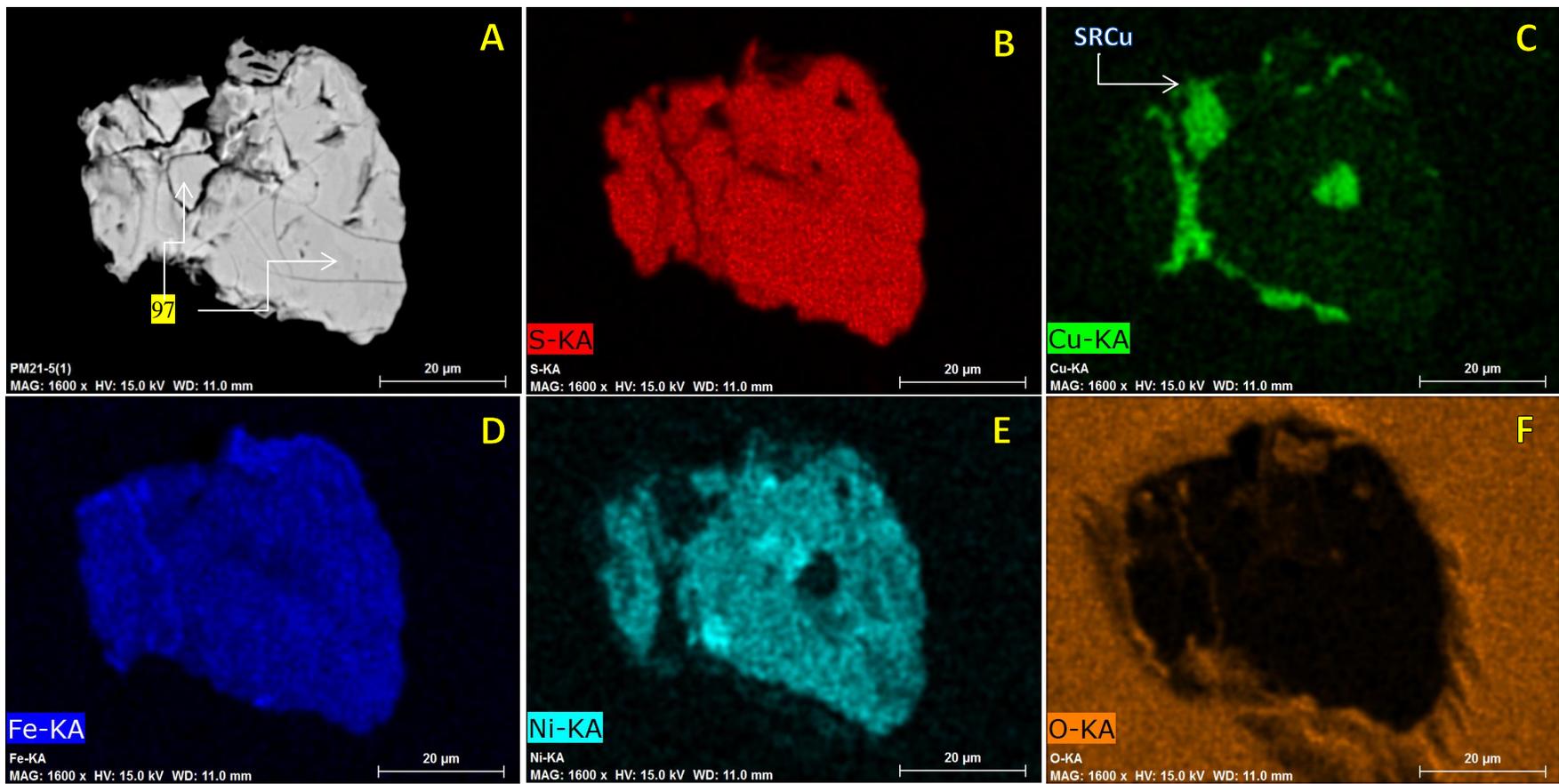


Figura Anexo 59: Sulfuro PM21-05-1. Imagen de electrones retrodispersados (BEI) (solo A) y Mapas de rayos X de distribución de elementos (B hasta F). (B) Azufre, (C) cobre, (D) hierro, (E) níquel, (F) oxígeno. SRCu: Sulfuro rico en cobre sin análisis de microsonda.

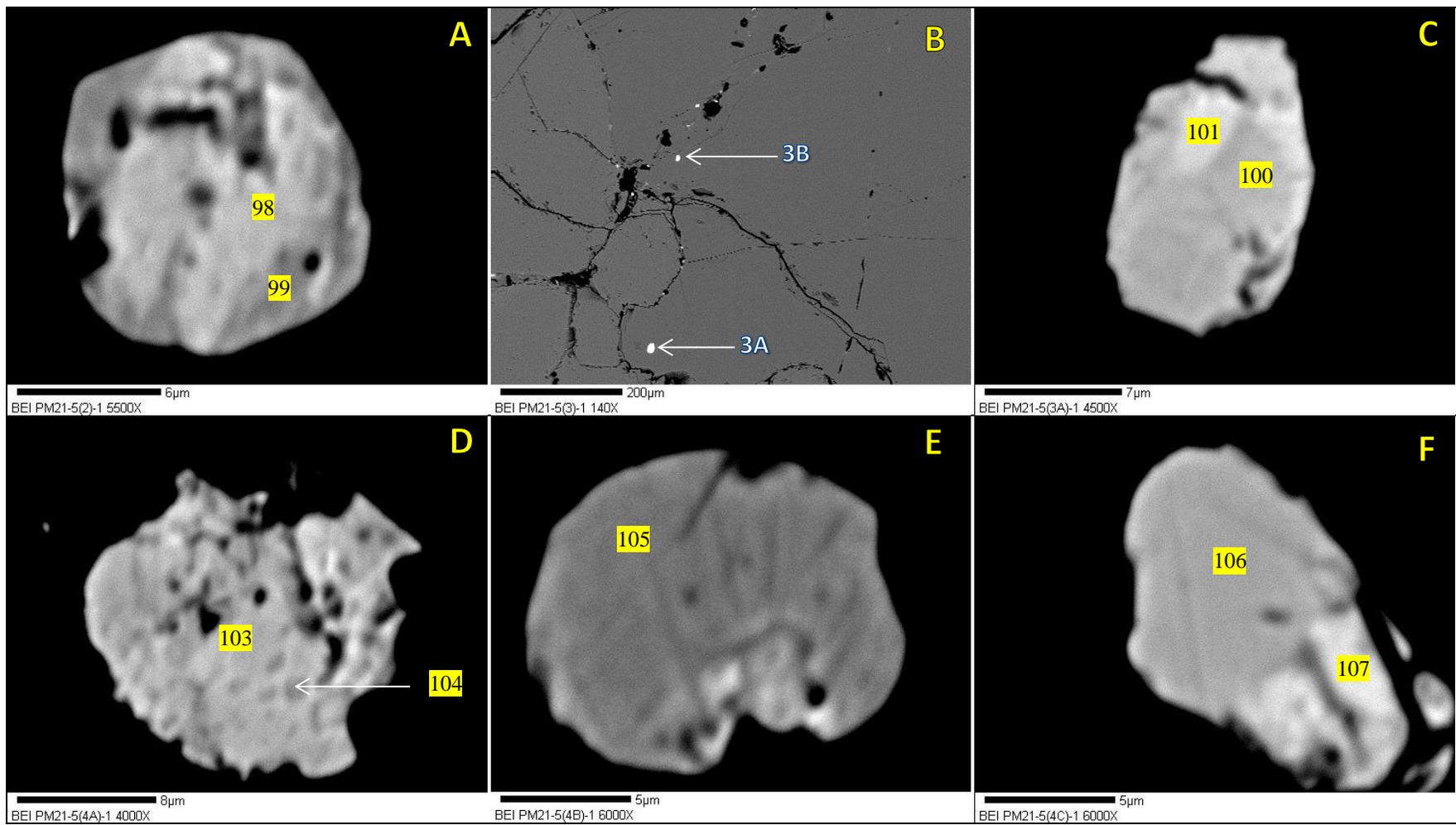


Figura Anexo 60: Sulfuros PM21-05. Imágenes de electrones retrodispersados (BEI): (A) sulfuro PM21-05-2, (B) sulfuros PM21-05-3A y 3B, (C) sulfuro PM21-05-3A, (D) sulfuro PM21-05-4A, (E) sulfuro PM21-05-4B, (F) sulfuro PM21-05-4C.

PM20-01	
Nombre de la roca	Lherzolita de Sp
Texturas	Equigranular I a Protogranular II
Mineralogía primaria	Sección compuesta por Ol, Opx, Cpx y Sp en orden modal descendente. Mostrando dos familias de tamaño de grano. Una mayor entre 1 y 5 mm, compuesta por Ol, Opx y en menor medida Cpx, mostrando todas formas levemente elongadas, bordes rectos a redondeados e inclusiones redondeadas pequeñas de Sp (0.1-0.05 mm), como también escasas bandas de deformación en Ol. La segunda población presenta tamaños entre 0.5 y 0.2 mm., comprendiendo Ol, Opx, Cpx no deformados y con bordes poligonales, así como Sp de forma vermicular entre las fases silicatadas, asociada con ambos piroxenos. Texturalmente, se observa exsolución mutua de piroxenos, así como leve reacción en los contactos con el basalto.
Sulfuros	1A) Tipo SAS; FA: Pn+Po; Hospedado en Cpx fracturado; Forma irregular; Figura Anexo 62 muestran texturas de removilización de sulfuros ricos en Cu no analizados (SRCu) en clivaje.
	1B) Tipo SAS; FA: Pn+MSS+Cp; Hospedado en Cpx fracturado; Muestra decrepitación de inclusiones fluidas y sulfuradas; Forma esférica con bordes estrellados; Figura Anexo 63 muestra distribución de fases sulfuradas.
	2) Tipo SAS; FA: Pn+MSS+Cp; Hospedado en Cpx; Forma esférica con bordes estrellados.
	3) Tipo SAS; FA: Pn+MSS+Cp; Hospedado en Cpx con exsolución de Opx; Forma irregular.
Observaciones	

Tabla Anexo 24: Ficha descripción corte transparente pulido PM20-01. FA: Fases registrada con análisis en microsonda; Pn: Pentlandita; Po: Pirrotina; Cp: Calcopirita.

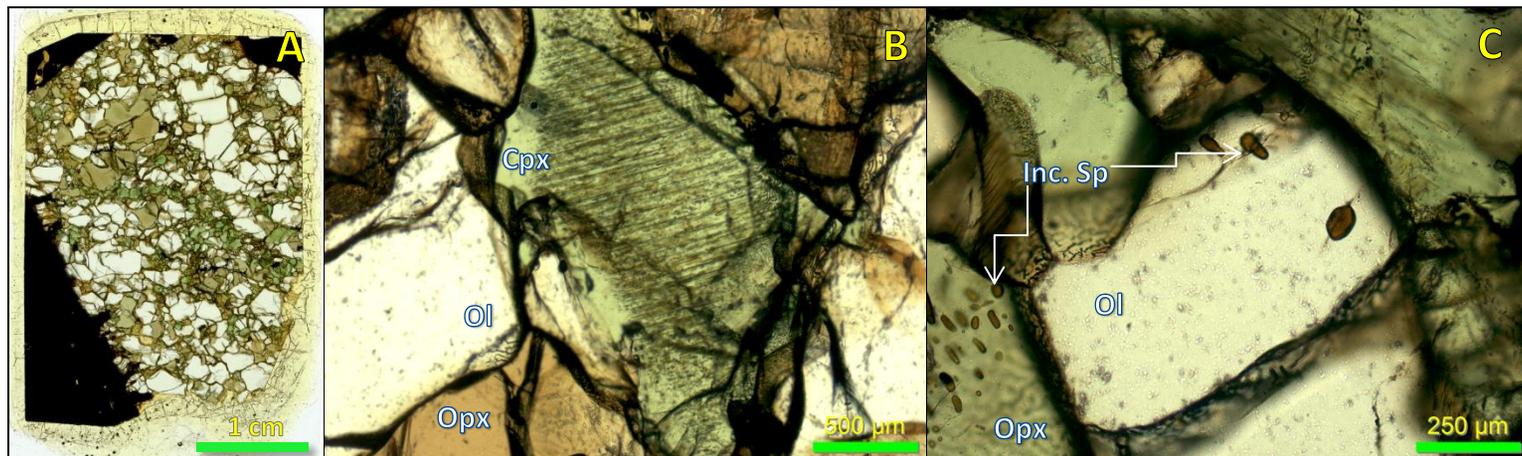


Figura Anexo 61: Muestra PM20-01. (A) Imagen corte obtenida con escáner Epson. Fotomicrografías a luz transmitida-nicoles paralelos: (B) exsolución de Opx en Cpx; (C) inclusiones de Sp en Ol y Opx.

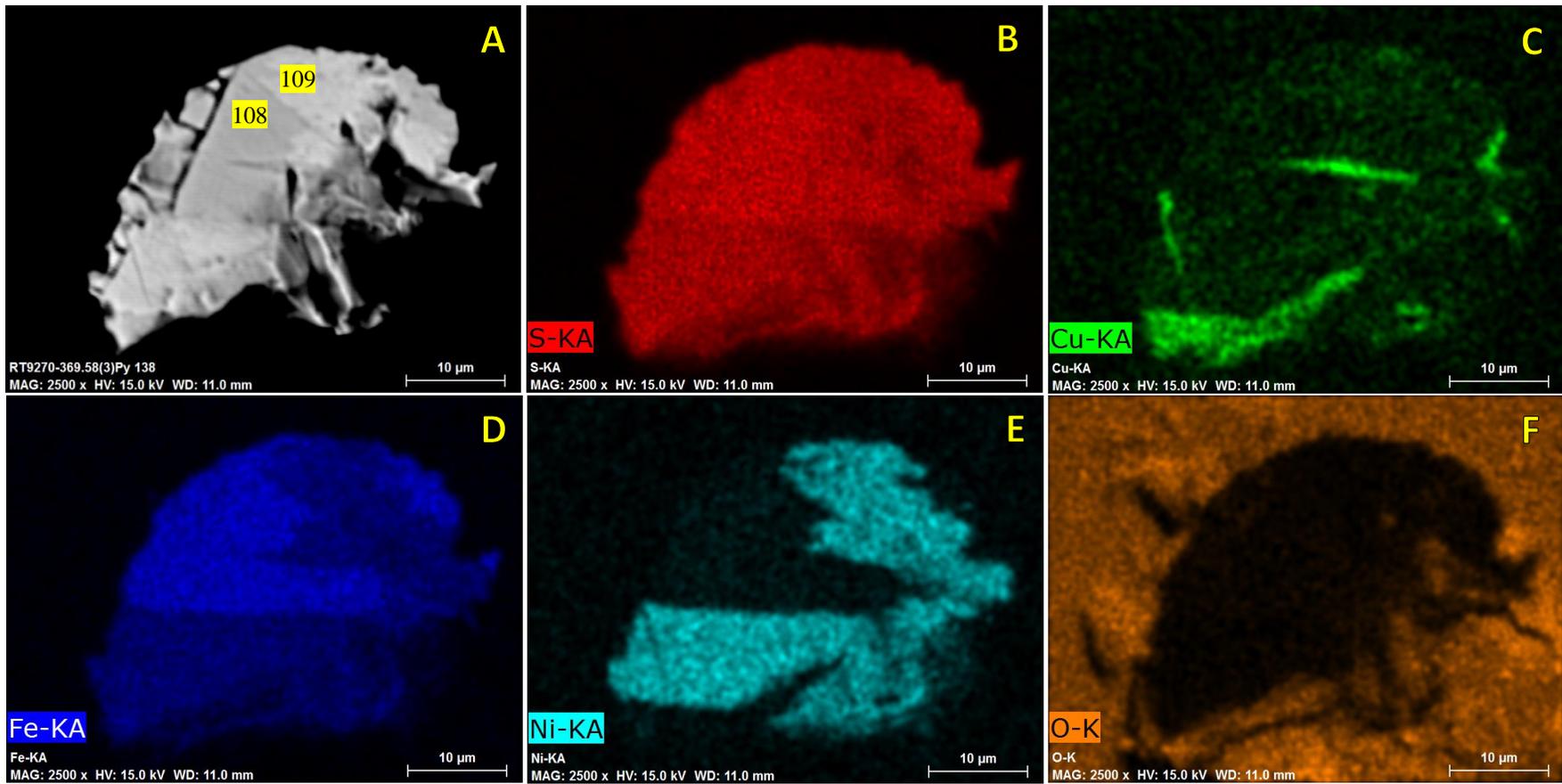


Figura Anexo 62: Sulfuro PM20-01-1A. Imagen de electrones retrodispersados (BEI) (solo A) y Mapas de rayos X de distribución de elementos (B hasta F). (B) Azufre, (C) cobre, (D) hierro, (E) níquel, (F) oxígeno.

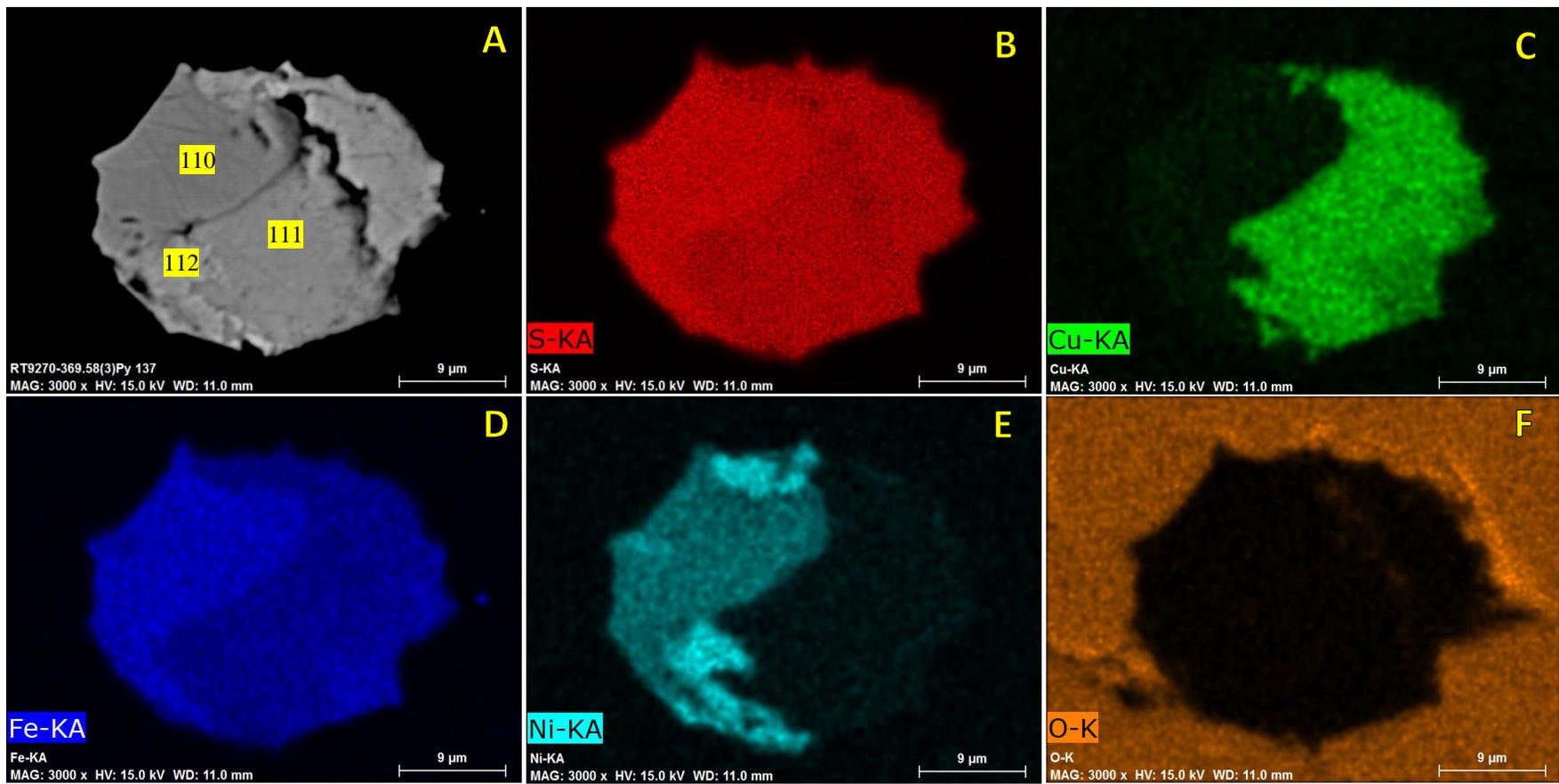


Figura Anexo 63: Sulfuro PM20-01-1B. Imagen de electrones retrodispersados (BEI) (solo A) y Mapas de rayos X de distribución de elementos (B hasta F). (B) Azufre, (C) cobre, (D) hierro, (E) níquel, (F) oxígeno.

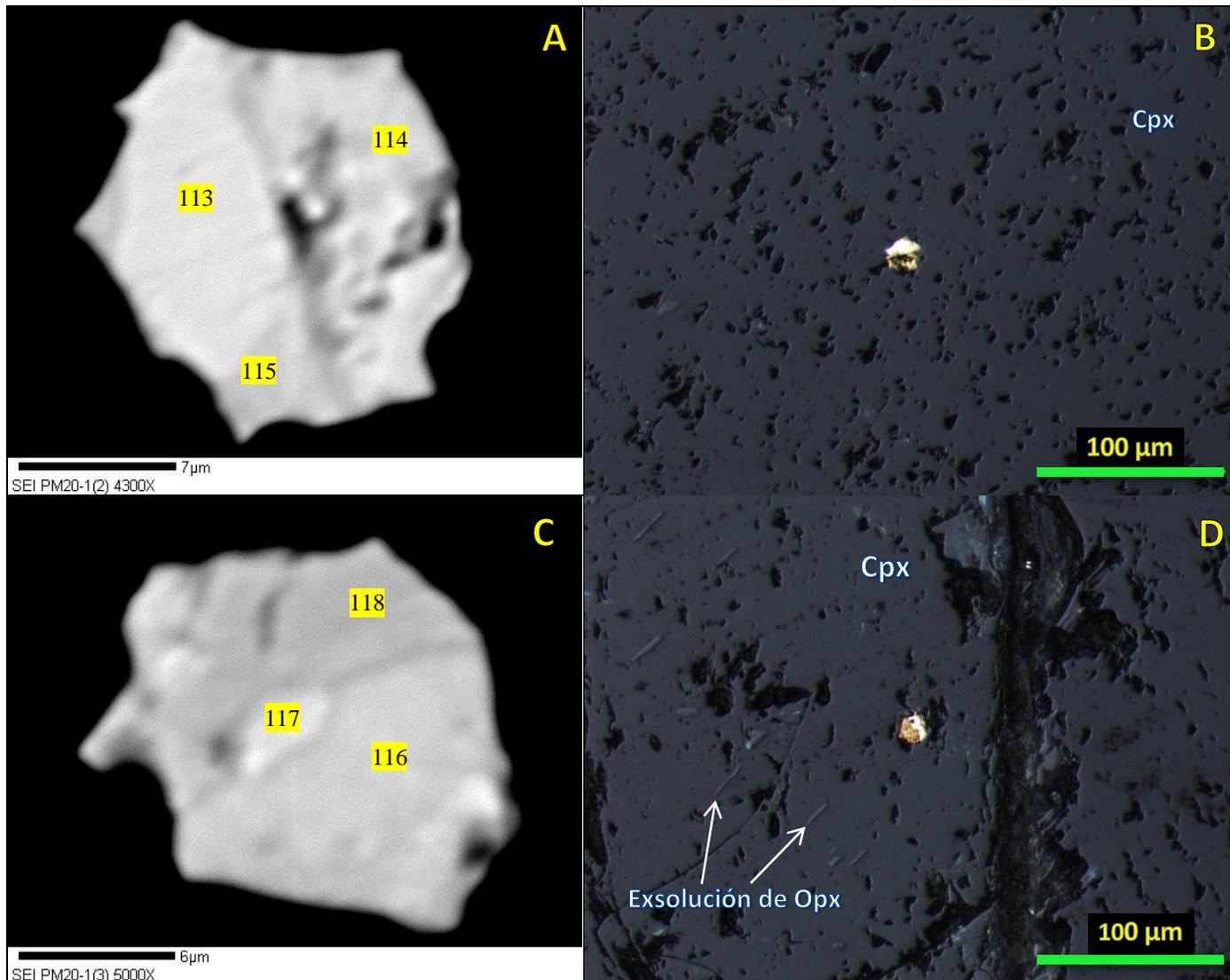


Figura Anexo 64: Sulfuro PM20-01-2: (A) Imagen BEI; (B) fotomicrografía a luz reflejada-nicoles paralelos. Sulfuro PM20-01-3: (C) Imagen BEI; (D) fotomicrografía a luz reflejada-nicoles paralelos.

PM20-13	
Nombre de la roca	Lherzolita de Sp
Texturas	Protogranular II
Mineralogía primaria	Sección compuesta por Ol, Opx, Cpx y Sp en orden modal descendente. El Ol y Opx muestran tamaños entre 1 y 3 mm, con algunos cristales menores de 0.5 mm. En general, presentan bordes redondeados a levemente rectos. Cpx es bastante escaso e inferior a los 1.5 mm, con formas levemente elongadas. Sp es escaso, se observa vermicular en zonas de reacción con basalto, así como pequeñas inclusiones redondeadas alineadas dentro de Opx de 0.05 a 0.08 mm. Texturalmente, se observa exsolución mutua de piroxenos, así como reacción de Ol, Opx y Sp en los contactos directos con el basalto.
Sulfuros	1) Tipo SAS; FA: Pn; Hospedado en cristal de Opx con exsoluciones de Cp; Forma redondeada a irregular.
Observaciones	Xenolito pequeño, intensamente percolado por el basalto hospedante, con gran cantidad de inclusiones fluidas asociadas al mismo.

Tabla Anexo 25: Ficha descripción corte transparente pulido PM20-13. FA: Fases registrada con análisis en microsonda; Pn: Pentlandita.

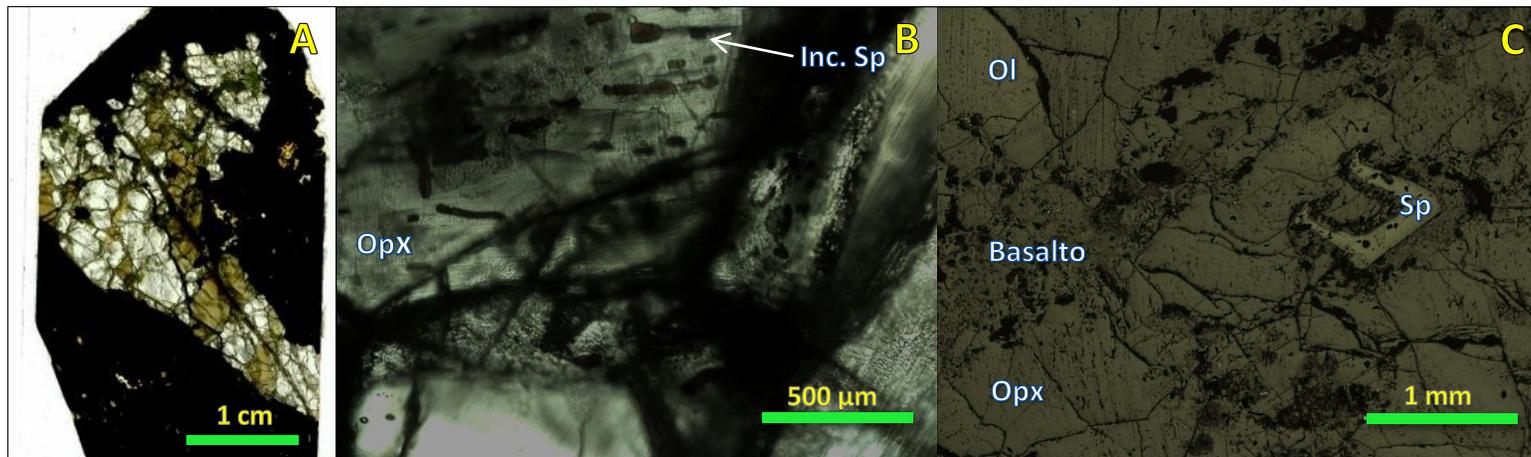


Figura Anexo 65: Muestra PM20-13. (A) Imagen corte obtenida con escáner Epson. Fotomicrografías a luz transmitida-nicoles paralelos, (B) exsolución de Cpx e inclusiones de Sp en Opx, (C) reacción de Opx, Ol y Sp con basalto.

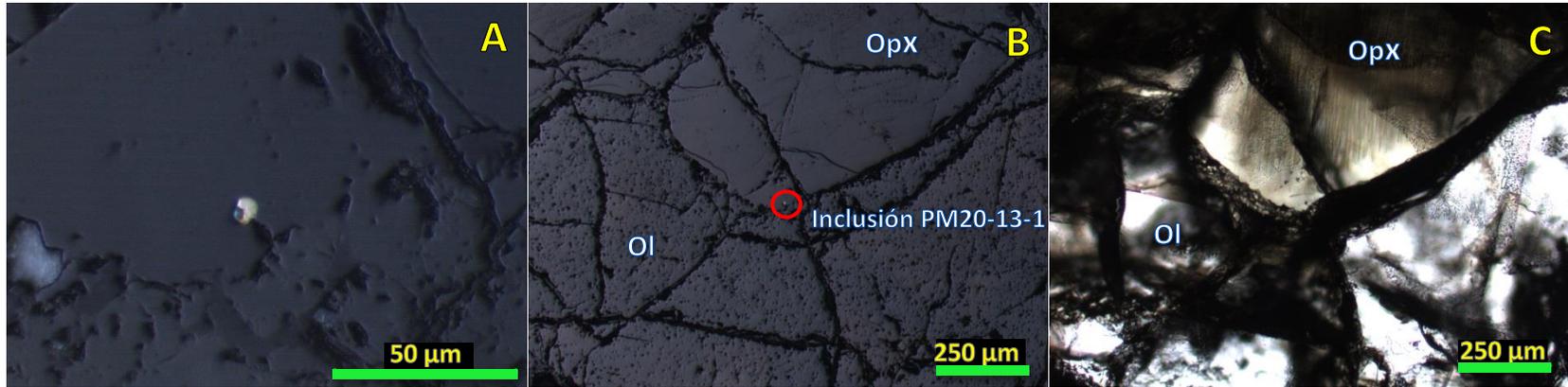


Figura Anexo 66: Sulfuro PM20-13-1. (A) Fotomicrografía a luz reflejada-nicoles paralelos. (B) Fotomicrografía a luz reflejada-nicoles paralelos. (C) Fotomicrografía a luz transmitida-nicoles paralelos.

PM20-20	
Nombre de la roca	Lherzolita de Sp
Texturas	Protogranular II
Mineralogía primaria	Sección compuesta por Ol, Opx, Cpx y Sp en orden modal descendente. Opx muestra tamaños entre 3 y 5 mm, con algunos cristales menores a 0.8 mm, por su parte Ol presenta tamaños continuos entre 1 y 4 mm, ambos con bordes redondeados a rectos. Cpx se encuentra disperso en la muestra, asociado preferentemente a Opx, con formas alargadas y tamaños inferiores a 1.2 mm. Sp se observa como inclusiones esféricas a elípticas alineadas en cristales mayores de Opx, llegando a los 0.07 mm. Texturalmente, se observa exsolución mutua de piroxenos, reacción de Ol y Opx en contacto con el basalto y textura poikilítica de Ol en cristales mayores de Opx.
Sulfuros	1) Tipo SAS; FA: MSS+Cp; Hospedado en Opx con inclusiones fluidas y de Sp; Forma irregular; Figura Anexo 68 muestra importante oxidación de la inclusión.
Observaciones	Xenolito con gran cantidad de inclusiones fluidas orientadas en fenocristales de Ol y Opx.

Tabla Anexo 26: Ficha descripción corte transparente pulido PM20-20. FA: Fases registrada con análisis en microsonda; MSS: Solución sólida monosulfurada; Cp: Calcopirita.

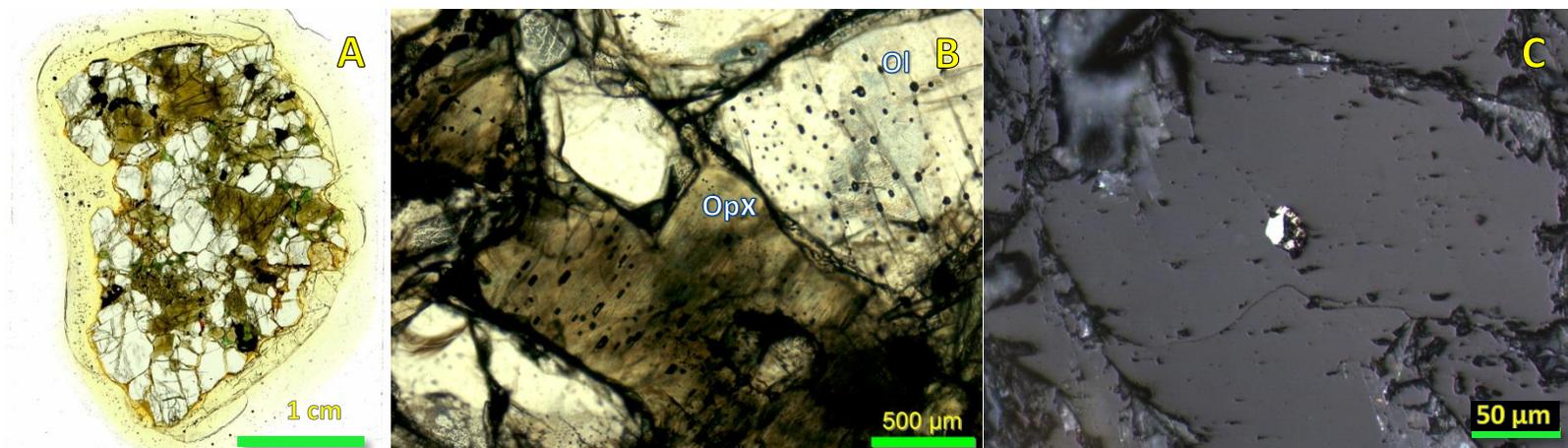


Figura Anexo 67: Muestra PM20-20. (A) Imagen corte obtenida con escáner Epson. (B) Fotomicrografía a luz transmitida-nicoles paralelos mostrando inclusiones fluidas en fenocristales de Ol y Opx. (C) Fotomicrografía a luz reflejada-nicoles paralelos de sulfuro PM20-20-1.

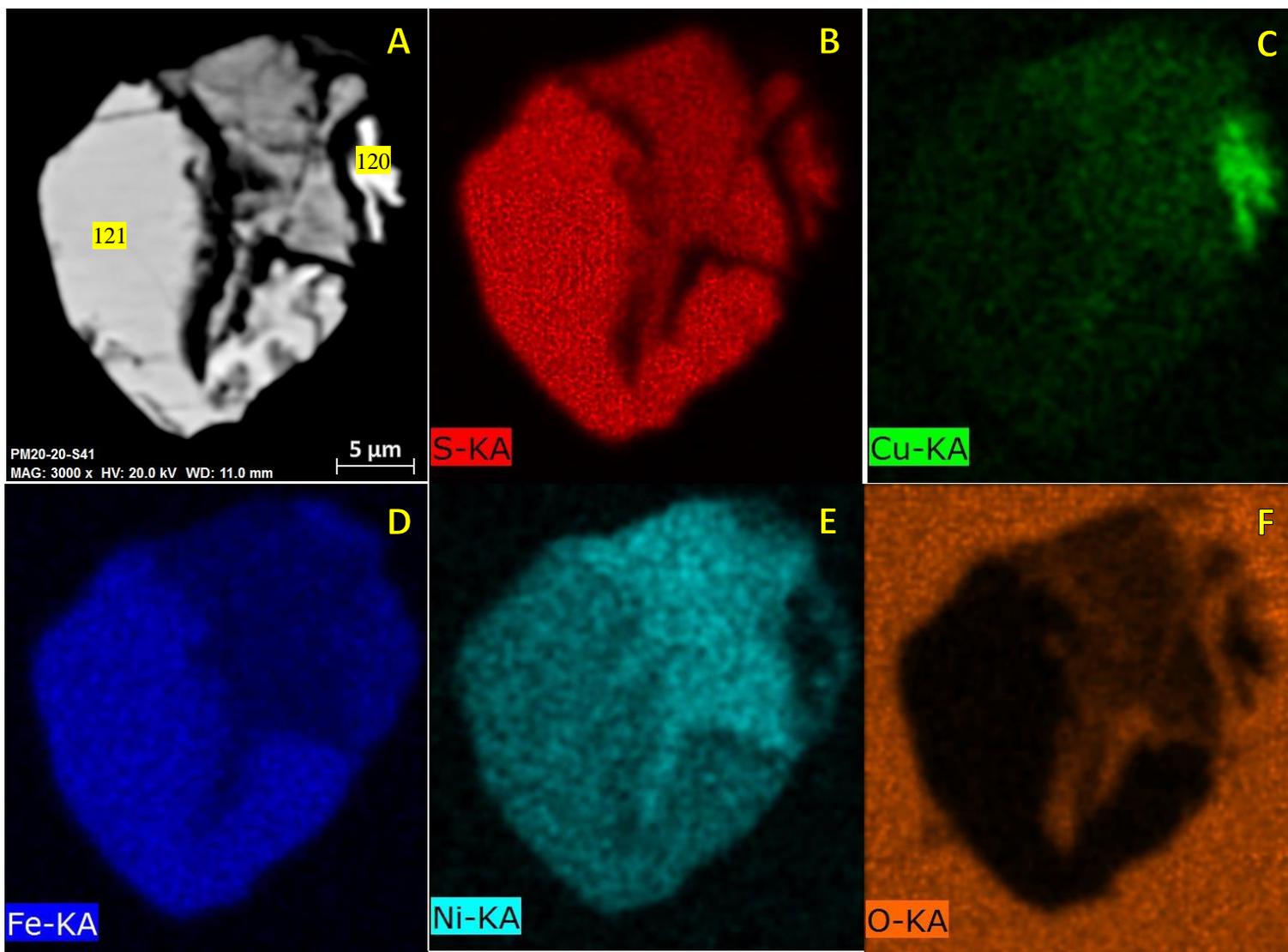


Figura Anexo 68: Sulfuro PM20-20-1. Imagen de electrones retrodispersados (BEI) (solo A) y Mapas de rayos X de distribución de elementos (B hasta F). (B) Azufre, (C) cobre, (D) hierro, (E) níquel, (F) oxígeno.

PM20-23	
Nombre de la roca	Lherzolita de Sp
Texturas	Protogranular II a levemente Porfiroclástica II
Mineralogía primaria	Sección compuesta por Opx, Ol, Cpx y Sp en orden modal descendente. Opx muestra dos poblaciones de cristales, dos fenocristales elongados de 8x3 mm y cristales menores cercanos a los 2 mm. Ol presenta tamaños entre 1 y 3.5 mm. Cpx muestra un cristal mayor de 2.5x1 mm, así como pequeños cristales intersticiales inferiores a los 0.8 mm. Sp ocurre con forma irregular con tamaños inferiores a 1 mm y como inclusiones esféricas en cristales de Opx (<0.1 mm). Texturalmente, se observa exsolución mutua de piroxenos y reacción de Ol, Opx y Sp en contacto con basalto.
Sulfuros	1A) Tipo SZR; FA: Pn; Ubicado zona de reacción con basalto; Forma irregular.
	1B) Tipo SZR; FA: MSS; Ubicado en zona de reacción con basalto; Forma irregular.
	2) Tipo SI; FA: MSS; Ubicado entre Ol y Opx; Forma irregular.
	3) Tipo SA; FA: Pn+MSS; Inclusión asociada a fractura sanada en Ol; Forma esférica con bordes irregulares; Figura Anexo 71 muestra sulfuro rico en Cu (SRCu) no analizado.
	4) Tipo SZR; FA: Pn; Ubicado en zona de reacción de Opx con basalto; Forma irregular.
Observaciones	Xenolito intensamente percolado por basalto hospedante, con gran cantidad de inclusiones fluidas, asociadas al mismo, en Opx y Ol.

Tabla Anexo 27: Ficha descripción corte transparente pulido PM20-23. FA: Fases registrada con análisis en microsonda; Pn: Pentlandita; MSS: Solución sólida monosulfurada.

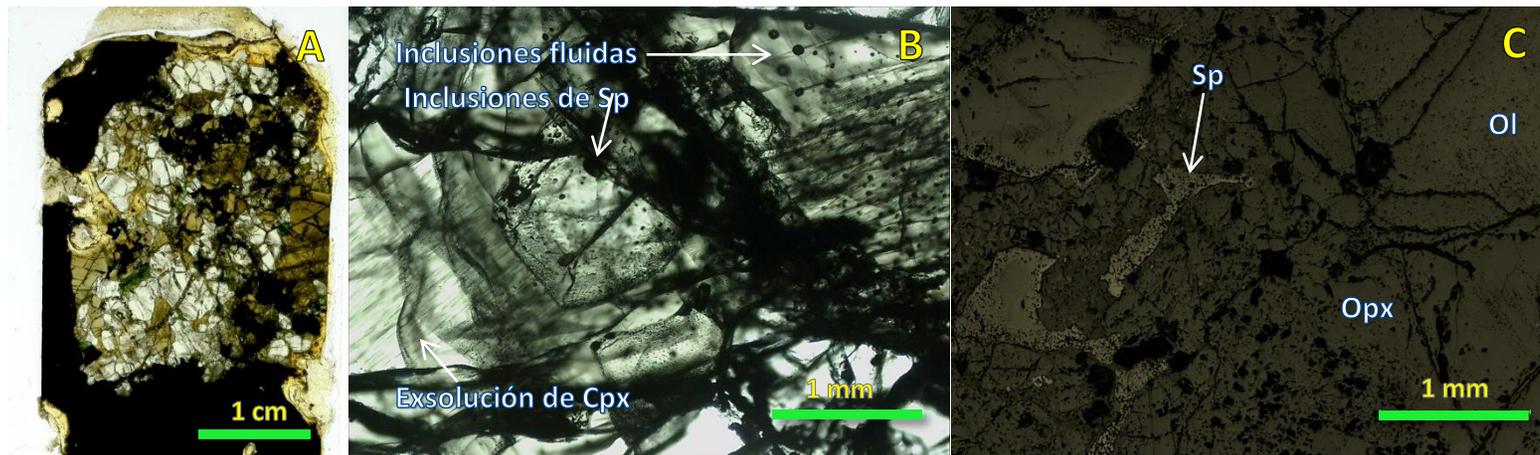


Figura Anexo 69: (A) Imagen muestra PM20-23, obtenida con escáner Epson. (B) Fotomicrografía a luz transmitida-nicoles paralelos, exsolución de Cpx e inclusiones fluidas y de Sp en Opx, (C) fotomicrografía a luz reflejada-nicoles paralelos, reacción de Opx, Ol y Sp con basalto.

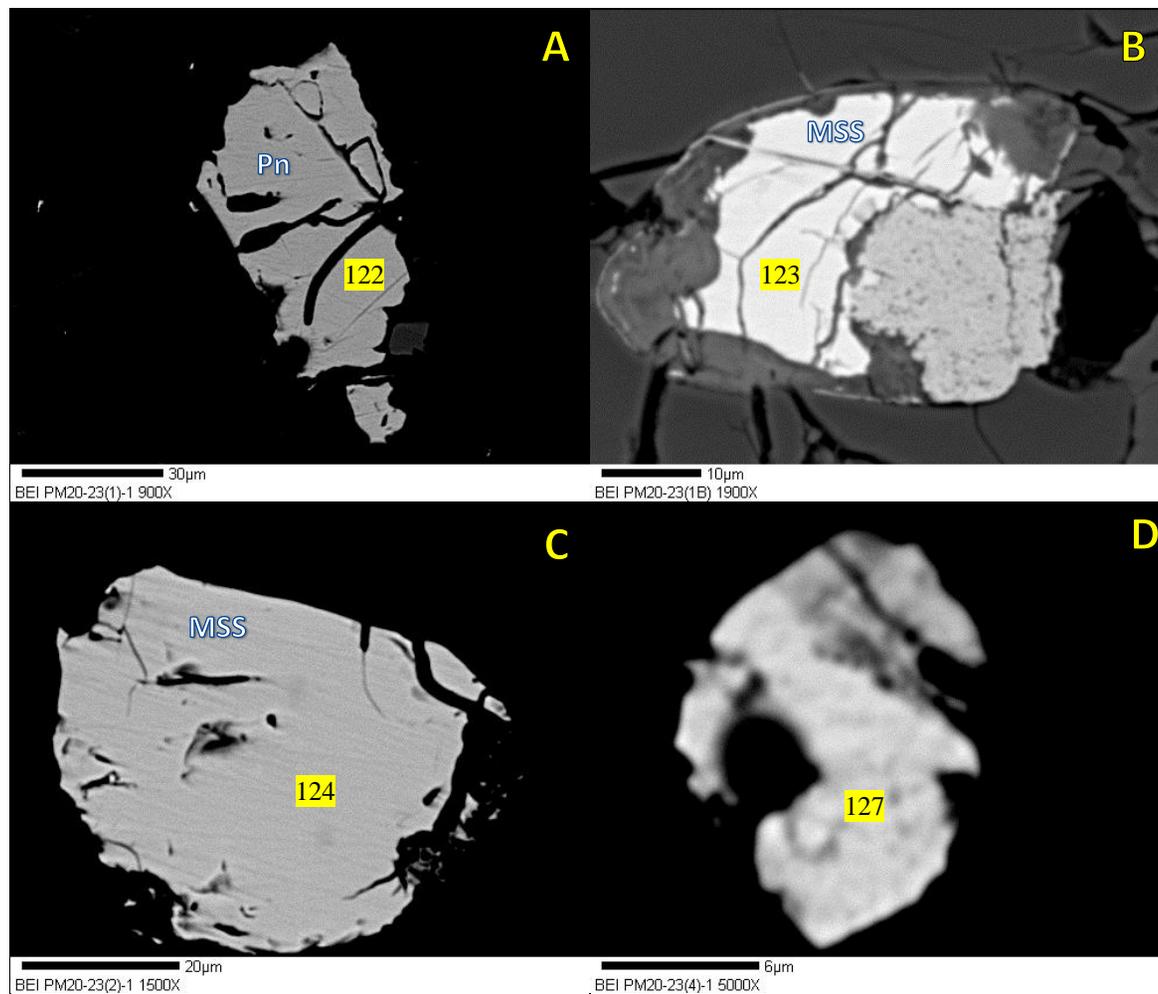


Figura Anexo 70: Imágenes de electrones retrodispersados (BEI). (A) Sulfuro PM20-23-1A, (B) sulfuro PM20-23-1B, (C) sulfuro PM20-23-2, (D) sulfuro PM20-23-4.

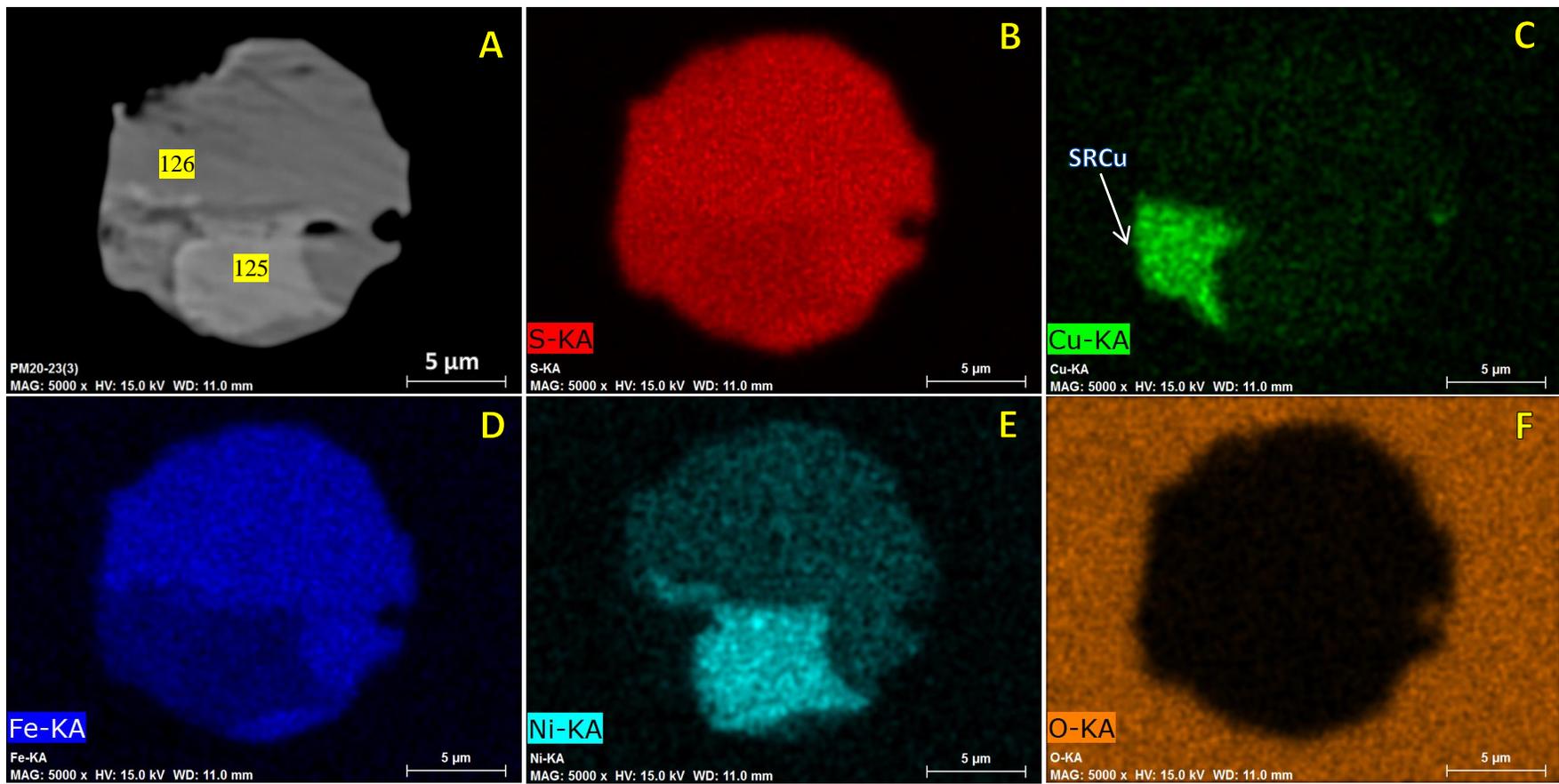


Figura Anexo 71: Sulfuro PM20-23-3. Imagen de electrones retrodispersados (BEI) (solo A) y Mapas de rayos X de distribución de elementos (B hasta F). (B) Azufre, (C) cobre, (D) hierro, (E) níquel, (F) oxígeno.

PM18-09	
Nombre de la roca	Lherzolita de Gr-Sp
Texturas	Protogranular I
Mineralogía primaria	Xenolito compuesto por Ol, Opx, Gr, Cpx y Sp. Ol presenta tamaños entre 1 y 4mm, con bordes redondeados. Opx muestra cristales entre 1 y 5 mm, los mayores con formas levemente elongadas y bordes redondeados a rectos. Cpx no supera los 2 mm, con formas vermiculares y comúnmente en contacto con Opx. Granate presenta tamaños inferiores a 2,5 mm, asociado a pequeños granos de Sp. Además, la muestra presenta zonas de reacción (cercana a 1 mm) con cavidades, asociadas frecuentemente a ocurrencia de Gr y Sp. Texturalmente, se observa bordes de reacción en los contactos de Sp con Gr.
Sulfuros	1) Tipo SAS; FA: MSS; Hospedado en Cpx; Forma esférica con bordes levemente irregulares.
	2A) Tipo SAS; FA: MSS; Hospedado en Ol; Forma irregular en boxwork esférico.
	2B) Tipo SI; FA: MSS; Ubicado entre granos de Ol, cercano a 2A; Forma irregular.
	3A) Tipo SI; FA: MSS; Ubicado en fracturas en Ol; Forma irregular.
	3B) Tipo SI; FA: MSS; Ubicado en fracturas en Ol; Forma irregular
Observaciones	Muestra corresponde a un bloque grueso doble pulido, por lo que fue descrita con el uso de lupa binocular y observaciones microscópicas a luz reflejada.

Tabla Anexo 28: Ficha descripción bloque grueso pulido PM18-09. FA: Fases registrada con análisis en microsonda; MSS: Solución sólida monosulfurada.

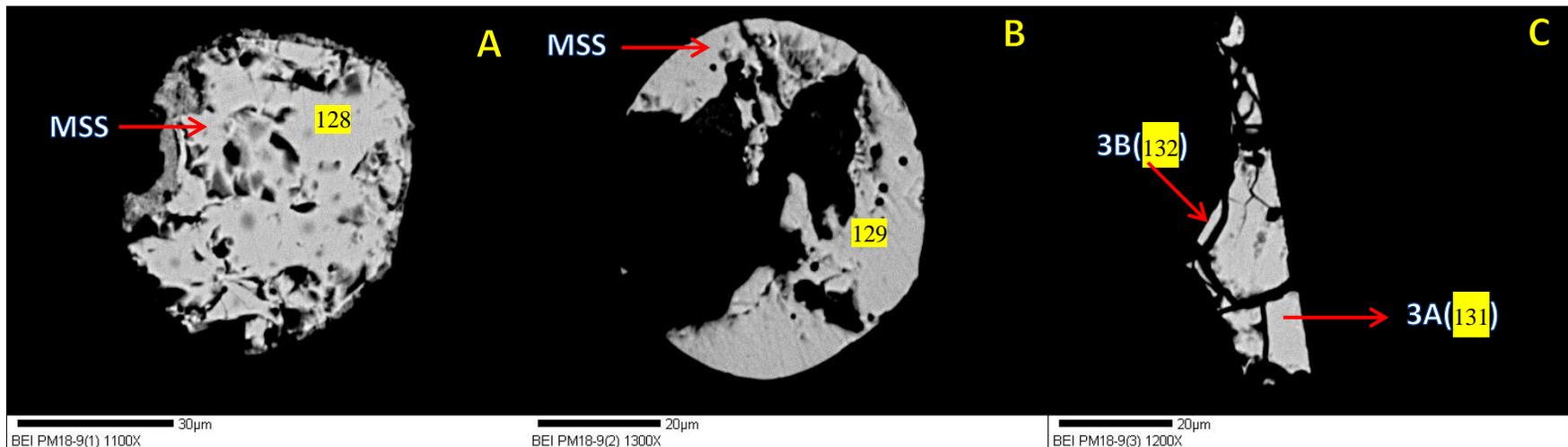


Figura Anexo 72: Sulfuros PM18-09. Imágenes de electrones retrodispersados (BEI): (A) sulfuro PM18-09-1. (B) sulfuro PM18-09-2A, (C) sulfuro PM18-09-3A y 3B.

PM18-13	
Nombre de la roca	Lherzolita de Gr-Sp
Texturas	Protogranular I
Mineralogía primaria	Xenolito compuesto por Ol, Opx, Gr, Cpx y Sp. Ol presenta tamaños entre 1 y 4mm, con bordes redondeados. Opx muestra cristales entre 1 y 5 mm, con bordes redondeados a rectos. Cpx no supera los 1,5 mm, con formas vermiculares y comúnmente en contacto con Opx. Granate presenta tamaños inferiores a 2 mm, asociado a pequeños granos de Sp. Además, la muestra presenta zonas de reacción (cercana a 1 mm) con cavidades, asociadas frecuentemente a ocurrencia de Gr y Sp. Texturalmente, se observa bordes de reacción en los contactos de Sp con Gr.
Sulfuros	1) Tipo SZR; FA: Pn; Ubicado en zona de reacción; Forma irregular.
	2) Tipo SAS; FA: MSS; Hospedado en Cpx; Forma esférica con bordes levemente irregulares.
	3) Tipo SAS; FA: MSS; Hospedado en Opx; Forma irregular en boxwork esférico.
Observaciones	Muestra corresponde a un bloque doble pulido, por lo que fue descrita con el uso de lupa binocular y observaciones microscópicas a luz reflejada.

Tabla Anexo 29: Ficha descripción bloque grueso pulido PM18-13. FA: Fases registrada con análisis en microsonda; Pn: Pentlandita; MSS: Solución sólida monosulfurada.

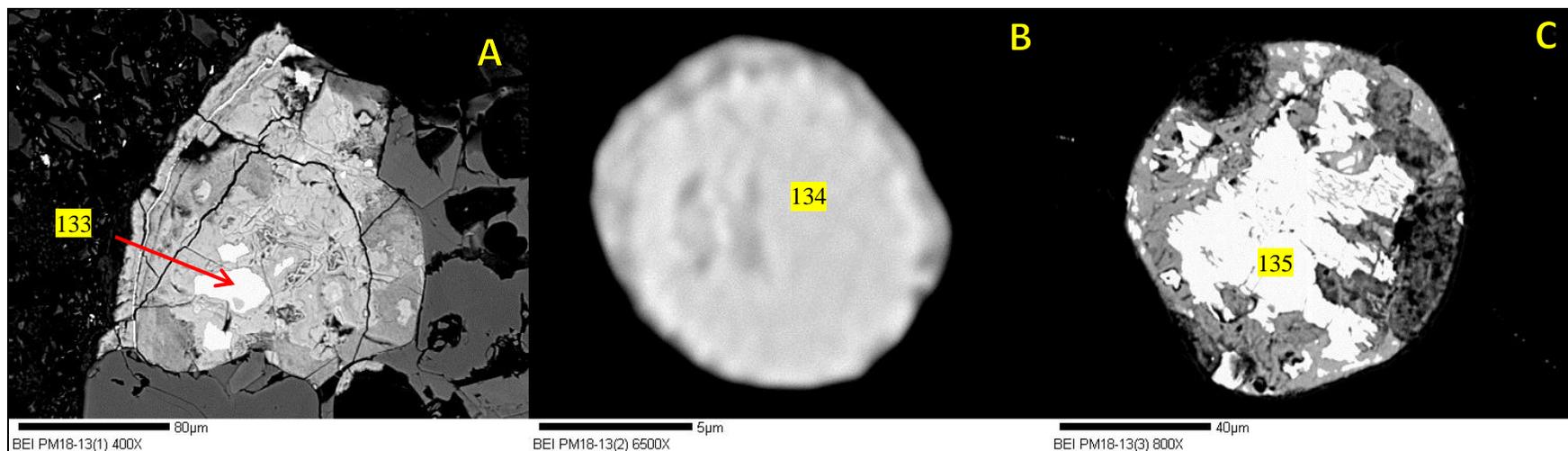


Figura Anexo 73: Sulfuros PM18-13. Imágenes de electrones retrodispersados (BEI): (A) sulfuro PM18-13-1. (B) sulfuro PM18-13-2, (C) sulfuro PM18-13-3.

PM18-22	
Nombre de la roca	Harzburgita de Gr-Sp
Texturas	Protogranular I a Porfiroclástica I
Mineralogía primaria	Ol presenta tamaños entre 1 y 4 mm, con bordes redondeados a levemente rectos. Opx se observa con medidas entre 1 y 5 mm, con cristales levemente elongados y bordes redondeados a rectos. Gr presenta formas irregulares, usualmente alargadas, con tamaños inferiores a 3 mm. Cpx es escaso, son tamaños menores a 1 mm. Sp se encuentra comúnmente asociada a Gr, con tamaños cercanos a los 0,5 mm. Además, la muestra presenta zonas de reacción (cerca a 1 mm) con cavidades, asociadas frecuentemente a ocurrencia de Gr y Sp. Texturalmente, se observa bordes de reacción en los contactos de Sp con Gr.
Sulfuros	1A) Tipo SAS; FA: MSS; Hospedado en Opx fracturado; Forma elipsoidal alterado; Figura Anexo 75 muestran reemplazo por óxido de Fe y fase silicata en el centro y borde de la inclusión, respectivamente.
	1B) Tipo SI; FA: Pn; Ubicado entre cristales de Opx; Forma irregular.
	2) Tipo SAS; FA: MSS; Hospedado en Ol fracturado; Forma esférica.
Observaciones	Muestra corresponde a un bloque doble pulido, por lo que fue descrita con el uso de lupa binocular y observaciones microscópicas a luz reflejada.

Tabla Anexo 30: Ficha descripción bloque grueso pulido PM18-22. FA: Fases registrada con análisis en microsonda; Pn: Pentlandita; MSS: Solución sólida monosulfurada.

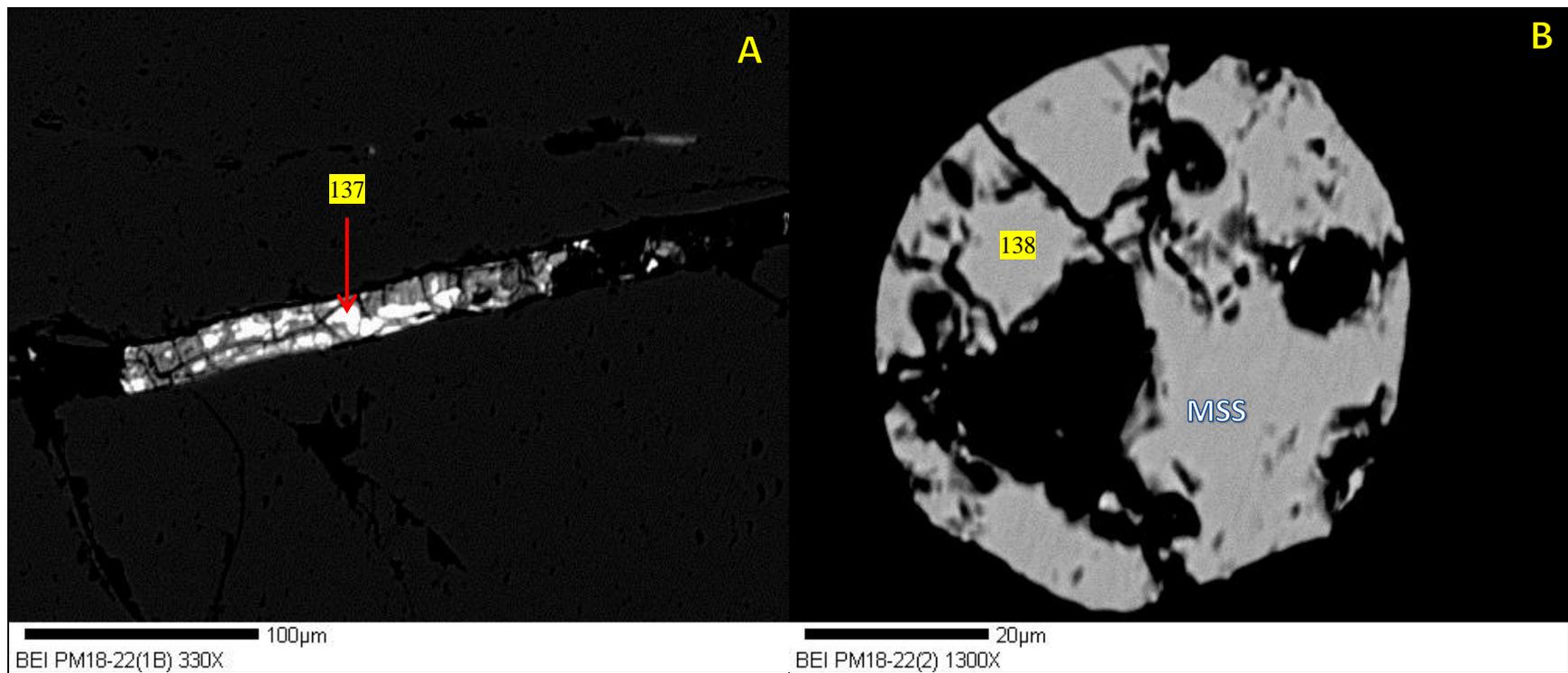


Figura Anexo 74: Sulfuros PM18-22. Imágenes de electrones retrodispersados (BEI): (A) sulfuro PM18-22-1B, (B) sulfuro PM18-22-2.

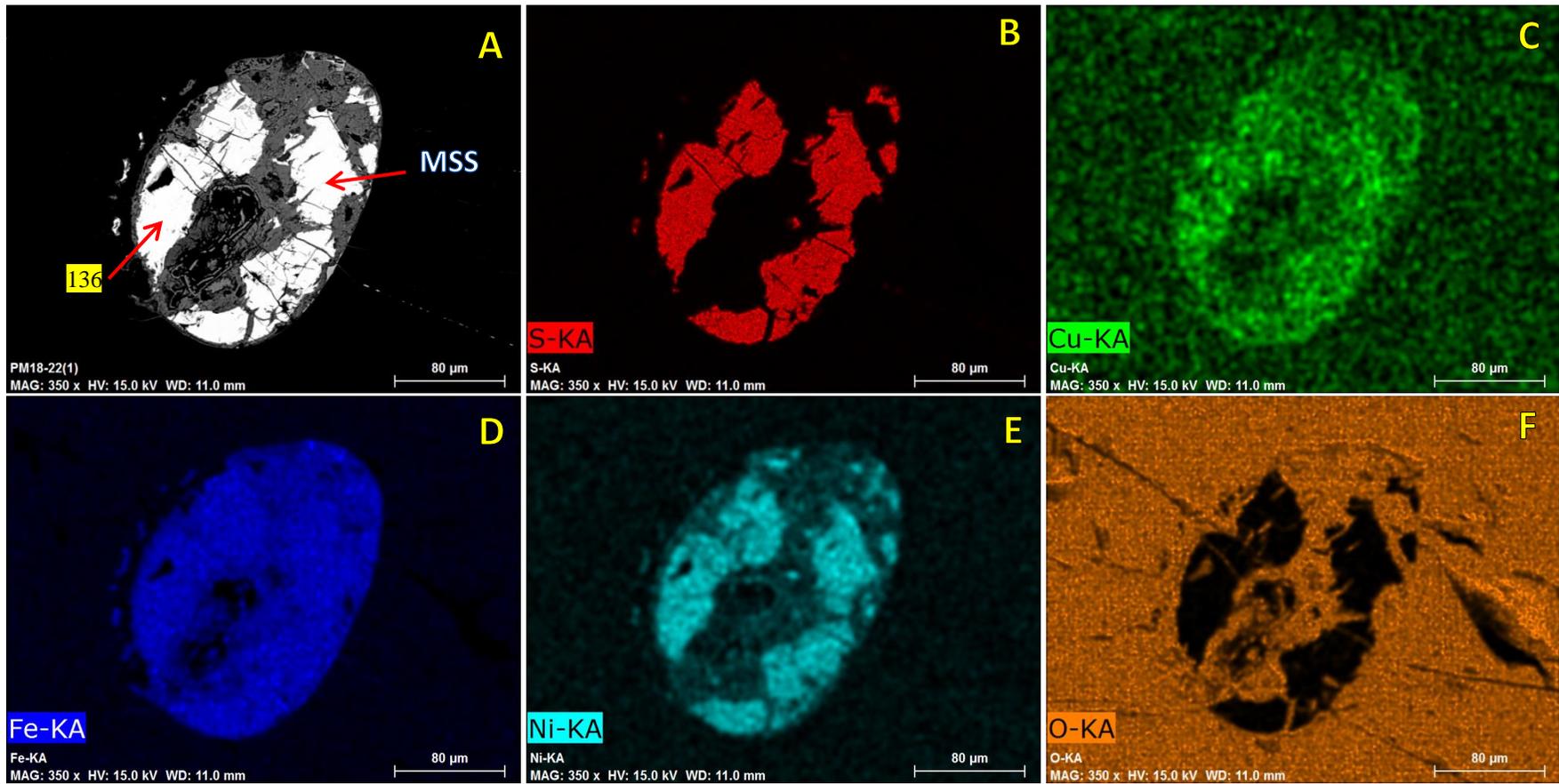


Figura Anexo 75: Sulfuro PM18-22-1. Imagen de electrones retrodispersados (BEI) (solo A) y Mapas de rayos X de distribución de elementos (B hasta F). (B) Azufre, (C) cobre, (D) hierro, (E) níquel, (F) oxígeno.

PM18-35	
Nombre de la roca	Lherzolita de Sp
Texturas	Protogranular I a Porfiroclástica I
Mineralogía primaria	Ol es la fase mineral más abundante, con tamaños entre 1 y 4 mm, además de bordes redondeados a rectos. Opx muestra tamaños inferiores a 4 mm y bordes redondeados. Cpx presenta tamaños inferiores a 1,5 mm, asociados frecuentemente a Opx. Sp presenta formas levemente vermiculares y tamaños inferiores a 1 mm. Además, se observaron pequeñas zonas de destabilización (1 mm aprox.) con recristalización principalmente de Opx y Sp.
Sulfuros	1A) Tipo SAS; FA: MSS+Cb; Hospedado en Ol; Forma esférica a levemente irregular, cortado por secuencias de microinclusiones (1 um) sulfuradas; Figura Anexo 77 muestra distribución de Cb en bordes de la inclusión.
	1B) Tipo SI; FA: Pn; Ubicado entre Ol y piroxeno; Forma irregular.
	2) Tipo SI; FA: Pn; Ubicado entre cristales de Ol; Forma irregular.
	3) Tipo SAS; FA: MSS+Cb; Hospedado en Ol fracturado; Forma esférica a irregular; Figura Anexo 78 muestran parches de sulfuro rico en Ni no analizado (SRNi).
	4) Tipo SAS; FA: MSS; Hospedado en Opx fracturado; Forma irregular en boxwork elipsoidal, con secuencias de microinclusiones (< 3 um) de sulfuros.
Observaciones	Muestra corresponde a un bloque doble pulido, por lo que fue descrita con el uso de lupa binocular y observaciones microscópicas a luz reflejada.

Tabla Anexo 31: Ficha descripción bloque grueso pulido PM18-35. FA: Fases registrada con análisis en microsonda; Pn: Pentlandita; MSS: Solución sólida monosulfurada; Cb: Cubanita.

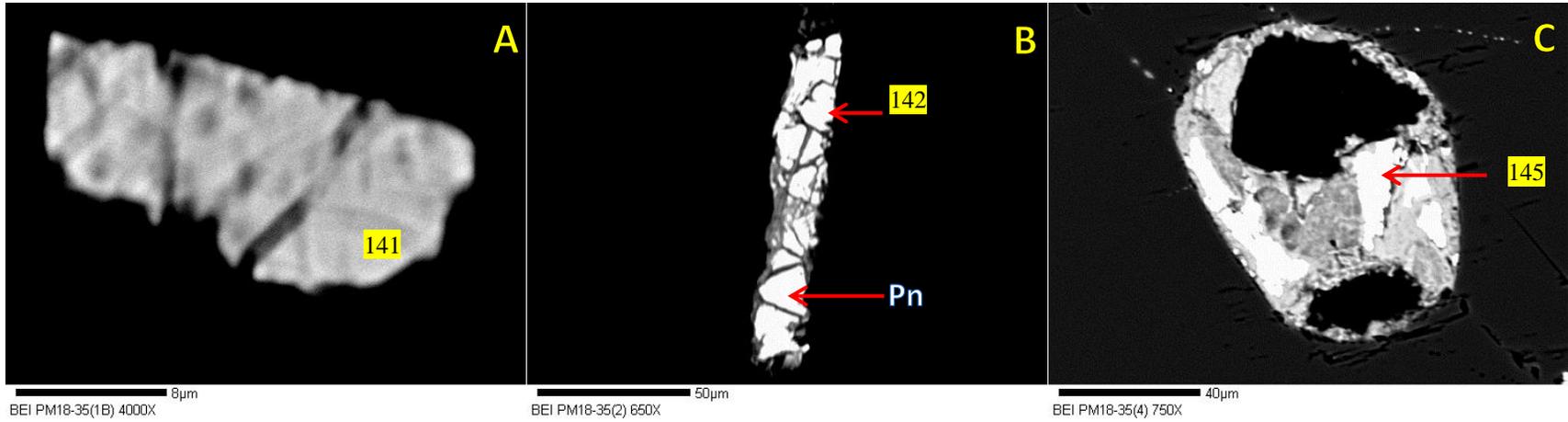


Figura Anexo 76: Sulfuros PM18-35. Imágenes de electrones retrodispersados (BEI): (A) sulfuro PM18-35-1B, (B) sulfuro PM18-35-2, (C) sulfuro PM18-35-4.

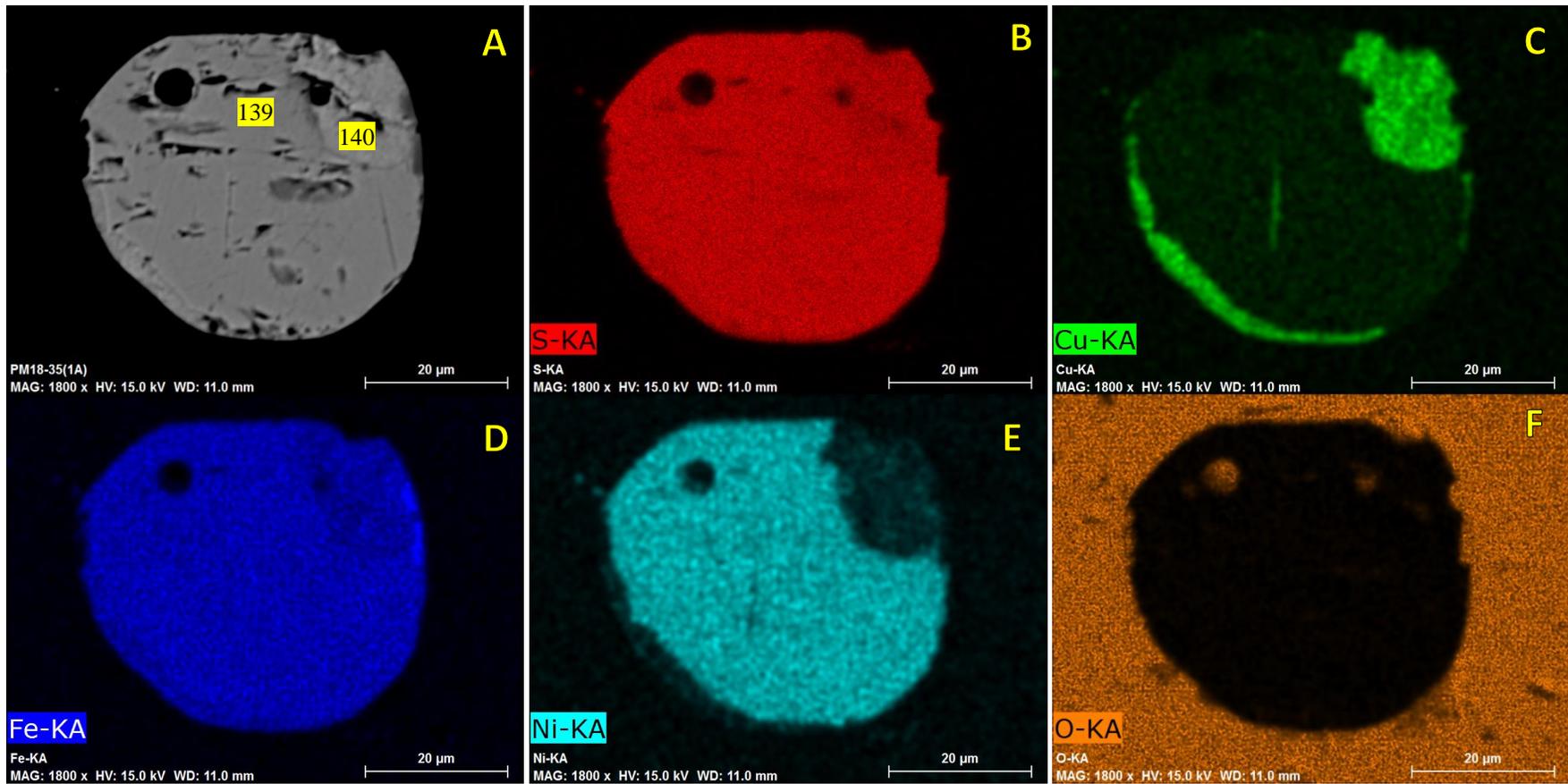


Figura Anexo 77: Sulfuro PM18-35-1A. Imagen de electrones retrodispersados (BEI) (solo A) y Mapas de rayos X de distribución de elementos (B hasta F). (B) Azufre, (C) cobre, (D) hierro, (E) níquel, (F) oxígeno.

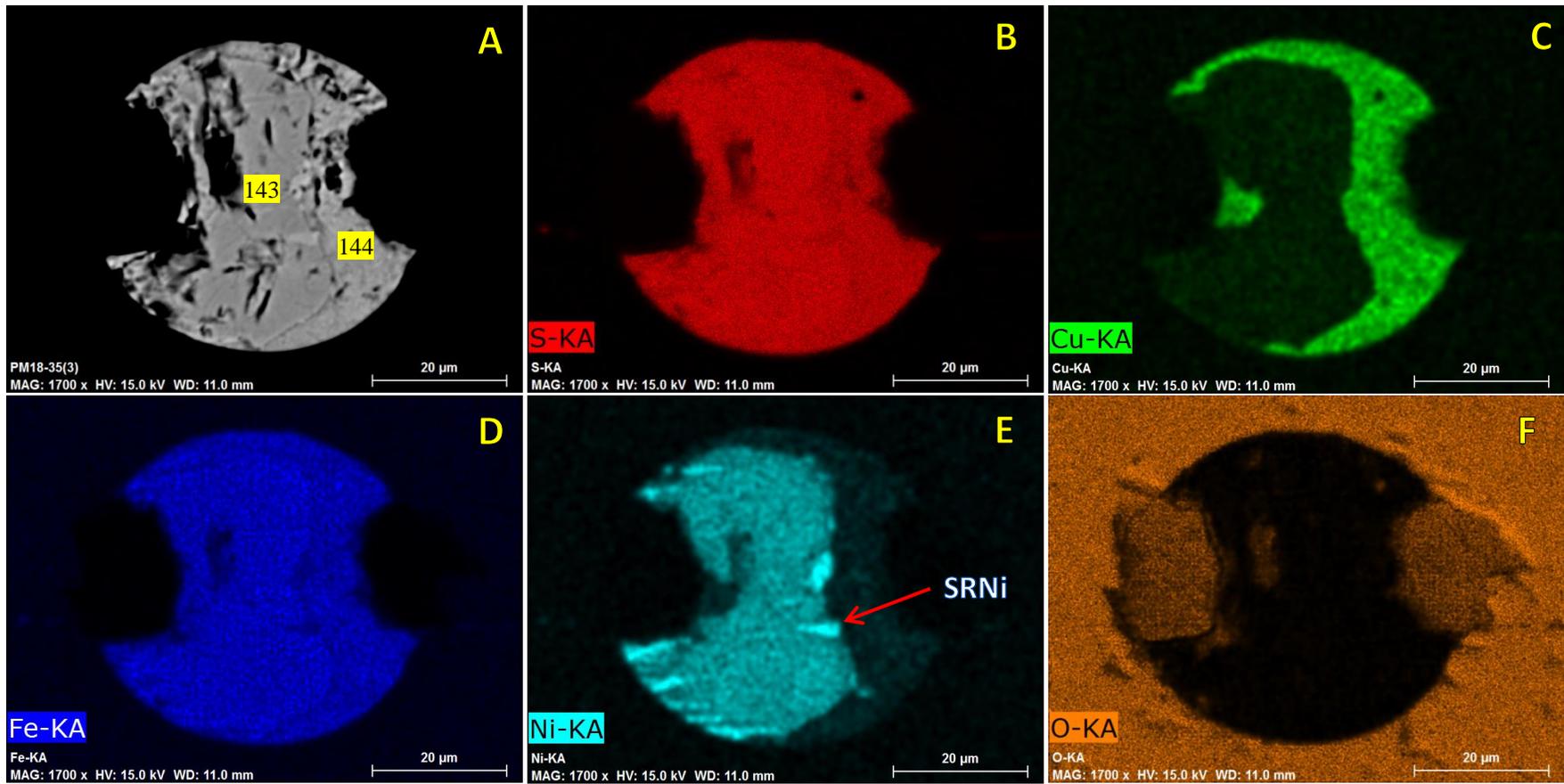


Figura Anexo 78: Sulfuro PM18-35-3. Imagen de electrones retrodispersados (BEI) (solo A) y Mapas de rayos X de distribución de elementos (B hasta F). (B) Azufre, (C) cobre, (D) hierro, (E) níquel, (F) oxígeno. SRNi: Sulfuro rico en níquel sin análisis de microsonda.

Anexo Composición Química de Sulfuros

Muestra	Sulfuro	Fase	Tipo	S (wt.%)	Fe (wt.%)	Cu (wt.%)	Co (wt.%)	Ni (wt.%)	Si (wt.%)	O (wt.%)	Total (wt.%)	Nº
Coyhaique												
PM25-02	1A	Pn	SA	32,77	30,64	0,14	0,30	33,79	0,05	0,76	98,44	1
	2A	Pn	SA	32,84	30,34	0,15	0,34	35,54	0,04	0,64	99,89	2
	2B	Pn	SA	32,64	28,75	0,58	0,32	35,34	0,12	0,87	98,63	3
	3	Pn	SA	32,71	26,44	0,05	0,56	37,15	0,11	0,80	97,82	4
MSS		SA	38,71	53,01	0,01	0,07	5,60	0,08	0,64	98,13	5	
PM25-06	1	MSS	SA	36,18	34,95	0,07	0,27	24,94	0,14	0,03	96,58	6
	2	Pn	SI	33,59	31,46	0,08	0,37	34,33	0,04	0,09	99,96	7
	3	Pn	SA	32,46	27,30	0,14	0,41	39,49	0,05	0,20	100,04	8
PM25-08	2A	MSS	SA	38,27	47,68	0,18	0,12	12,38	0,04	0,10	98,78	9
	2B	Pn	SA	33,60	23,10	0,29	0,65	40,38	0,09	0,17	98,27	10
	2C	Pn	SA	31,27	26,03	0,19	0,54	36,45	0,47	1,67	96,62	11
	3A	Pn	SA	32,93	28,60	0,08	0,33	35,66	0,11	0,42	98,14	12
	3B	Pn	SA	33,17	27,21	0,43	0,42	35,73	0,14	0,37	97,47	13
	4	Pn	SAS	33,80	27,64	0,02	0,37	38,40	0,02	0,09	100,34	14
		Cp	SAS	35,50	30,43	33,65	0,00	0,46	0,06	0,00	100,09	15
	5A	Pn	SA	33,59	31,25	0,17	0,40	34,90	0,03	0,65	101,00	16
		Cp	SA	34,31	30,27	34,00	0,02	0,27	0,07	0,12	99,05	17
	5B	Pn	SA	32,94	28,81	0,03	0,47	36,08	0,08	0,60	99,02	18
6	Pn	SA	32,73	30,87	0,09	0,49	33,38	0,06	0,30	97,92	19	
PM25-10	1	Pn		32,89	24,02	0,08	0,68	41,41	0,04	0,31	99,43	20
	2A	Pn	SA	31,24	26,69	2,43	0,29	35,57	0,12	2,46	98,81	21
	2B	Pn	SA	32,66	21,09	0,08	0,43	38,65	1,09	5,99	99,97	22
PM25-22	1	Cp	SAS	34,55	29,50	35,18	0,08	0,37	0,03	0,07	99,79	23
	2	Pn	SA	32,42	30,32	3,49	0,25	26,61	1,42	3,83	98,33	24
PM25-25	1A	MSS	SZR	37,51	49,47	0,04	0,15	12,60	0,00	0,06	99,84	25
		Pn	SZR	32,99	27,37	0,07	0,53	40,88	0,02	0,04	101,90	26
	1B	Pn	SZR	32,83	28,65	0,09	0,70	39,83	0,01	0,02	102,13	27

Muestra	Sulfuro	Fase	Tipo	S (wt.%)	Fe (wt.%)	Cu (wt.%)	Co (wt.%)	Ni (wt.%)	Si (wt.%)	O (wt.%)	Total (wt.%)	Nº
	2	MSS	SZR	37,73	48,67	0,04	0,19	12,79	0,00	0,04	99,47	28
		Pn	SZR	33,15	28,63	0,09	0,66	40,30	0,04	0,19	103,05	29
Cerro Clark												
PM24-28	1A	Pn	SZR	33,69	28,86	10,27	0,20	27,89	0,01	0,50	101,42	30
		Cp	SZR	34,18	28,18	33,93	0,02	2,90	0,01	0,21	99,42	31
		Pn	SZR	32,95	33,02	0,67	0,18	35,33	0,00	0,03	102,17	32
	1B	MSS	SZR	33,00	26,24	0,72	0,19	29,58	0,07	3,85	93,64	33
	2	Pn	SZR	32,98	32,72	0,48	0,22	33,55	0,04	0,28	100,28	34
PM24-31	1A	Pn	SZR	33,24	28,22	9,19	0,96	27,56	0,03	0,17	99,37	35
	1B	Cp	SZR	32,84	26,43	34,63	0,09	1,06	0,27	1,19	96,51	36
	1C	Pn	SZR	33,23	32,06	0,21	0,27	34,62	0,04	0,08	100,50	37
	2	Pn	SI	33,37	27,59	8,36	0,77	31,24	0,00	0,03	101,36	38
		Cp	SI	34,44	28,77	35,23	0,02	0,24	0,01	0,00	98,71	39
PM24-40	1A	Cb	SZR	33,95	27,80	23,48	0,16	15,32	0,02	0,00	100,74	40
		Cp	SZR	32,43	30,16	32,55	0,04	0,42	0,30	1,94	97,84	41
	1B	Cb	SZR	33,35	29,83	18,92	0,07	14,99	0,09	0,43	97,68	42
	1C	Pn	SZR	31,09	25,54	6,52	0,26	32,01	0,40	2,76	98,58	43
	2	Cp	SZR	34,38	29,07	33,26	0,01	0,45	0,16	0,12	97,45	44
		Pn	SZR	33,09	30,32	0,21	0,28	35,84	0,02	0,22	99,98	45
PM24-41	1	Cp	SZR	33,37	27,85	30,82	0,19	6,65	0,05	0,23	99,16	46
		Pn	SZR	33,40	31,21	1,96	0,29	34,71	0,00	0,07	101,64	47
	2A	Cp	SZR	32,98	28,83	31,92	0,00	1,28	0,59	2,36	97,97	48
		Pn	SZR	31,57	27,52	0,60	0,20	35,66	0,87	3,25	99,67	49
	2B	Pn	SZR	33,08	31,31	0,38	0,44	35,44	0,02	0,14	100,81	50
	2C	Pn	SZR	26,84	31,99	7,50	0,06	17,88	3,32	7,86	95,45	51
Volcán Auvernia												
PM27A-09	1A	Pn	SI	33,56	26,63	6,10	0,33	30,96	0,16	0,79	98,53	52
	1B	Pn	SI	31,49	28,37	0,13	0,28	34,57	0,83	3,80	99,46	53
	2A	Pn	SA	34,47	30,01	0,05	0,49	32,77	0,22	0,57	98,58	54
	2B	Pn	SA	33,14	31,37	0,10	0,45	30,75	0,61	2,53	98,94	55

Muestra	Sulfuro	Fase	Tipo	S (wt.%)	Fe (wt.%)	Cu (wt.%)	Co (wt.%)	Ni (wt.%)	Si (wt.%)	O (wt.%)	Total (wt.%)	Nº
	3A	Pn	SA	33,31	35,02	2,44	0,30	25,51	0,27	1,66	98,51	56
	3B	Pn	SA	32,99	35,24	0,56	0,36	27,05	0,92	1,19	98,33	57
PM27A-28	1	Pn	SA	34,53	38,63	0,27	0,35	23,55	0,17	0,68	98,18	58
	2A	Pn	SI	33,51	35,82	0,32	0,52	26,07	0,49	1,06	97,78	59
	2B	MSS	SI	37,51	43,07	0,08	0,20	15,45	0,03	1,17	97,50	60
	3	Pn	SAS	33,08	29,21	0,08	0,62	34,12	0,04	0,87	98,04	61
PM27B-01B	1	Cp	SAS	33,84	29,52	33,87	0,01	1,47	0,02	0,04	98,78	62
		Pn	SAS	32,87	25,41	0,32	0,44	42,36	0,02	0,00	101,42	63
	2	Pn	SZR	32,70	22,62	0,37	0,36	42,11	0,06	1,25	99,46	64
PM27B-12B	1	MSS	SAS	37,60	50,38	0,62	0,13	7,88	0,35	1,87	98,83	65
	2	Pn	SI	30,90	20,68	0,00	0,64	41,96	0,79	1,26	96,23	66
PM27B-18	1	MSS	SAS	38,87	46,72	0,02	0,20	14,52	0,00	0,02	100,36	67
		Cp	SAS	35,00	32,63	32,28	0,03	0,18	0,02	0,00	100,15	68
	2	MSS	SAS	38,81	45,13	0,06	0,31	16,80	0,00	0,04	101,16	69
		Pn	SAS	33,31	27,98	0,17	0,66	40,24	0,00	0,34	102,69	70
		Cb	SAS	35,87	42,31	17,43	0,13	3,10	0,01	0,04	98,90	71
	3	Pn	SAS	33,85	30,87	0,05	0,32	33,97	0,05	0,10	99,22	72
	4A	Pn	SA	33,10	29,20	0,04	0,46	36,91	0,12	0,27	100,11	73
4B	Pn	SA	34,54	33,51	0,05	0,41	31,13	0,32	1,24	101,21	74	
PM27B-23	1	Pn	SA	31,56	31,76	1,22	0,28	30,78	1,15	2,40	99,16	75
	2	MSS	SA	35,00	42,83	0,00	0,09	13,54	2,71	4,54	98,71	76
Gobernador Gregores												
PM23-02	1	MSS	SAS	38,44	42,03	0,50	0,32	18,52	0,02	0,17	100,01	77
	2	Pn	SI	32,65	33,16	0,12	0,40	33,55	0,01	0,25	100,13	78
PM23-03	1	MSS	SA	29,54	35,88	0,32	0,29	14,03	5,42	14,68	100,16	79
PM23-21	1	Pn	SI	33,19	26,71	0,16	0,20	37,85	0,06	0,30	98,46	80
PM23-23	1A	Cb	SAS	33,86	28,65	27,34	0,13	10,35	0,01	0,06	100,41	81
	1B	Pn	SAS	32,44	29,63	8,64	0,32	25,64	0,24	1,65	98,55	82
	2	Pn	SI	32,69	35,87	2,58	0,40	28,22	0,12	1,40	101,28	83
Tres Lagos												

Muestra	Sulfuro	Fase	Tipo	S (wt.%)	Fe (wt.%)	Cu (wt.%)	Co (wt.%)	Ni (wt.%)	Si (wt.%)	O (wt.%)	Total (wt.%)	Nº
PM21-01	1	Pn	SI	33,47	33,26	1,58	0,45	28,90	0,05	0,84	98,54	84
	2	Pn	SZR	33,49	30,24	0,18	0,41	35,24	0,02	0,82	100,40	85
		MSS	SZR	39,35	50,89	0,12	0,17	9,49	0,02	0,65	100,70	86
	3	Cb	SZR	35,25	38,28	20,47	0,13	5,60	0,03	0,92	100,67	87
		MSS	SAS	38,40	43,88	0,09	0,28	16,00	0,01	0,61	99,27	88
		Pn	SAS	33,24	29,02	0,17	0,81	36,97	0,01	0,71	100,92	89
		4	MSS	SAS	38,13	49,34	0,00	0,15	11,49	0,02	0,69	99,82
	Pn		SAS	33,49	29,58	0,17	0,59	35,35	0,01	0,61	99,79	91
PM21-04	1	Cp	SAS	34,45	31,93	29,68	0,09	1,02	0,04	0,32	97,53	92
		MSS	SAS	38,38	42,57	0,18	0,13	17,93	0,00	0,78	99,98	93
	2	Pn	SZR	32,72	32,38	1,56	0,41	32,79	0,00	0,46	100,31	94
	3	Pn	SAS	33,53	25,06	0,91	0,36	41,76	0,02	0,27	101,89	95
		Cp	SAS	34,69	29,05	34,13	0,00	0,38	0,02	0,06	98,32	96
PM21-05	1	MSS	SAS	39,64	36,96	0,14	0,26	23,17	0,01	0,28	100,46	97
	2	Pn	SAS	33,51	26,37	0,34	0,45	37,81	0,04	0,56	99,08	98
		MSS	SAS	38,90	46,49	0,27	0,12	12,03	0,06	0,77	98,63	99
	3A	MSS	SA	39,86	39,29	0,13	0,33	19,72	0,03	1,66	101,01	100
		Pn	SA	32,65	27,06	0,45	0,43	37,61	0,03	0,68	98,91	101
	3B	MSS	SA	38,60	47,85	0,09	0,12	11,87	0,08	1,05	99,66	102
	4A	MSS	SAS	39,04	38,91	0,18	0,30	20,20	0,02	0,88	99,53	103
		Cb	SAS	35,88	34,89	24,25	0,05	4,87	0,02	1,51	101,49	104
	4B	MSS	SA	39,77	48,10	0,05	0,11	11,94	0,05	0,45	100,47	105
	4C	Po	SI	38,71	55,75	0,10	0,10	3,63	0,02	0,52	98,82	106
		Pn	SI	32,15	29,52	0,11	0,44	34,62	0,15	0,79	97,79	107
Cerro del Fraile												
PM20-01	1A	Po	SAS	37,51	61,03	0,10	0,10	1,13	0,02	0,75	100,64	108
		Pn	SAS	33,59	35,78	0,79	0,61	28,36	0,02	0,54	99,70	109
	1B	MSS	SAS	38,15	44,26	0,06	0,29	16,73	0,01	0,56	100,07	110
		Cp	SAS	34,86	32,06	31,69	0,08	0,53	0,01	1,21	100,44	111
		Pn	SAS	33,05	29,10	0,23	0,80	35,74	0,02	0,72	99,66	112

Muestra	Sulfuro	Fase	Tipo	S (wt.%)	Fe (wt.%)	Cu (wt.%)	Co (wt.%)	Ni (wt.%)	Si (wt.%)	O (wt.%)	Total (wt.%)	N°
	2	Pn	SAS	32,53	27,03	0,21	0,60	37,24	0,01	0,55	98,17	113
		MSS	SAS	39,02	37,88	0,19	0,41	21,35	0,03	0,55	99,43	114
		Cp	SAS	34,28	31,98	30,42	0,04	0,62	0,18	1,41	98,92	115
	3	Cp	SAS	34,80	33,39	29,79	0,09	0,38	0,01	1,02	99,48	116
		MSS	SAS	38,59	45,32	0,13	0,18	14,51	0,02	0,51	99,27	117
		Pn	SAS	33,41	28,48	0,72	0,66	34,93	0,02	0,65	98,86	118
PM20-13	1(5)	Pn	SAS	33,92	30,04	0,02	0,64	32,87	0,10	0,72	98,30	119
PM20-20	1	Cp	SAS	32,02	27,06	37,90	0,02	0,48	0,39	3,81	101,67	120
		MSS	SAS	38,74	45,77	0,01	0,15	15,12	0,12	0,53	100,45	121
PM20-23	1A	Pn	SZR	33,51	26,80	0,12	0,29	39,49	0,02	0,44	100,66	122
	1B	MSS	SZR	39,28	37,29	0,01	0,44	21,90	0,01	0,24	99,18	123
	2	MSS	SI	39,02	47,58	0,00	0,24	12,99	0,00	0,27	100,11	124
	3	Pn	SA	34,13	29,05	0,01	0,57	36,00	0,03	0,41	100,21	125
		MSS	SA	38,68	52,21	0,04	0,10	7,57	0,01	0,27	98,89	126
4	Pn	SZR	34,49	37,55	0,64	0,35	25,32	0,07	0,52	98,94	127	
Pali Aike												
PM18-09	1	MSS	SAS	38,55	42,91	0,33	0,31	18,03	0,01	0,57	100,70	128
	2A	MSS	SAS	38,12	42,73	0,35	0,36	18,81	0,02	0,51	100,90	129
	2B	MSS	SI	38,10	49,23	0,30	0,23	12,05	0,14	0,44	100,48	130
	3A	MSS	SI	36,28	44,45	0,54	0,30	16,42	0,04	0,19	98,22	131
	3B	MSS	SI	37,32	45,71	0,35	0,28	14,84	0,21	2,67	101,38	132
PM18-13	1A	Pn	SZR	33,48	26,61	0,49	0,55	39,65	0,00	0,38	101,17	133
	2	MSS	SAS	38,65	41,52	0,10	0,35	18,30	0,02	0,43	99,37	134
	3	MSS	SZR	38,53	47,61	0,26	0,34	13,00	0,00	0,21	99,94	135
PM18-22	1A	MSS	SAS	38,12	43,72	0,46	0,31	17,69	0,01	0,45	100,75	136
	1B	Pn	SI	34,08	33,86	0,83	0,49	31,58	0,02	0,51	101,36	137
	2	MSS	SAS	38,15	42,73	0,17	0,34	19,05	0,01	0,31	100,77	138
PM18-35	1A	MSS	SAS	37,75	41,92	0,14	0,39	19,37	0,01	0,31	99,90	139
		Cb	SAS	35,26	37,60	23,22	0,18	1,97	0,22	0,83	99,26	140
	1B	Pn	SI	33,99	33,84	3,95	0,51	27,51	0,03	0,22	100,05	141

Muestra	Sulfuro	Fase	Tipo	S (wt.%)	Fe (wt.%)	Cu (wt.%)	Co (wt.%)	Ni (wt.%)	Si (wt.%)	O (wt.%)	Total (wt.%)	N°
	2	Pn	SI	33,76	36,32	1,31	0,49	27,67	0,02	0,39	99,96	142
	3	MSS	SAS	38,59	43,38	0,23	0,30	18,25	0,00	0,35	101,10	143
		Cb	SAS	35,72	39,42	23,95	0,19	1,18	0,02	0,01	100,49	144
	4	MSS	SAS	35,34	43,75	0,19	0,35	16,60	0,18	0,81	97,22	145

Tabla Anexo 32: Análisis de sulfuros en microsonda. Valores en rojo corresponden a análisis no considerados en resultados (totales <95 wt.%; o contaminados por mezcla de sulfuros). Pn: pentlandita; MSS: solución sólida monosulfurada; Cp: calcopirita; Cb: cubanita, Po: pirrotina. SAS: sulfuro aislado en silicato; SA: sulfuro alineado; SZR: sulfuro en zona de reacción; SI: sulfuro intersticial. N°: número de análisis en microsonda.

Anexo Geoquímica de Roca Total

MUESTRA	SiO₂ (wt.%)	Al₂O₃ (wt.%)	MgO (wt.%)
PM25-06	45,11	2,32	41,89
PM25-08	45,17	2,25	42,54
PM25-10	43,97	1,20	45,75
PM25-22	45,66	3,27	39,13
PM25-25	44,49	3,51	39,89
PM24-28	44,71	1,96	42,98
PM24-31	44,43	2,06	42,86
PM24-40	45,27	4,34	37,31
PM24-41	44,79	1,69	43,76
PM27A-09	42,86	0,74	47,31
PM27B-01B	42,79	0,73	47,47
PM27B-12B	43,25	1,53	46,15
PM27B-18	44,05	1,72	43,02
PM23-03	43,60	1,31	41,85
PM23-21	43,77	0,91	42,46
PM23-23	43,28	1,62	41,53
PM21-01	43,59	2,97	42,64
PM21-05	43,62	2,59	44,11
PM20-01	44,74	3,49	41,54
PM20-13	45,08	1,82	43,15
PM20-20	44,83	1,70	41,96
PM20-23	45,88	3,54	39,79
PM18-09	44,71	3,45	40,16
PM18-13	44,53	3,14	40,79
PM18-22	44,83	4,13	40,55
PM18-35	44,14	2,27	43,54

Tabla Anexo 33: Composiciones químicas en roca total en wt.%, normalizados al 100%.

Anexo Imágenes Reconstrucción Composición Química Total de Sulfuros

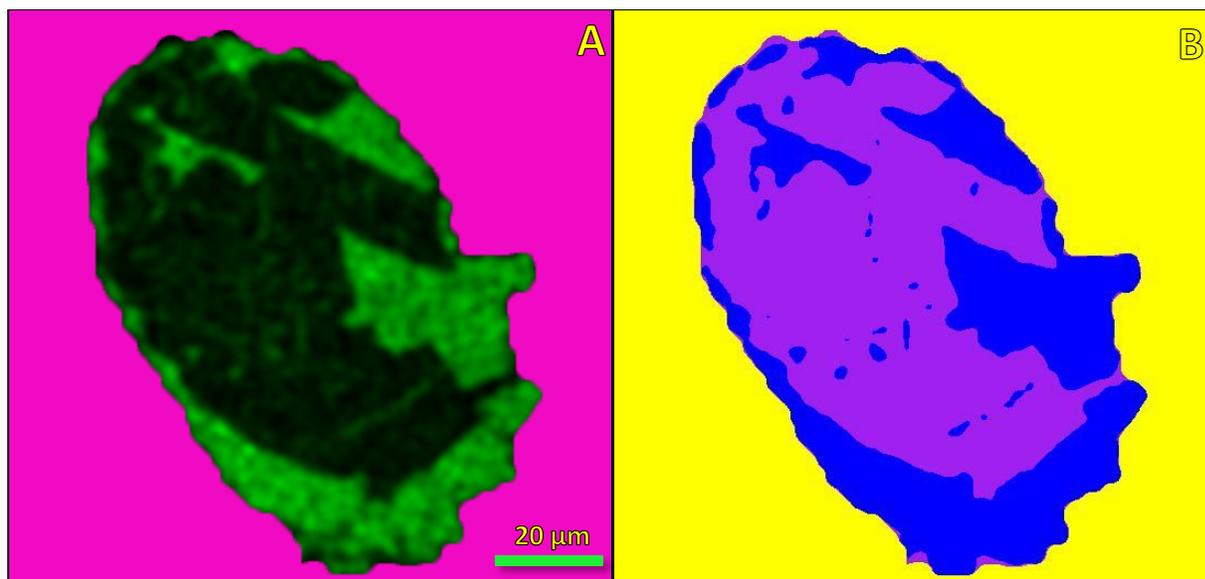


Figura Anexo 79: Reconstrucción sulfuro PM24-41-1. (A) Mapa de rayos X de distribución de cobre, con zona a analizar seleccionada. (C) Imagen con resultado de distribución de las regiones de interés.

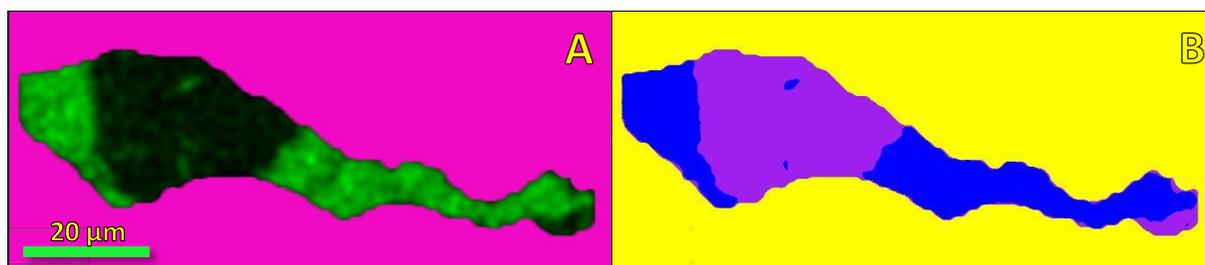


Figura Anexo 80: Reconstrucción sulfuro PM24-41-2A. (A) Mapa de rayos X de distribución de cobre, con zona a analizar seleccionada. (C) Imagen con resultado de distribución de las regiones de interés.

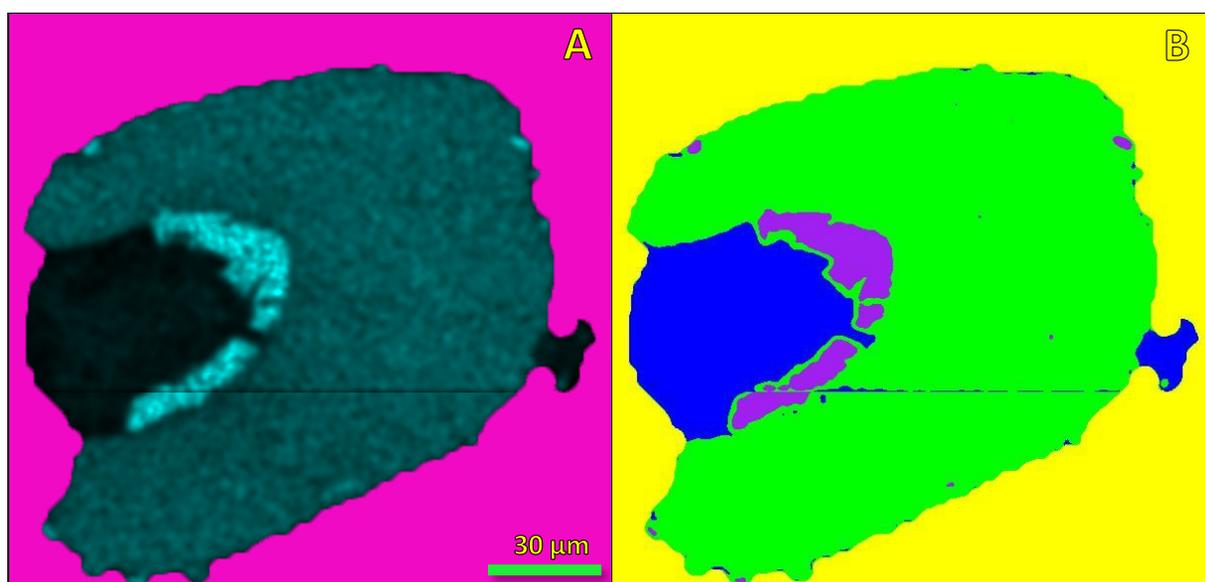


Figura Anexo 81: Reconstrucción sulfuro PM27B-18-2. (A) Mapa de rayos X de distribución de níquel, con zona a analizar seleccionada. (C) Imagen con resultado de distribución de las regiones de interés.

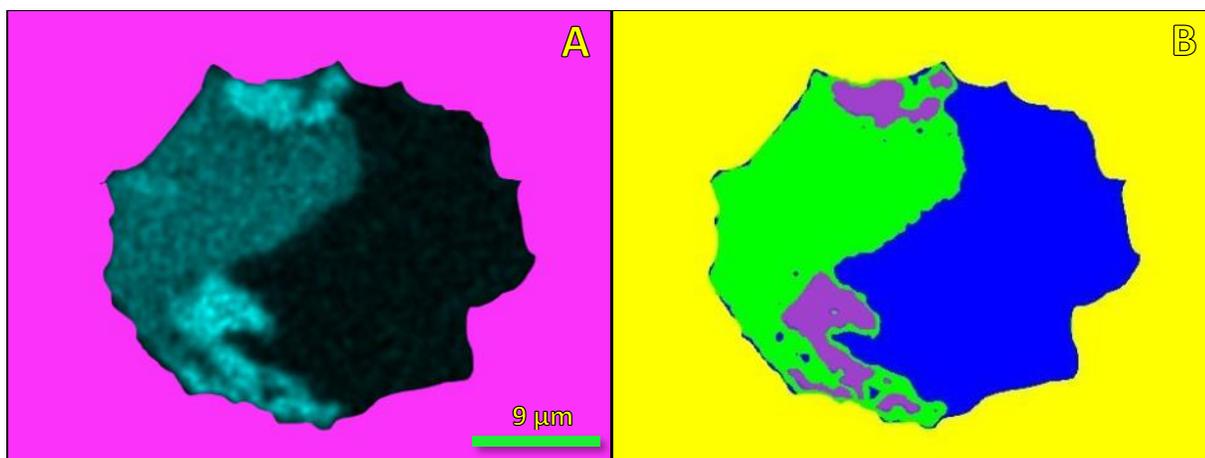


Figura Anexo 82: Reconstrucción sulfuro PM20-01-1B. (A) Mapa de rayos X de distribución de níquel, con zona a analizar seleccionada. (C) Imagen con resultado de distribución de las regiones de interés.

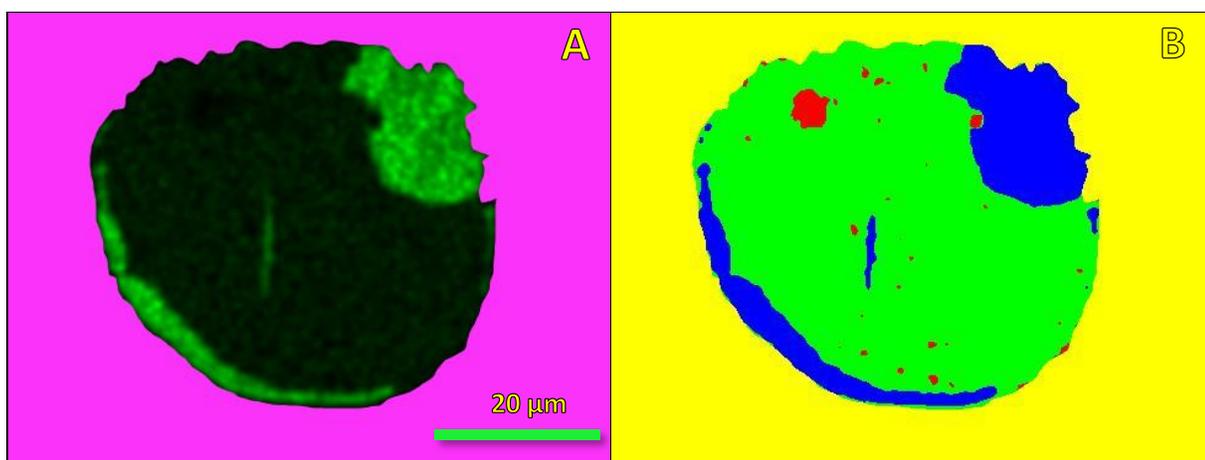


Figura Anexo 83: Reconstrucción sulfuro PM18-35-1A. (A) Mapa de rayos X de distribución de cobre, con zona a analizar seleccionada. (C) Imagen con resultado de distribución de las regiones de interés.

Anexo Porcentaje Modal Sulfuros por Muestra

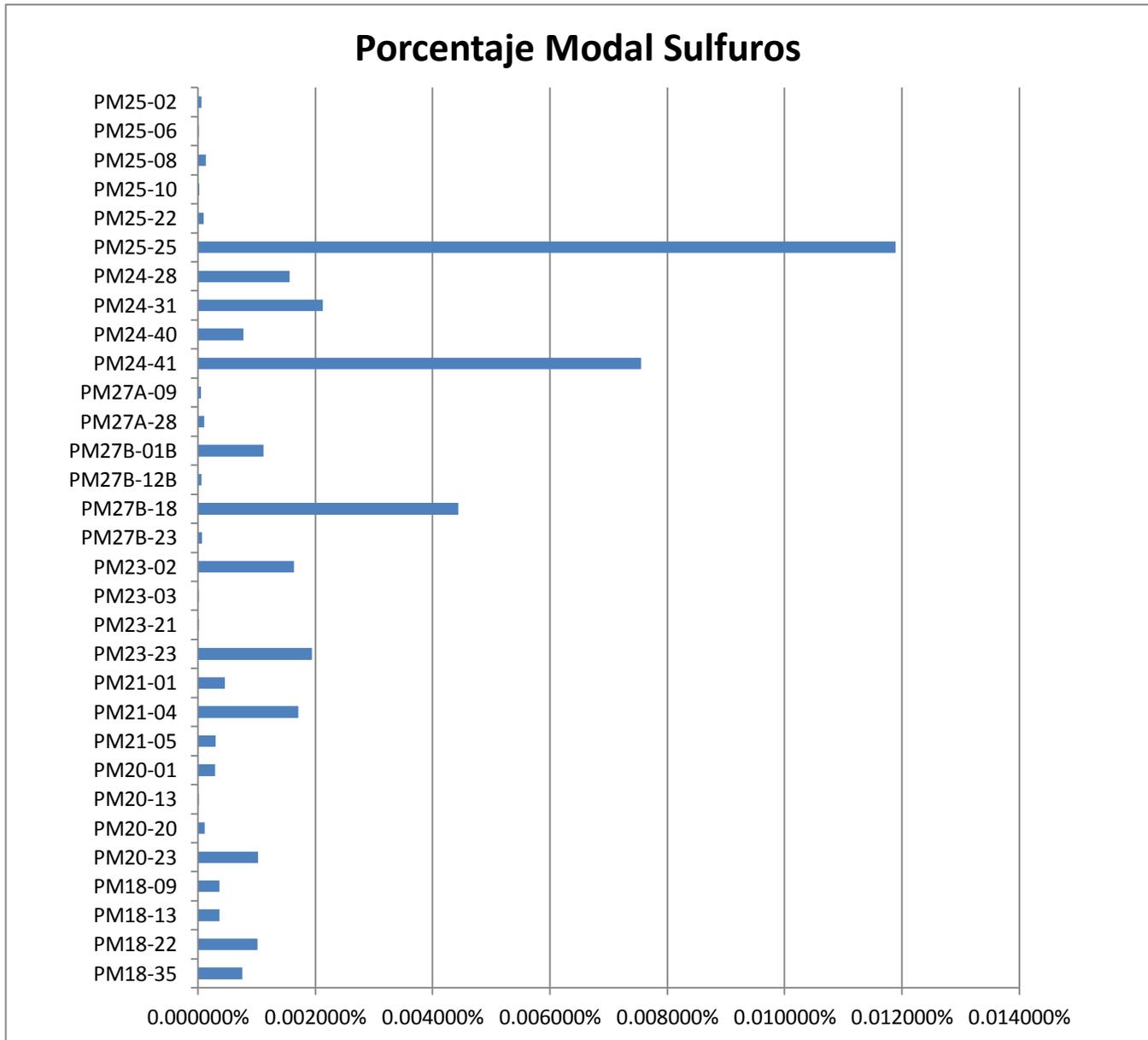


Figura Anexo 84: Porcentaje Modal de sulfuros por muestra.

