



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

**COMPOSICIÓN DE SEDIMENTOS DEL FONDO MARINO DEL
ÁREA ENTRE LA ISLA DE CHILOÉ Y LA PENÍNSULA DE
TAITAO, Y SU RELACIÓN CON POTENCIALES RECURSOS
MINERALES**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGA
MARISOL LORENA PÉREZ HIDALGO**

**PROFESOR GUÍA
MARCELO GARCÍA GODOY**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN
BRIAN TOWNLEY CALLEJAS
KATJA DECKART**

**SANTIAGO DE CHILE
2020**

**RESUMEN DE MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE GEÓLOGA**

POR: Marisol Lorena Pérez Hidalgo

FECHA: 03/01/2020

PROFESOR GUÍA: Marcelo García Godoy

**COMPOSICIÓN DE SEDIMENTOS DEL FONDO MARINO DEL ÁREA ENTRE LA
ISLA DE CHILOÉ Y LA PENÍNSULA DE TAITAO, Y SU RELACIÓN CON
POTENCIALES RECURSOS MINERALES**

Escasos antecedentes se tienen sobre la composición mineralógica y geoquímica del fondo marino de la zona económica exclusiva de Chile (ZEE).

En este trabajo se analizó la composición de los sedimentos marinos entre la Isla de Chiloé y la Península de Taitao, de modo de evaluar el potencial de recursos minerales de la zona. El área continental de dicha zona presenta importantes concentraciones minerales de interés económico. A bordo del buque científico “Cabo de Hornos”, de la Armada de Chile, se recolectaron 16 muestras desde zonas de plataforma, cañones submarinos y talud, entre 83 m y 3388 m de profundidad. Se realizaron análisis granulométricos, concentración de minerales pesados, XRD, estudios petrográficos y con lupa binocular, análisis geoquímicos ICP-ES/MS y ensayos a fuego.

La granulometría indicó una mayoritaria presencia de limo, seguido de manera subordinada por arena, esta última sólo dominante en muestras tomadas desde la plataforma interior y a menos de 100 m de profundidad. La mineralogía imperante corresponde a cuarzo y plagioclasa, seguidos de minerales metamórficos que indican proveniencia desde el basamento. Olivino, piroxenos y líticos volcánicos fueron mayormente observados en muestras someras y cercanas al continente, dando cuenta además de la influencia del volcanismo reciente en las zonas costeras.

Mediante difracción de rayos X se pudo detectar birnessita y minerales con contenidos de telurio, que se asocian a la generación de nódulos de Fe-Mn, los que en este muestreo no fueron observados, pero estudios anteriores los han identificado. Como la formación de estos depósitos requiere mayor profundidad, se propone explorarlos a estas latitudes, hacia el oeste del área. No se encontró anomalías de oro detrítico, aunque no se pudo tomar muestras submarinas cercanas a los placeres de playa. No se descarta la ocurrencia de placeres en los cañones submarinos cercanos a la costa o bien a mayores profundidades, y se sugiere una exploración con métodos de muestreo más incisivos verticalmente. Por microscopía se observaron granos con contenidos significativos de cobre dando cuenta de cierto potencial cuprífero, no detectado mediante los análisis geoquímicos. Las características morfológicas de los granos y su alto contenido de oxígeno sugieren una proveniencia continental y la influencia de un transporte por zonas de la plataforma. También mediante microscopía óptica, se detectó piritas framboidales que podrían asociarse a la presencia de hidratos de metano.

AGRADECIMIENTOS

La presente memoria fue realizada gracias al financiamiento del Comité Oceanográfico Nacional (CONA) por medio del Programa de Cruceros de Investigación Científica Marina en Áreas Remotas, CIMAR 24 Fiordos. Se agradece especialmente a la tripulación del Buque AGS 61 “Cabo de Hornos”, de la Armada de Chile, por su disposición y apoyo esencial durante la etapa de extracción de muestras, y adquisición de datos geofísicos.

A los profesores miembros de mi comisión: Marcelo García, Brian Townley y Katja Deckart. Agradecer el apoyo, la colaboración y las herramientas proporcionadas para la construcción del presente trabajo. Particularmente a Marcelo, mi Profesor guía, agradezco la disposición de estar cada semana guiando esta memoria, respondiendo mis dudas y realizando correcciones. Gracias también a los profesores Rodrigo Fernández y Valentina Flores, por su amabilidad y colaboración, aportando desde sus áreas de investigación particulares a resolver mis dudas durante distintas etapas de este proceso.

También agradezco a Zaida Salinas y Roberto Valles por sus consejos y apoyo durante el desarrollo del trabajo de laboratorio, compartiendo sus conocimientos y haciendo más gratas las jornadas.

Gracias a todos mis amigos y compañeros de esta etapa universitaria, y a mis amigos de la vida por hacer de este proceso una instancia amena y enriquecedora.

Finalmente agradezco a mi familia por brindarme su cariño y apoyo incondicional a lo largo de este camino.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Formulación del problema	1
1.2. Hipótesis de trabajo	2
1.3. Objetivos	2
1.3.1 Objetivo general.....	2
1.3.2 Objetivos específicos.....	2
1.4. Metodología	2
1.4.1 Captura de muestras	2
1.4.2 Preparación de muestras	3
1.4.3 Granulometría	3
1.4.4 Mineralogía.....	4
1.4.4 Geoquímica.....	4
1.4.4 Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)	5
2. MARCO GEOLÓGICO	5
2.1 Plataforma continental	5
2.2 Estratigrafía	8
2.2.1 Paleozoico - Jurásico	8
2.2.2 Jurásico Superior - Cretácico.....	8
2.2.3 Eoceno - Holoceno	10
2.3 Geología estructural.....	12
3. MARCO METALOGÉNICO	12
3.1 Recursos Continentales.....	12
3.2 Recursos Marinos	14
4. RESULTADOS	17
4.1 Granulometría.....	19
4.1.1 Clasificación textural.....	19
4.1.2 Clasificación granulométrica	20
4.2 Mineralogía	22
4.2.1 Análisis con lupa binocular	22
4.2.2 Microscopía óptica	23
4.2.2.1 Sedimento total libre de material biogénico.....	23

4.2.2.2 Concentrados de minerales pesados no magnéticos	25
4.2.3 Difracción de rayos X.....	28
4.2.3.1 Sedimento total libre de material biogénico	28
4.2.3.2 Concentrados de minerales pesados no magnéticos	31
4.3 Microscopía Electrónica de Barrido	33
4.4 Geoquímica	36
4.4.1 Estadística univariada.....	39
4.4.2 Estadística multivariada.....	45
5. DISCUSIONES	54
6. CONCLUSIONES	57
7. BIBLIOGRAFÍA	60
8. APÉNDICES	66
Apéndice A: Descripciones microscopía óptica	66
Apéndice B: Difractogramas.....	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 41 elementos, con sus respectivos límites de detección por análisis multi-ácido ICP-ES/MS	4
Tabla 2. Características generales de las muestras colectadas como ubicación, profundidad, fecha, masa conservada y su porcentaje respecto a la captada por el instrumento. Además, se incluyen las mediciones de temperatura, pH y redox.....	18
Tabla 3. Distribución de los componentes fango, arena y grava, y clasificación textural de los sedimentos.....	19
Tabla 4. Resumen de los principales minerales identificados con lupa binocular en el concentrado de minerales pesados no magnéticos. En la categoría sulfuros se incluye calcopirita y pirita.	23
Tabla 5. Resumen mineralogía de sedimento total para la fracción mayor a 75 micrones, analizada por microscopía óptica	24
Tabla 6. Resumen mineralogía analizada por microscopía óptica para la fracción mayor a 75 micrones de los concentrados de minerales pesados.	26
Tabla 7. Resumen de los resultados mineralógicos de Difracción de rayos X de la fracción menor a 75 micrones para el sedimento total de cada muestra.	29

Tabla 8. Resumen resultados mineralógicos con difracción de rayos X para la fracción menor a 75 micrones de los concentrados de minerales pesados.	31
Tabla 9. Resumen de resultados elementales por análisis SEM para grano mineral de la muestra 10.....	33
Tabla 10. Resumen de resultados elementales por análisis SEM para grano mineral muestra 5. .	35
Tabla 11. Resultados de concentraciones geoquímicas por análisis ICP-ES/MS 41 elementos y ensayo a fuego. Laboratorios Bureau Veritas Minerals. Abreviaturas: M=muestra; D=duplicado; R=repetición.	37
Tabla 12. Estadígrafos para el total de muestras captadas, estadística univariable. Las abundancias corticales corresponden a las propuestas por Taylor (1964).	39
Tabla 13. Matriz de correlación de Pearson para los elementos estadísticamente válidos, además se incluyen contenidos granulométricos y profundidades.....	46
Tabla 14. Correlaciones de pares de elementos, clasificadas en regulares, buenas y excelentes. .	47
Tabla 15. Asociaciones mineralógicas, petrológicas y a depósitos minerales	48
Tabla 16. Prueba de KMO y Bartlett para As, Au, Ca, Li, Na, S, V y Zn. Abreviaturas: gl=grados de libertad; Sig.=significación o nivel crítico.....	51
Tabla 17. Prueba de KMO y esfericidad de Bartlett para los elementos Ca, Li, Na, S, V y Zn. Abreviaturas: gl=grados de libertad; Sig.=significación o nivel crítico.	51
Tabla 18. Comunalidades a partir del análisis factorial de elementos anómalos.	52
Tabla 19. Varianza explicada por factor y porcentaje acumulado para cada uno.	53
Tabla 20. Matriz de componentes rotados a partir de 2 componentes.	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa geológico de la zona de estudio, en el cual se señalan las principales unidades y estructuras del área continental y la Plataforma Continental. Geología tomada de Sernageomin (2003). Mapa base desarrollado por Esri (2010) en base a las fuentes: Esri, GEBCO, NOAA, National Geographic, DeLorme, HERE, Geonames.org, y otras contribuciones.

Figura 2. Mapa de distribución de yacimientos y prospectos en área de estudio. Información tomada de Froelich et al. (1995), Townley et al. (2000), Duhart et al. (2003), Vargas-Cordero et

al. (2010), Vargas-Cordero et al. (2016) & García et al. (2020). Mapa base desarrollado por Esri (2010) en base a las fuentes: Esri, GEBCO, NOAA, National Geographic, DeLorme, HERE, Geonames.org, y otras contribuciones.	16
Figura 3. Mapa de distribución de muestra en el área de estudio. Mapa base desarrollado por Esri (2010) en base a las fuentes: Esri, GEBCO, NOAA, National Geographic, DeLorme, HERE, Geonames.org, y otras contribuciones.	17
Figura 4. Mapa de distribución de texturas granulométricas. Mapa de distribución de muestra en el área de estudio. Mapa base desarrollado por Esri (2010) en base a las fuentes: Esri, GEBCO, NOAA, National Geographic, DeLorme, HERE, Geonames.org, y otras contribuciones.	20
Figura 5. Diagrama de clasificación granulométrica de los sedimentos según Folk (1974), para las fracciones menores a 2 mm.	21
Figura 6. Porcentaje de fango en los sedimentos de acuerdo con su profundidad.	22
Figura 7. Clastos volcánicos en muestras de sedimento total a nícoles paralelos. a) muestra 3. b) muestra 13	25
Figura 8. Piritas framboidales. a) Framboides relleno de cavidad en muestra 1. b) Framboides nucleando con poca claridad en muestra 5. c) Piritas framboidales creciendo en cavidades de un alga verde en muestra 8. d) Piritas framboidales en globigerinas en muestra 9.....	27
Figura 9. Óxidos de Cu a) Muestra 10. b) Muestra 11	27
Figura 10. Grano de cobre nativo observado con microscopio óptico a luz reflejada.....	28
Figura 11. Difractograma del sedimento total libre de material biogénico de la muestra 13, donde destacan picks de cuarzo, albita y diópsido.....	30
Figura 12. Mapa de distribución de birnessita y minerales con telurio. Mapa base desarrollado por Esri (2010) en base a las fuentes: Esri, GEBCO, NOAA, National Geographic, DeLorme, HERE, Geonames.org, y otras contribuciones.	32
Figura 13. Concentraciones por muestra de elementos con anomalía positiva respecto a la corteza. Con líneas punteadas se grafican los valores estándares corticales de acuerdo con Taylor (1964).	40
Figura 14. Mapa de distribución de contenido de oro en relación al valor estándar de la corteza. Mapa base desarrollado por Esri (2010) en base a las fuentes: Esri, GEBCO, NOAA, National Geographic, DeLorme, HERE, Geonames.org, y otras contribuciones.....	41
Figura 15. Mapa de distribución de las concentraciones de arsénico a partir del límite de detección. Mapa base desarrollado por Esri (2010) en base a las fuentes: Esri, GEBCO, NOAA, National Geographic, DeLorme, HERE, Geonames.org, y otras contribuciones.....	42

Figura 16. Mapa de distribución de las concentraciones de azufre en base a la abundancia cortical y el límite de detección. Mapa base desarrollado por Esri (2010) en base a las fuentes: Esri, GEBCO, NOAA, National Geographic, DeLorme, HERE, Geonames.org, y otras contribuciones.43

Figura 17. Diagramas de caja de los elementos con anomalías positivas respecto a la corteza....44

Figura 18. Gráficos de dispersión de los elementos con correlaciones de carácter muy buenas con los contenidos de arcilla.49

Figura 19. Concentraciones crecientes en el Cañón Simpson, frente a la Península de las Guaitecas50

Figura 20. Gráfico de sedimentación para la determinación de factores52

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Formulación del problema

La exploración de los fondos oceánicos se ha incrementado no sólo para aportar al entendimiento de la Tierra, sino también, porque el agotamiento de los recursos minerales en los continentes ha obligado a mirar el fondo marino en busca de ellos (eg., Rona, 2008; Hein et al., 2013). En particular, la zona económica exclusiva (ZEE) de Chile, con 200 millas náuticas de ancho, abarca una superficie cercana a cinco veces el área del territorio continental, y la información sobre sus recursos minerales no-energéticos es más bien limitada (eg., García et al., 2020).

En la parte continental del área comprendida en este trabajo, en sedimentos cuaternarios, existen importantes placeres auríferos (Greiner 1991; Portigliati, 1999; Ordoñez, 2000). Específicamente, en el sector de Chiloé, se distribuye una serie de placeres litorales de origen glaciar, entre los cuales destacan los de las playas de Carelmapu y Cucao con concentraciones de Au de hasta 15 g/m^3 (Portigliati, 1999). Si bien en la parte norte de la Isla de Chiloé los glaciares que dieron origen a estos placeres vieron interrumpido su avance por la Cordillera de la Costa, esto no se replica más al sur, donde los hielos junto a su carga sedimentaria habrían excavado sus cauces en la plataforma continental (Mordojovich, 1981). Lo anterior, junto a la capacidad de las mareas y el oleaje de transportar material hacia las profundidades, hace suponer la extensión de estos placeres litorales hacia el fondo marino. Además, en la región continental se ha propuesto la existencia de a lo menos dos franjas metalogénicas con yacimientos de oro, cobre, zinc y plata, entre otros (Duhart et al., 2000). En particular, en las cercanías de Coyhaique, destaca el yacimiento El Toqui, un skarn de Zn-Pb(-Au) hospedado en rocas calcáreas del Cretácico Inferior (Townley & Godwin, 2001; Makshev et al., 2007).

Estudios realizados al sur de la Región de Magallanes han dejado en evidencia concentraciones anómalas de metales pesados en sedimentos marinos, destacando así, concentraciones de platino de hasta 70 ppb en el seno Ponsonby a una profundidad de 334 m (Pineda et al., 2002). Adicionalmente, en base a los antecedentes geoquímicos, se observó una vinculación directa entre las asociaciones de metales pesados en los sedimentos marinos con las encontradas en tierra, en las correspondientes áreas adyacentes (Pineda et al., 2002), proponiendo de esta forma, la posibilidad de utilizar el estudio del material oceánico como guía para determinar la proveniencia y fuente primaria de la mineralización.

El presente trabajo de memoria se desarrolló como parte de un proyecto de investigación con financiamiento CIMAR-24 (de la Armada de Chile), desarrollado por el AMTC y el Departamento de Geología de la Universidad de Chile, e incluyó la captura de muestras a bordo del buque científico “Cabo de Hornos”.

1.2. Hipótesis de trabajo

Se tiene por hipótesis que en el fondo oceánico entre la isla de Chiloé y la Península de Taitao existen concentraciones anómalas de minerales de posible interés económico tales como minerales pesados (oro, platino y titanio), metales base (tipo Cu, Zn, Pb o Ni), nódulos de Fe-Mn (acompañados de otros metales) e hidratos de metano. Las concentraciones de minerales pesados serían mayores en el fondo de los cañones submarinos. Dichos minerales provendrían de la erosión del área continental donde se hospedan yacimientos de este tipo, y donde afloran rocas metamórficas e intrusivas, que habrían dado origen a lavaderos de oro en playas y sedimentos fluvio-aluviales.

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo general

El objetivo general de este trabajo es determinar la composición 16 muestras de sedimentos marinos del área entre la Isla de Chiloé y la Península de Taitao, de modo de evaluar el potencial de recursos minerales.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar las fracciones granulométricas de las muestras de sedimentos colectadas.
- Caracterizar la mineralogía de cada fracción granulométrica.
- Identificar la predominancia de los minerales pesados en cada fracción.
- Determinar la composición geoquímica de las muestras tanto, de sedimento total como de cada fracción o concentrado.
- Correlacionar las anomalías de mineralogía y geoquímica con el área fuente continental.

1.4. Metodología

1.4.1 Captura de muestras

A bordo del buque científico “Cabo de Hornos”, primeramente, se realizó la adquisición de datos geofísicos que permitiesen identificar el lugar óptimo para la recuperación de muestras de sedimento del fondo marino. La adquisición de datos geofísicos se hizo mediante los métodos y equipos siguientes.

- Batimetría multihaz, equipo BMH con sonares EM122 Y EM710, que permiten la visualización de profundidad y morfológica del fondo marino.

- Sísmica mono canal, equipo Sub Bottom Profiler, SBP120 Kongsberg, que otorga información de la estratigrafía superficial del fondo marino.

Para la recolección de muestras de sedimento se utilizó una draga tipo Van Veen, de 59 l de capacidad, y un equipo Box corer, de 169 l.

1.4.2 Preparación de muestras

Una vez realizada la captura del sedimento, las muestras se mantuvieron refrigeradas hasta el comienzo de su tratamiento. En primera instancia, fueron secadas en horno a temperaturas menores a 40°C, y separadas por cuarteo manual en submuestras destinadas a análisis granulométricos, mineralógicos y geoquímicos. En particular, las submuestras destinadas a análisis granulométrico y mineralógico se sometieron a procedimientos estándares recomendados por el Programa de Perforación Oceánica (ODP), descritos por Nicolo & Dickens (2006) y Brass & Raman (1990). Estos permiten la eliminación de carbonatos, materia orgánica y la sílice orgánica presente en el sedimento, de modo de no interferir en los análisis del material inorgánico terrígeno.

Para la eliminación del material carbonatado se utilizó ácido clorhídrico al 10%, aplicando 10 ml por gramo de sedimento. Esta solución fue llevada hasta 80°C en placa calentadora, y luego se mantuvo en el horno por 4 horas. Posteriormente, la solución fue centrifugada con agua destilada en 5 ciclos de 13 minutos cada uno, a 4.000 r.p.m. La remoción de la materia orgánica se realizó con peróxido de hidrógeno al 30%, realizando una digestión con placa calentadora y horno a 80°C durante 3 horas. Con posterioridad se llevaron a cabo centrifugaciones idénticas a las realizadas para carbonatos. Finalmente, la eliminación de sílice orgánico se hizo con hidróxido de sodio al 1.5 M, adicionando 2.4 g de NaOH por 400 ml de solvente. La solución se sometió a 85°C por 2 horas, para luego realizar 5 ciclos de centrifugación, utilizando agua ultrapura a 70°C.

1.4.3 Granulometría

La caracterización granulométrica se realizó combinando método de tamizaje estándar en húmedo y granulometría láser, y se llegó a una clasificación textural y a una granulométrica (Folk, 1974). Las fracciones sobre el milímetro se tamizaron por mallas de 2 mm y 3 mm, las que luego fueron masadas y normalizadas a volumen según densidad estándar de 2.67 g/ml. Las fracciones bajo el milímetro, se analizaron por láser. Se realizaron 8 ciclos de medición, utilizando el valor promedio de ellos como resultado granulométrico. Para esto último se requirió el equipo Mastersizer 2000, Malvern, ubicado en las dependencias del Laboratorio de Sedimentología del Departamento de Geología de la Universidad de Chile.

1.4.4 Mineralogía

La mineralogía se analizó con lupa binocular, con microscopía óptica y con difracción de rayos X. Se estudiaron submuestras de minerales pesados y submuestras de sedimento total, libre de materia orgánica.

El análisis mineralógico de los concentrados de minerales pesados fue realizado con lupa binocular, como primera aproximación, permitiendo el análisis estereoscópico de granos mayores a los admitidos por un microscopio óptico. Se utilizó una lupa Leica MZ6 con zoom 6:3:1, ubicada en el Laboratorio de Preparación de Muestras del Departamento de Geología de la Universidad de Chile.

Tanto para el sedimento total libre de material biogénico, como para la concentración pesada de cada muestra, la fracción sobre los 75 μm fue estudiada mediante la descripción petrográfica de cortes transparentes pulidos. En tanto la fracción fina fue pulverizada y sometida a análisis de difracción de rayos X. Se utilizó un difractómetro Buker D8 Advance, situado en el Departamento de Física de la Universidad de Chile. A partir de los difractogramas obtenidos, se logró identificar las fases minerales presentes, por medio del Software EVA Solutions.

La concentración de minerales pesados no magnéticos se realizó en 11 de las muestras, a través de mesa vibratoria, líquidos densos y separación magnética. Mediante la aplicación de mesa vibratoria se obtiene una primera división eliminando los componentes livianos con mayor flotabilidad. En tanto, con la utilización de líquidos densos, se logra discriminar aquellos clastos con una densidad mayor a 2.8 g/cm^3 . La separación magnética, inicialmente aísla la magnetita, para luego sacar la fracción con susceptibilidad magnética mayor a 0.5 amp.

1.4.4 Geoquímica

Los datos geoquímicos se obtuvieron por medio de la combinación de análisis ICP-ES e ICP-MS con método de digestión multi-ácido para minerales sulfurados y silicatados. Esto permite ampliar los límites de detección y proporcionar un espectro más amplio de elementos, obteniéndose un total de 41 elementos (Tabla 1).

Tabla 1. 41 elementos, con sus respectivos límites de detección por análisis multi-ácido ICP-ES/MS

Ag 0.5 ppm	Sb 0.5 ppm	Hf 0.5 ppm	Zr 0.5 ppm	S 0.05 %
Ba 5 ppm	Sn 0.5 ppm	Li 0.5 ppm	As 5 ppm	Se 5 ppm
Ca 0.01 %	Th 0.5 ppm	Mo 0.5 ppm	Bi 0.05 ppm	Ta 0.5 ppm
Co 1 ppm	V 10 ppm	Ni 0.5 ppm	Ce 5 ppm	U 0.5 ppm
Fe 0.01 %	Zn 5 ppm	Rb 0.5 ppm	Cu 0.5 ppm	Y 0.5 ppm
La 0.5 ppm	Al 0.01 %	Sc 1 ppm	K 0.01 %	
Mn 5 ppm	Be 5 ppm	Sr 5 ppm	Mg 0.01 %	
Nb 0.5 ppm	Cd 0.5 ppm	Ti 0.001 %	Na 0.01 %	
Pb 0.5 ppm	Cr 1 ppm	W 0.5 ppm	P 0.01 %	

Si bien la digestión multi-ácido se considera una digestión prácticamente total, es sólo parcial para algunos minerales con contenidos de Cr y Ba, y óxidos de Al, Fe, Hf, Mn, Sn, Ta, Zr y tierras raras. Además, la volatilización durante la combustión puede resultar en una pérdida de As, S y Sb.

También se obtuvo las pérdidas por calcinación (LOI) de cada muestra. Las concentraciones de Au y Pt se determinaron para 12 muestras, por ensayos a fuego de recolección de plomo a través de análisis ICP-ES, con límites de detección de 2 ppb para el Au y 3 ppb para el Pt. Todos los análisis mencionados fueron realizados en los laboratorios de Bureau Veritas Minerals.

Para el tratamiento estadístico de datos se utilizó el software ioGAS, tanto para la estadística univariada como para el análisis de correlación de Pearson, mientras que el análisis de factores se realizó mediante el software IBM SPSS Statistics 25.

1.4.4 Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)

Con el objetivo de obtener la química elemental de minerales no identificados con claridad por microscopía óptica, se utilizó el Microscopio Electrónico de Barrido, FEI Quanta 250 situado en el Laboratorio de Microscopía Electrónica y Microanálisis del Departamento de Geología, Universidad de Chile. Para dos minerales de los cortes transparentes pulidos, de los concentrados de minerales pesados no magnéticos, de las muestras 5 y 10 se realizaron 4 análisis con detector EDS con 15 kV de voltaje.

2. MARCO GEOLÓGICO

El área continental de la zona de estudio abarca el sur de la X Región de Los Lagos y la parte norte de XI Región de Aysén, entre 41°22' y 45°32' latitud sur. La zona comprende los dominios geomorfológicos de la Cordillera de la Costa, la Depresión Intermedia o Valle Longitudinal y la Cordillera Principal, distribuidos de oeste a este, entre las áreas insulares a continentales. A continuación, se describen los principales aspectos estratigráficos, geomorfológicos y geológico-estructurales, y económicos del sector estudiado tanto en el área continental como en la plataforma continental.

2.1 Plataforma continental

La plataforma continental presenta cuencas sedimentarias interrumpidas por cañones submarinos orientados E-W y NW-SE, que descienden desde la plataforma y línea de costa hacia la fosa, transportando material sedimentario. Este aporte sedimentario es el que permite la formación de un prisma de acreción activo, y que junto con el prisma paleozoico, se expresan como una zona de relieve irregular en el borde de la corteza continental, entre los 1000 m y 4000 m de

profundidad (Zapata, 2001). Mordojovich (1981), en base a perfiles sísmicos, definió los cañones submarinos de Chacao y Cucao, en los sectores norte y centro-sur al oeste de la Isla de Chiloé (Figura 1). La boca del Cañón de Chacao, de sedimentos mayormente arenosos, se sitúa próxima a la desembocadura del Río Maullín y a la boca occidental del Canal de Chacao (Díaz-Naveas & Frutos, 2010). También se tienen indicios de otros dos cañones submarinos en el sector frente a la Península de las Guaitecas, al sur de los 44° latitud sur, y al sur de la Isla Guamblin, bajo los 45°S (Zapata, 2001), denominados cañones Simpson y Darwin respectivamente (Díaz-Naveas & Frutos, 2010). Por su parte la fosa alcanza profundidades máximas de entre 5000 m y 6000 m, las que disminuyen de manera progresiva hacia el sur a una tasa del 0.4%. Al acercarse al Punto Triple de Taitao, el eje de la fosa se eleva y se desplaza al este, disminuyendo la cantidad de sedimentos, y por ende el volumen del prisma de acreción, que termina desapareciendo (Zapata, 2001).

Geología del área de estudio
 41°22' - 45°32' S y 71°44' - 75°13' W

Leyenda

- Basamento metamórfico (Pz-Tr)
- Batolito Norpatagónico (Jr-K)
- Rocas volcánicas y sedimentarias (Jr-K)
- Rocas volcánicas y sedimentarias (O-M)
- Volcanismo reciente (Q)
- Depósitos glaciogénicos (Q)
- Otros depósitos recientes (Q)

Simbología

- Principales ciudades y localidades
- - - - Cañones Submarinos
- Zona de Falla Liquiñe-Ofqui
- ▲ Volcanes activos

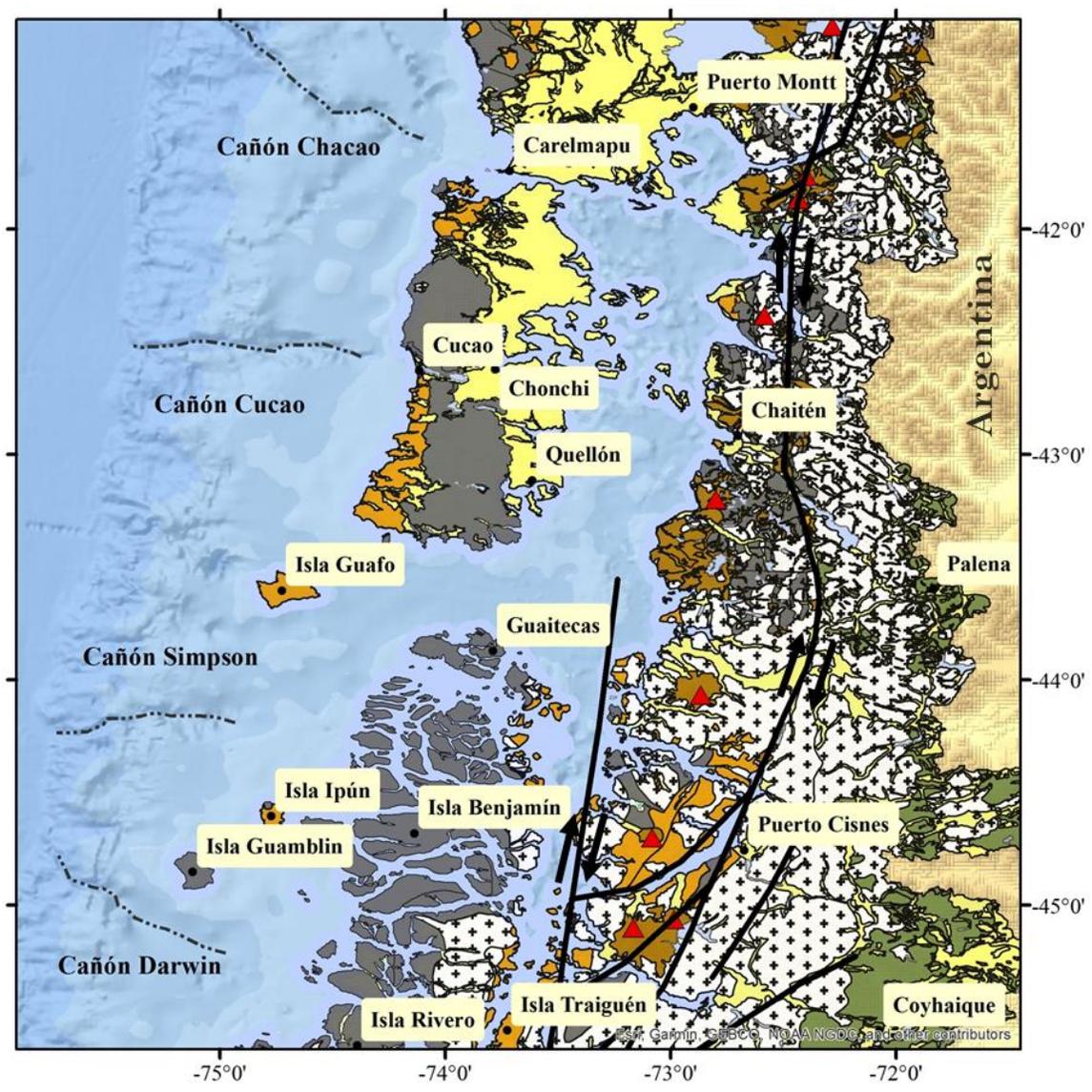
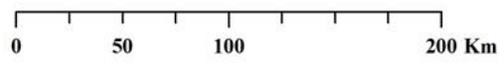


Figura 1. Mapa geológico de la zona de estudio, en el cual se señalan las principales unidades y estructuras del área continental y la Plataforma Continental. Geología tomada de Sernageomin (2003). Mapa base desarrollado por Esri (2010) en base a las fuentes: Esri, GEBCO, NOAA, National Geographic, DeLorme, HERE, Geonames.org, y otras contribuciones.

2.2 Estratigrafía

2.2.1 Paleozoico - Jurásico

Complejo Metamórfico Bahía Mansa

Las rocas más antiguas del área corresponden al Complejo Metamórfico Bahía Mansa (Duhart et al., 1998) de edad paleozoica-triásica, que se extiende por toda la región costera de Chiloé insular y forma el basamento de las rocas del Cenozoico (Antinao et al., 2000; Arenas & Duhart, 2003; Quiroz et al., 2004). Se constituye principalmente de esquistos pelíticos a cuarzo feldespáticos, y en menor medida de metaareniscas, esquistos verdes y metacherts. Su mineralogía está dominada por asociaciones de cuarzo-albita y muscovita-clorita para los esquistos pelíticos, y clorita-anfíbol o epidota-clorita para los esquistos máficos, con minerales accesorios como granate, turmalina, apatito, esfeno y circón. Este complejo ha sido interpretado como de acreción-subducción (Hervé, 1988; Duhart et al., 2001), y grafica la continuidad del complejo acrecionario del área costera de Chile que comienza en Pichilemu (34°) y finaliza en la Península de Taitao (47°S) (Hervé & Fanning, 2001).

Complejo Metamórfico de los Chonos

En continuidad con el complejo acrecionario costero, entre 44° y 46° latitud sur, se ubica el Complejo Metamórfico de los Chonos (CMC), del Triásico Superior - Jurásico Superior (Hervé & Fanning, 2001), estudiado por primera vez por Miller (1979), quien definió tres formaciones: la Formación Canal King, compuesta de filitas y micaesquistos, con algunas intercalaciones de esquistos verdes; la Formación Potranca formada por pizarras, areniscas, filitas y cuarcitas; y la Formación Canal Pérez Sur, constituida de pizarras y areniscas afectadas por metamorfismo de bajo grado. El CMC es instruido, en su límite oriental, entre el Archipiélago de las Guaitecas y la Península de Taitao, por el Batolito Norpatagónico (Pankhust et al., 1999).

En base a la conservación de sus estructuras primarias, las rocas del basamento fueron agrupadas en dos zonas: La zona oriental, de estructuras conservadas, y constituida de lutitas negras, pizarras, areniscas grises y radiolaritas; y una zona más occidental, de estructuras primarias obliteradas, y con una litología monótona de filitas y cuarcitas con intercalaciones de metabasitas (Hervé et al., 1981).

2.2.2 Jurásico Superior - Cretácico

Formación Ibáñez

La Formación Ibáñez (Jurásico Superior-Cretácico Inferior), definida por Niemeyer (1975), se extiende en una franja relativamente continua desde Futaleufú hasta el área del lago O'Higgins

(43°S-49°S), y al este de Puerto Cisnes es intruida por el Batolito Norpatagónico. Esta formación volcánica está compuesta por ignimbritas riolíticas y dacíticas, depósitos de oleadas de piroclastos riolíticos, depósitos de caída de ceniza, cristales y lapilli, brechas piroclásticas y, de manera subordinada, lavas y brechas riolíticas, dacíticas y andesíticas (De la Cruz & Cortés, 2011).

Grupo Coyhaique

Entre las mismas latitudes que la Formación Ibáñez, se extiende de manera discontinua el Grupo Coyhaique (Haller & Lapido, 1980), definido como las unidades sedimentarias marinas del Titoniano a Neocomiano aflorantes en la Cordillera Patagónica Central. De base a techo este grupo está formada por: la Formación Toqui (Suárez & De la Cruz, 1994a), que se compone de asociaciones de facies calcáreas, arenoso-calcáreas y piroclástico-carbonatadas (De la Cruz & Cortés, 2011); la Formación Katterfeld (Ramos, 1976) constituida por lutitas y limolitas de color negro con fósiles marinos; la Formación Apeleg (Ploszkiewicz & Ramos, 1977) que corresponde a una sucesión fosilífera de areniscas y lutitas heterolíticas; y el Complejo Volcánico Baño Nuevo, que se expone localmente y compone de rocas piroclásticas, lavas y cuellos volcánicos (De la Cruz & Cortés, 2011).

Formación Divisadero

Sobreyaciendo tanto a la Formación Apeleg como a la Formación Katterfeld se ubica la Formación Divisadero (Heim, 1940) del Aptiano-Cenomaniano, compuesta por ignimbritas, tobas de caída y brechas piroclásticas de composición riolítica y dacítica, con lavas andesíticas subordinadas (De la Cruz & Cortés, 2011).

Batolito Norpatagónico

Las rocas intrusivas del área de estudio son parte del Batolito Patagónico (Mesozoico-Cenozoico), el cual se extiende entre las latitudes 40°S y 56°S de manera continua a lo largo del margen andino de Sudamérica (Hervé et al., 2007). El Batolito Norpatagónico, entre 40 y 47°S, consiste mayoritariamente de granodioritas de hornblenda-biotita y tonalitas, y de acuerdo a dataciones realizadas en Aysén, su emplazamiento se produjo durante episodios magmáticos desde el Cretácico Inferior hasta el Mioceno Inferior (Pankhurst et al., 1999). En la localidad de Lago Verde, ubicada en el borde este del batolito, a los 44.2°S, afloran mozogranitos leucocráticos rosas, asociados con tonalitas de anfíbol-biotita, dioritas y gabros (Cortés, 1996). En el extremo occidental del Batolito, particularmente en Isla Traiguén, se tiene registro de cuarzodioritas de hornblenda-biotita con entrecrecimientos de cuarzo y feldespato potásico. Hervé et al. (1993) describieron granitos de muscovita-granate con andalucita y sillimanita en el sector de Puerto Cisnes, en las cercanías del lineamiento de la falla de Liquiñe-Ofqui.

El Batolito intruye tanto a las rocas metamórficas del basamento emplazado en su límite oeste, como a las secuencias volcánicas y sedimentarias mesozoicas ubicadas en el margen oriental. En el este, las intrusiones no desarrollan aureolas de contacto visibles, mientras que en el oeste, se exponen aureolas estrechas con andalucita y cordierita. Estas observaciones sugieren que el margen oriental del batolito ha sufrido menos levantamiento y erosión, mientras que las zonas con mayores tasas de alzamiento se localizan en las cercanías de la falla de Liquiñe-Ofqui (Hervé et al., 1996a).

Gran parte del sector oriental de la Cordillera de la Costa y Cordillera Principal corresponde al Batolito Norpatagónico, que representa el arco magmático Meso-Cenozoico, donde también tiene lugar el volcanismo más reciente, representando una importante porción de la Zona Volcánica Sur (SVZ), con volcanes como Michinmahuida, Chaitén, Corcovado y Hudson.

2.2.3 Eoceno - Holoceno

Formación Caleta Chonos

En el sector noroccidental de la Isla de Chiloé aflora la formación eocena-oligocena Caleta Chonos, correspondiente a secuencias de areniscas de grano fino y medio, y conglomerados finos, atribuibles a una cuenca sedimentaria continental.

Estratos de Chonchi

En la zona oriental de Chiloé insular se distribuyen irregularmente los Estratos de Chonchi (Quiroz et al., 2004), que comprenden areniscas fosilíferas marinas, macizas y estratificadas, de edad oligocena superior- miocena inferior. Se les asigna un ambiente litoral a supranerítico, así como también una correlación con los niveles basales de la Formación Lacui.

Estratos de Cucao

A la misma latitud que los Estratos de Chonchi, pero en la franja oriental de la isla, se exponen ampliamente los Estratos de Cucao (Quiroz et al., 2004) del Mioceno inferior a medio, correspondientes a secuencias sedimentarias marinas. Éstos incluyen conglomerados finos, areniscas epiclásticas interestratificadas con areniscas tobáceas, tobas y limolitas con concreciones calcáreas y areniscas fosilíferas. Al igual que los Estratos de Chonchi, son equivalentes a los depósitos marinos de la Formación Lacui.

Complejo Volcánico Ancud

En el área de Chiloé, el Complejo Volcánico Ancud (Oligoceno Superior- Mioceno Inferior), definido por Valenzuela (1982), se compone de lavas basálticas y andesítico basálticas,

además de tobas y domos riolíticos a dacíticos. También incluye diques y cuellos volcánicos que intruyen al Complejo Metamórfico Bahía Mansa, y a la Formación Caleta Chonos (Valenzuela, 1982). Si bien los mejores y más extensos afloramientos se reconocen en el área de Ancud (Antinao et al., 2000b), en el sector de Castro-Dalcahue se distinguen dos unidades: una de composición basáltica y andesítico-basáltica, y otra formada por flujos piroclásticos, riolitas bandeadas y domos vítreos. Por otra parte, es posible distinguir en el área entre Chonchi y Cucao afloramientos de lavas basálticas a andesítico-basálticas, denominados por Valenzuela (1982) como Basaltos del Tepuhueico, y que debido a su posición estratigráfica y similitud petrográfica se consideran equivalentes al Complejo Volcánico Ancud.

Formación Lacui

Restringida al sector norte de la Isla Grande de Chiloé, aflora la Formación Lacui (Valenzuela, 1982) del Mioceno inferior a medio, definida como una secuencia volcano-sedimentaria de rocas piroclásticas, epiclásticas y carbonatadas, que se ha interpretado como de origen parálico a marino.

Formación Traiguén

En la parte oriental de la Cordillera de la Costa, en las islas del valle longitudinal y borde costero de la Cordillera Principal, entre 43°30' y 46° latitud sur, aflora una sucesión volcano-sedimentaria asignada a la Formación Traiguén del Mioceno (Espinoza & Fuenzalida, 1971; Fuenzalida & Etchart, 1975; Bobenrieth et al., 1983; Hervé et al., 1994), cuyos rasgos petrográficos permiten asignar un ambiente de deposición marino. Presenta cherts y lutitas con microfósiles marinos, y lavas y brechas almohadillas (Silva et al., 2003).

Depósitos no consolidados

A partir del Pleistoceno medio en la zona de Chiloé, se reconocen a lo menos cuatro períodos glaciares, que acompañados de los procesos sedimentarios respectivos, generaron una serie de depósitos glaciogénicos no consolidados (Quiroz & Duhart, 2006). De esta forma se tienen secuencias de depósitos morrénicos, glaciofluviales y glaciolacustres, cuyos materiales clásticos fueron continuamente retrabajados por la acción glaciaria. De igual forma la región de Aysén ha estado sujeta a glaciaciones intermitentes, durante el Neógeno, que han dado lugar a material sedimentario con distintos grados de compactación (De la Cruz & Cortés, 2011).

En el sector norte del área de estudio, los procesos de sedimentación ocurridos durante el Holoceno se ven representados por depósitos fluviales, sedimentos litorales y eólicos de los sectores costeros (Antinao et al., 2000; Quiroz & Duhart, 2006). En tanto en el sector sur,

predomina la acumulación de depósitos deltaicos, fluviales, de abanicos aluviales, lacustres, eólicos, coluviales y de remoción en masa (De la Cruz & Cortés, 2011).

2.3 Geología estructural

El rasgo estructural más destacado corresponde a la Zona de Falla de Liquiñe-Ofqui (ZFLO), que consiste en fallas y lineamientos rectos de rumbo N-NE y manteo aproximadamente vertical (Cembrano et al., 1996). Observaciones estructurales a distintas escalas indican que se trata de un sistema de fallas de rumbo de carácter dextral de intraarco, que se extiende por aproximadamente 1000 km, desde los 38°S hasta las cercanías del punto triple entre las placas Nazca, Antártica y Sudamericana a los 47°S (Silva et al., 2003). Si bien existe evidencia de etapas de deformación dúctil asignadas al Cretácico, se habría consolidado como un sistema estructural de intraarco durante el Mioceno (Cembrano et al., 2000). Por tanto, el ZFLO afecta rocas metamórficas del basamento paleozoico (Hervé, 1988), al Batolito Norpatagónico del Cretácico Inferior-Mioceno Inferior (Pankhurst & Hervé, 1994), y también a las unidades volcanosedimentarias del Cenozoico (Hervé et al., 1995). Es importante mencionar la coincidencia espacial de la traza principal de la falla y algunas de sus ramas laterales con el emplazamiento, tanto de aparatos volcánicos cuaternarios (de la SVZ), como del plutonismo Mioceno-Plioceno del Batolito Norpatagónico (Duhart, 2003).

En el sector cordillerano predominan capas subhorizontales o de bajo manteo, reconociéndose sólo de manera local suaves anticlinales y sinclinales, y algunos estratos con alta inclinación en las formaciones Ibáñez (Jurásico Superior-Cretácico Inferior) y Divisadero (Aptiano-Cenomaniano) (Suárez et al., 2007).

3. MARCO METALOGÉNICO

3.1 Recursos Continentales

Los recursos minerales del área septentrional corresponden en gran medida a placeres auríferos relacionados a las glaciaciones cuaternarias. Este tipo de depósitos, corresponden a sedimentos morrénicos, glacifluviales y glacialacustres que se encuentran mayoritariamente, en la parte occidental de la Isla de Chiloé y en el sector costero de Chiloé continental. Destacan así, los placeres ubicados en la playa de Carelmapu, en donde se redeposita el oro liberado de los sedimentos cuaternarios del delta del río Maullín. Las leyes de oro para esta playa pueden incluso llegar a 1 g/m³ en invierno, debido al aumento típico de la acción mareal (Greiner, 1991). La mineralización aurífera en Carelmapu está contenida en láminas de fierrillo, con alta presencia de

magnetita, milimétricas a centimétricas que conforman mantos auríferos lenticulares de hasta 1 m de potencia reconocida, y se extienden desde el extremo sur de la playa hasta por cerca de 2300 m hacia el norte. El oro se presenta en tamaños menores a 125 μm y aparece asociado a magnetita, ilmenita, piroxeno, anfíbol, epidota, espinela, circón, granate, rutilo, titanita, turmalina y distena. Por otro lado, se detectó químicamente presencia de platino en una relación Au:Pt estimada de 25 a 35:1 (Portigliati, 1999).

Inmediatamente al sur de Carelmapu, en la costa norte del Canal de Chacao, se sitúa la playa Astilleros, en la cual el oleaje eroda los acantilados costeros compuestos de material glacial con detritos de oro distribuidos homogéneamente en su matriz. En tanto en la costa sur del canal, en la Isla de Chiloé, se desarrollan placeres auríferos al oeste de la ciudad de Ancud, y en el sector Faro Corona. De igual forma, la mayor parte de las playas de la costa oeste de la isla constituyen este tipo de depósitos, destacando los de Chepu, Apiao, Punta Robles, Pumillahue, Cucao, Pirulil, Tablaruca, Punta Zorra, Huenocoihue e Isla Guafo, al suroeste de Chiloé. En el sector de Pumillahue, aflora material de origen glacial estratificado, con bloques de más de 1 m en una matriz arcillosa, y con contenidos de oro en torno a los 20 mg/m^3 . Más al sur, en la playa de Cucao, se tiene un acantilado constituido por sedimentitas marinas miocenas sobre las cuales se depositan sedimentos glacialígenicos que incuyen clastos exóticos de rocas intrusivas, andesitas y rocas piroclásticas. La mineralización de oro se localiza en arenas rojas y en láminas de fierrillo, las que tienen un espesor de hasta 0.2 m y una ley de oro que varía entre 5 y 15 g/m^3 (Portigliati, 1999). Si bien existen buenas expectativas de encontrar más placeres auríferos en la parte sur de la Isla de Chiloé, no existen estudios que así lo ratifiquen. De forma similar, en Aysén insular se tiene escaso registro de este tipo de depósitos de playa. Uno de ellos es el de la Isla Ipún, situada en el oeste del Archipiélago de Los Chonos, donde se reconocen arenas con magnetita y oro en mantos en alternancia de entre 10 m y 40 m de potencia, distribuidos en una extensión de 3 km y un ancho de 70 m. La ley media del oro es de 0.2 g/m^3 y alcanzaría hasta los 30 g/m^3 (Portigliati, 1999). El oro detrítico provendría desde la Cordillera Principal y habría sido erodado y transportado hacia los valles por la acción glaciaria, para luego ser reconcentrado por procesos fluviales y litorales (Ordoñez, A., 2000).

Las ocurrencias minerales y anomalías geoquímicas, entre 41° y 44° latitud sur, en Chiloé Continental, han sido limitadas a dos franjas metalogénicas, asociadas al emplazamiento de plutones del Batolito Norpatagónico (Duhart et al., 2000). En la denominada Franja Polimetálica del Cretácico Inferior (FPCI) se reconocen depósitos tipo pórfido Cu-Mo, skarn, vetas hidrotermales y un probable volcánico exhalativo, hospedados en rocas volcánicas y sedimentarias del Jurásico Superior-Cretácico Inferior, expuestas en el área Futaleufú-Palena. En el sector costero, se extiende la Franja Aurífera del Mioceno (FAM), la cual incluye depósitos epitermales y mesotermales de metales preciosos, con mineralización de Au y contenido menor de Cu o Pb-Zn-Ag, relacionados a la actividad magmática durante el Mioceno (Duhart et al., 2000). Ambas franjas coinciden en edad y mineralización con las descritas en el área de Aysén (Palacios et al.,

1996), mostrando una continuidad hacia el sur y definiendo una extensión total de 600 km de largo (Duhart et al., 2000).

Respecto al sector continental de Aysén, la mayor parte de las mineralizaciones están asociadas a las rocas volcánicas del Jurásico Superior-Cretácico, y en menor grado, al basamento metamórfico y al Batolito Patagónico (Townley et al., 2000). El área abarca una serie de minas y prospectos de interés económico, entre los que destaca el yacimiento skarn Zn-Pb El Toqui, hospedado en las rocas sedimentarias del Grupo Coyhaique, y cuyos promedios de leyes se han estimado en 8% Zn, 0.6% Cu, 1.5% Pb, 1.5 g/t Au y 50 g/t Ag (Palacios et al., 1994). Estudios geoquímicos han identificado anomalías restringidas a determinadas unidades geológicas de la zona. Las anomalías positivas de Cu se limitan a rocas andesíticas y félsicas de la Formación Ibáñez, mientras que concentraciones anómalas de Pb, Zn, Ag y As son observadas en las rocas volcánicas de la Formación Divisadero. Las mayores concentraciones de Au se encuentran en andesitas de la Formación Ibáñez y en las rocas del basamento metamórfico. Cabe mencionar, que la zona presenta, de forma generalizada, altas concentraciones de As en comparación con estándares globales (Townley et al., 2000).

3.2 Recursos Marinos

Nódulos Polimetálicos

Los nódulos poimetálicos son concreciones de sedimentos autigénicos formadas por capas concéntricas de hidróxidos de hierro y manganeso que crecen a partir de un núcleo, el que en la mayoría de los casos es microscópico. El tamaño de los nódulos puede variar desde partículas microscópicas, hasta tamaños sobre los 20 cm, alcanzando con frecuencia entre 5 y 10 cm de diámetro (Rona, 2008; Hein et al., 2013; Olivares et al., 2014). Estudios geoquímicos de nódulos de diferentes océanos han arrojado presencia considerable de metales estratégicos como níquel, cobalto y cobre, además de tierras raras (Ghosh & Mukhopadhyay, 2000; Rona, 2008). La distribución y abundancia de nódulos polimetálicos en los océanos es muy variada, debido a los diversos factores que condicionan su formación y crecimiento, como condiciones de oxigenación moderada y bajas tasas de sedimentación, que están propiciadas en gran parte por profundidades entre 3500 a 6500 m, situándolos generalmente en cuencas oceánicas abisales alejadas de los continentes (Hein et al., 2013; Olivares et al., 2014).

En la ZEE de Chile se han documentado distintos lugares con ocurrencia de nódulos polimetálicos, distribuidos en gran parte en los límites entre las placas de Nazca y Sudamericana, en la zona centro-sur del país (Rosato et al., 1975; Valenzuela et al., 1984; García et al., 2020). Particularmente en el área comprendida en este estudio se tiene registro de tres puntos de ocurrencia de nódulos de manganeso, a los 42°S y 44°S aproximadamente, de los cuales se carece información química (Figura 2).

Hidratos de gas

Son sustancias químicas donde moléculas de gas son hospedadas en moléculas de agua, enlazadas únicamente por fuerzas intermoleculares (Sloan & Koh, 2007). El hidrato más común en la naturaleza es el generado por el metano, sin embargo también se han encontrado de dióxido de carbono y sulfato de hidrógeno (Kvenvolden, 1998). Se han determinado más de 60 lugares de emisiones frías de metano en distintos océanos y mares alrededor del mundo, tanto en márgenes de placa activos como pasivos y a profundidades muy variables, de hasta 7400 m en la fosa de Japón (Merinero et al., 2010).

En el área de estudio se tiene registro de hidratos de metano con contenidos de etano en el margen continental frente a la Península de Taitao, coincidente con el punto triple (Froelich et al., 1995). Adicionalmente, sobre la base de reflexiones sísmicas se ha inferido la presencia de hidratos de metano en la zona suroeste frente a la Isla de Chiloé (Vargas-Cordero et al., 2016) y frente al Archipiélago de los Chonos (Vargas-Cordero et al., 2010) (Figura 2).

Geología económica del área de estudio
 41°22' - 45°32' S y 71°44' - 75°13' W

Simbología

Tipo de depósito

-  Epitermal
-  Mesothermal
-  Placer
-  Pórfido
-  Skarn

 Nódulos polimetálicos

Hidratos de metano

-  Comprobados
-  Inferidos
-  Principales ciudades y localidades
-  Cañones Submarinos
-  Volcanes activos

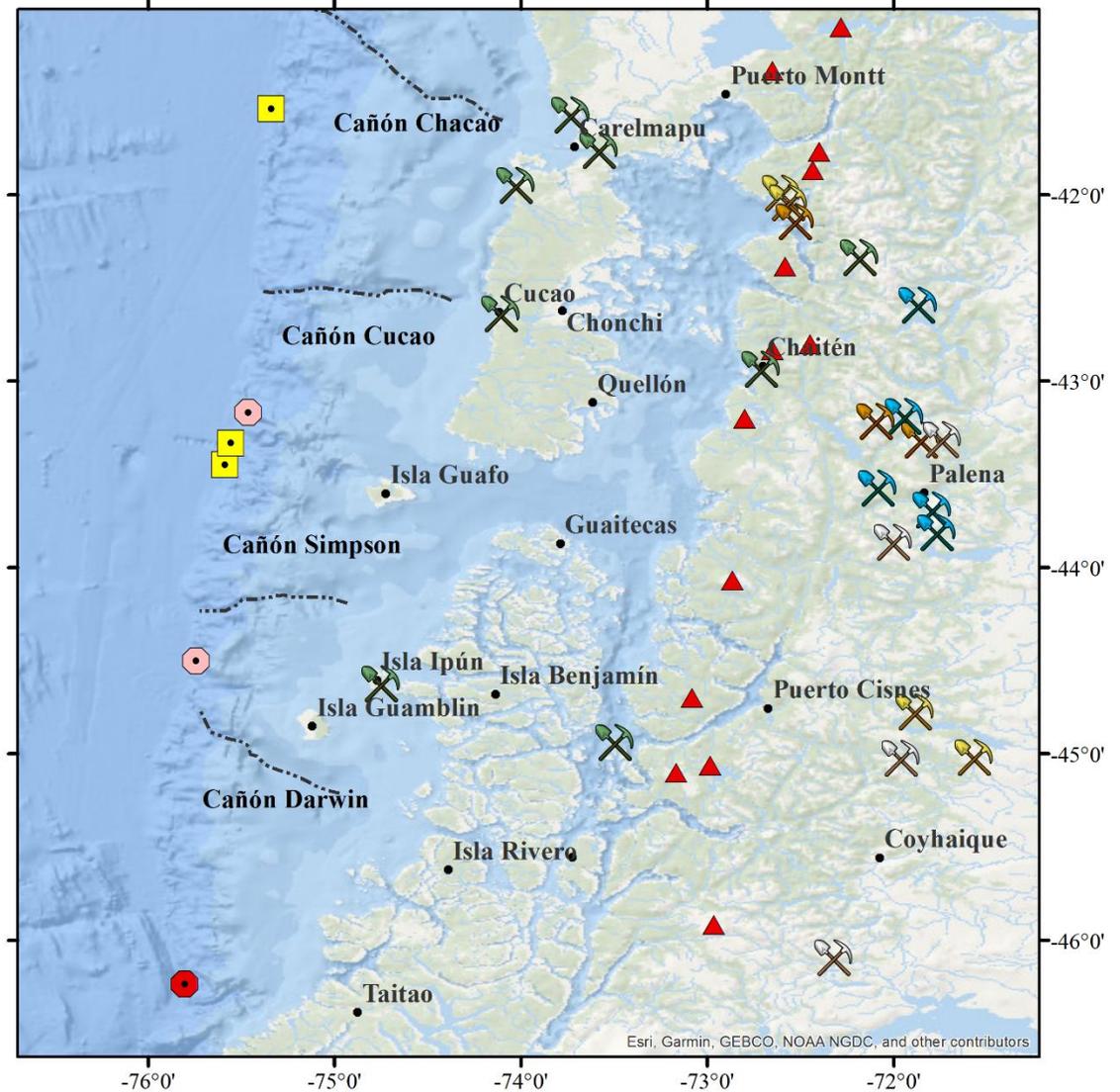
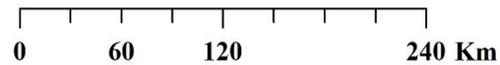


Figura 2. Mapa de distribución de yacimientos y prospectos en área de estudio. Información tomada de Froelich et al. (1995), Townley et al. (2000), Duhart et al. (2003), Vargas-Cordero et al. (2010), Vargas-Cordero et al. (2016) & García et al. (2020). Mapa base desarrollado por Esri (2010) en base a las fuentes: Esri, GEBCO, NOAA, National Geographic, DeLorme, HERE, Geonames.org, y otras contribuciones.

4. RESULTADOS

Se recolectaron 16 muestras de sedimentos del fondo marino, de las cuales tres se tomaron con box corer (muestras 1, 9 y 11) y el resto con draga. Seis muestras se tomaron en zonas de lecho o desembocadura de cañones submarinos, cinco en plataforma, una en talud y cuatro en canales interiores (Figura 3). En siete puntos de muestreo adicionales, los equipos de draga y box corer no lograron captar sedimento. De igual forma no se pudo acceder a la zona sur de la Península de Taitao debido a condiciones climáticas perjudiciales para la navegación. Para cada muestra se registró, al momento de la captura, su masa en húmedo, temperatura, pH y potencial redox (Tabla 2). Las temperaturas medidas variaron entre 4.3°C y 10.5°C, donde se puede observar que todas las que superan los 10°C fueron extraídas desde la plataforma interior (muestras 13, 14, 15 y 16). También es posible notar que la mayor parte de las muestras responden a ambientes reductores, siendo las muestras 10, 12 y 13 las únicas que indicaron ambientes oxidantes. Por otro lado, los valores de pH registrados se restringen al rango acotado entre 7.4 y 7.9.

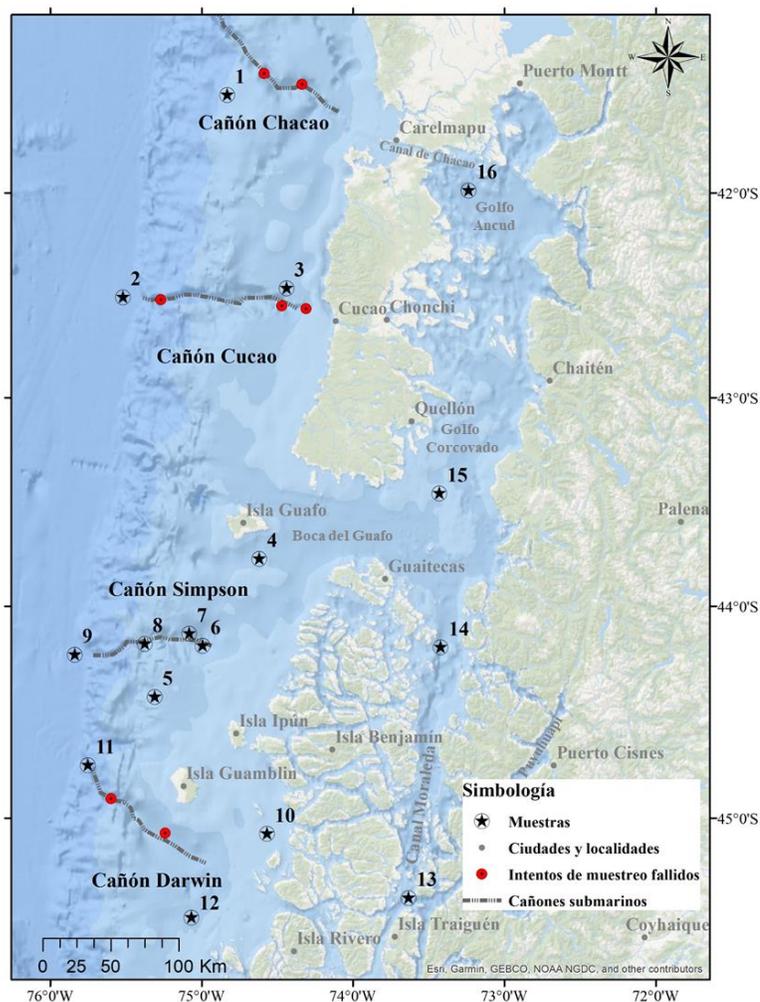


Figura 3. Mapa de distribución de muestra en el área de estudio. Mapa base desarrollado por Esri (2010) en base a las fuentes: Esri, GEBCO, NOAA, National Geographic, DeLorme, HERE, Geonames.org, y otras contribuciones.

Tabla 2. Características generales de las muestras colectadas como ubicación, profundidad, fecha, masa conservada y su porcentaje respecto a la captada por el instrumento. Además, se incluyen las mediciones de temperatura, pH y redox.

<i>Muestra</i>	<i>Morfología del lugar</i>	<i>Fecha</i>	<i>Prof. [m]</i>	<i>Lat. S [°]</i>	<i>Lat. S [']</i>	<i>Long.W [°]</i>	<i>Long.W [']</i>	<i>Descripción General de la muestra</i>	<i>Peso [Kg]</i>	<i>pH</i>	<i>T° [°C]</i>	<i>Redox [mV]</i>	<i>Observaciones</i>
01	Talud	26-sep	1071	41.00	31.06	74.00	49.86	Sedimento grisáceo aparentemente del mismo material limoso, pero también se encontró un grano de cuarzo.	23.7	7.89	8.50	-42.37	Muestra tomada por Box corer durante la noche. El punto de muestreo corresponde con la estación oceanográfica 01(6B). Box a volumen completo.
02	Desembocadura Cañón Cucao	27-sep	1916	42.00	30.72	75.00	31.12	Muestra lodosa de color gris oscuro	15.5	7.79	7.27	-131.37	Muestra tomada por draga a máxima capacidad. Se tomó muestra desde las ventanas de la draga.
03	Plataforma exterior	30-sep	166	42.00	28.08	74.00	26.23	Muestra verdosa y ligeramente arenosa	23.4	7.71	10.0	-52.61	Se sacó draga con sedimento a volumen completo.
04	Plataforma exterior	1-oct	239	43.00	46.50	74.00	37.08	Muestra arenosa, color gris verdosa	21.5	7.57	9.17	-107.67	Se sacó draga con gran porcentaje de agua.
05	Plataforma exterior	2-oct	226	44.00	25.87	75.00	18.51	Muestra arenosa gris verdosa, arena fina	7.10	7.69	8.83	-31.03	La cantidad de muestra recuperada por la draga fue baja <10%
06	Lecho de Cañón Simpson	3-oct	917	44.00	11.36	74.00	59.50	gris verdosa muy fina, arcilla-limo	18.5	7.66	7.10	-72.10	Draga con sedimento al 60%
07	Lecho de Cañón Simpson	3-oct	1070	44.00	7.96	75.00	4.89	gris verdosa muy fina, arcilla-limo	23.5	7.73	5.80	-112.77	Draga con sedimento al 95%
08	Lecho de Cañón Simpson	3-oct	1619	44.00	10.82	75.00	22.48	gris verdosa muy fina, arcilla-limo	25.6	7.83	4.30	-115.87	Draga con sedimento al 60%
09	Desembocadura Cañón Simpson	3-oct	3388	44.00	13.89	75.00	50.24	Se observaron distintas facies en la muestra, con sedimento lodoso en la base; arenoso gris verdoso en el centro; y arenoso gris oscuro a negro hacia el techo del box.	32.1	7.77	7.30	-55.13	Box corer con sedimento al 70%. La caja se abrió de manera incorrecta, botando el sedimento de la base. Se recuperó una parte de éste y el resto se obtuvo del interior
10	Plataforma exterior	7-oct	317	45.00	4.53	74.00	34.04	Muestra limo arenosa color gris verdosa	12.5	7.52	8.00	42.67	Draga con sedimento al 10%. Punto de muestreo coincide con estación oceanográfica 70B
11	Desembocadura Cañón Darwin	7-oct	2952	44.00	45.25	75.00	44.98	Muestra arcillosa en la parte superficial con color gris verdoso, una capa intermedia arenosa color gris, y en la base nuevamente una capa gris verdosa fina	31.6	*	*	*	Box corer con sedimento al 100%. Se muestreó sedimento de la superficie, del centro y de la base del box. Peachímetro no disponible.
12	Plataforma exterior	8-oct	134	45.00	27.93	75.00	3.98	Muestra mayormente arenosa color gris verdosa	9.9	7.43	9.63	147.47	Se realizaron dos envíos de la draga pues la primera vez el sedimento captado no superó el 15% del volumen total. La segunda vez se captó cerca de un 10% del volumen, pero se recuperó el 100%. Punto coincide con estación 24H.
13	Plataforma interior	9-oct	83	45.00	22.43	73.00	37.92	Muestra arenosa grisácea	30.2	7.63	10.2	186.70	Se realizaron tres lanzamientos; el primero con sedimento al 10%; el segundo sin sedimento (draga abierta con el cable enredado); y el tercero con sedimento al 20%. Punto coincide con estación oceanográfica 45.
14	Plataforma interior	14-oct	273	44.00	11.81	73.00	25.24	Muestra arcillosa homogénea gris verdosa.	20.3	7.56	10.0 3	-133.20	Se extrajo una muestra equivalente al 20% de lo captado por la draga. Punto corresponde a estación 37.
15	Plataforma interior	15-oct	97	43.00	27.75	73.00	25.76	Muestra arenosa marrón amarillenta, con grava compuesta de clastos mal seleccionados de 0.5 cm a 5 cm.	10.8	7.86	10.1 3	-9.37	Se realizaron dos lanzamientos de la draga, el primero trajo sedimento al 15% de la capacidad y el segundo al 5%. Lugar de muestreo corresponde a estación oceanográfica 29.
16	Plataforma interior	16-oct	298	41.00	59.36	73.00	14.13	Muestra arcillosa color gris verdosa con algunas zonas de colores verdes más oscuros. Abundantes poliquetos.	20.8	7.46	10.5 0	-80.53	Se capturó sedimento al 95% de capacidad de la draga. Punto coincide con estación oceanográfica 6.

4.1 Granulometría

Los sedimentos estudiados arrojaron granulometrías en su mayoría finas, observándose presencia de escaso material gravoso en tres muestras (1, 13 y 15) (Tabla 3). En la muestra 15, se tiene 0,01% de material gravoso y un clasto tamaño bolón de aproximadamente 10 cm, no considerado en las mediciones granulométricas. En la muestra 1 se detectó la presencia de un clasto de 1.4 cm, compuesto principalmente de cuarzo, poco concordante con el resto del sedimento limoso. En la muestra 13, también se identificaron clastos sobre los 2 mm, en un 0.02% y donde ninguno de ellos supera los 3 mm.

Tabla 3. Distribución de los componentes fango, arena y grava, y clasificación textural de los sedimentos.

<i>M</i>	<i>Prof.</i> <i>[m]</i>	<i>Grava</i> <i>[%]</i>	<i>Arena</i> <i>[%]</i>	<i>Fango</i> <i>[%]</i>	<i>Limo</i> <i>[%]</i>	<i>Arcilla</i> <i>[%]</i>	<i>Clasificación</i> <i>textural</i>	<i>Clasificación</i> <i>granulométrica</i>	<i>Observaciones</i>
01	1071	0*	29.3	70.7	61.0	9.7	Fango arenoso	Limo arenoso	Clasto aislado de 1.4 cm
02	1916	0	3.2	96.8	86.2	10.6	Fango	Limo	
03	166	0	44.2	55.8	52.2	3.7	Fango arenoso	Limo arenoso	
04	239	0	50.1	49.9	44.7	5.2	Arena fangosa	Limo arenoso	
05	226	0	74.5	25.5	22.6	3.0	Arena fangosa	Arena limosa	
06	917	0	24.9	75.1	65.8	9.3	Fango arenoso	Limo arenoso	
07	1070	0	6.7	93.3	80.2	13.0	Fango	Limo	
08	1619	0	13.3	86.7	75.8	11.0	Fango arenoso	Limo arenoso	
09	3388	0	26.8	73.2	62.3	10.9	Fango arenoso	Limo arenoso	
10	317	0	57.5	42.5	38.5	4.1	Arena fangosa	Arena limosa	
11	2952	0	19.2	80.8	70.6	10.2	Fango arenoso	Limo arenoso	
12	134	0	87.5	12.5	10.9	1.6	Arena fangosa	Arena limosa	
13	83	0*	91.6	8.42	6.6	1.8	Arena	Arena	Escasos clastos sobre los 2 mm
14	273	0	3.0	97	81.9	15.2	Fango	Limo	
15	97	0.01	90.8	9.2	8.2	1.0	Arena	Arena	Bolón aislado de 10 cm
16	298	0	12.1	87.9	74.6	13.3	Fango arenoso	Limo arenoso	

4.1.1 Clasificación textural

Queda de manifiesto un dominio del tamaño limo, y de manera subordinada de arenas, relegando las arcillas a contenidos menores al 10% en promedio (Tabla 3). De acuerdo a Folk (1974), la clasificación textural indica que en general, se tienen partículas bajo los 62 micrones de diámetro, mostrando un dominio de los fangos en 10 de las 16 muestras estudiadas. De esta manera, texturalmente imperan los fangos arenosos que representan el 44% de los puntos muestreados, y están distribuidos ampliamente en cañones submarinos (Figura 4), al igual que los fangos propiamente tal, que constituyen el 19% de las muestras. Las arenas fangosas por su parte

conforman el 25% del total, y están restringidas a zonas de plataforma, al sur de la Boca del Guafo. Por su parte los sedimentos arenosos tienen escasa presencia, y se ubican en canales interiores (muestras 13 y 15) (Tabla 3).

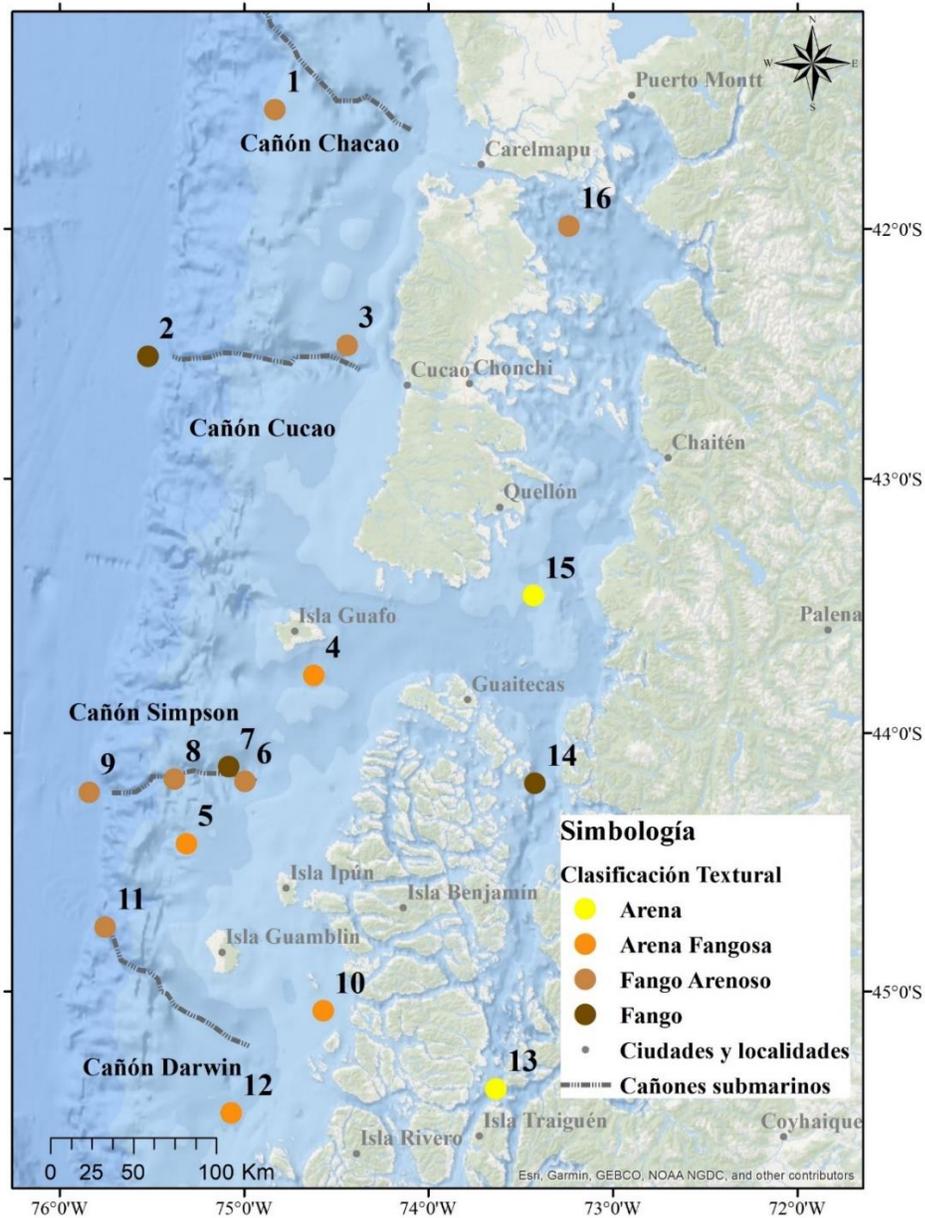


Figura 4. Mapa de distribución de texturas granulométricas. Mapa de distribución de muestra en el área de estudio. Mapa base desarrollado por Esri (2010) en base a las fuentes: Esri, GEBCO, NOAA, National Geographic, DeLorme, HERE, Geonames.org, y otras contribuciones.

4.1.2 Clasificación granulométrica

La clasificación granulométrica se analizó de acuerdo con Folk (1974), para las fracciones bajo los 2 mm. En base a ella, es posible establecer que, dentro de la fracción definida previamente como fango, se observa un dominio claro de sedimento tipo limo por sobre el arcilloso.

Adicionalmente, queda en evidencia una mayor presencia de material arenoso, en las muestras extraídas tanto desde la plataforma continental como de fiordos. De las siete muestras que ocupan el campo de los limos arenosos cinco provienen de cañones submarinos, y de forma similar, las cuatro muestras clasificadas como arenas limosas fueron extraídas desde la plataforma continental (Figura 5).

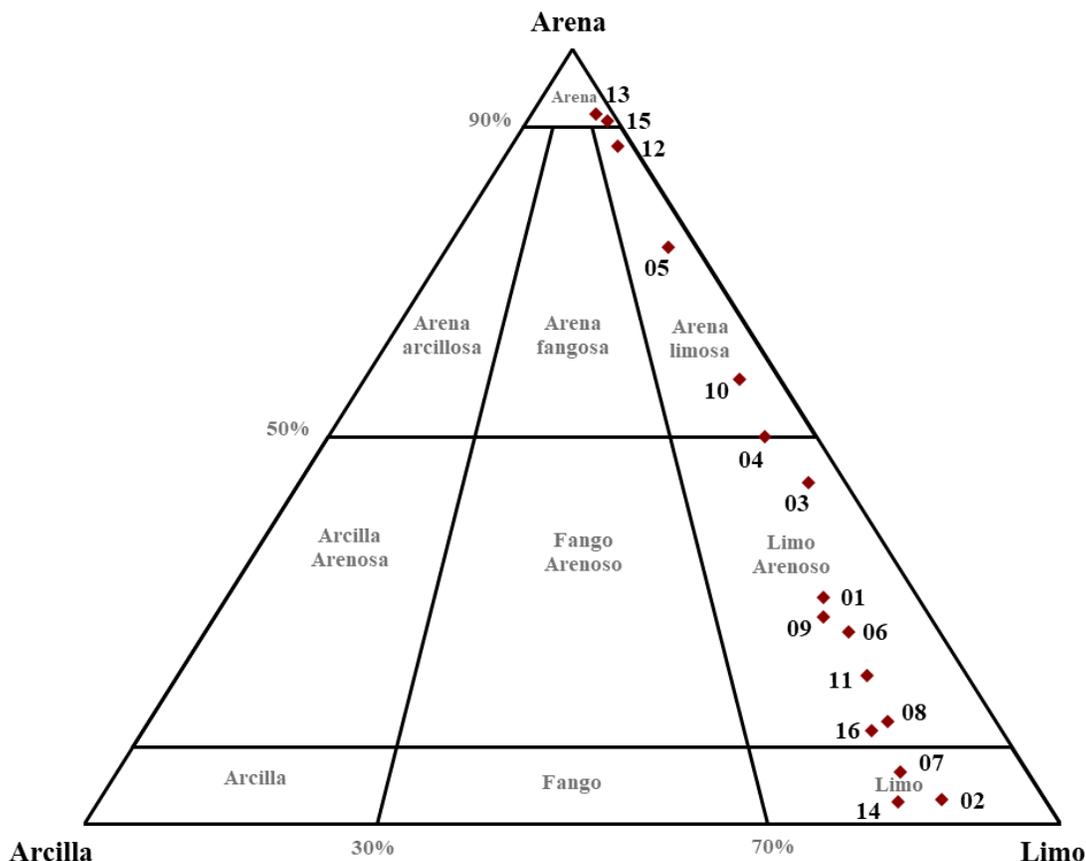


Figura 5. Diagrama de clasificación granulométrica de los sedimentos según Folk (1974), para las fracciones menores a 2 mm.

En base a las profundidades registradas y el porcentaje de fango en los sedimentos, se puede apreciar a grandes rasgos una relación lineal entre ambas variables (Figura 6). De manera generalizada, las muestras extraídas desde profundidades superiores a 900 m, se corresponden con una cantidad de fango mayor al 70%. Sin embargo, en las muestras 14 y 16 esta relación no se cumple, pues ambas se encuentran en canales interiores a profundidades que no superan los 300 m.

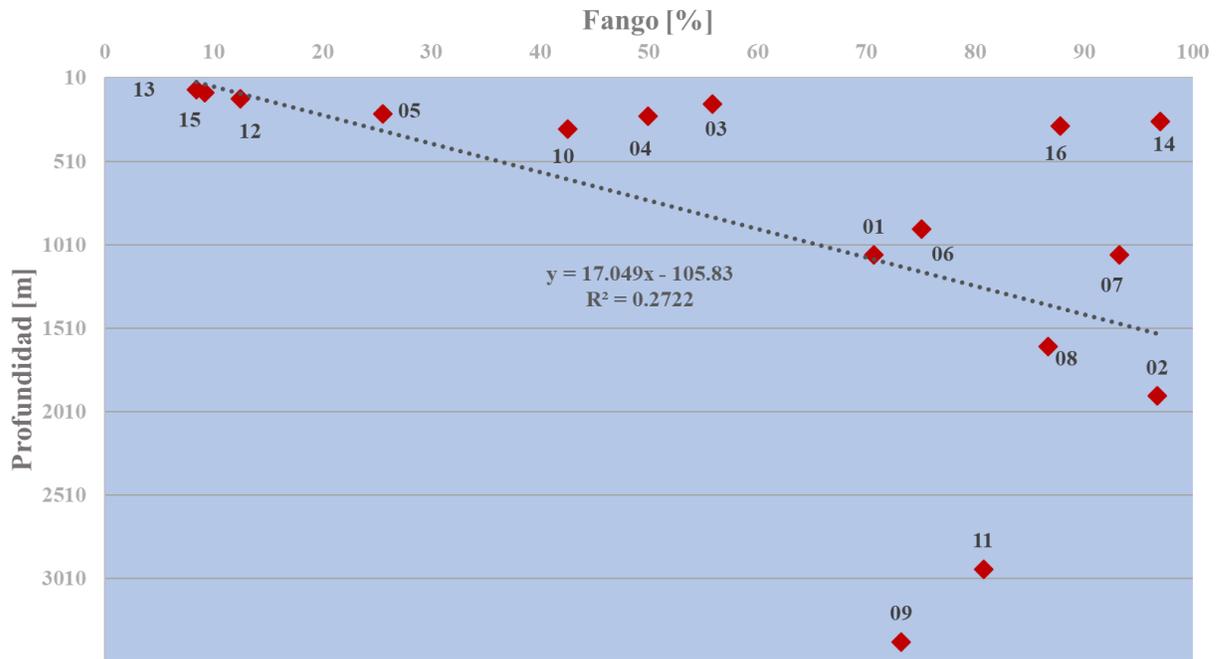


Figura 6. Porcentaje de fango en los sedimentos de acuerdo con su profundidad.

4.2 Mineralogía

4.2.1 Análisis con lupa binocular

Como primera aproximación al análisis mineralógico se realizaron observaciones mediante lupa binocular. En base a ellas se pudo establecer una importante presencia de clorita, anfíbol, olivino y piroxeno (Tabla 4). Salvo en las muestras 3 y 8, se observó circón en todos los sedimentos, en gran medida como cristales color rosa y medianamente fracturados. Por otra parte, la presencia de titanita quedó en evidencia en dos de las muestras extraídas desde desembocaduras de cañones oceánicos (2 y 9) y una desde lecho de cañón (8). También se reconoció titanita en la muestra 12, recuperada en la plataforma frente a la península de Taitao. En contraste, se observó apatito en las muestras 5 y 12, extraídas en la plataforma exterior y en la 13, de la plataforma interior (al norte de la Isla Traiguén), y en la muestra 8, proveniente de un cañón submarino.

En la muestra 11, proveniente de una zona de desembocadura de cañón, se reconoció calcopirita asociada a granos de cuarzo, y también se observó pirita en granos individuales. Esta forma de pirita fue igualmente reconocida en la muestra 2, también proveniente de una zona de desembocadura de cañón. En el resto de las muestras, si bien se identificó la presencia de sulfuros, éstos no pudieron ser individualizados, mostrando hábitos botroidales, restringidos a formas cilíndricas y filamentosas.

Tabla 4. Resumen de los principales minerales identificados con lupa binocular en el concentrado de minerales pesados no magnéticos. En la categoría sulfuros se incluye calcopirita y pirita.

<i>Muestras</i>	<i>01</i>	<i>02</i>	<i>03</i>	<i>05</i>	<i>08</i>	<i>09</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>15</i>
<i>Anfíbol</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗
<i>Piroxeno</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Olivino</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Clorita</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Biotita</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗
<i>Circón</i>	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Titanita</i>	✗	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗
<i>Apatito</i>	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✓
<i>Óxidos</i>	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗
<i>Sulfuros</i>	✗	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗

4.2.2 Microscopía óptica

El estudio de cortes transparentes pulidos se llevó a cabo en submuestras de fracción mayor a 75 micrones, y se dividen en dos grupos: uno proveniente de la eliminación de material biogénico del sedimento total (11 muestras) y otro proveniente del concentrado de minerales pesados no magnéticos (11 muestras). La mineralogía de las submuestras bajo 75 micrones, tanto concentrados de minerales pesados no magnéticos como sedimento total libre de material biogénico, fue analizada sólo mediante XRD (ver sección 3.2.3).

4.2.2.1 Sedimento total libre de material biogénico

Para el grupo de sedimento total, cinco muestras presentaron granulometrías mayoritariamente finas, bajo 75 micrones, y su mineralogía fue analizada sólo mediante XRD (muestras 2,7, 8, 14 y 16). Los resultados se presentan en la Tabla 5, donde se aprecia que impera cuarzo y plagioclasas en altos porcentajes (ver Apéndice A). En menor proporción, pero de manera transversal, se observa la presencia de actinolita y biotita, que se muestra notoriamente afectada por cloritización. Minerales formadores de roca como feldespato potásico y mica blanca, fueron detectados en bajas cantidades y ligados en gran parte a muestras sacadas desde la plataforma (muestras 3, 5, 10, 12 y 13). De igual manera, la detección de olivino parece estar ligada a muestras de plataforma interior, siendo particularmente alta en las muestras 13 y 15.

En este grupo también se reconocen fragmentos líticos en su mayoría de origen volcánico y metamórfico, y en menor medida sedimentarios. La muestra 5 es la única en que se detectó un clasto ígneo intrusivo. Estos fragmentos, en general, varían de subangulosos a subredondeados, y no presentan diferencias importantes en la angulosidad al incrementarse la distancia al continente. Ejemplo de esto, son los clastos volcánicos de las muestras 3 y 13, donde esta última se encuentra

considerablemente más cercana a la fuente continental, no obstante, como se aprecia en la Figura 7 sus angularidades no varían, a pesar de que en la muestra 3 el tamaño de los fragmentos es menor. Las muestras extraídas desde profundidades mayores a 1000 m, como las muestras 2, 9 y 11, presentan escasos fragmentos líticos en comparación a muestras más someras. Entre otros minerales, destaca la presencia de magnetita, hematita e illita, generalmente asociados entre sí en granos individuales, esta asociación puede ser indicativa de oxidación-exsolución en condiciones magmáticas (Gómez et al., 2015). Además, se observó pirita dentro de fragmentos volcánicos, y acompañando cristales fracturados de magnetita.

Tabla 5. Resumen mineralogía de sedimento total para la fracción mayor a 75 micrones, analizada por microscopía óptica

<i>Muestras</i>		<i>01</i>	<i>03</i>	<i>04</i>	<i>05</i>	<i>06</i>	<i>09</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>15</i>
	<i>Cuarzo</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	<i>Plagioclasa</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	<i>Feldespato Potásico</i>	✗	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✗
	<i>Mica blanca</i>	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗
	<i>Biotita/clorita</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	<i>Actinolita</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	<i>Hornblenda</i>	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓
	<i>Piroxeno</i>	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	<i>Olivino</i>	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✓
	<i>Epidota</i>	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	<i>Circón</i>	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	<i>Pirita</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	<i>Magnetita</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	<i>Ilmenita</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	<i>Hematita</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	<i>Goethita</i>	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✗
<i>Líticos</i>	<i>Sedimentarios</i>	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	<i>Volcánicos</i>	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	<i>Intrusivos</i>	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	<i>Metamórficos</i>	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

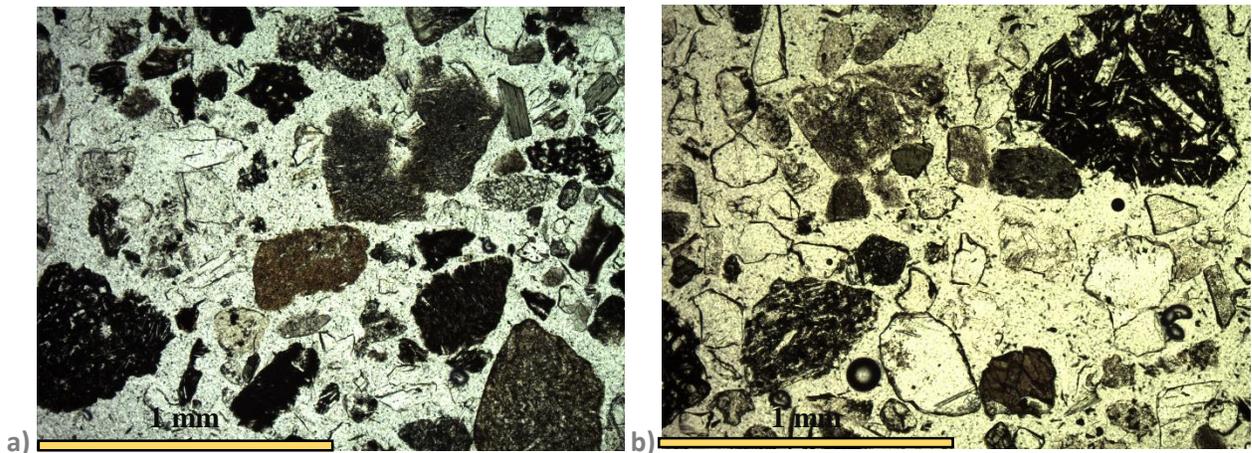


Figura 7. Clastos volcánicos en muestras de sedimento total a nícoles paralelos. a) muestra 3. b) muestra 13

4.2.2.2 Concentrados de minerales pesados no magnéticos

Para el grupo de muestras de concentrados de minerales pesados no magnéticos, los resultados se presentan en la Tabla 6. Entre los minerales no opacos, se destaca la presencia de biotita, altamente cloritizada, actinolita, hornblenda, piroxeno y epidota, y en proporciones menores olivino y circón, que ya fuese detectado por las observaciones con lupa binocular. Al igual que en las muestras totales se tienen fragmentos de litologías volcánicas y metamórficas, sin embargo, en gran parte oxidados por hematita.

El mineral opaco dominante es la pirita, presentándose en fragmentos líticos, como granos individuales, y también como framboides. En las muestras tomadas desde zonas de plataforma interior y exterior, la pirita se observa dentro de clastos volcánicos y como cristales individuales en formas angulosas. La pirita framboidal es ampliamente dominante en las muestras extraídas desde cañones submarinos, entre 917 m y 3388 m de profundidad, y también se observa en menor proporción en los concentrados de las muestras 3 (166 m) y 5 (226 m) (Figura 8.b), de plataforma exterior. Los framboides se desarrollan rellenoando cavidades, en especial dentro de bioclastos como foraminíferos, algas, ostrácodos, gastrópodos y equinodermos, también se observan nucleando alrededor de otros minerales y fragmentos líticos (Figura 8).

Tabla 6. Resumen mineralogía analizada por microscopía óptica para la fracción mayor a 75 micrones de los concentrados de minerales pesados.

<i>Muestras</i>		<i>01</i>	<i>02</i>	<i>03</i>	<i>05</i>	<i>08</i>	<i>09</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>15</i>
<i>Biotita/Clorita</i>		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Actinolita</i>		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Hornblenda</i>		✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Piroxeno</i>		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Olivino</i>		✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Epidota</i>		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Circón</i>		✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Pirita</i>		✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Pirita botroidal</i>		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗
<i>Cobre</i>		✗	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✗
<i>Ilmenita</i>		✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Hematita</i>		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Líticos</i>	<i>Sedimentarios</i>	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
	<i>Volcánicos</i>	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	<i>Intrusivos</i>	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	<i>Metamórficos</i>	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓

En las muestras 10 y 11 se observan cristales de color rojo metálico, que probablemente correspondan a un mineral cuprífero oxidado (Figura 9). Ambos granos presentan formas angulosas, mientras que sus bordes muestran irregularidades indicativas de una posible reacción con medio. Dichas muestras se tomaron a similar latitud, pero muy distinta profundidad. La muestra 11 se extrajo desde la desembocadura del canal Darwin a 2952 m, y la muestra 10 a 317 m desde la plataforma exterior muy cercana al continente.

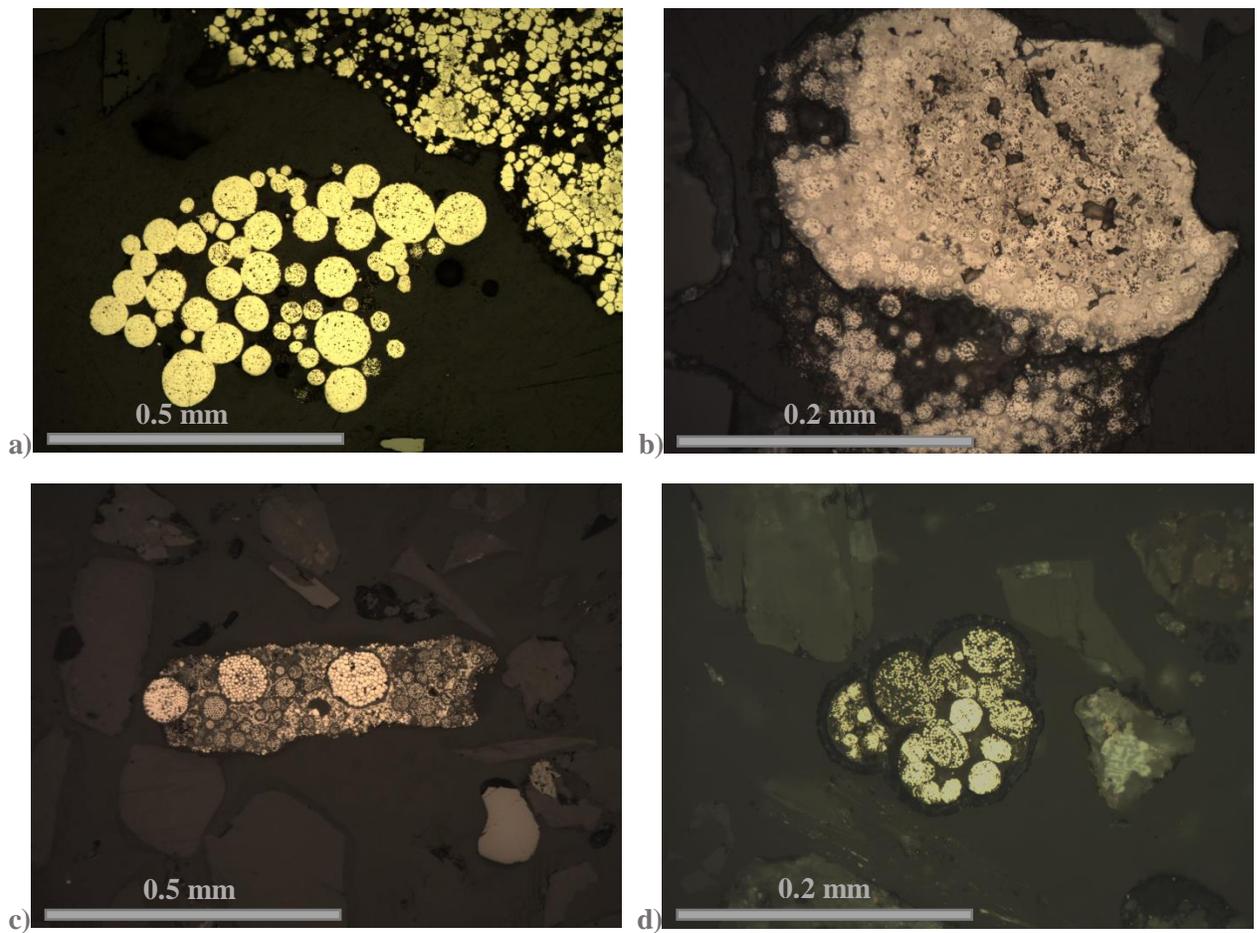


Figura 8. Piritas framboidales. a) Framboides relleno de cavidad en muestra 1. b) Framboides nucleando con poca claridad en muestra 5. c) Piritas framboidales creciendo en cavidades de un alga verde en muestra 8. d) Piritas framboidales en globigerinas en muestra 9.

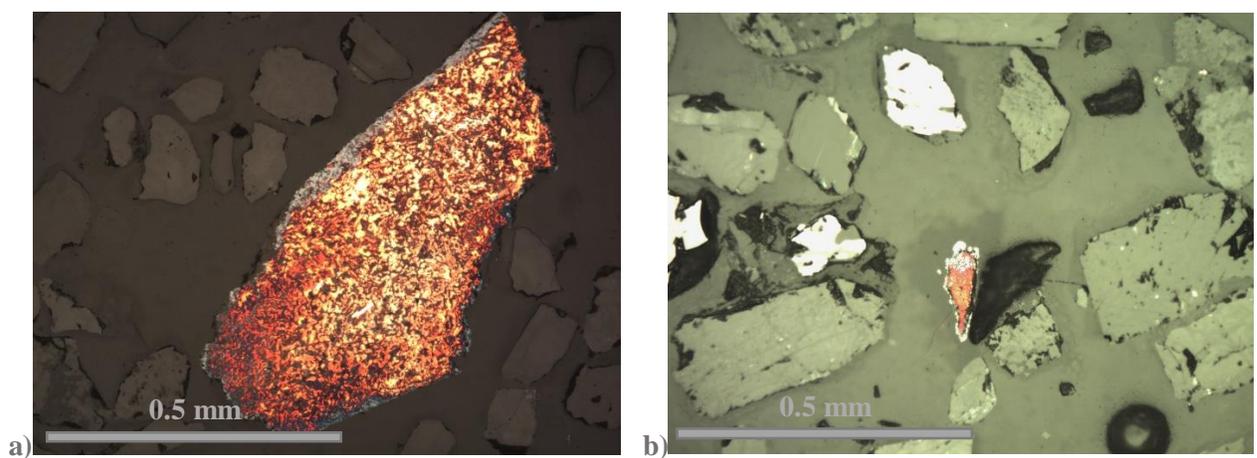


Figura 9. Óxidos de Cu a) Muestra 10. b) Muestra 11

En la muestra 5, proveniente desde la plataforma exterior al noroeste de la Isla Ipún, se detectó un grano de cobre nativo de forma ovalada, altamente redondeado de tamaño arena media. Su eje mayor mide 0.8 mm, y el menor 0.3 mm (Figura 10). Como se aprecia en la Figura 10.c, el cristal muestra una cierta irregularidad en sus bordes, probablemente indicativa de una reacción con el medio.

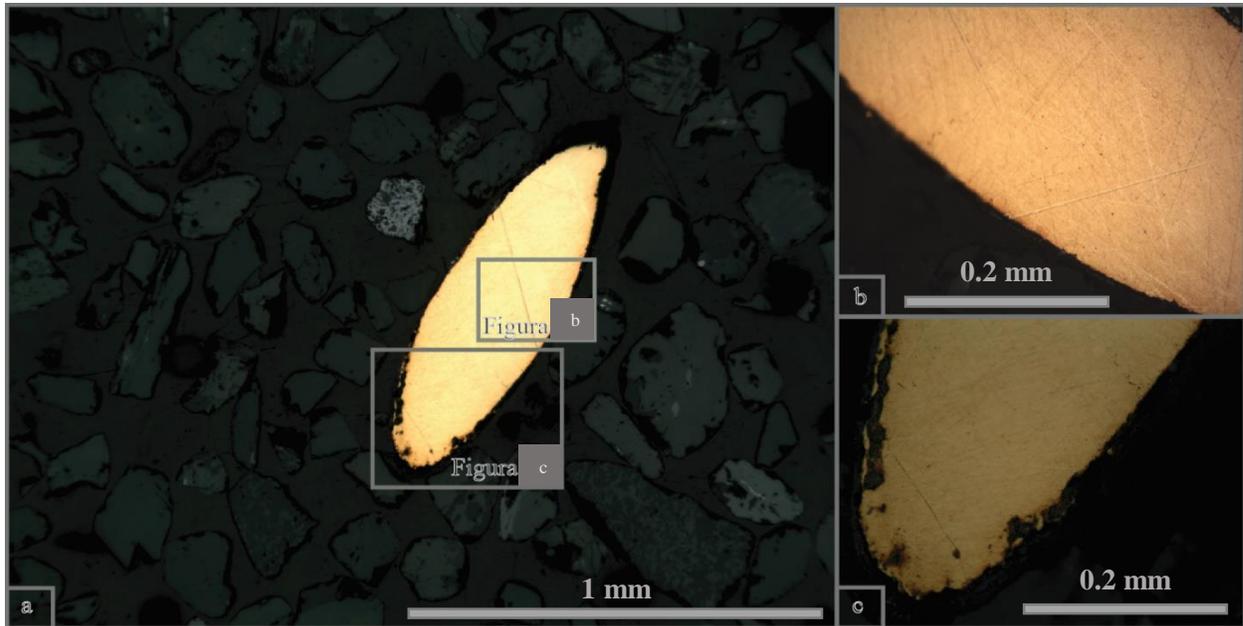


Figura 10. Grano de cobre nativo observado con microscopio óptico a luz reflejada.

4.2.3 Difracción de rayos X

Los análisis de difracción de rayos X se aplicaron a submuestras de fracción menor a 75 micrones, y se dividen en dos grupos: uno proveniente del sedimento total libre de material biogénico (16 muestras) y otro proveniente del concentrado de minerales pesados no magnéticos (8 muestras). Los difractogramas para ambos grupos analizados se muestran en Apéndice B.

4.2.3.1 Sedimento total libre de material biogénico

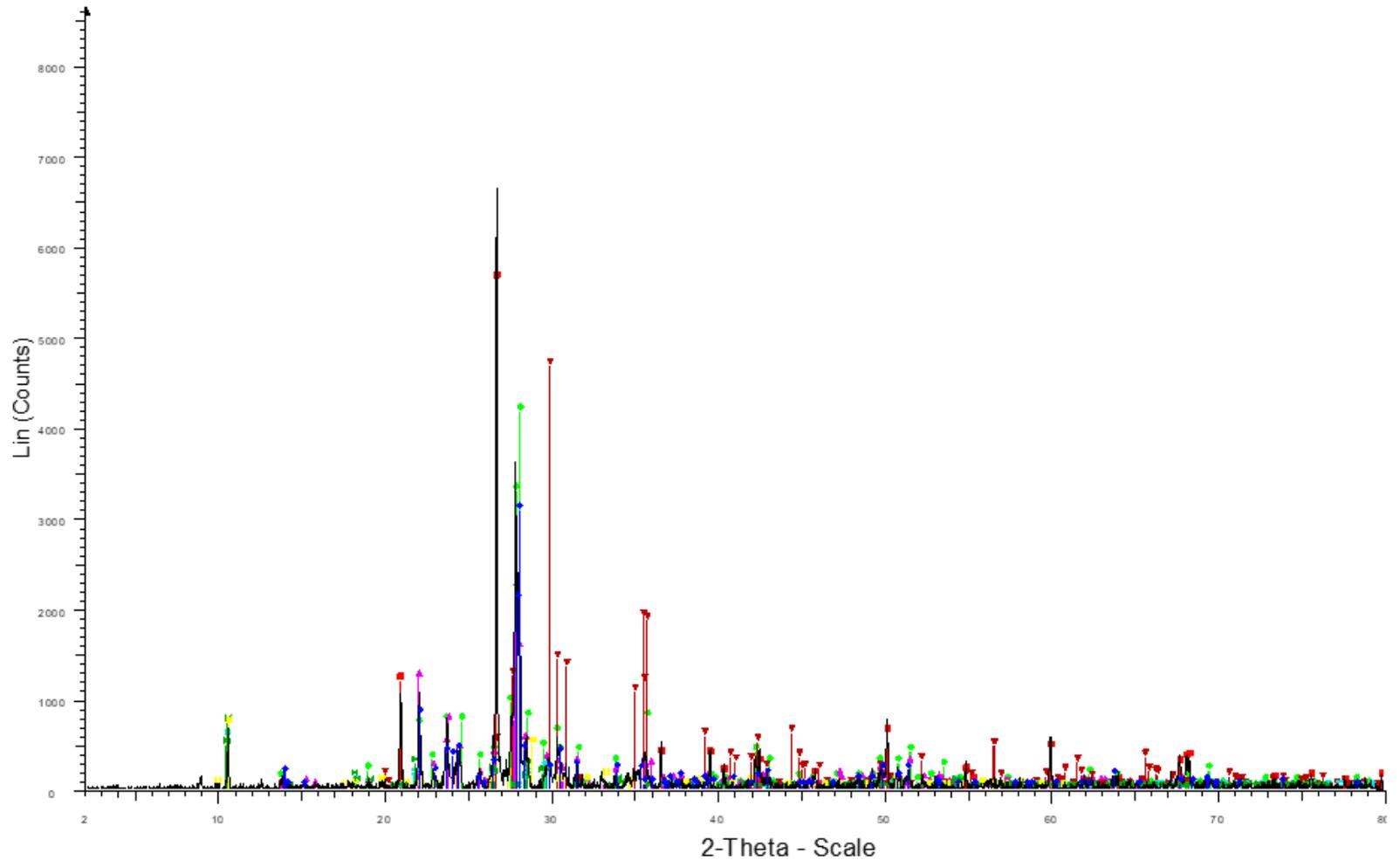
Los resultados del primer grupo arrojaron una alta presencia de cuarzo y feldespatos (Tabla 7). En el caso de los feldespatos, destaca un dominio de albita y anortita por sobre feldespatos potásicos como ortoclasa y microclina. Entre las micas se observa una mayor ocurrencia de muscovita, siendo detectada en nueve de las muestras, seguida por la presencia de zinnwaldita, una mica litífera, en tres de los puntos muestreados. Sólo en la muestra 16, proveniente de la plataforma interior al noreste de Chiloé, se detectó la presencia de biotita y flogopita. En todos los sedimentos analizados se observó a lo menos un tipo de anfíbol, excepto en las muestras 6 y 7, obtenidas desde zona de lecho de cañón, y en la muestra 3, proveniente de la plataforma frente a Cucao. La actinolita

es el anfíbol con mayor presencia, seguida por hornblenda y cummingtonita, siendo estos dos últimos particularmente dominantes en las muestras extraídas desde la plataforma al sur del Guafo. Entre los piroxenos observados se encontró augita en la muestra 5, y diópsido en las muestras 8 y 13 (ver Figura 11), todas extraídas desde distintos puntos de la zona de Aysén.

Otros minerales detectados ampliamente fueron cordierita y birnessita. La cordierita se observó en ocho muestras, en gran parte provenientes desde zonas de plataforma interior y exterior; en las muestras 2 y 6, obtenidas desde cañones submarinos, también se detectó cordierita. La birnessita, un óxido rico en manganeso, se observó en nueve muestras, de las cuales dos se extrajeron desde la plataforma exterior (3 y 4), una desde la plataforma interior (14), una desde el talud cercano a la desembocadura del cañón de Chacao (1) y cinco se obtuvieron desde cañones submarinos (2, 6, 7, 8 y 9), incluidas aquí, todas las muestras tomadas en el cañón Simpson. De manera individual se registró presencia de illita en la muestra 3, titanita en la muestra 12, sacada de la plataforma frente a Taitao y clorita en la muestra 10, de la plataforma al noroeste del Canal Darwin.

Tabla 7. Resumen de los resultados mineralógicos de Difracción de rayos X de la fracción menor a 75 micrones para el sedimento total de cada muestra.

<i>Muestras</i>		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16
<i>Cuarzo</i>		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Feldespatos</i>	<i>Albita</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓
	<i>Andesina</i>	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
	<i>Labradorita</i>	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗
	<i>Anortita</i>	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	<i>Ortoclasa</i>	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗
	<i>Microclina</i>	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
<i>Micas</i>	<i>Muscovita</i>	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗
	<i>Biotita</i>	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓
	<i>Flogopita</i>	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓
	<i>Zinnwaldita</i>	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓
<i>Anfíboles</i>	<i>Actinolita</i>	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗
	<i>Hornblenda</i>	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
	<i>Cummingtonita</i>	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✗
	<i>Edenita</i>	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗
	<i>Pargasita</i>	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	<i>Riebeckita</i>	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗
<i>Piroxeno</i>		✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗
<i>Cordierita</i>		✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✗
<i>Titanita</i>		✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗
<i>Illita</i>		✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
<i>Birnessita</i>		✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗



File: BT_MP-13.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 79.997 ° - Step: 0.018 ° - Step time: 18.
 01-089-1487 (C) - Cordierite - Mg₂Si₅Al₄O₁₈
 Operations: Background 1.000,1.000 | Strip kAlpha2 0.500 | Import
 00-020-0481 (I) - Magnesiohornblende - (Ca,Na)₂.26(Mg,Fe,Al)₅.15(Si,Al)₈O₂₂(OH)₂
 01-086-1630 (C) - Quartz low - SiO₂
 00-041-1480 (I) - Albite, Ca-rich, ordered - (Na,Ca)Al(Si,Al)₃O₈
 00-041-1481 (I) - Anorthite, Na-rich, disordered - (Ca,Na)(Si,Al)₄O₈
 01-083-1939 (C) - Andesine - Na_{0.885}Ca_{0.347}Al_{1.46}Si_{2.54}O₈
 01-081-0487 (C) - Diopside - (Ca_{0.959}Ti_{0.041})(Mg_{0.987}Al_{0.013})(Si_{1.905}Al_{0.095}O₆)
 01-083-1047 (C) - Cordierite cuprian, syn - (Mg_{1.785}Cu_{0.215})(Al₄Si₅O₁₈)

Figura 11. Difractograma del sedimento total libre de material biogénico de la muestra 13, donde destacan picks de cuarzo, albita y diópsido.

4.2.3.2 Concentrados de minerales pesados no magnéticos

De las once muestras sometidas a separación de minerales pesados, sólo ocho arrojaron material suficiente bajo los 75 micrones para análisis de difracción de rayos X (Tabla 8). Los contenidos mineralógicos para la fracción fina de los concentrados de minerales pesados están marcados por un claro dominio de anfíboles, siendo hornblenda y cummingtonita los de mayor presencia, seguidos por actinolita, que se detectó sólo en las muestras 09, 11 y 13. La epidota se presentó en 7 de los concentrados analizados, contrastando con los resultados para sedimento total donde no fue detectada en ninguna de las muestras. Los piroxenos también se encuentran presentes ampliamente, sin embargo, no fueron detectados en las muestras 10 y 12, extraídas desde la plataforma exterior cercana al Canal Darwin. Al igual que en los análisis XRD para el sedimento total, se observó una presencia considerable de birnessita, sólo ausente en los concentrados de las muestras 3 y 13. En éstos últimos, los resultados arrojaron la presencia de koninckita, un fosfato hidratado de hierro. Otros minerales registrados en muestras particulares fueron olivino en la muestra 9, circón en la muestra 13, circonolita en la muestra 3 y ramsbeckita en la muestra 10.

Cabe destacar que minerales escasamente detectados por difracción de rayos X, como olivino, biotita y circón, fueron observados en cantidades considerables en la petrografía, lo que indica una clara relación de estos minerales con granulometrías mayores a arenas muy finas.

Tabla 8. Resumen resultados mineralógicos con difracción de rayos X para la fracción menor a 75 micrones de los concentrados de minerales pesados.

<i>Muestras</i>		<i>03</i>	<i>05</i>	<i>08</i>	<i>09</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>
	Biotita	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	Clorita	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗
<i>Anfíboles</i>	<i>Actinolita</i>	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✓
	<i>Hornblenda</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	<i>Cummingtonita</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓
	<i>Pargasita</i>	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	<i>Piroxeno</i>	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓
	<i>Epidota</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓
	<i>Olivino</i>	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗
	<i>Circón</i>	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓
	<i>Circonolita</i>	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	<i>Birnessita</i>	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗
	<i>Koninckita</i>	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓
	<i>Ramsbeckita</i>	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗
	<i>Smirnita</i>	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗
	<i>Tellurobismutita</i>	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗

De forma excepcional, en las muestras 5 y 8, extraídas desde la zona frente al sector norte del Archipiélago de los Chonos, se detectaron minerales con contenidos de telurio y bismuto. En ambos casos se detectó smirnitita, y sólo en la muestra 8, tellurobismutita (Figura 12).

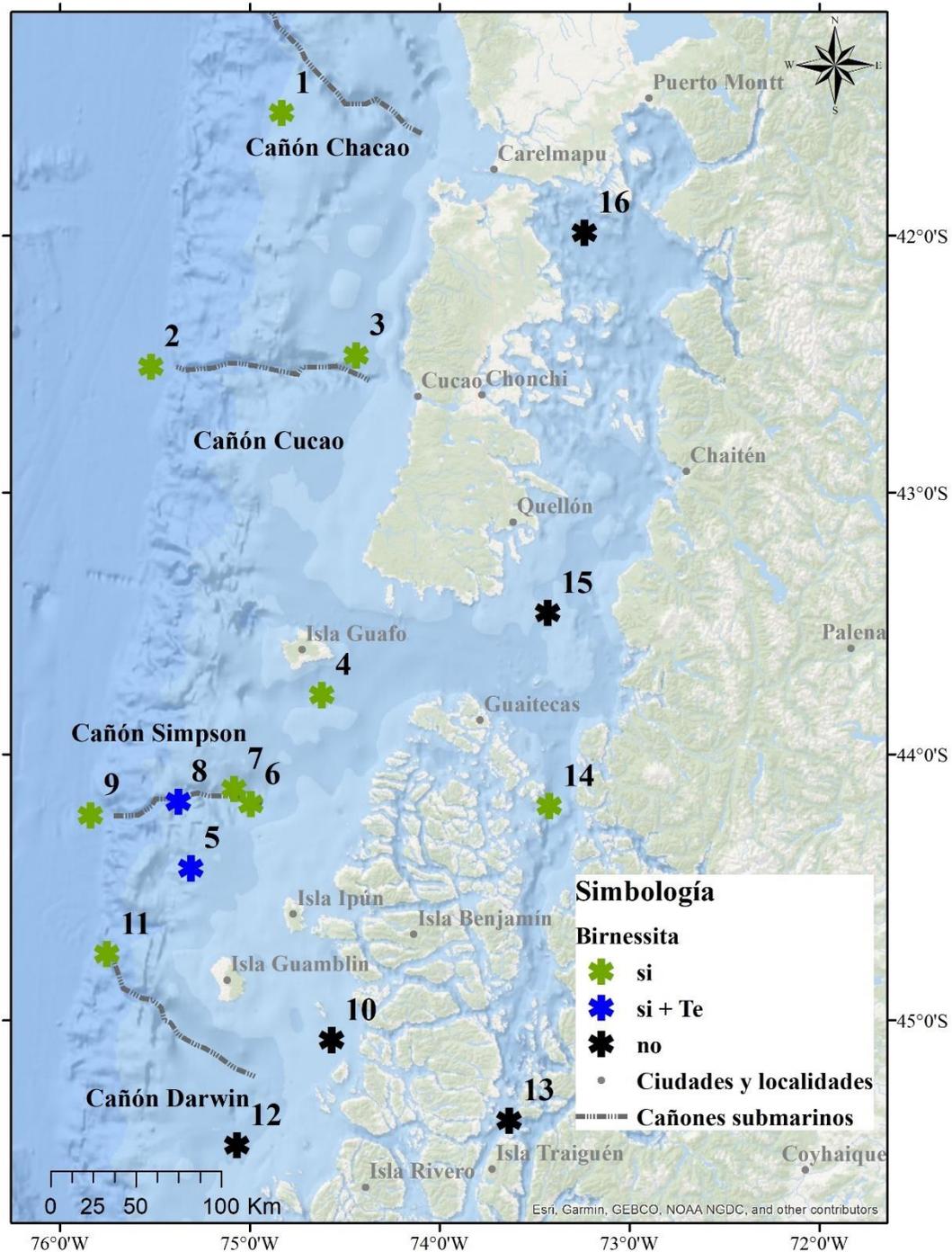


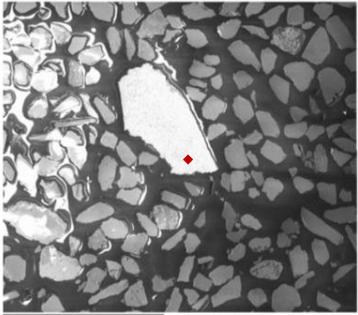
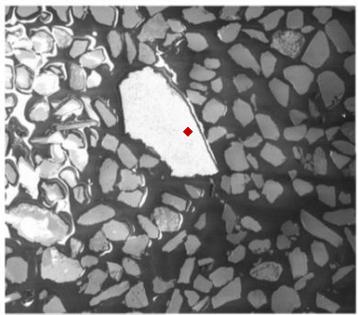
Figura 12. Mapa de distribución de birnessita y minerales con telurio. Mapa base desarrollado por Esri (2010) en base a las fuentes: Esri, GEBCO, NOAA, National Geographic, DeLorme, HERE, Geonames.org, y otras contribuciones.

4.3 Microscopía Electrónica de Barrido

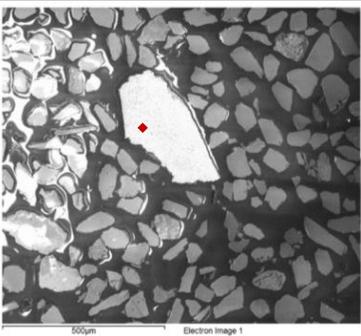
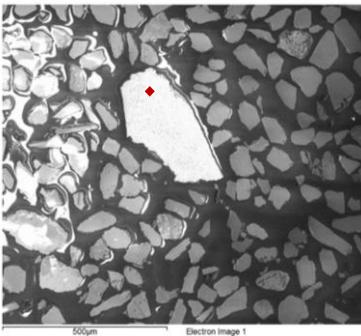
Para los minerales de posible interés económico detectados en las muestras 10 (Figura 9.a) y 5 (Figura 10), se realizaron mediciones elementales en distintos puntos dentro de los cristales. Cabe mencionar que el análisis SEM se llevó a cabo aproximadamente un mes después de la fabricación de los cortes transparentes pulidos, y del estudio por microscopía óptica (sección 3.1), por lo cual es importante considerar la posible variación de los contenidos elementales por la influencia de las condiciones ambientales.

Para el cristal de la muestra 10 se tienen los resultados expuestos en la Tabla 9, los cuales indican altos contenidos de oxígeno que promedian 47.88%. Adicionalmente, se aprecian contenidos de Cu que varían de forma notoria entre cada punto analizado, mostrando el valor más alto de 43.99% en la parte superior del grano, y disminuyendo hasta 29,62% en el área inferior. Detectados también en todos los puntos, se encuentran los elementos C y S, con porcentajes de 13.71% y 1.22% en promedio, respectivamente. Con menor presencia y restringidos a sectores particulares se detectó Zn (3.23%) en la zona media inferior, y Sn (3.94%) y Al (0.96%) en la zona media superior.

Tabla 9. Resumen de resultados elementales por análisis SEM para grano mineral de la muestra 10.

<i>Posición del análisis</i>	<i>C [%]</i>	<i>Cu [%]</i>	<i>O [%]</i>	<i>Sn [%]</i>	<i>S [%]</i>	<i>Zn [%]</i>	<i>Al [%]</i>
	15.97	29.62	52.64	0	1.77	0	0
	14.49	32.04	49.13	0	1.11	3.23	0

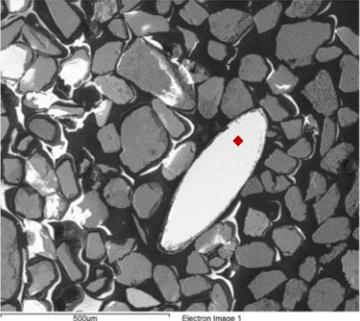
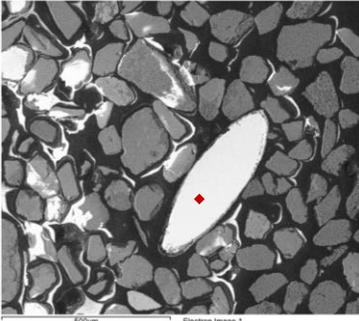
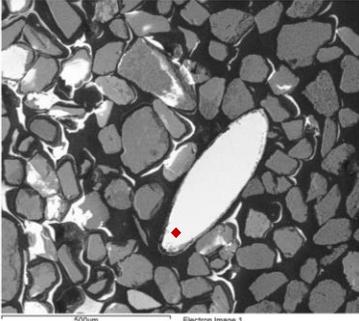
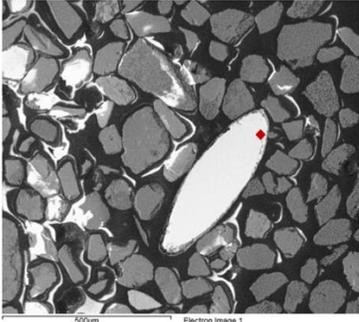
Continuación Tabla 9.

<i>Posición del análisis</i>	<i>C [%]</i>	<i>Cu [%]</i>	<i>O [%]</i>	<i>Sn [%]</i>	<i>S [%]</i>	<i>Zn [%]</i>	<i>Al [%]</i>
	12.79	34.95	46.33	3.94	1.02	0	0.96
	11.59	43.99	43.43	0	0.98	0	0

Los resultados para el cristal de la muestra 5 se exponen en la Tabla 10, en donde destacan altos contenidos de Cu de hasta 58.31% y su disminución hacia los bordes llegando a 38.2%. Además, se observan contenidos significativos de oxígeno de 35.61% en promedio, los cuales aumentan en la medida que la concentración de Cu disminuye, de igual forma sucede con el C que también aparece en todos los puntos del cristal analizado, con un porcentaje de 7.86% en promedio. Otros elementos fueron detectados hacia zonas distales del centro del grano, donde en la parte más central se detectó Mo (2.89%), S (0.89%) hacia el borde inferior, y Zn (13.61%) en el borde superior.

Las composiciones detectadas para ambos granos, no se corresponden con ningún mineral cuprífero descrito en la literatura, además las propiedades ópticas variaron al momento de realizar el análisis SEM, lo que hace suponer una posible reacción a las condiciones ambientales. En particular, el grano de la muestra 5 mostró propiedades ópticas coincidentes con cobre nativo durante los estudios microscópicos primarios, por lo cual gran parte de los contenidos de O se presumen posteriores a estas observaciones. No así el grano de la muestra 10, que mostraba indicios de oxidación en el estudio microscópico, pero que sin embargo también evidenció variaciones en sus propiedades ópticas al momento del análisis SEM, por tanto su incorporación de oxígeno por las nuevas condiciones ambientales podría ser menor.

Tabla 10. Resumen de resultados elementales por análisis SEM para grano mineral muestra 5.

<i>Posición del análisis</i>	<i>C [%]</i>	<i>Cu [%]</i>	<i>O [%]</i>	<i>Mo [%]</i>	<i>S [%]</i>	<i>Zn [%]</i>
	7.66	53.99	35.46	2.89	0	0
	7.37	58.31	34.32	0	0	0
	6.98	57.69	34.45	0	0.89	0
	9.43	38.2	38.20	0	0	13.61

4.4 Geoquímica

Los análisis químicos de sedimento total por ICP-ES/MS 41 elementos y ensayos a fuego para Au y Pt, muestran una buena reproducibilidad de los datos de laboratorio, de acuerdo con los valores para los cuatro duplicados insertados y analizados (muestras 2, 4, 9 y 13) (Tabla 11). Asimismo, el laboratorio realizó dos repeticiones para 41 elementos (muestras 2 y 12) y otras dos repeticiones para Au, Pt y pérdidas por ignición (LOI) (muestras 4 y 14), donde también se observa una buena consistencia entre los resultados. Sin embargo, de los 43 elementos medidos, ocho de ellos (Ag, Be, Bi, Cd, Sb, Se, Ta y Pt) indican concentraciones bajo el límite de detección en más del 50% de las muestras analizadas, y por lo tanto, no permiten ser usados para inferencias estadísticas.

Las pérdidas por ignición varían de 2.9% (muestra 12) a 17.1% (muestra 14), con un promedio de 10.8% para las 12 muestras en que fueron medidas. Esto indica valores relativamente altos en comparación con estudios geoquímicos en rocas, donde los valores de LOI oscilan en torno al 5% (eg., Le Moigne, 1996). Estos antecedentes concuerdan con la presencia de materia orgánica, carbonatos y sales observados preliminarmente en los sedimentos.

Tabla 11. Resultados de concentraciones geoquímicas por análisis ICP-ES/MS 41 elementos y ensayo a fuego. Laboratorios Bureau Veritas Minerals. Abreviaturas: M=muestra; D=duplicado; R=repetición.

<i>ID Muestra</i>	<i>Tipo</i>	<i>Mo</i>	<i>Cu</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>	<i>Ag</i>	<i>Ni</i>	<i>Co</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>As</i>	<i>U</i>	<i>Th</i>	<i>Sr</i>	<i>Cd</i>	<i>Sb</i>	<i>Bi</i>	<i>V</i>	<i>Ca</i>	<i>P</i>	<i>La</i>	<i>Cr</i>	<i>Mg</i>
		PPM	%	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	%	%	PPM	PPM	%							
<i>C24-MP-01-BC</i>	M	1.1	51.9	14.1	135	<0.5	30.7	18	699	7.03	17	4.1	5.7	353	<0.5	0.9	<0.5	159	5.54	0.1	13.4	79	1.78
<i>C24-MP-02-DR</i>	M	1.2	47.6	13.3	111	<0.5	29.7	17	678	6.98	18	3.4	4	350	<0.5	1	<0.5	154	5.56	0.11	13.5	79	1.76
<i>C24-MP-02-DR *</i>	D(17)	1.2	52.1	13.9	126	<0.5	42	14	662	4.87	7	2.5	5	324	<0.5	0.6	<0.5	130	4.45	0.11	14.3	75	1.7
<i>C24-MP-02-DR</i>	R	1.1	50	13.6	111	<0.5	31.6	16	693	6.97	16	3.5	4.1	351	<0.5	1.1	<0.5	157	5.58	0.11	13.4	78	1.77
<i>C24-MP-03-DR</i>	M	0.7	17.9	10.7	66	<0.5	33.5	14	669	5.56	10	1.8	6.1	269	<0.5	0.5	<0.5	151	3.73	0.09	15.5	91	1.65
<i>C24-MP-04-DR</i>	M	0.7	19.1	9.5	56	<0.5	27.5	13	691	4.2	9	1.8	4.4	331	<0.5	<0.5	<0.5	130	4.57	0.09	15.3	51	1.56
<i>C24-MP-04-DR *</i>	D(18)	0.7	21.6	9.1	71	<0.5	26.4	15	719	4.28	7	1.6	4.4	328	<0.5	<0.5	<0.5	133	4.33	0.08	16.2	55	1.54
<i>C24-MP-04-DR</i>																							
<i>C24-MP-05-DR</i>	M	<0.5	13.6	12.4	60	<0.5	18.6	13	707	5.05	6	1.2	5	320	<0.5	0.7	0.5	126	3.74	0.1	17.4	58	1.37
<i>C24-MP-06-DR</i>	M	1.5	34.5	11.5	99	<0.5	28.9	14	693	4.38	<5	2	7.3	336	<0.5	0.6	0.6	133	4.5	0.09	16.6	52	1.62
<i>C24-MP-07-DR</i>	M	1.7	44.2	12.9	99	<0.5	33.2	14	717	4.38	6	2	5.3	345	<0.5	0.5	<0.5	130	4.85	0.1	16.3	54	1.66
<i>C24-MP-08-DR</i>	M	0.8	42	12.1	90	<0.5	27.9	15	787	4.46	9	1.9	5.1	351	<0.5	<0.5	<0.5	140	4.57	0.1	17.8	48	1.7
<i>C24-MP-09-BC</i>	M	0.7	40.1	11.7	87	<0.5	27.3	14	815	4.6	<5	1.8	5.4	341	<0.5	<0.5	<0.5	138	4.27	0.08	18	50	1.7
<i>C24-MP-09-BC *</i>	D(19)	1	40.1	11.5	97	<0.5	28.1	14	823	4.84	6	1.8	5.5	357	<0.5	<0.5	<0.5	140	4.55	0.09	18.6	55	1.76
<i>C24-MP-10-DR</i>	M	0.7	29.2	10.2	62	<0.5	18.5	11	671	4.1	<5	1.2	5.4	306	<0.5	<0.5	<0.5	118	3.51	0.09	17.8	52	1.22
<i>C24-MP-11-BC</i>	M	1.1	48.5	10.6	81	<0.5	27.2	14	714	4.29	6	1.5	5.4	332	<0.5	<0.5	<0.5	127	3.31	0.09	17.6	54	1.6
<i>C24-MP-12-DR</i>	M	0.5	7.6	9.9	49	<0.5	12.6	7	507	3.12	5	1	4.7	274	<0.5	<0.5	<0.5	77	2.37	0.07	16.2	38	0.91
<i>C24-MP-12-DR</i>	R	0.6	7.7	10.2	50	<0.5	11.9	7	501	3.08	7	1.1	5.2	270	<0.5	<0.5	<0.5	74	2.34	0.07	17.1	36	0.9
<i>C24-MP-13-DR</i>	M	<0.5	18.5	10.1	52	0.6	13	12	742	5.2	8	0.8	3.5	330	<0.5	<0.5	<0.5	122	3.26	0.07	13.3	34	1.27
<i>C24-MP-13-DR *</i>	D(20)	<0.5	15.9	10.3	56	<0.5	12.7	13	775	5.4	9	1.2	5.2	328	<0.5	<0.5	<0.5	115	3.29	0.07	13.8	37	1.26
<i>C24-MP-14-DR</i>	M	2.4	39.3	11.2	138	<0.5	32.4	14	678	4.7	12	2.5	4.6	301	<0.5	<0.5	<0.5	133	3.76	0.11	14.9	54	1.69
<i>C24-MP-14-DR</i>	R																						
<i>C24-MP-15-DR</i>	M	1	25.4	9.7	73	<0.5	40.1	25	1112	6.05	7	1	3.8	574	<0.5	<0.5	<0.5	168	8.29	0.09	14.6	61	2.58
<i>C24-MP-16-DR</i>	M	1.8	36.3	8.9	117	<0.5	29.6	16	737	4.3	7	2.3	4.2	241	<0.5	<0.5	<0.5	127	2.88	0.09	13.8	53	1.61

Continuación Tabla 11.

<i>ID Muestra</i>	<i>Tipo</i>	<i>Ba</i>	<i>Ti</i>	<i>Al</i>	<i>Na</i>	<i>K</i>	<i>W</i>	<i>Zr</i>	<i>Ce</i>	<i>Sn</i>	<i>Y</i>	<i>Nb</i>	<i>Ta</i>	<i>Be</i>	<i>Sc</i>	<i>Li</i>	<i>S</i>	<i>Rb</i>	<i>Hf</i>	<i>Se</i>	<i>Au</i>	<i>Pt</i>	<i>LOI</i>
		PPM	%	%	%	%	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	%	PPM	PPM	PPM	PPB	PPB	%
<i>C24-MP-01-BC</i>	M	415	0.515	7.8	2.81	1.74	<0.5	80.6	29	1.4	20.5	5.2	<0.5	<5	21	32.6	0.2	62.1	2.5	<5	5	<3	12.9
<i>C24-MP-02-DR</i>	M	430	0.516	7.61	2.71	1.71	0.6	79.9	30	1.1	19.9	4.5	<0.5	<5	20	30	0.18	58.4	2.1	7	I.S.	I.S.	13.8
<i>C24-MP-02-DR *</i>	D(17)	475	0.484	7.59	3.2	1.31	1	64.6	30	1.3	17.9	4.4	<0.5	<5	19	37.1	0.31	47.7	1.8	<5			
<i>C24-MP-02-DR</i>	R	414	0.518	7.69	2.74	1.71	0.5	80.8	28	1.2	18	4.5	<0.5	<5	20	30.8	0.18	59.6	2.6	<5			
<i>C24-MP-03-DR</i>	M	234	0.537	7.92	2.6	1.24	0.7	66.9	35	1.4	21.5	5.7	<0.5	<5	20	27.2	0.16	45.4	2.3	<5	5	4	8
<i>C24-MP-04-DR</i>	M	258	0.456	7.91	2.89	1.08	0.6	73.4	33	1	19.4	5.1	<0.5	<5	16	22.4	0.17	36.7	1.9	<5	3	<3	7.8
<i>C24-MP-04-DR *</i>	D(18)	259	0.452	7.79	2.89	1.14	0.7	58.6	34	0.8	17.4	4.3	<0.5	<5	17	21.3	0.17	35.5	1.8	<5			
<i>C24-MP-04-DR</i>																					5	<3	
<i>C24-MP-05-DR</i>	M	253	0.456	7.6	2.72	1.29	0.5	46	35	0.6	17.4	4.8	<0.5	<5	15	15.6	0.06	38	1.4	<5	N.A.	N.A.	N.A.
<i>C24-MP-06-DR</i>	M	346	0.456	7.23	3.07	1.24	0.7	56.4	33	1.1	17.8	5.4	<0.5	<5	17	26.8	0.23	41.3	1.6	<5	N.A.	N.A.	N.A.
<i>C24-MP-07-DR</i>	M	435	0.453	7.13	3.21	1.29	0.6	57.5	33	1.1	17.7	4.7	<0.5	<5	17	28.7	0.27	45.1	1.8	<5	4	<3	16.2
<i>C24-MP-08-DR</i>	M	446	0.478	7.75	3.09	1.36	0.7	58.5	35	1.4	18.9	5.1	<0.5	<5	18	28.8	0.23	49.4	1.6	<5	5	<3	11
<i>C24-MP-09-BC</i>	M	521	0.49	7.89	3.02	1.39	0.6	62.4	38	0.9	19.8	5.3	<0.5	<5	17	29.4	0.19	47.1	1.8	<5	7	<3	9.2
<i>C24-MP-09-BC *</i>	D(19)	525	0.513	8.27	3.18	1.39	0.6	64.7	38	1.2	20.1	5.2	<0.5	<5	18	29.1	0.19	49.2	2	<5			
<i>C24-MP-10-DR</i>	M	272	0.432	7.38	2.8	1.15	0.6	42.8	36	0.7	17.2	4.7	<0.5	<5	15	19.1	0.07	37.3	1.6	<5	N.A.	N.A.	N.A.
<i>C24-MP-11-BC</i>	M	386	0.447	7.54	3.1	1.48	0.6	54.8	36	0.9	16.3	4.8	<0.5	<5	15	26.9	0.26	50.4	1.6	<5	4	<3	9.1
<i>C24-MP-12-DR</i>	M	258	0.327	6.58	2.66	1.24	<0.5	36.3	33	<0.5	13.4	4.2	<0.5	<5	11	15.8	0.06	42.6	1.1	<5	3	<3	2.9
<i>C24-MP-12-DR</i>	R	280	0.321	6.5	2.63	1.23	<0.5	38.5	33	0.7	12.4	4.3	<0.5	<5	10	18	0.06	43.2	1.1	<5			
<i>C24-MP-13-DR</i>	M	270	0.398	7.54	2.74	1.48	<0.5	44.1	28	0.5	14.1	3	<0.5	<5	14	10.7	<0.05	45.6	1.2	<5	N.A.	N.A.	N.A.
<i>C24-MP-13-DR *</i>	D(20)	263	0.398	7.54	2.75	1.44	<0.5	52	27	<0.5	13.9	3	<0.5	<5	15	10.6	<0.05	47.1	1.2	<5			
<i>C24-MP-14-DR</i>	M	248	0.458	7.06	3.25	1.26	0.7	65.9	32	1.1	17.5	4.5	<0.5	<5	17	30.7	0.45	42.5	1.6	<5	5	<3	17.1
<i>C24-MP-14-DR</i>	R																						17.3
<i>C24-MP-15-DR</i>	M	241	0.539	7.32	2.55	0.96	0.8	78.3	30	0.7	18.4	4.2	<0.5	<5	20	15.6	<0.05	29	1.9	<5	4	<3	7.2
<i>C24-MP-16-DR</i>	M	217	0.436	6.76	3.19	1.08	0.7	64.5	30	1	16.5	4.2	<0.5	<5	16	26.5	0.4	37	1.8	<5	7	<3	14.8

4.4.1 Estadística univariada

Como se observa en la Tabla 12, el valor del umbral exploratorio obtenido para cada elemento se contrastó con las abundancias promedio propuestas por Taylor (1964) para la corteza continental. En base a estos valores se evidencian anomalías positivas en los sedimentos estudiados para As, Au, Ca, Li, Na, S, V y Zn.

Tabla 12. Estadígrafos para el total de muestras captadas, estadística univariable. Las abundancias corticales corresponden a las propuestas por Taylor (1964).

	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Promedio (m)</i>	<i>Desviación estándar (σ)</i>	<i>Desviación estándar del Promedio (σ_m)</i>	<i>Valor umbral (m + 2*σ_m)</i>	<i>Abundancia cortical</i>
<i>Al [%]</i>	6.58	8.27	7.47	0.44	0.11	7.69	8.23
<i>As [ppm]</i>	2.5	17	8.1	4.12	1.0	10.1	1.8
<i>Au [ppb]</i>	3	7	4.9	1.22	0.3	5.5	4
<i>Ba [ppm]</i>	217	525	326	96.55	24.1	374	425
<i>Ca [%]</i>	2.37	8.29	4.31	1.39	0.3	5.01	4.15
<i>Ce [ppm]</i>	28	38	32.8	3.04	0.8	34.3	60
<i>Co [ppm]</i>	7	25	14.4	3.72	0.9	16.2	25
<i>Cr [ppm]</i>	34	91	57.0	14.61	3.7	64.3	100
<i>Cu [ppm]</i>	7.6	51.9	32.4	13.94	3.5	39.4	55
<i>Fe [%]</i>	3.12	7.03	4.91	1.05	0.3	5.44	5.63
<i>Hf [ppm]</i>	1.1	2.6	1.8	0.42	0.1	2.0	3
<i>K [%]</i>	0.96	1.74	1.31	0.21	0.1	1.42	2.09
<i>La [ppm]</i>	13.3	18.6	15.8	1.77	0.4	16.7	30
<i>Li [ppm]</i>	10.7	32.6	24.2	6.73	1.7	27.6	20
<i>Mg [%]</i>	0.91	2.58	1.61	0.35	0.1	1.79	2.33
<i>Mn [ppm]</i>	507	1112	728	122.13	30.5	789	950
<i>Mo [ppm]</i>	0.25	2.4	1.0	0.58	0.1	1.3	1.5
<i>Na [%]</i>	2.55	3.25	2.91	0.24	0.1	3.03	2.36
<i>Nb [ppm]</i>	3	5.7	4.7	0.64	0.2	5.0	20
<i>Ni [ppm]</i>	12.6	40.1	27.1	7.64	1.9	30.9	75
<i>P [%]</i>	0.07	0.11	0.09	0.01	0.003	0.098	0.105
<i>Pb [ppm]</i>	8.9	14.1	11.2	1.51	0.4	11.9	12.5
<i>Rb [ppm]</i>	29	62.1	44.5	8.53	2.1	48.7	90
<i>S [%]</i>	0.025	0.45	0.19	0.12	0.0	0.25	0.026
<i>Sc [ppm]</i>	11	21	16.9	2.63	0.7	18.2	22
<i>Sn [ppm]</i>	0.25	1.4	1.0	0.34	0.1	1.1	2
<i>Sr [ppm]</i>	241	574	336	71.98	18.0	372	375
<i>Th [ppm]</i>	3.5	7.3	5.0	0.95	0.2	5.5	9.6
<i>Ti [%]</i>	0.327	0.539	0.464	0.05	0.0	0.491	0.57
<i>U [ppm]</i>	0.8	4.1	1.9	0.89	0.2	2.3	2.7
<i>V [ppm]</i>	77	168	134	20.84	5.2	144	135
<i>W [ppm]</i>	0.25	0.8	0.6	0.17	0.0	0.7	1.5
<i>Y [ppm]</i>	13.4	21.5	17.8	2.13	0.5	18.9	33
<i>Zn [ppm]</i>	49	138	87	28.79	7.2	101	70
<i>Zr [ppm]</i>	36.3	80.8	60.7	13.77	3.4	67.6	165

Los elementos con anomalías positivas respecto a la corteza continental muestran ciertas similitudes en la distribución de sus concentraciones (Figura 13). De esta forma, es posible distinguir los máximos de Zn, Na y S en la muestra 14, de Li y As en la muestra 1, y de V y Ca en la muestra 15. Asimismo, los mínimos de Zn, V y Ca se observan en la muestra 12, mientras que las menores concentraciones de Li y Na se detectaron en la muestra 13 y 15 respectivamente. Estas dos últimas muestras también tienen las menores concentraciones de azufre. Exceptuando la muestra 1, extraída desde zona de talud, gran parte de las concentraciones anómalas observadas se asocian a muestras tomadas desde distintos lugares de la plataforma.

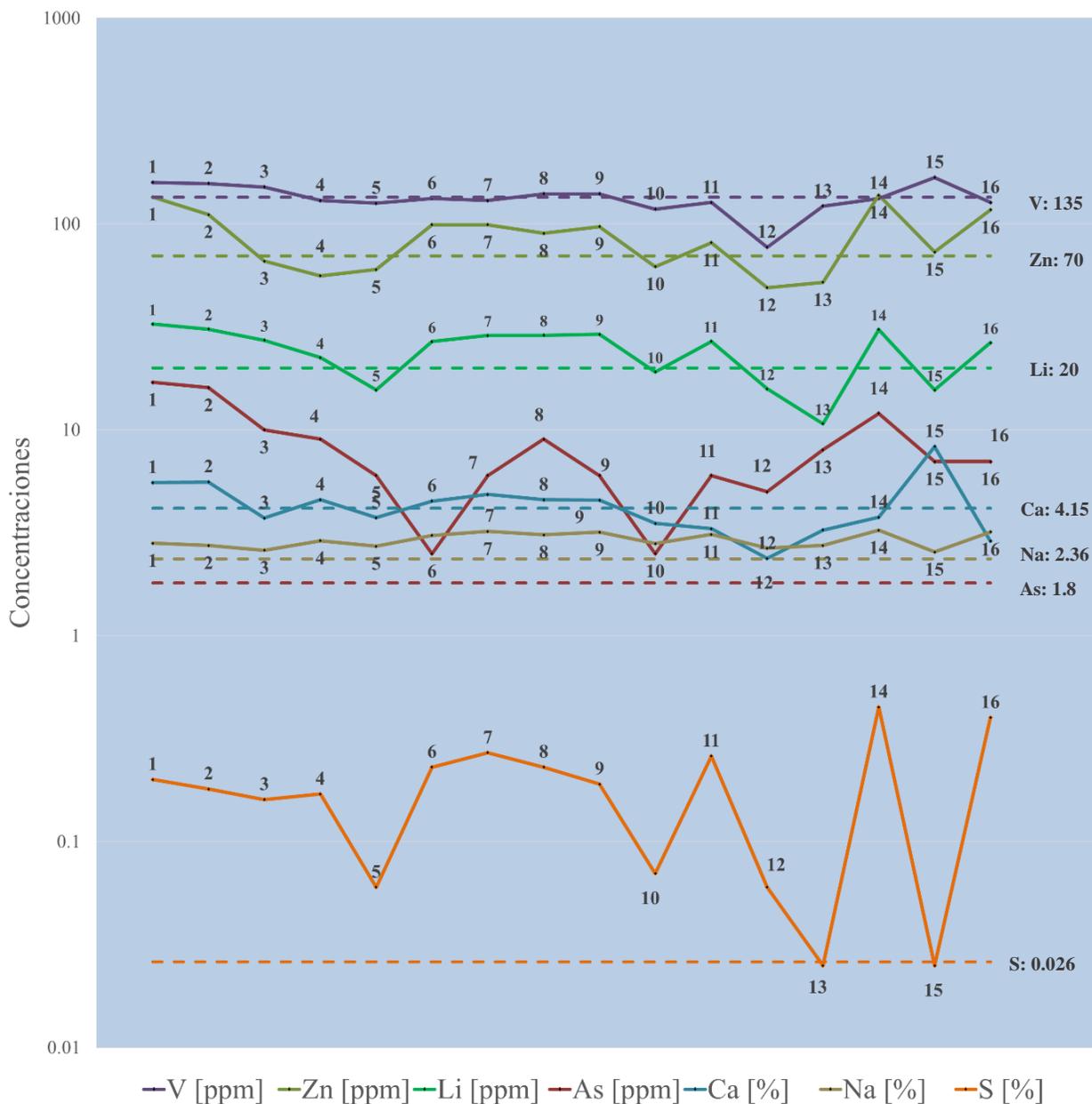


Figura 13. Concentraciones por muestra de elementos con anomalía positiva respecto a la corteza. Con líneas punteadas se grafican los valores estándares corticales de acuerdo con Taylor (1964).

Las concentraciones de oro medidas en 11 muestras, mostraron estar levemente sobre los 4 ppb de concentración cortical, oscilando entre 4 y 7 ppb, donde sólo en la muestra 12 se detectó un contenido bajo el estándar (Figura 14).

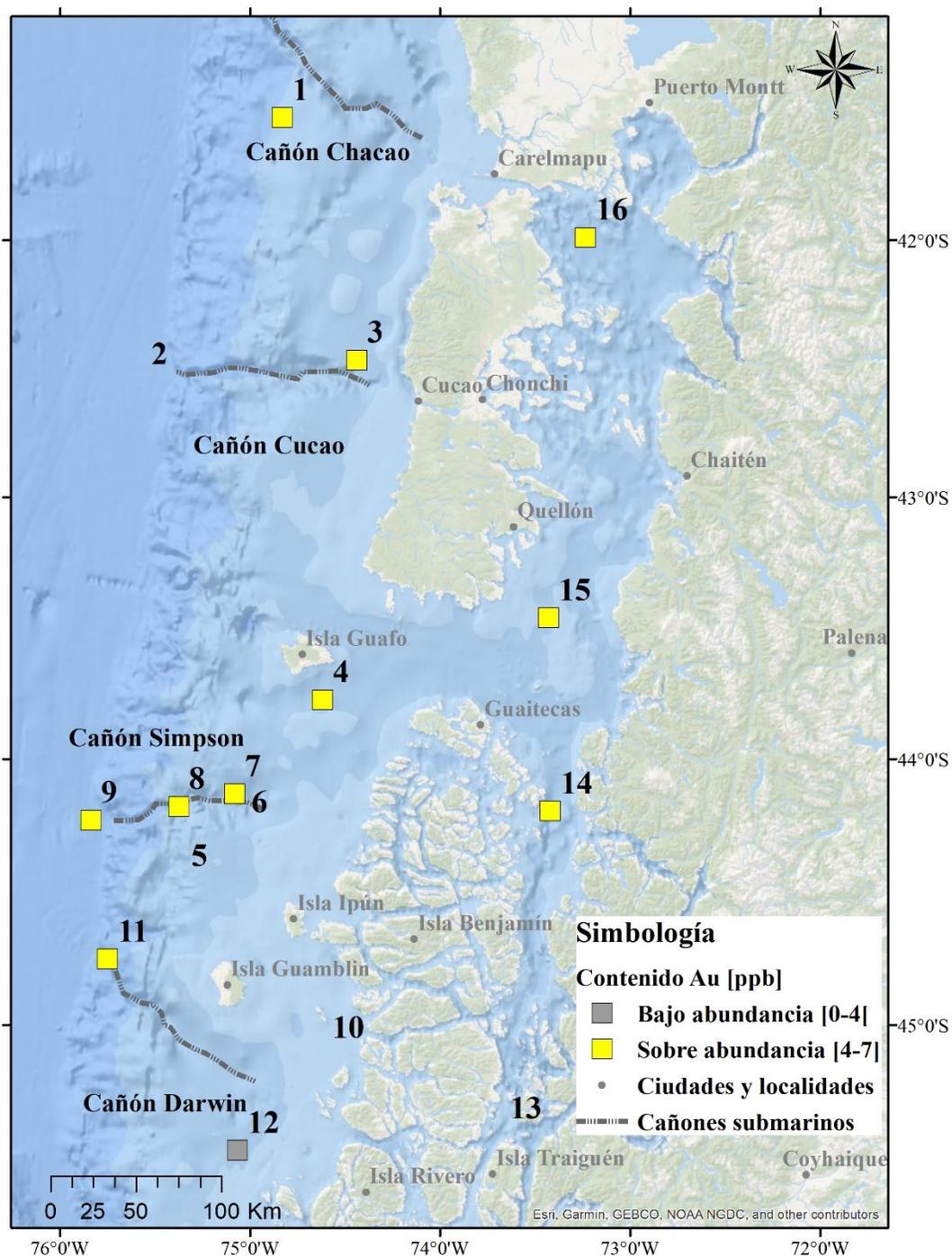


Figura 14. Mapa de distribución de contenido de oro en relación al valor estándar de la corteza. Mapa base desarrollado por Esri (2010) en base a las fuentes: Esri, GEBCO, NOAA, National Geographic, DeLorme, HERE, Geonames.org, y otras contribuciones.

Las concentraciones de arsénico de la totalidad de las muestras se encuentran sobre el valor estándar de la corteza de 1.8 ppm, donde gran parte se encuentra en el rango entre 6 y 12 ppm. Además, cabe mencionar que sólo en las muestras 6 y 10 el contenido estuvo bajo el límite de detección de 5 ppm (Figura 15).

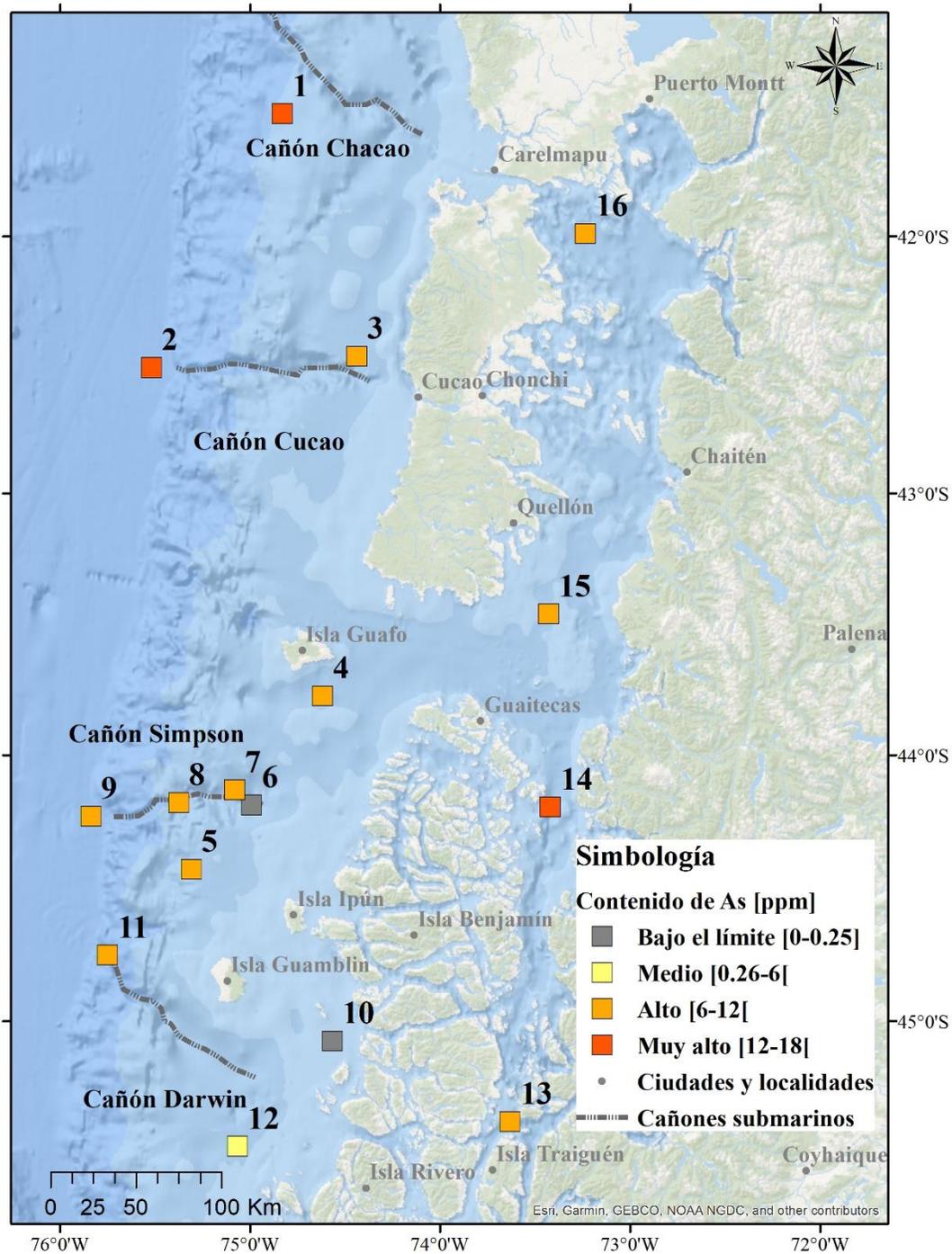


Figura 15. Mapa de distribución de las concentraciones de arsénico a partir del límite de detección. Mapa base desarrollado por Esri (2010) en base a las fuentes: Esri, GEBCO, NOAA, National Geographic, DeLorme, HERE, Geonames.org, y otras contribuciones.

Al igual que el arsénico, las concentraciones de azufre se ubican por sobre la abundancia cortical de 0.026% en la totalidad de los puntos muestreados, salvo en las muestras 13 y 14, en las cuales el azufre estuvo bajo el límite de detección. A partir de la Figura 16, es posible notar que gran parte de las muestras arrojó contenidos de entre un 0.2 y un 0.5 %.

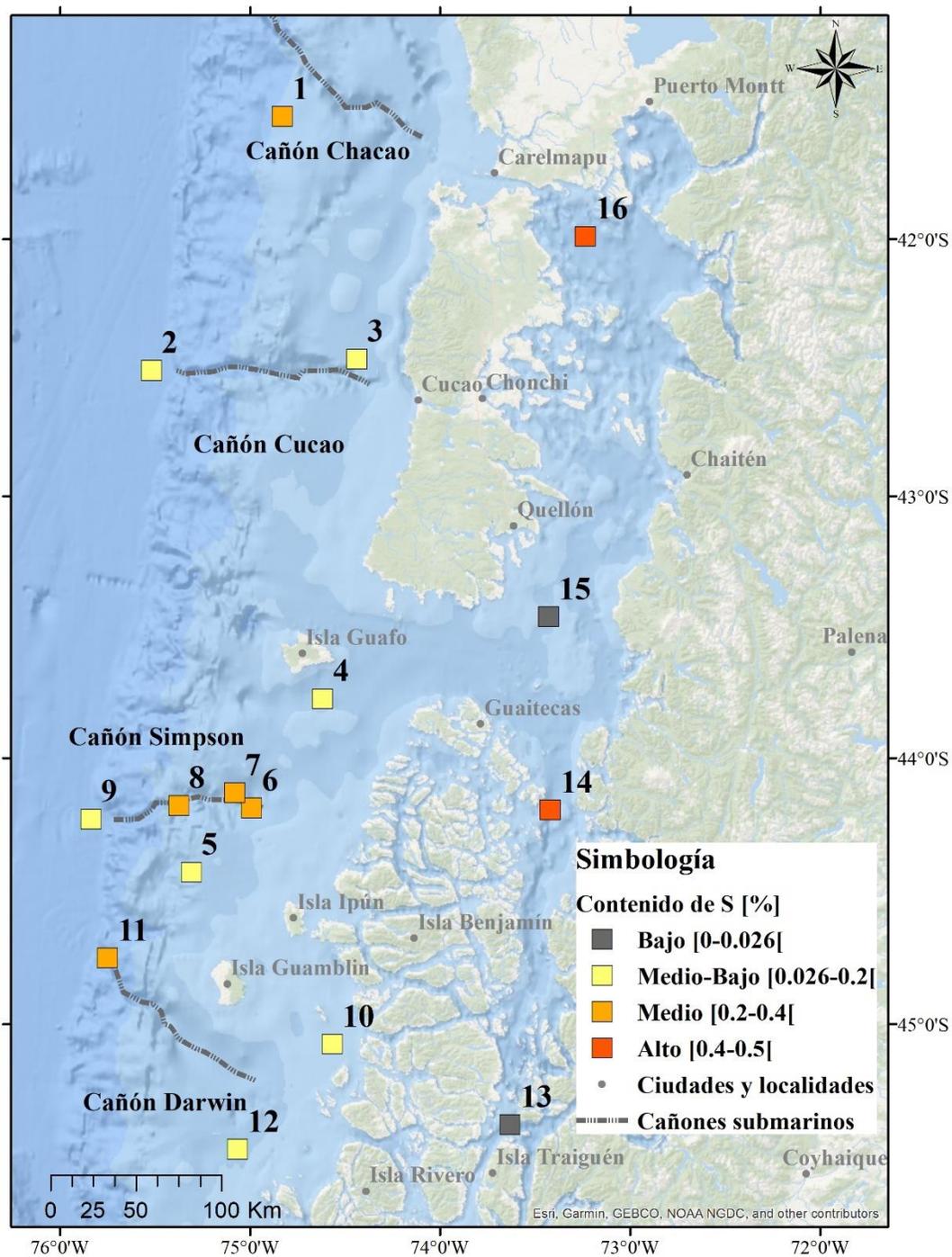


Figura 16. Mapa de distribución de las concentraciones de azufre en base a la abundancia cortical y el límite de detección. Mapa base desarrollado por Esri (2010) en base a las fuentes: Esri, GEBCO, NOAA, National Geographic, DeLorme, HERE, Geonames.org, y otras contribuciones.

A partir de los diagramas de caja de los elementos anómalos (Figura 17), se puede observar que las concentraciones de As, Au y Ca se restringen a rangos acotados en el sector medio inferior de la gráfica, con uno o dos valores atípicos ubicados en la parte superior. En tanto, para los elementos Li, Na, S y Zn, se tienen distribuciones relativamente asimétricas, de las cuales se extrae que la mayoría de las muestras tiene concentraciones altas de Li y Na, y que sólo unas pocas presentan altos contenidos de S y Zn. En el caso del vanadio, el diagrama de caja muestra que parte importante de los sedimentos contiene entre 125 y 150 ppm, no obstante, se tiene un valor atípico de 77 ppm muy por bajo la abundancia cortical.

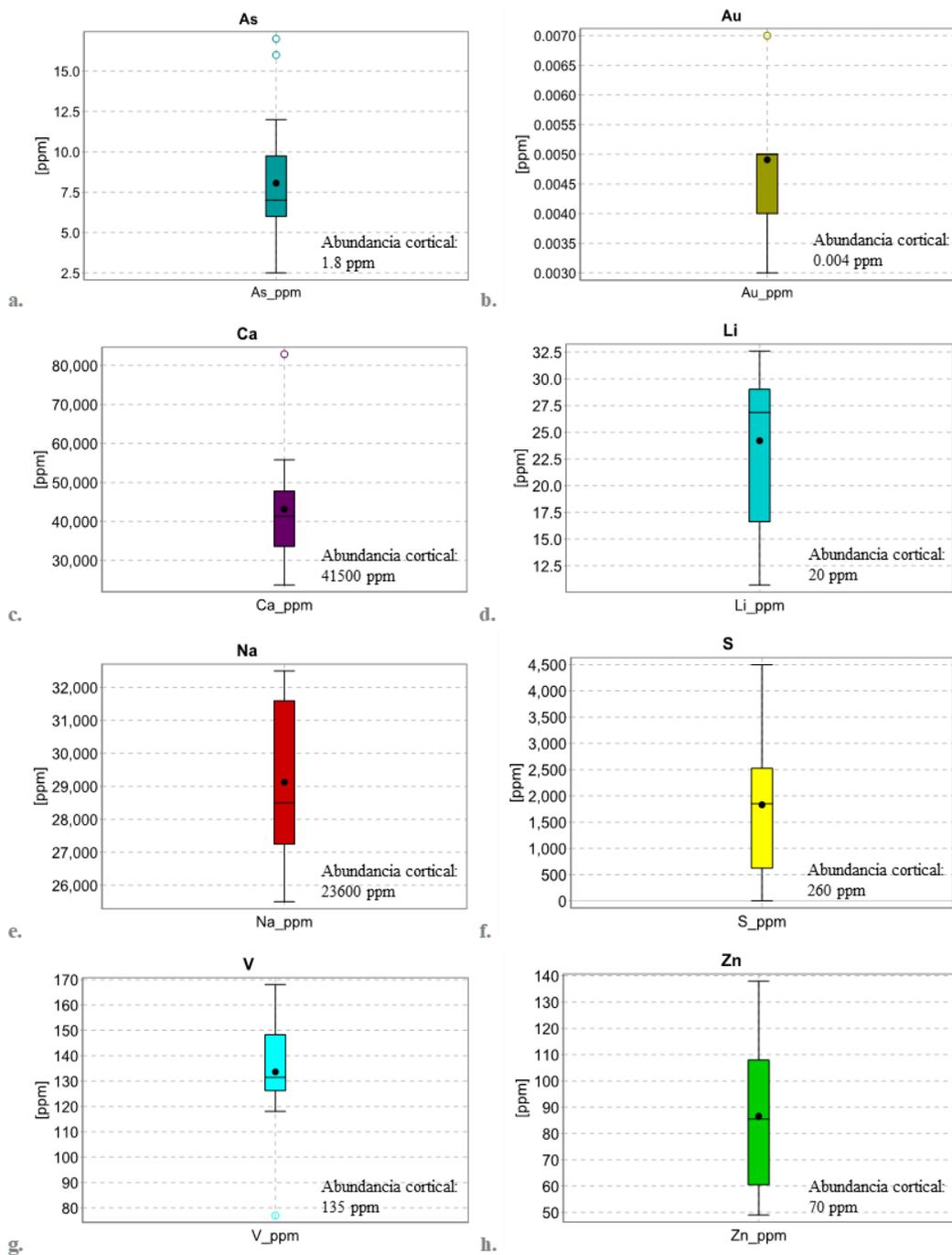


Figura 17. Diagramas de caja de los elementos con anomalías positivas respecto a la corteza

4.4.2 Estadística multivariada

La estadística multivariada se analiza mediante método de Pearson por medio de una matriz de correlación generada a partir de la transformación de los datos a logaritmo en base 10, de modo de mejorar la distribución normal (Tabla 13). En esta matriz, se muestran los valores de correlación entre las variables de acuerdo a su cercanía a una relación lineal perfecta, de esta manera, los valores cercanos a 1 indican relaciones lineales positivas, mientras que los próximos a -1 reflejan relaciones lineales negativas. Además de las concentraciones de los distintos elementos, se incluyen los contenidos granulométricos y las profundidades de extracción de las muestras.

En base a los rangos de los valores de correlación establecidos, mayores 0.5 y menores a -0.5, se tienen cuatro grupos de pares de asociaciones elementales condensados en la Tabla 14. Cabe destacar que no se encontraron correlaciones negativas con valores inferiores a -0.75 entre los elementos analizados.

Tabla 14. Correlaciones de pares de elementos, clasificadas en regulares, buenas y excelentes.

<i>Correlaciones positivas</i>
Correlaciones excelentes: [0.90 ; 1]
Ce - La, Co - Mg, Co - V, K - Rb, Mg - V, Sc - Ti, Sc - V, Ti - V.
Correlaciones muy buenas: [0.75 ; .90)
Ca - Co, Ca - Mg, Ca - Sc, Ca - Sr, Ca - Ti, Ca - V, Co - Mn, Co - Ni, Co - Sc, Co - Ti, Co - Zr, Cr - Hf, Cr - Sc, Cr - Ti, Cr - Y, Cu - Sn, Cu - Zn, Fe - Sc, Fe - Ti, Fe - V, Hf - Ni, Hf - Sc, Hf - Sn, Hf - Ti, Hf - U, Hf - V, Hf - Y, Hf - Zr, Li - Mo, Li - S, Li - Sn, Li - U, Li - Zn, Mg - Mn, Mg - Ni, Mg - Sc, Mg - Ti, Mg - Zr, Mn - Sr, Mo - Zn, Nb - Th, Nb - Y, Ni - Sc, Ni - Sn, Ni - Ti, Ni - V, Ni - Y, Ni - Zr, Sc - Sn, Sc - Y, Sc - Zr, Sn - Ti, Sn - U, Sn - V, Sn - Y, Sn - Zr, Ti - Y, Ti - Zr, U - Zn, V - Y, V - Zr.
Correlaciones buena: [0.5 ; 0.75)
Al - Fe, Al - Hf, Al - Sc, Al - Sn, Al - Ti, Al - V, Al - Y, As - Fe, As - Hf, As - La, As - U, As - Zr, Au - Hf, Au - Li, Au - Sn, Au - Ti, Au - U, Au - Y, Au - Zn, Au - Zr, Ba - Cu, Ba - K, Ba - Li, Ba - Pb, Ba - Rb, Ca - Fe, Ca - Hf, Ca - Mn, Ca - Ni, Ca - P, Ca - Y, Ca - Zr, Ce - Fe, Ce - Nb, Ce - Th, Co - Cr, Co - Cu, Co - Fe, Co - Hf, Co - P, Co - Sn, Co - Sr, Co - Y, Co - Zn, Cr - Fe, Cr - Li, Cr - Mg, Cr - Nb, Cr - Ni, Cr - P, Cr - Sn, Cr - U, Cr - V, Cr - Zr, Cu - Hf, Cu - Li, Cu - Mg, Cu - Mo, Cu - Na, Cu - Ni, Cu - P, Cu - Sc, Cu - Ti, Cu - U, Cu - V, Cu - Zr, Fe - Hf, Fe - La, Fe - Mg, Fe - Pb, Fe - Y, Fe - Zr, Hf - Li, Hf - Mg, Hf - Nb, Hf - P, Hf - Zn, K - Pb, La - Th, Li - Na, Li - Nb, Li - Ni, Li - P, Li - Rb, Li - Sc, Li - Th, Li - Ti, Li - Y, Li - Zr, Mg - Mo, Mg - P, Mg - Sn, Mg - Sr, Mg - W, Mg - Y, Mg - Zn, Mn - Ni, Mn - S, Mn - Sc, Mn - Ti, Mn - V, Mn - Zr, Mo - Na, Mo - Ni, Mo - P, Mo - Sn, Mo - U, Mo - W, Mo - Zr, Na - S, Na - Zn, Nb - Ni, Nb - P, Nb - S, Nb - Sn, Nb - U, Ni - P, Ni - U, Ni - W, Ni - Zn, P - Pb, P - Sc, P - Sn, P - Ti, P - U, P - V, P - Y, P - Zn, P - Zr, Pb - Rb, Pb - U, Rb - U, S - Sr, S - Th, S - U, Sc - U, Sc - Zn, Sn - W, Sn - Zn, Sr - V, Ti - W, U - Y, U - Zr, V - Zn, Y - Zr, Zn - Zr.
<i>Correlaciones negativas</i>
Correlaciones buenas (-0.75 ; -0.5]
As - Ce, As - La, Ce - Fe, Fe - La, K - W, Mn - S

Agrupando las correlaciones elementales de carácter muy buenas y excelentes, quedan definidas las siguientes asociaciones:

- Ca - Co - Mg - Sc - Sr - Ti - V
- Co - Mn - Ni - Sc - Ti - Zr - Co - Mg - V
- Cr - Hf - Sc - Ti - Y
- Cu - Sn - Zn
- Fe - Sc - Ti - V
- Hf - Ni - Sc - Sn - Ti - U - V - Y - Zr
- Li - Mo, - S - Sn - U - Zn
- Mg - Mn - Ni - Sc - Ti - Zr - V
- Nb - Th - Y
- Sn - Ti - U - V - Y - Zr

En base a Andrew-Jones (1968), se reconocen asociaciones a depósitos minerales, rocas y minerales de acuerdo con las correlaciones establecidas previamente (Tabla 15).

Tabla 15. Asociaciones mineralógicas, petrológicas y a depósitos minerales

<i>Correlación</i>	<i>Depósito, mineral y/ roca</i>
Zn-Cu	Skarn y epitermales
Cu-Mo	Pórfidos Cu-Mo
Ti-V-Sc	Rocas máficas
Mn-Ti-V	Epidota
Sn-Zr-Hf-U-Ti	Rocas graníticas y circón
Ti-Mn-Ni-V	Anfíbol y piroxeno
Ti-Ca-V-Sr-Co	Biotita
Ti-Al-Cr-V	Magnetita
Mn-Co-Ni-V	Óxidos de Mn

La fracción arcilla presenta correlaciones positivas muy buenas con Cu, Li, Na, S, U y Zn. De igual manera, la fracción limo arrojó correlaciones positivas muy buenas con S, Sn y U, y de carácter excelente con Li. La fracción arena en tanto muestra correlaciones en su mayoría negativas. En la Figura 18 se muestra el contraste gráfico de las concentraciones elementales con el contenido de arcilla para las correlaciones muy buenas.

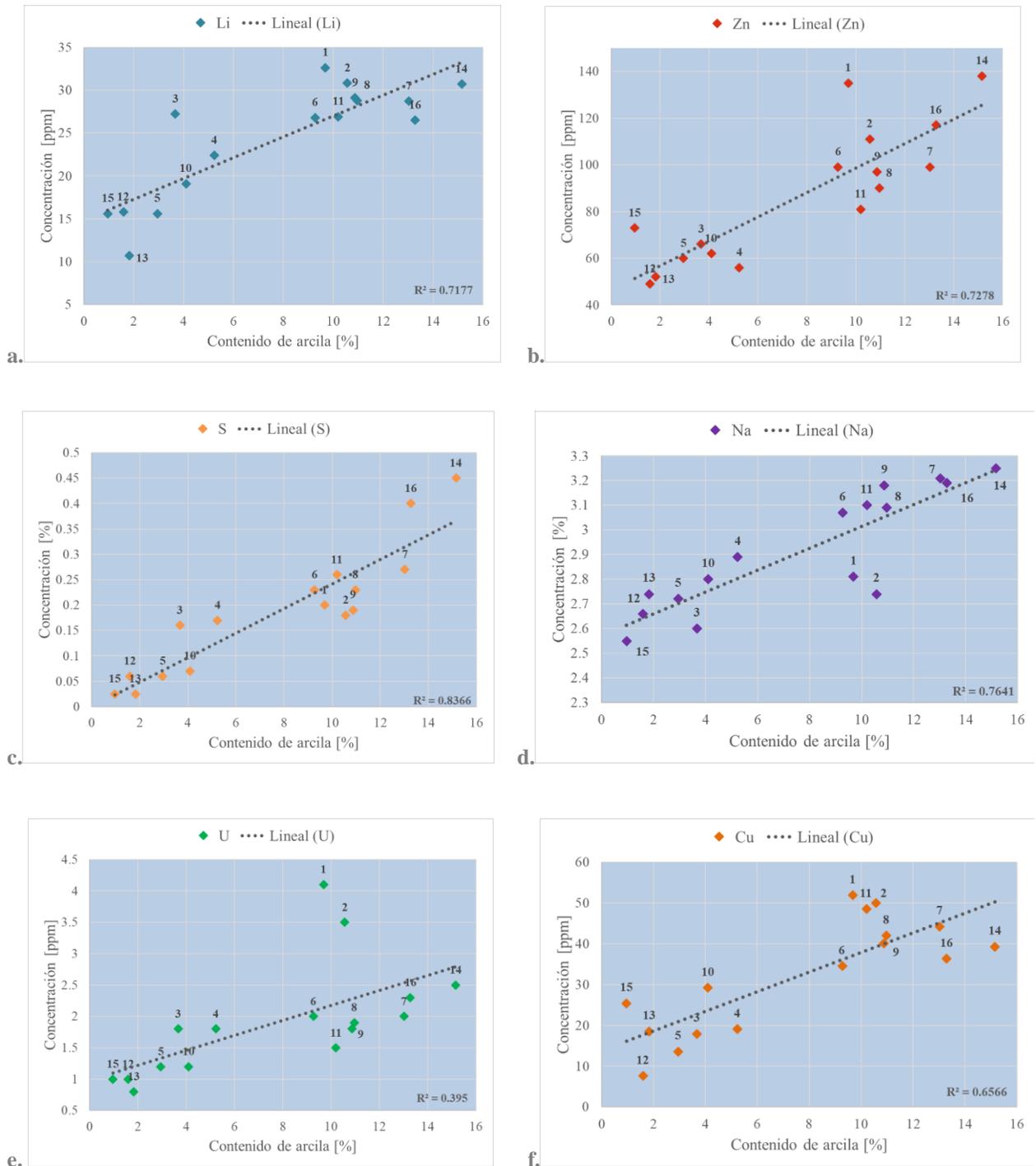


Figura 18. Gráficos de dispersión de los elementos con correlaciones de carácter muy buenas con los contenidos de arcilla.

La relación entre el contenido de arcilla y la concentración de estos elementos también deriva en que las muestras menos arcillosas, en su mayoría tomadas desde la plataforma, se encuentran empobrecidas respecto a las muestras extraídas desde cañones submarinos (exceptuando las muestras 14 y 16). La muestra 15, con el menor porcentaje de arcilla, se ve enriquecida en Cu y Zn en relación a las muestras con similar contenido arcilloso. Otra de las muestras que escapa en ocasiones de esta tendencia es la muestra 3, que con menos de un 4% de

arcilla, logra concentraciones superiores de Li y Sn. En el sector medio-superior de porcentaje de arcilla, en las muestras 1 y 2, se observan concentraciones de Cu, Li, U y Zn por sobre la norma, en tanto el Na se encuentra levemente deprimido.

La correlación entre la profundidad y las concentraciones se asemeja bastante a los resultados obtenidos para los contenidos de arcilla, pues ambas variables arrojan una correlación muy buena entre ellas. Con el objeto de analizar la relación entre la profundidad y los elementos químicos medidos en una zona acotada, se muestran los resultados para el Cañón Simpson de los elementos que ven influenciada su concentración linealmente entre la boca y la desembocadura del cañón Figura 19.

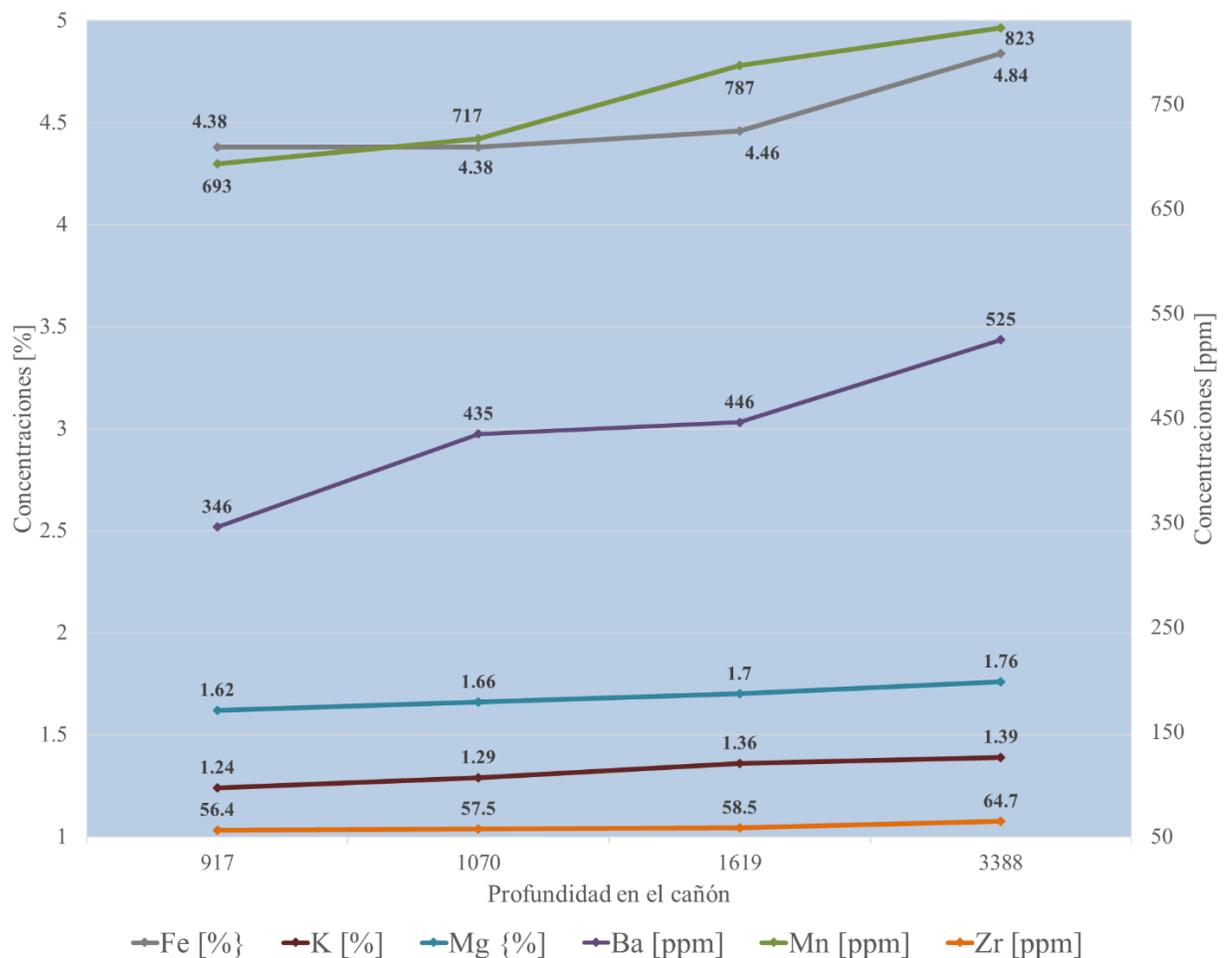


Figura 19. Concentraciones crecientes en el Cañón Simpson, frente a la Península de las Guaitecas

Resultados detallados de la composición geoquímica de las muestras del Cañón Simpson (muestras 6, 7, 8 y 9), revelan un aumento en las concentraciones de Mn, Fe, Ba, Mg y Zr a medida que se acrecientan las profundidades. Dentro de las mayores variaciones destaca el Ba, que aumenta su concentración en un 52%, seguido por el Mn con un alza del 19% y el Zr con un 15%. Más atrás, los niveles de K, Fe y Mg muestran aumentos de 12%, 11% y 9% de manera respectiva. También

es posible observar que los mayores cambios en las concentraciones no siempre se condicen con grandes variaciones en la profundidad, en particular en el Ba el mayor aumento se produce entre las muestras 6 y 7 que difieren en poco más de 50 m de profundidad. En tanto, la diferencia entre las muestras 7 y 8 alcanza los 549 m, y es este tramo donde se producen las mayores alzas de K y Mn. En el extremo más profundo del cañón, entre las muestras 8 y 9, se produce un desnivel que bordea los 1770 m, y en el cual las concentraciones de Fe, Mg y Zr sufren los mayores aumentos.

Con la finalidad de reducir el número de variables a estudiar se realizó un análisis de factores, por medio del cual se generó un nuevo subconjunto de variables menores a las ingresadas. En primera instancia el análisis se realizó sólo con las variables que arrojaron anomalías positivas respecto a las abundancias corticales.

Para el análisis de factores se utilizó el índice KMO (Kaiser-Meyer-Olkin), que valoriza la pertinencia del análisis factorial. Si $KMO \geq 0.9$ la prueba es muy buena; notable si $KMO \geq 0.8$; mediano si $KMO \geq 0.7$; bajo si $KMO \geq 0.6$; y muy bajo para $KMO < 0.5$.

Al ingresar los ocho elementos con anomalías positivas, se obtuvo un KMO de 0.364 (Tabla 16), esto implica que una o más variables ingresadas no demuestra una correlación significativa con el resto, por lo tanto, el análisis no es viable.

Tabla 16. Prueba de KMO y Bartlett para As, Au, Ca, Li, Na, S, V y Zn. Abreviaturas: gl=grados de libertad; Sig.=significación o nivel crítico.

<i>Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo</i>		.364
<i>Prueba de esfericidad de Bartlett</i>	Aprox. Chi-cuadrado	66.242
	gl	28
	Sig.	.000

Al eliminar los elementos As y Au, con comunalidades deficientes, se logra aumentar el índice KMO a 0,632 (Tabla 17), que junto con una esfericidad de Bartlett de significación igual 0 indica una aplicación factorial pertinente.

Tabla 17. Prueba de KMO y esfericidad de Bartlett para los elementos Ca, Li, Na, S, V y Zn. Abreviaturas: gl=grados de libertad; Sig.=significación o nivel crítico.

<i>Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo</i>		.632
<i>Prueba de esfericidad de Bartlett</i>	Aprox. Chi-cuadrado	64.320
	gl	15
	Sig.	.000

En la Tabla 18 se observan comunalidades sobre 0.6, esto implica que cualquier método de extracción utilizado para obtener los factores comunes conduciría a los mismos resultados. En este caso se usó el método de componentes principales.

Tabla 18. Comunalidades a partir del análisis factorial de elementos anómalos.

<i>Comunalidades</i>		
	<i>Inicial</i>	<i>Extracción</i>
<i>Ca</i>	1.000	.892
<i>Li</i>	1.000	.919
<i>Na</i>	1.000	.684
<i>S</i>	1.000	.804
<i>V</i>	1.000	.907
<i>Zn</i>	1.000	.838

Según el criterio de sedimentación se determinó el número de factores de acuerdo a la cantidad de componentes que superan un autovalor igual a 1. En base al gráfico de sedimentación (Figura 20) se tienen dos factores antes de la inflexión.

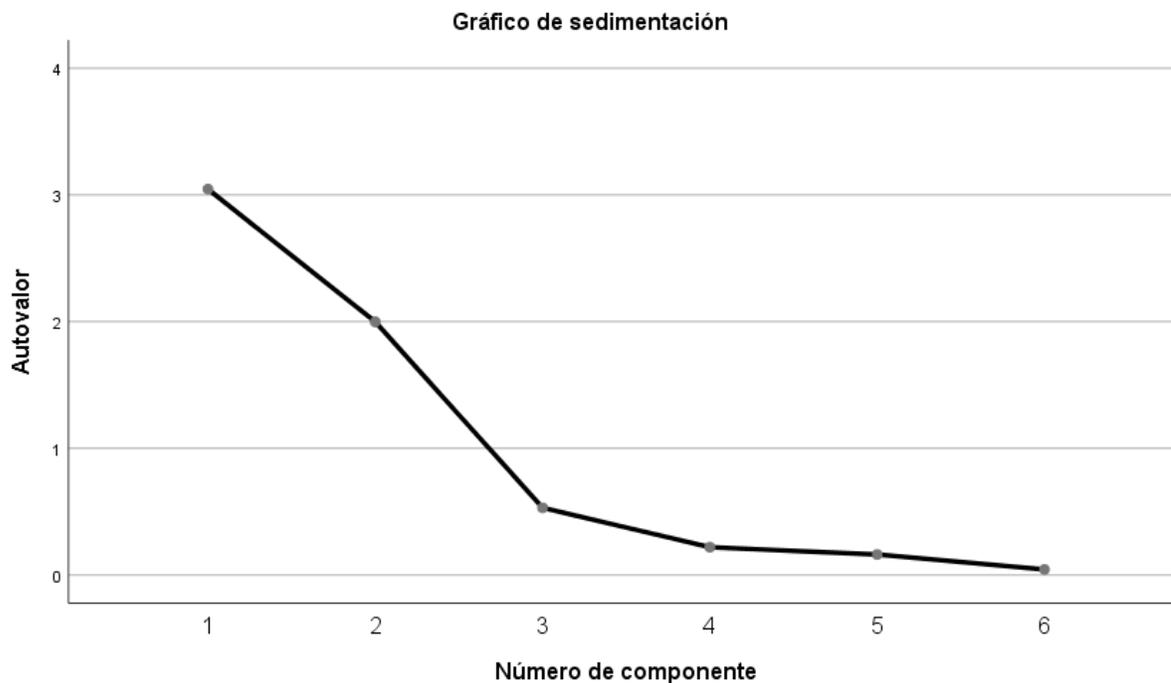


Figura 20. Gráfico de sedimentación para la determinación de factores

La Tabla 19 muestra la varianza correspondiente a cada factor, y el total acumulado, posteriores a la rotación Varimax, de donde se observa que a partir de los 6 elementos ingresados, la extracción generó 2 factores capaces de explicar el 84.062% de la varianza acumulada.

Tabla 19. Varianza explicada por factor y porcentaje acumulado para cada uno.

<i>Varianza total explicada</i>									
<i>Autovalores iniciales</i>				<i>Sumas de cargas al cuadrado de la extracción</i>			<i>Sumas de cargas al cuadrado de la rotación</i>		
Componente	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	3.046	50.762	50.762	3.046	50.762	50.762	2.849	47.479	47.479
2	1.998	33.300	84.062	1.998	33.300	84.062	2.195	36.583	84.062
3	.531	8.844	92.906						
4	.220	3.659	96.564						
5	.162	2.702	99.266						
6	.044	.734	100.000						

Las cargas factoriales mayores 0.5 determinan las variables considerables para la constitución de los factores. Para esto se considera la matriz de componentes rotados (Tabla 20), dando lugar a:

- Factor 1: Li, Na, S y Zn.
- Factor 2: Ca y V.

Tabla 20. Matriz de componentes rotados a partir de 2 componentes.

<i>Componente</i>		
	1	2
Ca	-.092	.940
Li	.900	.330
Na	.821	-.102
S	.864	-.241
V	.118	.945
Zn	.773	.491

5. DISCUSIONES

La disparidad granulométrica entre las muestras de la plataforma interior puede ser explicada en base a las diferencias de profundidad, que bordean los 200 m, y también por la complejidad de la circulación horizontal de las masas de agua en los canales interiores (Sievers & Silva, 2006).

La difracción de rayos X permitió detectar birnessita, un óxido rico en Mn, y minerales con telurio y bismuto, tanto en las muestras totales como en los concentrados de minerales pesados. La birnessita es uno de los principales formadores de nódulos polimetálicos, los cuales han sido reconocidos como un recurso marino estratégico debido a sus contenidos en metales como Co, Ni, Cu y tierras raras (Borchert, 1980; Morgan, 2000). En el área de estudio se han identificado ocurrencias de nódulos de Fe-Mn (Rosato et al., 1975; Valenzuela et al., 1984; García et al., 2020). Sin embargo, en este estudio no se detectaron nódulos de manganeso. Esto puede ser explicado por las profundidades presentes, que son menores a las requeridas para su formación, estimadas entre 3500 a 6500 m (Hein et al., 2013), así como también, las condiciones redox medidas, que no se conciben con el ambiente moderadamente oxidante propuesto por Banakar et al. (1997) para el desarrollo de nódulos de óxidos de manganeso.

También por difracción se detectaron minerales como smirnitita y tellurobismutita. El telurio ha sido vinculado a depósitos de costras y nódulos de Fe-Mn, estimando sus contenidos, para la zona de costras del Pacífico central, en más de 10 veces el de la reserva base terrestre (Hein et al., 2013). La formación de estos depósitos depende en gran medida de una baja tasa sedimentación, menor a 10 cm/ka (Hein et al., 2013), pues se sabe que tasas altas inhiben el crecimiento de los nódulos y costras (Cronan, 2010). Por otra parte, se ha propuesto que las glaciaciones pleistocenas fueron fundamentales para generar el crecimiento de nódulos de Fe-Mn en el suroeste del Pacífico y en la cuenca de Perú (Glasby et al., 1982), puesto que durante dicho período, las altas velocidades de las corrientes de fondo permitieron la erosión suficiente para la permanencia en superficie de los nódulos. Adicionalmente, el avance glacial propició el transporte de nutrientes hacia las profundidades desde la plataforma expuesta que estaba siendo erodada, a través de los cañones submarinos. Es este aumento de materia orgánica, el que impacta en la disponibilidad de oxígeno en las zonas abisales generando un ambiente levemente oxidante (Tsandev et al., 2010).

Las morfología de los granos cupríferos, además de la disponibilidad del mineral en el área continental, hacen suponer su transporte desde zonas enriquecidas en el continente, que al someterse a las condiciones oxidantes de las regiones costeras derivan en minerales oxidados de cobre. Una zona probable de su proveniencia son la Formación Divisadero y el Grupo Coyhaique, que han arrojado enriquecimientos en Cu de hasta 0.6% en promedio (Palacios et al., 1994). Por otro lado, el grano no oxidado de la muestra 5 podría indicar que aunque debió haber pasado por una zona oxidante, el transporte fue rápido o bien el camino recorrido fue en gran medida reductor,

propiciado, por ejemplo, por altos contenidos de materia orgánica (Libes, 1992; Brown et al., 1994).

La formación de piritas framboidales ha sido relacionada a procesos de reducción bacteriana de sulfatos y generación de carbonatos, mediante la oxidación anaeróbica del metano (Peckman & Thiel, 2004; Mazzini et al., 2005). Estas reacciones generan sulfuro de hidrógeno que frente a la presencia de Fe^{2+} puede reaccionar para formar pirita. En la zona de estudio se han detectado lugares con presencia de hidratos de metano en el punto triple frente a Taitao (Froelich et al., 1995), y por reflexiones sísmicas frente a Chiloé Insular (Vargas-Cordero et al., 2016) y frente al archipiélago de Los Chonos en zonas profundas, sobre los 1000 m (Vargas-Cordero et al., 2010). Los hidratos de metano han sido señalados como almacenadores del metano en los lugares donde se producen las emisiones (Thomas et al., 2009), típicamente reflejadas como volcanes de fango en zonas de subducción, donde están en general asociados a prismas de acreción (Merinero et al., 2010). Tanto el contexto tectónico, como los lugares de extracción de las muestras concuerdan con el ambiente metanógeno sugerido en la literatura, sin embargo, no se puede corroborar la mineralogía carbonatada que acompaña la formación de las piritas framboidales, compuesta de aragonito, calcita y dolomita (Díaz del Río et al., 2003). Esto debido a que la metodología utilizada para el análisis del sedimento total contempló la eliminación del material carbonatado, y también durante el proceso de separación de minerales pesados, la poca densidad de los carbonatos derivó en su descarte.

Los análisis geoquímicos arrojaron anomalías positivas respecto a las concentraciones corticales para Zn, V, Li, As, Au, Ca, Na y S. Estas anomalías concuerdan en cierta medida con las mencionadas por Ordoñez & Crignola (2003) para esquistos pelíticos en la Isla de Chiloé, donde las zonas anómalas involucran Au, As, Co, Cu, Cr, Ni y Zn. El análisis factorial junto con las correlaciones de Pearson se corresponden con lo observado tanto por difracción de rayos X como por microscopía óptica, indicando un claro dominio de los complejos metamórficos como área fuente. Adicionalmente, cabe mencionar que el análisis factorial en este estudio no pudo ser aplicado sobre la totalidad de las variables, pues se carece de muestras suficientes. De acuerdo a lo señalado en la literatura, la relación entre el número de variables (p) y el número de muestras (n) debe seguir la relación $n > p^2 + 3p + 1$ (Le Maitre, 1982), las relaciones $n > p^2$, $n > 9p$, $n > 8p$ descritas por Reimann et al. (2002), o bien $n > 3p$ (Reimann et al., 2008).

Ninguno de los análisis realizados dio indicios de presencia de oro detrítico, que pudiese validar la hipótesis de la continuidad de los placeres auríferos continentales hacia el mar, aunque no fue posible coleccionar muestras en la boca de los cañones submarinos. En la parte central e inferior-distal de los cañones, no se detectó anomalías de minerales pesados. Esto hace cuestionar la efectividad de los cañones submarinos como agentes efectivos del transporte de material detrítico grueso, sobre 75 micrones, hacia las profundidades, lo que se sustenta además en las granulometrías tipo limo y limo arenoso, observadas en las muestras de las desembocaduras de los cañones. Estudios recientes sobre el transporte de flujos de turbidez del Cañón submarino de Monterrey en California (USA), estiman que éstos son capaces de movilizar objetos de hasta 800 kg a velocidades

superiores a 4 m/s, y adicionalmente sugieren que estos eventos son recurrentes a escala geológica con frecuencias anuales y no requieren de grandes perturbaciones como tormentas o sismicidad, sino que basta con pequeñas desestabilizaciones en el lecho del cañón para desencadenarlos (Paull et al., 2018). Alternativamente, se tiene antecedentes de que la mayor actividad transportadora de sedimentos en los cañones se produce durante etapas de disminución del nivel del mar, en períodos glaciares, donde los cañones submarinos se conectan directamente con las redes de drenaje continentales y logran transportar material terrígeno eficazmente hacia zonas profundas (Tsandev et. al, 2010). Si se consideran lugares donde efectivamente los placeres auríferos continentales se replican en el mar, como en el norte del Mar de Bering, donde se tiene una cuenca glaciogénica de escasos 30 m de profundidad promedio, y sin presencia de cañones submarinos, las concentraciones significativas de oro se restringen dentro de los primeros 2 m de la columna sedimentaria y a 5 km de la costa, a partir de la cual el oro detrítico transportado disminuye considerablemente su tamaño y concentración (Nelson & Hopkins, 1972).

6. CONCLUSIONES

En este estudio se analizaron mineralógica y geoquímicamente 16 muestras de sedimentos marinos superficiales captadas en el área de Chiloé-Taitao, desde zonas de plataforma exterior e interior, cañones submarinos y talud, entre 83 m y 3388 m de profundidad.

La clasificación textural muestra un claro dominio de los fangos arenosos, mayoritariamente distribuidos en zonas de cañones submarinos. Asimismo, los análisis granulométricos destacan al limo como principal constituyente, seguido de manera subordinada por arena que, si bien es ampliamente dominante en las muestras tomadas desde la plataforma, no logra imperar mayormente sobre los fangos. Sólo en dos muestras se observa un porcentaje de arena considerable, por sobre el 90%, difiriendo sustancialmente de las otras dos de la plataforma interior, que concentran los mayores contenidos de arcilla. La morfología del fondo y las corrientes marinas pueden dar lugar a ambientes donde el sedimento fino sea imperante a menores profundidades.

El estudio de microscopía óptica indicó un predominio de minerales como cuarzo y plagioclasa, seguidos de cantidades considerables de biotita (afectada en distintos grados por clorita), actinolita, piroxeno, epidota y olivino, este último particularmente ligado a muestras someras de plataforma interior. Fragmentos líticos volcánicos fueron ampliamente detectados, y son predominantes en muestras cercanas al continente, disminuyendo su presencia y tamaño con la lejanía a la costa. Estos antecedentes hacen suponer la influencia del volcanismo reciente en los sedimentos, y también del basamento metamórfico. En la misma línea, la ausencia de fragmentos intrusivos sugiere una menor a nula influencia del Batolito Norpatagónico, condicionada probablemente por su lejanía geográfica. Concordante con la microscopía óptica, la mineralogía menor a 75 micrones, analizada mediante difracción de rayos X, arrojó amplia presencia de cuarzo y plagioclasa, en tanto los feldespatos potásicos fueron detectados en menor medida y principalmente en zonas de plataforma exterior. Los minerales pesados, con mayor presencia en los fangos, fueron hornblenda, cummingtonita y actinolita, seguidos por epidota y piroxeno. La nula detección de minerales como olivino y biotita en la fracción fina supone una dependencia entre estos minerales y la granulometría superior a arena muy fina. Por otro lado, minerales como micas blancas y cordierita solo fueron detectados en la fracción fina.

Mediante difracción de rayos X se pudo detectar birnessita y minerales con telurio y bismuto, en muestras particularmente de cañones submarinos. Estos minerales son constituyentes importantes de nódulos polimetálicos, y se han reportado ocurrencias de ellos en el área de estudio. Aunque en el área de estudio se carece de condiciones para la formación de nódulos, como profundidades abisales y potencial redox moderadamente oxidante, el ambiente levemente oxidante propiciado por las glaciaciones pleistocenas y su influencia en el desarrollo de nódulos en

otras partes del Pacífico, permiten no descartar la ocurrencia de estas concreciones. Por lo tanto, se sugiere explorar en zonas más profundas del área de estudio y/o hacia el oeste de ella.

Por estudio microscópico, en la muestra 5, extraída en la plataforma exterior a 42 km de la Isla Ipún, se observó un grano ovalado de cobre nativo de tamaño arena media, con alto grado de redondeamiento, que indica un porcentaje significativo de retrabajo y transporte. El grano se presenta no oxidado y las condiciones redox son reductoras (-31.03 mV). Asimismo, dos muestras arrojaron la presencia de minerales con contenidos de Cu de hasta 43.99%. En estos casos los clastos minerales observados denotan formas angulosas y con bordes de reacción, y también una diferencia considerable de tamaño entre ambos. La muestra 10, con 42.67 mV de potencial redox, exhibe porcentajes de oxígeno en el mineral en torno al 50%. Cabe mencionar que estos minerales cupríferos no se ven reflejados mayormente en los datos geoquímicos, salvo en la muestra 11, que con 48.5 ppm de Cu es la única que supera el valor estándar cortical.

La mineralogía de mena detectada corresponde a Cu nativo con contenidos variables de oxígeno, donde la presencia de este último indica una relación directa con las condiciones redox del sitio muestreado, y también del camino recorrido por el sedimento. La morfología de los minerales observados supone una proveniencia continental que podría estar ligada a los yacimientos cupríferos de la Franja PCI.

Por medio de microscopía óptica se mostró la ocurrencia de sulfuros botroidales, correspondientes a framboides de pirita relleno de cavidades, en particular de organismos biogénicos de material calcáreo. Estas piritas se detectaron en todas las muestras tomadas a más de 1000 m de profundidad, tanto de zonas de cañones como de talud, y excepcionalmente en dos muestras de plataforma exterior, aunque en cantidades menores y con framboides menos definidos. De acuerdo a sus procesos formacionales, estas piritas podrían estar relacionadas a la presencia de hidratos de metano.

Los elementos con anomalías positivas respecto a los estándares corticales están en gran parte asociados a muestras de la plataforma interior, como las muestras 14, 15 y 16, no obstante, las mayores concentraciones de As se limitan a las muestras 1 y 2, extraídas desde zonas alejadas de la costa frente a Cucao. De igual forma en los resultados geoquímicos se ratifica la presencia e influencia de minerales como circón, óxidos de manganeso y magnetita, así como también se permite asociar la fuente a las franjas metalogénicas continentales, con depósitos tipo pórfidos Cu-Mo, epitermales y skarns.

No se encontró anomalías de oro detrítico, aunque no se pudo tomar muestras submarinas cercanas a los placeres de playa, distando todas las muestras a más de 20 km de la posible fuente. En cuanto a la prolongación de los placeres auríferos continentales hacia el fondo marino, no se puede descartar su existencia en la boca de los cañones, pues no fueron muestreadas. Además, teniendo en cuenta la relación temporal entre las glaciaciones pleistocenas y los placeres auríferos

de playa, es posible considerar la posibilidad de que se haya producido movilidad del oro detrítico a lo largo de los cañones durante los periodos glaciares, y que ya no se encuentre disponible en las partes superficiales producto de la acción de las corrientes de turbidez. Al considerar lugares como el norte del Mar de Bering, se plantea no sólo la probabilidad de que el oro detrítico de la zona de estudio esté acotado a zonas cercanas a la costa, sino también deja en evidencia la necesidad de un muestreo más incisivo en la vertical.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, L., Hervé F. & Godoy, E., 1972. Distribution of metamorphic facies in Chile: *Krystallinikum*, 9, 7-19, Praga.
- Andrews-Jones, D.A., 1968. The application of geochemical techniques to mineral exploration: *Colorado School Mines Mineral Industries Bull.*, v. 11, no. 6, p. 1-31.
- Antinao, J.L.; Duhart, P., Clayton, J., Elgueta, S. & McDonough, M. 2000b. Área de Ancud-Maullín, Región de Los Lagos. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos, No.17, 1 mapa escala 1: 100.000.
- Arenas, M., Duhart, P. 2003. Área Castro-Dalcahue, Región de Los Lagos. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos, No.79, 1 mapa escala 1: 100.000.
- Banakar, V.K., Pattan, J.N. & Mudholkar, A.V. 1997. Paleooceanographic conditions during the formation of a ferromanganese crust from the Afanasiy–Nikitin seamount, North Central Indian Ocean: geochemical evidence: *Marine Geology*, 136, 299–315.
- Bobenrieth, L., Díaz, F., Davidson, J. & Portigliati, C., 1983. Complemento Mapa Metalogénico XI Región, Sector Norte Continental, comprendido entre 45° latitud sur y el límite con la X Región. Unpublished report, Sernageomin, Santiago, Chile, 154 p.
- Borchert, H. 1980: *Geology and Geochemistry of Manganese*. En Varentsov, I. M., y Grasselly G.Y. (Eds), 2° Simposio Internacional sobre Geología y Geoquímica del Manganeso, Australia. UNESCO. Hungría, 45-60.
- Brown, J., Colling, A., Park D., Phillips, J., Rothery, D., & Wright, J., 1994. *Ocean Chemistry and Deep-Sea sediments*, 133 p. The Open University/Pergamon, London.
- Cembrano J., Hervé, F. & Lavenue, A., 1996. The Liquiñe-Ofqui Fault Zone: a long-lived intra-arc fault system in southern Chile. *Tectonophysics*, Volumen 259. P. 55-66.
- Cortés, J., 1996. Geología del área comprendida entre Lago Verde y Alto Río Cisnes, Región de Aysén, Chile. MSc tesis, Universidad de Chile, Santiago.
- Cronan D.S. 2010. Manganese Nodules; In: *Marine Chemistry and Geochemistry*, Kart K. Turekian (eds.), *Encyclopedia of Ocean Sciences*, 2nd Edition, 631 pp.
- De la Cruz, R., Cortés, J. 2011. Geología del área oriental de La Hoja Puerto Cisnes, Región de Aysén de General Carlos Ibáñez del Campo. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos, No.127, 1 mapa escala 1: 250.000.

- Díaz-del-Río, V., Somoza, L., Martínez-Frías, J., Mata, M.P., Delgado, A., Hernández-Molina, F.J., Lunar, R., Martín-Rubí, J.A., Maestro, A., Fernández-Puga, M.C., León, R., Llave, E., Medialdea, T. & Vázquez, J.T. (2003) Vast fields of hydrocarbon-derived carbonate chimneys related to the accretionary wedge/olistostrome of the Gulf of Cadiz. *Mar. Geol.*, 195, 177-200.
- Díaz-Naveas, J. & J. Frutos (eds.). 2010. *Geología Marina de Chile*. Comité Oceanográfico Nacional de Chile - Pontificia Universidad Católica de Valparaíso - Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile. 115 p.
- Duhart, P. & Muñoz J. 2001. K-Ar geochronologic evidence for Triassic metamorphic event in the main Chiloé island, south-central Chile. In *South American Symposium on Isotope Geology*, No. 3, Resúmenes, Vol. 1, p. 566-599. Pucón.
- Duhart, P., 2003. Las Juntas: Un prospecto de Cu-Pb-Zn (Au-Ag) en la Franja Polimetálica del Cretácico Inferior de Chiloé continental, Cordillera Nor-Patagónica, Chile. *Actas X Congreso Geológico Chileno*.
- Espinoza, W. & Fuenzalida, P., 1971. *Geología de las hojas Isla Rivero, Puerto Aysén y Balmaceda entre los paralelos 45° y 46° de latitud sur*. Instituto de Investigaciones Geológicas Convenio Instituto CORFO Aysén, 50 p.
- Espinoza, W. & Etchart, H., 1975. *Geología del territorio de Aysén comprendido entre los 43°45' y 45° latitud sur*. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, Chile, 99 p.
- Froelich, P., Kvenvolden, K., Torres, M., Waseda, A., Didyk, B. & Lorenson, T. 1995. Geochemical evidence for gas hydrate in sediment near the Chile triple junction. In *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results 141*: 276-286.
- García, M., Correa, J., MaksaeV, V. & Townley, B. 2020. Potencial mineral resources of the Chilean offshore: an overview. *Andean Geology*, en prensa.
- Glasby G.P., P. Stoffers, A. Siouglas, T. Thijssen, & G. Friedrich. 1982. Manganese nodule formation in the Pacific Ocean: a general theory. *Geo-Marine Letters*. 2(1-2): 47-53.
- Greiner, G., 1991. *Características y distribución de los placeres auríferos de Chile*. Empresa Nacional de Minería, ENAMI.
- Gómez, A., Rubinstein, N. & Geuna, E. 2015. Análisis mineralógico de las magnetitas hidrotermales del pórfido de CU-(MO) San Pedro, Provincia de Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 72 (3): 326 - 331

- Haller, M. & Lapido, O. 1980. El Mesozoico de la Cordillera Patagónica Central. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 35 (2): 230-247.
- Heim, A. 1940. Geological observations in the Patagonian Cordillera (Preliminary Report). *Eclogae Geologicae Helvetiae* 33: 25-51. Traducción in *Boletín Minero* 54 (507): 646-649.
- Hein, J.R., Mizell, K., Koschinsky, A. & Conrad, T., 2013. Deep-ocean mineral deposits as a source of critical metals for high-and green-technology applications: Comparison with land-based resources. *Ore Geology Reviews* 51, 1-14.
- Hervé, F.; Thiele, R. & Parada, M.A. 1978a El Basamento metamórfico del Archipiélago de Las Guaitecas, Aysén, Chile. In *Congr. Geol. Chileno*, No. 1, Actas, Vol. 1. p. 873-875. Santiago.
- Hervé, F.; Mpodozis, C.; Davidson M., J. & Godoy P., E. 1981, Observaciones estructurales y petrográficas en el basamento metamórfico Del Archipiélago de Los Chonos, entre El Canal King Y El Canal Ninualac, Aysén. *Revista Geológica de Chile* 0 (13-14):
- Hervé, F. 1988. Late Paleozoic Subduction and accretion in southern Chile. *Episodes*, Vol. 11, No. 3, p. 183-188.
- Hervé, F., Suárez, M., De la Cruz, R. & Belmar, M., 1994. Los depósitos volcanosedimentarios de la cuenca extensional intracontinental cenozoica de Isla Magdalena, Aysén, Chile. *Actas VII Congreso Geológico Chileno*, Vol. II, p. 825-829.
- Hervé, F.; Demant, A., Pankhurst, R.J. & Ramírez, E. 1996a. Age and Al-in-hornblende geobarometry in the North Patagonian Batholith, Aysén, Chile. In: *Third International Symposium on Andean Geodynamics*, St.-Malo, France, Résumés étendus, ORSTOM, Paris, 579-582.
- Hervé, F. & Fanning, C. M. 2001. Late Triassic detrital zircons in meta-turbidites of the Chonos Metamorphic Complex, southern Chile. *Revista geológica de Chile*, 28(1), 91-104.
- Libes S. 1992. *An introduction to marine biogeochemistry*, 289 p. John Wiley & Sons, Inc.
- Maksaev V, Townley B, Palacios C & Camus F (2007) *Metallic Ore Deposits*. In: Moreno T, Gibbons W (eds).: *The Geology of Chile*. Chapter 6. The Geological Society of London. Pp. 179-199.

- Mazzini, A. Aloisi, G., Akhmanov, G.G., Parnell, J., Cronin, B.T. & Murphy, P. 2005. Integrated petrographic and geochemical record of hydrocarbon seepage on the Voring Plateau. *J. Geol. Soc. Lond.*, 162, 815-827.
- Merinero, R., Lunar, R. & Martínez, J. 2010. Carbonatos Metanógenos y Pirita Framboidal Autigénica: Geomarcadores de la Actividad de Organismos Quimiosintéticos en el Golfo de Cádiz. *Revista de la sociedad española de mineralogía* 12: 29-37.
- Miller, H., 1975. El Basamento de la Provincia de Aysén (Chile) y sus correlaciones con las rocas premesozoicas de la Patagonia Argentina: Actas 6º Congreso Geológico Argentino, Bahía Blanca 1975.
- Morgan, L.C. (2000): Resource estimates of the Clarion-Clapperton manganese nodule deposits. *Handbook of Marine Mineral Deposits*. Editado por Cronan, David S. C.R.C. Science Series. E.U.A., 145-148.
- Mosca, R. & Fontolan, G., 1991. Mayor, minor and trace element chemistry of superficial sediments in the strait of Magelian. *Bolletino Di Oceanologia; Teorica ed Applicata*. Trieste, Italia. Vol IX 287-291.
- Ghosh, A.K. & Mukhopadhyay, R., 2000. *Mineral Wealth of the Ocean*. A.A. Balkema, Rotterdam. 249 pp.
- Nelson, C. & Hopkins, D., 1972. Sedimentary Processes and Distribution of Particulate Gold in the Northern Bering Sea. U.S. Geological Survey, Professional Paper 689, 27 p.
- Olivares M., Cabrera, M., Rosales, L & Carranza, A. Nódulos Polimetálicos. *En su: El océano profundo: La frontera final*. 1º ed. México, SEMARNAT-INECC, 2014. Pp. 31-46.
- Ordoñez, A., 2000. Oro detrítico en la Región de los Lagos (39-42°): Mecanismos de transporte y proveniencia. Servicio Nacional de Geología y Minería. Boletín No. 56.
- Ordoñez, A. & Crignola, P., 2003. Anomalías geoquímicas en la Isla de Chiloé, Chile (42-43° 30' S). Actas X Congreso Geológico Chileno.
- Pankhurst, R.J., Weaver, S., Hervé, F. & Larrondo, P. 1999. Mesozoic-Cenozoic evolution of the North Patagonian batholith in Aysén, southern Chile. *Journal of the Geological Society of London*, Vol. 156, p. 673-694.
- Paull, C.K., Talling, P.J. & Maier, K.L. Powerful turbidity currents driven by dense basal layers. *Nat Commun* 9, 4114 (2018).

- Peckmann, J. & Thiel, V. (2004) Carbon cycling at ancient methane seeps. *Chem. Geol.*, 205, 443-467.
- Pineda V., Contardo X., Alfaro G. & Helle S., 2002. Textural mineralogical and geochemical of sediments of the Beagle channel and Nassau Bay, XII Magallanes region, Chile. *Ciencia y Tecnología Marina* 25, 5-21.
- Portigliati, C.; 1999. Los placeres auríferos de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado IR-99-16. 131p., 1 mapa 1:2.500.000. Santiago.
- Quiroz, D. & Duhart, P. 2006. Geología del área Quellón-Isla San Pedro, Región de Los Lagos. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos, No.94, 1 mapa escala 1: 100.000.
- Reimann, C., Filzmoser, P. & Garrett, R.G., 2002. Factor analysis applied to regional geochemical data: Problems and possibilities. *Applied Geochemistry* 17 (2), 185-206.
- Rona P., 2008. The Changing vision of marine minerals. *Ore Geology Reviews* 33, 618-666.
- Rosato, V., Kulm, L.D. & Derks, S. 1975. Surface sediments of the Nazca Plate. *Pacific Science*, Vol. 29, No. 1, p. 117-130. Great Britain.
- Sernageomin, 2003. Mapa Geológico de Chile: Versión Digital. In: S.N.d.G y Minería (eds.), *Publicación Geológica Digital*, No 4, Santiago, Chile.
- Suárez, M., De la Cruz, R. & Bell, M. 2007. Geología del Área Ñireguao-Baño Nuevo. Región Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos, No.108, 1 mapa escala 1: 100.000.
- Suárez, M., De la Cruz, R., Aguirre-Urreta, B. & Fanning, M. 2009. Relationship between volcanism and marine sedimentation in northern Austral (Aysén) Basin, central Patagonia: Stratigraphic, U -Pb SHRIMP and paleontologic evidence. *Journal of South American Earth Sciences* 27: 309-325.
- Silva, C., Herrera, C. & Hervé, F., 2003. Petrogénesis de lavas y diques básicos de la Formación Traiguén, Región de Aysén (43°30'-46°S), Chile. *Actas X Congreso Geológico Chileno*.
- Taylor, S.R. (1964). Abundance of chemical elements in the continental crust; a new table. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 28(8), pp. 1273-1285.

- Thomas, C., Picaud, S., Mousis, O. & Ballenegger, V. 2009 A theoretical investigation of the influence of clathrate hydrates on the atmosphere of Mars. 40. Lunar Planet. Sci. Conf., Abstract 1264.
- Townley B., Makshev V., Palacios C.M., Lahsen A. & Parada MA., 2000. Base and precious metals geochemistry of rock units of the mainland Aysén region, Chilean Patagonia. *Journal of Geochemical Exploration* 68, 21-46.
- Townley, B., Godwin, K. & Collin I. 2001. Isotope characterization of lead in galena from ore deposits of the Aysén region, southern Chile. *Mineralium Deposita* 36 (1), 45-57.
- Tsander, I., Rabouille, C., Slomp, C. P., & Van Cappellen, P. 2010. Shelf erosion and submarine river canyons: implications for deep-sea oxygenation and ocean productivity during glaciation, *Biogeosciences*, 7.
- Valenzuela, E., Mpodozis C., Morales E., Parra J.C., Ugarte G., Tello A.R. & Quiñones C. 1984. Anteproyecto para la evaluación del potencial minero del fondo oceánico del mar de Chile. Informe inédito N° 970, 2 tomos, 6 mapas. Informe final del Proyecto CONICYT 242-83, Departamento de Geología, Univ. de Chile. Available in the Chilean Archives.
- Vargas-Cordero, I., Tinivella, U., Villar Muñoz, L. & Giustiniani, M. 2016, Gas hydrate and free gas estimation from seismic analysis offshore Chiloé island (Chile). *Andean Geology* 43 (3): 263-274.
- Vargas-Cordero, I., Tinivella, U., Accaino, F., Loreto, M.F. & Fanucci, F. 2010. Thermal state and concentration of gas hydrate and free gas of Coyhaique Chilean Margin (44°30'S). *Marine and Petroleum Geology* 27: 1148-1156.
- Zapata, R. 2001. Estudio batimétrico del margen chileno. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias, Mención Geofísica. Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. 113 pp.

8. APÉNDICES

Apéndice A: Descripciones microscopía óptica

Sedimentos totales

Tabla 21. Descripción petrográfica sedimento total muestra 1

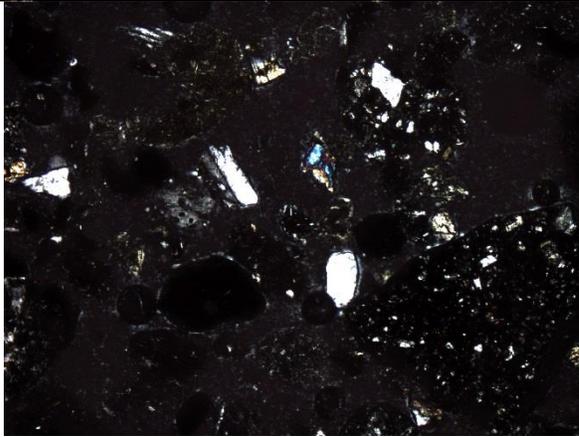
Muestra 01								
Luz Transmitida				Luz Reflejada				
								
5X				10X				
Minerales translúcidos	40	%	Minerales opacos	20	%	Líticos	40	%
Cuarzo	30	%	Pirita	35	%	Sedimentarios	10	%
Plagioclasa	35	%	Magnetita	30	%	Volcánicos	90	%
Feldespato-K	0	%	Hematita	20	%	Intrusivos	0	%
Mica Blanca	0	%	Ilmenita	10	%	Metamórficos	0	%
Biotita/Clorita	5	%	Goethita	5				
Actinolita	2	%						
Hornblenda	5	%						
Piroxeno	5	%						
Olivino	3	%						
Epidota	10	%						
Circón	5	%						
Observaciones:								
Biotitas poco cloritizadas, clastos volcánicos oxidados								
Piritas mayoritariamente dentro de los clastos volcánicos y en menor medida como granos individuales								

Tabla 22. Descripción petrográfica sedimento total muestra 3

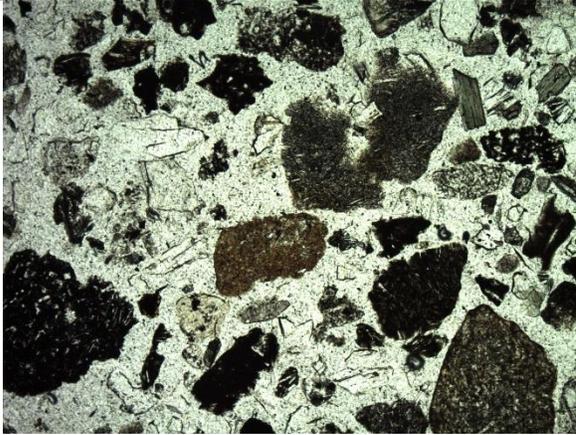
Muestra 03								
Luz Transmitida				Luz Reflejada				
								
5X				10X				
Minerales translúcidos	40	%	Minerales opacos	10	%	Líticos	50	%
Cuarzo	25	%	Pirita	10	%	Sedimentarios	30	%
Plagioclasa	40	%	Magnetita	30	%	Volcánicos	60	%
Feldespatos-K	0	%	Hematita	20	%	Intrusivos	0	%
Mica Blanca	0	%	Ilmenita	5	%	Metamórficos	10	%
Biotita/Clorita	3	%						
Actinolita	7	%						
Hornblenda	5	%						
Piroxeno	15	%						
Olivino	0	%						
Epidota	2	%						
Circón	3	%						
Observaciones:								
Muestra medianamente verdosa debido a la presencia de actinolita, y también en menor medida a biotita cloritizada								
Clastos volcánicos altamente oxidados por magnetita y hematita								

Tabla 23. Descripción petrográfica sedimento total muestra 4

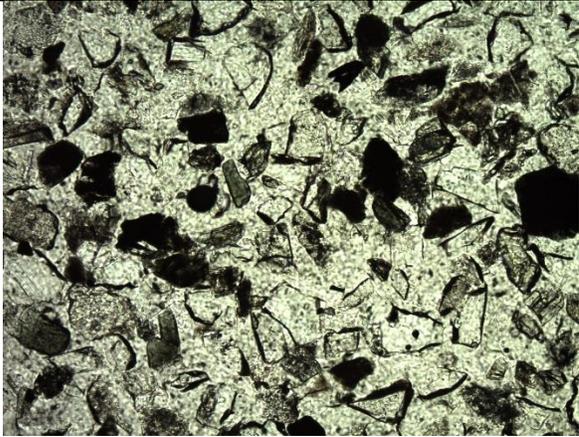
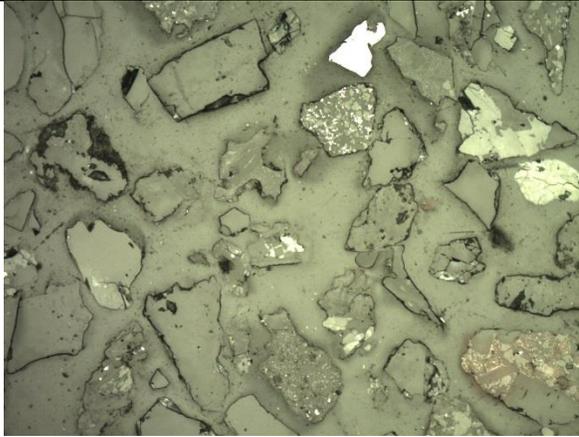
Muestra 04											
Luz Transmitida					Luz Reflejada						
											
10X					20X						
Minerales translúcidos		70	%	Minerales opacos		30	%	Líticos		0	%
Cuarzo		40	%	Pirita		10	%	Sedimentarios			%
Plagioclasa		20	%	Magnetita		40	%	Volcánicos			%
Feldespato-K		3	%	Hematita		20	%	Intrusivos			%
Mica Blanca		0	%	Ilmenita		10	%	Metamórficos			%
Biotita/Clorita		5	%								
Actinolita		10	%								
Hornblenda		5	%								
Piroxeno		10	%								
Olivino		0	%								
Epidota		5	%								
Circón		2	%								
Observaciones:											
Corte de granos muy finos y presencia de minerales verdosos a nícoles paralelos como actinolita y biotita cloritizada.											
Magnetita en granos individuales con hematita											
No se observan fragmentos líticos											

Tabla 24. Descripción petrográfica sedimento total muestra 5

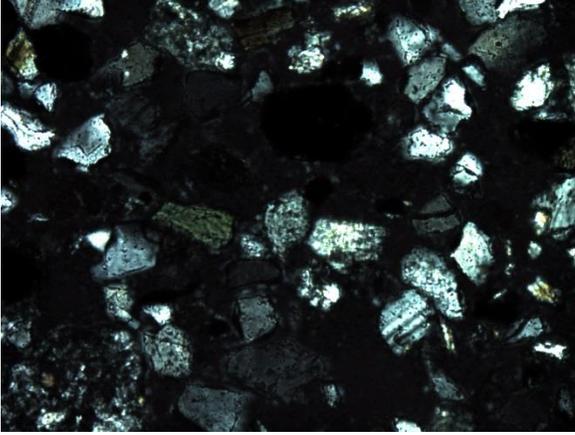
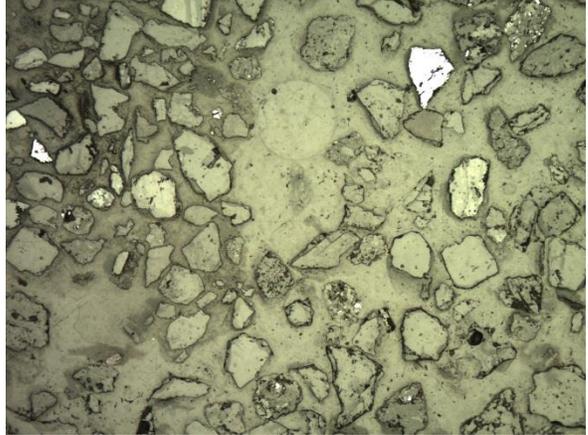
Muestra 05								
Luz Transmitida					Luz Reflejada			
								
10X					10X			
Minerales translúcidos	60	%	Minerales opacos	10	%	Líticos	30	%
Cuarzo	30	%	Pirita	30	%	Sedimentarios	10	%
Plagioclasa	15	%	Magnetita	50	%	Volcánicos	30	%
Feldespato-K	0	%	Hematita	15	%	Intrusivos	10	%
Mica Blanca	2	%	Ilmenita	5	%	Metamórficos	60	%
Biotita/Clorita	10	%						
Actinolita	15	%						
Hornblenda	2	%						
Piroxeno	13	%						
Olivino	3	%						
Epidota	10	%						
Circón	0	%						
Observaciones:								
Corte ligeramente verdoso a nícoles paralelos debido a actinolita y clorita. Domina el cuarzo y plagioclasa, sin presencia de feldespato potásico.								
Clastos metamórficos dominan, los volcánicos están altamente oxidados y tienen magnetita en su interior. Pocos clastos sedimentarios, algunos con metamorfismo de bajo grado.								

Tabla 25. Descripción petrográfica sedimento total muestra 6

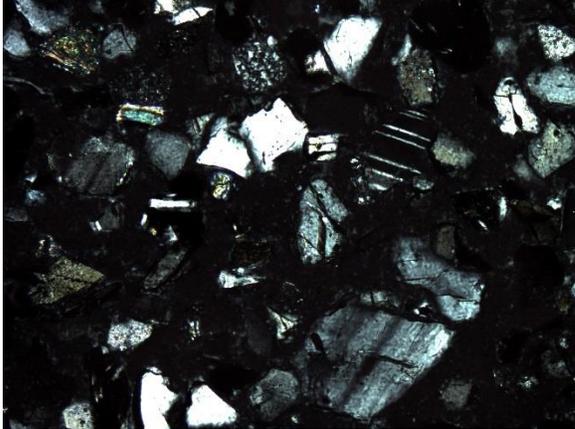
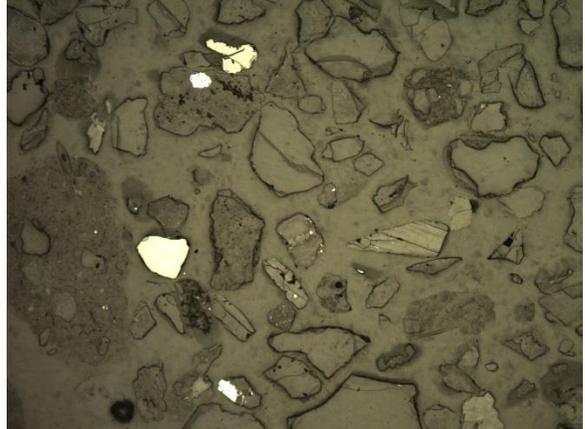
Muestra 06								
Luz Transmitida					Luz Reflejada			
								
10X					10X			
Minerales translúcidos	70	%	Minerales opacos	10	%	Líticos	20	%
Cuarzo	40	%	Pirita	20	%	Sedimentarios	0	%
Plagioclasa	30	%	Magnetita	40	%	Volcánicos	90	%
Feldespato-K	0	%	Hematita	20	%	Intrusivos	0	%
Mica Blanca	0	%	Ilmenita	10	%	Metamórficos	10	%
Biotita/Clorita	13	%						
Actinolita	10	%						
Hornblenda	0	%						
Piroxeno	5	%						
Olivino	0	%						
Epidota	5	%						
Circón	2	%						
Observaciones:								
<p>Altos contenidos de cuarzo y plagioclasa. Granos verdosos a nícoles paralelos corresponden a biotitas cloritizadas, también actinolita. No se observan hornblendas</p> <p>Clastos volcánicos oxidados dominan entre los fragmentos líticos, afectados por hematita y magnetita</p>								

Tabla 26. Descripción petrográfica sedimento total muestra 9

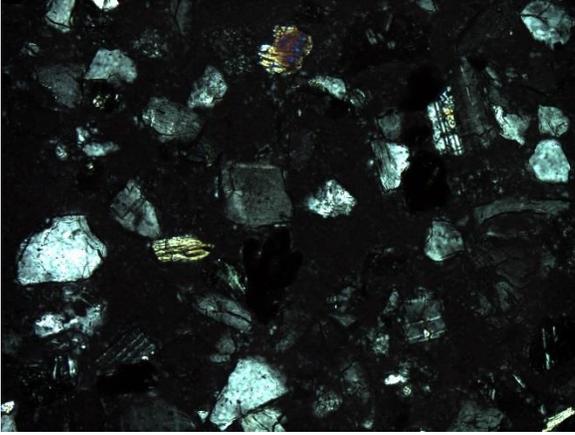
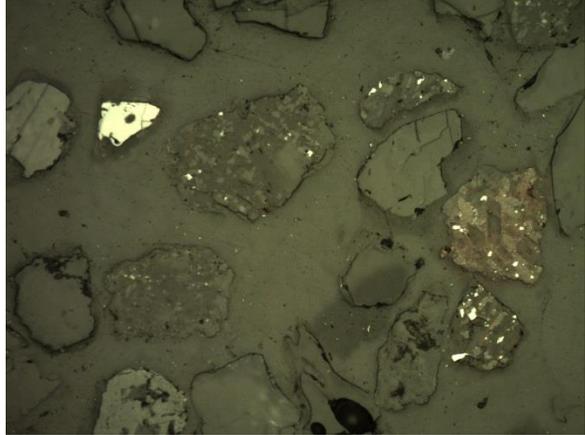
Muestra 09									
Luz Transmitida					Luz Reflejada				
									
10X					20X				
Minerales translúcidos	65	%	Minerales opacos	25	%	Líticos	10	%	
Cuarzo	40	%	Pirita	10	%	Sedimentarios	0	%	
Plagioclasa	20	%	Magnetita	40	%	Volcánicos	95	%	
Feldespato-K	0	%	Hematita	30	%	Intrusivos	0	%	
Mica Blanca	3	%	Ilmenita	20	%	Metamórficos	5	%	
Biotita/Clorita	5	%							
Actinolita	15	%							
Hornblenda	5	%							
Piroxeno	2	%							
Olivino	0	%							
Epidota	5	%							
Circón	5	%							
Observaciones:									
Cuarzo dominante en el corte, seguido de plagioclasa y actinolita. La presencia de biotita cloritizadas es menor a las no alteradas.									
Clastos volcánicos predominan sobre escasos clastos metamórficos.									

Tabla 27. Descripción petrográfica sedimento total muestra 10

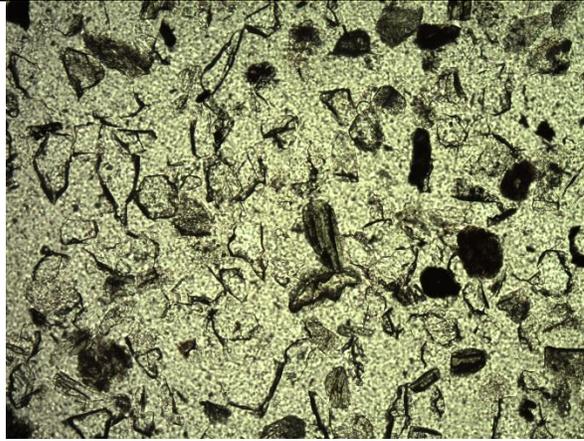
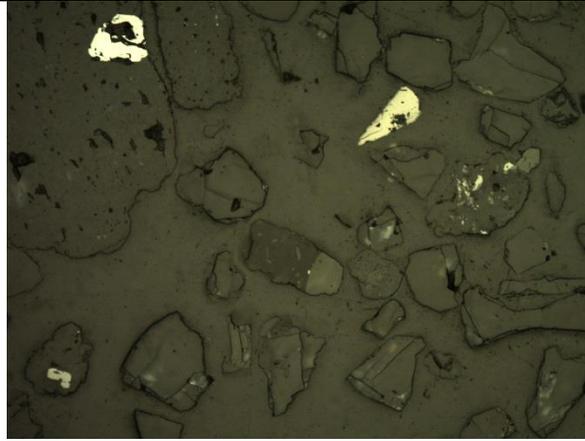
Muestra 10								
Luz Transmitida				Luz Reflejada				
								
10X				20X				
Minerales translúcidos	70	%	Minerales opacos	25	%	Líticos	5	%
Cuarzo	35	%	Pirita	10	%	Sedimentarios	0	%
Plagioclasa	20	%	Magnetita	40	%	Volcánicos	50	%
Feldespato-K	5	%	Hematita	30	%	Intrusivos	0	%
Mica Blanca	2	%	Ilmenita	5	%	Metamórficos	50	%
Biotita/Clorita	10	%	Goethita	5	%			
Actinolita	10	%						
Hornblenda	5	%						
Piroxeno	5	%						
Olivino	2	%						
Epidota	5	%						
Circón	1	%						
Observaciones:								
Cuarzo y plagioclasa conforman parte importante del corte, se observan escasos feldespatos altamente fragmentados.								
Loes escasos líticos corresponden a fragmentos volcánicos y metamórficos.								
Se aprecian algunos clastos con goethita en los bordes. El mineral opaco dominante es la magnetita.								

Tabla 28. Descripción petrográfica sedimento total muestra 11

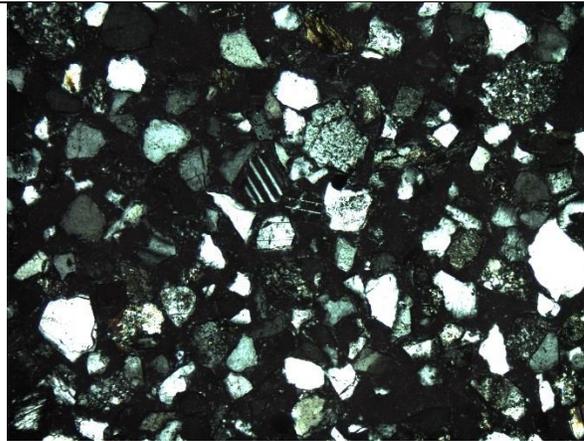
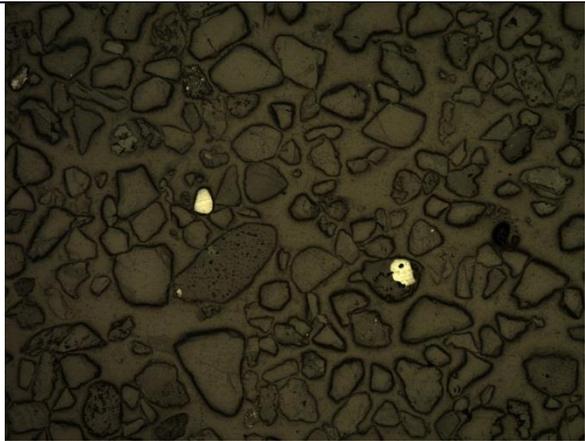
Muestra 11								
Luz Transmitida				Luz Reflejada				
								
5X				5X				
Minerales translúcidos	80	%	Minerales opacos	5	%	Líticos	15	%
Cuarzo	60	%	Pirita	20	%	Sedimentarios	0	%
Plagioclasa	20	%	Magnetita	50	%	Volcánicos	50	%
Feldespato-K	0	%	Hematita	10	%	Intrusivos	0	%
Mica Blanca	0	%	Ilmenita	20	%	Metamórficos	50	%
Biotita/Clorita	3	%						
Actinolita	7	%						
Hornblenda	0	%						
Piroxeno	5	%						
Olivino	0	%						
Epidota	3	%						
Circón	2	%						
Observaciones:								
Corte compuesto principalmente por cuarzo y plagioclasa con escasos minerales opacos. Se observan pocos cristales verdosos a nícoles paralelos correspondientes a actinolita a biotitas cloritizadas. Bajos porcentajes de epidota pero de gran tamaño.								
Fragmentos líticos en bajas cantidades de litologías andesíticas y oxidados y metamórficos								

Tabla 29. Descripción petrográfica sedimento total muestra 12

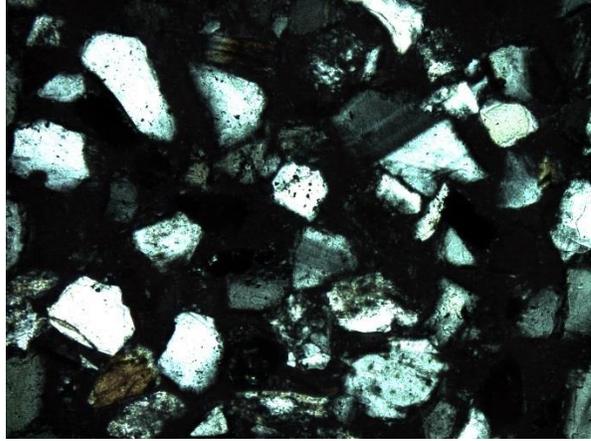
Muestra 12								
Luz Transmitida				Luz Reflejada				
								
10X				10X				
Minerales translúcidos	60	%	Minerales opacos	15	%	Líticos	15	%
Cuarzo	35	%	Pirita	5	%	Sedimentarios	0	%
Plagioclasa	15	%	Magnetita	45	%	Volcánicos	65	%
Feldespato-K	10	%	Hematita	25	%	Intrusivos	0	%
Mica Blanca	0	%	Ilmenita	25	%	Metamórficos	35	%
Biotita/Clorita	10	%						
Actinolita	10	%						
Hornblenda	3	%						
Piroxeno	8	%						
Olivino	2	%						
Epidota	5	%						
Circón	2	%						
Observaciones:								
<p>Minerales opacos corresponden mayormente a cuarzo y plagioclasa con biotitas, actinolitas y piroxenos en cantidades menores. Escasos olivinos de gran tamaño.</p> <p>La magnetita es el mineral opaco dominante, incluso se observa dentro de los fragmentos volcánicos mayormente oxidados.</p>								

Tabla 30. Descripción petrográfica sedimento total muestra 13

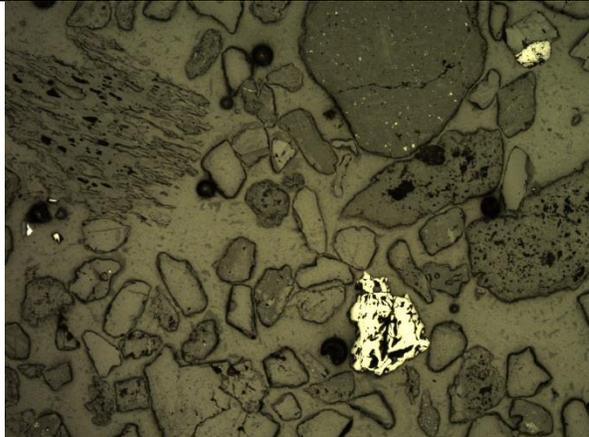
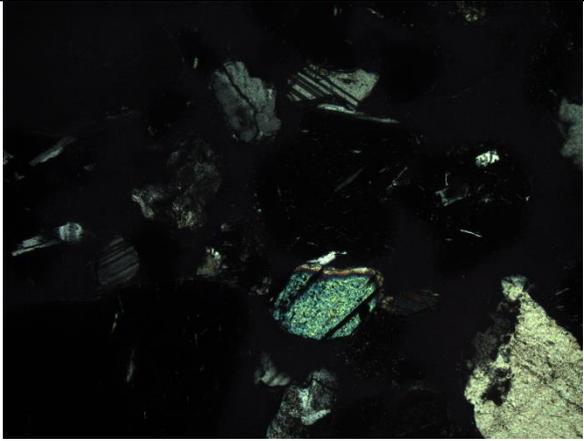
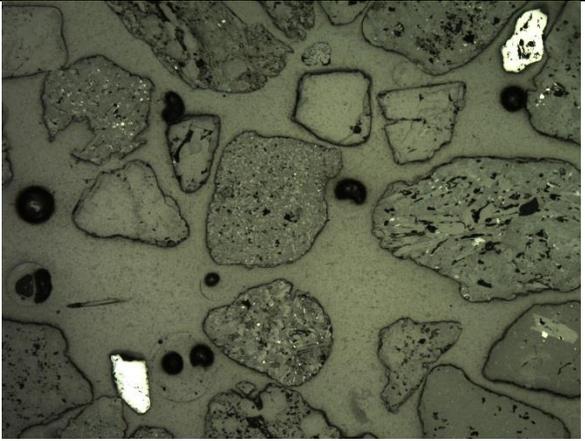
Muestra 13								
Luz Transmitida				Luz Reflejada				
								
5X				5X				
Minerales translúcidos	60	%	Minerales opacos	10	%	Líticos	30	%
Cuarzo	35	%	Pirita	5	%	Sedimentarios	0	%
Plagioclasa	25	%	Magnetita	45	%	Volcánicos	70	%
Feldespato-K	5	%	Hematita	35	%	Intrusivos	0	%
Mica Blanca	2	%	Ilmenita	15	%	Metamórficos	30	%
Biotita/Clorita	3	%						
Actinolita	15	%						
Hornblenda	2	%						
Piroxeno	3	%						
Olivino	5	%						
Epidota	5	%						
Circón	1	%						
Observaciones:								
Cuarzo y plagioclasa en cantidades similares y con mayor cantidad de actinolita que clorita. Se aprecian pequeñas cantidades de micas blancas.								
Magnetita y hematita representan gran parte de los minerales opacos, tanto como granos individuales como afectando clastos volcánicos.								

Tabla 31. Descripción petrográfica sedimento total muestra 15

Muestra 15								
Luz Transmitida				Luz Reflejada				
								
5X				5X				
Minerales translúcidos	40	%	Minerales opacos	5	%	Líticos	55	%
Cuarzo	20	%	Pirita	5	%	Sedimentarios	0	%
Plagioclasa	15	%	Magnetita	45	%	Volcánicos	70	%
Feldespato-K	0	%	Hematita	35	%	Intrusivos	0	%
Mica Blanca	0	%	Ilmenita	15	%	Metamórficos	30	%
Biotita/Clorita	5	%						
Actinolita	15	%						
Hornblenda	5	%						
Piroxeno	20	%						
Olivino	10	%						
Epidota	8	%						
Circón	2	%						
Observaciones:								
<p>Minerales opacos consisten mayormente en cuarzo, plagioclasa, piroxeno, olivino y actinolita. Se tienen cantidades menores de epidota y biotita.</p> <p>Los fragmentos líticos superan los cristales minerales y consisten en clastos volcánicos altamente oxidados y líticos metamórficos en menor medida.</p>								

Concentrados minerales pesados

Tabla 32. Descripción petrográfica concentrado minerales pesados muestra 1

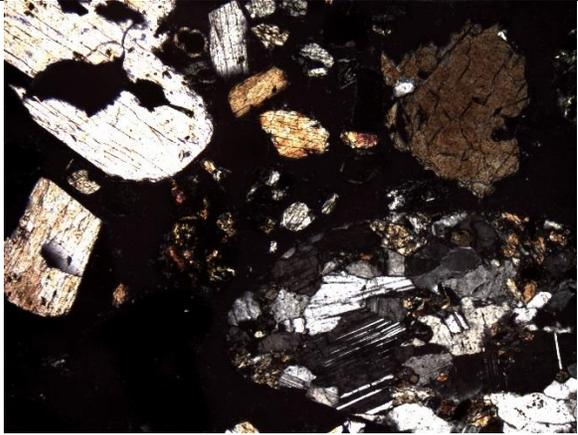
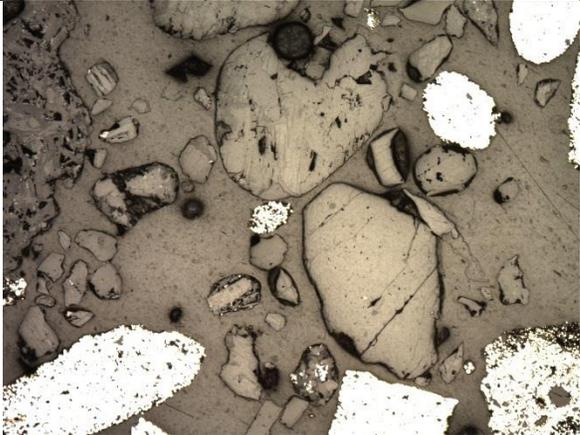
Muestra 01								
Luz Transmitida					Luz Reflejada			
								
5X					5X			
Minerales translúcidos	30	%	Minerales opacos	30	%	Líticos	40	%
Biotita/Clorita	5	%	Pirita	10	%	Sedimentarios	20	%
Actinolita	10	%	Pirita botroidal	70	%	Volcánicos	10	%
Hornblenda	20	%	Hematita	15	%	Intrusivos	10	%
Piroxeno	20	%	Ilmenita	10	%	Metamórficos	40	%
Olivino	3	%						
Epidota	2	%						
Circón	5	%						
Observaciones:								
<p>Muestra con presencia de anfíboles de gran tamaño, además de biotitas cloritizadas y altos contenidos de piroxenos.</p> <p>Clastos de distintas naturalezas, en relación a la muestra total disminuyen los líticos volcánicos, probablemente por la oxidación y contenidos de magnetita que los eliminaron durante la separación.</p>								

Tabla 33. Descripción petrográfica concentrado minerales pesados muestra 2

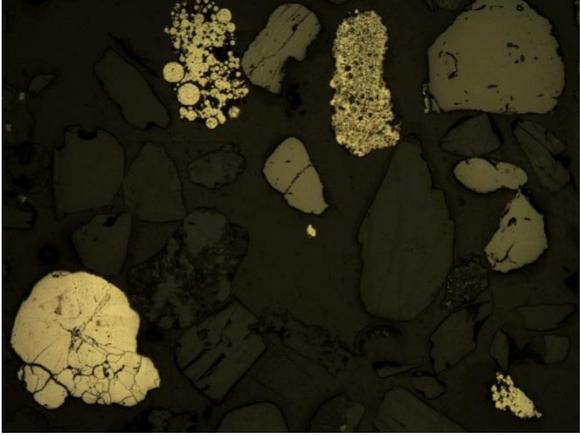
Muestra 02								
Luz Transmitida					Luz Reflejada			
								
5X					10X			
Minerales translúcidos	50	%	Minerales opacos	30	%	Líticos	20	%
Biotita/Clorita	5	%	Pirita	5	%	Sedimentarios	0	%
Actinolita	25	%	Pirita botroidal	55	%	Volcánicos	10	%
Hornblenda	5	%	Hematita	30	%	Intrusivos	0	%
Piroxeno	30	%	Ilmenita	10	%	Metamórficos	90	%
Olivino	20	%						
Epidota	10	%						
Circón	5	%						
<p>Observaciones:</p> <p>Corte verdoso, en su mayoría debido a actinolita, biotita cloritizada en pequeñas cantidades. Predomina clinopiroxeno, olivino tipo diópsido posiblemente, seguido de ortopiroxeno Predomina pirita botroidal por sobre granos euhedrales, y hematita</p>								

Tabla 34. Descripción petrográfica concentrado minerales pesados muestra 3

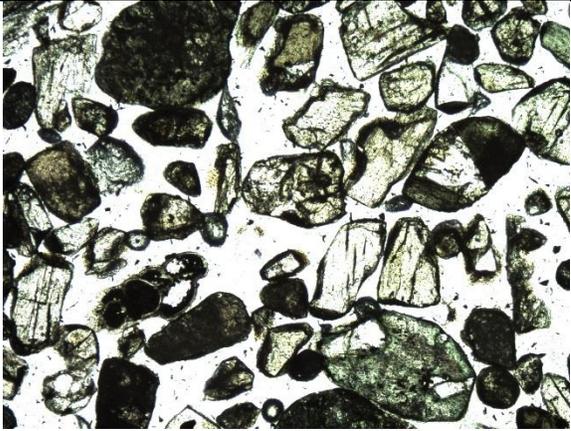
Muestra 03								
Luz Transmitida					Luz Reflejada			
								
5X					10X			
Minerales translúcidos	70	%	Minerales opacos	10	%	Líticos	20	%
Biotita/Clorita	10	%	Pirita	0	%	Sedimentarios	0	%
Actinolita	20	%	Pirita botroidal	70	%	Volcánicos	0	%
Hornblenda	5	%	Hematita	20	%	Intrusivos	0	%
Piroxeno	40	%	Ilmenita	10	%	Metamórficos	100	%
Olivino	5	%						
Epidota	15	%						
Circón	5	%						
Observaciones:								
<p>En el corte predominan los minerales translúcidos, en su mayoría piroxeno, y actinolita y epidota de manera subordinada. Los fragmentos líticos dominan sobre los minerales opacos, entre los cuáles solo fue posible distinguir fragmentos metamórficos.</p> <p>Los minerales opacos corresponden en gran medida a piritas framboidales relleno de gastrópodos, ostrácodos y otras cavidades. Además se distinguen algunas magnetitas.</p>								

Tabla 35. Descripción petrográfica concentrado minerales pesados muestra 5

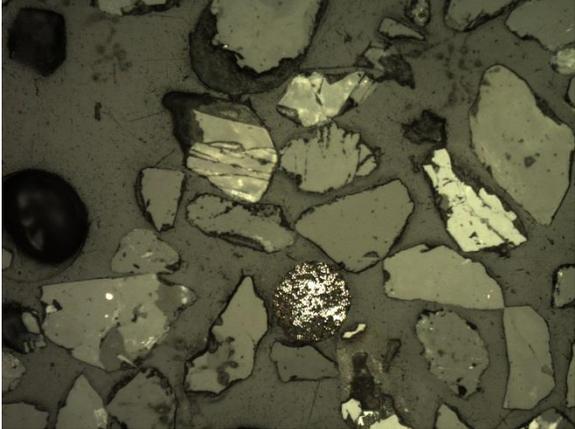
Muestra 05								
Luz Transmitida					Luz Reflejada			
								
5X					20X			
Minerales translúcidos	70	%	Minerales opacos	30	%	Líticos	0	%
Biotita/Clorita	20	%	Pirita	40	%	Sedimentarios	0	%
Actinolita	20	%	Pirita botroidal	10	%	Volcánicos	0	%
Hornblenda	5	%	Hematita	35	%	Intrusivos	0	%
Piroxeno	40	%	Ilmenita	0	%	Metamórficos	0	%
Olivino	10	%	Cobre	15				
Epidota	5	%						
Circón	0	%						
<p>Observaciones:</p> <p>Corte mayormente verdoso a nícoles paralelos por biotitas cloritizadas y epidotas. Alta presencia de piroxenos de tamaños variados. No se observan circones.</p> <p>No se observan fragmentos líticos.</p> <p>Los minerales opacos corresponden a piritas, en su mayoría en cristales individuales, pero con algunas piritas framboidales relleno de cavidades y nucleando alrededor de otros granos. Se observó un grano redondeado color amarillo con alta reflectividad, probablemente cobre nativo.</p>								

Tabla 36. Descripción petrográfica concentrado minerales pesados muestra 8

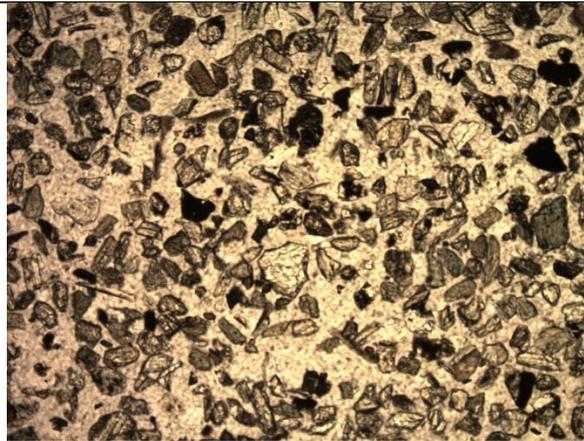
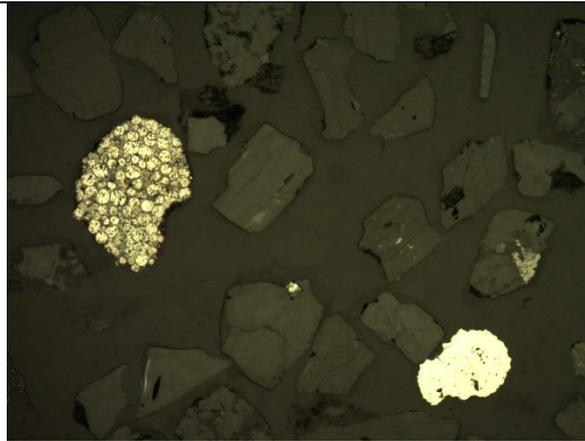
Muestra 08										
Luz Transmitida					Luz Reflejada					
										
5X					20X					
Minerales translúcidos		80	%	Minerales opacos		20	%	Líticos		
		0	%					0	%	
Biotita/Clorita		20	%	Pirita		10	%	Sedimentarios	0	%
Actinolita		20	%	Pirita botroidal		40	%	Volcánicos	0	%
Hornblenda		10	%	Hematita		30	%	Intrusivos	0	%
Piroxeno		20	%	Ilmenita		10	%	Metamórficos	0	%
Olivino		5	%							
Epidota		20	%							
Circón		5	%							
Observaciones:										
Corte dominado por minerales translúcidos, donde los minerales más importantes son biotita cloritizada, actinolita, piroxeno y epidota. El mineral opaco con mayor preponderancia es la pirita en su forma framboidal, rellenando formas biogénicas con cascarones aparentemente calcáreos.										

Tabla 37. Descripción petrográfica concentrado minerales pesados muestra 9

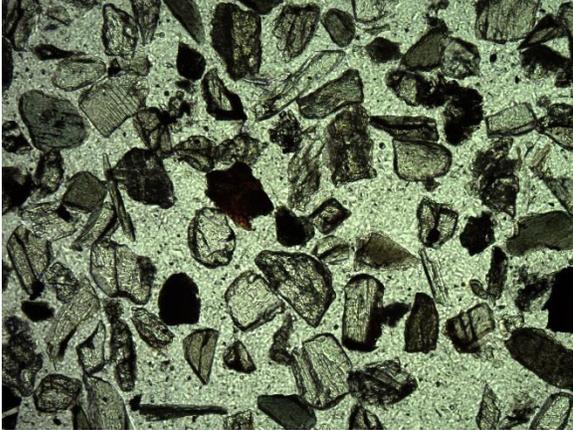
Muestra 09											
Luz Transmitida					Luz Reflejada						
											
10X					10X						
Minerales translúcidos		50	%	Minerales opacos		40	%	Líticos		10	%
Biotita/Clorita		20	%	Pirita		10	%	Sedimentarios		0	%
Actinolita		25	%	Pirita botroidal		50	%	Volcánicos		60	%
Hornblenda		5	%	Hematita		20	%	Intrusivos		0	%
Piroxeno		20	%	Ilmenita		10	%	Metamórficos		40	%
Olivino		0	%								
Epidota		20	%								
Circón		10	%								
Observaciones:											
<p>Minerales opacos como biotita cloritizada y actinolita le otorgan un color verdoso a nícoles paralelos, que dominan junto a epidota y piroxeno. Circones tanto como cristales individuales como dentro de clastos volcánicos.</p> <p>Pirita botroidal es el opaco dominante, relleno de todo tipo de cavidades, incluso globigerinas.</p>											

Tabla 38. Descripción petrográfica concentrado minerales pesados muestra 10

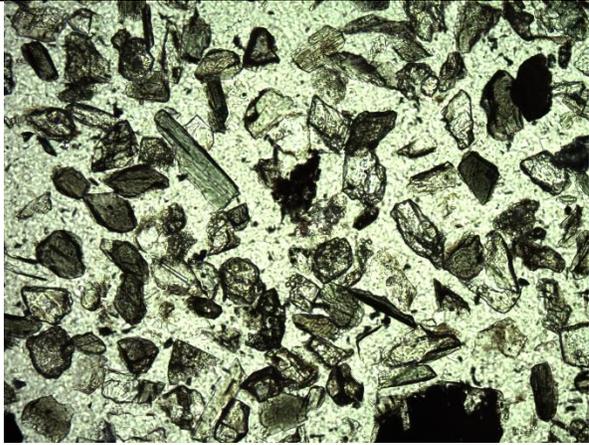
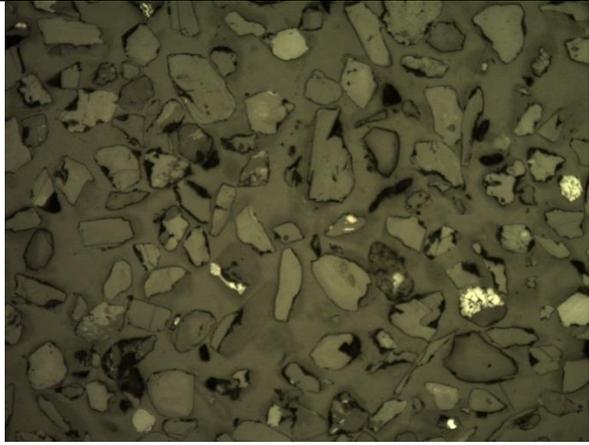
Muestra 10								
Luz Transmitida					Luz Reflejada			
								
10X					10X			
Minerales translúcidos	60	%	Minerales opacos	30	%	Líticos	10	%
Biotita/Clorita	20	%	Pirita	15	%	Sedimentarios	0	%
Actinolita	25	%	Pirita botroidal	0	%	Volcánicos	60	%
Hornblenda	5	%	Hematita	45	%	Intrusivos	0	%
Piroxeno	15	%	Ilmenita	20	%	Metamórficos	40	%
Olivino	10	%	Cobre	15	%			
Epidota	15	%						
Circón	10	%						
Observaciones:								
<p>Muestra verdosa dada la alta presencia de biotita cloritizada y actinolita. Piroxeno y epidota también en proporciones de importancia.</p> <p>No se observa pirita framboidal, sino como cristales individuales. Se observó crista de 0.6 mm de color rojo intenso, probablemente un mineral de cobre oxidado.</p>								

Tabla 39. Descripción petrográfica concentrado minerales pesados muestra 11

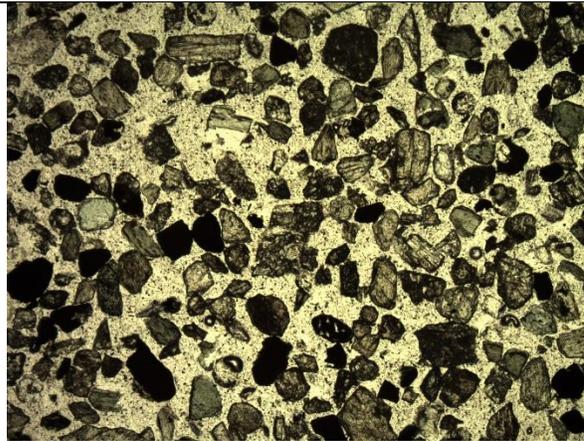
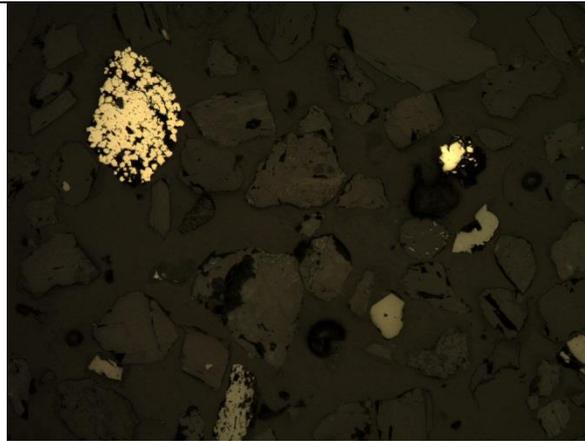
Muestra 11								
Luz Transmitida					Luz Reflejada			
								
5X					10X			
Minerales translúcidos	60	%	Minerales opacos	25	%	Líticos	15	%
Biotita/Clorita	15	%	Pirita	20	%	Sedimentarios	10	%
Actinolita	35	%	Pirita botroidal	40	%	Volcánicos	30	%
Hornblenda	10	%	Hematita	25	%	Intrusivos	0	%
Piroxeno	10	%	Ilmenita	10	%	Metamórficos	60	%
Olivino	10	%	Cobre	5	%			
Epidota	15	%						
Circón	5	%						
Observaciones:								
<p>Cristales de actinolita son dominantes en la muestra, seguidos por biotita medianamente cloritizada y epidota.</p> <p>La pirita framboidal es el mineral dominante, relleno de distintas formas de cavidades biogénicas.</p> <p>Dominan los líticos metamórficos, seguidos por volcánicos afectados por oxidación por hematita. También se observa un cristal de tamaño menor a 0.2 mm color rojo intenso, aparentemente mineral cuprífero oxidado.</p>								

Tabla 40. Descripción petrográfica concentrado minerales pesados muestra 12

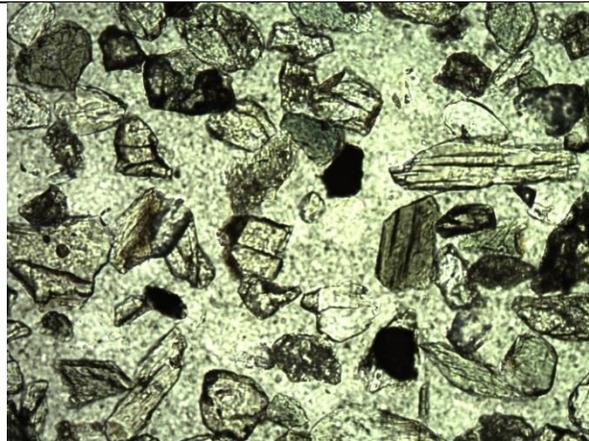
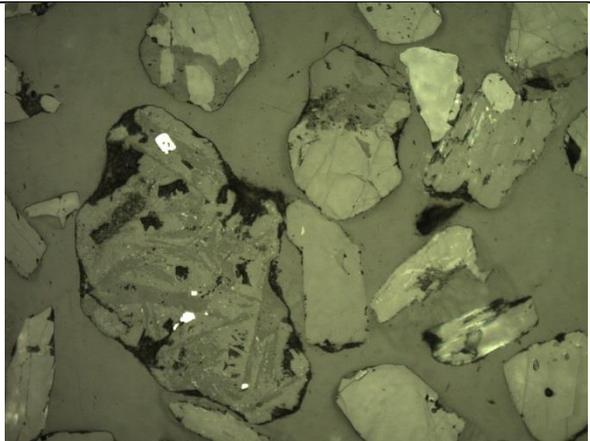
Muestra 12								
Luz Transmitida				Luz Reflejada				
								
Minerales translúcidos	50	%	Minerales opacos	45	%	Líticos	5	%
Biotita/Clorita	20	%	Pirita	20	%	Sedimentarios	10	%
Actinolita	30	%	Pirita botroidal	0	%	Volcánicos	30	%
Hornblenda	5	%	Hematita	45	%	Intrusivos	0	%
Piroxeno	15	%	Ilmenita	35	%	Metamórficos	60	%
Olivino	10	%						
Epidota	18	%						
Circón	2	%						
<p>Observaciones:</p> <p>Muestra verdosa mayormente debido a cristales de actinolita y en menor medida por biotitas cloritizadas. Circones de tamaños variados.</p> <p>Hematita dominante como componente metálico, como cristales individuales y afectando líticos volcánicos.</p>								

Tabla 41. Descripción petrográfica concentrado minerales pesados muestra 13

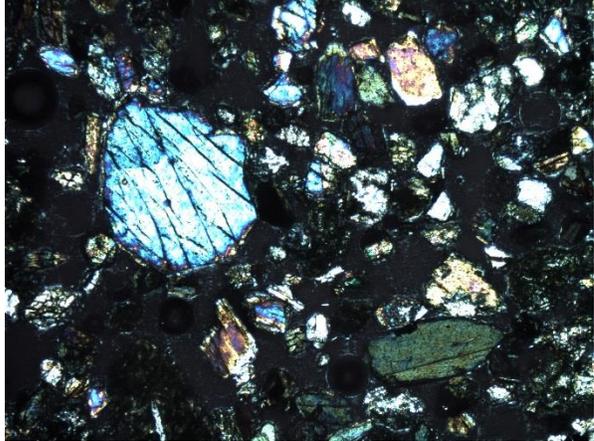
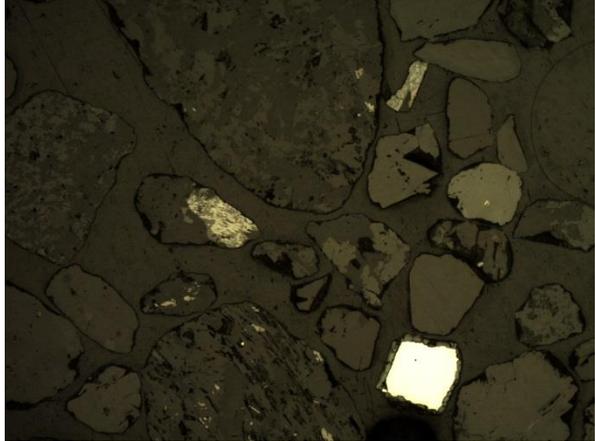
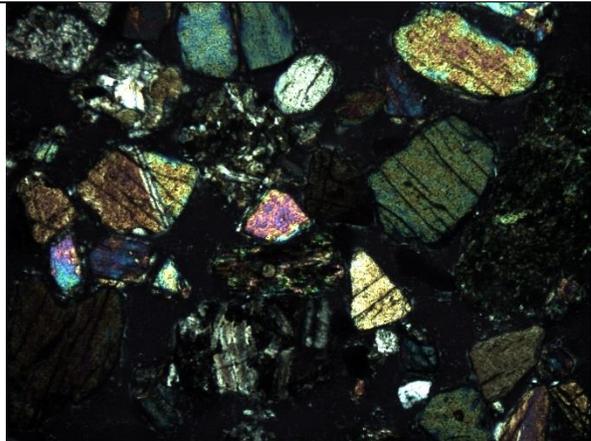
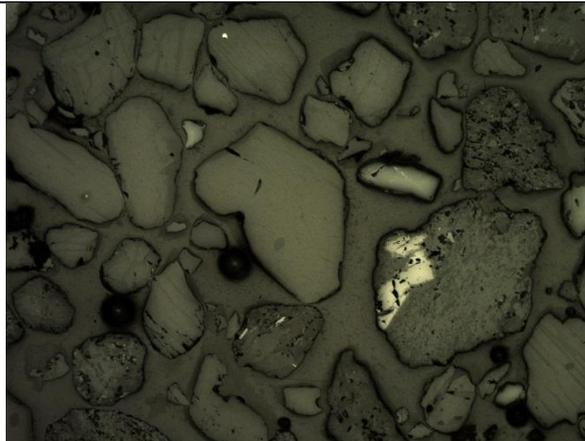
Muestra 13								
Luz Transmitida				Luz Reflejada				
								
5X				10X				
Minerales translúcidos	35	%	Minerales opacos	30	%	Líticos	35	%
Biotita/Clorita	10	%	Pirita	35	%	Sedimentarios	10	%
Actinolita	35	%	Pirita botroidal	0	%	Volcánicos	30	%
Hornblenda	5	%	Hematita	35	%	Intrusivos	0	%
Piroxeno	15	%	Ilmenita	30	%	Metamórficos	60	%
Olivino	15	%						
Epidota	15	%						
Circón	5	%						
<p>Observaciones:</p> <p>Actinolita como el mineral opaco con mayor presencia, seguido por olivino, piroxeno y epidota. Alta presencia de líticos que iguala al porcentaje de minerales translúcidos, que son en su mayoría metamórficos, seguido por volcánicos y escasos sedimentarios. La pirita se presenta sólo como cristales individuales y dentro de algunos líticos volcánicos.</p>								

Tabla 42. Descripción petrográfica concentrado minerales pesados muestra 15

Muestra 15								
Luz Transmitida				Luz Reflejada				
								
5X				5X				
Minerales translúcidos	60	%	Minerales opacos	20	%	Líticos	20	%
Biotita/Clorita	5	%	Pirita	5	%	Sedimentarios	20	%
Actinolita	15	%	Pirita botroidal	0	%	Volcánicos	30	%
Hornblenda	5	%	Hematita	35	%	Intrusivos	0	%
Piroxeno	25	%	Ilmenita	60	%	Metamórficos	50	%
Olivino	25	%						
Epidota	15	%						
Circón	10	%						
Observaciones:								
<p>Gran porcentaje de minerales translúcidos, en su mayoría piroxeno y olivino, y en menor medida actinolita y epidota. Amplia presencia de ilmenita acompañada de hematita, se detectó escasa pirita. Los fragmentos líticos son en su mayoría fragmentos metamórficos seguido de volcánicos y escasos sedimentarios.</p>								

Sedimentos totales

Apéndice B: Difractogramas

01

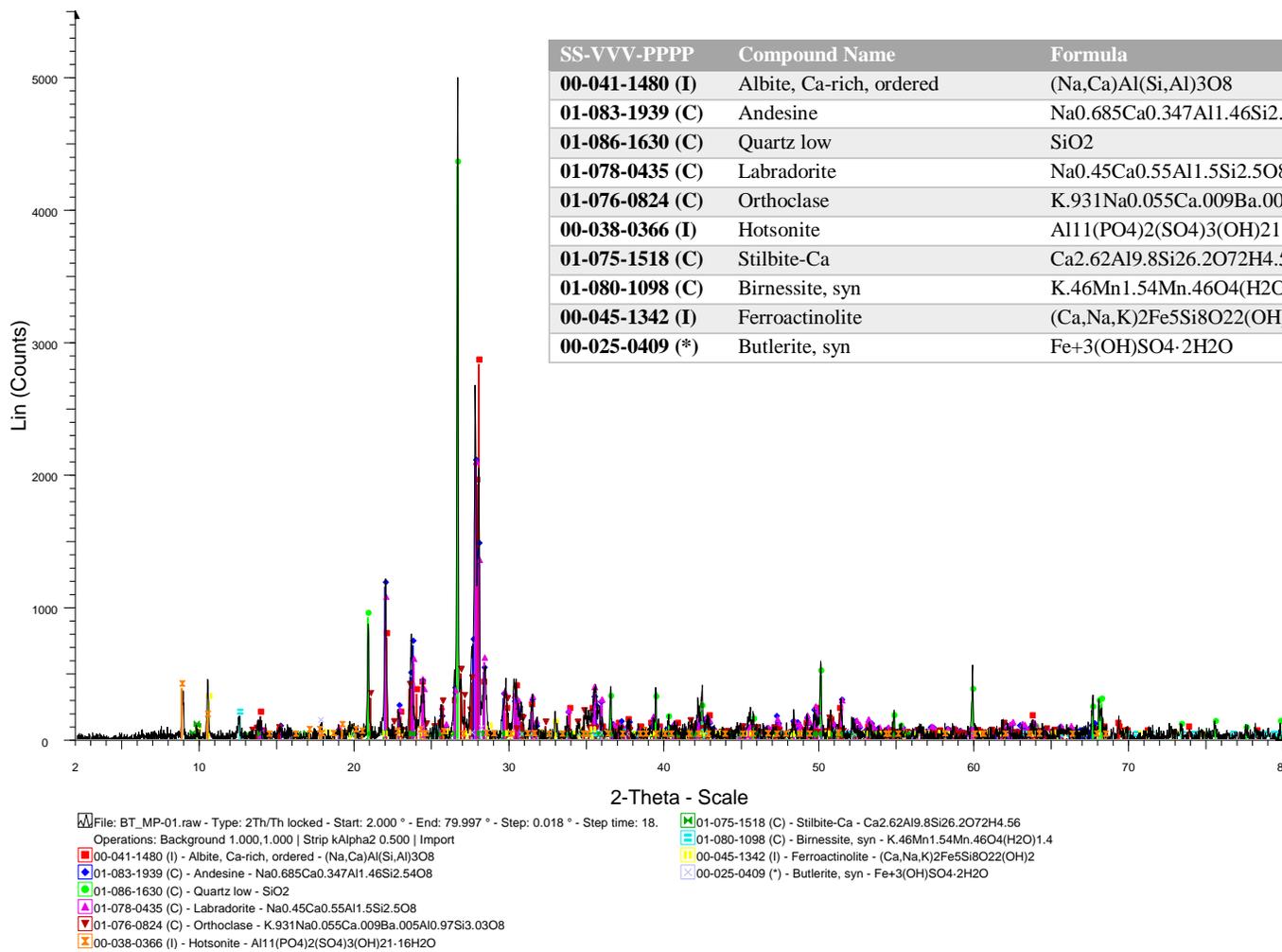
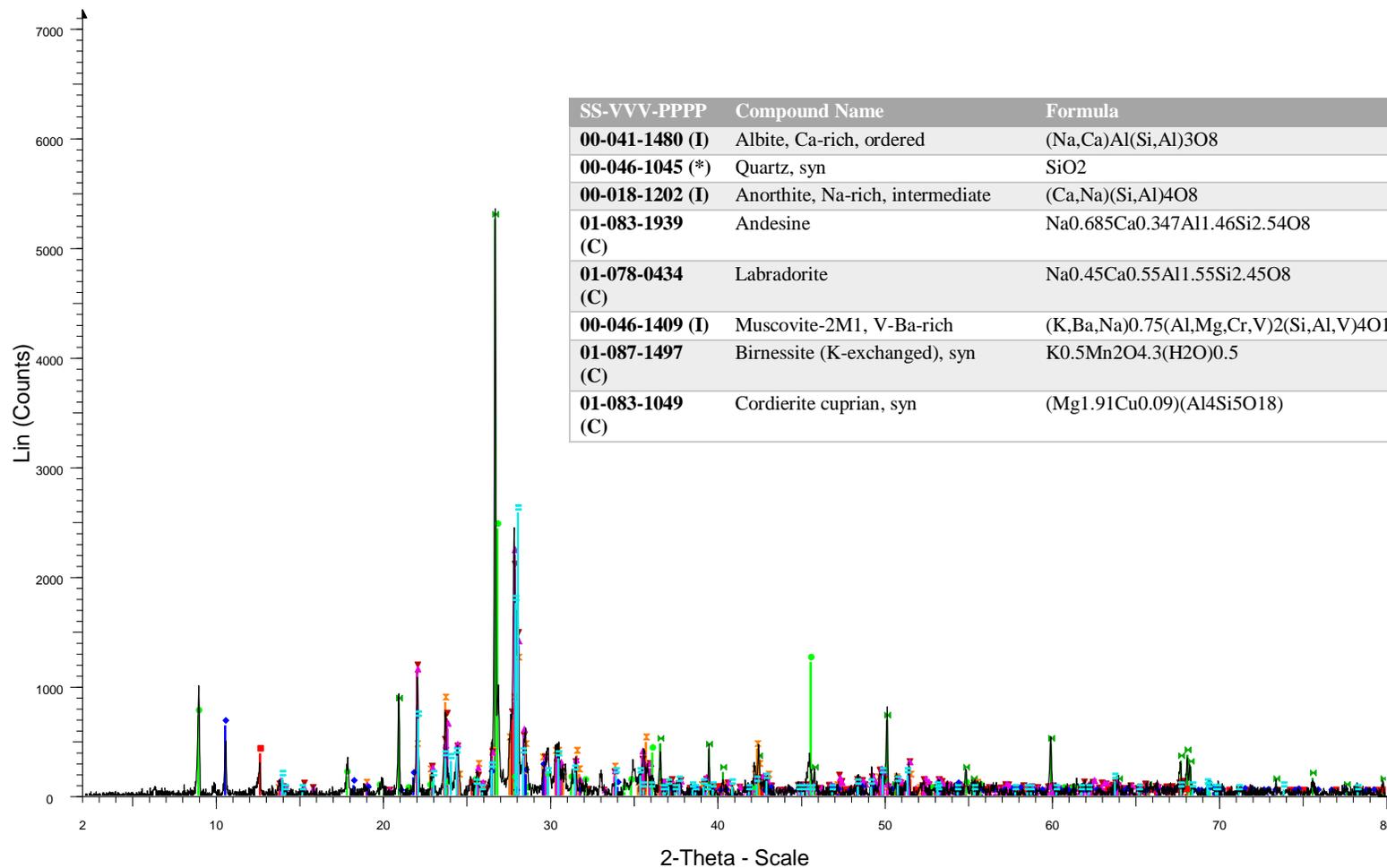


Figura 21. Difractograma sedimento total muestra 1

02

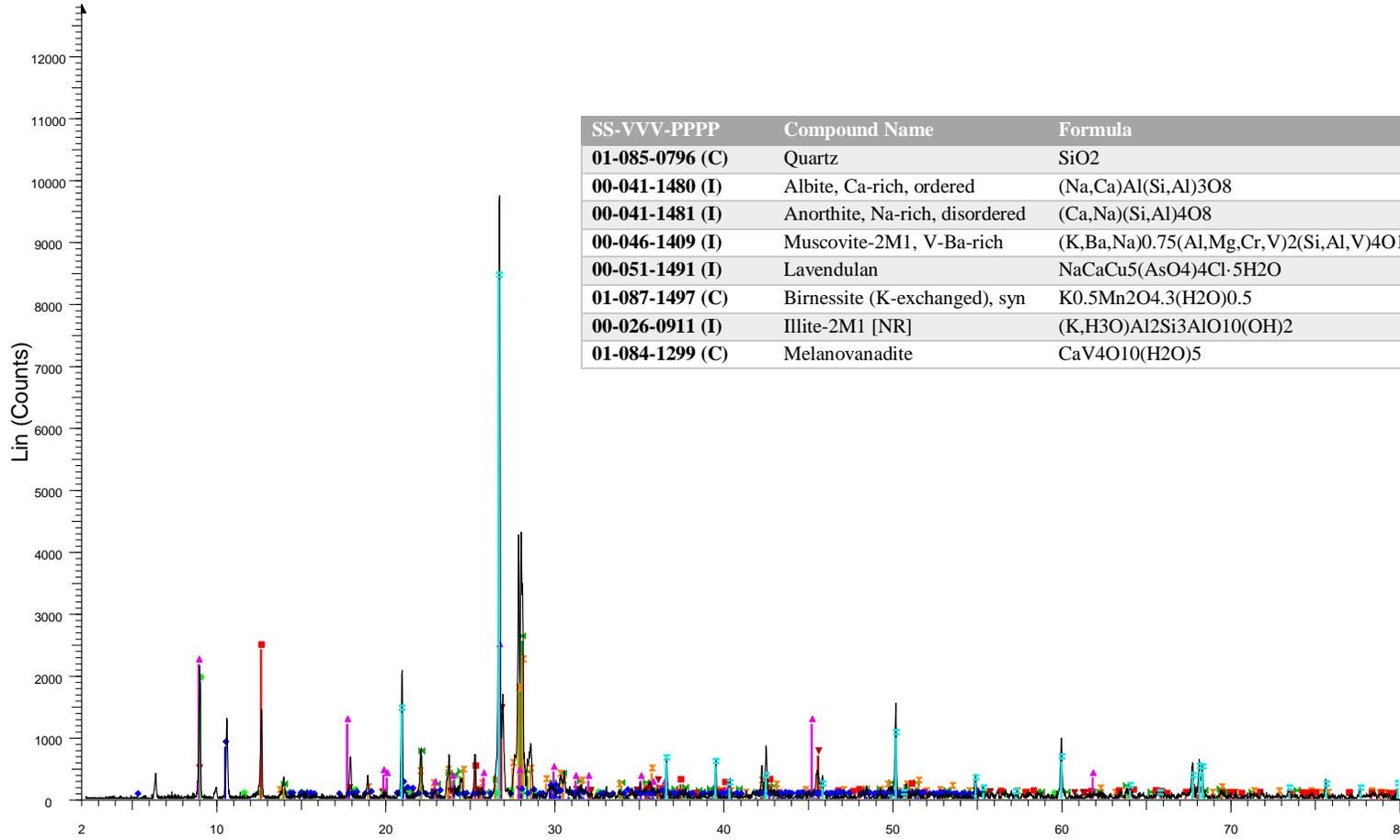


File: BT_MP-02.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 79.997 ° - Step: 0.018 ° - Step time: 18. Operations: Background 1.000,1.000 | Strip kAlpha2 0.500 | Import

■ 00-041-1480 (I) - Albite, Ca-rich, ordered - (Na,Ca)Al(Si,Al)3O8 - Y: 36.08 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - T
■ 00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 73.47 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4
■ 00-018-1202 (I) - Anorthite, Na-rich, intermediate - (Ca,Na)(Si,Al)4O8 - Y: 16.99 % - d x by: 1. - WL: 1.54
■ 01-083-1939 (C) - Andesine - Na0.685Ca0.347Al1.46Si2.54O8 - Y: 28.85 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tr
■ 01-078-0434 (C) - Labradorite - Na0.45Ca0.55Al1.55Si2.45O8 - Y: 30.68 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tri
■ 00-046-1409 (I) - Muscovite-2M1, V-Ba-rich - (K,Ba,Na)0.75(Al,Mg,Cr,V)2(Si,Al,V)4O10(OH,O)2 - Y: 34
■ 01-087-1497 (C) - Birnessite (K-exchanged), syn - K0.5Mn2O4.3(H2O)0.5 - Y: 5.32 % - d x by: 1. - WL: 1
■ 01-083-1049 (C) - Cordierite cuprian, syn - (Mg1.91Cu0.09)(Al4Si5O18) - Y: 8.90 % - d x by: 1. - WL: 1.5

Figura 22. Difractograma sedimento total muestra 2

03



File: BT_MP-03.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 79.997 ° - Step: 0.018 ° - Step time: 18. Operations: Background 1.000,1.000 | Strip kAlpha2 0.500 | Import

01-085-0796 (C) - Quartz - SiO₂ - Y: 65.46 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91180 - b 4.911

00-041-1480 (I) - Albite, Ca-rich, ordered - (Na,Ca)Al(Si,Al)₃O₈ - Y: 19.91 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - T

00-041-1481 (I) - Anorthite, Na-rich, disordered - (Ca,Na)(Si,Al)₄O₈ - Y: 17.00 % - d x by: 1. - WL: 1.540

00-046-1409 (I) - Muscovite-2M1, V-Ba-rich - (K,Ba,Na)_{0.75}(Al,Mg,Cr,V)₂(Si,Al,V)₄O₁₀(OH,O)₂ - Y: 10.

00-051-1491 (I) - Lavendulan - NaCaCu₅(AsO₄)₄Cl·5H₂O - Y: 14.71 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthor

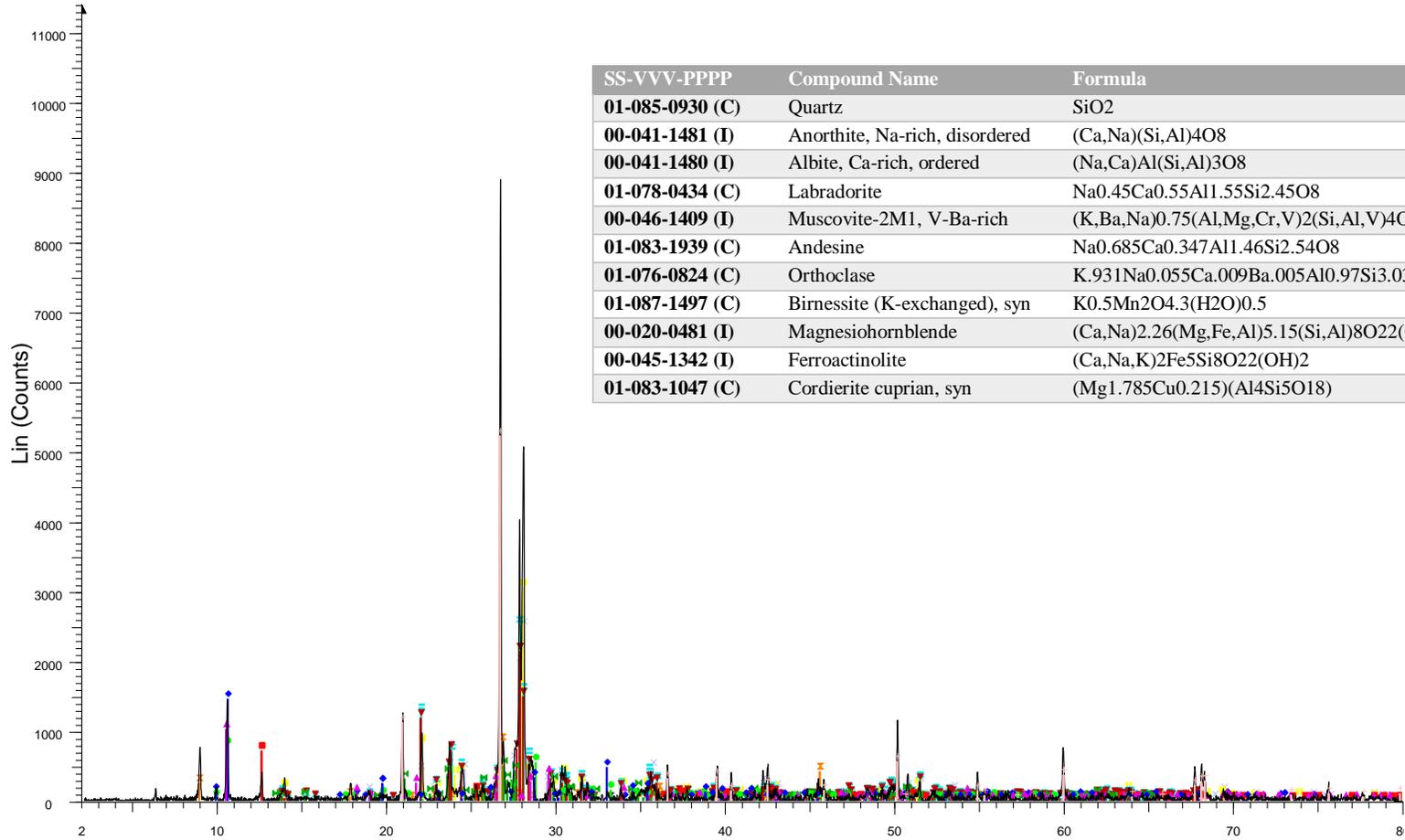
01-087-1497 (C) - Birnessite (K-exchanged), syn - K_{0.5}Mn₂O_{4.3}(H₂O)_{0.5} - Y: 18.81 % - d x by: 1. - WL:

00-026-0911 (I) - Illite-2M1 [NR] - (K,H₃O)Al₂Si₃AlO₁₀(OH)₂ - Y: 18.88 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Mo

01-084-1299 (C) - Melanovanadite - CaV₄O₁₀(H₂O)₅ - Y: 6.56 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a

Figura 23. Difractograma sedimento total muestra 3

04



SS-VVV-PPPP	Compound Name	Formula
01-085-0930 (C)	Quartz	SiO ₂
00-041-1481 (I)	Anorthite, Na-rich, disordered	(Ca,Na)(Si,Al) ₄ O ₈
00-041-1480 (I)	Albite, Ca-rich, ordered	(Na,Ca)Al(Si,Al) ₃ O ₈
01-078-0434 (C)	Labradorite	Na _{0.45} Ca _{0.55} Al _{1.55} Si _{2.45} O ₈
00-046-1409 (I)	Muscovite-2M1, V-Ba-rich	(K,Ba,Na) _{0.75} (Al,Mg,Cr,V) ₂ (Si,Al,V) ₄ O ₁₀ (OH,O) ₂
01-083-1939 (C)	Andesine	Na _{0.685} Ca _{0.347} Al _{1.46} Si _{2.54} O ₈
01-076-0824 (C)	Orthoclase	K _{0.931} Na _{0.055} Ca _{0.009} Ba _{0.005} Al _{0.97} Si _{3.03} O ₈
01-087-1497 (C)	Birnessite (K-exchanged), syn	K _{0.5} Mn ₂ O _{4.3} (H ₂ O) _{0.5}
00-020-0481 (I)	Magnesiohornblende	(Ca,Na) _{2.26} (Mg,Fe,Al) _{5.15} (Si,Al) ₈ O ₂₂ (OH) ₂
00-045-1342 (I)	Ferroactinolite	(Ca,Na,K) ₂ Fe ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂
01-083-1047 (C)	Cordierite cuprian, syn	(Mg _{1.785} Cu _{0.215})(Al ₄ Si ₅ O ₁₈)

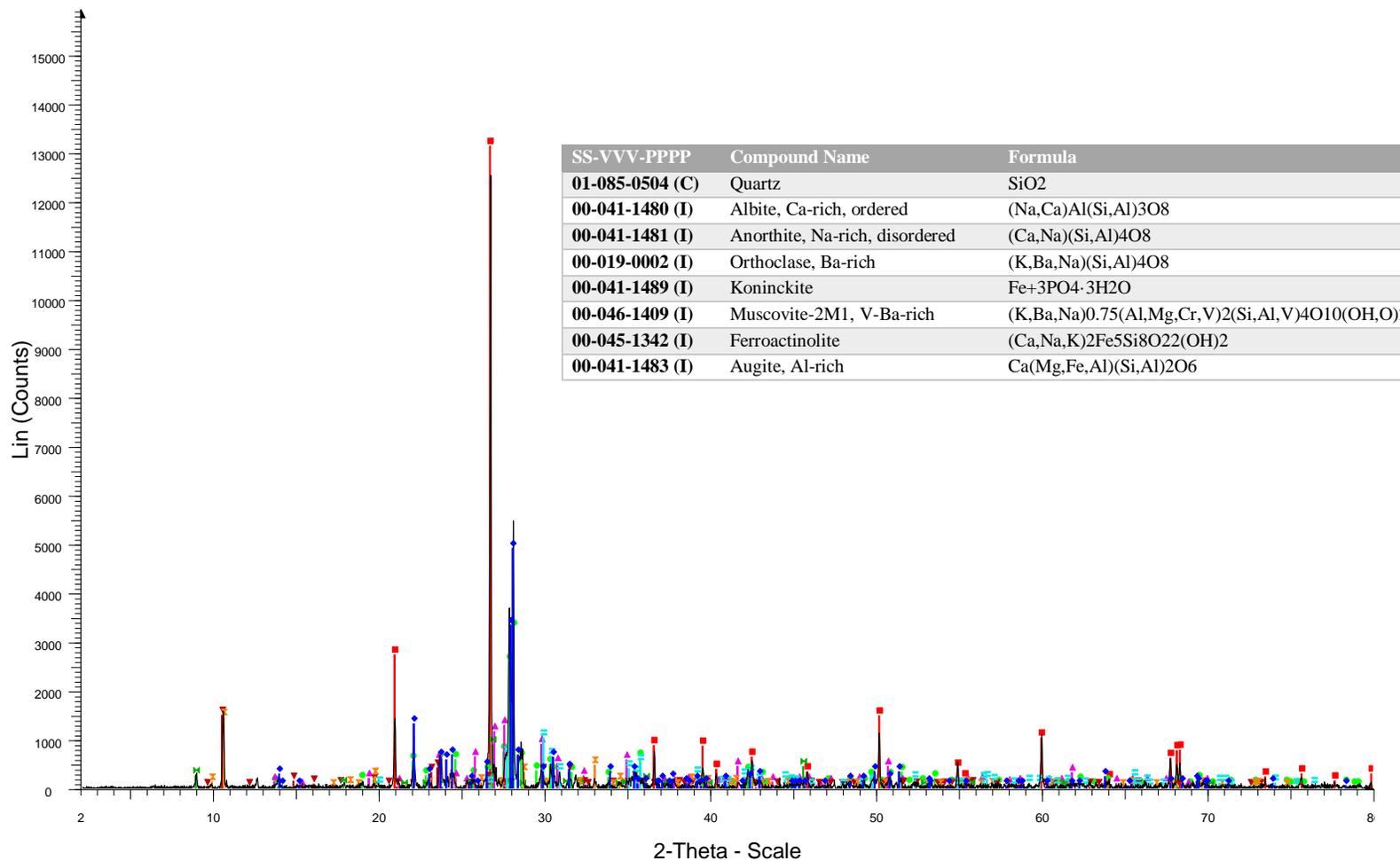
2-Theta - Scale

File: BT_MP-04.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 79.997 ° - Step: 0.018 ° - Step time: 18.
 Operations: Background 1.000,1.000 | Strip kAlpha2 0.500 | Import

- 01-085-0930 (C) - Quartz - SiO₂ - Y: 45.96 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91100 - b 4.911
- 00-041-1481 (I) - Anorthite, Na-rich, disordered - (Ca,Na)(Si,Al)₄O₈ - Y: 21.99 % - d x by: 1. - WL: 1.540
- 00-041-1480 (I) - Albite, Ca-rich, ordered - (Na,Ca)Al(Si,Al)₃O₈ - Y: 26.85 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - T
- 01-078-0434 (C) - Labradorite - Na_{0.45}Ca_{0.55}Al_{1.55}Si_{2.45}O₈ - Y: 22.20 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tri
- 00-046-1409 (I) - Muscovite-2M1, V-Ba-rich - (K,Ba,Na)_{0.75}(Al,Mg,Cr,V)₂(Si,Al,V)₄O₁₀(OH,O)₂ - Y: 7.4
- 01-083-1939 (C) - Andesine - Na_{0.685}Ca_{0.347}Al_{1.46}Si_{2.54}O₈ - Y: 18.85 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tr
- 01-076-0824 (C) - Orthoclase - K_{0.931}Na_{0.055}Ca_{0.009}Ba_{0.005}Al_{0.97}Si_{3.03}O₈ - Y: 4.42 % - d x by: 1. - WL
- 01-087-1497 (C) - Birnessite (K-exchanged), syn - K_{0.5}Mn₂O_{4.3}(H₂O)_{0.5} - Y: 6.31 % - d x by: 1. - WL: 1
- 00-020-0481 (I) - Magnesiohornblende - (Ca,Na)_{2.26}(Mg,Fe,Al)_{5.15}(Si,Al)₈O₂₂(OH)₂ - Y: 6.94 % - d x b
- 00-045-1342 (I) - Ferroactinolite - (Ca,Na,K)₂Fe₅Si₈O₂₂(OH)₂ - Y: 12.85 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - M
- 01-083-1047 (C) - Cordierite cuprian, syn - (Mg_{1.785}Cu_{0.215})(Al₄Si₅O₁₈) - Y: 9.04 % - d x by: 1. - WL:

Figura 24. Difractograma sedimento total muestra 4

05



File: BT_MP-05.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 79.997 ° - Step: 0.018 ° - Step time: 18. Operations: Background 1.000,1.000 | Strip kAlpha2 0.500 | Import

■ 01-085-0504 (C) - Quartz - SiO2 - Y: 82.69 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91280 - b 4.912
◆ 00-041-1480 (I) - Albite, Ca-rich, ordered - (Na,Ca)Al(Si,Al)3O8 - Y: 30.92 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - T
■ 00-041-1481 (I) - Anorthite, Na-rich, disordered - (Ca,Na)(Si,Al)4O8 - Y: 20.67 % - d x by: 1. - WL: 1.540
▲ 00-019-0002 (I) - Orthoclase, Ba-rich - (K,Ba,Na)(Si,Al)4O8 - Y: 8.16 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoc
▼ 00-041-1489 (I) - Koninckite - Fe+3PO4·3H2O - Y: 9.43 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 11.9
■ 00-046-1409 (I) - Muscovite-2M1, V-Ba-rich - (K,Ba,Na)0.75(Al,Mg,Cr,V)2(Si,Al,V)4O10(OH,O)2 - Y: 5.6
■ 00-045-1342 (I) - Ferroactinolite - (Ca,Na,K)2Fe5Si8O22(OH)2 - Y: 9.16 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Mo
■ 00-041-1483 (I) - Augite, Al-rich - Ca(Mg,Fe,Al)(Si,Al)2O6 - Y: 6.54 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monocli

Figura 25. Difractograma sedimento total muestra 5

Concentrados de minerales pesados

CMP-03

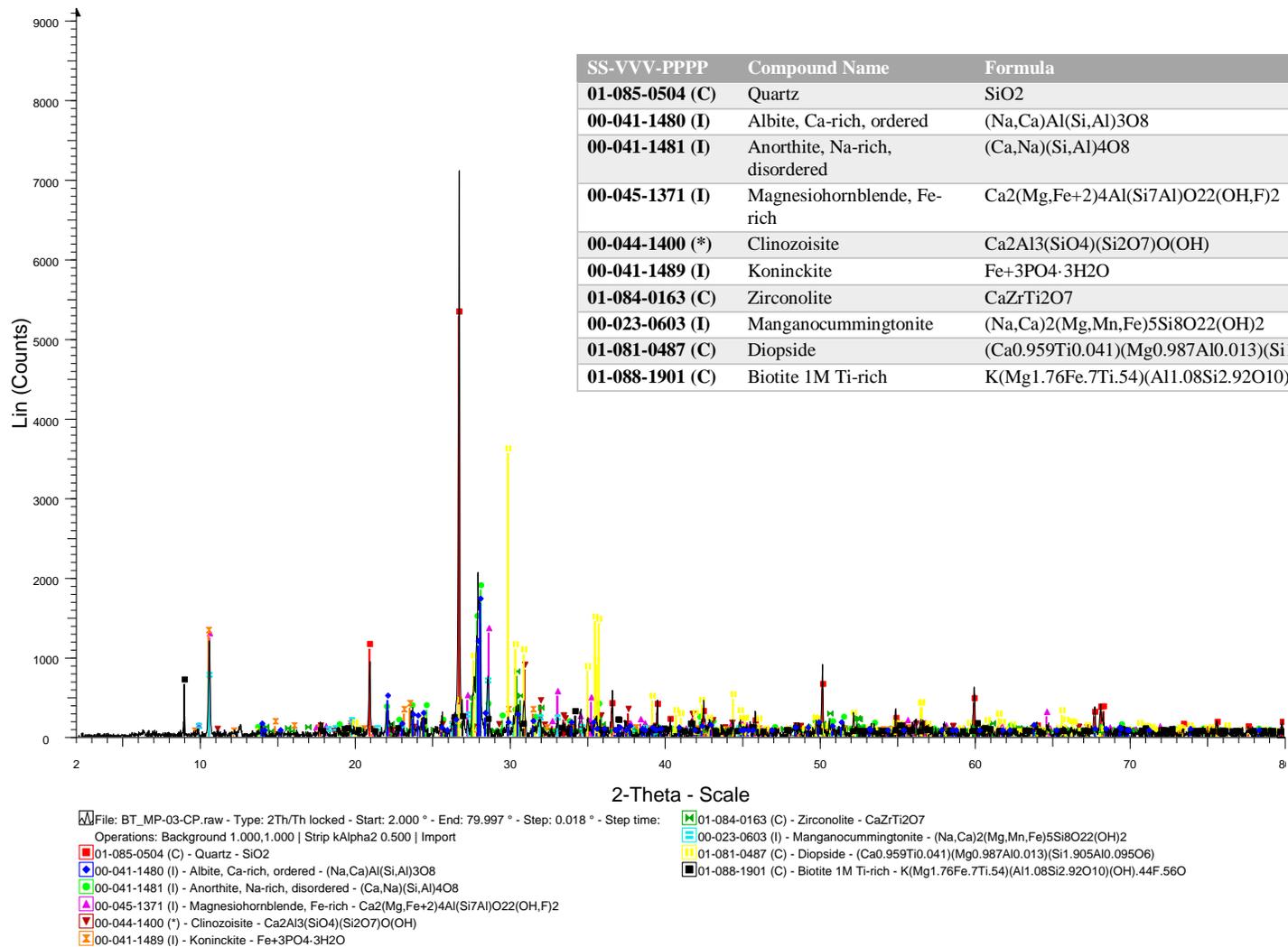
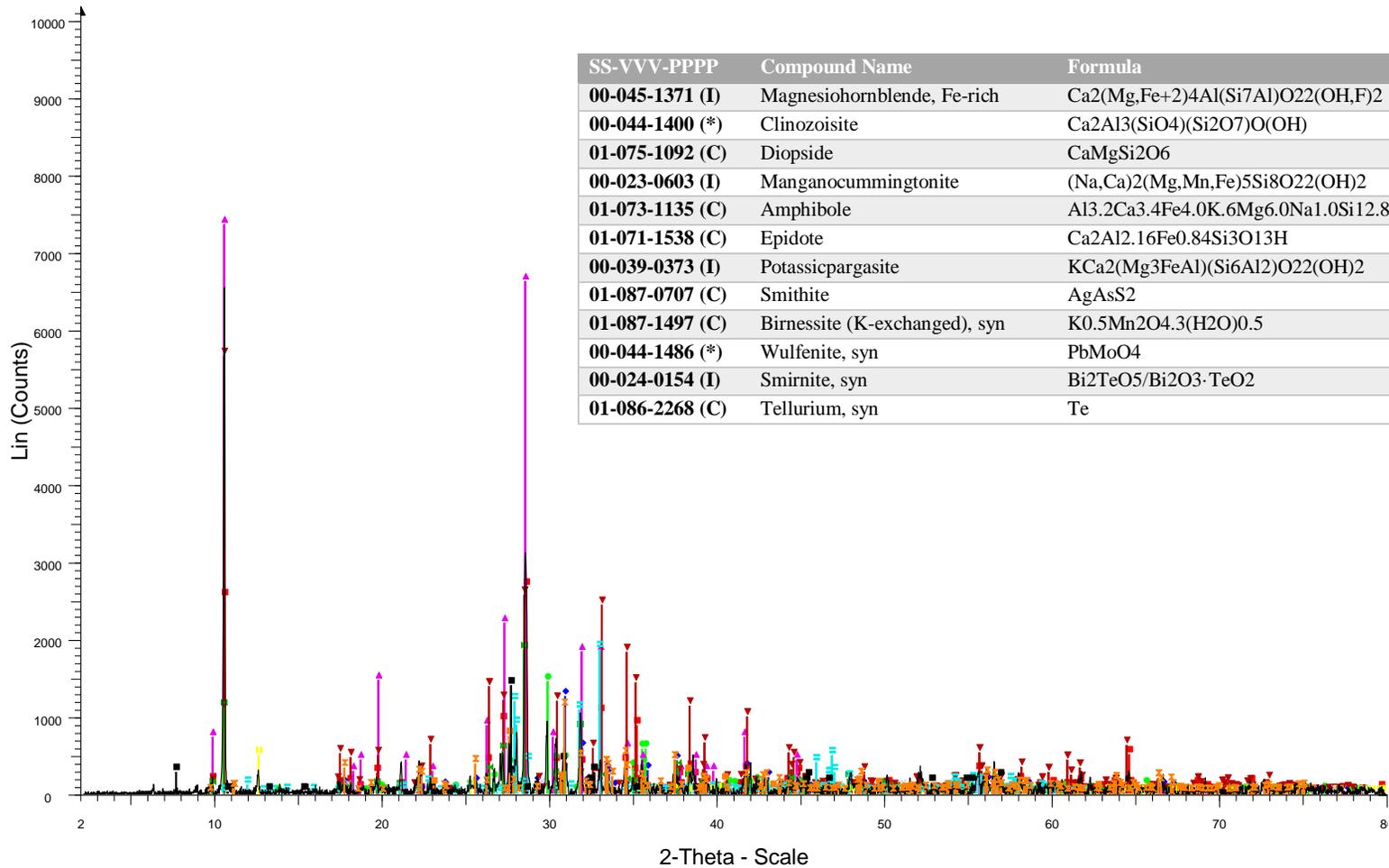


Figura 26. Difractograma concentrado minerales pesados muestra 3

CMP-05

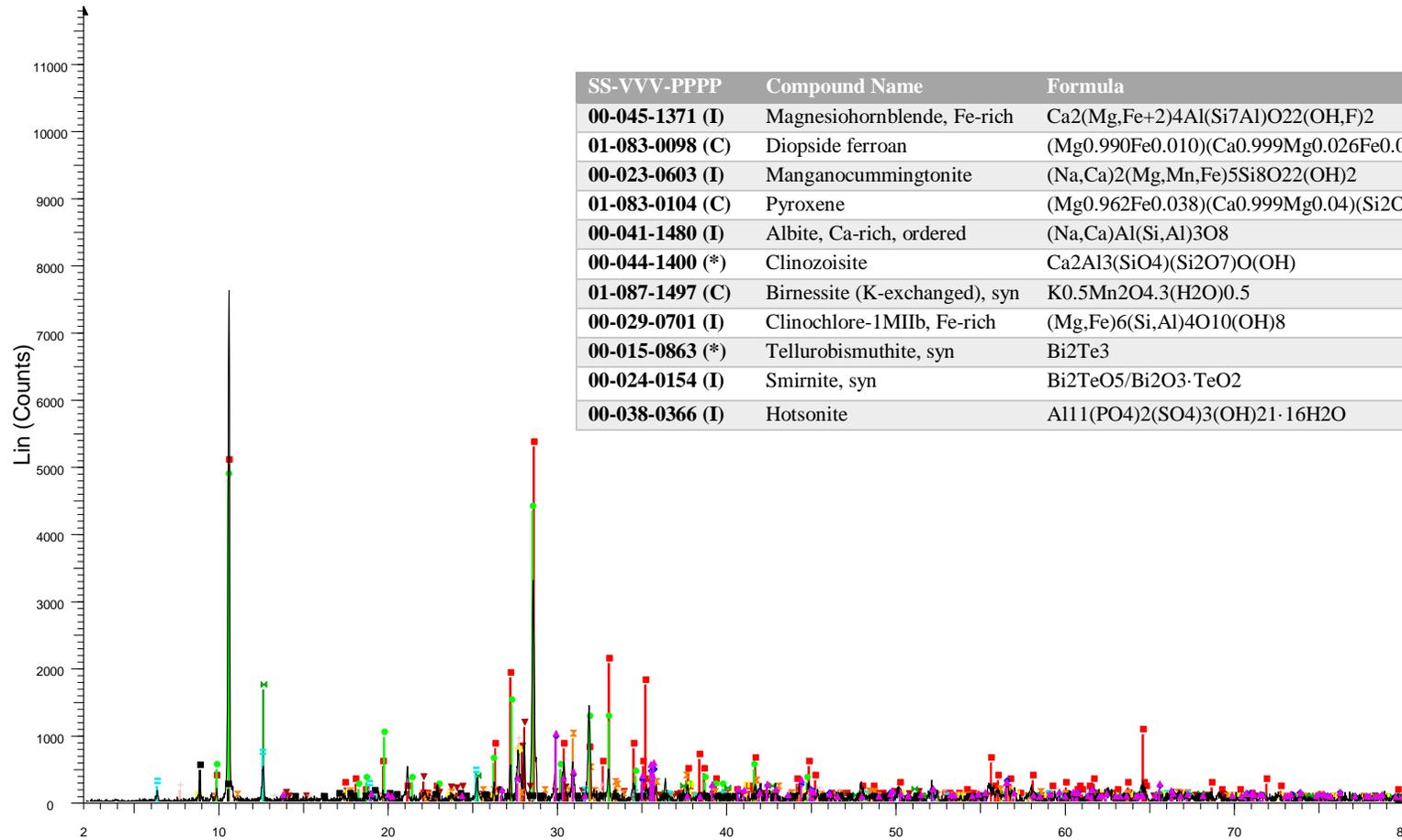


SS-VVV-PPPP	Compound Name	Formula
00-045-1371 (I)	Magnesiohornblende, Fe-rich	Ca ₂ (Mg,Fe+2) ₄ Al(Si ₇ Al)O ₂₂ (OH,F) ₂
00-044-1400 (*)	Clinozoisite	Ca ₂ Al ₃ (SiO ₄)(Si ₂ O ₇)O(OH)
01-075-1092 (C)	Diopside	CaMgSi ₂ O ₆
00-023-0603 (I)	Manganocummingtonite	(Na,Ca) ₂ (Mg,Mn,Fe) ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂
01-073-1135 (C)	Amphibole	Al _{3.2} Ca _{3.4} Fe _{4.0} K _{.6} Mg _{6.0} Na _{1.0} Si _{12.8} O ₄₄ (OH) ₄
01-071-1538 (C)	Epidote	Ca ₂ Al _{2.16} Fe _{0.84} Si ₃ O ₁₃ H
00-039-0373 (I)	Potassicpargasite	KCa ₂ (Mg ₃ FeAl)(Si ₆ Al ₂)O ₂₂ (OH) ₂
01-087-0707 (C)	Smithite	AgAsS ₂
01-087-1497 (C)	Birnessite (K-exchanged), syn	K _{0.5} Mn ₂ O _{4.3} (H ₂ O) _{0.5}
00-044-1486 (*)	Wulfenite, syn	PbMoO ₄
00-024-0154 (I)	Smirnite, syn	Bi ₂ TeO ₅ /Bi ₂ O ₃ ·TeO ₂
01-086-2268 (C)	Tellurium, syn	Te

File: BT_MP-05-CP.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 79.997 ° - Step: 0.018 ° - Step time: 00-039-0373 (I) - Potassicpargasite - KCa₂(Mg₃FeAl)(Si₆Al₂)O₂₂(OH)₂
 Operations: Background 1.000,1.000 | Strip kAlpha2 0.500 | Import 01-087-0707 (C) - Smithite - AgAsS₂
 00-045-1371 (I) - Magnesiohornblende, Fe-rich - Ca₂(Mg,Fe+2)₄Al(Si₇Al)O₂₂(OH,F)₂ 01-087-1497 (C) - Birnessite (K-exchanged), syn - K_{0.5}Mn₂O_{4.3}(H₂O)_{0.5}
 00-044-1400 (*) - Clinozoisite - Ca₂Al₃(SiO₄)(Si₂O₇)O(OH) 00-044-1486 (*) - Wulfenite, syn - PbMoO₄
 01-075-1092 (C) - Diopside - CaMgSi₂O₆ 00-024-0154 (I) - Smirnite, syn - Bi₂TeO₅/Bi₂O₃·TeO₂
 00-023-0603 (I) - Manganocummingtonite - (Na,Ca)₂(Mg,Mn,Fe)₅Si₈O₂₂(OH)₂ 01-086-2268 (C) - Tellurium, syn - Te
 01-073-1135 (C) - Amphibole - Al_{3.2}Ca_{3.4}Fe_{4.0}K_{.6}Mg_{6.0}Na_{1.0}Si_{12.8}O₄₄(OH)₄
 01-071-1538 (C) - Epidote - Ca₂Al_{2.16}Fe_{0.84}Si₃O₁₃H

Figura 27. Difractograma concentrado minerales pesados muestra 5

CMP-08

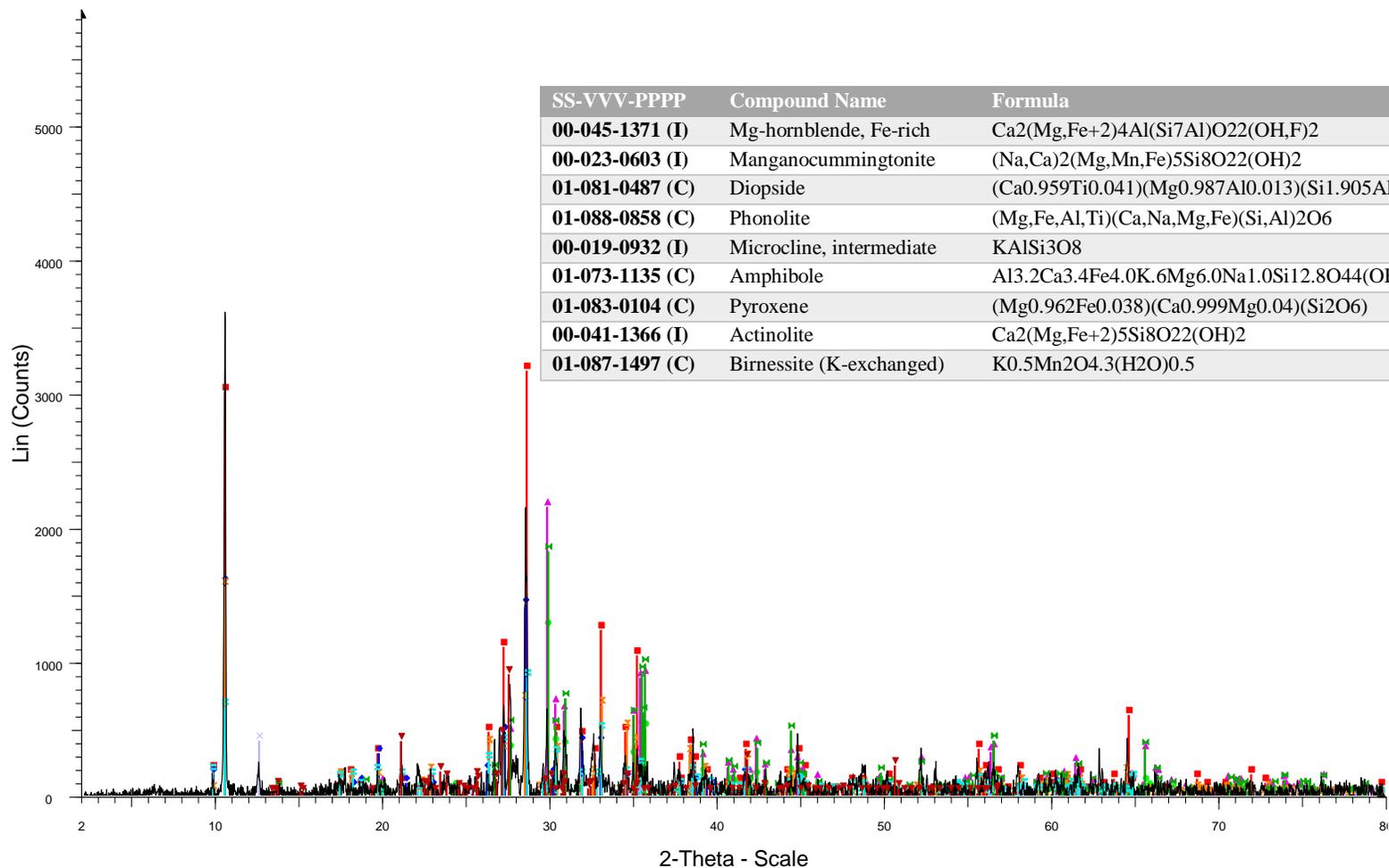


SS-VVV-PPPP	Compound Name	Formula
00-045-1371 (I)	Magnesiohornblende, Fe-rich	$\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}+2)_4\text{Al}(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{22}(\text{OH}, \text{F})_2$
01-083-0098 (C)	Diopside ferroan	$(\text{Mg}_{0.990}\text{Fe}_{0.010})(\text{Ca}_{0.999}\text{Mg}_{0.026}\text{Fe}_{0.004})(\text{Si}_2\text{O}_6)$
00-023-0603 (I)	Manganocummingtonite	$(\text{Na}, \text{Ca})_2(\text{Mg}, \text{Mn}, \text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
01-083-0104 (C)	Pyroxene	$(\text{Mg}_{0.962}\text{Fe}_{0.038})(\text{Ca}_{0.999}\text{Mg}_{0.04})(\text{Si}_2\text{O}_6)$
00-041-1480 (I)	Albite, Ca-rich, ordered	$(\text{Na}, \text{Ca})\text{Al}(\text{Si}, \text{Al})_3\text{O}_8$
00-044-1400 (*)	Clinzoisite	$\text{Ca}_2\text{Al}_3(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$
01-087-1497 (C)	Birnessite (K-exchanged), syn	$\text{K}_{0.5}\text{Mn}_2\text{O}_{4.3}(\text{H}_2\text{O})_{0.5}$
00-029-0701 (I)	Clinochlore-1MIIb, Fe-rich	$(\text{Mg}, \text{Fe})_6(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
00-015-0863 (*)	Tellurobismuthite, syn	Bi_2Te_3
00-024-0154 (I)	Smirnite, syn	$\text{Bi}_2\text{TeO}_5/\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot \text{TeO}_2$
00-038-0366 (I)	Hotsonite	$\text{Al}_{11}(\text{PO}_4)_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{21} \cdot 16\text{H}_2\text{O}$

File: BT_MP-08-CP.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 79.997 ° - Step: 0.018 ° - Step time: 01-087-1497 (C) - Birnessite (K-exchanged), syn - $\text{K}_{0.5}\text{Mn}_2\text{O}_{4.3}(\text{H}_2\text{O})_{0.5}$
 Operations: Background 1.000, 1.000 | Strip kAlpha2 0.500 | Import
 00-045-1371 (I) - Magnesiohornblende, Fe-rich - $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}+2)_4\text{Al}(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{22}(\text{OH}, \text{F})_2$
 01-083-0098 (C) - Diopside ferroan - $(\text{Mg}_{0.990}\text{Fe}_{0.010})(\text{Ca}_{0.999}\text{Mg}_{0.026}\text{Fe}_{0.004})(\text{Si}_2\text{O}_6)$
 00-023-0603 (I) - Manganocummingtonite - $(\text{Na}, \text{Ca})_2(\text{Mg}, \text{Mn}, \text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
 01-083-0104 (C) - Pyroxene - $(\text{Mg}_{0.962}\text{Fe}_{0.038})(\text{Ca}_{0.999}\text{Mg}_{0.04})(\text{Si}_2\text{O}_6)$
 00-041-1480 (I) - Albite, Ca-rich, ordered - $(\text{Na}, \text{Ca})\text{Al}(\text{Si}, \text{Al})_3\text{O}_8$
 00-044-1400 (*) - Clinzoisite - $\text{Ca}_2\text{Al}_3(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$
 00-029-0701 (I) - Clinochlore-1MIIb, Fe-rich - $(\text{Mg}, \text{Fe})_6(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
 00-015-0863 (*) - Tellurobismuthite, syn - Bi_2Te_3
 00-024-0154 (I) - Smirnite, syn - $\text{Bi}_2\text{TeO}_5/\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot \text{TeO}_2$
 00-038-0366 (I) - Hotsonite - $\text{Al}_{11}(\text{PO}_4)_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{21} \cdot 16\text{H}_2\text{O}$

Figura 28. Difractograma concentrado minerales pesados muestra 8

CMP-11



File: BT_MP-11-CP.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 79.997 ° - Step: 0.018 ° - Step time: 01-083-0104 (C) - Pyroxene - $(\text{Mg}_{0.962}\text{Fe}_{0.038})(\text{Ca}_{0.999}\text{Mg}_{0.04})(\text{Si}_2\text{O}_6)$
 Operations: Background 1.000,1.000 | Strip kAlpha2 0.500 | Import 00-041-1366 (I) - Actinolite - $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{+2})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
 00-045-1371 (I) - Magnesianhornblende, Fe-rich - $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{+2})_4\text{Al}(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{22}(\text{OH}, \text{F})_2$ 01-087-1497 (C) - Birnessite (K-exchanged), syn - $\text{K}_{0.5}\text{Mn}_2\text{O}_4.3(\text{H}_2\text{O})_{0.5}$
 00-023-0603 (I) - Manganocummingtonite - $(\text{Na}, \text{Ca})_2(\text{Mg}, \text{Mn}, \text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
 01-081-0487 (C) - Diopside - $(\text{Ca}_{0.959}\text{Ti}_{0.041})(\text{Mg}_{0.987}\text{Al}_{0.013})(\text{Si}_{1.905}\text{Al}_{0.095}\text{O}_6)$
 01-088-0858 (C) - Phonolite - $(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al}, \text{Ti})(\text{Ca}, \text{Na}, \text{Mg}, \text{Fe})(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$
 00-019-0932 (I) - Microcline, intermediate - KAlSi_3O_8
 01-073-1135 (C) - Amphibole - $\text{Al}_{3.2}\text{Ca}_{3.4}\text{Fe}_{4.0}\text{K}_{6.0}\text{Mg}_{6.0}\text{Na}_{1.0}\text{Si}_{12.8}\text{O}_{44}(\text{OH})_4$

Figura 29. Difractograma concentrado minerales pesados muestra 11

CMP-13

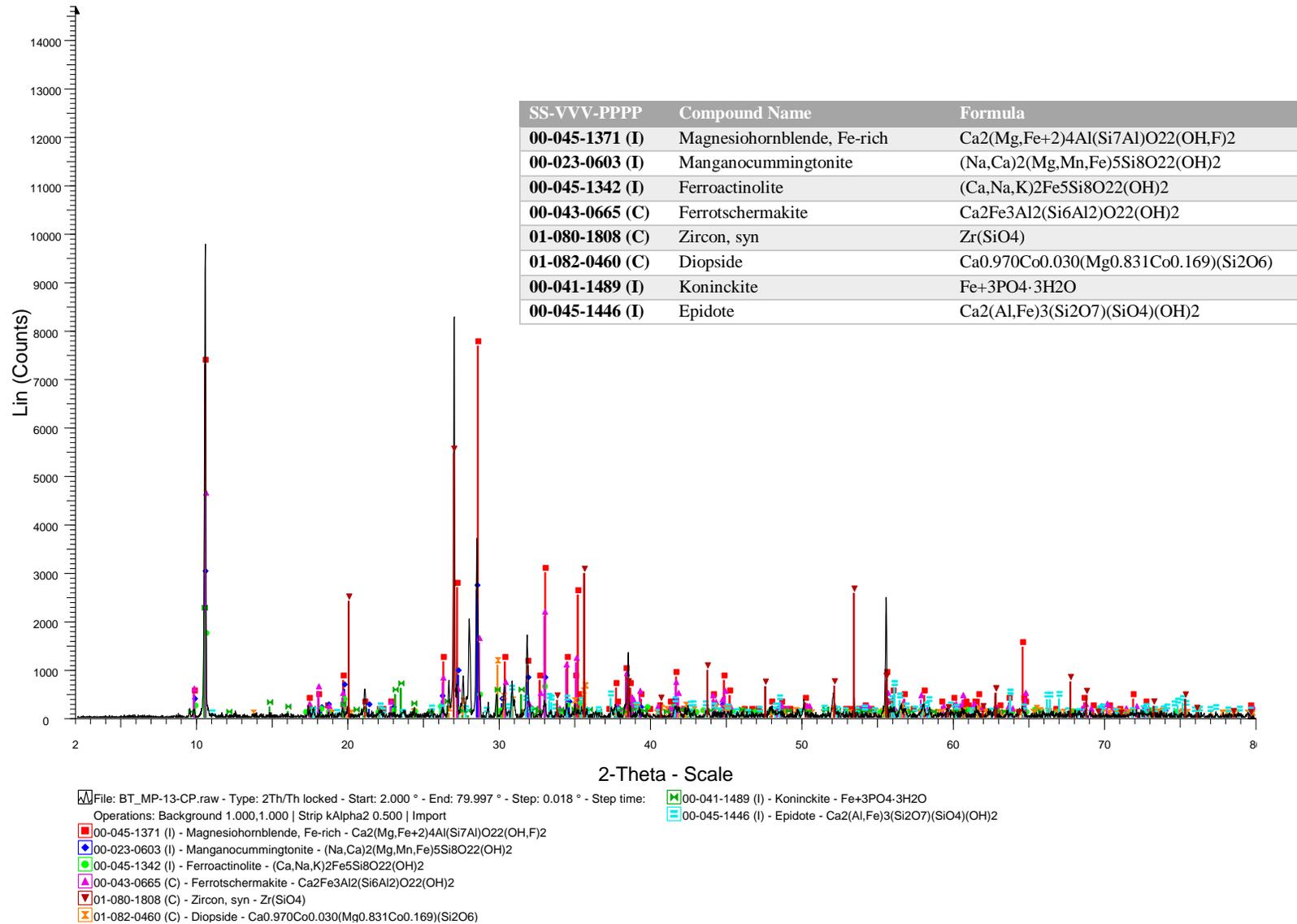


Figura 30. Difractograma concentrado minerales pesados muestra 13