



UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL NORTE

Facultad de Ingeniería y Ciencias Geológicas

Departamento de Ciencias Geológicas

**PETRÓGENESIS DE LOS PÓRFIDOS PALEOCENOS
DEL DEPÓSITO DE MOCHA, PRIMERA REGIÓN DE
TARAPACÁ**

**Tesis para optar al título de Magister en Geología Económica
Mención Exploración Minera**

PATRICIO CELEDONIO FAÚNDEZ HERNÁNDEZ

Profesor Guía: Dr. Shoji Kojima

Antofagasta, Chile

2016

A mis Padres: José y Margarita

A mi esposa: Viviana

A mis hijos: Patricio y Felipe

ÍNDICE

	Página
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	01
1.1 GENERALIDADES	01
1.2 OBJETIVOS	02
1.2.1 Objetivo general	02
1.2.2 Objetivos específicos	02
1.3 UBICACIÓN, ACCESOS E INFRAESTRUCTURA.....	03
1.4 ANTECEDENTES	04
1.5 METODO DE TRABAJO	07
1.5.1 Gabinete y terreno	07
1.5.2 Laboratorio	07
1.5.3 Análisis de información	08
1.6 TRABAJOS ANTERIORES	08
CAPÍTULO II	
MARCO GEOLÓGICO	09
2.1 GEOLOGIA DISTRITAL	09
2.1.1 Rocas Estratificadas	11
2.1.1.1 Cretácico superior	11
2.1.1.2 Oligoceno superior- Mioceno	11
2.1.1.3 Mioceno superior – Plioceno	12
2.1.2 Rocas Intrusivas	12
2.1.3 Estructuras	13
2.2 GEOLOGIA SECTOR MOCHA.....	14
2.2.1 Generalidades	14
2.2.2 Litología	16
2.2.2.1 Rocas Estratificadas	16
2.2.2.2 Rocas Intrusivas	18
2.2.3 Alteración	23

2.2.4 Estructuras	25
2.2.5 Mineralización	25
2.2.6 Modelo Geológico	26

CAPÍTULO III

GEOQUÍMICA	32
3.1 GENERALIDADES	32
3.2 ELEMENTOS MAYORES	33
3.2.1 Diagramas Discriminantes y Afinidad Magmática	34
3.2.2 Diagramas Harker	35
3.3 ELEMENTOS MENORES	38
3.3.1 Diagramas Discriminantes y Afinidad Magmática	40
3.3.2 Diagramas Harker Alto Potencial Iónico (HFSE)	41
3.3.3 Diagramas Harker Bajo Potencia Iónico (LILE)	43
3.4 TIERRAS RARAS	44
3.5 ADAKITAS	46
3.6 COMPARACIÓN INCA DE ORO, MOCHA Y TOKI	48

CAPÍTULO IV

GEOCRONOLOGIA Y ANALISIS ISOTOPOS Lu-Hf	50
4.1 GENERALIDADES	50
4.2 MÉTODO U/Pb EN ZIRCONES	50
4.3 MÉTODO Ar/Ar	54
4.4 MÉTODO Re/Os	55
4.5 ANÁLISIS ISOTOPOS Lu-Hf	56
4.5.1 Antecedentes	56
4.5.2 Procedimientos	57
4.5.3 Resultados Isotopos de Oxigeno	59
4.5.4 Resultados Isotopos de Hafnio	60

CAPÍTULO V

MICROTERMOMETRÍA	62
5.1 GENERALIDADES	62
5.2 PROCEDIMIENTO DE TRABAJO	64
5.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS INCLUSIONES FLUIDAS	64
5.3.1 Tipos de Inclusiones Fluidas	65
5.3.2 Temperaturas de Homogeneización	66
5.3.3 Salinidad	67
5.4 ALTERACIÓN Y MINERALIZACIÓN	69
5.5 PRESIÓN Y PROFUNDIDAD DE FORMACIÓN	74

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	76
6.1 DISCUSIÓN	76
6.2 CONCLUSIONES	78

REFERENCIAS	81
--------------------------	-----------

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO 1	Certificados de análisis químico
ANEXO 2	Descripciones petrográficas y calcográficas
ANEXO 3	Dataciones radiométricas U-Pb, ⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar y Re/Os
ANEXO 4	Tabla de resultados mediciones microtermométricas

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Franjas metalogénicas definidas por Sillitoe (1981,1988)	01
Figura 2: Mapa de ubicación y accesos	04
Figura 3: Cuerpo mineralizado de Mocha y distribución de sondajes	06
Figura 4: Geología del Distrito Mocha	10
Figura 5: Lineamientos y Estructuras: a) Imagen satelital, b) Magnetometría	13
Figura 6: a) Estructuras de Anomalía de Bouguer y b) geología SNGM 1:1Millón	14
Figura 7: Geología local Mocha.....	22
Figura 8: Alteración de superficie en Mocha	24
Figura 9: Planta con trazas de secciones y sondajes.....	27
Figura 10: Sección NE-45. Litología	29
Figura 11: Sección NE-45. Litología	29
Figura 12: Diagrama SiO ₂ vs Álcalis	34
Figura 13: Diagrama AFM	34
Figura 14: Clasificación TAS, adaptado por Wilson 1989	35
Figura 15: Diagrama Harker. Elementos Mayores	37
Figura 16: Diagramas de discriminación de ambientes tectónicos de Pearce y otros (1984)	40
Figura 17: Diagrama de clasificación de granitos Tipo S e I (Hine et al.,1978)	40
Figura 18: Diagrama de alto potencial iónico. Elementos menores	42
Figura 19: Diagrama de bajo potencial iónico. Elementos menores	43
Figura 20: Diagrama de Tierras Raras de intrusivos	45
Figura 21: Diagramas de razones Sr/Y y La/Yb versus SiO ₂	47
Figura 22: Razones Sr/Y y La/Yb en distintos centros mineralizados.....	48
Figura 23: Razones La/Sm y Sm/Yb en distintos centros mineralizados.....	49
Figura 24: Formas de los zircones y áreas analizadas	51
Figura 25: Gráfica de dispersión de la edad en los cristales de zircón	52
Figura 26: Espectro de edad Ar/Ar, muestra 106396	55
Figura 27: Diagrama de $\delta^{18}\text{O}$ versus $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	60
Figura 28: Diagrama de ϵHf versus $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	61

Figura 29: Relación de muestras para estudios de inclusiones fluidas	63
Figura 30: Temperaturas de homogeneización	67
Figura 31: Salinidad versus temperatura	68
Figura 32: Histograma de salinidad por inclusión y por roca	69
Figura 33: Diagrama de caja. Salinidad	70
Figura 34: Diagrama de caja. Temperatura	71
Figura 35: Tipos de fluidos	72
Figura 36: Paragénesis metálica – no metálica	73
Figura 37: Diagrama de Temperatura Presión	75

INDICE DE FOTORAFIAS

	Página
Fotografía 1: Descripción muestra 160406	16
Fotografía 2: Descripción muestra 160384	17
Fotografía 3: Vista Panorámica de Mocha	18
Fotografía 4: Descripción muestra 160419	19
Fotografía 5: Descripción muestra 160421	20
Fotografía 6: Descripción muestra 160383	28
Fotografía 7: Descripción muestra 160373	30
Fotografía 8: Descripción muestra 160358	31
Fotografía 9: Secciones pulidas transparentes de estudios de inclusiones	69

INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1: Registro de muestras para descripciones petrográficas	15
Tabla 2: Resultados óxidos mayores	33
Tabla 3: Resultados elementos menores	39
Tabla 4: Resultados elementos trazas	44
Tabla 5: Comparación firma Adakítica con Mocha	47
Tabla 6: Resultados dataciones en los cristales de zircón	53

Tabla 7: Datación Re/Os en muestra 160424	56
Tabla 8: Resumen de datos de isotopos de oxígeno y Lu/Hf en zircones	59
Tabla 9: Resumen de minerales de alteración y de mena por muestra	71
Tabla 10: Presión y profundidad de formación	74

RESUMEN

El depósito de Mocha se ubica a 150 km al noreste de la ciudad de Iquique, en la quebrada de Tarapacá. Corresponde a un centro mineralizado tipo Pórfido de Cu-Mo-(Au), emplazado en la franja metalogénica del Paleoceno. La mineralización se relaciona con un complejo de pórfidos, de composición dacítica a tonalítica, que intruyen a andesitas cretácicas de la Formación Guaviña.

En la presente tesis se estudia la petrogénesis de las rocas ígneas paleocenas del yacimiento. El estudio se realizó en base a determinaciones geoquímicas, geocronológicas e inclusiones fluidas.

El análisis geoquímico y petrológico de los intrusivos permite concluir que los pórfidos son rocas muy diferenciadas con rango de sílice que fluctúa entre 57,9% a 66,5%, provenientes de un magma calcoalcalino y de ambiente tectónico de Arco, tipo I. Por su parte, el patrón las tierras raras, en las rocas mineralizadas, es similar, con un enriquecimiento en tierras raras livianas y sin anomalía significativa en Eu; con altas razones de La/Yb (20 a 30) y de Sr/Y (30 a 50) y bajas concentraciones en FeO/MgO características de magmas adakíticos. También, se observan razones altas de Sm/Yb (>5) y contenidos elevados de Sr (>300 ppm) y AlO₃ (>13,5%) rasgos propios de magmas tipo TTG formados por fusión parcial de anfibolitas bajo condiciones de alta presión.

Las dataciones de las muestras en los Pórfidos arrojan edades muy cercanas entre ellas: para U/Pb 56,14±0,61; Ar/Ar 55,31±0,16 y Re/Os 56,43±0,23, indicativas de períodos cortos de alteración y mineralización.

Finalmente, el estudio de inclusiones fluidas muestra las características y la evolución de los fluidos: desde fases tardimágmicas hasta tardías; con una profundidad de formación mínima, bajo la paleosuperficie, entre 1.013 m a 1.746 m.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

El yacimiento Mocha muestra características de alteración y mineralización comparable con depósitos del tipo Pórfido Cuprífero, formado durante el Paleoceno, junto con él; en este mismo período, se habrían generados otros depósitos, desde el sur del Perú, Cerro Verde, hasta el sector norte de Chile, Lomas Bayas. Las disposiciones de estos cuerpos mineralizados conforman franjas elongadas en dirección norte-sur. La faja de Paleoceno – Eoceno inferior se extiende por más de 1.500 km, desde la latitud 16°20'S en el sur del Perú hasta la latitud 29°S en el extremo sur de la región de Atacama en Chile (Camus, 2002). En su parte sur, entre aproximadamente las latitudes 24°S a 26°S, la franja de los sistemas porfíricos pierde su continuidad siendo reemplazada por una serie de sistemas epitermales de alta y baja sulfidación sin ninguna relación aparente con sistemas porfíricos. Al sur de la latitud 26°S, la franja reaparece y se extiende hasta los 29° donde está compuesta mayoritariamente por sistemas de pórfidos de cobre. En esta franja se reconocen a lo menos 10 cuerpos mineralizados siendo los más importante Cuajones en Perú y Cerro Colorado y Spence en Chile, ver figura 1.

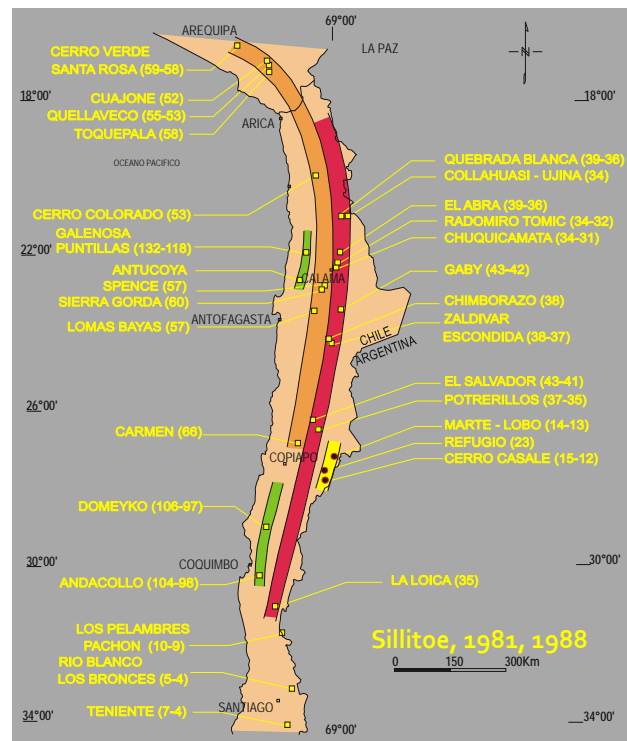


Figura 1: Franjas metalogénicas definidas por Sillitoe (1981, 1988)

El yacimiento Mocha ha sido explorado desde los años 60 por diferentes compañías mineras; adquirido por CODELCO en el año 2003, quién realiza intensas campañas de exploración, la que le permite generar un modelo geológico y estimar recursos potenciales del orden de 374 a 428 Mt de cobre fino (Vukasovic, 2015).

Los antecedentes actuales de Mocha, conjuntamente con el análisis de estudios especiales realizados sobre las rocas de este yacimiento (geocronología, inclusiones fluidas, geoquímica, petrografía), permitirán incrementar el conocimiento geológico y, adicionalmente, compararlo con las características petroquímicas de otros cuerpos emplazados en otras franjas metalogénica.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

El objetivo de este trabajo es estudiar la petrogénesis de los cuerpos intrusivos que conforman el centro mineralizado de Mocha para establecer las relaciones entre ellos y, su conexión con los diferentes eventos de alteración y mineralización.

1.2.2 Objetivos específicos

Identificar y caracterizar las diferentes unidades litológicas mediante el estudio de análisis químico de elementos mayores, menores y trazas en muestras representativas del yacimiento.

Determinar la temporalidad de los eventos de alteración y mineralización mediante caracterizaciones radiogénicas, petrográficas y de inclusiones fluidas.

Especificar la temperatura y salinidad de los fluidos hidrotermales a través del estudio de inclusiones fluidas, a su vez, determinar la temporalidad de la mineralización.

Comparar las características petroquímicas del cuerpo mineralizado de Mocha con otros yacimientos.

Avanzar en la comprensión del modelo geológico en el contexto de los depósitos de la franja de los Pórfidos Paleocenos e identificar elementos que permitan ser utilizados en la exploración de estos tipos de cuerpos mineralizados.

1.3 UBICACIÓN, ACCESOS E INFRAESTRUCTURA

El depósito mineralizado Mocha se ubica en la Quebrada de Tarapacá a 150 km al NE de Iquique y a 25 km al NNW del yacimiento Cerro Colorado, a una altitud de 2.170 m s.n.m. Se ubica en la Franja de los Pórfidos Paleocenos reconocidas en Chile desde Spence hasta Cerro Colorado y se prolonga hasta Toquepala y Cuaiones en Perú.

El proyecto se encuentra en el fondo del valle Mocha limitado por las siguientes coordenadas UTM: 7.080.500N a 7.0810.500N y 470.000E a 472.000E.

El acceso se realiza mediante la carretera internacional que une el poblado de Huara con la comuna de Colchane, fronteriza con Bolivia. A los 56 km desde Huara, se toma un desvío de tierra de 16 km que desciende a la Quebrada de Tarapacá y se accede al sector del Proyecto.

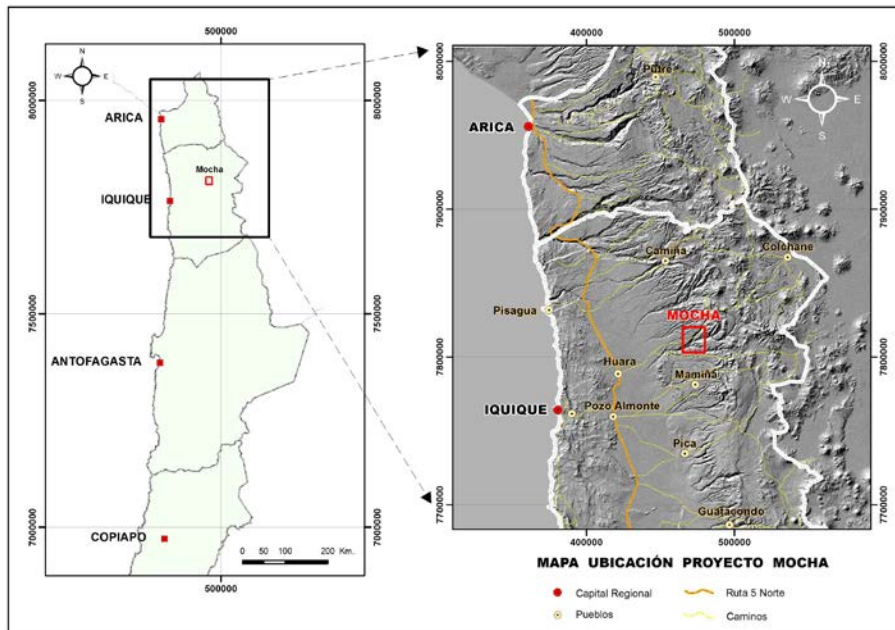


Figura 2: Mapa de ubicación y accesos.

1.4 ANTECEDENTES

El área de Mocha ha sido estudiada por diversas compañías e instituciones gubernamentales, destacando los estudios realizados por Naciones Unidas y el Instituto de Investigaciones Geológicas (1963 a 1967) y, en la década de los años 80 y 90, por las compañías mineras CONOCO, ASARCO, TECK, entre otras; las que realizan trabajos de geología de superficie, geoquímica y, en algunos casos, campañas de perforaciones. Todas ellas, destacan el potencial de esta zona.

CODELCO realiza sus primeros trabajos en el año 2001 y 2002, como parte de las actividades de exploración de los Pórfidos Paleocenos, en una franja de dirección norte-sur, de unos 500 km de largo y unos 50 km de ancho, entre los Proyectos Cerro Colorado y Spence, en Chile, hasta los Proyectos Toquepala y Cuajones, al sur del Perú. En el segundo semestre del 2002, Exploraciones CODELCO realiza dos perfiles geofísicos (20 km de TEM-AMT) las que indican anomalías favorables para contener mineralización metálica. A la luz de los

resultados obtenidos, CODELCO decide efectuar campañas de sondajes consistente en la ejecución de 25 pozos con un total perforado de 19.449,5m.

Los datos de los pozos históricos (11.132,3 m distribuidos en 57 pozos), y los realizados por CODELCO (ver Figura 3) permiten concluir a los geólogos de la Minera Estatal que la mineralización de Mocha corresponde a un sistema del tipo Pórfido Cuprífero de Cu-Mo, constituida por mineralización de cobre alojada en óxidos, mixtos, sulfuros enriquecidos y primarios con leyes superiores a 0,35%.

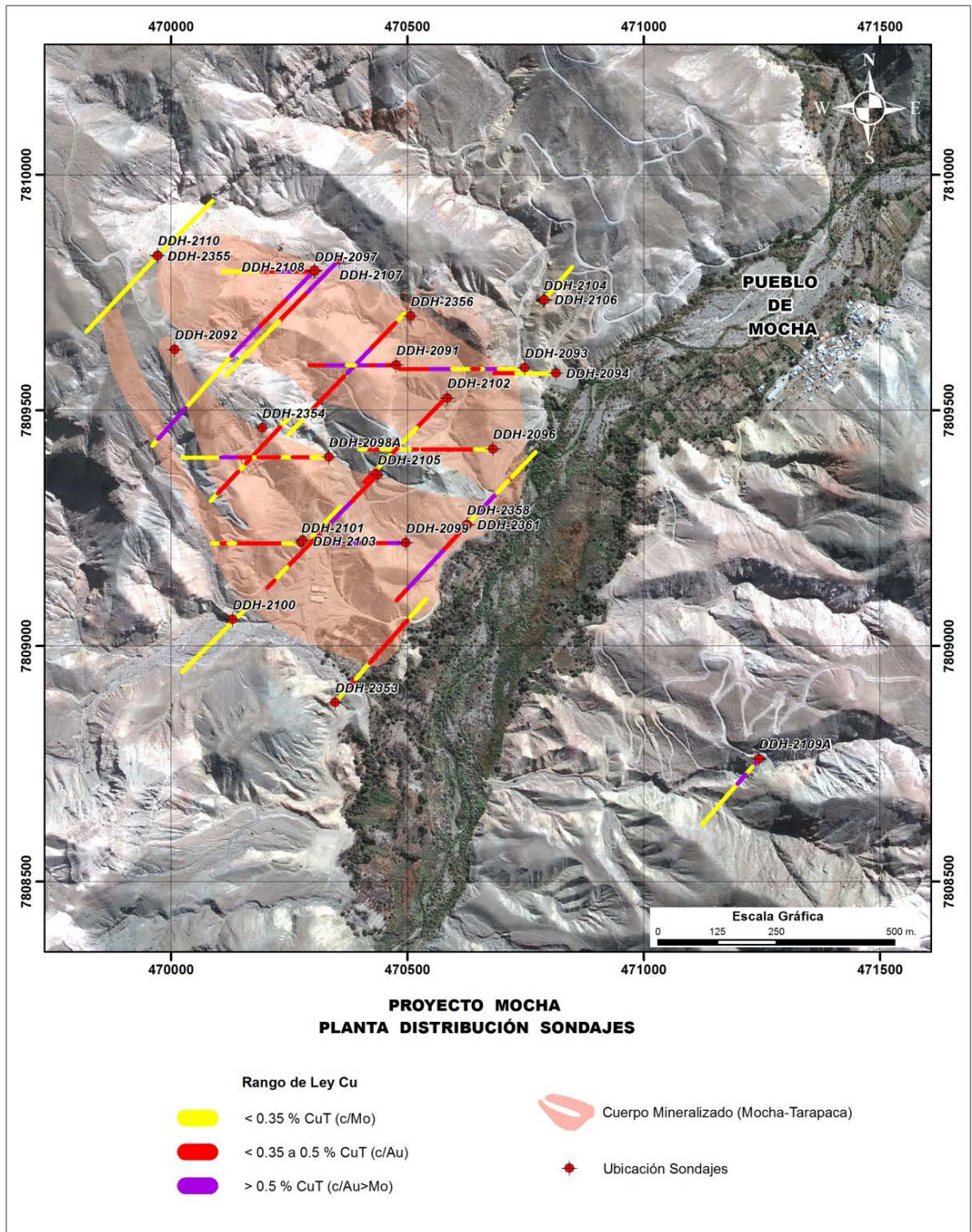


Figura 3: Cuerpo mineralizado de Mocha y distribución de sondajes.

1.5 MÉTODO DE TRABAJO

Con la finalidad de cumplir con los propósitos planteados se decide dividir las actividades en diferentes etapas, que a continuación se describen:

1.5.1 Gabinete y terreno

En primer lugar, se recopilan los antecedentes geológicos del depósito mineral, a nivel local y distrital, especialmente los estudios realizados por la empresa filial de Codelco, Exploraciones Mineras (EMSA), correspondientes al modelamiento y evaluación del proyecto minero, desarrollado entre los años 2003 al 2005. Los estudios compilados permiten seleccionar testigos de sondajes a objeto de revisar e identificar muestras representativas para diferentes estudios (petrográficos, calcográficos, análisis químicos, dataciones e inclusiones fluidas). Los trabajos de inspección de testigos y de selección de muestras se llevaron a efecto en la localidad de Mocha durante el segundo semestre del año 2012.

1.5.2 Laboratorio

Las muestras escogidas fueron enviadas a diferentes laboratorios: las de inclusiones fluidas fueron remitidas a la Universidad de Concepción; las muestras para estudios de geoquímica (elementos mayores, menores y trazas) fueron enviadas al laboratorio ALS, División Mineral, en Vancouver, Canadá; los testigos para dataciones fueron enviadas al Departamento de Geología de la Universidad de Chile, para datación de Re/Os, a la Universidad Nacional Australiana (ANU), para dataciones de U/Pb en zircones y al SERNAGEOMIN, para dataciones de Ar/Ar en sericita; finalmente, las descripciones petrográficas y calcográficas fueron realizadas por la firma Tidy y Cía. Ltda.

1.5.3 Análisis de información

La información obtenida de terreno y los resultados de los estudios especiales permiten correlacionar los antecedentes a objeto de generar el modelo petrogenético de los pórfidos que conforman el cuerpo mineralizado.

1.6 TRABAJOS ANTERIORES

A continuación, se presenta un resumen de los principales trabajos de exploración que han contribuido al conocimiento y comprensión de la génesis del yacimiento Mocha:

NACIONES UNIDAS-IIG. 1963-1967. Realizan estudios geológicos y geoquímicos; adicionalmente, ejecutan 6 pozos cortos (60 a 100m) constatando mineralización diseminada de sulfuros.

MINERA CONOCO CHILE, 1982. Realiza una campaña de sondajes diamantinos (4.944,2m distribuidos en 11 pozos) y de aire reverso (842,45 en 3 pozos). Estos trabajos permiten estimar recursos potenciales de varios cientos de millones de toneladas con leyes entre 0,4 a 0,6% de cobre.

ASARCO, 1995. Efectuó una campaña de sondajes de circulación reversa por un total de 4.681 m, logrando delinear un recurso secundario de 41,9 Mt de 0,51% de cobre.

RSMY-TECK CORPORATION, 1998. Ejecuta 1.000 metros de sondajes aire reverso, distribuidos en 6 pozos. Esta campaña confirma la extensión del sistema porfírico.

CODELCO, GERENCIA DE EXPLORACIONES, 2003 a 2006. Realiza diferentes trabajos de exploración, desde revisión de antecedentes hasta sondajes (en etapa de avanzada) con estimación de recursos y potencial.

VUKASOVIC, 2015. Realiza modelamiento geológico para los recursos potenciales del yacimiento.

CAPÍTULO II

MARCO GEOLÓGICO

2.1 GEOLOGÍA DISTRITAL

Mocha se encuentra emplazada en la franja de los depósitos del Paleoceno – Eoceno inferior, la que se extiende desde el sur del Perú (Toquepala, Cuajone y Cerro Verde) hasta Sierra Gorda en el norte de Chile. En la parte centro norte, los centros mineralizados han sido enterrados por coberturas post mineralización compuestas de gravas, ignimbritas y sus horizontes mineralizados han sido parcialmente expuestos por la acción de profundas quebradas que han seccionado las unidades postmineral (Camus, 2002). Tal fenómeno, es el resultado del alzamiento en la fase tectónica Incaica y los consiguientes cambios climáticos, generando una gran erosión en la Cordillera de Domeyko cuyos productos se observan relleno la Depresión Central de Norte de Chile, cubriendo los yacimientos formados durante el Paleoceno (Camus, 2002). Estos rellenos son los que tienen mayor expresión en el área de estudio, observándose las rocas antiguas en las quebradas y en las partes bajas de las laderas (ver Figura 4).

El Proyecto se ubica en el flanco occidental de la quebrada de Tarapacá, ubicado aproximadamente a 1 km del pueblo de Mocha; abarca una extensión de unos 2 km², conformado por cuerpos intrusivos ácidos a intermedios que intruyen secuencias de rocas volcánicas y a su vez son cubiertas por gravas e ignimbritas de más de 300 m de espesor.

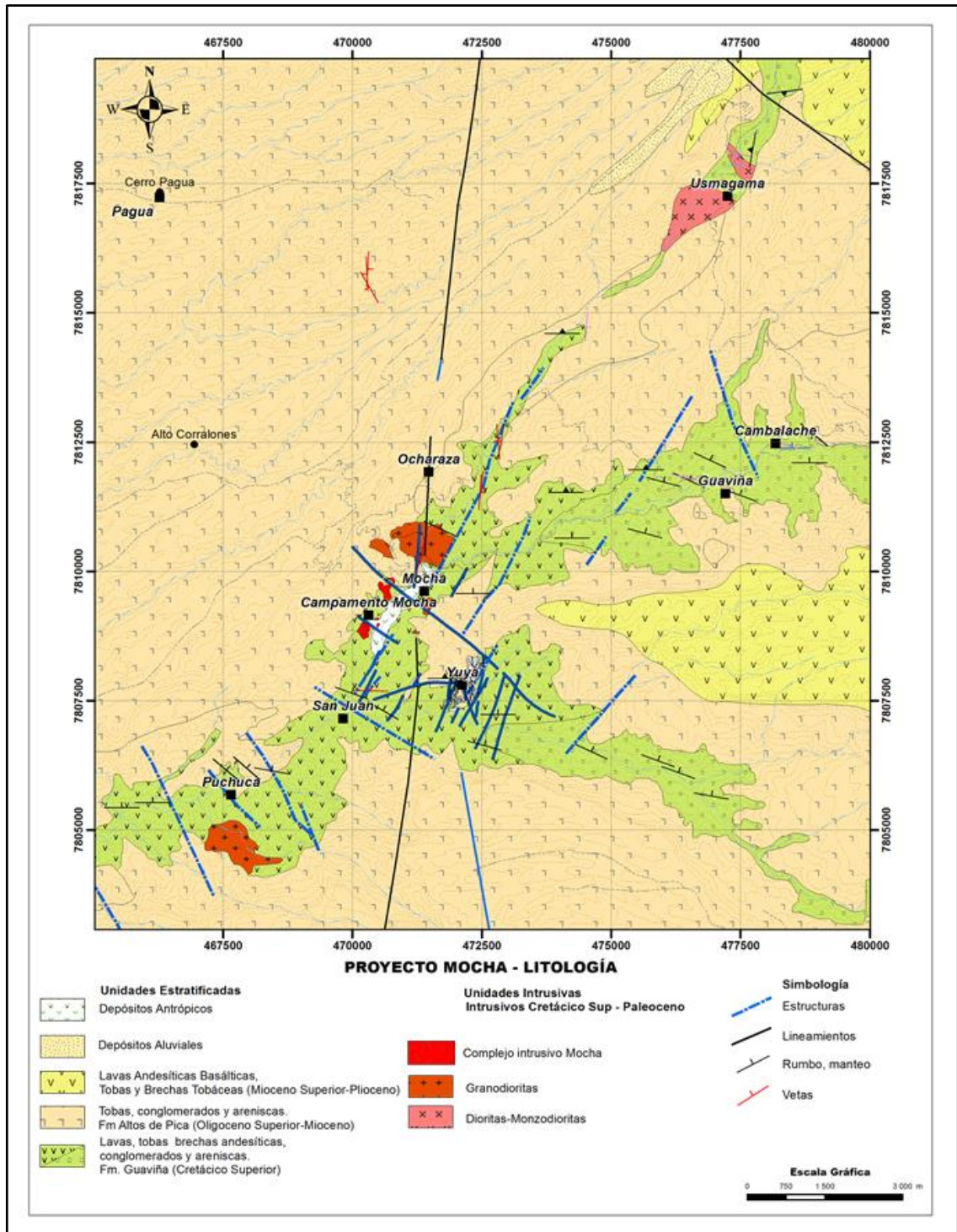


Figura 4: Geología del Distrito Mocha.

2.1.1 Rocas Estratificadas

2.1.1.1 Cretácico superior. Las unidades litológicas más antiguas que se reconocen en el área de estudio corresponden a rocas volcanosedimentarias, asignadas a la Formación Guaviña (Galli,1957), separadas en dos miembros: el inferior, constituido principalmente por tobas, lavas, aglomerados volcánicos y conglomerados intercalados con areniscas; el miembro superior, está constituido por lavas, tobas y brechas andesíticas. Estas rocas se depositaron en un ambiente continental afectadas por procesos intensos de erosión. Las edades para esta formación han sido estimadas por métodos radioisotópicos (Tomlinson et al., 2001) determinando edades del orden 72 Ma (U/Pb en zircones). Por otra parte, estudios posteriores han correlacionado la Formación Cerro Empexa con la Formación Guaviña (Sayes,1978) para las regiones de Tarapacá y Antofagasta.

2.1.1.2 Oligoceno superior – Mioceno. Las rocas estratificadas asignadas a este período corresponden a una secuencia de depósitos sedimentarios continentales de piedemonte intercalados por ignimbritas riolíticas, asignadas a la Formación Altos de Pica (Galli,1957; Dingman,1963) y que sobreyacen, en discordancia angular, a las litologías del Cretácico superior. Los estudios de estos depósitos han permitido dividir la unidad en cinco segmentos: el Miembro 1, conformado por conglomerados polimícticos, areniscas con estratificación cruzada y tobas, con un espesor aproximado de 300 m; el Miembro 2, constituido por ignimbritas de composición riolítica, con característicos tonos rosados-anaranjados, cuya potencia no excede a los 20 metros; el Miembro 3, corresponde a 170 m de areniscas medias a gruesas con estratificación cruzada y conglomerados polimícticos; el miembro 4, está constituida por tobas con espesores de 20 m y; finalmente, el Miembro 5, compuesto por 200 m de arenas grises oscuras a gris verdosas, media a fina, con estratificación cruzada. Esta unidad geológica ha sido asignada al Oligoceno superior – Mioceno inferior

mediante dataciones en ignimbritas y en lavas (Naranjo y Paskoff, 1985; Víctor et al., 2004; Farías et al., 2005).

2.1.1.3 Mioceno superior – Plioceno. Sobre las rocas sedimentarias del Mioceno y en discordancia de erosión, se reconocen lavas y brechas de composición andesíticas y basálticas con intercalaciones de tobas y brechas tobáceas pertenecientes al volcanismo del Mioceno superior – Plioceno, correlacionables con la Unidad Lava de Tana ($8,2 \pm 0,5$ Ma en Muñoz y Sepúlveda, 1992).

2.1.2 Rocas Intrusivas

Los intrusivos representan menos del 5% de los afloramientos, observándose en los lechos de las quebradas y en las laderas adyacentes como cuerpos plutónicos de pequeñas dimensiones intruyendo a las secuencias mesozoicas. Las composiciones de estos intrusivos son variables: a 15 km al noreste del Pueblo de Mocha y, por la Quebrada de Tarapacá, se reconocen rocas intrusivas de composición diorítica a monzodiorítica; hacia el suroeste, en la localidad de Puchuca, se identifican rocas granodioríticas; por su parte, en el sector de Mocha, en el fondo de la Quebrada de Tarapacá y en las partes bajas de las laderas, se observan varios cuerpos intrusivos de composición ácida a intermedia (Complejo Intrusivo Mocha).

Los emplazamientos de las masas ígneas producen fenómenos de metasomatismo y alteración que se expresan en zonas con marcada cloritización y epidotización (afloramientos en la localidad de Chintuya) y, en rocas del tipo hornfels de biotita a las que se superponen minerales de alteración hidrotermal asociados a la inyección de pórfidos del sistema mineralizado de Mocha.

2.1.3 Estructuras

La figura 5 muestra los lineamientos trazados sobre una imagen satelital y de magnetometría. En ella, se observa que los cuerpos mineralizados de Mocha y Cerro Colorado se emplazan coincidentemente en zonas delimitadas por estructuras de orientación NW, corredores estructurales de primer orden (Rivera, 2015). También, se aprecian lineamientos de orientación NNE a SSW.

La magnetometría regional (Figura 5, b) indica, por su parte, que los cuerpos mineralizados de Mocha y Cerro Colorado se emplazan en los bordes de altos magnéticos, zonas desmagnetizadas, posible reflejo de la alteración destructora de magnetita (alteración sericítica y sobreimposición de argílico supergénico). Además, la figura muestra claramente la existencia de lineamientos magnéticos coincidentes con las estructuras NNW y NW.

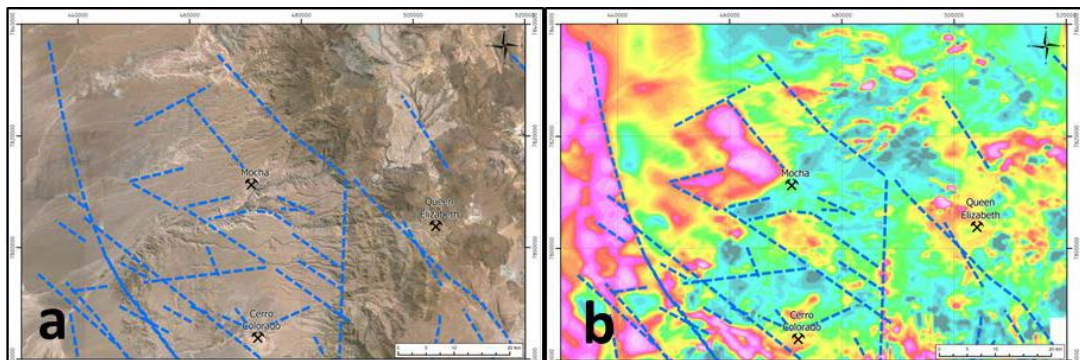


Figura 5: Lineamientos y Estructuras: a) Imagen satelital, b) Magnetometría.

En la figura 6 se expone la gravimetría regional del área (sección a) en la que se observa el yacimiento Cerro Colorado emplazado en el borde de un núcleo denso a diferencia de Mocha que se ubica en un sector de baja anomalía de Bouguer.

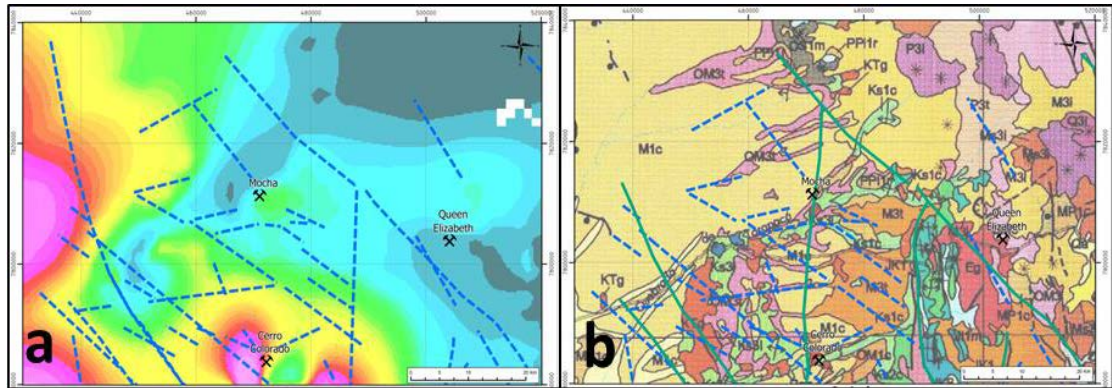


Figura 6: a) Estructuras de Anomalia de Bouguer y b) geología SNGM 1:1Millón.

2.2 GEOLOGIA SECTOR MOCHA

2.2.1 Generalidades

Mocha es un yacimiento de Cu-Mo-(Au) que se expone en el fondo de la quebrada del valle del mismo nombre; hacia el oeste y sur, se encuentra progresivamente cubierto por gravas y tobas postminerales las que alcanzan a más de 300 m de espesor.

Las rocas aflorantes están afectadas por alteración supérgena que dificultan la identificación y descripción de las diferentes litologías, no obstante, las caracterizaciones de las unidades geológicas están basadas en trabajos antiguos, campañas de sondajes de diferentes compañías, observaciones del autor de este documento y de estudios petrográficos y calcográficos (ver tabla 1). Se reconocen rocas volcánicas andesíticas y pórfidos de composición ácida a intermedia constituidos por feldepatos y biotitas que albergan la mineralización.

Tabla 1: Registro de muestras para descripciones petrográficas.

Sondaje	Serie	Metraje		Tipo Roca	Tipo de Estudio
		Desde	Hasta		
DDH-2102	160358	555,00	555,10	Pórfido Tardío	CT-CP
DDH-2104	160373	1049,05	1049,13	Pórfido Intermineral	CT-CP
DDH-2105	160383	795,30	795,40	Pórfido Temprano	CT-CP
DDH-2106	160384	396,00	396,08	Andesita de caja	CT-CP
Superficie	160406	7812700	472864	Andesita	CT
DDH-2109A	160421	108,9	108,9	Pórfido San Enrique	CT
Sector Pueblo Mocha	160419	7809605	471504	Granodiorita	CT

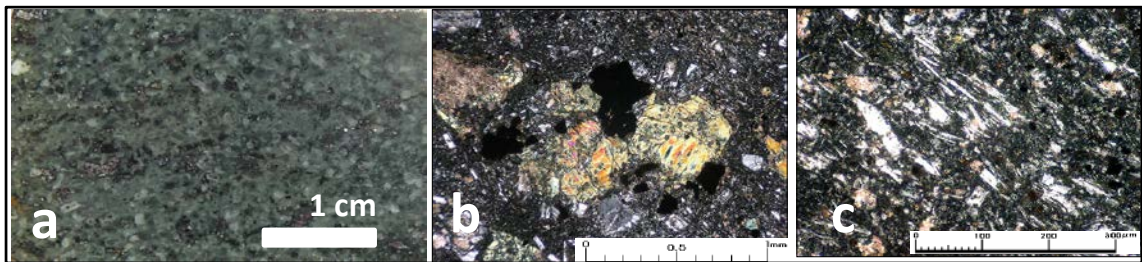
CT Estudio Petrografico
 CP Estudio Calcográfico

2.2.2 Litología

2.2.2.1 Rocas Estratificadas

La secuencia de unidades estratificadas más antigua del área en estudio corresponde a rocas volcánicas asignadas a la Formación Guaviña. Consiste de brechas y lavas andesíticas. Las brechas contienen una amplia variedad de tipos de fragmentos, todos de composición andesítica. Esta unidad tiene gran extensión areal, reconociéndose fácilmente por la alteración propílica. En varios sectores, se identifican andesitas con intensos contenidos de biotita y con significativa presencia de magnetita y pirita. Las características descritas sugieren que un intrusivo no expuesto puede haber generado un metasomatismo potásico con incorporación de biotita.

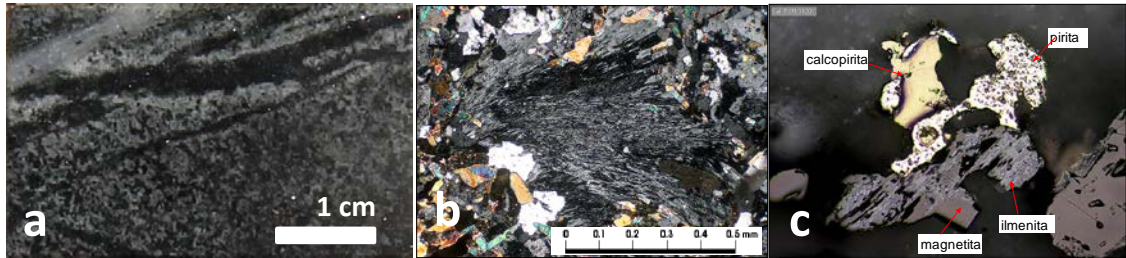
Una muestra de mano (muestra 160406, ver Anexo 2) recolectada al norte del pueblo de Mocha, aproximadamente a 4,5 km al NE del cuerpo mineralizado, sector de Ocharaza, es reconocida al microscopio, identificándose una andesita con actinolita y magnetita, minerales formados probablemente por transferencia de calor generado por intrusivo precursor no expuesto.



Fotografía 1: Descripción muestra 160406. A la izquierda (a) apariencia en muestra de mano, al centro (b) cristales máficos reemplazados por clorita y actinolita, nicoles cruzados; a la derecha (c) detalle de la masa fundamental pilotaxítica.

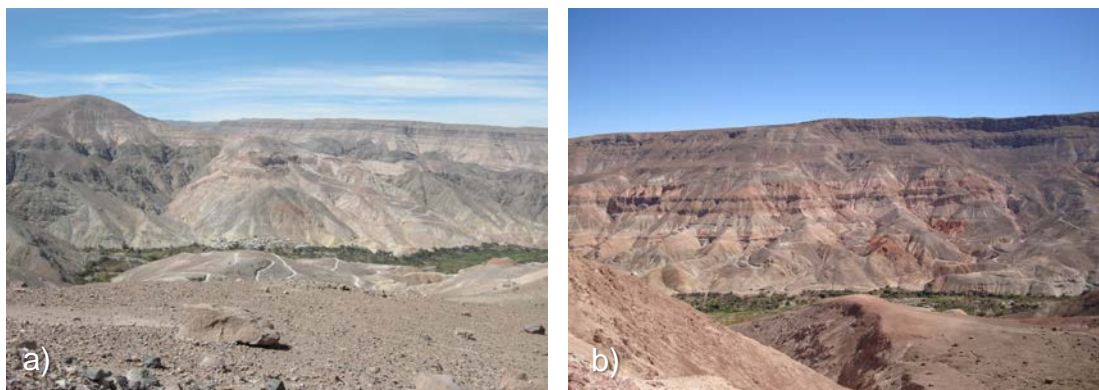
Por su parte, las rocas volcánicas de caja del yacimiento corresponden a andesitas y, subordinadamente, a dacitas y brechas andesíticas. Al microscopio, se observan con textura porfídica constituida por fenocristales de plagioclasas y, ocasionalmente biotita, insertos en una masa fundamental de plagioclasas y, en

menores cantidades, cuarzo y biotita. Los minerales de alteración que predominan corresponden a biotita acompañado de magnetita y anhidrita con una superposición de minerales de alteración filica. Hacia el margen NE del yacimiento, muestra 160384 y 160365 (sondaje DDH-2106), predomina biotita secundaria y albita.



Fotografía 2: Descripción muestra 160384: En a) espécimen de mano en que se identifican vetillas tempranas, b) se observan fenocristales de plagioclasas fuertemente albitizados y, en c) asociación de minerales de magnetita/ilmenita/pirita/ calcopirita. Aumento: 32x10; Nícoles paralelos.

Cubriendo a las rocas de la Formación Guaviña y, a los intrusivos del área, se reconoce una secuencia de rocas volcanoclásticas con intercalaciones de cenizas y gravas, Formación Altos de Pica, de al menos unos 300 m de espesor en la localidad. En su base, se distingue un nivel de 10 m de gravas consolidadas (asignables al Miembro Inferior de Sagasca, 24 Ma) sobre el cual, se disponen niveles de cenizas volcánica. Sobre estas capas, se identifican 150 m de tobas cristalinas con niveles de tobas vítreas (equivalentes al nivel de ignimbritas del Miembro Tambillo). Sobre los estratos volcánicos, se observan más 150 m de gravas semi-consolidadas (equivalente al Miembro Imagua, 9 Ma). Las rocas de la Formación Guaviña cubre en gran parte al yacimiento, dejando ventanas de intrusivos por los efectos de la erosión fluvial reciente.



Fotografía 3: Vista Panorámica de Mocha. A la izquierda, (a) Flanco sur del Valle y a la derecha, (b) Yacimiento Mocha cubierto por rocas postminerales.

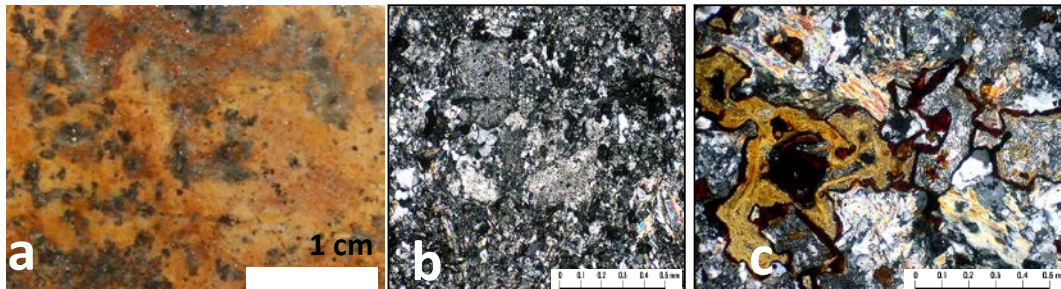
2.2.2.2 Rocas Intrusivas

En las laderas adyacentes al valle de Mocha afloran pequeños cuerpos de rocas intrusivas: en la parte oriental, rocas de composición granodioríticas a monzodioríticas y; en la margen occidental, rocas ígneas ácidas a intermedias asociadas al cuerpo mineralizado (ver Figura 7). Todas ellas, intruyendo a las secuencias de rocas volcánicas de la Formación Guaviña y cubiertas por rocas de la Formación Altos de Pica. A continuación, se describen las unidades intrusivas, reconocidas en superficie, de acuerdo a los trabajos realizados por Codelco en el año 2003 (Gómez et al., 2003):

A) Granodiorita Mocha. Se distribuye en el flanco oriental del valle, en la vecindad del pueblo de Mocha (Figura 7). Presenta textura porfídica con fenocristales de plagioclasa y hornblenda, insertos en una masa fundamental de cuarzo y ortoclasa. La roca se presenta fresca y sin mineralización, excepto en los contactos con las rocas volcánicas de Guaviña, las que se visualizan con una mezcla de sericita, cuarzo secundario y, subordinadamente, turmalina y pirita.

Al microscopio, las digitaciones del intrusivo en las rocas volcánicas, se distinguen con textura fragmental, de color beige, formada por fragmentos líticos obliterados por un intenso reemplazo de cristales de sericita, cuarzo

granular fino, cristales finos de clorita y fragmentos de diorita cuarcífera. La matriz corresponde a dacita a andesita, formada por fenocristales de plagioclasas parcial a fuertemente fragmentada en una masa fundamental afanítica, formada por cristales de plagioclasas con tamaño medio de 0,08 mm y cuarzo granular muy fino en forma intersticial (posible origen secundario). Los minerales opacos corresponden a cristales de hematita, goethita y jarosita, localmente con cristales finos de yeso asociado.

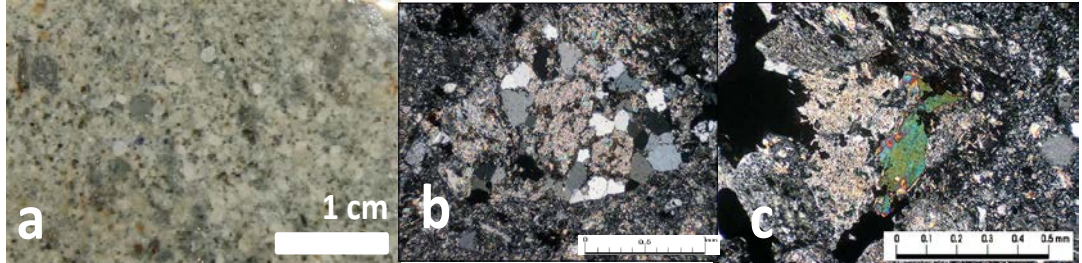


Fotografía 4: Descripción muestra 160419. En (a) muestra de mano en que se observa tintes beige y textura completamente obliterated por alteración; b) fenocristales de plagioclasas sericitizadas y; c) detalle en que se observa agregado de cristales de hematita, goethita, granos finos de jarosita (color anaranjado) y yeso.

B) Stock San Enrique. En la zona de San Enrique, sector suroriental del área de estudio, se reconoce un stock que intruye a la Formación Guaviña, descrita por Chiang (2005) como una roca ígnea de textura porfídica, constituida por cuarzo, plagioclasa, biotita, horblenda y turmalina.

Bajo el microscopio, muestra 160421 (DDH-2109, 108,9 m), se reconoce una roca de textura clástica, de color gris claro a intermedio, constituidas por fragmentos líticos angulosos, cristales de plagioclasas (hasta 4,7 mm), cuarzo y máficos. Los fragmentos líticos (textura microfanerítica) están conformados por feldespatos, intensamente silicificados y cuarzo en forma intersticial; por su parte, los cristales de plagioclasa y los máficos están sericitizados y cloritizados respectivamente. La matriz es polvo de roca con desarrollo de sericita (débil) y de granos finos de cuarzo (posiblemente

como producto de desvitrificación). Los minerales opacos corresponden a cristales de pirita y calcopirita diseminadas en los fragmentos y en la matriz.



Fotografía 5: Descripción muestra 101421. En (a) muestra de mano en que se aprecia la textura clástica con fragmentos de cristales y líticos; b) en la microfotografía se observa fragmento lítico con feldespatos sericitizados y cuarzo en forma intersticial y, (c) detalle de agregado de cristales de plagioclasa con impregnación de cristal de turmalina.

C) Complejo intrusivo Mocha. Con esta denominación se incluye a un conjunto de rocas intrusivas de textura porfídica y de composición ácida a intermedia que afloran en el área del yacimiento.

Stock Campamento. Se observa en el sector suroeste del área como un pequeño cuerpo intrusivo de composición latítica, constituido por fenocristales de feldespato y por cuarzo (2-4 mm). La sericita es el principal mineral de alteración que presentan estas rocas.

Stock Cerro Colorado. Es similar al Stock Campamento en cuanto a la composición y textura.

Stock Paricoya. Es un pórfido riolítico con 25-30 % de fenocristales de cuarzo reabsorbido (5-7 mm en diámetro). Los feldespatos en el pórfido riolítico están reemplazados por sericita.

Stock Tarapacá. Corresponde a un pórfido latítico de cuarzo con fenocristales de cuarzo, biotita y plagioclasa. Hacia el centro de cuerpo se observa nítidamente su textura porfídica; en cambio, hacia las márgenes se

registra una textura fina microcristalina. La roca está relativamente inalterada excepto por invasión de sílice, débil conversión de biotita a clorita, y localmente vetillas de magnetita-clorita. La falta de sulfuros y alteración hidrotermal significativa dentro del stock sugieren que fue el último en el evento(s) mineralización en área de Mocha.

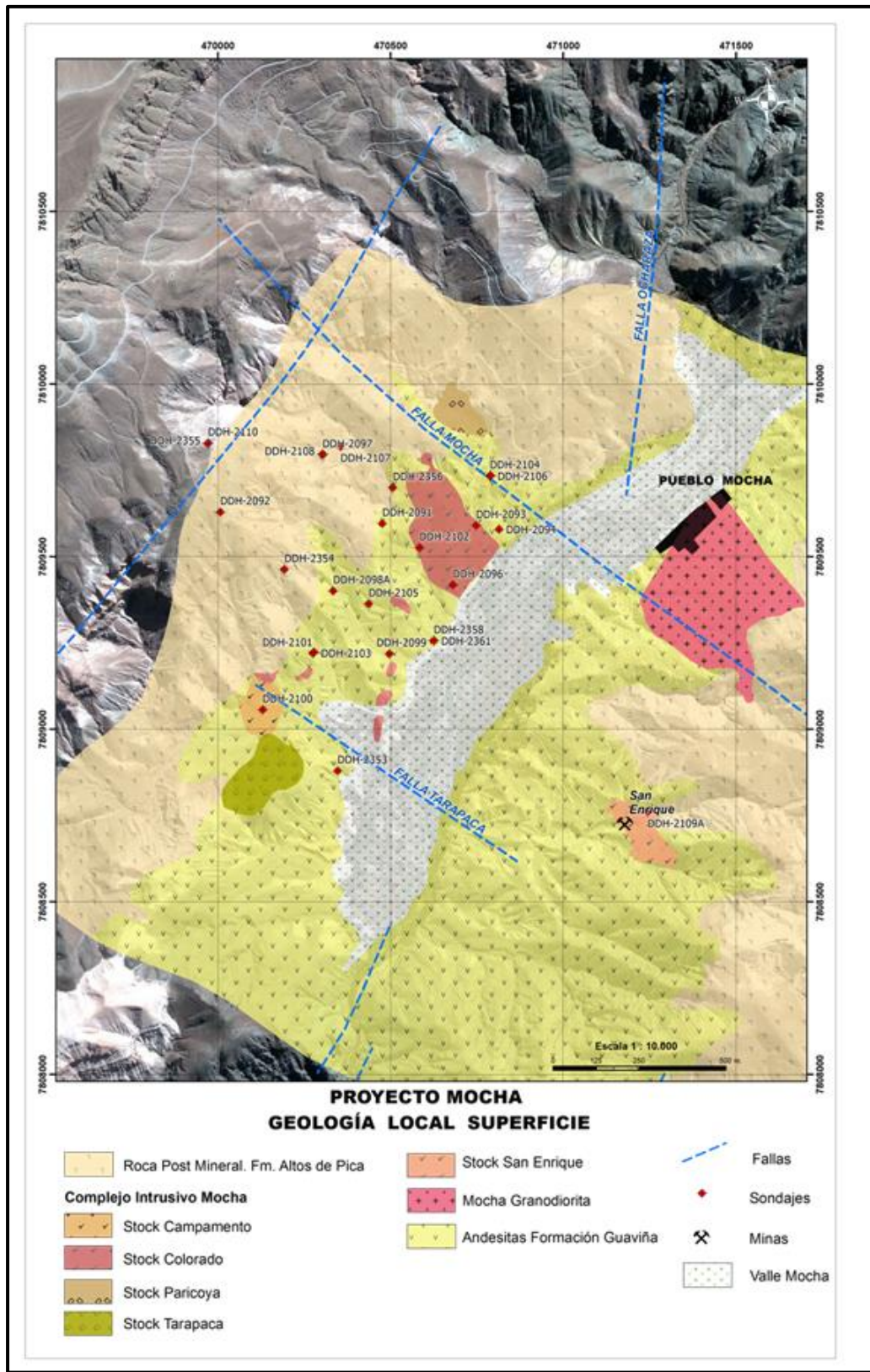


Figura 7: Geología local Mocha.

2.2.3 Alteración

La sobreimposición de alteración supérgena ha dificultado el reconocimiento de los minerales de alteración hidrotermal en superficie, no obstante, se reconocen las siguientes asociaciones (ver figura 8):

Propilítico. Se desarrolla en las rocas de caja andesíticas, periféricas al cuerpo mineralizado, con asociación de clorita (reemplazo en máficos) y epidota (en vetillas y en reemplazo en fragmentos volcánicos). Hacia los intrusivos, se identifica magnetita diseminada y mineralización de pirita diseminada y en vetillas.

Cuarzo-Sericita. Se presenta en las rocas intrusivas y en las unidades de caja volcánica. En las últimas, se manifiesta decolorando los minerales de la asociación biotita-magnetita; en los intrusivos, se reconoce sericita reemplazando a las plagioclasas. También, se observa sericita en los halos de las vetillas “D” (Gustafson et al., 1975) presentes en las rocas de caja e intrusivas.

Biotita hornfels. Se verifican zonas de biotitización en las rocas andesíticas que afloran en los flancos de las laderas del valle Mocha. Se caracteriza por presentar magnetita diseminada y en vetillas.

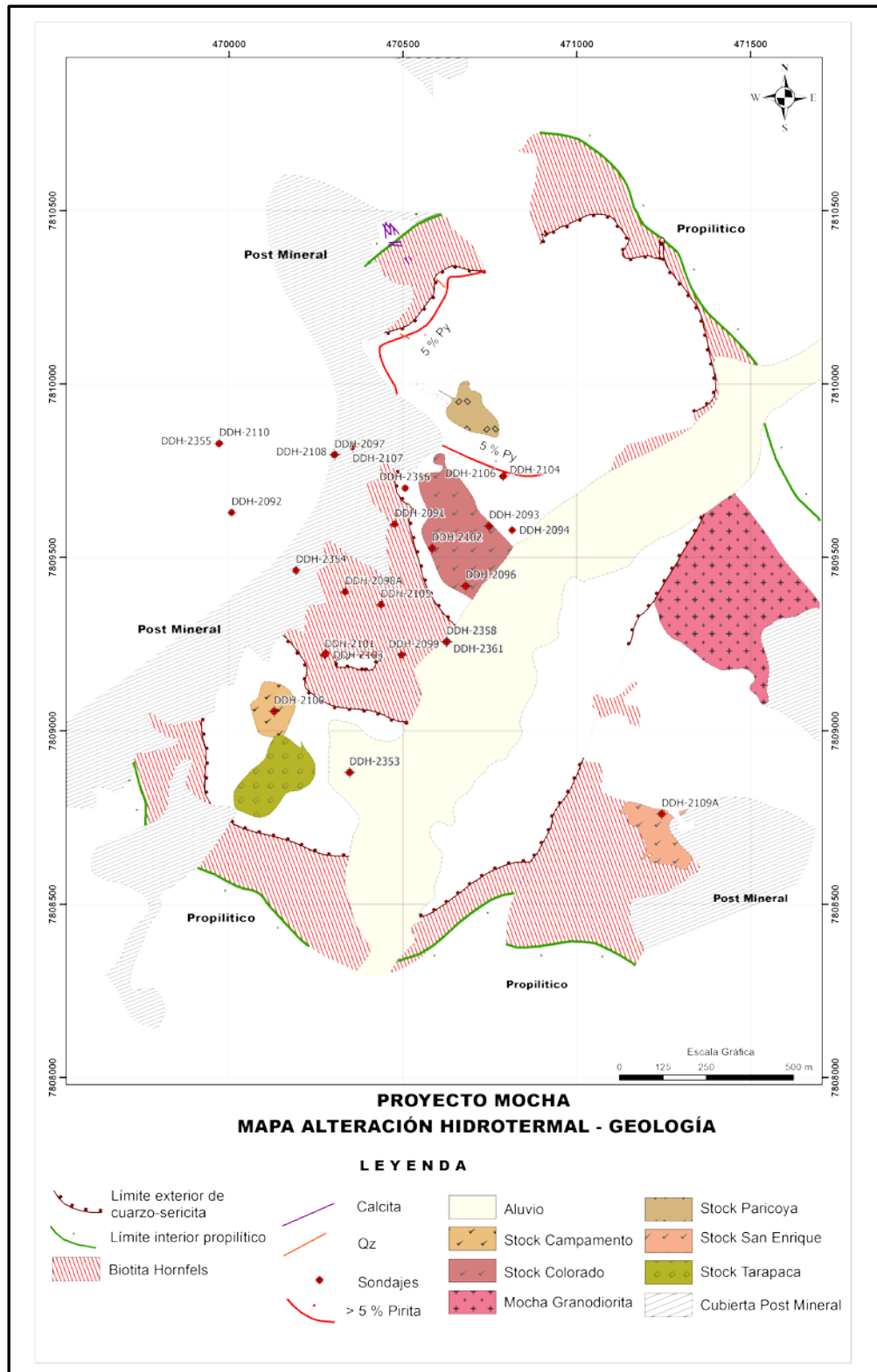


Figura 8: Alteración de superficie en Mocha.

2.2.4 Estructuras

Probablemente, los intrusivos mineralizados de Mocha fueron emplazados en zonas de daños generadas por la intersección de estructuras paralelas a las regionales (N50° a 60°E) y a zonas de fallas de rumbo N40°W. De estas últimas, se identifican dos estructuras que aparentemente controlan el emplazamiento de los cuerpos mineralizados: Falla Tarapacá, por el sur y; Falla Mocha, por el norte, conformando un corredor estructural de extensión no inferior a 800 metros (ver Figura 7). Otra importante estructura es la que corre paralela al valle controlando, probablemente, el drenaje en la Quebrada Tarapacá.

2.2.5 Mineralización

El depósito de Mocha es del tipo porfírico asociada al emplazamiento de varios pulsos magmáticos. Gran parte de la mineralización de cobre y contenidos menores de oro, se relaciona al emplazamiento del primer cuerpo ígneo (Pórfido Temprano). Cantidades menores de cobre y la mayor parte del molibdeno fueron aportadas por una fase intermineral (Chiang, 2005). Finalmente, se identifica un pórfido de composición tonalítico a dacítico, más tardío que los anteriores, con aporte de pirita y escasa mineralización de cobre.

La columna mineralizada está representada en su parte superior por minerales supérgenos consistente en óxidos, que se exponen desde la superficie hasta 50 a 100 m de espesor, alcanzando contenidos promedio de cobre del orden de 0,4% a 0,5%, con una mineralogía dominada por crisocola, atacamita, arcillas con cobre y óxidos negros. También, existen algunos niveles menores de cobre exótico. Bajo estas zonas oxidadas, se reconoce mineralización mixta y enriquecimiento en columnas no superiores a los 50 m con calcosina y covelina de leyes promedio de 0,6% de cobre; finalmente, se reconoce un horizonte primario constituido por calcopirita y pirita.

2.2.6 Modelo Geológico

Entre los años 2003 a 2005, Codelco realizó una exploración agresiva en el área en estudio, perforando un total de 19.449,50 m, distribuidos en 25 pozos, los que conjuntamente con los sondajes perforados por otras compañías (11.132 m, distribuidos en 57 pozos) permite a la empresa Estatal confeccionar un modelo geológico robusto, constituido por 8 plantas, separadas cada 100 m (desde el nivel 1.200 m s.n.m hasta el nivel 2.200 m s.n.m) y por 8 secciones verticales en dirección N45°E, espaciada cada 100 m a 125 m; todas ellas, interpretadas en los parámetros de litología, estructuras, alteración y mineralización. La interpretación de las secciones y plantas, permite a los geocientistas de Codelco definir eventos geológicos asociados a la formación de un depósito mineral: identificando tres eventos principales de intrusivos portadores de mineralización, emplazados en forma sucesiva en las rocas volcánicas de caja y a los pulsos magmáticos que los antecedieron.

La figura 9 expone la distribución de los sondajes y las trazas de las secciones, se destaca la sección NE-45 la que se utilizará como referencia para mostrar las interpretaciones de litología, alteración y mineralización.

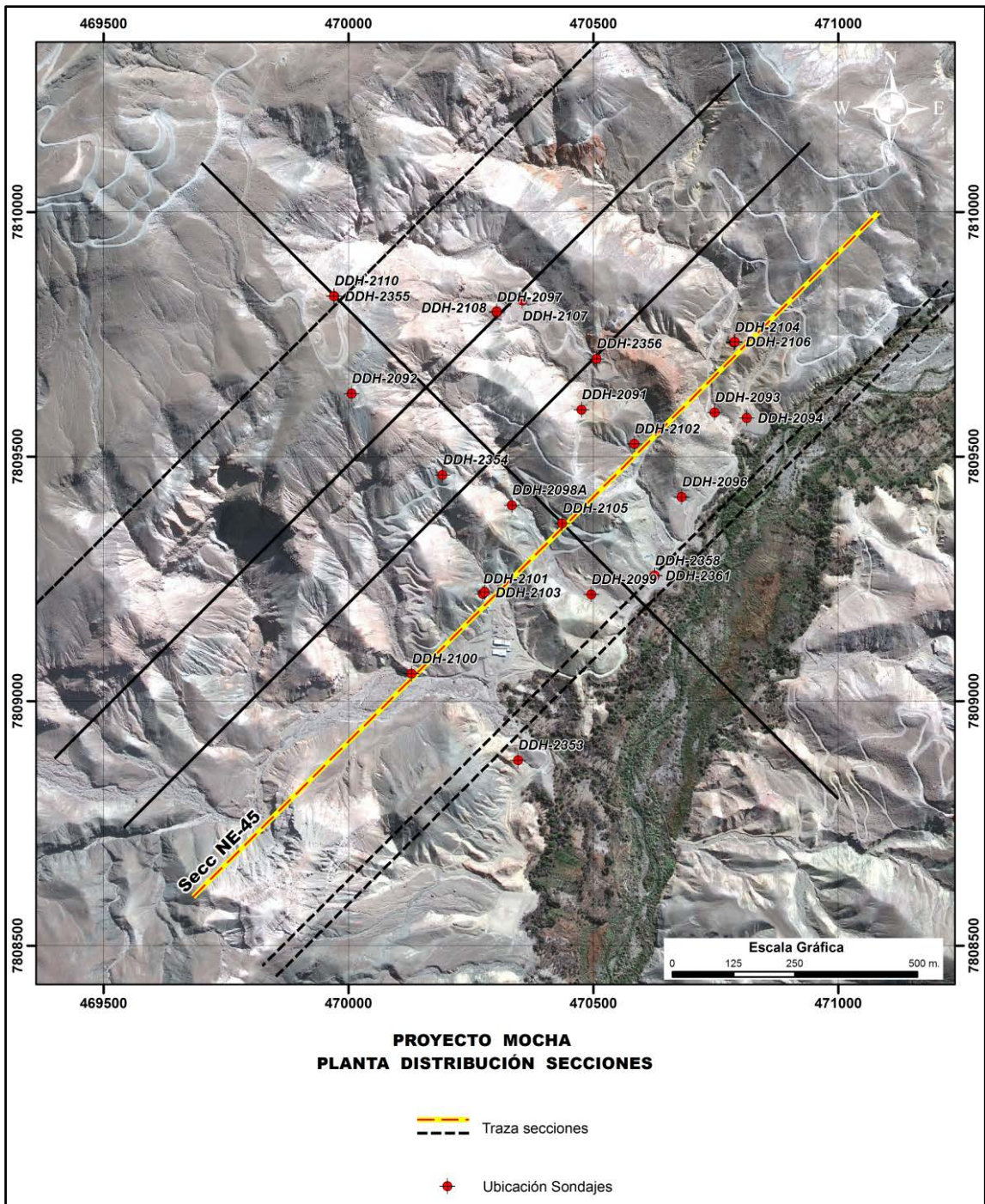
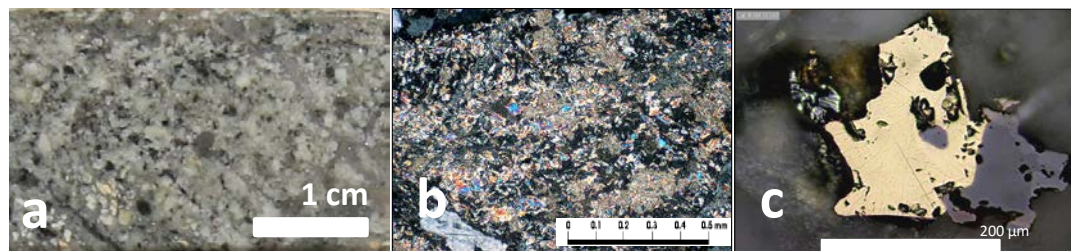


Figura 9: Planta con trazas de secciones y sondajes.

Evento 1: Pórfido Temprano. Se relaciona al emplazamiento de un pórfido de feldespato y biotita (Chiang et al., 2005), de textura porfídica gruesa y relativamente bien preservada. Ocupa la parte central del cuerpo mineralizado (ver Figura 10). Las descripciones petrográficas indican que es de composición dacítica, constituida por abundantes fenocristales de plagioclasa de hasta 4 mm, cuarzo y, subordinadamente, biotita en una masa fundamental de similar mineralogía. La alteración es potásica con biotita y, localmente, sericita verde con sobreimposición de alteración argílica intermedia con sericita y clorita. El pórfido presenta "books" de biotita primaria alterados a clorita y a sericita. A estas rocas se asocia el evento principal de mineralización, con un primario de calcopirita, pirita y, en menor proporción, bornita, y, con minerales de ganga de magnetita y anhidrita asociados a vetillas tempranas de cuarzo del tipo "A" y cuarzo con biotita tipo "EB" (Gustafson et al., 1975). Las leyes normalmente alcanzan valores de 0,5% a 0,7% de cobre y con 0,15 g/t de oro.

Las andesitas de las cajas, inmediatamente adyacentes, se encuentran, normalmente, intensamente alteradas a biotita, magnetita y clorita. La mineralización está conformada por calcopirita y pirita, lo que permite aumentar el volumen del cuerpo mineralizado.



Fotografía 6: Descripción muestra 160383, sondaje DDH-2105 a 795m. a) muestra de mano conformada mayoritariamente por fenocristales de plagioclasa y, subordinadamente por biotita y cuarzo; b) Detalle de la masa fundamental fuertemente sericitizada y algo de clorita; y, c) grano de rutilo en contacto con calcopirita.

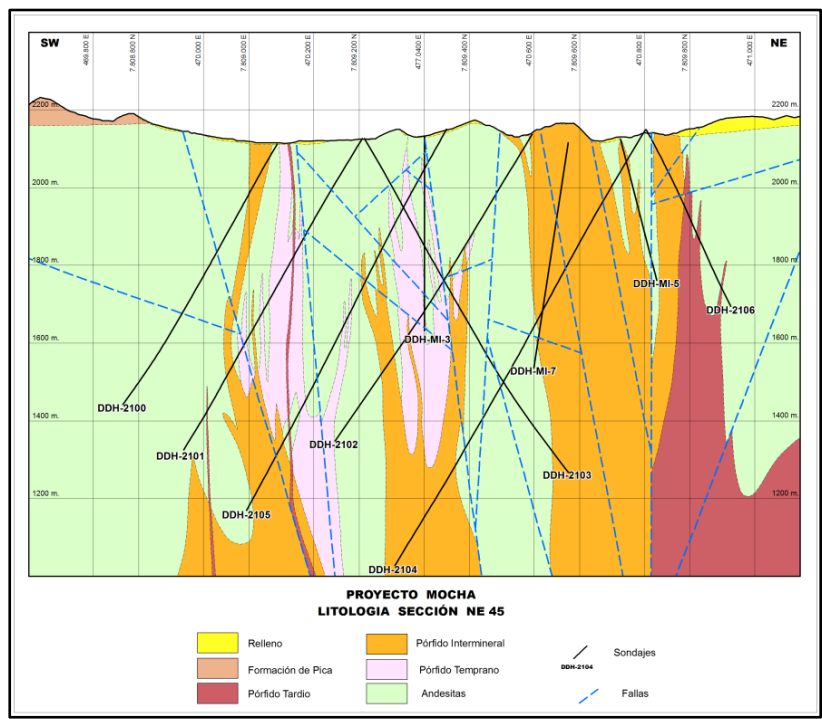


Figura 10: Sección NE-45. Litología.

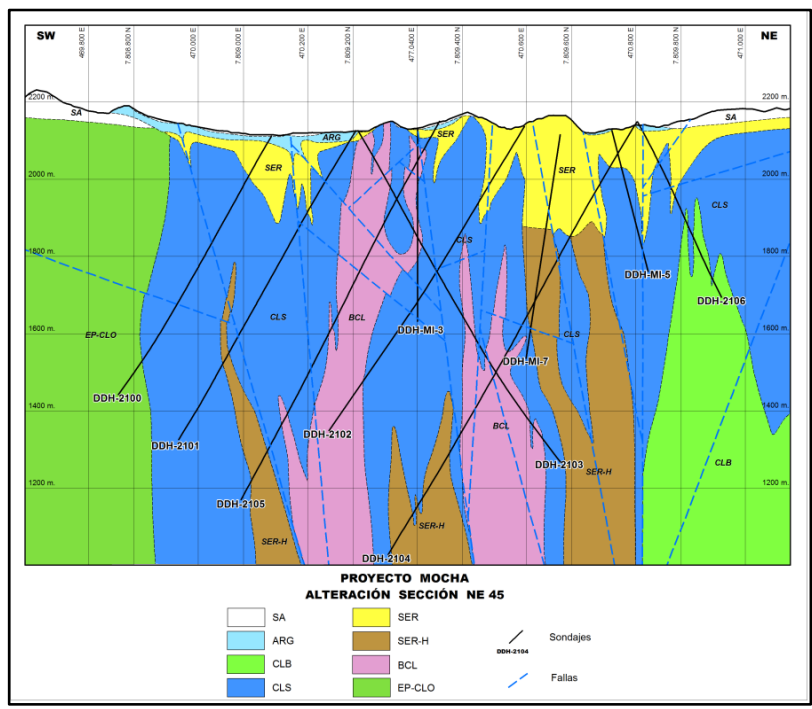
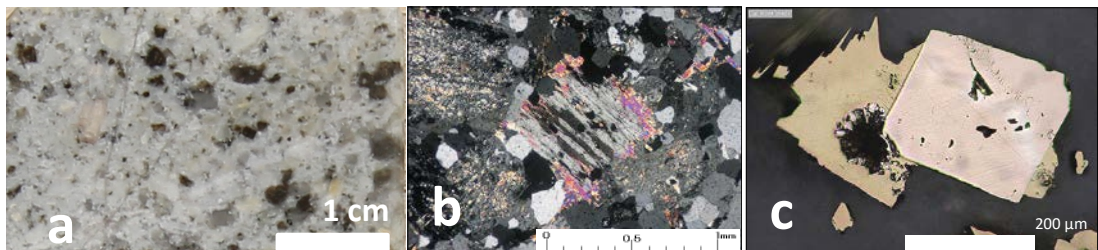


Figura 11: Sección NE-45. Alteración.

Evento 2: Emplazamiento Pórfido Intermineral. Incumbe a la intrusión de un cuerpo magmático de composición dacítica a tonalítica, denominado Pórfido Cuarzo-Feldespático Intermineral (Chiang et al., 2005), reconocido en superficie, al norte y noreste del área de estudio y, en profundidad, intruyendo al pórfido temprano y a las andesitas de la Formación Guaviña (ver Figura 10). Texturalmente, es de grano más fino y de aspecto más masivo que el del pórfido temprano, producto de una obliteración de su textura original por la alteración hidrotermal fílica, conformada por sericita y clorita, con vetillas del tipo B y D. Petrográficamente, se reconocen abundantes fenocristales de plagioclasa, relictos de ferromagnesianos (reemplazados por clorita con inclusiones de rutilo) y fenocristales de cuarzo entre 0,5 mm a 2 mm.

La mineralización primaria es de pirita y calcopirita (pirita > calcopirita), concentrándose en las márgenes laterales y superiores, con leyes que alcanzan a 0,3% de cobre y 0,05 g/t de oro; por su parte, la molibdenita es abundante alcanzando concentraciones de 150 a 200 ppm de molibdeno.

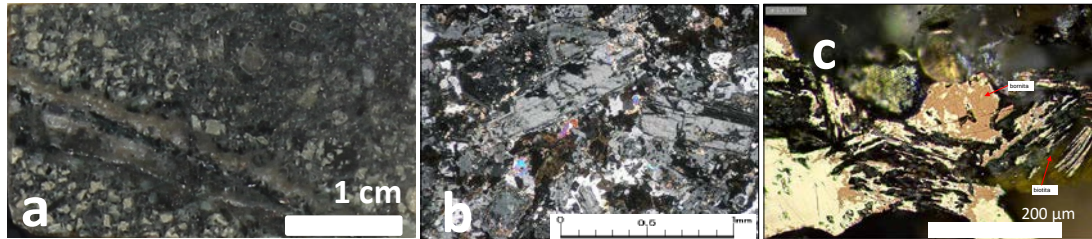


Fotografía 7: Descripción muestra 160373, DDH-2104, 1049 m. a) espécimen de mano en la que se observa fenocristales de plagioclasas, cuarzo y máficos; b) detalle de alteración en fenocristales y en la masa fundamental con sericita y algo de clorita; c) en los opacos, se identifica un grano de pirita cubica en contacto con calcopirita.

Evento 3. Emplazamiento Pórfido Tardío. Equivale al último pulso magmático que se registra en el área de estudio, denominado Pórfido Feldespático Tardío. Es de composición dacítica a tonalítica, reconociéndose como diques en el área mineralizada. Tiene textura

porfídica y masa fundamental afanítica de color gris a verde (de aspecto fresco), con fina disseminación de pirita y escasa calcopirita. Se identifican cristales de plagioclasas, biotita y hornblenda insertos en una matriz de plagioclasas y cuarzo. La clorita es el mineral de alteración que predomina, presentándose como reemplazo en los máficos y, algo de sericita y arcillas supérgenas en las plagioclasas. Algunas descripciones petrográficas indican la presencia de maclas polisintéticas y, en parte, del tipo Carlsbad de albita, bien desarrolladas y conservadas. También, se observan cristales fragmentados atribuibles a la intrusión forzada de un magma viscoso.

Su mayor desarrollo se encuentra en la vertiente nororiental del valle Mocha, controlado por la falla homónima y, en profundidad, por diques verticales emplazados en andesitas y en las unidades intrusivas (Pórfido Temprano e Intermineral).



Fotografía 8: Descripción muestra 160358, DDH-2102 a 555 m. a) muestra de mano con fenocristales con débil alteración, cortada por una vetilla D; b) detalle al microscopio de clorita como mineral principal de alteración en máficos; c) granos de calcopirita junto a biotita hojosa.

CAPÍTULO III

GEOQUÍMICA

3.1 GENERALIDADES

El yacimiento Mocha es un sistema mineralizado del tipo pórfido cuprífero polifásico emplazado en las rocas volcánicas de la Formación Guaviña; reconociéndose temporalidad en los pulsos intrusivos y diferentes eventos de alteración y mineralización. Se decide seleccionar muestras en los distintos pulsos intrusivos con el propósito de discriminar las características petroquímicas de cada uno de ellos y, en lo posible, compararlas con otros cuerpos ígneos formadores de centros mineralizados.

Se colectó un total de 13 muestras, representativas de las litologías mineralizadas y de las rocas circundantes. Prácticamente, la totalidad de las muestras fueron obtenidas de los testigos de los sondajes (11) y, solamente, dos de ellas, fueron recolectadas en la superficie. Se eligieron aquellos materiales con menor grado de alteración (inspección visual) y carentes de vetillas, enviándose al laboratorio ALS-Chemex en Vancouver, Canadá, y ensayadas por elementos mayores (óxidos), menores y trazas.

La determinación geoquímica de los elementos mayores y menores fue realizada mediante digestión multi-ácida con HF-HNO₃-HClO₄, con lixiviación de HCl y analizada por una combinación de espectrometría por emisión de plasma óptico y por masa. Los óxidos fueron ensayados mediante fusión con metaborato de litio, seguido por digestión ácida y determinación por ICP óptico o XRF; Finalmente, los elementos trazas fueron determinados mediante ICM Masa. Los resultados se muestran en el Anexo 1.

3.2 ELEMENTOS MAYORES

Los elementos mayores corresponden a aquellos que están presentes en las rocas cuyos contenidos superan a 1000 ppm, expresándose, generalmente, en porcentajes de pesos de óxidos de los elementos Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K y P. En el caso de los volátiles (H₂O, CO₂ y S) son determinados mediante calcinación (LOI) de la muestra a temperaturas cercanas a 1000°C (ver resultados en Tabla 2). Los datos y diagramas de los óxidos mayores permiten determinar el ambiente geotectónico de los diferentes pulsos magmáticos, clasificar las rocas, diferenciar los procesos en las diferentes etapas de formación de un magma, entre otras características.

Tabla 2: Resultados óxidos mayores.

Elemento	Pórfidos								Intrusivos		Volcánicas			
	Temprano				Interm.	Tardío			San Enrique	Granodiorita	Andesita			
	DD-2105	DDH-2353	DDH-2099	MI-05	DDH-2094	DDH-2099	DDH-2353	DDH-2105	DDH-2109A	Superficie	Superficie	DDH-2098-A	DDH-2106	
	794,8	500,9	152,0	322,1	376,4	250,6	498,7	524,2	108,8			629,4	390,6	
SiO ₂	63,7	64,4	65,1	66,5	65,8	62,5	62,2	64,2	63,9	57,9	56,8	53,9	50,7	
Al ₂ O ₃	14,2	16,1	16	13,45	15,1	16,15	16,4	15,95	16,1	18,05	17,6	16,95	16,55	
Fe ₂ O ₃	2,42	4,4	5,15	5,44	3,53	6,15	4,93	5,19	6	4,29	6,48	6,9	11,4	
FeO	2,18	3,96	4,63	4,9	3,18	5,54	4,43	4,67	5,4	3,86	5,83	6,21	10,25	
CaO	4,76	4,82	3,99	3,2	3,77	5,04	4,85	4,52	0,56	2,63	5,31	6,5	8,42	
MgO	1,36	1,71	1,75	1,35	1,48	2,1	2,09	1,75	2,13	2,65	2,03	2,55	3,33	
Na ₂ O	2,08	4,26	3,75	1,96	3,71	4,07	4,4	4,25	5,44	3,97	4,07	2,04	2,5	
K ₂ O	3,6	0,62	0,88	2,13	1,48	0,7	1,25	0,58	1,63	2,2	1,68	1,83	1,56	
Cr ₂ O ₃	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	
TiO ₂	0,51	0,6	0,64	0,43	0,54	0,67	0,73	0,58	0,61	0,79	0,73	0,98	0,84	
MnO	0,08	0,07	0,06	0,06	0,08	0,05	0,05	0,08	0,04	0,02	0,16	0,06	0,06	
P ₂ O ₅	0,21	0,18	0,2	0,12	0,15	0,22	0,19	0,19	0,2	0,22	0,27	0,21	0,23	
SrO	0,05	0,07	0,06	0,04	0,05	0,08	0,06	0,07	0,02	0,03	0,06	0,06	0,08	
BaO	0,1	0,04	0,09	0,05	0,06	0,06	0,07	0,04	0,01	0,01	0,11	0,04	0,06	
LOI	7,04	3,49	3,39	5,17	4,5	3,68	3,58	3,19	3,99	7,79	4,77	8,75	5,28	

Los datos composicionales indican que las rocas ígneas contienen valores de SiO₂ entre 57,9% y 66,5%; K₂O entre 0,58% y 3,6%, Na₂O entre 1,96% y 5,44%;

Al₂O₃ entre 13,45% y 18,45%, TiO₂ entre 0,43% y 0,79% y FeO Total entre 2,18% y 5,54%. La pérdida de volátiles por calcinación (a 1000°C) es menor en el Pórfido Tardío y en las rocas andesíticas de superficie, reflejando, posiblemente, el menor impacto de la alteración.

3.2.1 Diagramas Discriminantes y Afinidad Magmática

La figura 13 discrimina entre series toleíticas y calcoalcalinas, de acuerdo a los contenidos de álcalis, hierro total y magnesio. Las líneas de equilibrio, color azul y rojo, marcan el límite entre ambos campos, las que fueron definidas por Kuno en el año 1968 y por Irvine y Baragar en el año 1971. Los datos geoquímicos se sitúan, en su mayoría, en el campo calcoalcalino; con solamente una muestra, roca volcánica andesítica, en límite inferior del campo toleítico. Por su parte, la figura 12 exhibe los contenidos de óxidos de sílice y de álcalis, mostrando el carácter subalcalino en todas las muestras.

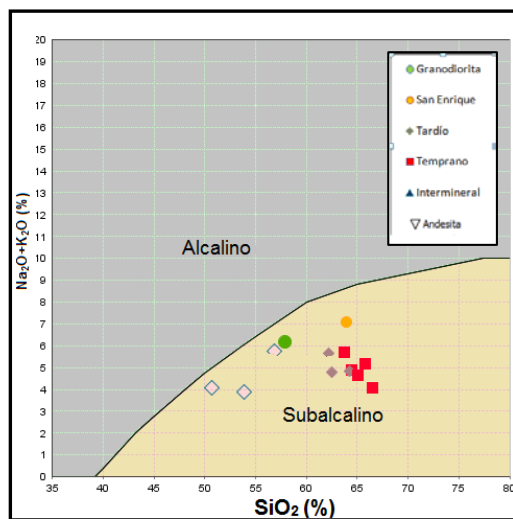


Figura 12: Diagrama SiO₂ vs álcalis.

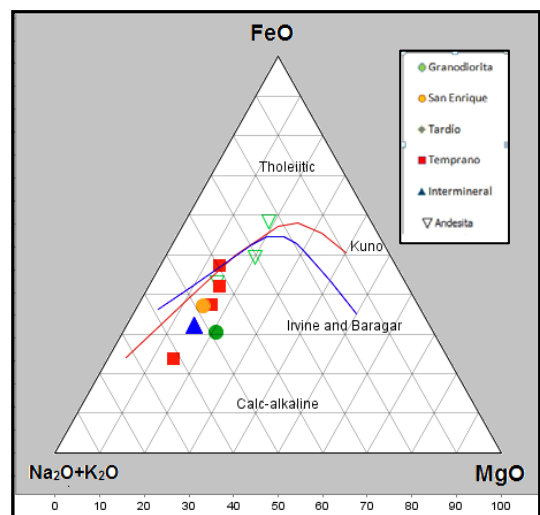


Figura 13: Diagrama AFM.

La figura 14 es una clasificación química de las rocas intrusivas según contenido de sílice y álcalis total, definido por Cox et al., (1979) y modificado por Wilson (1989). La posición de los valores geoquímicos en el diagrama indica que las rocas intrusivas ocupan, principalmente, el campo de las dioritas cuarcíferas (Pórfido Temprano e Intermineral); y, en el campo entre la diorita y la diorita

cuarcífera (Pórfido tardío) en cambio la muestra con menor contenido en sílice se sitúa en el límite entre el campo de las dioritas y sienodiorita (Granodiorita Mocha).

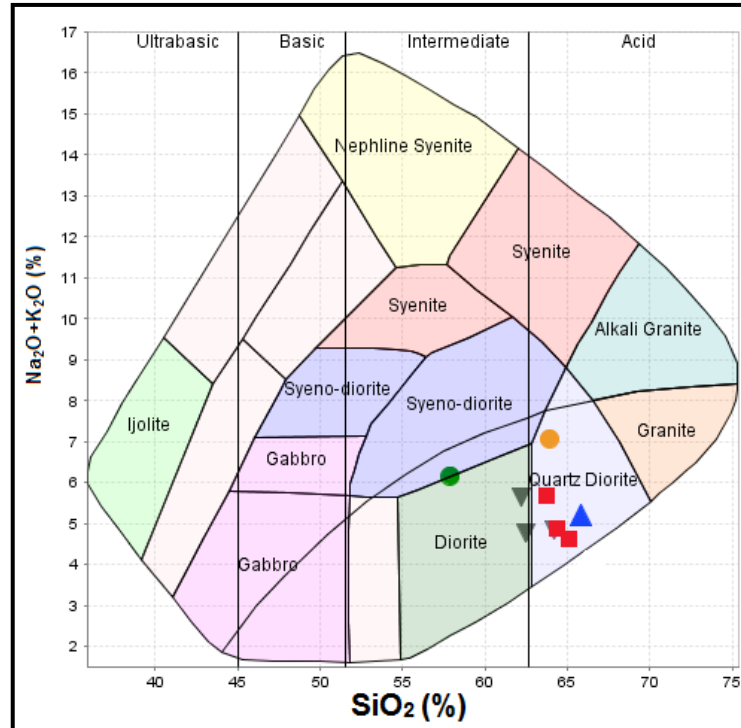


Figura 14: Clasificación TAS, adaptado por Wilson 1989.

3.2.2 Diagramas Harker

Los diagramas de Harker permiten comparar, para las diferentes muestras y tipos litológicos, los contenidos de los elementos mayores versus las concentraciones de SiO₂ con la finalidad de obtener información sobre las fases de minerales involucrados en procesos de fraccionamientos. Para el presente estudio se han graficado los valores de óxidos de la totalidad de las muestras intrusivas asociadas a la mineralización (Pórfido Temprano, Intermineral y Tardío) y las del entorno del yacimiento (Granodiorita Mocha y Pórfido San Enrique) cuyas características más relevantes son (ver Figura 15):

- Las rocas que contienen mineralización tienen una muy buena correlación entre los contenidos de óxidos de sílice y los otros elementos

mayores, especialmente para el aluminio, magnesio, sodio, calcio, fósforo y estroncio.

- Los datos químicos de la granodiorita Mocha muestran un patrón distinto a la tendencia de las otras muestras intrusivas, con bajos contenidos en óxidos de calcio y de bario.
- Los valores geoquímicos del Pórfido San Enrique muestran una cercanía a la tendencia de los datos de los pórfidos mineralizados, excepto para el óxido de calcio, fuertemente deprimido.
- Para los pórfidos mineralizados se registra un empobrecimiento de aluminio, hierro, magnesio, titanio, calcio, fósforo y estroncio a medida que aumenta la sílice. El Pórfido Tardío se distingue, de las otras rocas ígneas mineralizadas, por estar deprimidas en sílice y su elevado contenido en óxidos de titanio.
- La cristalización fraccionada puede explicar el decrecimiento en MgO, FeO y CaO con el incremento de la SiO₂, consistente con la remoción temprana de plagioclasas y minerales máficos desde el líquido que se enfría. El MgO y el FeO son incorporados en los minerales máficos, de formación temprana; mientras que el fraccionamiento de las plagioclasas, de cálcicas a sódicas, explicaría el decaimiento del primer elemento. En la misma línea, el comportamiento de estroncio es similar al calcio lo que evidencia el fraccionamiento de las plagioclasas.
- Los valores químicos de la muestra Granodiorita Mocha muestran un comportamiento disímil en relación a las otras muestras: a lo menos 5% menos en contenido de óxido de sílice y altos contenidos en aluminio, magnesio, titanio y fósforo. Este comportamiento, probablemente, indica

que el evento magmático de la granodiorita corresponda a un episodio no contemporáneo con los mineralizados.

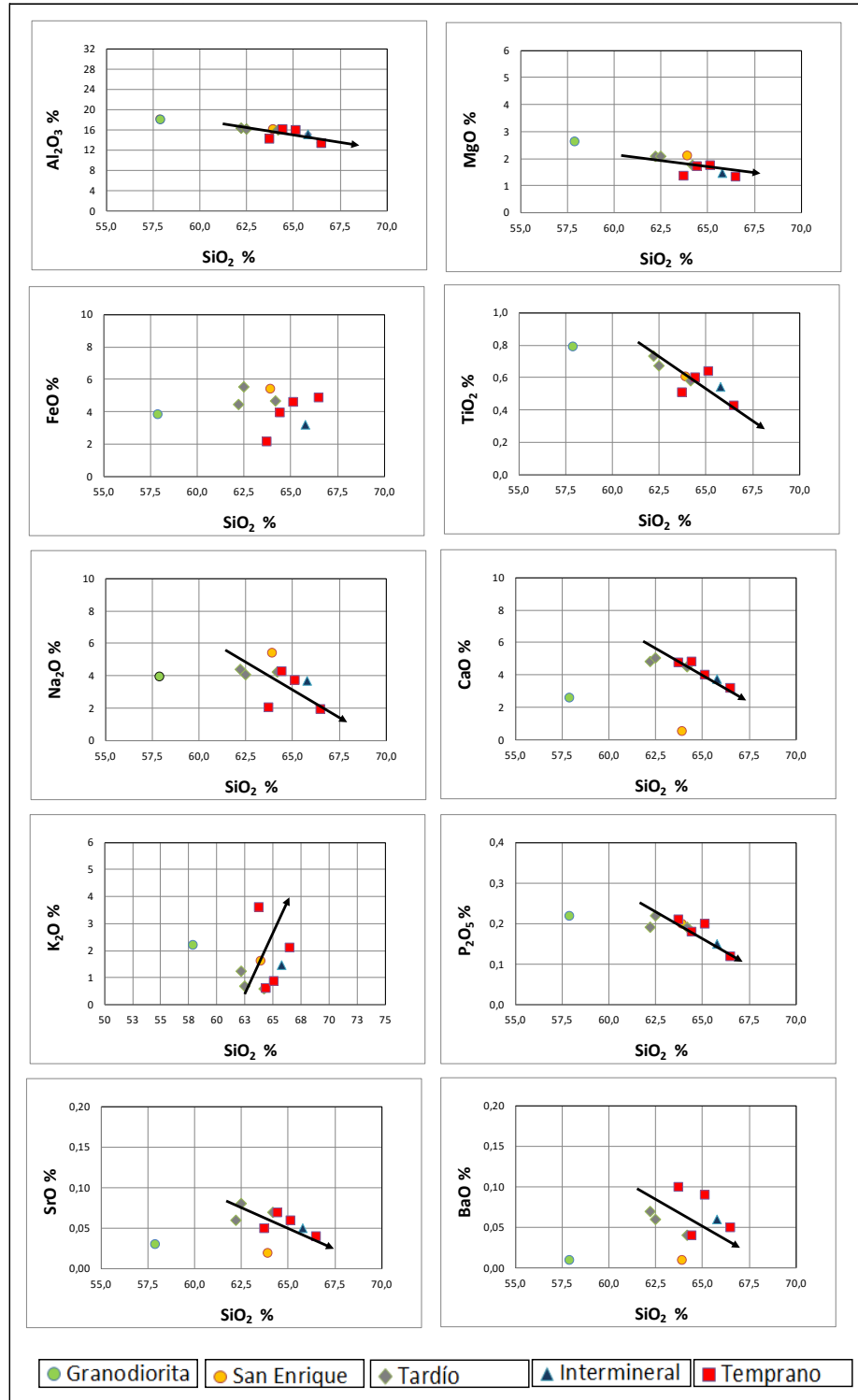


Figura 15: Diagrama Harker. Elementos Mayores.

3.3 ELEMENTOS MENORES

La investigación de los elementos menores es importante pues, permiten identificar y discriminar la petrogénesis de las rocas con mayor certidumbre que los elementos mayores. Caracterizándose por sus bajas concentraciones (inferiores a 1.000 ppm). La abundancia de un elemento en un mineral formador de roca va a depender de la configuración electrónica del ion, carga iónica, radio iónico, electronegatividad del elemento, temperatura del sistema magmático, estructura cristalina del mineral huésped y el tipo de enlace con que se unen los elementos vecinos a la red.

Los elementos menores se clasifican según la relación carga/radio iónico (o potencial iónico) en elementos de alto potencial iónico (Sc, Y, Ta, Hf, Nb, Ce, Zr, P, Ti) y de bajo potencial iónico (Ba, Rb, Sr, K, Eu, Cs y Pb); los primeros, son insolubles en medios acuosos y relativamente inmóviles a los procesos hidrotermales o de metamorfismo; por el contrario, los elementos con bajo potencial iónico, son altamente solubles en medios acuosos.

Los resultados químicos de los elementos menores se indican en la tabla 3. Con estos datos se determina el ambiente geotectónico y la afinidad magmática; adicionalmente, se establece el comportamiento y evolución de los elementos de alto y bajo potencial iónico.

Tabla 3: Resultados elementos menores.

Litología	Pórfidos								Intrusivos		Volcánicas			
	Temprano				Interm.		Tardío		San Enrique	Granodiorita	Andesita			
	DDH-2105	DDH-2353	DDH-2099	MI-05	DDH-2094	DDH-2099	DDH-2353	DDH-2105	DDH-2109A	Superficie	Superficie	DDH-2098-A	DDH-2106	
	794,8	500,9	152,0	322,1	376,4	250,6	498,7	524,2	108,8	Superficie	Superficie	629,4	390,6	
Ag ppm	1,7	0,7	0,4	0,6	1,0	0,2	0,3	0,2	0,7	0,9	0,2	0,9	0,2	
Al %	6,7	8,0	7,6	7,0	7,3	7,7	7,8	7,7	8,0	9,1	8,4	8,0	8,9	
As ppm	0,7	0,7	1,0	0,4	0,3	0,6	0,5	0,7	4,8	2,0	4,7	1,6	1,0	
Ba ppm	810,0	350,0	780,0	380,0	520,0	490,0	540,0	360,0	120,0	110,0	880,0	330,0	510,0	
Be ppm	1,1	1,4	1,2	1,5	1,2	1,2	1,3	1,2	1,3	1,1	1,5	1,1	1,0	
Bi ppm	0,1	0,1	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	1,4	0,2	0,0	0,1	0,0	
Ca %	3,3	3,4	2,7	2,3	2,6	3,4	3,3	3,1	0,4	1,8	3,7	4,4	6,0	
Cd ppm	0,0	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	4,4	0,0	0,1	0,1	0,0	
Ce ppm	37,1	36,6	36,9	48,3	30,2	33,8	31,6	52,6	35,9	18,5	34,2	34,7	29,9	
Co ppm	5,1	9,7	9,6	17,9	17,3	13,1	12,6	4,9	13,9	7,0	12,5	40,9	16,9	
Cr ppm	12,0	12,0	10,0	9,0	11,0	17,0	15,0	12,0	8,0	4,0	12,0	11,0	10,0	
Cs ppm	2,2	2,7	3,3	2,3	4,0	2,2	3,8	0,9	1,9	1,8	4,7	1,6	4,0	
Cu ppm	3140,0	1200,0	1190,0	781,0	3030,0	665,0	847,0	320,0	790,0	461,0	46,9	3440,0	453,0	
Fe %	1,6	3,0	3,4	3,7	2,4	4,1	3,3	3,5	4,1	2,9	4,4	4,6	7,8	
Ga ppm	11,8	19,9	18,1	14,6	16,6	20,3	20,3	20,8	24,1	17,9	19,9	18,1	21,0	
Ge ppm	0,1	0,1	0,1	0,1	<0.05	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Hf ppm	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	1,3	0,2	0,5	0,7	0,3	2,8	0,5	0,2	
In ppm	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	
K %	3,0	0,5	0,7	1,8	1,3	0,6	1,0	0,5	1,4	1,8	1,4	1,5	1,3	
La ppm	17,3	17,6	17,4	25,2	15,0	15,6	14,2	25,0	21,7	8,4	14,4	16,2	14,5	
Li ppm	10,8	27,2	16,0	6,8	19,5	26,2	19,5	11,5	11,4	29,4	197,5	12,9	9,9	
Mg %	0,7	1,0	1,0	0,8	0,8	1,2	1,2	1,0	1,2	1,5	1,1	1,4	2,0	
Mn ppm	576,0	502,0	462,0	446,0	537,0	354,0	355,0	589,0	279,0	138,0	1110,0	399,0	421,0	
Mo ppm	80,2	2,2	3,2	2,7	12,1	1,2	0,9	1,2	0,5	12,2	1,3	0,7	1,9	
Na %	1,5	3,0	2,7	1,4	2,6	2,9	3,1	3,1	3,8	2,8	3,0	1,5	1,8	
Nb ppm	2,0	4,4	3,4	1,8	2,7	4,8	4,3	4,4	1,7	1,2	8,0	3,7	4,0	
Ni ppm	5,6	4,9	4,0	4,6	5,7	7,9	6,0	4,7	7,4	3,4	5,4	9,5	5,3	
P ppm	940,0	820,0	930,0	550,0	690,0	970,0	830,0	810,0	940,0	960,0	1240,0	910,0	1050,0	
Pb ppm	8,8	7,7	8,4	23,6	4,9	4,6	4,3	8,7	4,7	4,2	9,4	2,4	4,1	
Rb ppm	64,4	13,1	20,0	71,6	34,7	14,2	23,3	8,9	89,9	78,5	24,3	35,7	42,2	
Re ppm	0,0	<0.002	0,0	0,0	0,0	0,0	<0.002	<0.002	0,0	0,0	<0.002	0,0	0,0	
S %	2,0	0,8	0,5	3,4	1,8	0,7	0,8	0,4	2,8	1,3	0,1	3,9	2,1	
Sb ppm	0,4	0,3	0,7	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	0,7	0,2	0,6	0,1	0,2	
Sc ppm	5,0	6,3	6,2	5,4	4,9	7,6	7,2	5,8	5,0	15,6	12,3	19,1	17,8	
Se ppm	2,0	1,0	1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	<1	1,0	4,0	1,0	3,0	1,0	
Sn ppm	1,4	0,8	0,9	1,5	1,5	0,9	0,8	0,7	7,1	1,1	1,6	2,9	3,0	
Sr ppm	409,0	566,0	496,0	314,0	409,0	665,0	504,0	581,0	130,0	255,0	472,0	516,0	689,0	
Ta ppm	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,4	0,3	0,3	0,2	0,1	0,6	0,3	0,3	
Te ppm	0,1	0,1	<0.05	0,1	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0,1	0,1	<0.05	<0.05	<0.05	
Th ppm	3,2	3,4	4,0	9,7	3,4	3,3	2,7	4,8	5,0	1,3	2,4	3,1	2,7	
Ti %	0,1	0,3	0,2	0,1	0,2	0,4	0,4	0,3	0,2	0,1	0,5	0,4	0,4	
Tl ppm	0,4	0,1	0,2	0,5	0,3	0,2	0,2	0,1	0,5	0,5	0,4	0,3	0,5	
U ppm	0,3	0,1	0,4	0,3	0,4	0,6	0,2	0,4	3,8	0,3	0,6	0,5	0,4	
V ppm	57,0	79,0	68,0	69,0	60,0	86,0	93,0	73,0	77,0	88,0	90,0	210,0	213,0	
W ppm	5,0	1,5	2,3	3,3	3,5	0,3	0,9	0,5	9,7	3,1	0,8	7,4	0,8	
Y ppm	9,1	8,7	8,5	7,1	6,8	8,6	8,2	8,5	6,6	6,7	17,4	13,7	14,2	
Zn ppm	55,0	64,0	71,0	66,0	95,0	32,0	64,0	88,0	836,0	20,0	138,0	61,0	42,0	
Zr ppm	3,5	2,9	7,2	2,4	3,3	44,7	4,8	10,4	20,2	6,9	93,9	17,0	8,0	

3.3.1 Diagramas Discriminantes y Afinidad Magmática

Para la determinación del ambiente tectónico, se emplearon los diagramas de Pearce y otros (1984), construyéndose para todas las unidades litológicas con los elementos inmóviles Rb, Y y Nb (ver Figura 16); los diagramas logarítmicos indican que las rocas de Mocha se proyectan en el campo arco magmático (VAG).

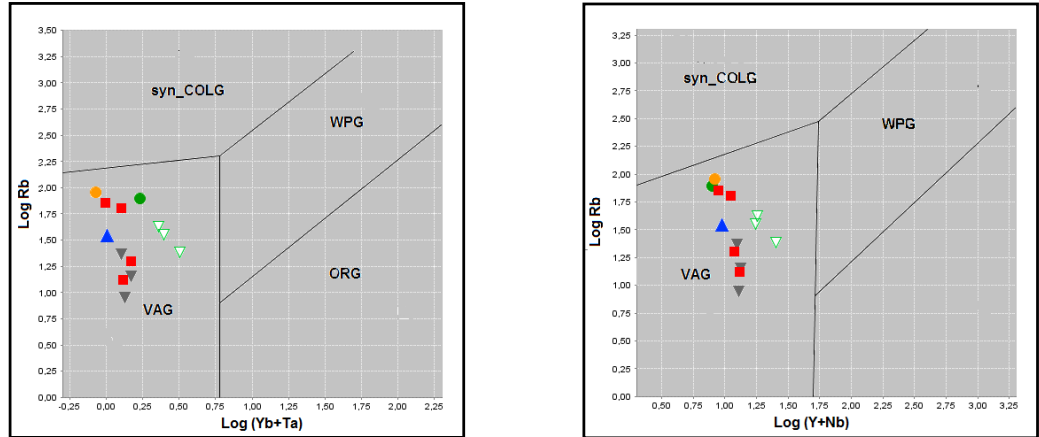


Figura 16: Diagramas de discriminación de ambientes tectónicos de Pearce y otros (1984). (a) Log Rb v/s Log Yb+Ta; (b) Log Rb v/s Log (Y + Nb). WPG: Granitos de Intraplaca, ORG: Granitos de Dorsales Oceánicas, VAG: Granitos de Arco Volcánico, Syn-COLG: Granitos colisionales.

Por su parte, la figura 17 relaciona al elemento Zr con el óxido de Sílice, desprendiéndose que las rocas de Mocha pertenecen al grupo de granitos del tipo I.

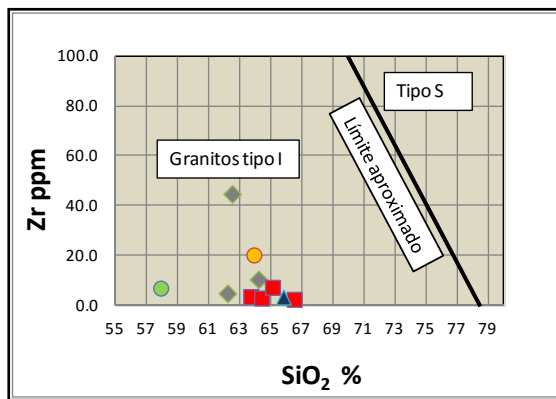


Figura 17: Diagrama de clasificación de granitos Tipo S e I (Hine et al., 1978).

3.3.2 Diagramas Harker Alto Potencial Iónico (HFSE)

Los elementos Th, Y, Zr, Hf, Nb y Ta se han considerado en la confección de los diagramas a objeto de determinar el comportamiento de ellos con respecto al contenido de SiO₂. Estos elementos tienen la característica de poseer un alto potencial iónico (carga/radio >2) debido a que poseen un pequeño radio iónico y una alta carga, lo que los hacen altamente incompatibles en la mayoría de las fases minerales.

La Figura 18 muestra los diagramas discriminantes de los elementos HFSE; desprendiéndose lo siguiente:

- Los contenidos químicos de la unidad Granodiorita Mocha no siguen el patrón geoquímico de las otras litologías; caracterizándose con bajos contenidos en sílice y un empobrecimiento de Ta, Th, I y Nb con respecto a la geoquímica de las otras rocas.
- Los valores químicos en las muestras mineralizadas presentan un comportamiento similar: empobrecimiento de Nb, Hf, Y, Zr y Ta, a medida que aumenta la sílice y un enriquecimiento de Th.
- No observa una diferencia significativa entre el Pórfido San Enrique y los valores de los Pórfidos mineralizados.
- Por su parte, los datos del Pórfido Tardío, en general, son mayores que los valores geoquímicos de los otros pórfidos, tal como se observa para el Hf, Zr, I y Hf. Para la sílice; por el contrario, presenta contenidos más modestos que los otros intrusivos mineralizados.

De los diagramas se concluye que los decaimientos de elementos como Zr-Hf-Y, Nb-Ta en las rocas mineralizadas son productos del fraccionamiento en anfíbol, apatito y zircón.

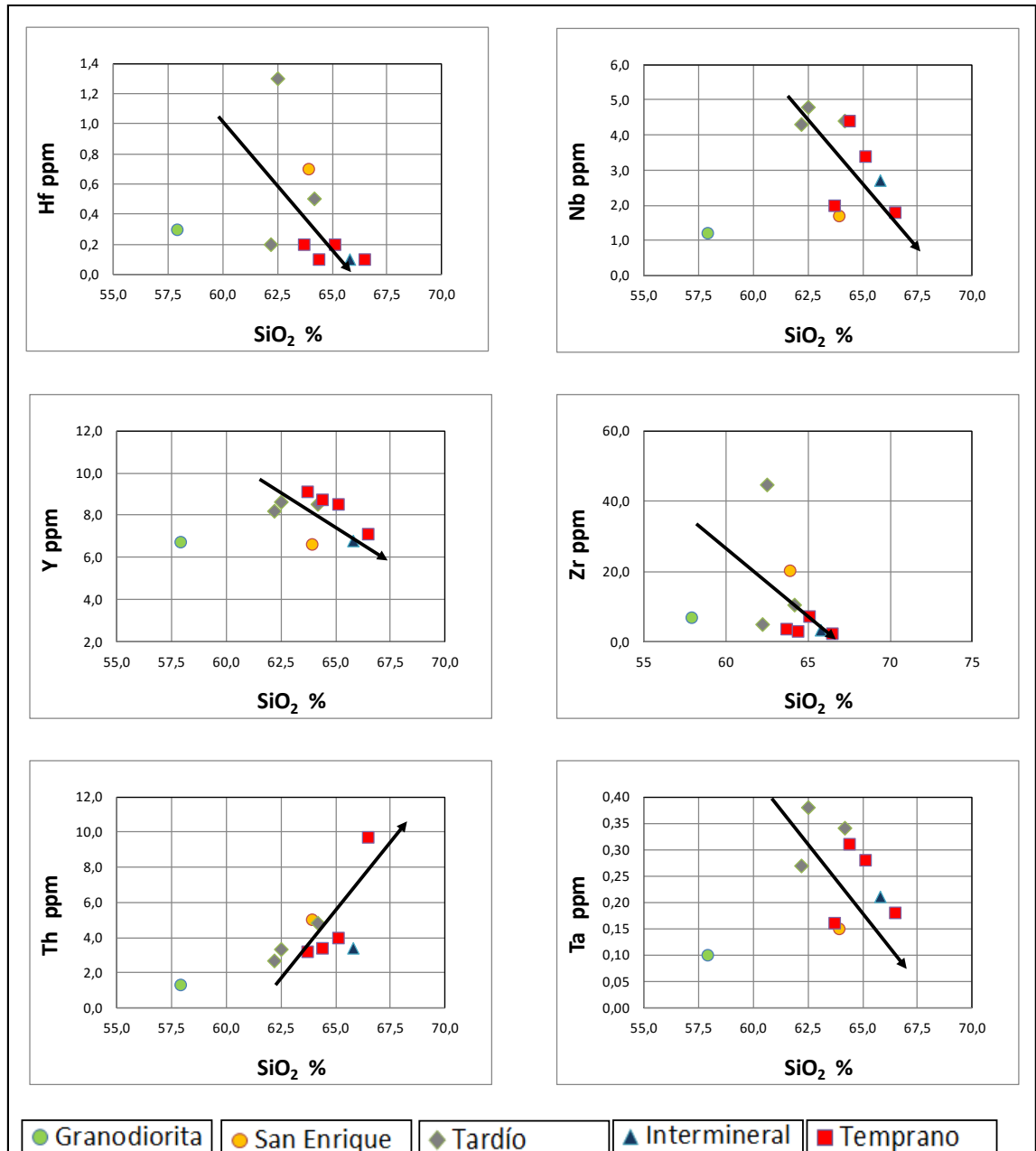


Figura 18: Diagrama de alto potencial iónico. Elementos menores.

3.3.3 Diagramas Harker Bajo Potencia Iónico (LILE)

Se confeccionaron diagramas para los elementos Ba, Cs, Sr y Rb, que dada sus características de radio iónico grande (no les permite entrar en las estructuras cristalinas de los minerales) y de baja electronegatividad son altamente móviles (solubles) y compatibles en las fases fundidas. Por consiguiente, están afectados por los procesos de removilización en las etapas de alteración hidrotermal, lixiviación o metamorfismo.

Las gráficas construidas (ver Figura 19) permiten observar el enriquecimiento en Rb y Cs por el incremento en biotita y el empobrecimiento en Ba y Sr por el fraccionamiento de plagioclasa cálcica a sódica. De igual manera que en los elementos HFSE, los valores químicos de la Granodiorita Mocha muestran un comportamiento distinto a las rocas mineralizadas.

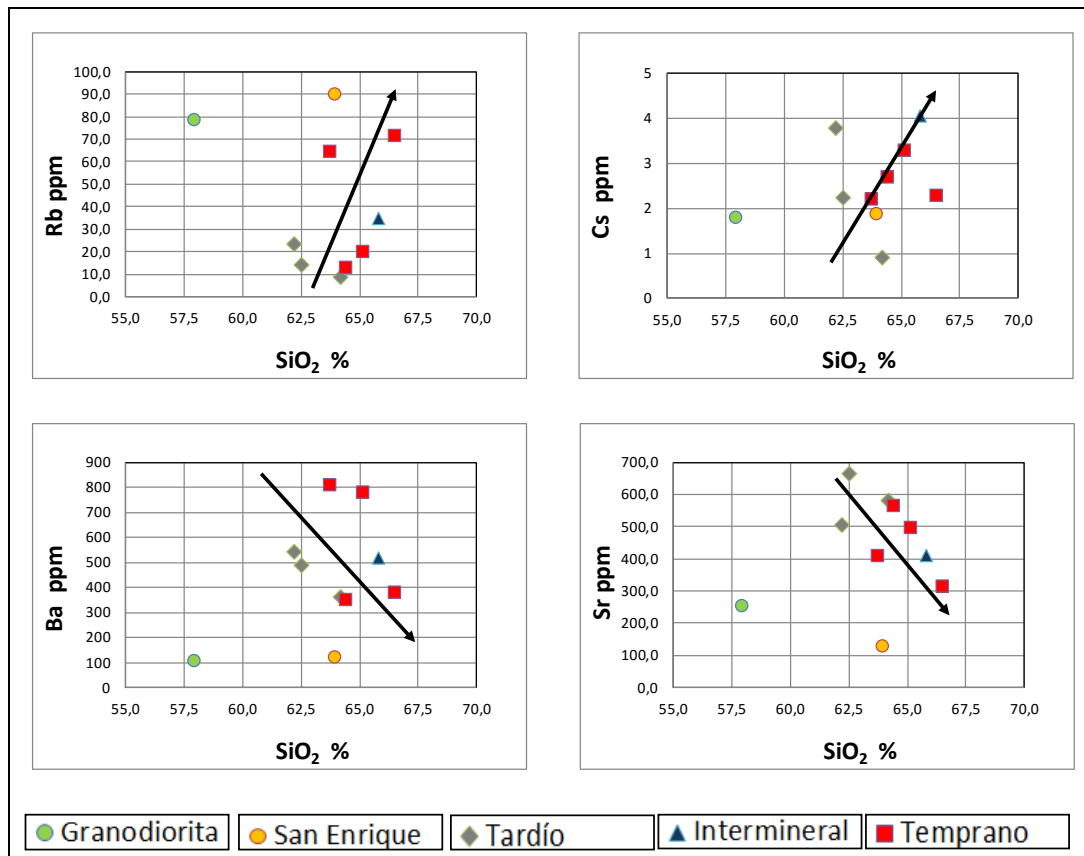


Figura 19: Diagrama de bajo potencial iónico. Elementos menores.

3.4 TIERRAS RARAS

Las Tierras Raras son los elementos más usados en los estudios petrogenéticos debido a su carácter inmóvil. Comprenden 15 elementos (La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu), con número atómico del 57 (La) al 71 (Lu), de los cuales 14 ocurren naturalmente. Aquéllos con número atómico bajo son denominados Tierras Raras Livianas (LREE, Light Rare Earth Element), aquéllos con número atómico alto son llamados Tierras Raras Pesadas (HREE, Heavy Rare Earth Element) y aquéllos con número atómico intermedio son identificados como Tierras Raras Intermedias (MREE, Medium Rare Earth Element). Las tierras raras suelen graficarse en un diagrama composición-abundancia que resulta en un patrón de zig-zag, debido a que las REE con número atómico par son más abundantes que las de número atómico impar. Para eliminar esta variación son usualmente normalizados a una referencia estándar (valores de meteoritos condriticos).

Tabla 4: Resultados elementos trazas.

Elemento	Pórfidos								Intrusivos		Volcánicas		
	Temprano				Interm.	Tardío			San Enrique	Granodiorit	Andesita		
	DDH-2105 794,8	DDH-2353 500,9	DDH-2099 152,0	MI-05 322,1	DDH-2094 376,4	DDH-2099 250,6	DDH-2353 498,7	DDH-2105 524,2	DDH-2109A 108,8	Superficie	Superficie	DDH-2098-A 629,4	DDH-2106 390,6
Ce	45,6	41,0	43,3	50,4	30,3	42,7	40,2	64,1	34,9	19,5	46,8	43,3	32,3
Dy	2,3	2,2	2,4	1,7	1,7	2,4	2,2	2,2	1,4	2,4	4,7	4,5	3,6
Er	1,2	1,2	1,3	0,9	0,9	1,2	1,1	1,1	0,8	1,5	2,8	2,4	2,1
Eu	1,2	1,1	1,3	1,0	1,0	1,2	1,2	1,1	0,6	0,7	1,6	1,7	1,3
Gd	2,8	2,8	3,0	2,3	2,0	3,1	2,8	2,9	1,8	2,4	4,8	4,7	3,6
Ho	0,5	0,4	0,5	0,3	0,3	0,5	0,4	0,4	0,3	0,5	1,0	0,9	0,7
La	24,4	22,3	23,7	28,5	17,0	22,6	21,2	35,8	22,7	10,2	24,6	23,8	16,9
Lu	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,4	0,4	0,3
Nd	21,5	19,4	21,9	21,0	14,2	21,2	20,6	27,1	13,3	11,7	25,0	23,2	17,4
Pr	5,7	5,2	5,7	6,0	3,8	5,5	5,2	7,7	3,8	2,8	6,3	5,8	4,3
Sm	3,8	3,8	4,1	3,3	2,8	4,0	4,1	4,5	2,2	2,8	5,7	5,4	4,2
Tb	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,5	0,5	0,5	0,3	0,4	0,9	0,8	0,6
Th	5,0	5,0	6,0	13,0	4,0	5,0	5,0	8,0	6,0	2,0	5,0	5,0	3,0
Tm	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,4	0,3	0,3
U	0,8	<0,5	0,9	0,6	0,7	1,2	0,5	0,8	4,4	0,8	1,1	1,6	0,8
Y	12,7	12,2	13,4	9,8	9,3	13,0	11,8	12,2	8,0	13,9	27,4	25,0	19,6
Yb	1,1	1,0	1,2	0,8	0,8	1,1	1,0	1,0	0,7	1,6	2,6	2,2	2,0

La figura 20 muestra los resultados de los análisis de Tierras Raras (en abundancia), normalizados al Condrito de Sun y McDonough (1989), en escala logarítmica de base 10. De la figura se desprende tres comportamientos:

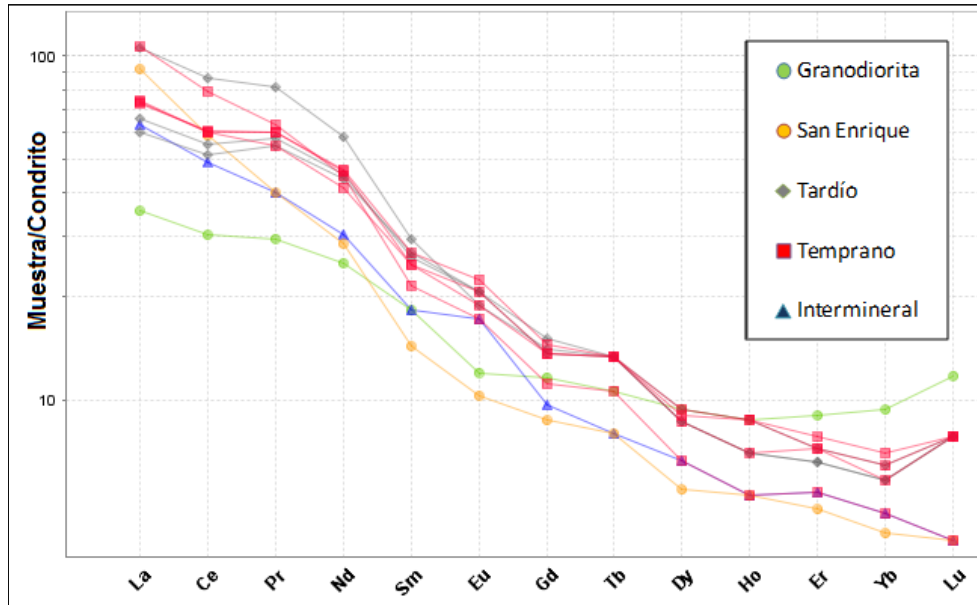


Figura 20: Diagrama de Tierras Raras: de intrusivos.

- Comportamiento en los pórfidos relacionados a la mineralización. Las seis muestras tienen un patrón similar en pendiente, alto grado de fraccionamiento, enriquecidas en LREE y empobrecidas en HREE. No observa una anomalía significativa en Eu.
- Comportamiento en Granodiorita Mocha. Es notable la diferencia del espectro de las Tierras Raras en la granodiorita con respecto a las litologías relacionados con la mineralización, con un bajo grado de fraccionamiento (se enriquece en HREE) y una débil anomalía en Eu (0,8).
- Comportamiento Intrusivo San Enrique. Es el que presenta la pendiente más fuerte, con un valor de fraccionamiento mayor al resto de las muestras y una débil anomalía en Eu (0,9).

3.5 ADAKITAS

Los depósitos de pórfido cupríferos presentan, en muchos casos, una signatura química similar a las adakitas (Kay y Mpodozis, 2001; Oyarzun et al., 2001). Adakita como término petrológico fue introducido por Defant y Drummond (1990), para describir un inusual tipo de andesitas con alto contenido en magnesio encontradas en las islas de Adak en las Aleutianas. Originalmente, fueron caracterizadas por Kay (1978) como rocas con altas razones La/Yb (LREE/HREE), altas concentraciones de Sr y relativamente bajas razones FeO/MgO en andesitas. Las características geoquímicas permiten a Kay (1978) sugerir que estas rocas son el resultado de la fusión parcial de corteza oceánica subducida joven y caliente (<20 Ma) que se extienden hasta la zona de transición anfibolítica-eclogita; Otros modelos, establecen la generación de magmas como fusión parcial de corteza inferior máfica engrosada (Atherton y Petford, 1993), o por fusión parcial por delaminación cortical de la corteza continental inferior (Xu et al., 2005) y/o fusión parcial subcortical basáltica (Rapp et al., 2002).

A objeto de caracterizar los diferentes tipos litológicos que se presentan en el depósito de Mocha y, su posible afinidad con los magmas adakíticos, se construyen diagramas con las razones Sr/Y versus SiO₂ y La /Yb versus SiO₂ (ver Figura 21). De la figura, se desprende lo siguiente:

- Los pulsos relacionados a la mineralización (Pórfidos Temprano, Intermineral y Tardío) presentan un “trend” composicional similar, con altas razones de La/Yb (20 a 36) y Sr/Y (32 a 51).
- La unidad Granodiorita Mocha presenta un comportamiento diferente a las rocas mineralizadas con bajas razones en La/Yb (6,4) y en Sr/Y (<19).

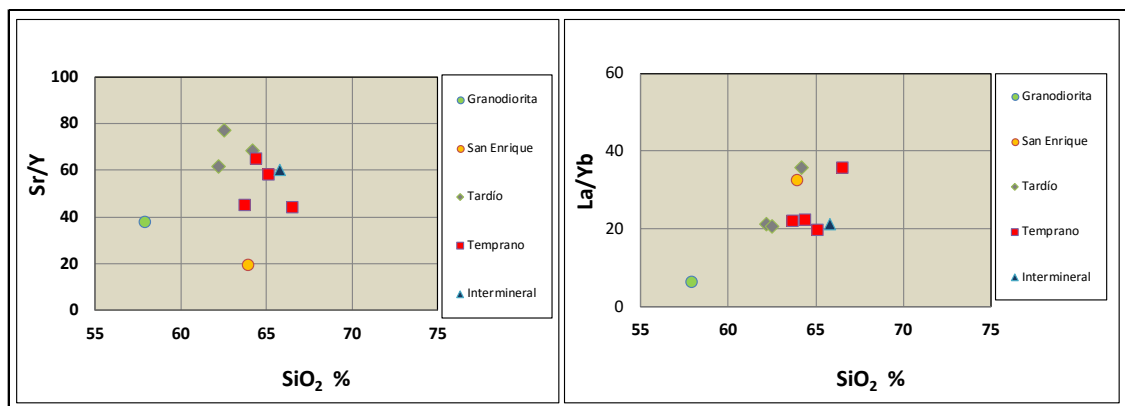


Figura 21: Diagramas de razones Sr/Y y La/Yb versus SiO₂.

La información obtenida de estos diagramas permite discriminar geoquímicamente las rocas intrusivas mineralizadas de las litologías sin mineral y, además, compararlas con las características de los magmas adakíticos (ver Tabla 5). Los resultados permiten establecer que las rocas mineralizadas de Mocha presentan características afines a los magmas adakíticos, con alto contenido en SiO₂, bajas concentraciones en Y e Yb y razón alta de Sr/Y como La/Yb.

Tabla 5: Comparación firma Adakítica con Mocha.

Señal Adakítica	Mocha
Alto SiO ₂ ≥ 56%	62,2% a 66,5%
Alto Al ₂ O ₃ ≥ 15%	13,5% a 15,4%
Alto Sr ≥ 300 ppm	314 ppm a 665 ppm
MgO < 3%	1,4% a 2,1%
Bajo Y < 18 ppm	9,3 ppm a 13,4 ppm
Alta razón Sr/Y ≥ 20	32,0 a 51,2
Bajo Yb ≤ 1.9	0,8 ppm a 1,2 ppm
Alta Razón La/Yb ≥ 20	19,8 a 35,8
Sin Anomalía negativa de Eu	Sin Anomalía negativa de Eu

3.6 COMPARACIÓN INCA DE ORO, MOCHA Y TOKI.

Se utiliza la información geoquímica de las tesis para optar el título de geólogo de Pérez (2011) en el cuerpo mineralizado de Inca de Oro y de Fernández (2011) en el Cluster Toki con el objeto de comparar las razones de Sr/Y y de La/Yb (ver Figura 22) con los de Mocha; observando lo siguiente:

- Las razones de Sr/Y en las muestras de Mocha (Paleoceno superior) son levemente superiores a las de Inca de Oro (Cretácico superior) e inferiores a los valores de Toki (Eoceno). Lo que refleja el grado hidratado de los magmas y de las concentraciones de volátiles; cabe recordar que el Sr y el Eu se alojan en las plagioclasas y que magmas de estas características inhiben la cristalización de plagioclasas.

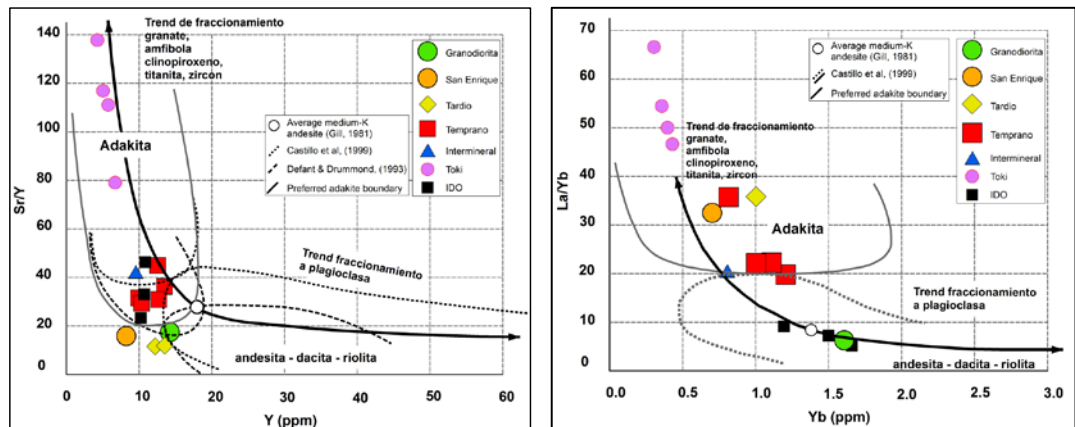


Figura 22: Razones Sr/Y y La/Yb en distintos centros mineralizados.

- Las razones de La/Yb en las muestras de Mocha son más elevadas que en las de Inca de Oro e inferiores a las de Toki, posiblemente relacionados al fraccionamiento de las plagioclasas, anfíbulas y granates respectivamente.
- Las curvas del “trend” de los pórfidos de Mocha siguen la tendencia tipo cuchara, típicas de pórfidos mineralizados.

También, se comparan los datos de las razones de La/Sm versus Sm/Yb (ver Figura 23), notando que los valores de las Tierras Raras, en los tres cuerpos mineralizados, se sitúan en rangos de valores distintivos disminuyendo el Sm con la edad de las rocas. Los cambios en las razones de Sm/Yb refleja, posiblemente, modificaciones en la mineralogía residual de los magmas: desde piroxenos (PX), anfíboles (ANF) hasta granate (GT), asociado al incremento en las condiciones de presión o profundidad en la corteza; lugar en la cual se habría adquirido la composición química de los magmas (Kay y Kay, 1991). Esta relación ha sido utilizada como guía para estimar el espesor de la corteza (Kay y Mpodozis, 2001): < 35 km para piroxenos, 30 a 40 km para anfíboles y 45 a 50 km para granates.

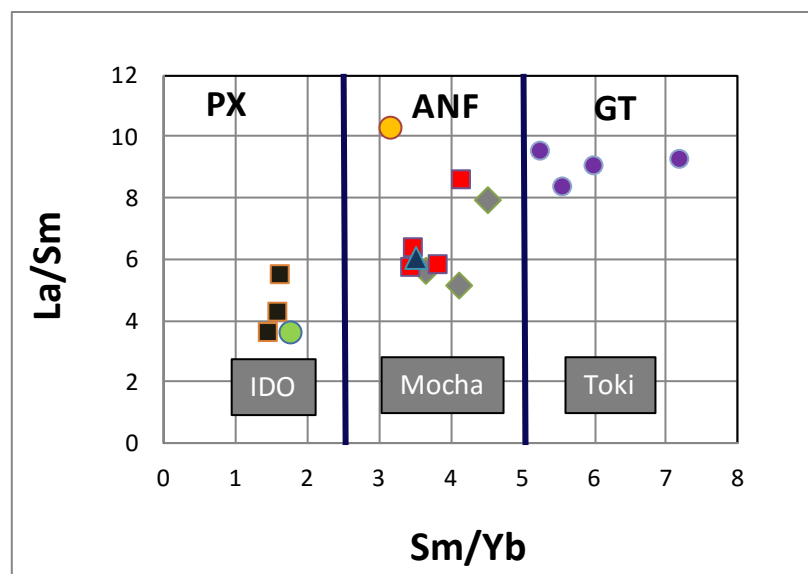


Figura 23: Razones La/Sm y Sm/Yb en distintos centros mineralizados.

CAPÍTULO IV

GEOCRONOLOGIA Y ANALISIS ISOTOPOS Lu-Hf

4.1 GENERALIDADES

Con la finalidad de determinar los eventos de temporalidad de los pulsos magmáticos y, en lo posible, determinar las relaciones de los procesos de alteración y mineralización, es que se enviaron tres muestras a reconocidos laboratorios nacionales e internacionales con el objeto de datarlos mediante U/Pb en zircones, Ar/Ar sobre sericita y, Re/Os sobre molibdenita (certificados de dataciones en Anexo 3). También, se analiza la composición isotópica de Lu-Hf sobre granos de zircones para establecer la procedencia del magma.

4.2 MÉTODO U/Pb EN ZIRCONES

La datación mediante U/Pb se realizó sobre una muestra del sondaje DDH-2102 (tramo 496,06 m a 496,38 m), de aproximadamente 1.500 gramos de peso, en una roca perteneciente al evento de mineralización temprana y de composición dacítica.

La probeta fue enviada al laboratorio The Australian National University, Canberra, y trabajada por el investigador Sr. Mark Fanning (2011); quién utilizó la metodología estándar para la preparación y para las medidas en los granos de zircón: molienda, vibración y separación mediante líquidos pesados y paramagnéticos. Los cristales colectados fueron montados sobre resina junto con astillas de zircones de referencia de Temora, previamente seccionados a la mitad y pulidos. Para todos los granos de zircones se prepararon fotomicrografías a luz transmitida y reflejada así como imágenes de catodoluminiscencia (CL) en microscopio electrónico de barrido. Las imágenes fueron utilizadas para determinar la estructura interna de los granos y comprobar la dimensión del cráter (aproximadamente 20 μm) producido por el SHRIMP.

Los análisis de U-Th-Pb fueron efectuados usando SHRIMP II (sensitive high resolution ion microprobe), mediante electrones secundarios emitidos por la muestra pulida, una vez golpeada por un haz de iones primarios y, detectada por un espectrómetro de masa de tipo “double focussing” (electroestático y magnético). Las determinaciones se realizaron de preferencia en zonas cercanas a la periferia del grano, para que representaran las edades de cristalización; en algunos granos, se realizó más de una medición para verificar la existencia de núcleos heredados. Las técnicas usadas fueron las descritas por Williams (1998). Para la calibración de las razones de U-Pb se utilizó el circón de referencia Temora (416,75 Ma, Black et al., 2003). Los datos se procesaron usando el macro de Excel SQUID de Ludwig (2001).

Las imágenes de catadoluminiscencia resaltan la naturaleza heterogénea de los granos de zircones, con estructuras internas de zonación magmática simple; también. Los zircones de la muestra son cristales predominantemente euhedrales alargados, con terminaciones bi-piramidales. En su mayoría son granos simples y transparentes bajo la luz transmitida y con muy pocas inclusiones. El estudio incluyó el análisis de 22 granos de zircón con un total de 26 áreas escaneadas, medidas en el centro y en los bordes de los cristales.

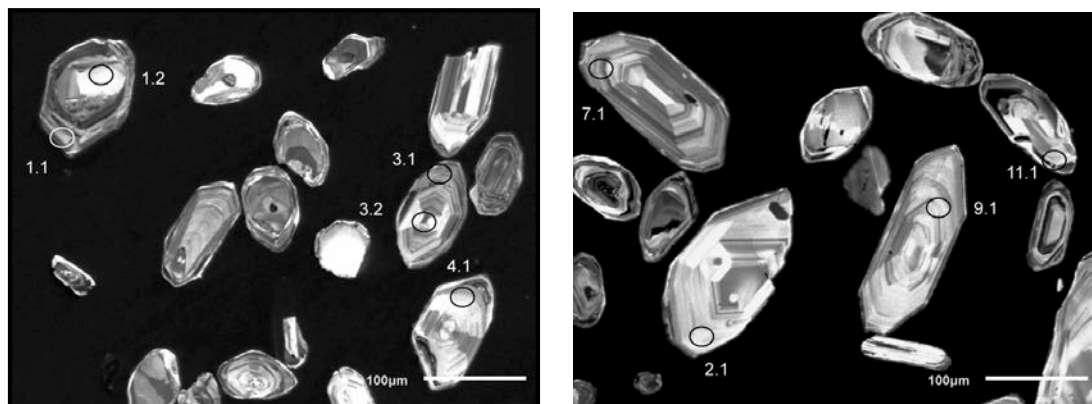


Figura 24: Formas de los zircones y áreas analizadas.

Los resultados de U/Pb se registran en la tabla 6. De ella, se desprende que los contenidos de uranio son, en su mayoría (77% de las medidas) inferiores a 260 ppm y, solamente, un valor es superior a 1.000 ppm; al contrario, los contenidos de thorio son variables: el 27% de los datos son mayores a 1000 ppm y el 73% tienen contenidos inferiores a 250 ppm. Por otra parte, el 96% de las tasas U/Th son menores o cercanos a 2, lo que indican el carácter ígneo de los zircones (Rubatto, 2002). Algunos zircones presentan núcleos heredados como son los casos de los granos 1.2 y 5.2 con edades superiores a 900 Ma (ver Tabla 6). Los cristales de circón no considerados en la estimación en la edad de cristalización son el resultado del estudio realizado sobre las gráficas de Tera-Wasserburg y del tratamiento estadístico efectuados en las razones $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$.

Finalmente, se selecciona un grupo de 16 medidas cuya distribución de edad es entorno a los 56 Ma y con una dispersión baja de los datos; obteniéndose una edad de cristalización de $56,14 \pm 0,61$ Ma.

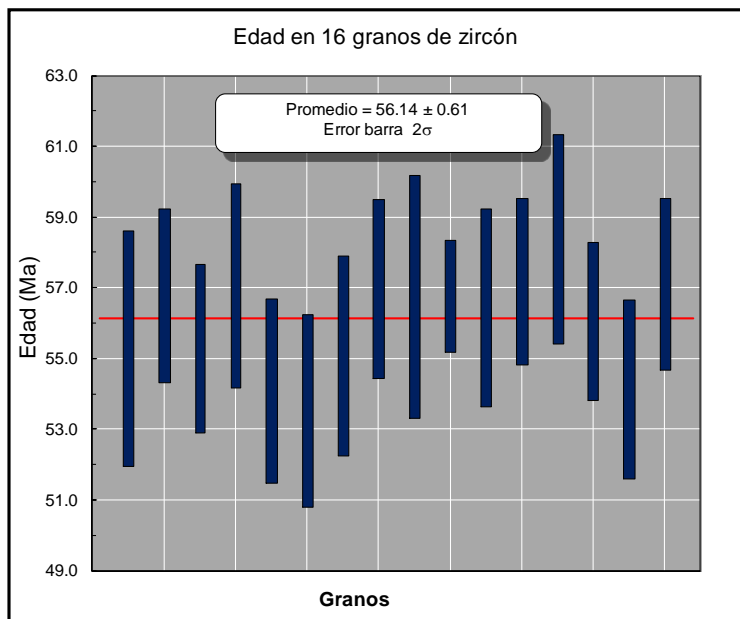


Figura 25: Gráfica de dispersión en la edad de los cristales de zircón.

Tabla 6: Resultados dataciones en los cristales de zircón.

Grano	U (ppm)	Th(ppm)	U/Th	Th/U	²⁰⁶ Pb* (ppm)	²⁰⁴ Pb/ ²⁰⁶ Pb	f ₂₀₆ %	Total Ratios				Ratios Radiogenic		Edad (Ma)	
								²³⁸ U/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	
								Valor	±	Valor	±	Valor	±	Edad	±
1,1	269	2736	0,10	10,2	1,9	0,003	2,57	122,4	2,4	0,067	0,005	0,008	0,0002	51,1	1,0
1,2	96	45	2,12	0,5	12,7	0,000	0,94	6,487	0,096	0,077	0,001	0,153	0,0023	916,1	13,1
2,1	91	62	1,46	0,7	0,7	0,004	6,83	108,1	3,1	0,101	0,006	0,009	0,0003	55,3	1,7
3,1	173	1319	0,13	7,6	1,4	0,007	6,05	106,2	2,2	0,095	0,004	0,009	0,0002	56,8	1,2
3,2	189	164	1,15	0,9	1,5	0,002	4,79	110,5	2,2	0,085	0,006	0,009	0,0002	55,3	1,2
4,1	138	88	1,58	0,6	1,1	-	2,84	109,2	2,7	0,070	0,004	0,009	0,0002	57,1	1,4
5,1	207	2095	0,10	10,1	2,1	0,002	1,87	84,17	1,51	0,062	0,002	0,012	0,0002	74,7	1,4
5,2	445	100	4,46	0,2	61,3	0,000	0,38	6,234	0,070	0,074	0,001	0,160	0,0019	955,7	10,4
6,1	83	50	1,64	0,6	0,6	0,008	12,86	112,5	3,1	0,149	0,012	0,008	0,0003	49,7	1,6
7,1	258	173	1,49	0,7	1,9	0,002	3,73	116,7	2,1	0,077	0,004	0,008	0,0002	53,0	1,0
8,1	151	112	1,34	0,7	1,2	0,004	6,34	111,1	2,5	0,097	0,007	0,008	0,0002	54,1	1,3
9,1	110	68	1,62	0,6	0,8	0,004	7,30	111,1	2,7	0,105	0,006	0,008	0,0002	53,6	1,4
10,1	113	66	1,71	0,6	0,9	0,007	7,68	107,6	2,6	0,108	0,006	0,009	0,0002	55,1	1,4
11,1	135	145	0,94	1,1	1,0	0,003	6,23	112,9	2,6	0,096	0,004	0,008	0,0002	53,3	1,2
12,1	161	84	1,93	0,5	1,3	0,003	5,17	106,8	2,3	0,088	0,005	0,009	0,0002	57,0	1,3
13,1	635	4005	0,16	6,3	5,1	0,001	0,49	107,3	1,5	0,051	0,002	0,009	0,0001	59,5	0,9
14,1	84	74	1,13	0,9	0,7	-	3,09	109,6	3,2	0,072	0,007	0,009	0,0003	56,8	1,7
15,1	637	6807	0,09	10,7	4,9	0,001	0,49	112,5	1,6	0,051	0,002	0,009	0,0001	56,8	0,8
15,2	127	108	1,18	0,8	1,0	0,004	7,10	105,6	2,4	0,103	0,007	0,009	0,0002	56,5	1,4
16,1	1112	1222	0,91	1,1	92,4	0,000	0,03	10,34	0,11	0,060	0,000	0,097	0,0011	594,8	6,2
17,1	308	4026	0,08	13,1	2,5	0,004	7,26	104,1	1,8	0,105	0,008	0,009	0,0002	57,2	1,2
18,1	181	157	1,15	0,9	1,5	0,001	3,99	105,5	2,1	0,079	0,011	0,009	0,0002	58,4	1,5
19,1	239	241	0,99	1,0	1,9	0,003	2,65	106,0	2,0	0,068	0,005	0,009	0,0002	59,0	1,2
20,1	217	143	1,52	0,7	1,7	0,001	4,18	109,7	2,1	0,080	0,004	0,009	0,0002	56,1	1,1
21,1	149	117	1,28	0,8	1,2	0,005	6,13	111,3	2,5	0,096	0,005	0,008	0,0002	54,2	1,3
22,1	175	154	1,14	0,9	1,4	0,000	3,55	108,4	2,2	0,075	0,004	0,009	0,0002	57,1	1,2

Nota: Datación No considerada

4.3 MÉTODO Ar/Ar

Los eventos de alteración hidrotermal de Mocha son datados mediante la técnica $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ sobre muestras de uno de los pulsos magmáticos que conforman el yacimiento (evento intermineral), enviándose dos muestras de testigos de sondajes al laboratorio de geocronología del Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile: serie 106396 correspondiente al pozo DDH-2105 (1036 m de profundidad) y la muestra etiquetada con la identificación 106423 del sondaje MI-7 (309,5 m de profundidad).

El laboratorio realizó estudios de difracción de rayos X sobre ambos materiales, concluyendo que la muestra 106396 es apta para realizar las medidas; en cambio, los altos contenidos de potasio en la segunda muestra hacen inviable su medición. El material seleccionado fue reducido a diferentes diámetros de partículas, seleccionando la fracción con menor cantidad de impurezas; el concentrado se mandó a irradiar al Reactor CCHEN; posteriormente, la muestra se calienta a incrementos prefijados de temperatura, aproximadamente una hora para cada incremento. El argón liberado en cada etapa es conducido, filtrado y analizado en el espectrómetro de masa del SERNAGEOMIN, determinándose la razón $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$. De esta forma, se obtiene una serie de edades las que son representadas en un diagrama de la temperatura de cada experimento (porcentaje acumulativo del ^{39}Ar liberado en cada incremento) y la edad aparente asociada (ver Figura 26). Los resultados obtenidos indican una edad de $55,31 \pm 0,16$.

Los trabajos realizados por el SERNAGEOMIN son concluyentes en el sentido que las medidas obtenidas son consistentes (precisión adecuada), no apreciándose exceso de argón.

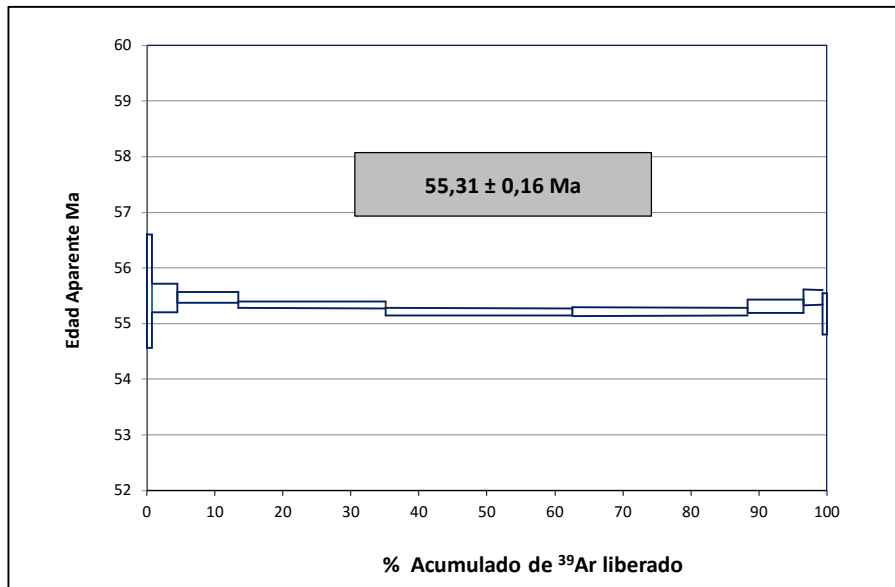


Figura 26: Espectro de edad Ar/Ar, muestra 160396.

4.4 MÉTODO Re/Os

La muestra identificada con la serie 160424, obtenida del sondaje MI-9 (426,33 m de profundidad), fue empleada para datarla con la técnica Re/Os. El material pertenece a la unidad denominada Pórfido Intermineral, la que presenta una vetilla tipo B de 5 mm de espesor, conformada por cuarzo, sericita, molibdenita cristalina y subordinadamente pirita. La probeta fue enviada a la universidad de Durham UK y analizada por el Dr. David Selby. El proceso de datación fue monitoreado por el Dr. Fernando Barra de la Universidad de Chile.

En el centro de investigación de Durham fue tratada la muestra, de acuerdo a los procedimientos estandarizados de esa Universidad; en primer lugar, se preparó, separando la molibdenita (evitando los granos finos), hasta constituir una masa de aproximadamente 0,012 g e introducida en un tubo especial de cuarzo (Tubo Carius); posteriormente, a la porción de mineral se adicionaron soluciones trazadoras enriquecidas en un isótopo específico y de concentración conocida de ¹⁸⁵Re y ¹⁹⁰Os con una mezcla de ácido nítrico clorhídrico y peróxido

de hidrogeno. La preparación de la muestra concluye cuando el tubo es colocado en un horno a 240°C por 8 horas a objeto de disolver y homogenizar la muestra. Posteriormente, la solución es sometida a una destilación (Nagler y Frei, 1997) con el propósito de separar el osmio del renio. Finalmente, los análisis se realizan mediante un espectrómetro de masas de ionización termal (TIMS)

La edad de la molibdenita se calcula usando la constante de decaimiento del ^{187}Re de $1.666 \times 10^{-11} \text{ y}^{-1}$ (Smoliar et al., 1996). El error en la determinación se calcula mediante propagación de errores y considera principalmente el error en la constante de decaimiento (0,31%), errores en la calibración de Spikes y, en menor medida, errores de medición. De esta manera, la muestra analizada proporcionó una edad de $56,43 \pm 0,23 \text{ Ma}$.

Tabla 7: Datación Re/Os en muestra 160424.

Muestra	Peso (g)	Re Total (ppm)	^{187}Re (ppm)	^{187}Os (ppb)	Edad
160424	0,012	$404,006 \pm 1,86$	$253,96 \pm 1,17$	$238,87 \pm 1,00$	$56,43 \pm 0,23$

4.5 ANÁLISIS ISOTOPOS Lu-Hf

4.5.1 Antecedentes

Los análisis isotópicos de Hf en zircones en combinación con análisis isotópicos de O y elementos trazas o edades U-Pb, proporcionan una importante visión sobre los procesos evolutivos de diferentes tipos de roca, ya sean procesos magmáticos, metamórficos o estudios de procedencia en rocas sedimentarias. El circonio puede llegar a incorporar hasta un 2% de Hf en su estructura y esto, unido

a la baja concentración de Lu (incremento radiogénico de Hf despreciable), hace que sea un mineral muy importante en la determinación de la composición isotópica de Hf inicial y, por lo tanto en estudios de la evolución de la corteza terrestre (Maas, 2003). En efecto, los isótopos de Hf se encuentran concentrados en la red cristalina del zircón, mientras que las tierras raras son mucho menos compatibles. Por lo tanto, las correcciones isotópicas de Hf debido al crecimiento radiogénico in situ son prácticamente insignificantes; por consiguiente, la composición isotópica de Hf en el zircón corresponde cercanamente a la relación isotópica inicial de $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ heredada del magma al tiempo de su formación o crecimiento del zircón (Hawkesworth y Kemp, 2006b; Nebel et al., 2007).

La técnica que permite medir las concentraciones y relaciones isotópicas es mediante el uso de equipos de MC-ICP-MS, previa ablación láser sobre zircones (similar a la metodología empleada en las dataciones de U/Pb en zircones).

4.5.2 Procedimientos

El estudio de isotopo de oxigeno fue realizado por el investigador Sr. Mark Fanning (2011) en Australian National University. Las medidas de razones isotópicas se efectuaron sobre la muestra identificada con el código 160395 (muestra del Pórfido Temprano), utilizada previamente en la datación U/Pb; usando RSES SHRIMP II con fuente de Cs y “electron gun” para compensación de carga siguiendo los métodos de Ickert et al. (2008). Los cráteres, de aproximadamente 20 μm de diámetro y 1-2 μm de profundidad, producidos durante el análisis SHRIMP UPb, fueron eliminados mediante un pulido suave. De este modo, se asegura que el área del análisis de isótopos de O es exactamente el mismo que del análisis U-Pb. Las razones isotópicas de O fueron determinadas en modo multi-colector, usando un colector triple con multiplicador axial continuo de electrones (CEM), y dos cabezas flotantes con CEM – “Faraday Cups” intercambiables. Se usó el zircón Temora para monitorear y corregir el fraccionamiento isotópico. Las razones medidas de $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ y valores calculados

de $\delta^{18}\text{O}$ fueron normalizados relativos al valor de la media ponderada del zircón Temora de +8,2‰ (Ickert et al., 2008). La reproducción de valores para el material de referencia Temora fue de $\pm 0,840$ y $0,356\text{‰}$ (incertidumbre de 2σ) para las sesiones analíticas.

Las medidas isotópicas de Lu-Hf se efectuaron por medio de espectrómetro de masa-plasma inductivamente acoplado-multicolector con ablación laser (LA-MCICPMS), usando el RSES MC-ICP-MS Neptune acoplado a un láser ArF Eximer de 193 nm de la Australian National University, con procedimientos similares a los descritos en Munizaga et al. (2008). Para todos los análisis, el cráter del láser fue de ca. 37 μm de diámetro. El espectrómetro de masas fue ajustado primero a sensibilidad óptima usando un gran grano de zircón de la Mud Tank carbonatita. Las masas isotópicas fueron medidas simultáneamente en modo estático de recolección. Un blanco de gas fue adquirido en 25 intervalos regulares durante la sesión analítica (aproximadamente cada 10 análisis). El láser fue disparado con 50 mJ de energía con una tasa de repetición de típicamente de 5-8 Hz. Los datos fueron adquiridos por 80 segundos, pero en algunos casos, sólo fue usado un intervalo seleccionado de tiempo del total, en la reducción de los datos. Durante la sesión analítica, se analizaron zircons standards de referencia ampliamente usados, como 91500, FC-1, Temora-2, Monastery y Mud Tank, para monitorear la calidad de los datos.

La intensidad de señal fue típicamente de ca. 5-6 V para Hf total al comienzo de la ablación, y decreció a 2 V o menos durante el tiempo de adquisición. Interferencias isobáricas de ^{176}Lu e ^{176}Yb en la señal de ^{176}Hf fueron corregidas mediante monitoreo de intensidad de señales de ^{175}Lu , ^{173}Yb , ^{172}Yb e ^{171}Yb . El cálculo de intensidad de señal para ^{176}Hf también involucró correcciones de tendencias de masas independientes para el Lu e Yb.

Se analizaron catorce granos de zircón (ver Tabla 8), los cuales tienen relaciones de $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ y de $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ iniciales de 0.00047–0.00137 y 0.282668–0.282871, respectivamente

Tabla 8: Resumen de datos de isotopos de oxígeno y Lu/Hf en zircones.

Grano	Edad	$1\pm\sigma$	$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$	$\pm 2\sigma$	$\delta^{18}\text{O}\text{‰}$	$\pm 2\text{ se}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$\pm 2\sigma$	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$\pm 2\sigma$	$\epsilon_{\text{Hf}}(0)$	$\epsilon_{\text{Hf}}(\text{T1})$	$\pm 2\sigma$	$T_{\text{DM}} (z)$
2,1	55,3	1,7	0,00204	2E-07	5,5149	0,3503	0,282774	3,3E-05	0,00067	0,00003	-0,39	0,81	1,17	986
3,2	55,3	1,2	0,00204	2E-07	6,2111	0,3477	0,282668	6,6E-05	0,00103	0,00003	-4,14	-2,95	2,33	1223
7,1	53,0	1	0,00204	2E-07	6,4209	0,3449	0,282824	2,8E-05	0,00051	0,00001	1,38	2,54	0,99	875
8,1	54,1	1,3	0,00204	2E-07	5,3882	0,3483	0,282841	3,2E-05	0,00089	0,00001	1,98	3,15	1,13	837
9,1	53,6	1,4	0,00204	2E-07	5,8545	0,3549	0,282824	2,5E-05	0,00047	0,00005	1,38	2,55	0,88	874
10,1	55,1	1,4	0,00204	3E-07	5,7009	0,3594	0,282799	2,8E-05	0,00068	0,00002	0,49	1,69	0,99	930
12,1	57,0	1,3	0,00204	2E-07	5,2816	0,3460	0,282734	2,8E-05	0,00067	0,00004	-1,81	-0,57	0,99	1074
14,1	56,8	1,7	0,00204	2E-07	5,1593	0,3514	0,28283	6,9E-05	0,00053	0,00000	1,59	2,83	2,44	859
15,2	56,5	1,4	0,00204	2E-07	5,6694	0,3532	0,282777	3,2E-05	0,00137	0,00010	-0,28	0,92	1,13	980
18,1	58,4	1,5	0,00204	2E-07	5,7181	0,3479	0,282812	3,3E-05	0,00048	0,00005	0,95	2,23	1,17	898
19,1	59,0	1,2	0,00204	1E-07	5,5871	0,3410	0,282859	0,00013	0,00074	0,00004	2,62	3,9	4,6	793
20,1	56,1	1,1	0,00204	2E-07	5,7344	0,3520	0,282871	7,1E-05	0,00071	0,00003	3,04	4,26	2,51	768
21,1	54,2	1,3	0,00204	1E-07	5,6765	0,3424	0,282809	4,3E-05	0,00082	0,00003	0,85	2,02	1,52	908
22,1	57,1	1,2	0,00204	3E-07	5,8393	0,3610	0,282807	5,6E-05	0,00106	0,00007	0,78	2	1,98	912

4.5.3 Resultados Isotopos de Oxígeno

Los valores de los isotopos de oxígeno (datos de $\delta^{18}\text{O}$) están relativamente restringido, desde 5.2 a 6.4‰, con gran parte de las medidas inferiores a 6‰ y posicionadas en la franja definida para el manto (Valley et al., 1998); solamente se registran dos granos (secciones 3.2 con 6.2‰ y 7.1 con 6.4‰) con valores sobre 6‰ (ver Figura 27), mientras que el promedio de las otras 12 áreas es de $5.6\pm 0.2\text{‰}$. Estos valores indican claramente que la fuente del magma de los 56

Ma no ha interactuado con material de la corteza (todos los datos están dentro de la incertidumbre analítica de zircones del manto).

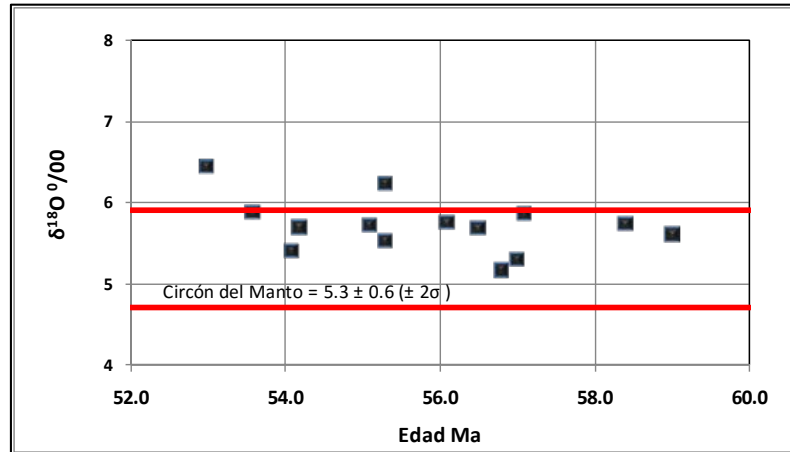


Figura 27: Diagrama de $\delta^{18}\text{O}$ versus $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$.

4.5.4 Resultados Isotopos de Hafnio

Los valores iniciales ϵ_{Hf} fluctúan entre 0,9 y 2,5 unidades ϵ psilon con sólo dos registros negativos (granos 3.2 y 12.1, Tabla 8). Como se observa en la figura 28, los valores de ϵ_{Hf} se ubican por sobre las medidas del reservorio uniforme condritico (CHUR) y, a su vez, son significativamente más bajos que los valores empobrecido del manto contemporáneo, valor calculado cercano a 15.4 para cuerpos intrusivos de edad cercana a 56 Ma. Las edades de dos etapas modelo Manto (T_{DM}) son relativamente antiguos, que van desde 0.7 a 1.2 a Ga; lo que indica que la fuente del magma se ha separado del Manto Superior durante un tiempo considerable.

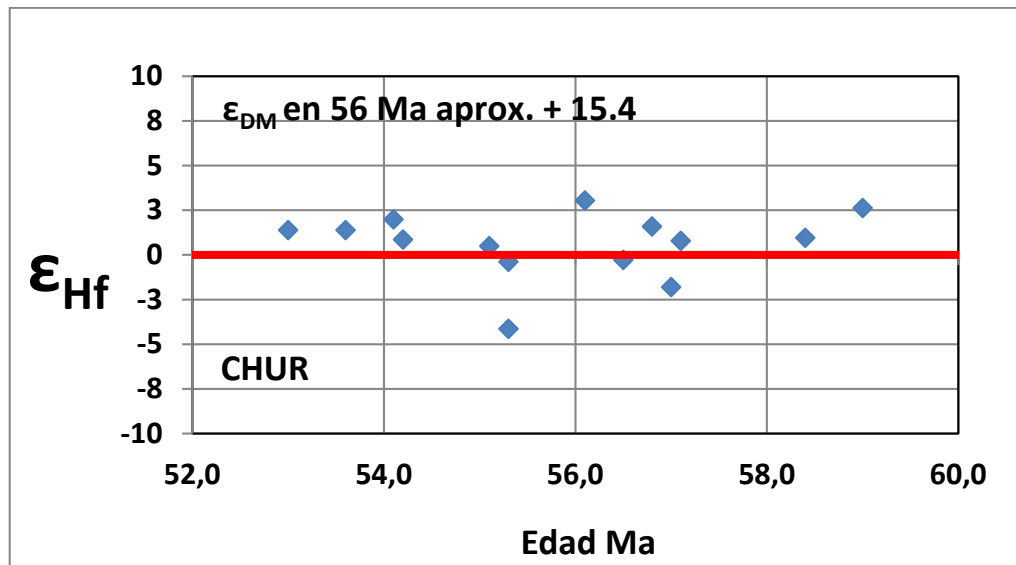


Figura 28: Diagrama de ϵ_{Hf} versus $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$.

CAPÍTULO V

MICROTERMOMETRÍA

5.1 GENERALIDADES

Para el estudio de inclusiones fluidas se seleccionaron muestras de cuarzo en vetillas y en fenocristales provenientes, en su totalidad, de los sondajes diamantinos del yacimiento Mocha. En total, se seleccionaron 8 muestras correspondientes a rocas intrusivas y rocas de cajas con vetillas tempranas (tipo A) con cuarzo-magnetita y cuarzo con mineralización de calcopirita; vetillas intermedias (tipo B) con cuarzo y mineralización de molibdenita y; vetillas tardías (tipo D) con cuarzo y mineralización de pirita (ver Figura 29).

Las muestras fueron enviadas a la Universidad de Concepción para su procesamiento y análisis siendo estudiadas por el profesor Sr. Santiago Collao (Anexo 4). La investigación incluyó el estudio de inclusiones fluidas, alteración y mineralización asociadas a venas y fenocristales de cuarzo sobre secciones pulidas y delgadas. El fundamento del estudio de las Inclusiones Fluidas se basa en que los cristales, que se forman a partir de una solución hidrotermal, pueden atrapar gases y/o líquidos dentro de las imperfecciones de la estructura cristalina; representando, por consiguiente, una pequeña muestra de la solución hidrotermal. Así, la inclusión con el líquido o vapor atrapado, al enfriarse, puede originar una burbuja de líquido más vapor (L+V) y una burbuja de líquido (L) respectivamente; Si el mineral es atrapado en condiciones de ebullición, con diferentes proporciones de líquido, vapor y polifásicas, debieran homogeneizar a la misma temperatura y, por tanto, representar la temperatura de atrapamiento (Roedder y Bodnar, 1980; Roedder, 1984).

El estudio consiste en caracterizar los tipos de inclusiones fluidas, determinar cuantitativamente la temperatura, la salinidad equivalente al porcentaje en peso de NaCl de los fluidos y definir la presión y profundidad de formación de las

inclusiones en el sistema mineralizado de Mocha. Además, se investigan los minerales de mena y de alteración asociados a las inclusiones fluidas en secciones pulidas y transparentes especulares.


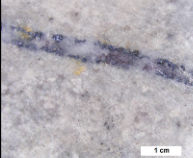
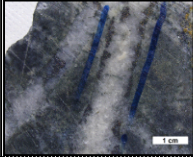
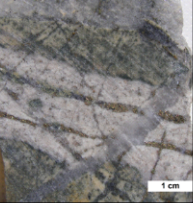
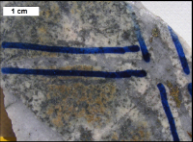
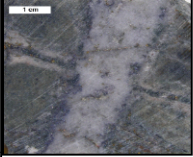

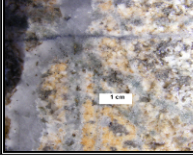
Sondaje	Serie	Prof. (m)	Tipo Vetilla	Foto	Tipo de Roca	Alteración
DDH-2103	160387	244.13	i) Qzo-Mt-Cpy ii) Qzo Sinuosa Estéril		Pórfido Temprano	Sericita - clorita selectiva
DDH-2104	160388	1018.94	i) Qzo-Mo		Pórfido Intermineral	Qzo-sericitica
DDH-2102	160389	469.61	i) Qzo-Mt-Cpy		Andesita	Sericita - clorita
DDH-2102	160390	489.34	i) Vetilla D		Andesita	Sericita - clorita
DDH-2102	160391	585.67	i) Qzo-Cpy ii) Qzo sinuosa estéril		Pórfido Temprano	Sericita Selectiva
DDH-2101	160392	509.38	i) Qzo - Mo ii) Vetilla A (Cpy)		Andesita	Sericita - clorita
DDH-2105	160393	1051.74	i) Vetilla Qzo - Mo ii) vetillas D iii) Ojos de cuarzo?		Pórfido Intermineral	Qzo-sericitica pervasiva
DDH-2104	160394	554.48	i) Qzo - Mt - Cpy (- Py) ii) Qzo - Mo iii) Ojos de cuarzo?		Pórfido Temprano. Textura Equigranular	Sericitica moderada.

Figura 29: Relación de muestras para estudios de inclusiones fluidas.

5.2 PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

Se utilizó un microscopio Olympus, modelo BX-40, para determinar minerales no metálicos (aplicación de luz transmitida) y metálicos (luz reflejada). Las medidas microtermométricas (secciones pulidas y transparentes de 4x2.5 cm) fueron realizadas en una platina calentadora-enfriadora marca Linkam modelo TP-92 y, para temperaturas sobre 600°C, se utilizó una platina modelo TS-1500.

El estudio de las inclusiones se focalizó en el cuarzo de las vetillas y, ocasionalmente, en el cuarzo de la masa fundamental. Detectándose la ocurrencia de 421 inclusiones fluidas, las que fueron tratadas mediante estadística básica e histogramas, diagramas de cajas y diagramas de dos componentes.

5.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS INCLUSIONES FLUIDAS

Las inclusiones fluidas son abundantes en casi todas las muestras con tamaños que varían frecuentemente entre 8 y 38 μm de largo. El estudio distinguió tres tipos de inclusiones: primarias, pseudosecundarias y secundarias. Las primarias (300 datos) y pseudosecundarias (121 datos) dan información del fluido presente durante el crecimiento del cristal; en cambio, las inclusiones secundarias proporcionan información sobre los fluidos que circularon por las fracturas del cristal, después de que éste ya se había formado (no consideradas en el presente trabajo).

Las formas de las inclusiones, en gran parte de ellas, son regulares conformando elipses, pseudo hexagonales y subredondeadas; en cambio, las de formas irregulares, son escasas y se presentan alargadas, rectangulares, seudotriangulares y subcuadradas. Por su parte, las inclusiones que ocurren en calcita, son más escasas y, se presentan en formas de rombos. Las de formas regulares se consideran más primarias al evento hidrotermal que aquellas irregulares.

5.3.1 Tipos de Inclusiones Fluidas

La identificación de las inclusiones fluidas se basa en la clasificación de Nash (1976), fundamentada en la presencia de las fases líquidas, vapores y sólidas que se observan a temperatura ambiente y, por los procesos de calentamiento y enfriamiento. A continuación, se resumen las características principales de estas fases:

a) Inclusiones Primarias

Tipo I, Bifásicas ricas en líquido (L>V). Se registran 226 observaciones. La burbuja de la fase gaseosa varía entre 13% a 27% en volumen en relación a la fase líquida, con salinidades entre 9% a 15% en peso de NaCl y temperaturas promedio entre 378° a 592°. Estas inclusiones, durante el proceso de calentamiento, invariablemente homogenizan a líquido.

Tipo II, Bifásicas ricas en vapor (V>L). Se observaron 20 inclusiones, contienen una fase gaseosa que fluctúa entre 60% a 90% en volumen en relación a la fase líquida. Estas inclusiones homogenizan a gas y presentan una baja salinidad la cual no es mayor, en promedio, a 10% en peso de NaCl equivalente; finalmente, las temperaturas de estas fases oscilan entre 439°C a 595°C.

Tipo III, Polifásicas (L+V+S). Se identificaron 54 inclusiones constituidas por una fase gaseosa, una fase sólida (halita y, en menor proporción, por silvita) y, una fase líquida. La burbuja de vapor varía entre 10% a 20%; por su parte, la fase sólida (halita), fluctúa entre 20% a 56% y la fase líquida es la de mayor predominio, entre 66% a 88%. Estas inclusiones homogenizan a líquido por desaparición final de la

burbuja de gas (al pasar a líquido) o por fusión del cristal de halita (proceso de calentamiento).

- b) **Inclusiones Seudosecundarias.** Predominan las del tipo I, 98 observaciones; caracterizadas por una fase de vapor que oscila entre 11% a 27% y una fase líquida entre 73% a 93%. Las temperaturas promedio fluctúan entre 308°C y 479°C. Las del tipo II (V>L) prácticamente no se registran (solamente 2 observaciones) y las del tipo III se encuentran en 21 ocasiones con fases de vapor que fluctúa entre 10% a 17%; por su parte, la fase líquida varía entre 70% a 78% y la fase sólida entre 35% a 56% en peso equivalente.

5.3.2 Temperaturas de Homogeneización

Las medidas de temperatura de homogeneización, para un total de 421 registros, hospedadas en cuarzo de vetillas y en menor grado en la masa fundamental, muestran una amplia variación de la temperatura, la que fluctúa entre 276°C a 686°C.

Se realizó un tratamiento estadístico con los datos de temperatura y, además, se confeccionaron histogramas y gráficas de cajas. Lo anterior, permitió establecer clases o rangos de temperatura y relacionarlos a los eventos magmáticos e hidrotermales característicos de los pórfidos cupríferos (ver Figura 30), distinguiendo los siguientes intervalos de temperatura:

- **>590°C.** Corresponde al pulso térmico inicial, muy discreto (sustentado mediante 14 datos), cuya temperatura se sitúa sobre los 590°C y llega hasta 682°C con una mediana de 640°C. Es posible, correlacionarlo con las etapas tardimágmatas de los procesos de magmáticos-hidrotermales de los pórfidos cupríferos.

- **470 a 590°C.** Pertenece al segundo evento con una disminución notable de la temperatura, con una mediana de 509°C (120 datos). Estas temperaturas corresponden al evento Hidrotermal Temprano en los sistemas porfíricos.
- **470°C a 370°C.** Es el evento con mayor número de registro (214 datos), con una mediana de 422°C y una moda de 444°C. Posiblemente relacionado a la etapa Hidrotermal Principal.
- **<370°C.** Relacionado al evento Mesotermal-Tardío de la alteración hidrotermal, caracterizado por una temperatura modal de 336°C.

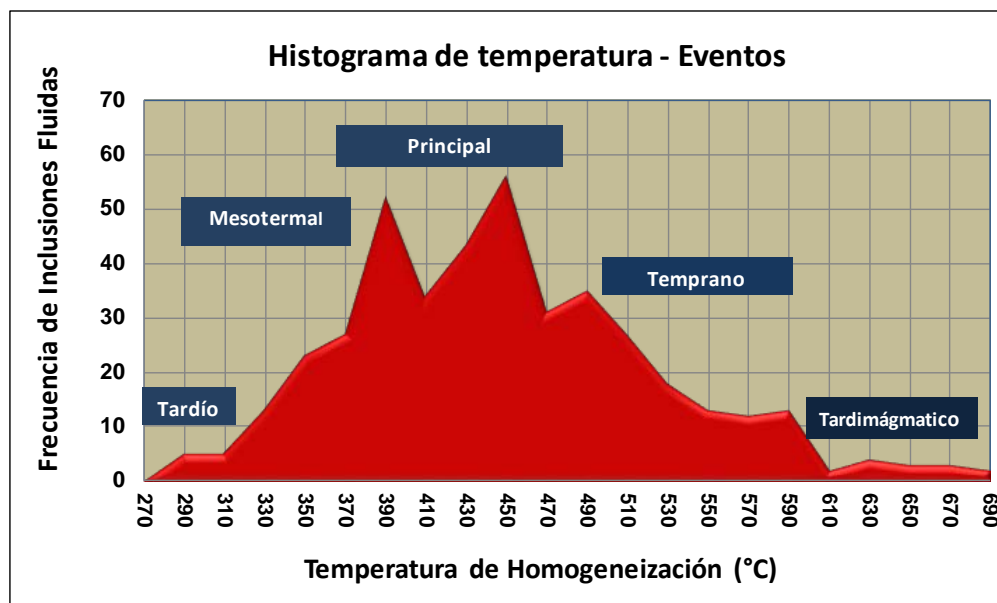


Figura 30: Temperaturas de homogeneización.

5.3.3 Salinidad.

El conjunto de los datos de temperatura y salinidad, para todos los tipos de inclusiones fluidas detectadas, reflejan las características de circulación de fluidos hidrotermales (Shepherd, et al., 1985; Roedder, 1984) y, particularmente, para los yacimientos tipo pórfido cuprífero de Cu-Mo Au.

La salinidad para la población total de inclusiones (421 registros) tiene un amplio rango de variación, el cual oscila entre 3,9 a 70,5 % en peso de NaCl equivalente (ver en Anexo 4). En términos generales, la representación estadística de los datos de salinidad evidencia dos poblaciones marcadas, de las cuales, la más destacada, agrupa a los datos medidos en inclusiones fluidas bifásicas mayormente ricas en líquido (Tipo I), con respecto a las que homogenizan a vapor, con variación de la salinidad entre 3,9 a 20,1 % en peso de NaCl equivalente (Tipo II); finalmente, de la población de polifásicas con halita (Tipo III), con menos datos, muestra una población más discreta, presentando una variación de la salinidad entre 31,8 a 70,5 % en peso de NaCl equivalente, destacándose un campo menos saturado (31 a 50 % en peso de NaCl equivalente), de otro aplanado, más saturado, que con datos dispersos alcanza hasta 70,5 % en peso de NaCl (ver Figura 31).

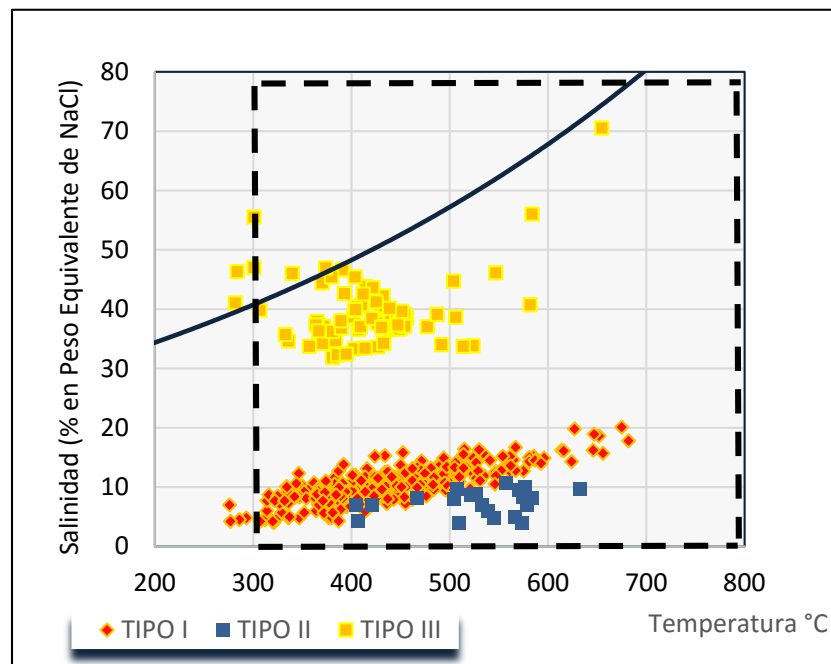


Figura 31: Salinidad versus temperatura.

Adicionalmente, se confeccionan gráficos de salinidad por tipo de inclusión fluida y por tipo de roca, notándose que las inclusiones tipo I (Líquidas + Vapor) son mayoritarias (77% del total) registrándose en las rocas de caja (andesitas) y

en los pulsos mineralizados (Pórfido Temprano e Intermineral); por el contrario, las inclusiones tipo II (Vapor + Líquida) son las que presentan menor representación con un 5% de la población (ver Figura 32). Las inclusiones tipo III se presentan en las rocas de caja y en el Pórfido Temprano siendo, prácticamente, inexistente en las rocas del Pórfido Intermineral.

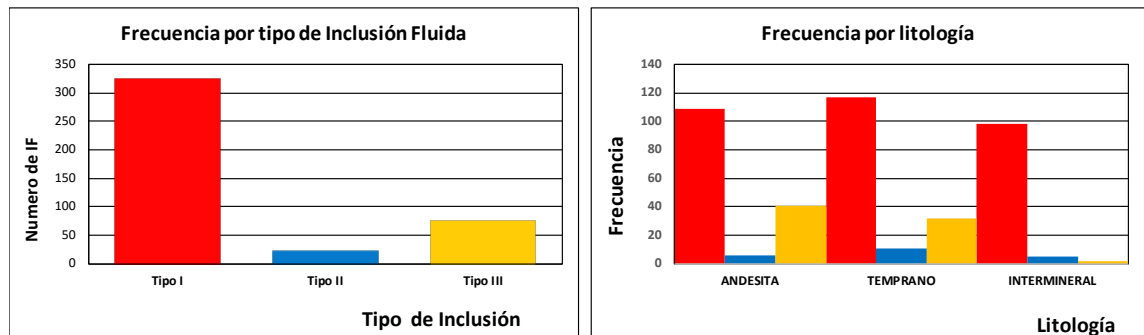
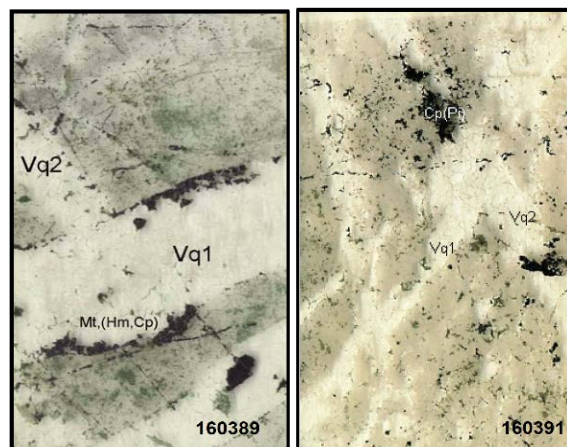


Figura 32: Histograma de salinidad por inclusión y por roca.

5.4 ALTERACIÓN Y MINERALIZACIÓN

Los estudios realizados por Collao (2012) indican que, en general, la alteración supérgena enmascara a los protolitos preexistentes, obliterando parcialmente la mineralogía de las rocas. No obstante, reconoce mineralización de alteración hidrotermal tales como agregados de cuarzo, sericita, pirofilita, anhidrita, clorita, arcillas, calcita y, en menor grado, biotita y mineralización metálica asociada a las distintas vetillas y a la masa fundamental (ver Fotografía 9).



Fotografía 9: Secciones pulidas de estudios de Inclusiones.

En adición, se confeccionan diagramas de caja (ver Figura 33 y Figura 34) que relaciona la temperatura de homogeneización y la salinidad por cada tipo de muestra estudiada (vetillas y masa fundamental), notándose que algunas muestras presentan fuertes contenidos en NaCl (muestras 387, 389, 390 y 392) y otras registran fuertes dispersión de temperaturas (muestras 392 y 388).

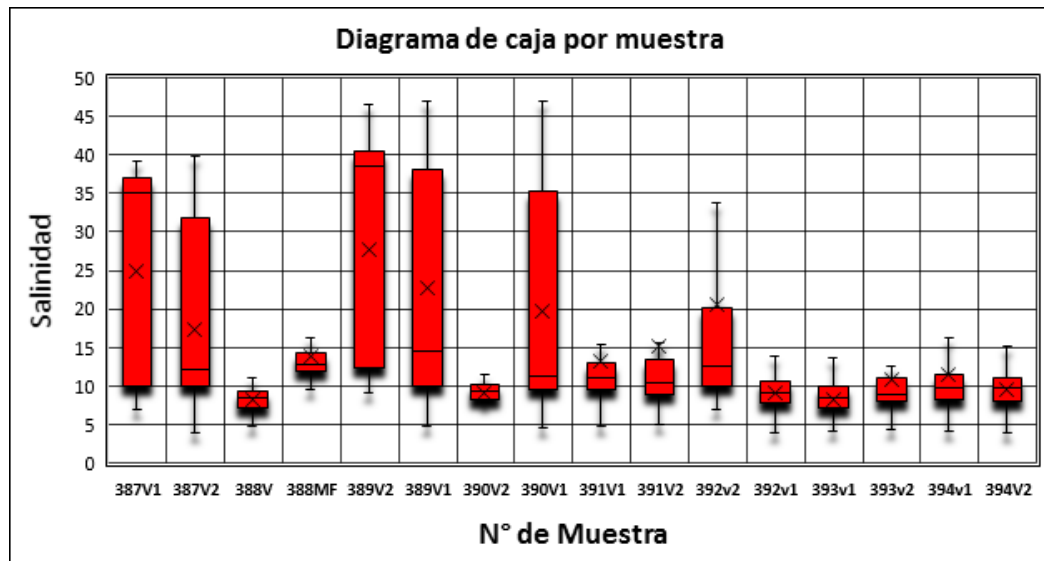


Figura 33: Diagrama de caja. Salinidad.

Para las muestras de alta salinidad, se registra mineralización de bornita, calcopirita y magnetita (muestra 387V2) evidenciando una fase salina; para las segundas, alta temperatura y fuerte dispersión (muestra 388), se observa biotita, anhidrita, sericita, pirofilita y mineralización metálica de calcopirita, magnetita, molibdenita y pirita. Los últimos datos muestran la evolución de los fluidos, desde mineralización asociada a un ambiente potásico (biotita, magnetita) hasta un ambiente argílico avanzado (pirofilita)

El estudio permite, además, reconocer, en la mayoría de las muestras, el evento hidrotermal principal (con temperaturas que fluctúan entre 450°C a 420°C), con dominio de alteración filica (cuarzo-sericita), calcita clorita y arcillas a las que se le asocia los metálicos calcopirita, magnetita, hematita, rutilo y ocasionalmente pirita y molibdenita. También, se identifican algunas muestras (390, 392 y 393) con minerales de alteración de menor temperatura (400°C a 300°C) correspondientes a clorita, calcita y yeso y cuya mineralización metálica (calcopirita y molibdenita) disminuye.

Finalmente, en dos muestras (160388 y 160392) se evidencia el pulso tardimágnico y el hidrotermal temprano (ver Figura 35) con inclusiones fluidas en el cuarzo de la masa fundamental y en vetillas, con mineralización de calcopirita bornita y magnetita. En estas muestras se observa una fase salina, entre los 400°C a 500°C; probablemente, relacionado a la separación de la fase líquida en el ascenso del fluido.

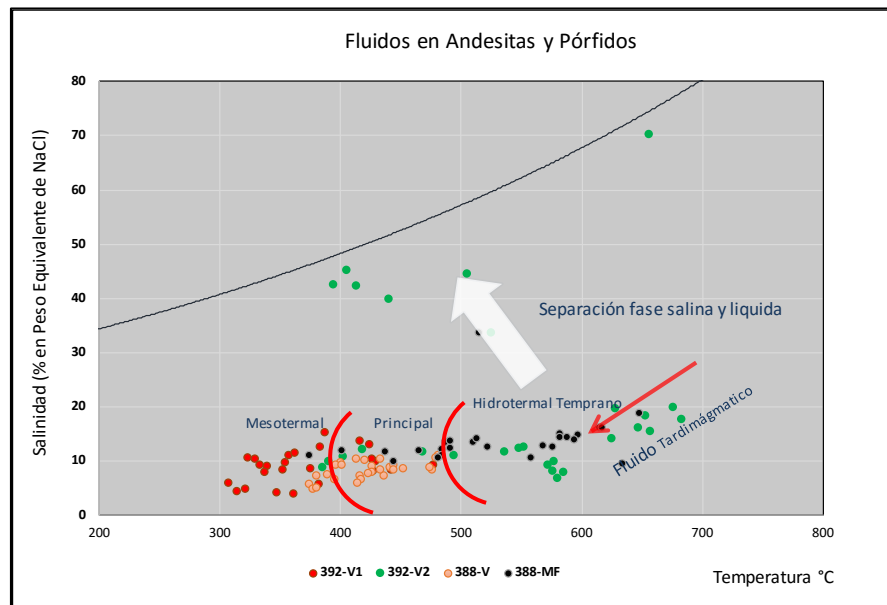


Figura 35: Tipos de fluidos.

En relación a la salinidad se observa que en las muestras 387, 389, 390 y 392 son las que presentan mayor contenido de NaCl, coincidentes con la presencia de magnetita y calcopirita. Para las muestras 387 (Pórfido Temprano) y 390 (andesita) se registra la presencia de bornita.

En consideración de la sucesión y características que evidencian los minerales de alteración y la mineralización metálica asociada en venillas, es posible sugerir que la depositación estaría relacionada a pulsos paragénéticos, desarrollados desde una fase tardimagmática (686°C) a una mesotermal tardía (276°C). Las diferentes fases formadoras de roca y de alteración y mineralización se registran en figura 36.

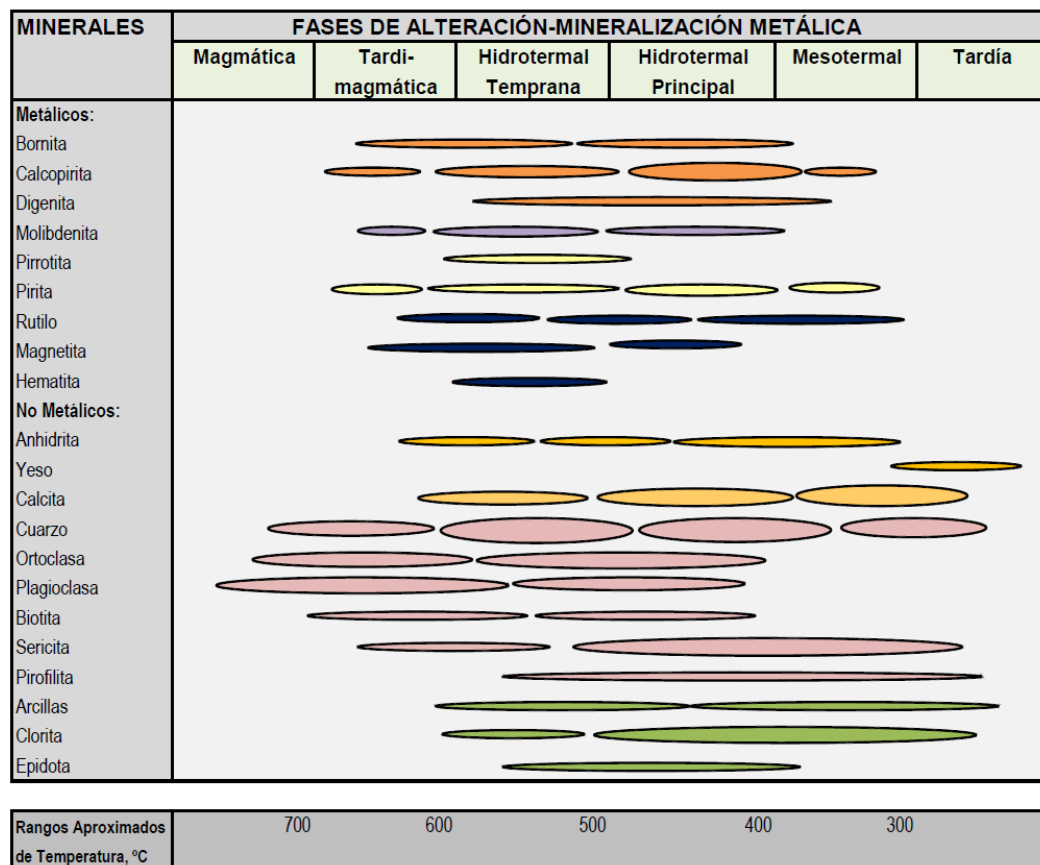


Figura 36: Paragénesis Metálica – no Metálica.

El ancho de las elipses representa la abundancia relativa de los minerales y la longitud de ellas la fase de alteración relacionada.

5.5 PRESION Y PROFUNDIDAD DE FORMACIÓN

En muestras con inclusiones fluidas bifásicas con evidencias de ebullición (contienen diferentes proporciones de líquido y vapor) y polifásicas (portadoras de halita) debieran, idealmente, homogeneizar a la misma temperatura (Roedder, 1984) y, por consiguiente, igual a la temperatura de atrapamiento (Roedder y Bodnar, 1980; Roedder, 1984).

En algunas muestras de los pórfidos de Mocha, considerando las inclusiones fluidas con características de ebullición, se estimó la profundidad de formación, a partir de un promedio, con igual ponderación al cálculo obtenido en condiciones hidrostáticas, así como en el cálculo definido en condiciones litostáticas, determinadas previamente mediante la ecuación en Shepherd et al., (1985). Para ello, se consideró la presión derivada de información experimental propuesta principalmente por Sourirajan y Kennedy (1962) (ver Tabla10, Haas (1971), y la relacionada al diagrama de Atkinson (2002) (ver Figura 37). Cabe mencionar, que los valores de presión obtenidos a partir de esos datos experimentales, son muy próximos entre sí. Los resultados, para las inclusiones fluidas más representativas hospedadas en cuarzo de vetillas, se concentran especialmente en la fase de alteración designada como mesotermal temprana, en la que estiman profundidades mínimas de formación (bajo la superficie) entre 1.746 m y 1.013 m según valores de presión en condiciones litostática e hidrostática respectivas, las cuales varían entre 250 a 145 bares.

Tabla 10: Presión y profundidad de formación.

Muestra	Alteración	Inclusión Fluida	TH°C	%NaCl	Presión (Bar)	Profundidad		Profundidad Media (m)
						Hidrostática (m)	Listostática (m)	
160389V2	Mesotermal - Principal	(L+V+S)	370-371	44,6	145	1478	547	1013
160389V2		(L+V+S)	391-392	46,6	170	1733	642	11187
160389V1		(L+V+S)	380-381	46	160	1631	604	1117
160393V2		(L+V) (V+L)	410-407	11,1 - 4.3	250	2548	943	1746

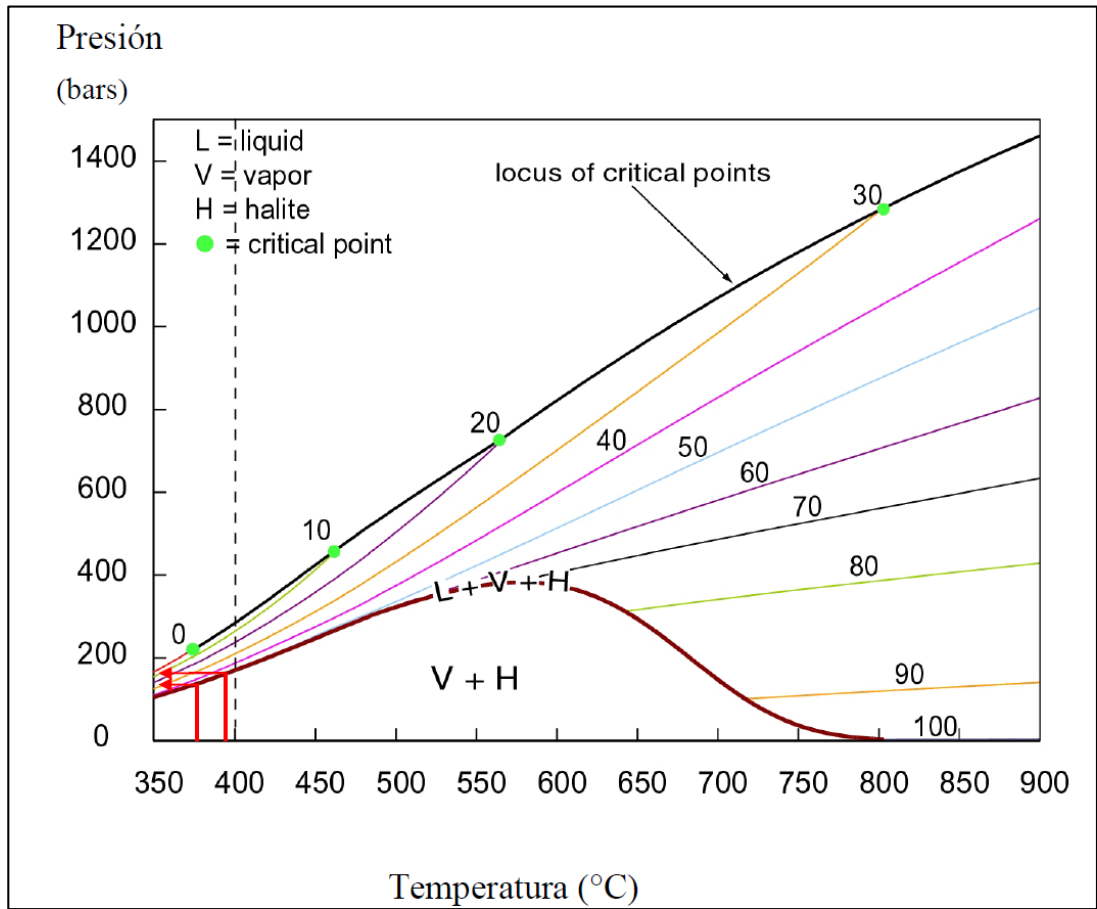


Figura 37: Diagrama de Temperatura Presión.

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

6.1 DISCUSIÓN

Las rocas más antiguas que se reconocen en el área de estudio corresponden a las unidades volcánicas del Cretácico superior (Formación Guaviña o Formación Cerro Empexa) que rellenaron cuencas longitudinales producto de un régimen de subducción lenta y en algunos casos paralela al margen continental (Cornejo, 2005). A fines del Cretácico e inicio del Terciario, se produce un cambio en el régimen tectónico, conocido como “Evento Compresivo K-T” la que marca un drástico cambio en el estilo del magmatismo que se refleja con un progresivo engrosamiento cortical.

Con posterioridad al evento “K-T”, durante el Paleoceno superior y Eoceno inferior se reinicia la actividad magmática, principalmente volcánica. Es durante este periodo en que se formaron en el norte de Chile y sur del Perú sistemas de pórfidos cupríferos de mediano tamaño, en la denominada Franja Paleógena con edades entre 60 y 52 Ma.

La evolución tectónica durante el evento contraccional del ciclo Andino provocó engrosamiento, acortamiento y alzamiento cortical. Estos procesos traen como consecuencia rasgos petroquímicos distintivos desde las rocas más antiguas a las más jóvenes. En virtud de lo expuesto, es posible explicar las características geoquímicas de los yacimientos estudiados: Inca de Oro (Cretácico superior) muestra patrones de Elementos de Tierras Raras con razones La/Yb entre 5-9 que son consistentes con una mineralogía residual dominada por piroxeno, característica de magmas anhidros típicos de ambientes de corteza delgada (Rollinson, 1996); Mocha (fines del Paleoceno) con valores de La/Yb de 20 a 36 característico de ambientes de corteza más gruesa (mayor presión) y contenidos de agua por cristalización de anfíbola; y, el cuerpo

mineralizado de Toki (Eoceno) con valores de La/Yb superiores a 50 lo que indica un mayor engrosamiento de la corteza y mineralogía residual de granate. Trabajos de Calderón (2010) sobre petroquímica en rocas pertenecientes a yacimientos de Cretácico al Reciente, determina que hay un límite de la razón Sr/Y versus Y: valores sobre 40 están asociados a magmas fértiles y bajo este límite a magmas anhidros y por consiguiente estériles. No obstante, los estudios realizados en el presente trabajo indican que no necesariamente valores inferiores a 40 son indicativos de magmas infértiles; sino que más bien, estas cifras están relacionado al engrosamiento de la corteza (desde 34 para Inca de Oro, 42 para Mocha y más de 110 para Toki). También, es importante considerar el rol de la alteración hidrotermal y mineralización en las composiciones químicas y su posible impacto en la evolución de los magmas.

Resultados de estudios petroquímicos e isotópicos en rocas, minerales e inclusiones fluidas, realizados durante las dos últimas décadas, han permitido comprender los procesos magmáticos y magmático-hidrotermales involucrados en el emplazamiento de plutones y formación de yacimientos en la corteza superior. Por su parte, los resultados de razones isotópicas permiten caracterizar las fuentes profundas de magmas asociados o no a sistemas mineralizados, otorgando indicios para discernir acerca del control litosférico en el origen de magmas en los sistemas de pórfidos cupríferos en los Andes de Chile. No obstante lo anterior, aún no hay trazadores robustos que permitan discriminar entre magmas fértiles y no productivos; probablemente, el uso de técnicas de análisis de ICP masa en cristales resistentes a los procesos geológicos permitan avanzar en la búsqueda de elementos guías confiables.

Los datos de inclusiones fluidas son indicativos de diferentes fases en la formación de un yacimiento: desde los procesos de altas temperaturas (tardimagmáticas) hasta fases diluidas y más frías (hidrotermal tardío) con la consiguiente depositación de minerales de alteración hidrotermal y de mena. En

suma, se reconoce algunas fases ricas en vapor con pirofilita como mineral depositado. Los datos permiten proponer la separación de un fluido de alta temperatura en una fase líquida hipersalina y en una fase de vapor.

6.2 CONCLUSIONES

El centro mineralizado de Mocha corresponde a un sistema tipo Pórfido de Cu-Mo asociado a varios pulsos o eventos magmáticos de fines del Paleoceno, emplazados sobre rocas andesíticas de la Formación Guaviña de edad Cretácica superior.

El análisis geoquímico y petrológico de los intrusivos permiten concluir que los pórfidos mineralizados son rocas muy diferenciadas con rango de sílice que fluctúa entre 57,9% a 66,5%, provenientes de un magma calcoalcalino y de ambiente tectónico de Arco, tipo I.

La unidad litológica denominada “Granodiorita Mocha” tiene un comportamiento geoquímico notablemente diferente a los pórfidos con un bajo grado de fraccionamiento en Tierras Raras.

La geoquímica de los elementos menores muestra un decaimiento en Zr-Hf-Y y Nb-Ta (elementos de alto potencial iónico) producto del fraccionamiento del anfíbol, apatito, zircón y otros minerales accesorios. Algunos elementos de alto potencial iónico tales como Rb y Cs, se presentan enriquecidos producto de la biotita (alteración hidrotermal) presente en las rocas del Pórfido Temprano e Intermineral; por el contrario, el Ba y Sr se encuentran deprimidos producto del fraccionamiento de las plagioclasas cálcicas a sódicas.

Los diagramas de las Tierras Raras muestran comportamientos disímiles para las rocas mineralizadas y para la unidad denominada Granodiorita Mocha; para las primeras, presentan un patrón de fuerte pendiente (alto grado de

fraccionamiento) enriquecidas en LREE; para las últimas, presentan una pendiente más suave (bajo grado de fraccionamiento) y enriquecidas en HREE.

Adicionalmente, las Tierras Raras en las rocas mineralizadas no presentan anomalía significativa en Eu; con altas razones de La/Yb (20 a 30) y de Sr/Y (30 a 50) y bajas concentraciones en MgO (<3%). También, se observan razones altas de Sm/Yb (>5) y contenidos elevados de Sr (>300 ppm) y AlO₃ (>13,5%) características propias de magmas tipo TTG formados por fusión parcial de anfibolitas bajo condiciones de alta presión.

Los diagramas de La/Y versus Y indican cristalización fraccionada a baja presión; no obstante, es superior a la de Inca de Oro e inferior a la de Toki, indicando variación de los espesores en la corteza inferior en estos tres yacimientos.

Las dataciones de las muestras en los pórfidos mineralizados arrojan edades cercanas entre ellas: para U/Pb $56,14 \pm 0,61$ en zircones; Ar/Ar $55,31 \pm 0,16$ en sericita y Re/Os $56,43 \pm 0,23$ en molibdenita. La datación de Re/Os es levemente más alta que las otras dataciones; probablemente, la medida está afectada por el calor generado por las intrusiones posteriores, disminuyendo el contenido de renio en la molibdenita. No obstante, los datos son indicativos de períodos cortos entre la cristalización de un magma y la alteración y mineralización.

La composición isotópica de Hafnio y Oxígeno en los zircones de una muestra mineralizada de Mocha indica, por una parte, que la fuente del magma de 56 Ma no ha interactuado con materiales de la corteza (valores de $\delta^{18}\text{O}$ entre 5.2 a 6.4‰) y, por otra parte, los datos de Hf indican que el magma primario ha sido separado del Manto (valores de ϵ_{Hf} fluctúan entre 0,9 y 2,5).

El estudio de inclusiones fluidas muestra las características y la evolución de los fluidos: desde etapas tempranas, de altas temperaturas (tardimágmicas), hasta tardías y más frías (mesotermal); reconociendo fases ricas en vapor con mineralización de pirofilita evidenciado la separación del fluido en fases líquidas hipersalinas y ricas en vapor. La profundidad de formación fue estimada en las inclusiones con características de ebullición con valores que fluctúan entre 1.013 m y 1.745 m.

REFERENCIAS

Ahumada, C., 2004. Petrología de Pórfidos en Proyecto Toki, Cluster Toki, Calama, II Región de Antofagasta, Chile. Memoria para optar al título de Geólogo. Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. 78p.

Atherton, M., Petford, C., 1993. Generation of sodium-rich magmas from newly underplated basaltic crust: Nature, 362. pp. 144-146.

Baeza, L. 2003. Antecedentes del prospecto cuprífero Mocha, Franja Paleocena al norte de Cerro Colorado. Informe interno Codelco.

Calderón. M., 2010. Mapa Tectono-Magmático de Exploraciones. Programa Generativo Transversal. Informe Interno de Codelco. 61p

Camus, F. 2002. Geología de los Sistemas Porfíricos en los Andes de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería. 267p.

Chiang, O., Villegas, P., Segovia, M.E., 2005. Informe avance proyecto Mocha, Síntesis de Resultados y Evaluación de Recursos. Informe Interno Exploraciones Mineras. 30p.

Collao, S., 2012. Estudio de Inclusiones Fluidas, Alteración y Mineralización Metálica en Pórfido Cuprífero Mocha. Informe Interno Exploraciones Mineras. 64p

Dingman, R. J., 1963. Cuadrángulo Tular. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile, N° 11. 35p.

Drummond M.S. and Defant M.J., 1990. A model for trondhjemite-tonalite-dacite genesis and crustal growth via slab melting: Archean to modern comparisons. *Journal of Geophysical Research*; Vol., 95: pp. 21.503-21.525.

Farías, M., Charrier, R., Comte, D., Martinod, J., and Hérail, G. 2005. Late Cenozoic deformation and uplift of the western flank of the Altiplano: Evidence from the depositional, tectonic, and geomorphologic evolution and shallow seismic activity (northern Chile at 19°30'S), *Tectonics* (24).

Fernández, J., 2010. Petrogénesis del Complejo Intrusivo Atahualpa-El Inca, al oeste del Distrito Chuquicamata. Memoria para optar al título de Geólogo. Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ingeniería y Ciencias Geológicas; Universidad Católica del Norte. 87p.

Galli, C. 1957. Las formaciones geológicas en el borde occidental de la puna de Atacama, sector de Pica, Tarapacá. *Minerales*, Vol. 56. pp. 14-26.

Gómez, M., Farfán L., 2003. Geología, Modelo Geológico Base, Evaluación de Recursos Base, Recomendación de Programa de Sondajes de Comprobación y Validación de Modelo. Informe Interno de Codelco.

Gustafson, L.B. and Hunt, J.P., 1975, The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile, *Economic Geology and the Bulletin of the society of economic geologists*, v. 70, no. 5, p. 857-912.

Hawkesworth, C.J., Kemp, A.I.S., 2006. Using hafnium and oxygen isotopes in zircons to unravel the record of crustal evolution: *Chemical Geology*, 226(3-4). pp. 144-162.

Heaman, L.M., Bowins, R., Crocket, J., 1990: The chemical composition of igneous zircon suites: implications for geochemical tracer studies: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54(6). pp.1597-1607.

Hine, R., Williams, I.S., Chappell, B.W. and White, A.J.R., 1978, "Contrasts Between I- and S-Type granitoids of the Kosciusko Batholith", *J. Geol. Soc. Aust.*, V25. pp. 219-234.

Kay, R.W. 1978. Aleutian magnesian andesites: melts from subducted Pacific Ocean crust. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 4. pp. 497-522.

Irvine, T., and Baragar, W., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Science*, vol. 8. pp. 523-548.

Kay, S.M. y Mpodozis, C. 2001. Central Andean ore deposits linked to evolving shallow subduction systems and thickening crust. *GSA Today* 11(3). pp. 4-9.

Kuno, H. (1968). Differentiation of Basalt Magmas. In: Hess, H.H. and Poldervaart, A., Eds., *Basalts: The Poldervaart Treatise on Rocks of Basaltic Composition*, Interscience Publishers, New York. pp. 623-688.

McDonouh, W. F. y Sun, S. (1995). The composition of the Earth. *Chemical Geology*. N° 120. pp. 223-253.

Muñoz, N., y Sepúlveda, P.,1992. Estructuras compresivas convergencia al oeste en el borde oriental de la Depresión Central, norte de Chile (19°15'S), *Rev. Geol. Chile*, 19. pp. 241 – 247.

Nagler, T.F., Frei, R., 1997. Plug in plug osmium distillation: *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, 77. pp. 123–127.

Naranjo, J.A. y Paskoff, R., 1985. Evolución Cenozoica del piedemonte andino en la Pampa del Tamarugal, norte de Chile (18° –21° S), trabajo presentado en el 4° Congreso Geológico Chileno, Departamento. de Geociencias., Univ. Católica del Norte, Antofagasta, Chile.

Oyarzun, R., Márquez, A., Lilo, J., López, I., Rivera, S.; 2001. Giant versus small porphyry copper deposits of Cenozoica in northern Chile: adakitic versus normal calc-alkaline magmatism. *Mineralium Deposita* 36. pp. 794-798

Pearce, J. A., Harris, N. B. and Tindle, A. G. 1984. Trace Element Discrimination Diagrams for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks. *Journal of Petrology*, vol. 25, N°. 4, 1984. pp. 956-983.

Perez, D., 2011. Caracterización Geoquímica y Petrológica de los Pórfidos del Depósito Cu-Au-(Mo) de Inca de Oro; Tercera Región de Atacama, Chile. Memoria para optar al título de Geólogo. Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ingeniería y Ciencias Geológicas; Universidad Católica del Norte. 110p.

Rapp, R.P., Xiao, L. and Shimizu, N. 2002. Experimental constraints of the origin of Potassium-ridge adakite in east China. *Acta Petrologica Sinica*, 18. pp. 293-311.

Rollinson, H.R., 1993. Using Geochemical Data: evaluation, presentation, interpretation. Longman Scientific & Technical (eds.). 352 p.

Rubatto, D. 2002. Zircon trace element geochemistry: partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism. *Chemical Geology* 184. pp. 123-138.

Sayés, J., 1978. Cuadrángulo Guaviña. Instituto de Investigaciones Geológicas, Chile.

Sillitoe, R.H., 1973. The tops and bottoms of porphyry copper deposits. *Economic Geology* (68). pp.799-815.

Sillitoe, R.H., 1985. Ore related breccias in volcanoplutonic arcs. *Economic Geology* (80). pp.1467-1514.

Sillitoe, R.H. & Perelló, J., 2005. Andean copper province: tectonomagmatic settings, deposit types, metallogeny, exploration, and discovery. *Economic Geology 10th Anniversary Volume*. pp. 845-890.

Smoliar, M.I., Walker, L.J. and Morgan, J.W. (1996). Re-Os ages of group IIA, IVA, and IVB iron meteorites. *Science*, 271, 1099-1102.

Tomlinson, A., J., Blanco, N., Maksae, V., Dilles, J. H., Grunder, A. L., y Ladino, M., 2001, Geología de la precordillera andina de Quebrada Blanca – Chuquicamata, regiones I y II (20°30' – 22°30' S), Servicio Nacional de Geología y Minería-Codelco Chile, Informe inédito. 444 p.

Victor, P., O. Oncken, y J. Glodny, 2004. Uplift of the western Altiplano plateau: Evidence from the Precordillera between 20° and 21°S (northern Chile), *Tectonics*, 23.

Vukasovic, M., 2010. Modelamiento Geológico Implícito para los Recursos Potenciales del Proyecto Mocha, Región de Tarapacá, Chile. Memoria para optar al grado de Magíster en Geología Económica Mención Exploración Minera.

Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ingeniería y Ciencias Geológicas; Universidad Católica del Norte. 67p.

Williams, I.S. 1998. U-Th-Pb Geochronology by Ion Microprobe. In: McKibben, A., Shanks III, W.C. and Ridley, W.I. (eds), Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes, Reviews in Economic Geology 7. pp. 1-35.

Xu, W.-L., Wang, Q.-H., Wang, D.-Y., Guo, J.-H. and Pei, F.-P. 2005. Mesozoic adakitic rocks from the Xuzhou – Suzhou area, eastern China: Evidence for partial melting of delaminated lower continental crust. Journal of Asian Earth Sciences.

ANEXOS

ANEXO 1
Certificados de análisis químicos

Anexo 1.

Certificados de Análisis Químico. Elementos Óxidos

Datos Envíos de Muestras						METODO	Arch. Magnético	LEYES MULTIELEMENTOS ME-ICP06															
Nº GUÍA GE-S	SERIE	SONDAJE	FECHA	De (m)	A (m)			SiO2 %	Al2O3 %	Fe2O3 %	Fe %	FeO calc %	CaO %	MgO %	Na2O %	K2O %	Cr2O3 %	TiO2 %	MnO %	P2O5 %	SrO %	BaO %	LOI %
GES-27214	160397	DDH-2105	15-9-11	794,8	794,9	ME-ICP06	GES-27214	63,7	14,20	2,42	1,69	2,18	4,76	1,36	2,08	3,60	<0.01	0,51	0,08	0,21	0,05	0,10	7,04
GES-27214	160398	DDH-2106	15-9-11	390,6	390,7	ME-ICP06	GES-27214	50,7	16,55	11,40	7,97	10,25	8,42	3,33	2,50	1,56	<0.01	0,84	0,06	0,23	0,08	0,06	5,28
GES-27214	160399	DDH-2353	15-9-11	498,7	498,8	ME-ICP06	GES-27214	62,2	16,40	4,93	3,45	4,43	4,85	2,09	4,40	1,25	<0.01	0,73	0,05	0,19	0,06	0,07	3,58
GES-27214	160401	DDH-2353	15-9-11	500,9	501,0	ME-ICP06	GES-27214	64,4	16,10	4,40	3,07	3,96	4,82	1,71	4,26	0,62	<0.01	0,60	0,07	0,18	0,07	0,04	3,49
GES-27214	160403	DDH-2105	15-9-11	524,2	524,3	ME-ICP06	GES-27214	64,2	15,95	5,19	3,63	4,67	4,52	1,75	4,25	0,58	<0.01	0,58	0,08	0,19	0,07	0,04	3,19
GES-27214	160405		15-9-11			ME-ICP06	GES-27214	56,8	17,60	6,48	4,53	5,83	5,31	2,03	4,07	1,68	<0.01	0,73	0,16	0,27	0,06	0,11	4,77
GES-27214	160407	DDH-2094	15-9-11	376,4	376,5	ME-ICP06	GES-27214	65,8	15,10	3,53	2,47	3,18	3,77	1,48	3,71	1,48	<0.01	0,54	0,08	0,15	0,05	0,06	4,50
GES-27214	160409	DDH-2099	15-9-11	152,0	152,2	ME-ICP06	GES-27214	65,1	16,00	5,15	3,60	4,63	3,99	1,75	3,75	0,88	<0.01	0,64	0,06	0,20	0,06	0,09	3,39
GES-27214	160411	DDH-2099	15-9-11	250,7	250,8	ME-ICP06	GES-27214	62,5	16,15	6,15	4,30	5,54	5,04	2,10	4,07	0,70	<0.01	0,67	0,05	0,22	0,08	0,06	3,68
GES-27214	160414	DDH-2098-A	15-9-11	629,4	629,5	ME-ICP06	GES-27214	53,9	16,95	6,90	4,83	6,21	6,50	2,55	2,04	1,83	<0.01	0,98	0,06	0,21	0,06	0,04	8,75
GES-27214	160416	MI-05	15-9-11	122,1	322,2	ME-ICP06	GES-27214	66,5	13,45	5,44	3,81	4,90	3,20	1,35	1,96	2,13	<0.01	0,43	0,06	0,12	0,04	0,05	5,17
GES-27214	160418		15-9-11			ME-ICP06	GES-27214	57,9	18,05	4,29	3,00	3,86	2,63	2,65	3,97	2,20	<0.01	0,79	0,02	0,22	0,03	0,01	7,79
GES-27214	160420	DDH-2109A	15-9-11	108,8	108,9	ME-ICP06	GES-27214	63,9	16,10	6,00	4,20	5,40	0,56	2,13	5,44	1,63	<0.01	0,61	0,04	0,20	0,02	0,01	3,99

Anexo 1.

Certificados de Análisis Químico. Tierras Raras

Datos Envíos de Muestras					METODO	Arch. Magnético	LEYES MULTIELEMENTOS ME-MS82 en ppm																
Nº GUÍA GE-S	SERIE	Sondajes	De (m)	A (m)			Ce	Dy	Er	Eu	Gd	Ho	La	Lu	Nd	Pr	Sm	Tb	Th	Tm	U	Y	Yb
GES-27214	160397	DDH-2105	794,77	794,87	ME-MS82	GES-27214	45,6	2,3	1,2	1,2	2,8	0,5	24,4	0,2	21,5	5,7	3,8	0,5	5	0,2	0,8	12,7	1,1
GES-27214	160398	DDH-2106	390,62	390,7	ME-MS82	GES-27214	32,3	3,6	2,1	1,3	3,6	0,7	16,9	0,3	17,4	4,3	4,2	0,6	3	0,3	0,8	19,6	2,0
GES-27214	160399	DDH-2353	498,71	498,8	ME-MS82	GES-27214	40,2	2,2	1,1	1,2	2,8	0,4	21,2	0,2	20,6	5,2	4,1	0,5	5	0,2	0,5	11,8	1,0
GES-27214	160401	DDH-2353	500,91	501	ME-MS82	GES-27214	41,0	2,2	1,2	1,1	2,8	0,4	22,3	0,2	19,4	5,2	3,8	0,5	5	0,2	<0,5	12,2	1,0
GES-27214	160403	DDH-2105	524,2	524,3	ME-MS82	GES-27214	64,1	2,2	1,1	1,1	2,9	0,4	35,8	0,2	27,1	7,7	4,5	0,5	8	0,2	0,8	12,2	1,0
GES-27214	160405				ME-MS82	GES-27214	46,8	4,7	2,8	1,6	4,8	1,0	24,6	0,4	25,0	6,3	5,7	0,9	5	0,4	1,1	27,4	2,6
GES-27214	160407	DDH-2094	376,4	376,5	ME-MS82	GES-27214	30,3	1,7	0,9	1,0	2,0	0,3	17,0	0,1	14,2	3,8	2,8	0,3	4	0,1	0,7	9,3	0,8
GES-27214	160409	DDH-2099	152	152,15	ME-MS82	GES-27214	43,3	2,4	1,3	1,3	3,0	0,5	23,7	0,2	21,9	5,7	4,1	0,5	6	0,2	0,9	13,4	1,2
GES-27214	160411	DDH-2099	250,65	250,75	ME-MS82	GES-27214	42,7	2,4	1,2	1,2	3,1	0,5	22,6	0,2	21,2	5,5	4,0	0,5	5	0,2	1,2	13,0	1,1
GES-27214	160414	DDH-2098-A	629,39	629,47	ME-MS82	GES-27214	43,3	4,5	2,4	1,7	4,7	0,9	23,8	0,4	23,2	5,8	5,4	0,8	5	0,3	1,6	25,0	2,2
GES-27214	160416	MI-05	122,14	322,23	ME-MS82	GES-27214	50,4	1,7	0,9	1,0	2,3	0,3	28,5	0,1	21,0	6,0	3,3	0,4	13	0,1	0,6	9,8	0,8
GES-27214	160418				ME-MS82	GES-27214	19,5	2,4	1,5	0,7	2,4	0,5	10,2	0,3	11,7	2,8	2,8	0,4	2	0,2	0,8	13,9	1,6
GES-27214	160420	DDH-2109A	108,8	108,9	ME-MS82	GES-27214	34,9	1,4	0,8	0,6	1,8	0,3	22,7	0,1	13,3	3,8	2,2	0,3	6	0,1	4,4	8,0	0,7

Anexo 1.

Certificados de Análisis Químico. Elementos Menores 1 de 3

Datos de envíos de las muestras					METODO	Arch. Magnético	LEYES MULTIELEMENTOS ME-MS61													
Nº GUÍA GE-S	SERIE	Sondajes	De (m)	A (m)			Ag ppm	Al %	As ppm	Ba ppm	Be ppm	Bi ppm	Ca %	Cd ppm	Ce ppm	Co ppm	Cr ppm	Cs ppm	Cu ppm	Fe %
GES-27214	160397	DDH-2105	794,77	794,87	ME-MS61	GES-27214	1,70	6,71	0,7	810	1,07	0,11	3,31	0,03	37,1	5,1	12	2,21	3140	1,63
GES-27214	160398	DDH-2106	390,62	390,7	ME-MS61	GES-27214	0,17	8,91	1,0	510	1,01	0,02	5,95	0,03	29,9	16,9	10	4,02	453	7,84
GES-27214	160399	DDH-2353	498,71	498,8	ME-MS61	GES-27214	0,28	7,77	0,5	540	1,27	0,01	3,33	0,04	31,6	12,6	15	3,79	847	3,31
GES-27214	160401	DDH-2353	500,91	501	ME-MS61	GES-27214	0,71	8,03	0,7	350	1,36	0,13	3,37	0,12	36,6	9,7	12	2,70	1200	3,00
GES-27214	160403	DDH-2105	524,2	524,3	ME-MS61	GES-27214	0,16	7,68	0,7	360	1,24	0,02	3,11	0,02	52,6	4,9	12	0,90	320	3,48
GES-27214	160405				ME-MS61	GES-27214	0,15	8,36	4,7	880	1,47	0,03	3,72	0,11	34,2	12,5	12	4,65	47	4,40
GES-27214	160407	DDH-2094	376,4	376,5	ME-MS61	GES-27214	0,99	7,31	0,3	520	1,22	0,06	2,59	0,13	30,2	17,3	11	4,04	3030	2,35
GES-27214	160409	DDH-2099	152	152,15	ME-MS61	GES-27214	0,41	7,58	1,0	780	1,23	0,04	2,71	0,16	36,9	9,6	10	3,30	1190	3,43
GES-27214	160411	DDH-2099	250,65	250,75	ME-MS61	GES-27214	0,24	7,70	0,6	490	1,23	0,01	3,43	0,05	33,8	13,1	17	2,23	665	4,13
GES-27214	160414	DDH-2098-A	629,39	629,47	ME-MS61	GES-27214	0,91	7,95	1,6	330	1,14	0,06	4,41	0,09	34,7	40,9	11	1,62	3440	4,57
GES-27214	160416	MI-05	122,14	322,23	ME-MS61	GES-27214	0,56	7,04	0,4	380	1,47	0,22	2,28	0,22	48,3	17,9	9	2,28	781	3,73
GES-27214	160418				ME-MS61	GES-27214	0,91	9,08	2,0	110	1,05	0,16	1,75	0,02	18,5	7,0	4	1,81	461	2,91
GES-27214	160420	DDH-2109A	108,8	108,9	ME-MS61	GES-27214	0,69	7,99	4,8	120	1,33	1,41	0,39	4,40	35,9	13,9	8	1,87	790	4,07

Anexo 1.

Certificados de Análisis Químico. Elementos Menores. 2 de 3

Datos de envíos de las muestras					METODO	Arch. Magnético															
Nº GUÍA GE-S	SERIE	Sondajes	De (m)	A (m)			Ga ppm	Ge ppm	Hf ppm	In ppm	K %	La ppm	Li ppm	Mg %	Mn ppm	Mo ppm	Na %	Nb ppm	Ni ppm	P ppm	Pb ppm
GES-27214	160397	DDH-2105	794,77	794,87	ME-MS61	GES-27214	11,8	0,06	0,2	0,138	2,95	17,3	10,8	0,73	576	80,2	1,46	2,0	5,6	940	8,8
GES-27214	160398	DDH-2106	390,62	390,7	ME-MS61	GES-27214	21,0	0,11	0,2	0,014	1,33	14,5	9,9	1,97	421	1,89	1,82	4,0	5,3	1050	4,1
GES-27214	160399	DDH-2353	498,71	498,8	ME-MS61	GES-27214	20,3	0,06	0,2	0,014	1,02	14,2	19,5	1,16	355	0,85	3,12	4,3	6,0	830	4,3
GES-27214	160401	DDH-2353	500,91	501	ME-MS61	GES-27214	19,9	0,05	0,1	0,039	0,51	17,6	27,2	0,97	502	2,21	3,04	4,4	4,9	820	7,7
GES-27214	160403	DDH-2105	524,2	524,3	ME-MS61	GES-27214	20,8	0,06	0,5	0,028	0,48	25,0	11,5	0,97	589	1,16	3,05	4,4	4,7	810	8,7
GES-27214	160405				ME-MS61	GES-27214	19,9	0,05	2,8	0,054	1,40	14,4	197,5	1,09	1110	1,27	2,99	8,0	5,4	1240	9,4
GES-27214	160407	DDH-2094	376,4	376,5	ME-MS61	GES-27214	16,6	<0.05	0,1	0,045	1,25	15,0	19,5	0,84	537	12,05	2,62	2,7	5,7	690	4,9
GES-27214	160409	DDH-2099	152	152,15	ME-MS61	GES-27214	18,1	0,06	0,2	0,031	0,72	17,4	16,0	0,97	462	3,18	2,66	3,4	4,0	930	8,4
GES-27214	160411	DDH-2099	250,65	250,75	ME-MS61	GES-27214	20,3	0,08	1,3	0,014	0,57	15,6	26,2	1,17	354	1,18	2,9	4,8	7,9	970	4,6
GES-27214	160414	DDH-2098-A	629,39	629,47	ME-MS61	GES-27214	18,1	0,08	0,5	0,030	1,49	16,2	12,9	1,41	399	0,68	1,45	3,7	9,5	910	2,4
GES-27214	160416	MI-05	122,14	322,23	ME-MS61	GES-27214	14,6	0,08	0,1	0,028	1,79	25,2	6,8	0,78	446	2,69	1,39	1,8	4,6	550	23,6
GES-27214	160418				ME-MS61	GES-27214	17,9	0,06	0,3	0,013	1,82	8,4	29,4	1,54	138	12,15	2,83	1,2	3,4	960	4,2
GES-27214	160420	DDH-2109A	108,8	108,9	ME-MS61	GES-27214	24,1	0,05	0,7	0,125	1,35	21,7	11,4	1,24	279	0,53	3,77	1,7	7,4	940	4,7

Anexo 1.

Certificados de Análisis Químico. Elementos Menores. 3 de 3

Datos de envíos de las muestras					METODO	Arch. Magnético	Elementos en ppm																		
Nº GUÍA GE-S	SERIE	Sondajes	De (m)	A (m)			Rb	Re	S %	Sb	Sc	Se	Sn	Sr	Ta	Te	Th	Ti %	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr
GES-27214	160397	DDH-2105	794,77	794,87	ME-MS61	GES-27214	64,4	0,045	2,00	0,40	5,0	2	1,4	409	0,16	0,07	3,2	0,148	0,44	0,3	57	5,0	9,1	55	3,5
GES-27214	160398	DDH-2106	390,62	390,7	ME-MS61	GES-27214	42,2	0,006	2,10	0,18	17,8	1	3,0	689	0,28	<0.05	2,7	0,434	0,48	0,4	213	0,8	14,2	42	8
GES-27214	160399	DDH-2353	498,71	498,8	ME-MS61	GES-27214	23,3	<0.002	0,80	0,17	7,2	1	0,8	504	0,27	<0.05	2,7	0,383	0,19	0,2	93	0,9	8,2	64	4,8
GES-27214	160401	DDH-2353	500,91	501	ME-MS61	GES-27214	13,1	<0.002	0,76	0,33	6,3	1	0,8	566	0,31	0,06	3,4	0,304	0,12	0,1	79	1,5	8,7	64	2,9
GES-27214	160403	DDH-2105	524,2	524,3	ME-MS61	GES-27214	8,9	<0.002	0,37	0,19	5,8	<1	0,7	581	0,34	<0.05	4,8	0,266	0,10	0,4	73	0,5	8,5	88	10,4
GES-27214	160405				ME-MS61	GES-27214	24,3	<0.002	0,14	0,61	12,3	1	1,6	472	0,58	<0.05	2,4	0,450	0,35	0,6	90	0,8	17,4	138	93,9
GES-27214	160407	DDH-2094	376,4	376,5	ME-MS61	GES-27214	34,7	0,008	1,83	0,19	4,9	1	1,5	409	0,21	<0.05	3,4	0,181	0,27	0,4	60	3,5	6,8	95	3,3
GES-27214	160409	DDH-2099	152	152,15	ME-MS61	GES-27214	20	0,004	0,50	0,70	6,2	1	0,9	496	0,28	<0.05	4,0	0,248	0,23	0,4	68	2,3	8,5	71	7,2
GES-27214	160411	DDH-2099	250,65	250,75	ME-MS61	GES-27214	14,2	0,002	0,72	0,28	7,6	1	0,9	665	0,38	<0.05	3,3	0,350	0,19	0,6	86	0,3	8,6	32	44,7
GES-27214	160414	DDH-2098-A	629,39	629,47	ME-MS61	GES-27214	35,7	0,002	3,89	0,11	19,1	3	2,9	516	0,28	<0.05	3,1	0,392	0,32	0,5	210	7,4	13,7	61	17
GES-27214	160416	MI-05	122,14	322,23	ME-MS61	GES-27214	71,6	0,005	3,36	0,10	5,4	2	1,5	314	0,18	0,12	9,7	0,105	0,47	0,3	69	3,3	7,1	66	2,4
GES-27214	160418				ME-MS61	GES-27214	78,5	0,004	1,33	0,23	15,6	4	1,1	255	0,10	0,05	1,3	0,148	0,46	0,3	88	3,1	6,7	20	6,9
GES-27214	160420	DDH-2109A	108,8	108,9	ME-MS61	GES-27214	89,9	0,003	2,84	0,72	5,0	1	7,1	130	0,15	0,12	5,0	0,182	0,52	3,8	77	9,7	6,6	836	20,2

ANEXO 2
Descripciones petrográficas y calcográficas



INFORME ESTUDIO PETROGRAFICO

GE-S 027205

Nº Muestra	160358
Guía Nº	TCL20433 control interno

Procedencia	Coord. Norte	Coord. Este	Elevacion (m)
Proyecto Mocha.			

Solicitado por	Fecha
Geólogo Sr. Patricio Faúndez, Exploraciones Mineral Andinas S. A., Of. Calama.	02-09-2011

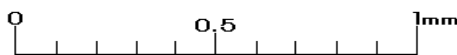
Clasificación petrográfica	Pórfido tonalítico de biotita y hornblenda.
----------------------------	---

Textura	Fxx: % 40 Mf: % 60
Porfídica, con masa fundamental microfanerítica.	

Observaciones megascópicas/ microscópicas

Roca de textura porfídica, de emplazamiento posiblemente hipabisal, color gris intermedio, formada por fenocristales de plagioclasa de hasta 4,5 mm, localmente con parcial reemplazo por sericita y escasa montmorillonita; fenocristales de cuarzo parcial a fuertemente reabsorbido y cristales de biotita y hornblenda localmente con fuerte reemplazo por biotita secundaria fina y clorita. La masa fundamental es microfanerítica, formada por cristales de plagioclasa de 0,05 a 0,3 mm entrecrecida con cristales subhedrales/ anhedrales de cuarzo con tamaño medio de 0,6 mm. Los minerales opacos corresponden a cristales de magnetita y sulfuros en forma local (ver detalle en estudio de cortes pulidos). Se observa vetilla con relleno de cuarzo, sulfuros, clorita y anhidrita con delgados halos de sericita.

Microfotografía (aspecto general)



Muestra 160358: aspecto de la muestra en que se observan fenocristales de plagioclasa en masa fundamental microfanerítica. Aum.: 5X10; Nic. cruzados.

Estudio Microscópico**Fenocristales: % 40**

Mineral	%	Alteración	Características/Ocurrencia
plagioclasa	34	débil reemplazo por sericita y montmorillonita	crisales subhedrales/ euhedrales de hasta 4,5 mm, de composición andesina (An ₃₂).
cuarzo	2	parcialmente reabsorbido	crisales subhedrales de hasta 2 mm.
biotita	2	localmente con parcial a fuerte cloritización	crisales subhedrales de hasta 1,5 mm.
hornblenda	2	fuerte reemplazo por biotita secundaria y clorita	crisales pseudomorfos subhedrales/ euhedrales de hasta 3,5 mm.

Masa fundamental: % 60

Mineral	%	Alteración	Características/Ocurrencia
cuarzo	43	sin alteración	crisales subhedrales/ anhedrales con tamaño medio de 0,6 mm.-
plagioclasa	10	débil reemplazo por sericita y montmorillonita en forma local	crisales subhedrales muy finos, menores que 0,3 mm, entrecrecidos con crisales de cuarzo.
máficos	5	fuertemente cloritizados	crisales finos de biotita y posible hornblenda con fuerte reemplazo por clorita.
opacos	2		

Componentes accesorios

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
apatita	<1	crisales subhedrales de hasta 0,2 mm.
circón	tr	crisales subhedrales muy finos de hasta 0,05 mm.

Minerales Alteración (incluye minerales introducidos por hidrotermalismo y supérgenos).

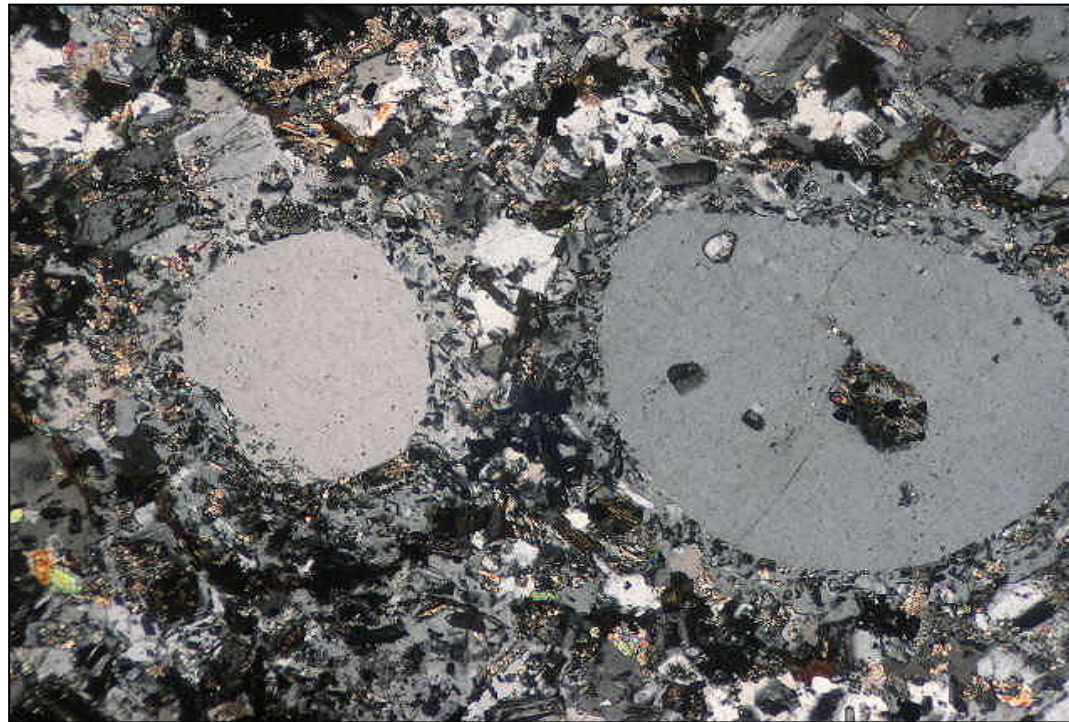
Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
clorita	7	como reemplazo parcial a intenso de crisales máficos en forma local.
sericita	4	como producto de alteración de crisales de plagioclasa, localmente fuerte.
montmorillonita	3	como reemplazo parcial de plagioclasa en forma local.
anhidrita	2	desarrollada en forma local asociada a vetillas.
cuarzo	4	como parte de relleno de vetillas.
calcita	2	granos muy finos presentes en forma local, asociada a vetillas.

Minerales Opacos

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
magnetita	1	crisales subhedrales de hasta 0,5 mm.
sulfuros	2	crisales subhedrales de hasta 2,5 mm, como parte de vetilla y en parte de la roca.

Estructuras

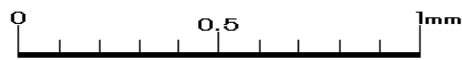
Vetillas / Agregados	Espesor/Tmño	Características/Modo de ocurrencia
vetillas de cuarzo-sulfuros	<1,5 mm	localmente con clorita, escasa anhidrita y calcita asociadas. Presentan halos de sericita.



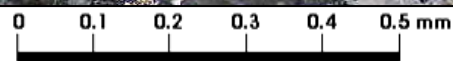
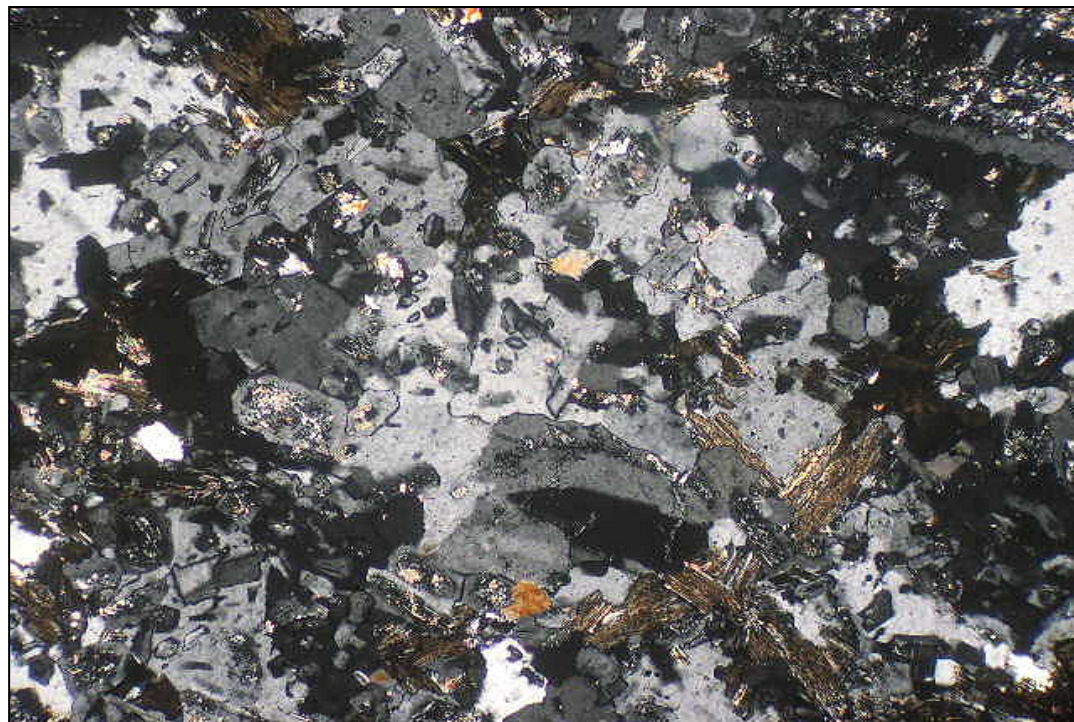
Muestra 160358: en la microfotografía se observan fenocristales de cuarzo con fuerte reabsorción magmática. Aum.: 5X10; Nic. cruzados.



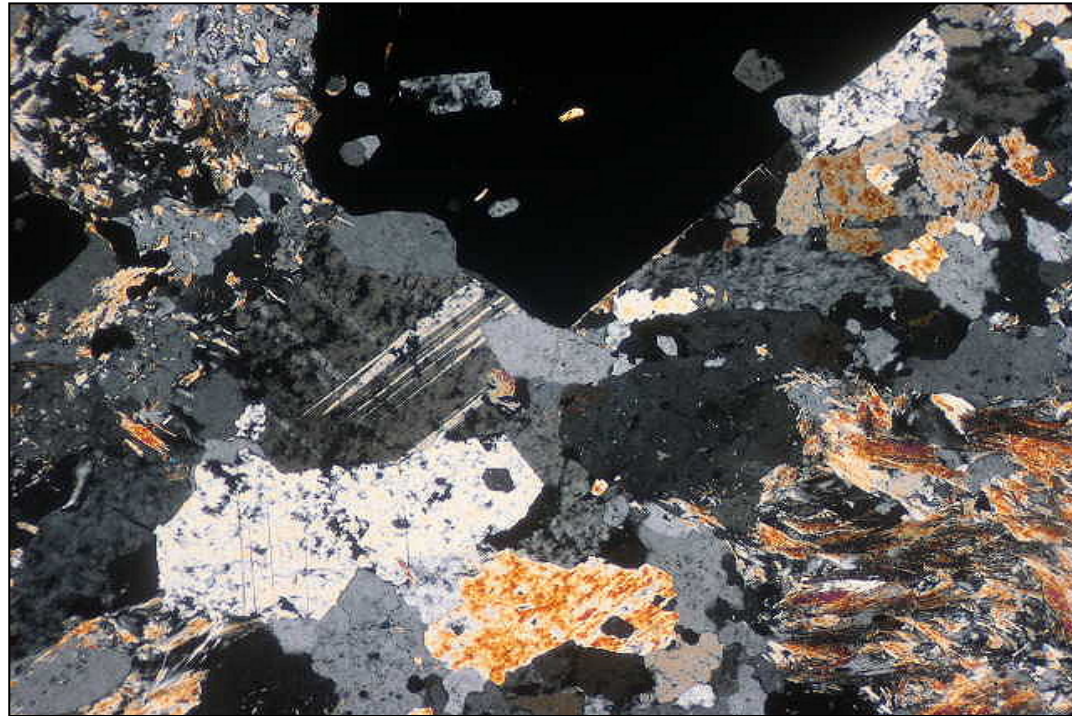
Muestra 160358: en la microfotografía se observa fenocristal de biotita con reemplazo débil por clorita. Aum.: 5X10; Nic. paralelos.



Muestra 160358: parte de pseudomorfo de hornblenda con reemplazo por biotita secundaria fina y clorita. Aum.: 5X10; Nic. paralelos.



Muestra 160358: detalle de masa fundamental microfanerítica. Aum.: 10X10; Nic. cruzados.



Muestra 160358: en la microfotografía se observa parte de vetilla con relleno de cuarzo, sulfuros y anhidrita.
Aum.: 5X10; Nic. cruzados.

Estudio por	TIDY & Cía. Ltda.
Enrique Tidy/ Mauricio Ureta	
Fecha	Firma
21-10-2011	<i>E. Tidy</i>



INFORME ESTUDIO PETROGRAFICO

GE-S 027205

Nº Muestra	160373
Guía Nº	TCL20433 control interno

Procedencia	Coord. Norte	Coord. Este	Elevacion (m)
Proyecto Mocha.			

Solicitado por	Fecha
Geólogo Sr. Patricio Faúndez, Exploraciones Mineral Andinas S. A., Of. Calama.	02-09-2011

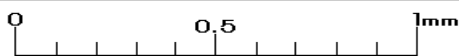
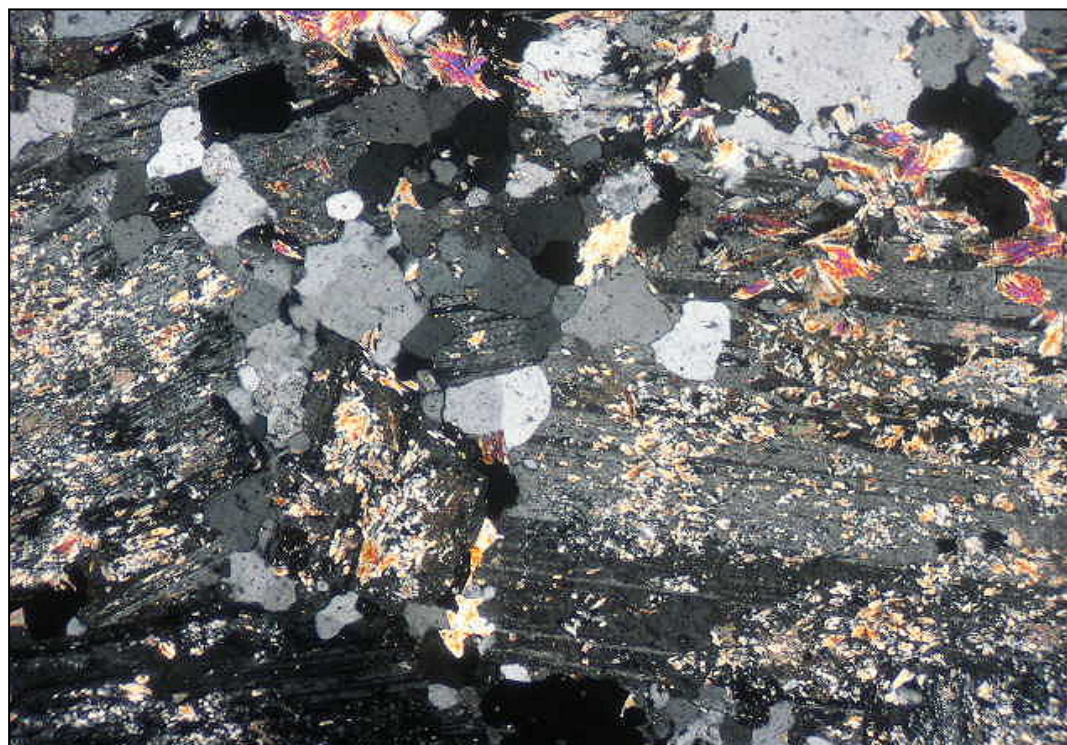
Clasificación petrográfica	Pórfido tonalítico con máficos cloritizados.
----------------------------	--

Textura	Fxx: % 40 Mf: % 60
Porfídica, con masa fundamental microfanerítica.	

Observaciones megascópicas/ microscópicas

Roca de textura porfídica, color gris claro (blanquecino), formada por fenocristales de plagioclasa de hasta 3,5 mm, con reemplazo parcial por sericita y escasa calcita y caolinita; fenocristales anhedrales de cuarzo y pseudomorfos de biotita y posible hornblenda en parte con intenso reemplazo por clorita y localmente sericita muscovítica. La masa fundamental es microfanerítica, formada por cristales de plagioclasa con tamaño medio de 0,6 mm, con cuarzo granular muy fino en forma intersticial y muy escasa ortoclasa. Los minerales opacos corresponden a cristales de pirita y/o calcopirita escasa en forma diseminada.

Microfotografía (aspecto general)



Muestra 160373: aspecto de la muestra en que se observan fenocristales de plagioclasa parcialmente alterada en masa fundamental microfanerítica. Aum.: 5X10; Nic. cruzados.

Estudio Microscópico**Fenocristales: % 40**

Mineral	%	Alteración	Características/Ocurrencia
plagioclasa	31	parcial reemplazo por sericita y escasa calcita y caolinita	cristales subhedrales/ euhedrales de hasta 3,5 mm, de composición andesina (An ₃₂).
cuarzo	4	parcialmente reabsorbido	cristales subhedrales de hasta 2,3 mm.
máficos	5	intenso reemplazo por clorita y localmente sericita muscovítica.	cristales pseudomorfos de biotita y posible hornblenda en parte, de hasta 2 mm.

Masa fundamental: % 60

Mineral	%	Alteración	Características/Ocurrencia
plagioclasa	35	parcial reemplazo por sericita y escasa calcita y caolinita	cristales subhedrales con tamaño medio de 0,6 mm.
cuarzo	22	sin alteración	en forma intersticial entre cristales de plagioclasa, en granos finos con tamaño medio de 0,2 mm.
ortoclasa	2	débil reemplazo por sericita	cristales subhedrales finos de hasta 0,3 mm.
opacos	1		

Componentes accesorios

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
circón	<1	cristales subhedrales de hasta 0,1 mm.
apatita	<1	cristales subhedrales de hasta 0,2 mm.

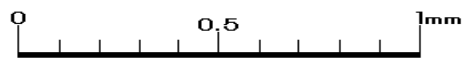
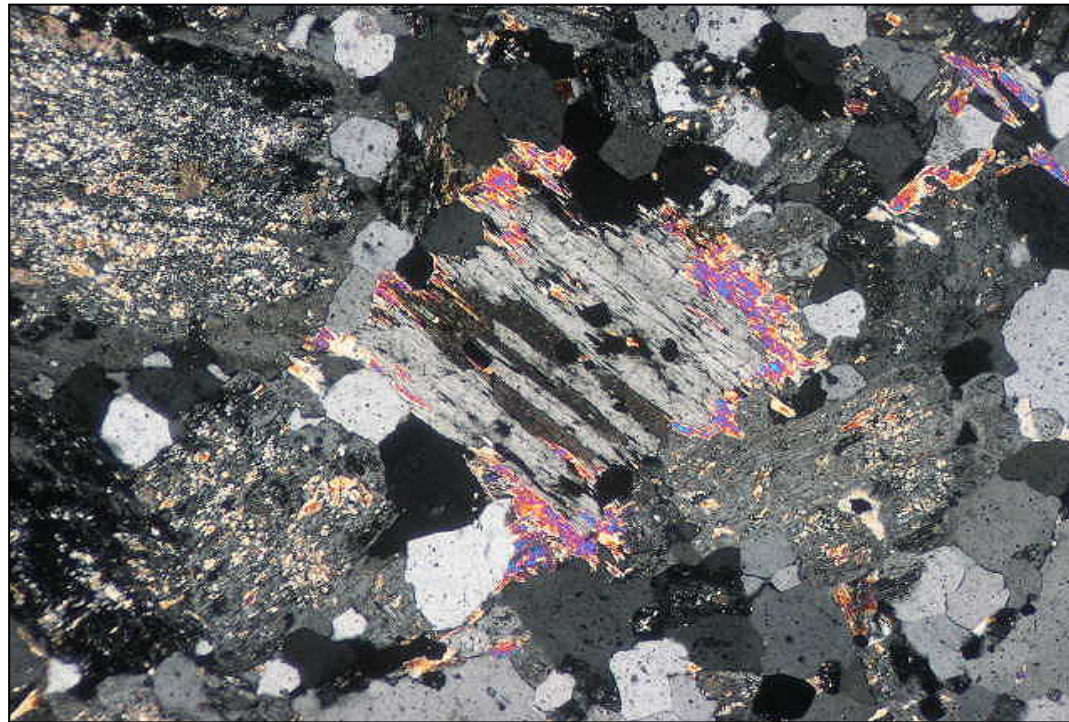
Minerales Alteración (incluye minerales introducidos por hidrotermalismo y supérgenos).

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
sericita	20	como producto de alteración parcial de cristales de plagioclasa y localmente máficos (sericita muscovítica).
clorita	4	como reemplazo intenso de cristales máficos.
calcita	2	desarrollada en algunos cristales de plagioclasa.
caolinita	2	como alteración parcial de plagioclasa en forma local.

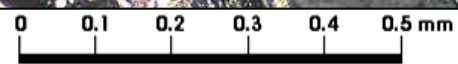
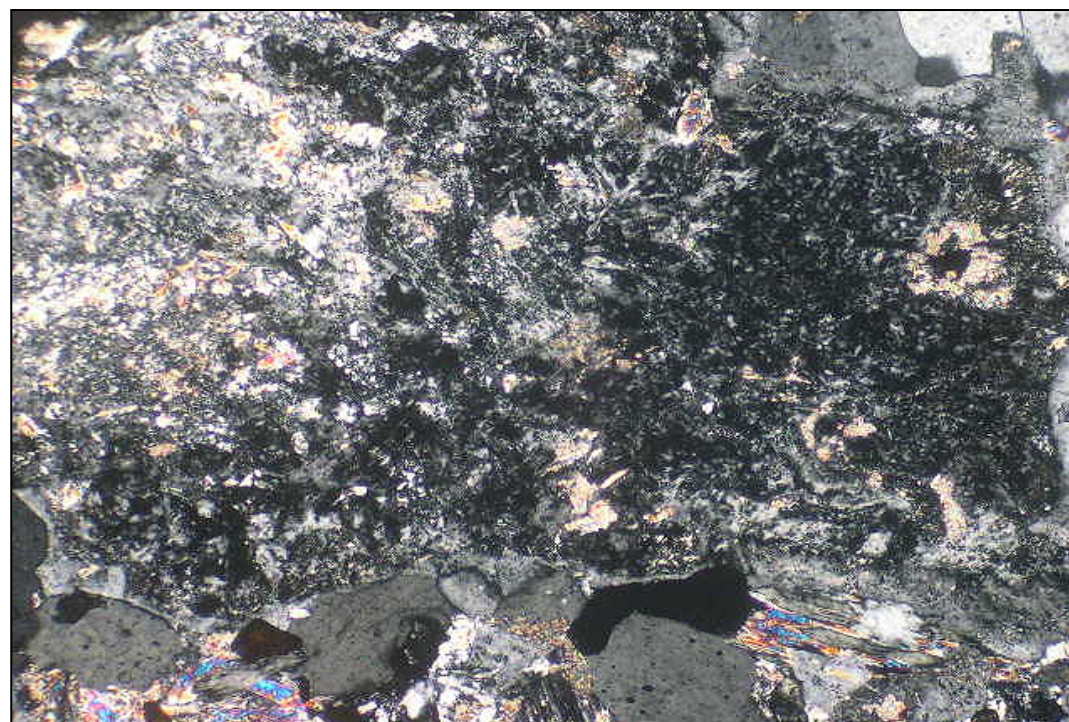
Minerales Opacos

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
sulfuros	1	cristales subhedrales de hasta 0,7 mm.
rutilo (semiopaco)	<1	cristales subhedrales finos de hasta 0,2 mm, asociado a máficos.

Selección de microfotografías

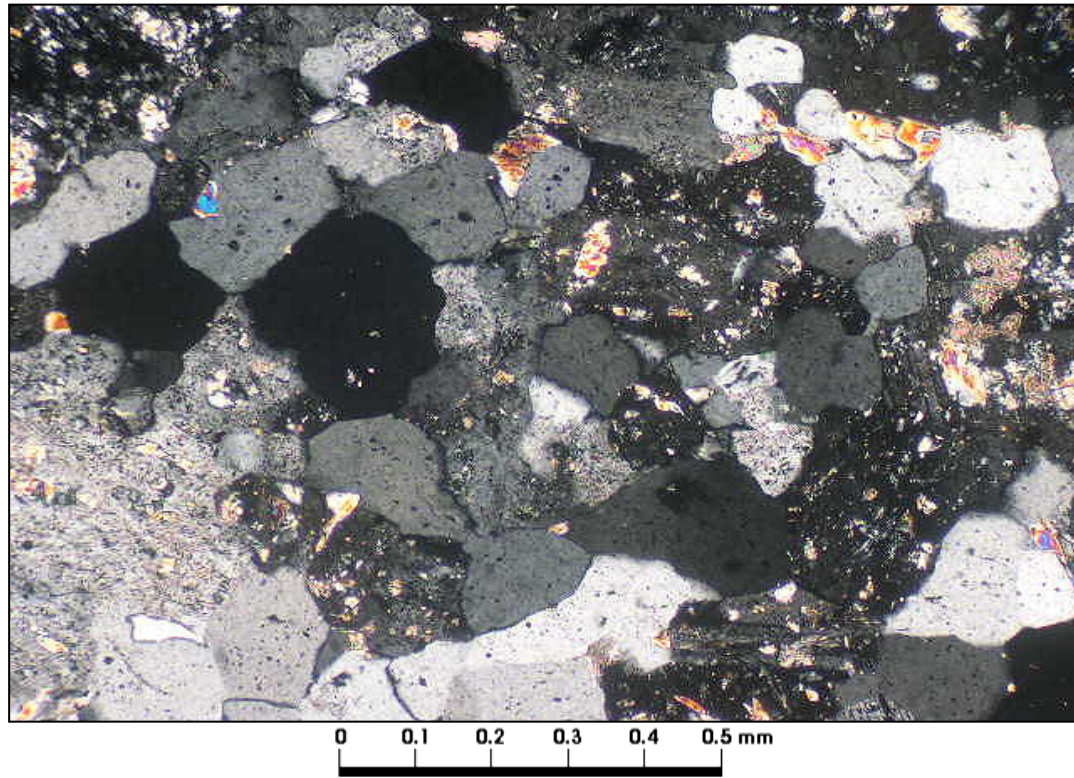


Muestra 160373: hacia el centro de la microfotografía se observa pseudomorfo de biotita con reemplazo por clorita y sericita. Aum.: 5X10; Nic. cruzados.



Muestra 160373: detalle de fenocristal de plagioclasa con reemplazo por sericita y caolinita. Aum.: 10X10; Nic. cruzados.

Microfotografías



Muestra 160373: sector de la masa fundamental en que se observan cristales finos de plagioclasa y cuarzo.
Aum.: 10X10; Nic. cruzados.

Estudio por	TIDY & Cía. Ltda.
Enrique Tidy/ Mauricio Ureta	
Fecha	Firma
21-10-2011	<i>E. Tidy</i>



INFORME ESTUDIO PETROGRAFICO

GE-S 027204

Nº Muestra	160406
Guía Nº	TCL20432 control interno

Procedencia	Coord. Norte	Coord. Este	Elevacion (m)
Proyecto Mocha.			

Solicitado por	Fecha
Geólogo Sr. Patricio Faúndez, Exploraciones Mineras Andinas S. A., Of. Calama.	02-09-2011

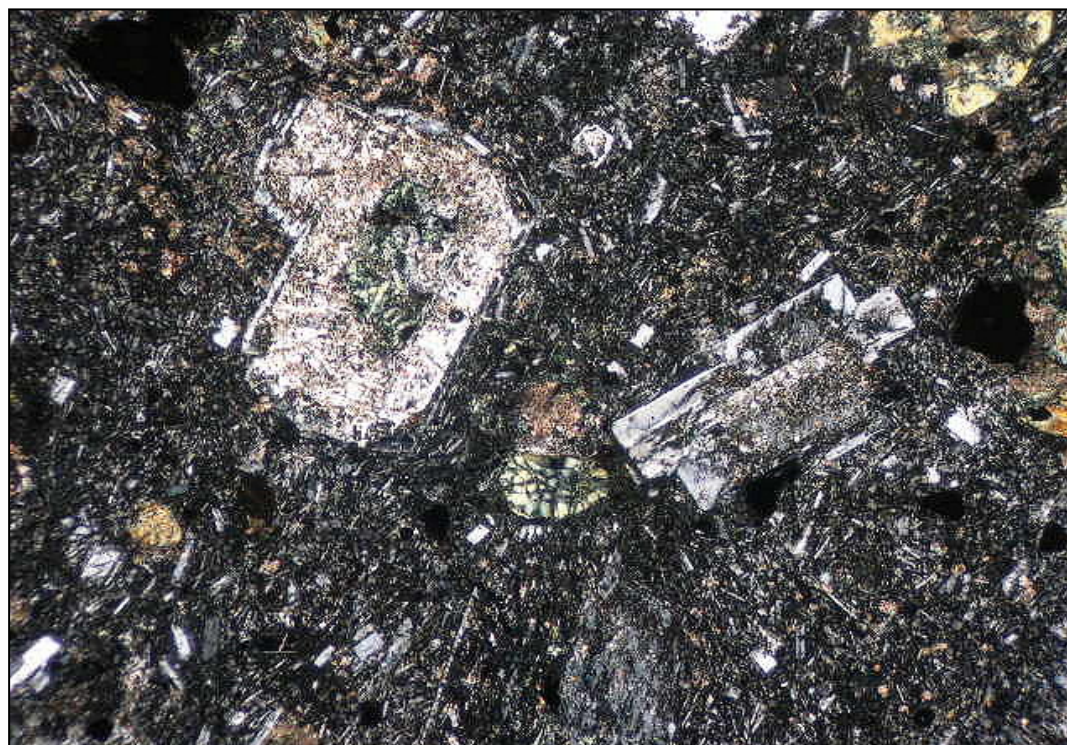
Clasificación petrográfica	Andesita amigdaloidal.
----------------------------	------------------------

Textura	Fxx: % 30 Mf: % 70
Porfídica, con masa fundamental intergranular a pilotaxítica.	

Observaciones megascópicas/ microscópicas

Roca de textura porfídica, color gris verdoso, formada por fenocristales de plagioclasa de hasta 4 mm, con reemplazo moderado por sericita y montmorillonita y fenocristales de máficos (piroxeno y/u hornblenda) fuertemente reemplazados por clorita, localmente actinolita y escasa calcita. La masa fundamental es intergranular a pilotaxítica, formada por delgados microlitos de plagioclasa con tamaño medio de 70 µm, localmente con parcial a fuerte orientación y con desarrollo de clorita y calcita en forma intersticial. Se observan amígdalas con relleno de clorita y calcita. Los minerales opacos corresponden a cristales de magnetita, hematita y muy escasos cristales de sulfuros.

Microfotografía (aspecto general)



Muestra 160406: aspecto de la muestra en que se observan fenocristales de plagioclasa en masa fundamental intergranular a pilotaxítica muy fina. Aum.: 5X10; Nic. cruzados.

Estudio Microscópico

Fenocristales: %		30	
Mineral	%	Alteración	Características/Ocurrencia
plagioclasa	25	reemplazo parcial por sericita y montmorillonita	cristales subhedrales/ euhedrales de hasta 4 mm, de composición andesina (An ₄₀).
máficos	5	intenso reemplazo por clorita, actinolita y escasa calcita	cristales subhedrales/ euhedrales de piroxeno y/u hornblenda de hasta 3 mm.

Masa fundamental: %		70	
Mineral	%	Alteración	Características/Ocurrencia
plagioclasa	54	débil argilización	cristales muy delgados, con tamaño medio de 0,07 mm, localmente con parcial a fuerte orientación.
máficos	10	fuerte reemplazo por clorita y localmente calcita	en forma intersticial entre delgados microlitos de plagioclasa.
amígdalas	4	relleno de clorita y escasa calcita	corresponde a vesículas de hasta 5 mm.
opacos	2		

Componentes accesorios

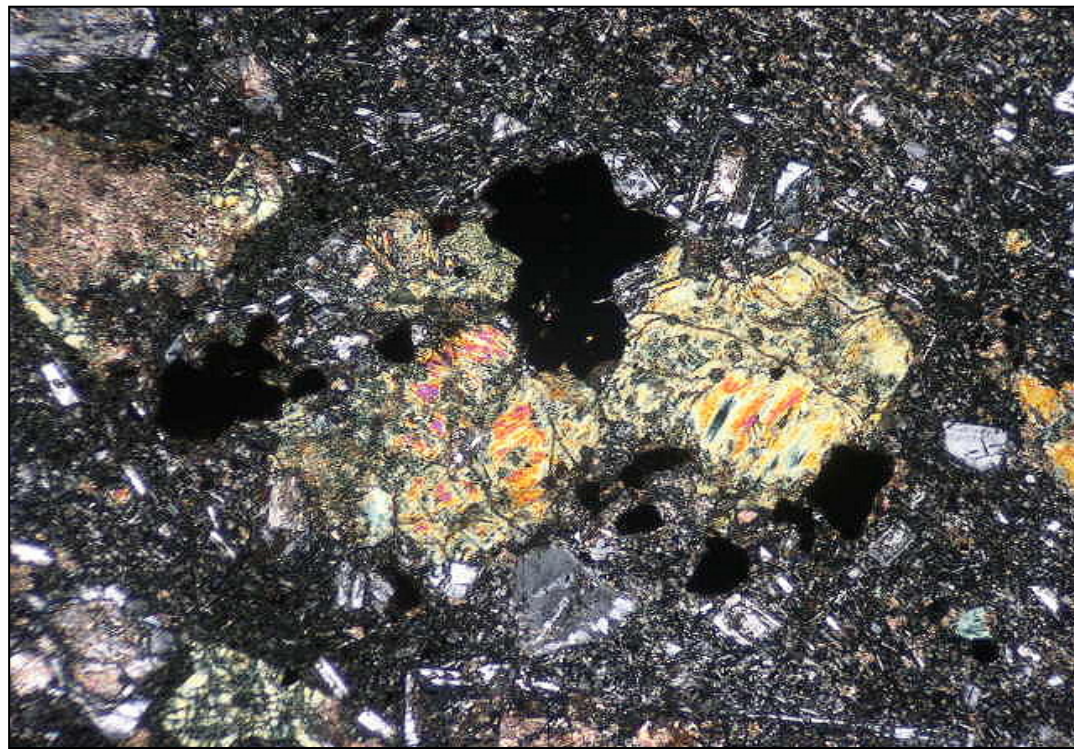
Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
apatita	<1	cristales subhedrales de hasta 0,35 mm.

Minerales Alteración (incluye minerales introducidos por hidrotermalismo y supérgenos).

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
clorita	8	como reemplazo parcial a intenso de cristales máficos.
sericita	5	como producto de alteración parcial en cristales de plagioclasa, especialmente fenocristales.
montmorillonita	4	como reemplazo parcial de cristales de plagioclasa.
calcita	2	desarrollada en cristales de plagioclasa, máficos y amígdalas en forma local.
actinolita	2	como reemplazo parcial a fuerte de máficos en forma local.

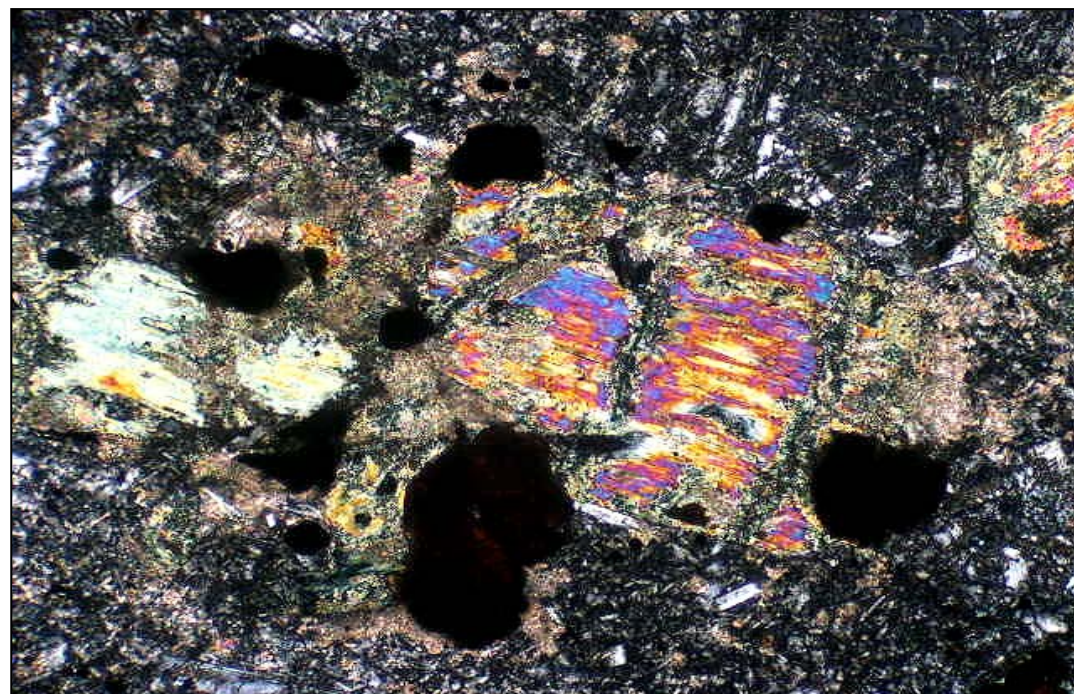
Minerales Opacos

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
magnetita y hematita	2	cristales subhedrales de hasta 0,6 mm.
sulfuros	<1	muy escasos cristales de pirita y/o calcopirita presentes en forma local.

Selección de microfotografías

0 0.5 1mm

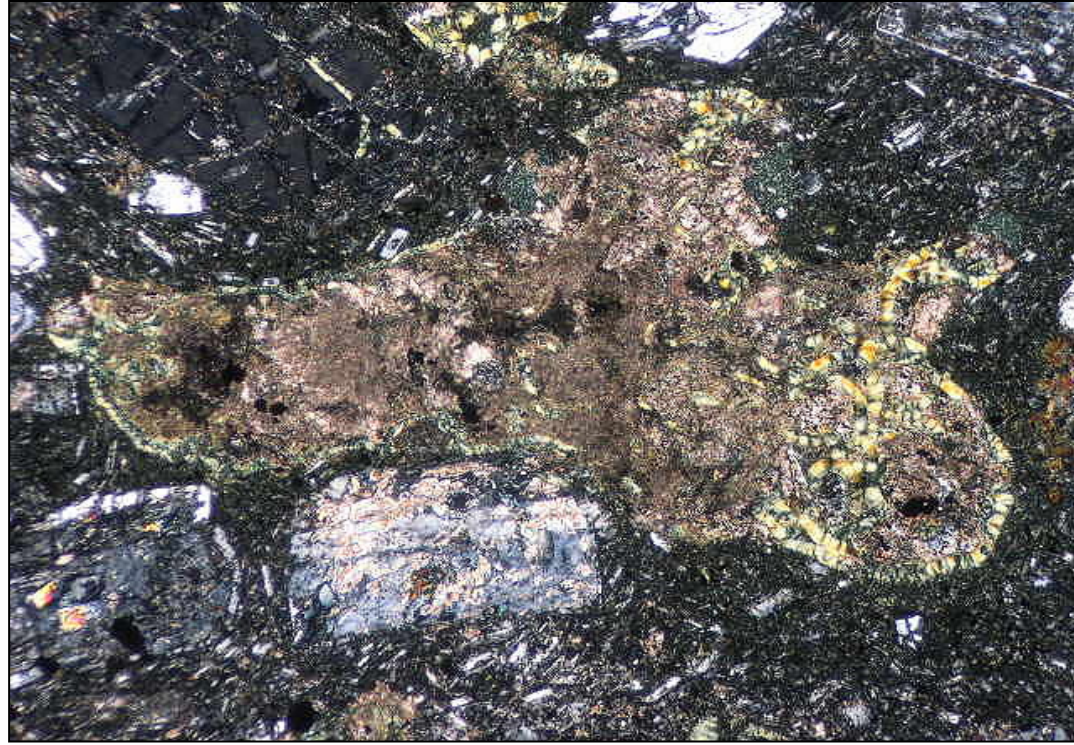
Muestra 160406: en la microfotografía se observa agregado de cristales máficos reemplazados por actinolita y clorita. Aum.: 5X10; Nic. cruzados.



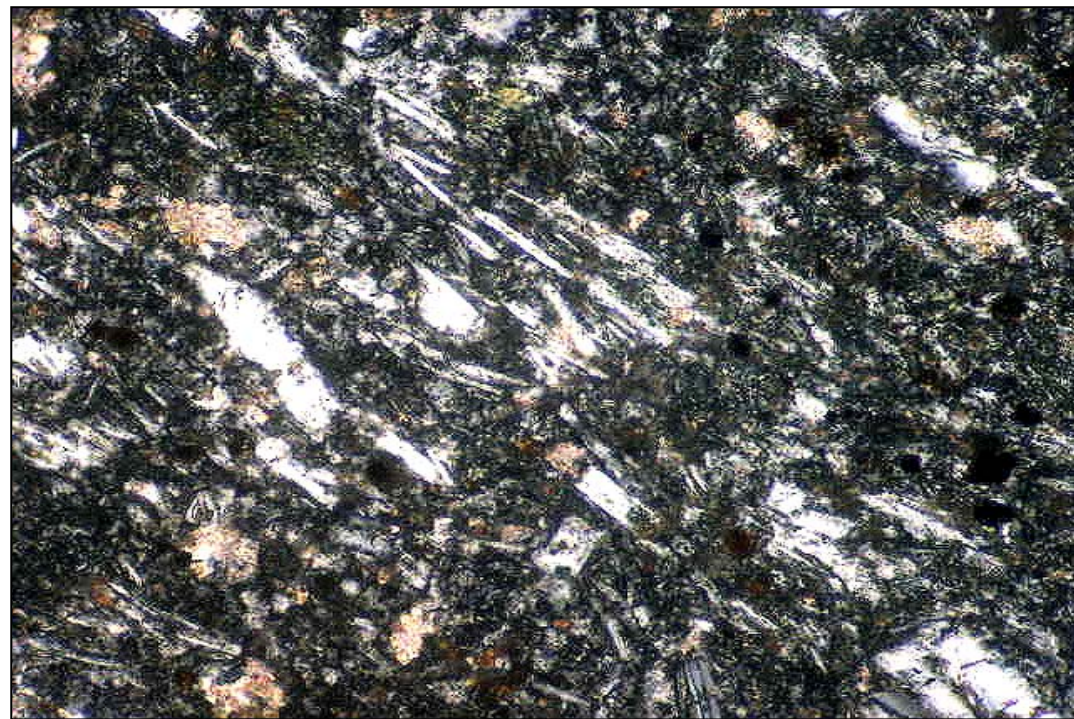
0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 mm

Muestra 160406: detalle de pseudomorfos de posible piroxeno con reemplazo por actinolita, escasa clorita y calcita. Aum.: 10X10; Nic. cruzados.

Microfotografías




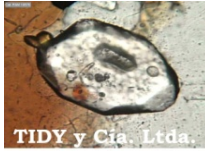
Muestra 160406: en la microfotografía se observa amigdala con relleno de calcita y clorita. Aum.: 10X10; Nic. cruzados.



Muestra 160406: detalle de masa fundamental pilotaxítica. Aum.: 20X10; Nic. cruzados.

Estudio por	TIDY & Cía. Ltda.
Enrique Tidy/ Mauricio Ureta	

Fecha	Firma
26-10-2011	



INFORME ESTUDIO PETROGRAFICO

GE-S 027204

Nº Muestra	160419
Guía Nº	TCL20432 control interno

Procedencia	Coord. Norte	Coord. Este	Elevacion (m)
Proyecto Mocha.			

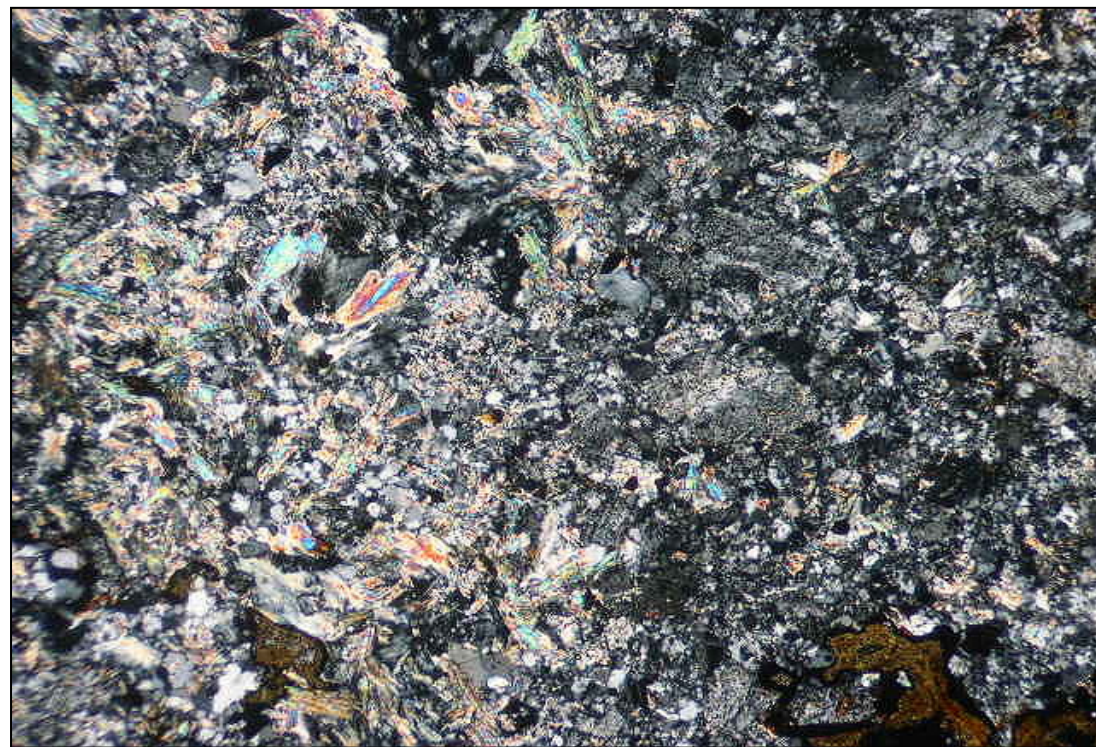
Solicitado por	Fecha
Geólogo Sr. Patricio Faúndez, Exploraciones Mineras Andinas S. A., Of. Calama.	02-09-2011

Clasificación petrográfica	Brecha de intrusión.
----------------------------	----------------------

Textura	% Frags: 40 % M/C: 60
Fragmental, con matriz de dacita a andesita.	

Observaciones megascópicas/ microscópicas
 Roca de textura fragmental, color beige, formada por fragmentos de roca obliterada por intenso reemplazo por agregados compactos de cristales de sericita y cuarzo granular fino, con cristales finos de clorita y fragmentos de cuarzodiorita, con cristales de plagioclasa de hasta 3 mm, con reemplazo débil a moderado por sericita y escaso cuarzo en forma intersticial. La matriz corresponde a dacita/ andesita, formada por fenocristales de plagioclasa parcial a fuertemente fragmental en masa fundamental afanítica, formada por cristales de plagioclasa con tamaño medio de 0,08 mm y cuarzo granular muy fino en forma intersticial, posiblemente en parte de origen secundario. Los minerales opacos corresponden a cristales de hematita, goethita y jarosita, localmente con cristales finos de yeso asociado.

Microfotografía (aspecto general)



Muestra 160419: aspecto de la muestra en que se observa parte de fragmento sericitizado (izquierda) y parte de matriz de composición dacítica a andesítica. Aum.: 5X10; Nic. cruzados.

Estudio Microscópico

Fragmentos: % 40

Líticos/ cristales	%	Alteración	Características/Ocurrencia
roca obliterada	35	intenso desarrollo de cuarzo, sericita y clorita	fragmentos gruesos de hasta 17 mm, de roca intensamente reemplazada por agregados compactos de cristales de sericita de 0,05 a 0,5 mm, con cuarzo granular de 0,1 a 0,3 mm y agregados finos de cristales de clorita, con textura original completamente obliterada por la intensa alteración.
cuarzodiorita	5	débil reemplazo por sericita	fragmentos angulosos de hasta 7 mm, formados por cristales de plagioclasa de 0,5 a 2,5 mm débilmente sericitizada, con tamaño medio de 1 mm y cuarzo granular fino en forma intersticial y escasos agregados de clorita como posible reemplazo de máficos.

Matriz/Cemento: % 60

Roca/ Mineral	%	Alteración	Características/Ocurrencia
dacita/ andesita	60	desarrollo débil a moderado de sericita y escasa clorita	la matriz posee composición andesita a dacita, formada por fenocristales de plagioclasa de hasta 2 mm, con parcial a fuerte fracturamiento, en masa fundamental afanítica, con cristales de plagioclasa de 0,03 a 0,3 mm, con tamaño medio de 0,08 mm y cuarzo granular fino en forma intersticial, posiblemente en parte de origen secundario (infiltrado en la matriz). Se observan agregados de cristales finos de clorita como posible reemplazo de cristales máficos.

Componentes accesorios

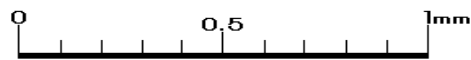
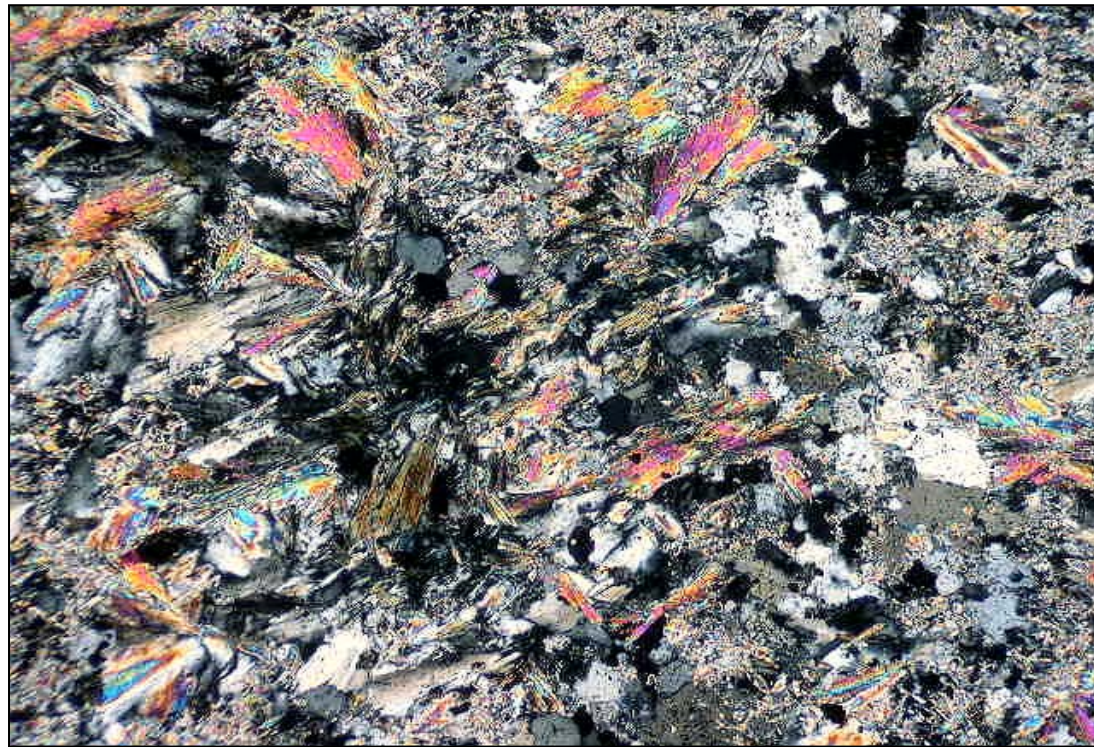
Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
apatita	<1	crisales subhedrales de hasta 0,2 mm presentes en la matriz.

Minerales Alteración (incluye minerales introducidos por hidrotermalismo y supérgenos).

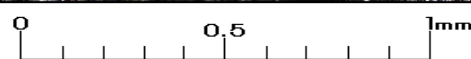
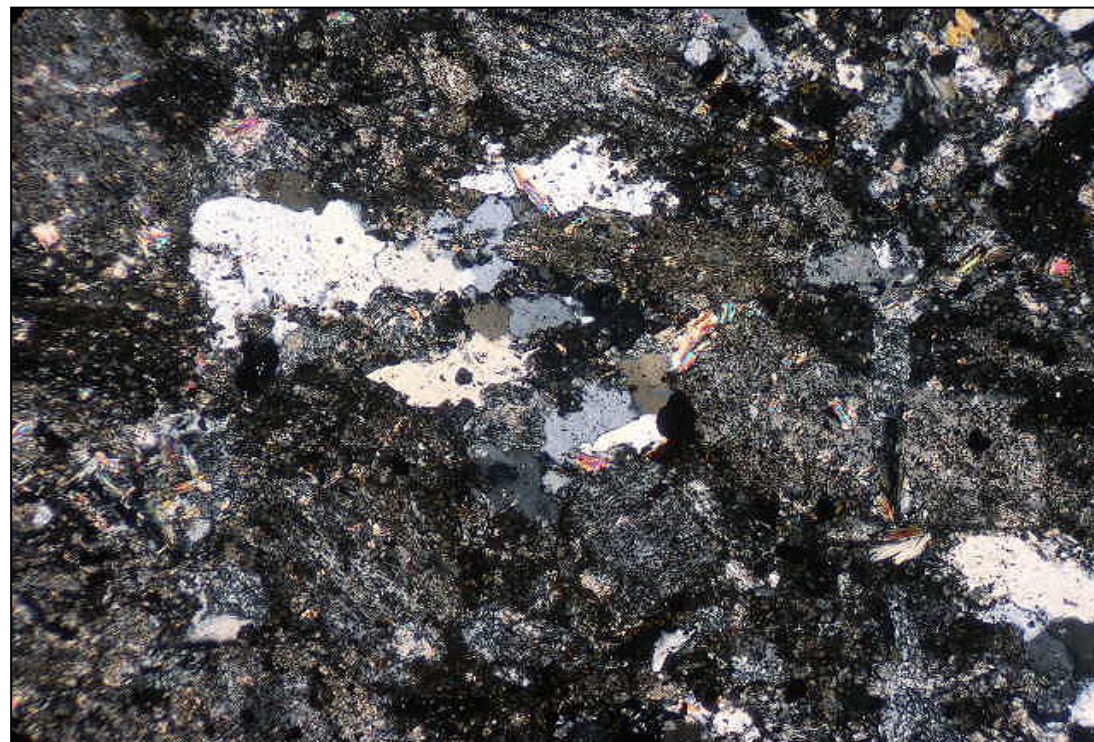
Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
sericita	25	como producto de alteración de cristales de plagioclasa, débil a moderada en la matriz y fuerte en fragmentos. Los cristales alcanzan localmente 0,5 mm.
clorita	6	agregados finos como posible reemplazo de cristales máficos, en fragmentos y matriz.
yeso	1	agregados de cristales muy finos asociados a jarosita en forma local.

Minerales Opacos

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
hematita-goethita	3	agregados de cristales finos, posiblemente como reemplazo de pirita.
jarosita	1	agregados de cristales muy finos presentes en forma local.

Selección de microfotografías

Muestra 160419: parte de fragmento de roca obliterada por intenso desarrollo de cuarzo y sericita en cristales localmente gruesos, con clorita escasa. Aum.: 5X10; Nic. cruzados.

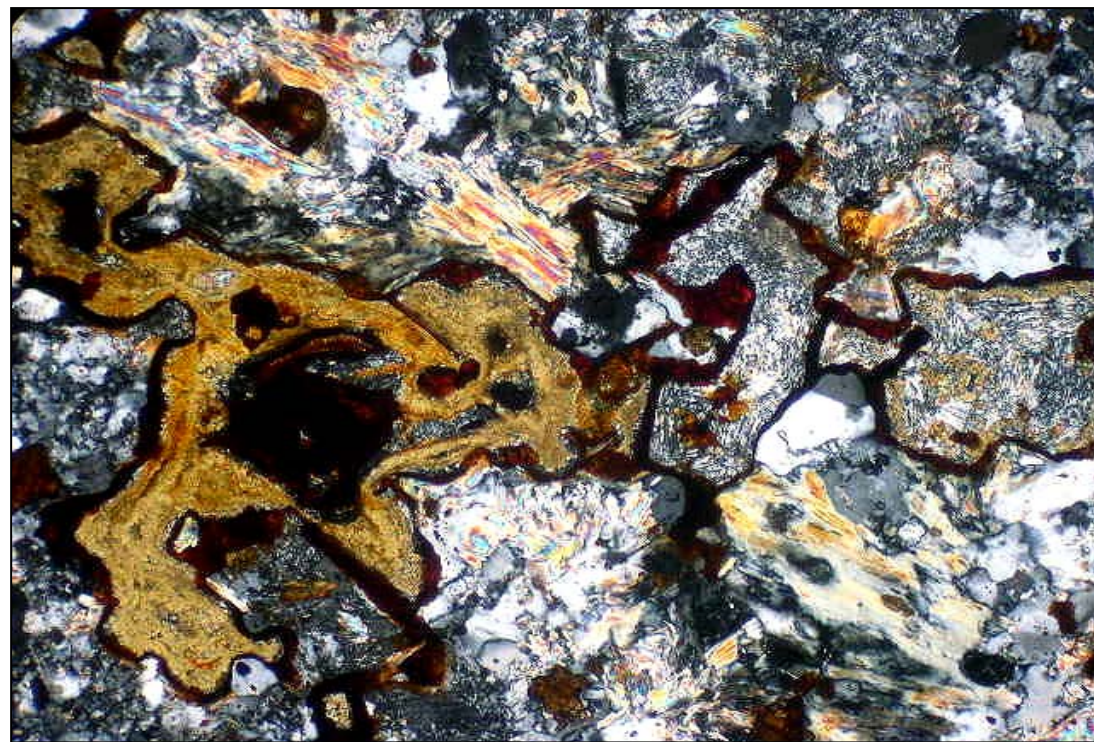


Muestra 160419: en la microfotografía se observa parte de fragmento de cuarzodiorita, con cristales de plagioclasa y cuarzo en forma intersticial. Aum.: 5X10; Nic. cruzados.

Microfotografías




Muestra 160419: detalle de matriz en que se observan fenocristales de plagioclasa parcialmente fragmental en masa fundamental afanítica. Aum.: 10X10; Nic. cruzados.



Muestra 160419: detalle en que se observa agregado de cristales de hematita, goethita, granos finos de jarosita (color anaranjado) y yeso asociado (derecha). Aum.: 10X10; Nic. cruzados.

Estudio por	TIDY & Cía. Ltda.
Enrique Tidy/ Mauricio Ureta	

Fecha	Firma
26-10-2011	



INFORME ESTUDIO PETROGRAFICO

GE-S 027204

Nº Muestra	160421
Guía Nº	TCL20432 control interno

Procedencia	Coord. Norte	Coord. Este	Elevacion (m)
Proyecto Mocha.			

Solicitado por	Fecha
Geólogo Sr. Patricio Faúndez, Exploraciones Mineras Andinas S. A., Of. Calama.	02-09-2011

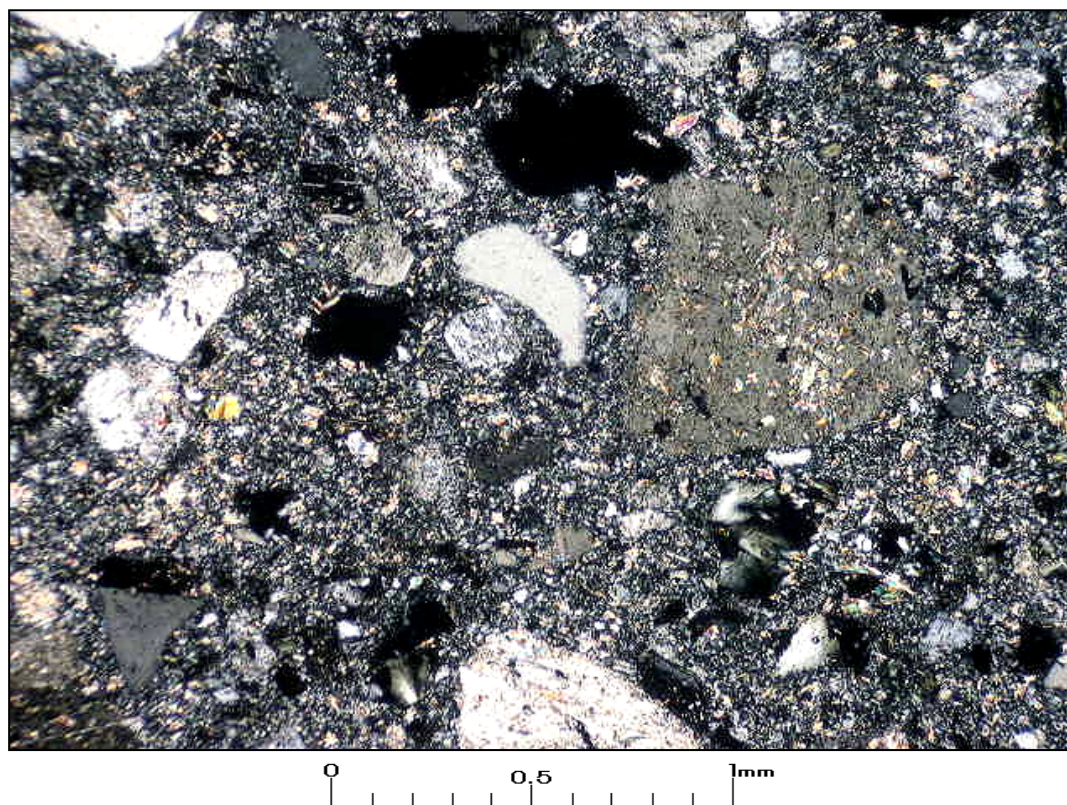
Clasificación petrográfica	Toba de cristales.
----------------------------	--------------------

Textura	Frgs: % 45 Mx: % 55
Volcaniclástica, con matriz cinerítica.	

Observaciones megascópicas/ microscópicas

Roca de textura volcaniclástica, color gris claro a intermedio, formada por fragmentos angulosos y cristales subhedrales de plagioclasa de hasta 4,7 mm, con reemplazo débil a moderado por sericita y muy escasa calcita; fragmentos de cristales de cuarzo y de máficos fuertemente reemplazados por clorita y opacos. Se observan escasos fragmentos líticos consistentes en roca microfanerítica, con feldespatos intensamente silicificados y cuarzo en forma intersticial. La matriz es cinerítica, con desarrollo de escasa sericita y de granos anhedrales muy finos de cuarzo granular posiblemente como producto de desvitrificación. Los minerales opacos corresponden a cristales de piritita y posible calcopiritita en parte diseminada en fragmentos y matriz.

Microfotografía (aspecto general)



Muestra 160421: aspecto de la muestra en que se observan fragmentos angulosos de cristales de plagioclasa y cuarzo en matriz cinerítica fina. Aum.: 5X10; Nic. cruzados.

Estudio Microscópico

Componentes piroclásticos mayores: % 45

Líticos/Crist.	%	Alteración	Características especiales/ Modo de ocurrencia
cristales	43	feldespatos débil a moderadamente sericitizados	fragmentos y cristales subhedrales de plagioclasa de hasta 4,7 mm, de composición andesina (An ₃₅).
líticos	2	feldespatos fuertemente sericitizados	fragmentos angulosos de hasta 4 mm, correspondientes a roca microfanerítica, con feldespatos intensamente sericitizados y cuarzo en forma intersticial.

Matriz: % 55

Composición	%	Alteración	Características especiales/ Modo de ocurrencia
cinerítica	55	desarrollo de cuarzo fino y escasa clorita y sericita	la matriz es cinerítica muy fina, con desarrollo de cuarzo granular muy fino como posible producto de desvitrificación, localmente desarrollo de agregados de cristales muy finos de clorita.

Componentes accesorios

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
apatita	<1	cristales subhedrales de hasta 0,4 mm.
circón	<1	cristales subhedrales de hasta 0,1 mm.

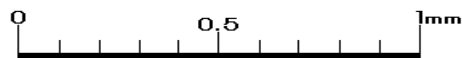
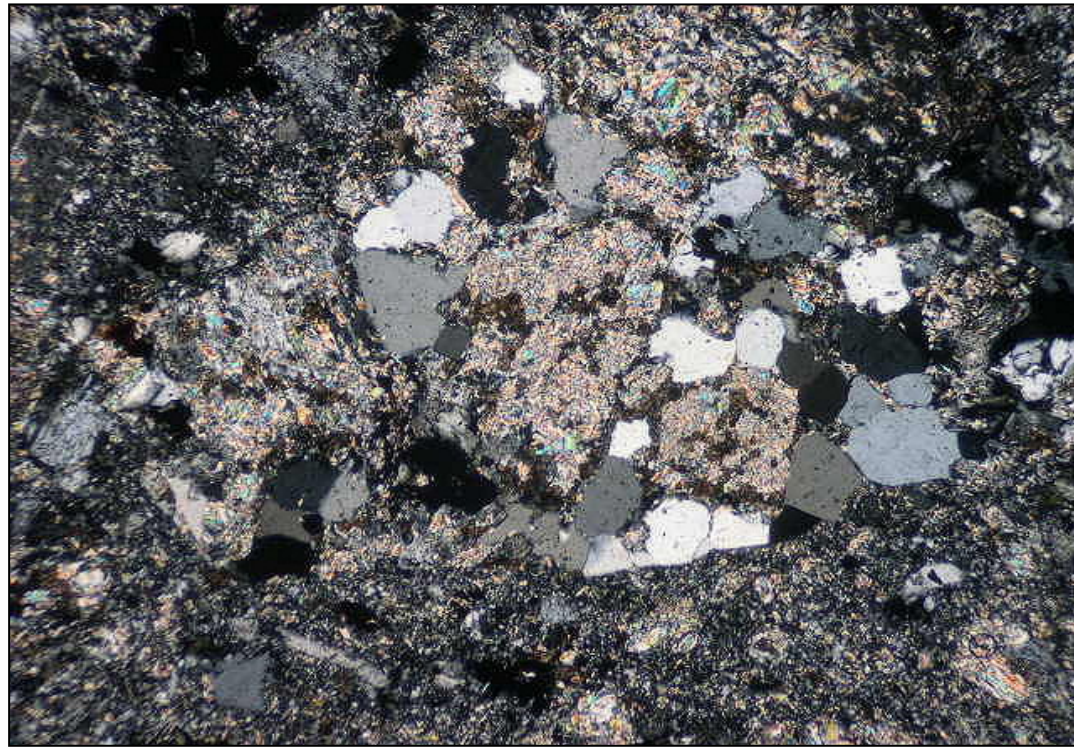
Minerales Alteración (incluye minerales introducidos por hidrotermalismo y supérgenos).

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
sericita	12	como producto de alteración de feldespatos en fragmentos y desarrollada escasamente en la matriz.
clorita	5	agregados de cristales muy finos desarrollados en parte de la matriz cinerítica.
cuarzo	?	consiste en granos extremadamente finos desarrollados en parte de la matriz como posible producto de desvitrificación.
turmalina	<1	cristales subhedrales de hasta 0,7 mm, presente localmente impregnada en algunos cristales de plagioclasa.

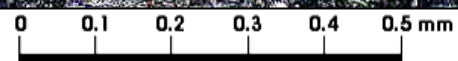
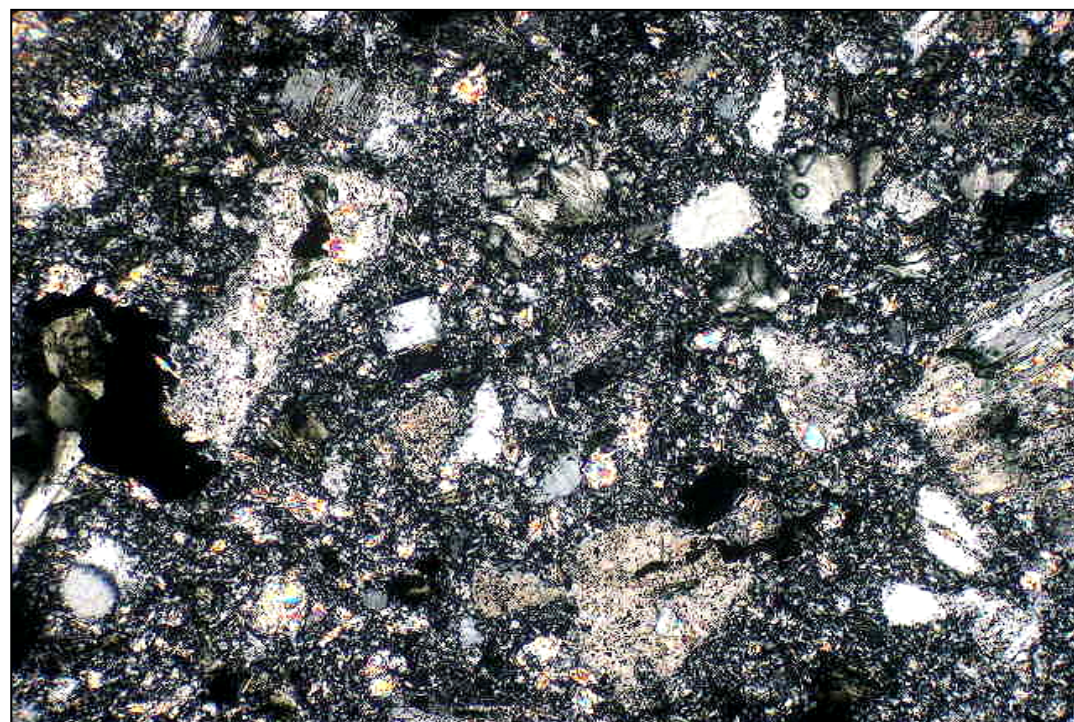
Minerales Opacos

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
pirita	5	cristales subhedrales/ anhedrales que localmente llegan hasta 6,5 mm, presentes como parte de fragmentos y dispersa en la matriz.
rutilo (semiopacos)	<1	cristales subhedrales de hasta 0,2 mm, localmente en agregados muy finos.

Selección de microfotografías

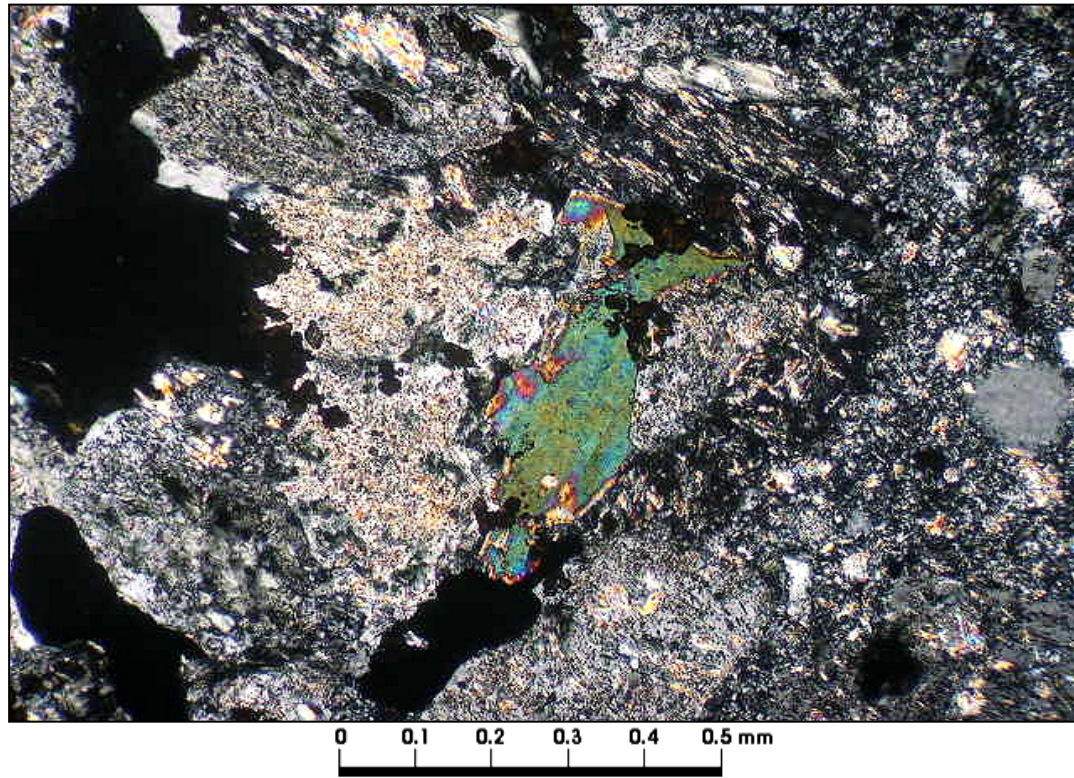


Muestra 160421: en la microfotografía se observa fragmento lítico con feldespatos sericitizados y cuarzo en forma intersticial. Aum.: 5X10; Nic. cruzados.




Muestra 160421: detalle en que se observan fragmentos angulosos finos de plagioclasa y cuarzo en matriz cinerítica con desarrollo de cuarzo granular muy fino posiblemente producto de desvitrificación. Aum.: 10X10; Nic. cruzados.

Microfotografías



Muestra 160421: detalle agregado de cristales de plagioclasa con impregnación de cristal de turmalina. Aum.: 10X10; Nic. cruzados.

Estudio por	<i>TIDY & Cía. Ltda.</i>
Enrique Tidy/ Mauricio Ureta	
Fecha	Firma
26-10-2011	



INFORME ESTUDIO MINERALES OPACOS

GE-S 027205

Nº Muestra	160358
Guía Nº	TCL20433 control interno

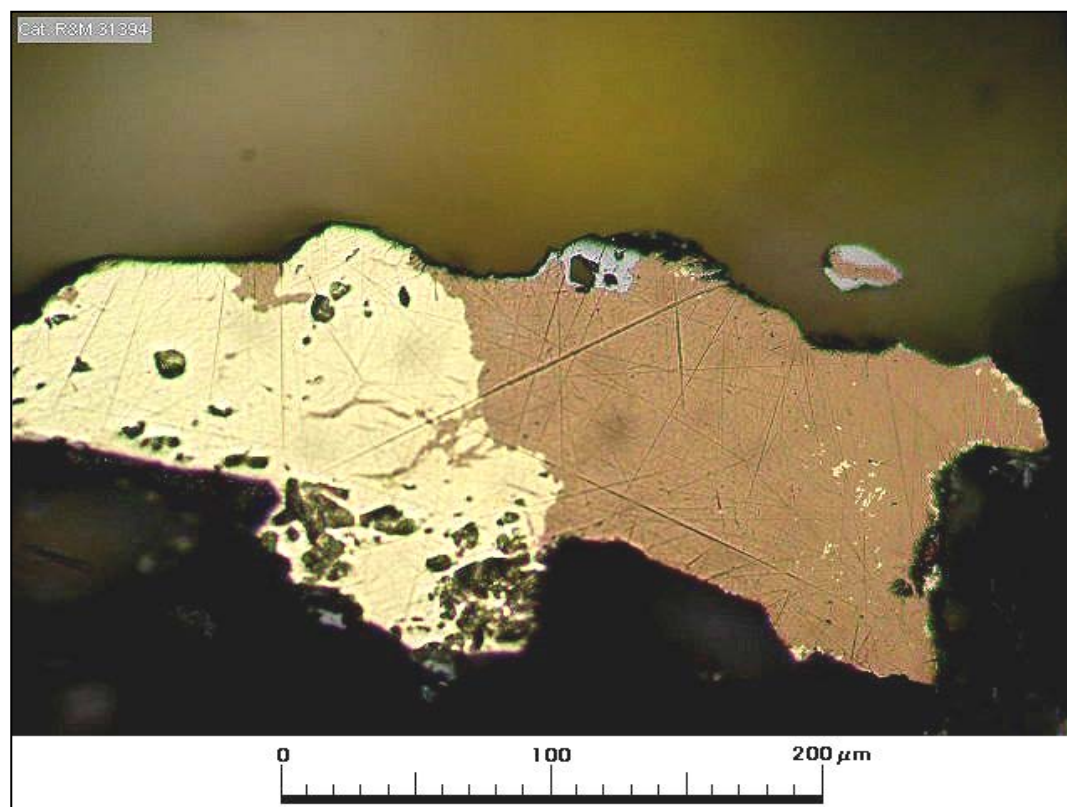
Procedencia	Coord. Norte	Coord. Este	Elevacion (m)
Proyecto Mocha.			

Solicitado por	Fecha
Geólogo Sr. Patricio Faúndez, Exploraciones Mineras Andinas S. A., Of. Calama.	02-09-2011

Observaciones megascópicas/ microscópicas

Pórfido tonalítico de emplazamiento posiblemente hipabisal, color gris intermedio, formado por fenocristales de plagioclasa; fenocristales de cuarzo y fenocristales de biotita y hornblenda. La masa fundamental es microfanerítica y está formada por cristales de plagioclasa de 0,05 a 0,3 mm entrecrecida con cuarzo con tamaño medio de 0,6 mm. La muestra contiene escasa mineralización de opacos que consiste en magnetita y calcopirita diseminadas (de distribución irregular en la roca) y también relacionada con vetillas de dos tipos, uno correspondiente a vetilla de pirita/ clorita de unos 7 mm de espesor, incluido halo sericítico) y otro tipo pirítico de espesor reducido y de unos 0,3 mm con halos menos conspicuos.

Microfotografía (aspecto general)

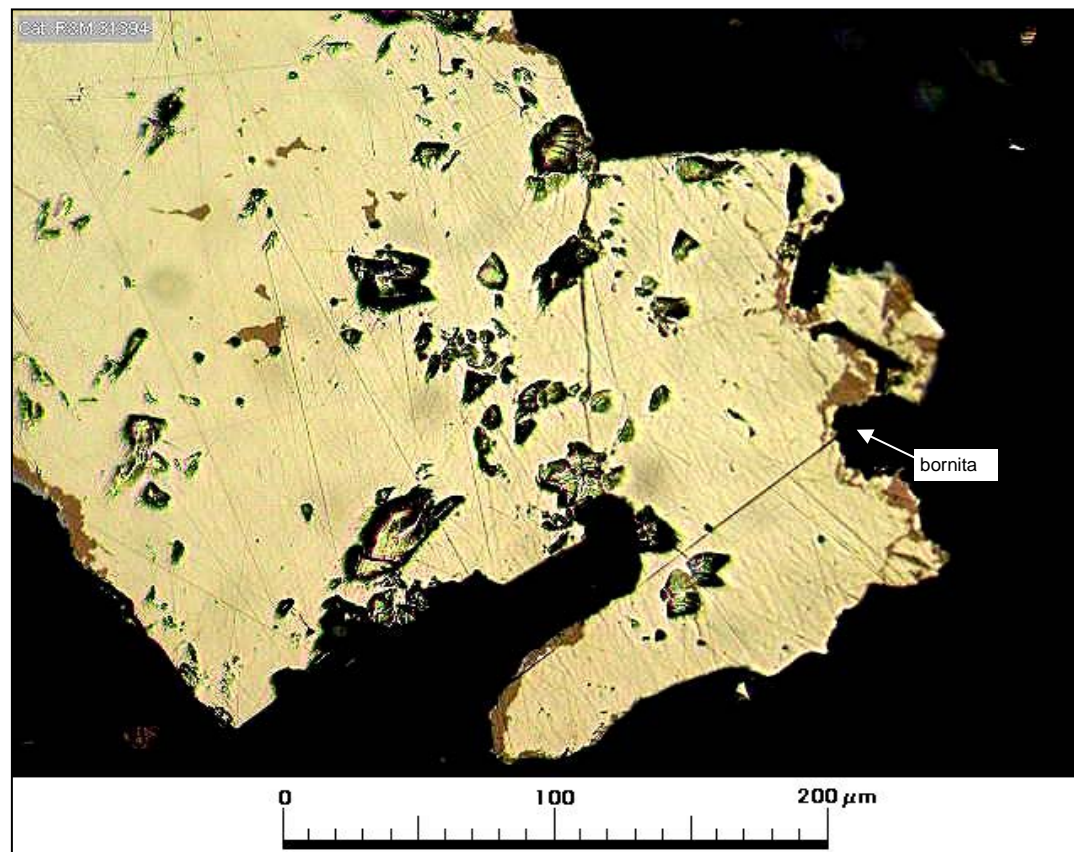


Muestra 160358: grano mixto de calcopirita/ bornita con un contacto irregular debido a que ambas especies se formaron por un proceso de desmezclamiento mutuo; la bornita aparece asociada con pequeños granitos de galena. Aum.: 32x10; Nic. paralelos.

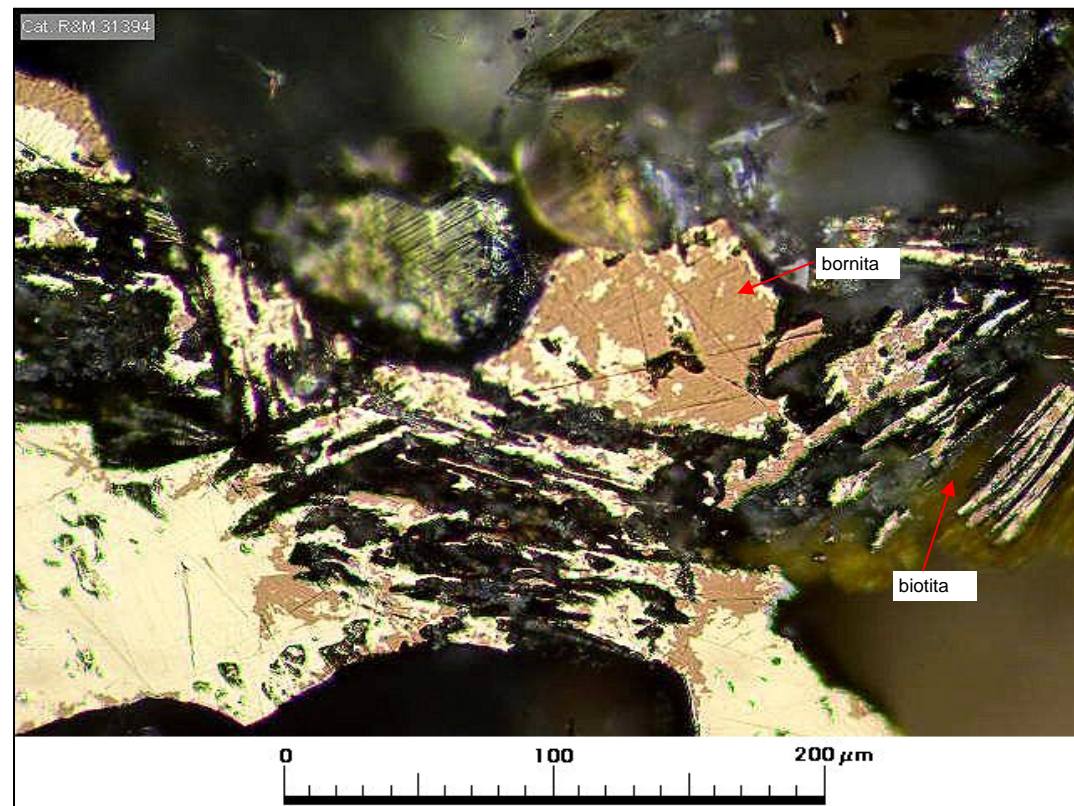
Observaciones microscópicas

Componentes minerales

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
magnetita	1	reemplazo débil por hematita hipógena.	ocurre en granos y agregados de 0,05-1,1 mm. Se asocia con hematita titanífera (titanhematita) formando granos mixtos en los cuales las dos especies muestran evidencias de depositación simultánea. Contiene pequeñas inclusiones de calcopirita.
hematita titanífera	<1	sin alteración.	ocurre como granos anhedrales/ subhedrales de 0,06-0,45 mm (con predominancia de secciones alargadas en granos subhedrales). Contiene finos desmezclamientos de ilmenita en parte orientados. La hematita titanífera se diferencia de la hematita común en que esta última es de color más claro y presenta reflejos internos rojos.
pirita	2	sin alteración.	aparece solamente en las vetillas como granos anhedrales de 0,05-1,6 mm. Contiene pequeñas y escasas inclusiones de calcopirita, algunas junto con pirrotina. También inclusiones de rutilo.
calcopirita	<0,5	sin alteración.	ocurre en granos anhedrales diseminados de 0,03-0,8 mm; contiene escasos desmezclamientos de bornita (hasta de unos 0,06 mm).
bornita	tr	sin alteración.	ocurre como granos mixtos con calcopirita (hasta 0,2 mm), exsoluciones en calcopirita y también como granos aislados de 0,015-0,06 mm. Las relaciones de contacto con calcopirita indican una formación simultánea. Contiene trazas de galena como inclusiones de tamaño menor a 20 µm.
rutilo	<0,5	formado por el Ti liberado de la alteración hidrotermal de máficos.	agregados anhedrales de hasta 0,15 mm

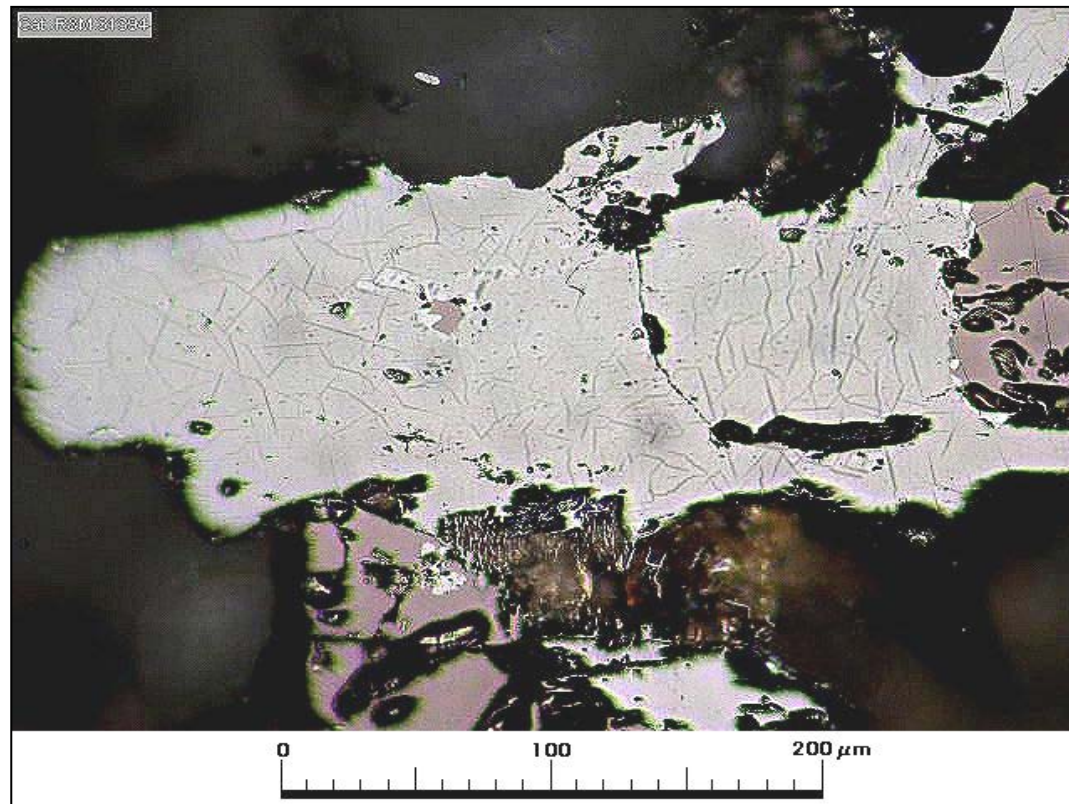


Muestra 160358: grano anhedral de calcopirita con escasos desmezclamientos de bornita en sus bordes. Aum.: 32x10; Nic. paralelos.

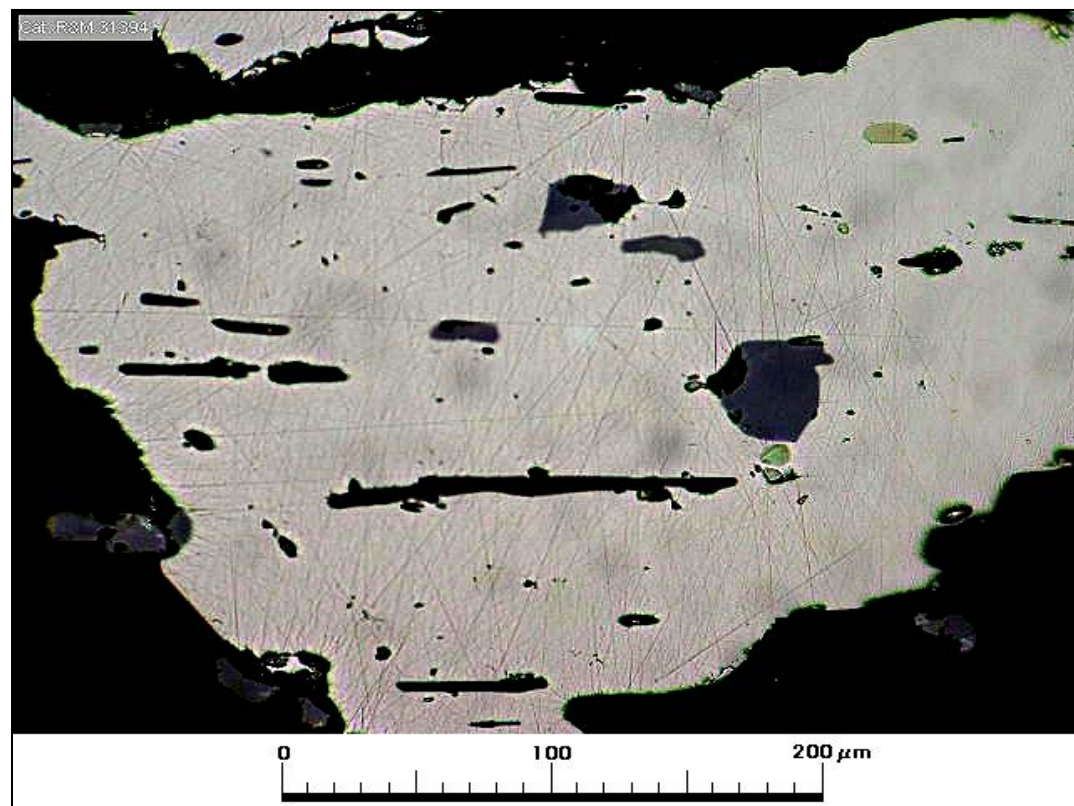


Muestra 160358: granos anhedrales de calcopirita junto a biotita hojosa y desmezclamientos de bornita. Aum.: 32x10; Nic. paralelos.

Microfotografías



Muestra 160358: grano subhedral de hematita titanífera (titánhematita) con desmezclamientos laminares finos de ilmenita cristalográficamente orientados. Aum.: 32x10; Nic. paralelos.



Muestra 160358: grano de pirita en vetillas de cuarzo/ clorita con halos sericíticos; contiene inclusiones de calcopirita/ pirrotina y de rutilo. Aum.: 32x10; Nic. paralelos.

Estudio por	TIDY & Cía. Ltda.
Enrique Tidy F.	
Fecha	Firma
11-11-2011	<i>E. Tidy</i>



INFORME ESTUDIO MINERALES OPACOS

GE-S 027205

Nº Muestra	160373
Guía Nº	TCL20433 control interno

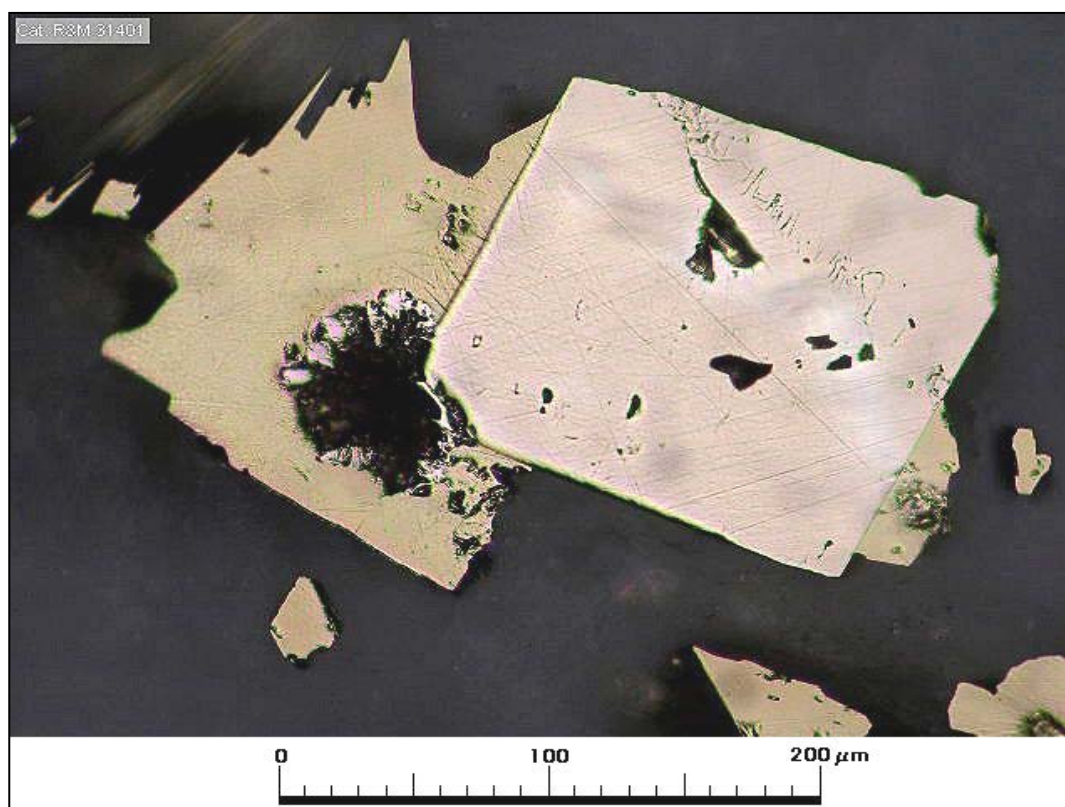
Procedencia	Coord. Norte	Coord. Este	Elevacion (m)
Proyecto Mocha.			

Solicitado por	Fecha
Geólogo Sr. Patricio Faúndez, Exploraciones Mineras Andinas S. A., Of. Calama.	02-09-2011

Observaciones megascópicas/ microscópicas

Pórfido tonalítico color gris claro formado por fenocristales de plagioclasa con reemplazo parcial por sericita y escasa calcita y caolinita; fenocristales anhedrales de cuarzo y pseudomorfos de biotita y posible hornblenda en parte con intenso reemplazo por clorita y localmente sericita muscovítica. La masa fundamental es microfanerítica, formada por microlitos de plagioclasa con cuarzo granular muy fino en forma intersticial y muy escasa ortoclasa. La muestra contiene escasos minerales opacos diseminado en la roca correspondientes a pirita y calcopirita en granos de hasta 0,6 mm la pirita y 0,35 mm la calcopirita; la cantidad se estimó en 1% Vol. siendo la proporción aproximadamente 1:1 entre ambas especies. Rutilo residual de la alteración hidrotermal de máficos titaníferos aparece en granos anhedrales semiopacos diseminados de hasta 0,3 mm.

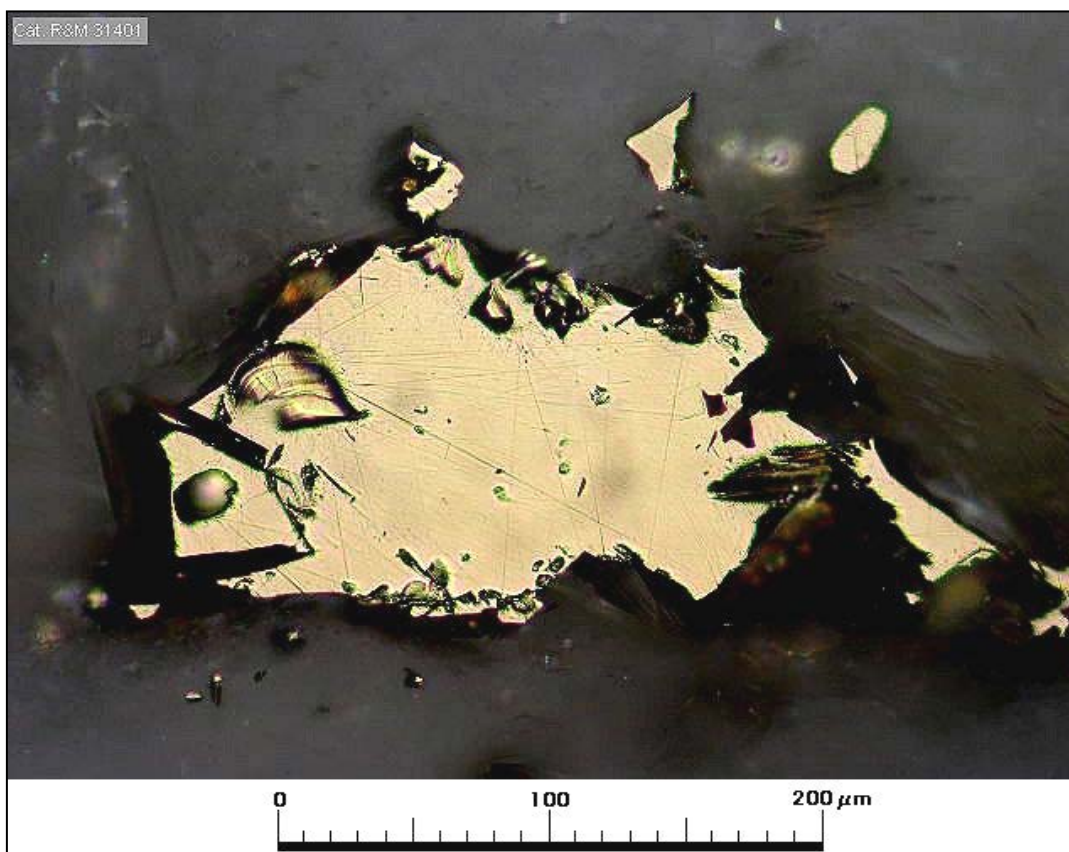
Microfotografía (aspecto general)



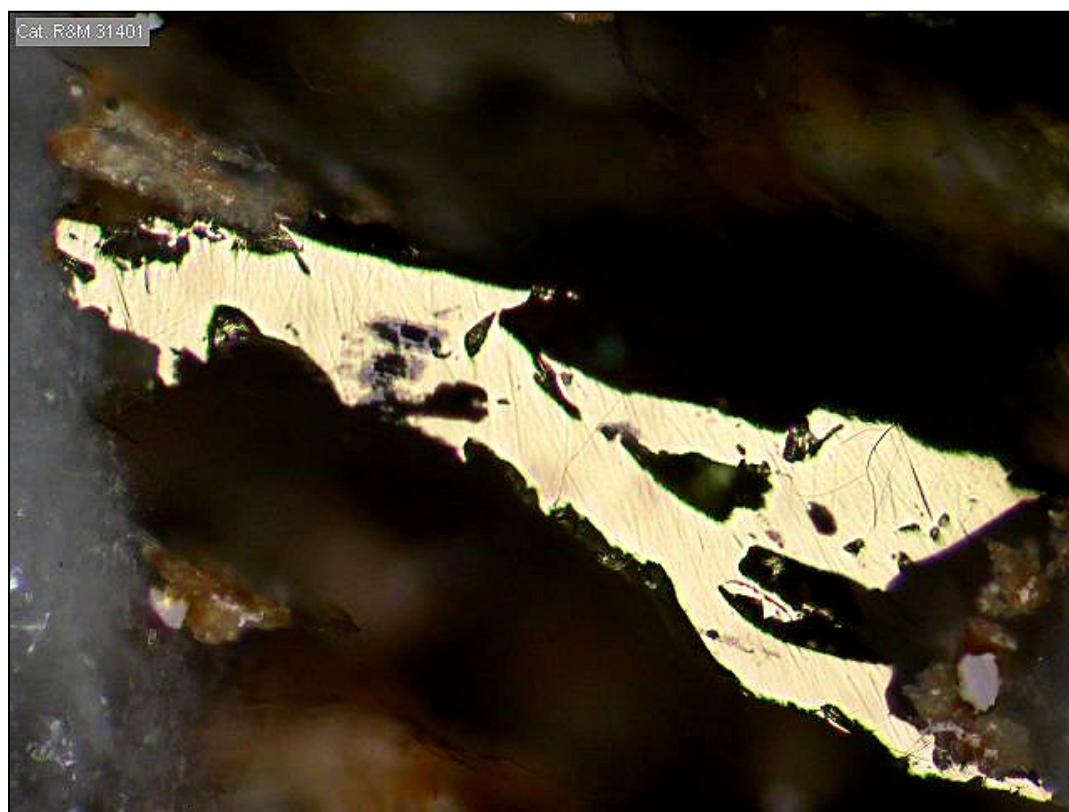
Muestra 160373: grano euhedral de pirita con forma cúbica en contacto con calcopirita anhedral; de las relaciones de contacto se deduce claramente que la calcopirita es de depositación posterior a la pirita en la secuencia paragenética. Aum.: 32x10; Nic. paralelos.

Observaciones microscópicas

Componentes minerales			
Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
pirita	1	sin alteración.	granos anhedrales diseminados de 0,02-0,6 mm
calcopirita		sin alteración.	ocurre en granos anhedrales de 0,02-0,35 mm diseminados en la roca
rutilo	<1	residuo de alteración hidrotermal de máficos titaníferos.	granitos anhedrales de diseminados en la roca de 0,01-0,12 mm; agregados de hasta 0,3 mm.

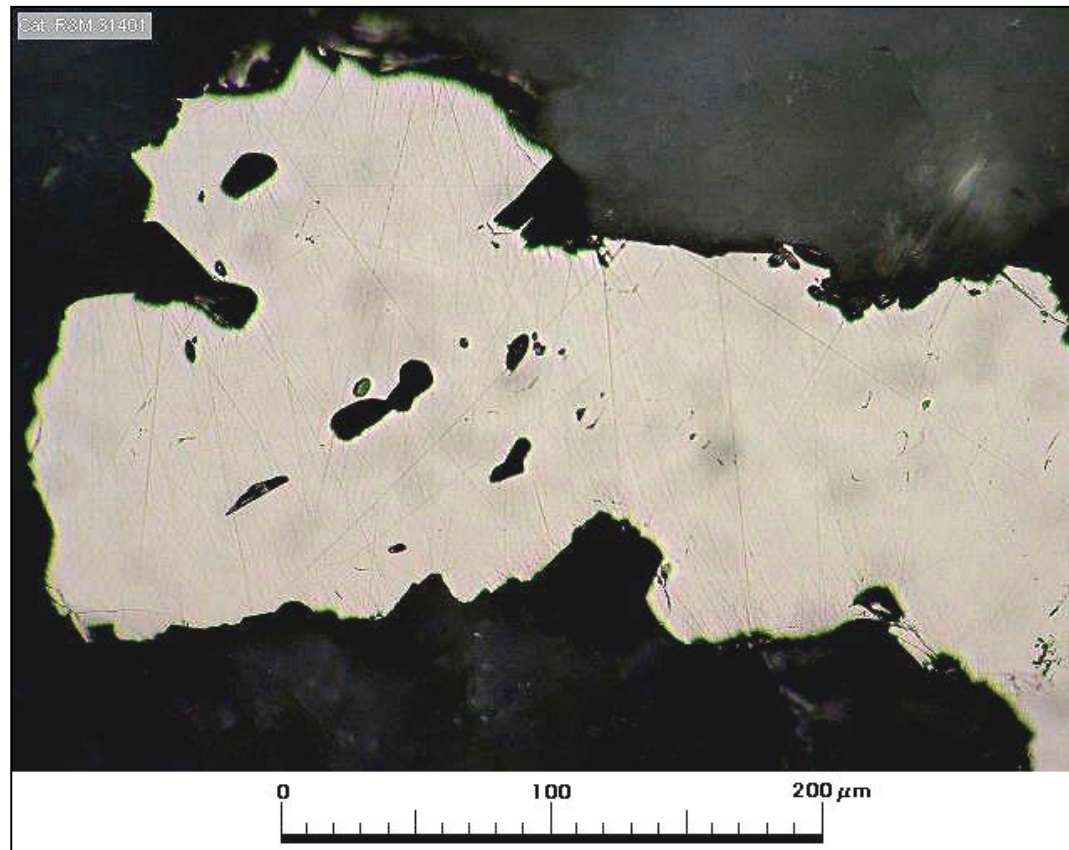


Muestra 160373: grano anhedral de calcopirita asociado a biotita. Aum.: 32x10; Nic. paralelos.

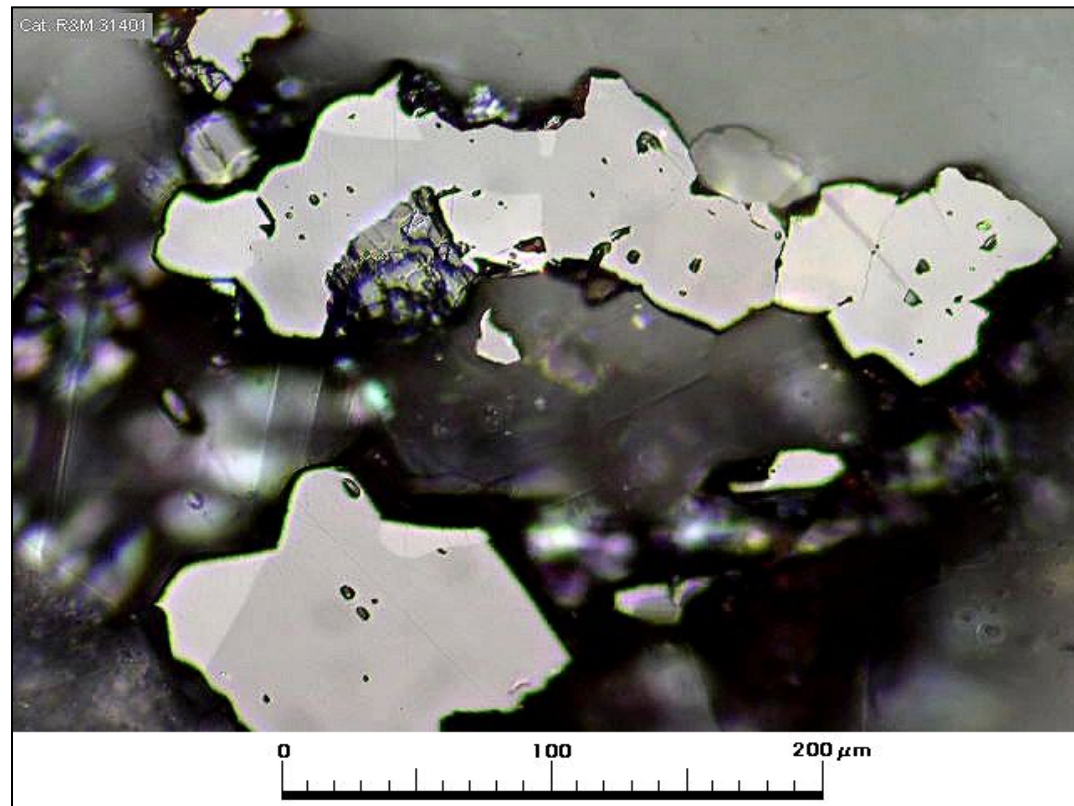


Muestra 160373: grano anhedral de calcopirita asociado a biotita. Aum.: 32x10; Nic. paralelos.

Microfotografías



Muestra 160373: grano anhedral de pirita sin asociación con otros sulfuros. Aum.: 32x10; Nic. paralelos.



Muestra 160373: agregados de granos anhedrales/ subhedrales de rutilo semiopaco. Aum.: 32x10; Nic. paralelos.

Estudio por	TIDY & Cía. Ltda.
Enrique Tidy F.	
Fecha	Firma
11-11-2011	<i>E. Tidy</i>



INFORME ESTUDIO MINERALES OPACOS

GE-S 027204

Nº Muestra	160384
Guía Nº	TCL20432 control interno

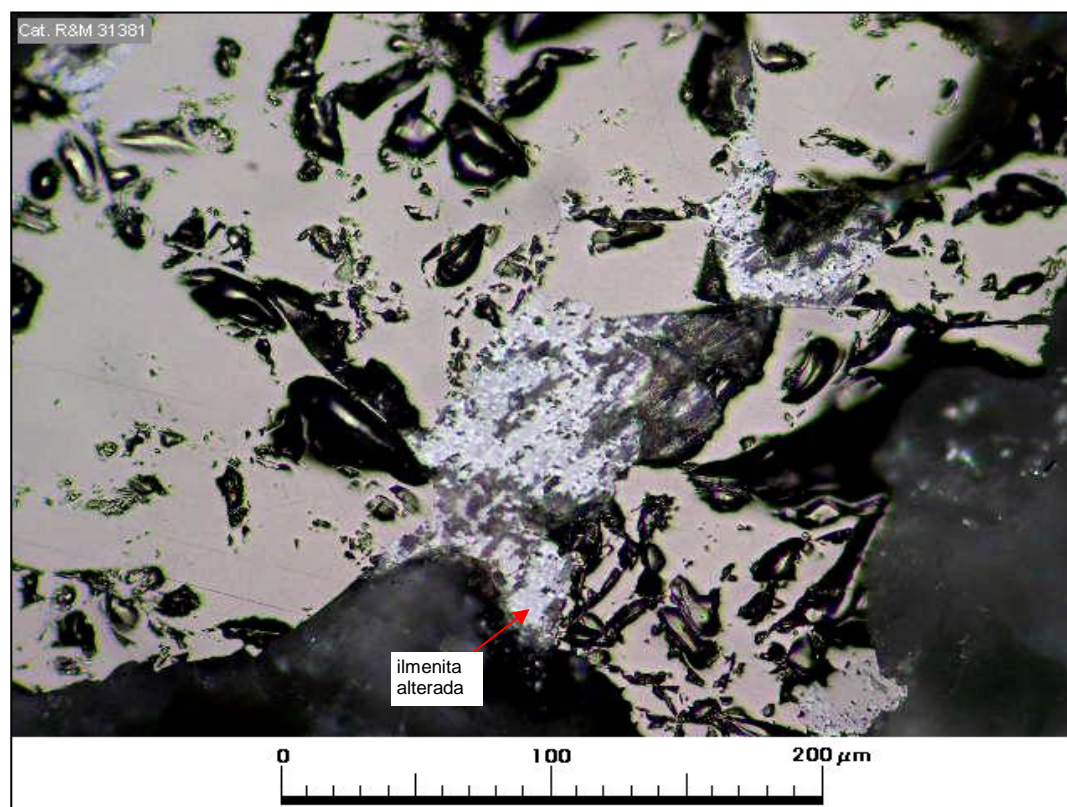
Procedencia	Coord. Norte	Coord. Este	Elevacion (m)
Proyecto Mocha.			

Solicitado por	Fecha
Geólogo Sr. Patricio Faúndez, Exploraciones Mineras Andinas S. A., Of. Calama.	02-09-2011

Observaciones megascópicas/ microscópicas

Dacita porfídica de biotita de color gris oscuro a intermedio, formada por fenocristales de plagioclasa de hasta 2,8 mm, con reemplazo local por albita en forma intensa; escasa sericitización; fenocristales de cuarzo de hasta 2 mm, policristalino y muy escasos fenocristales de biotita de hasta 1,5 mm, con reemplazo parcial a fuerte por biotita secundaria fina. La masa fundamental es pilotaxítica, formada por cristales de plagioclasa alargada con tamaño medio de 0,2 mm, localmente con parcial orientación, cuarzo granular fino en forma intersticial y cristales finos de biotita posiblemente en parte de origen secundario. Los minerales opacos corresponden a granos de magnetita e ilmenita junto a escasas pirita y calcopirita dispersos en la roca y presentes como parte de relleno de vetillas junto con cuarzo, anhidrita y clorita. En las vetillas los componentes opacos son más abundantes y ocurren en tamaños algo mayores. Las vetillas con mayor contenido de clorita muestran delgados halos gris claro (2-3 mm) de albita.

Microfotografía (aspecto general)



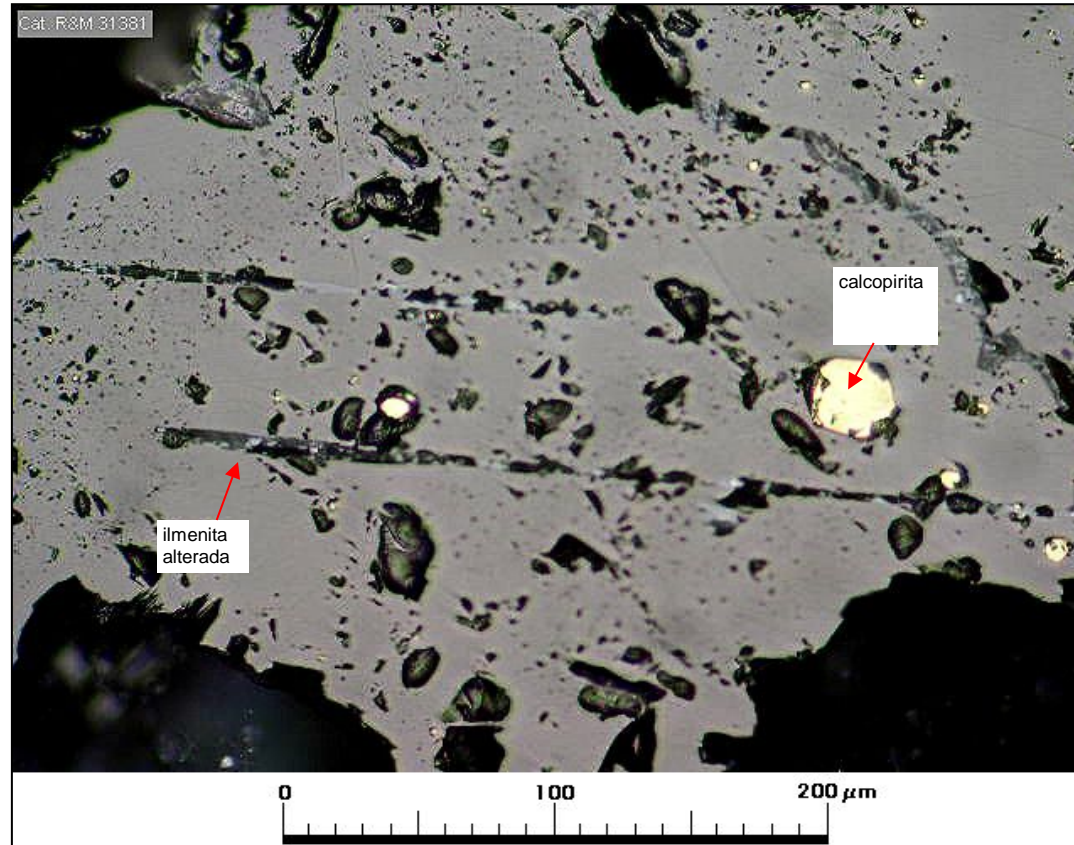
Muestra 160384: grano anhedral de magnetita asociada con ilmenita alterada a rutilo/ hematita. Aum.: 32x10; Nic. paralelos.

Observaciones microscópicas

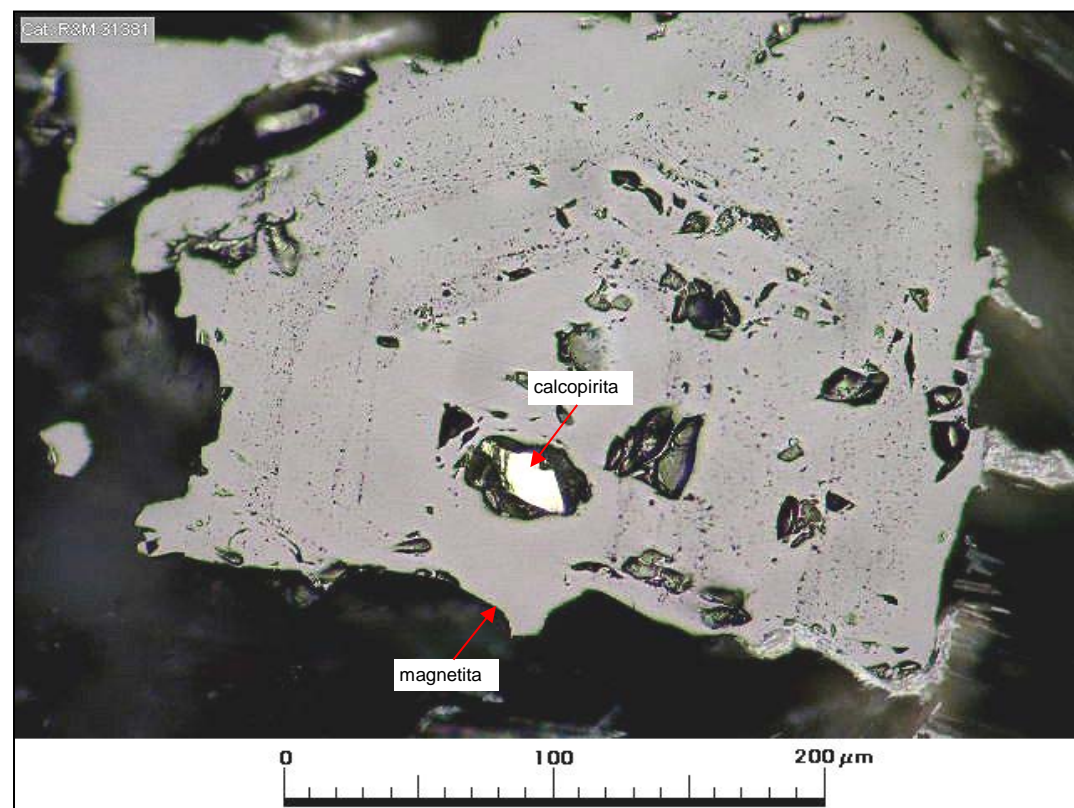
Componentes minerales

Mineral	%	Alteración/ Observaciones	Características/ Modo de Ocurrencia
magnetita	1,5	sin alteración.	se presenta en granos anhedrales y agregados de 0,02-2 mm; asociación común con magnetita y escasas laminillas que son producto de exsolución. La magnetita contiene inclusiones de calcopirita de tamaño entre 2-30 µm.
ilmenita	0,5	ilmenita aparece parcialmente o totalmente alterada a rutilo/ hematita.	ocurre estrechamente asociada con magnetita en granos anhedrales/ subhedrales de 0,03-0,12 mm. Las relaciones de contacto indican un depositación simultánea para ambas especies o ligeramente anterior para ilmenita, excepto en ocurrencia como laminillas de desmezclamiento en la magnetita, donde es de formación posterior. Ilmenita también aparece en granos aislados escasos.
pirita	<0,5	sin alteración.	ocurre como escasos granos diseminados entre 0,015-0,12 mm (localmente se observó un grano anhedral de 0,6 mm). Se presenta en granos aislados o en contacto con calcopirita. Las relaciones de contacto con esta última indican que la calcopirita es de depositación posterior en la secuencia paragenética.
calcopirita	<0,5	sin alteración.	se presenta en granos anhedrales diseminados de 0,005-0,3 mm; los tamaños mayores se encuentran en las vetillas de cuarzo/ anhidrita/ clorita.
rutilo	tr	mineral hidrotermal de origen secundario.	se lo observa como agregados de grano fino junto con hematita como producto de alteración de ilmenita. También ocurre como granos anhedrales semiopacos de color amarillo formados por alteración de ferromagnesianos que tienen Ti en su composición. Agregados fibrosos se observan junto con clorita en las vetillas.

Selección de microfotografías

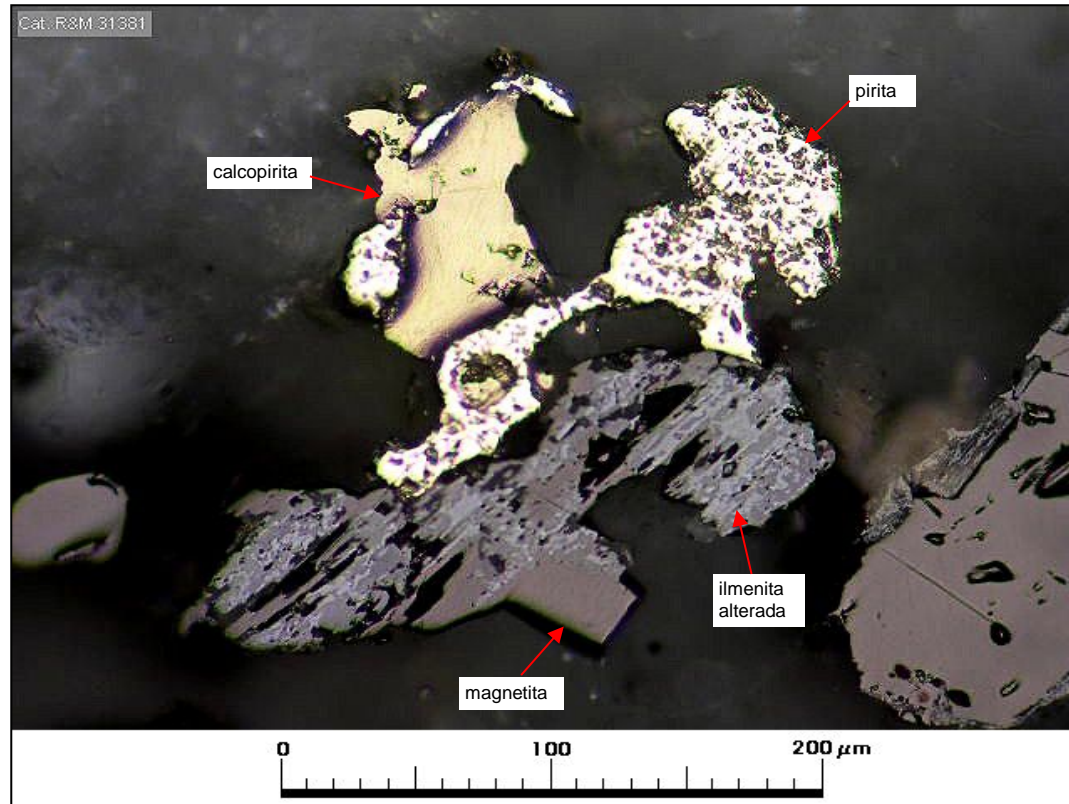


Muestra 160384: grano anhedral de magnetita con inclusiones de calcopirita y desmezclamientos laminares de ilmenita orientados cristalográficamente. Aum.: 32x10; Nic. paralelos.

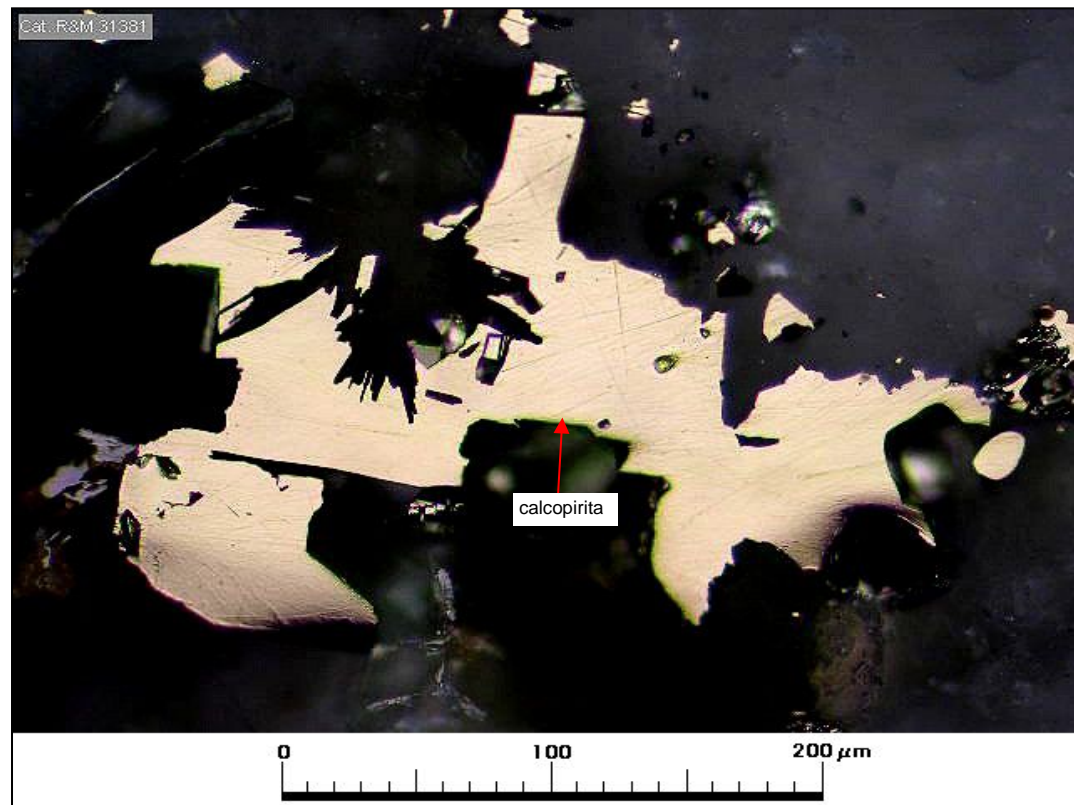


Muestra 160384: grano anhedral de magnetita mostrando estructuras de crecimiento zonal e inclusión de calcopirita. Aum.: 32x10; Nic. paralelos.

Microfotografías



Muestra 160384: asociación de magnetita/ ilmenita (alterada)/ pirita/ calcopirita. Aum.: 32x10; Nic. paralelos.



Muestra 160384: grano anedral de calcopirita en vetilla de cuarzo-anhidrite-clorita. Aum.: 32x10; Nic. paralelos.

Estudio por	Enrique Tidy F.	TIDY & Cía. Ltda.
Fecha	25-10-2011	<i>E. Tidy</i>



INFORME ESTUDIO MINERALES OPACOS

GE-S 027204

Nº Muestra	160383
Guía Nº	TCL20432 control interno

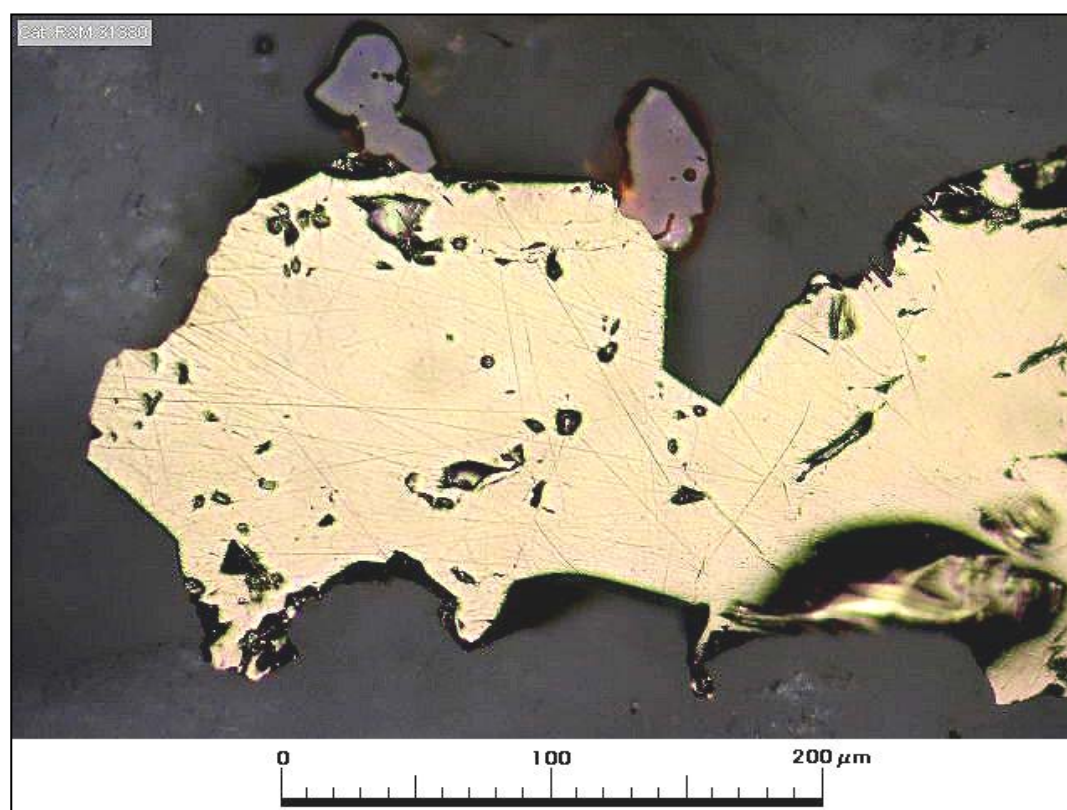
Procedencia	Coord. Norte	Coord. Este	Elevacion (m)
Proyecto Mocha.			

Solicitado por	Fecha
Geólogo Sr. Patricio Faúndez, Exploraciones Mineras Andinas S. A., Of. Calama.	02-09-2011

Observaciones megascópicas/ microscópicas

Pórfido dacítico de biotita de emplazamiento posiblemente hipabisal, color gris claro, formado por fenocristales abundantes de plagioclasa de hasta 3,8 mm, con reemplazo parcial a fuerte por sericita y calcita; fenocristales de cuarzo de hasta 2 mm y pseudomorfos de biotita de hasta 2 mm con reemplazo por clorita y sericita muscovítica. La masa fundamental es afanítica, formada por cristales subhedrales finos de plagioclasa y cuarzo con tamaño medio de 0,15 mm, con cristales finos de biotita con reemplazo por clorita y montmorillonita. Los minerales opacos corresponden a pirita y calcopirita abundantes diseminados y en parte como relleno de vetillas de cuarzo; asociada a las vetillas se observó trazas de molibdenita. La roca se encuentra cortada por delgadas vetillas de cuarzo y anhidrita.

Microfotografía (aspecto general)

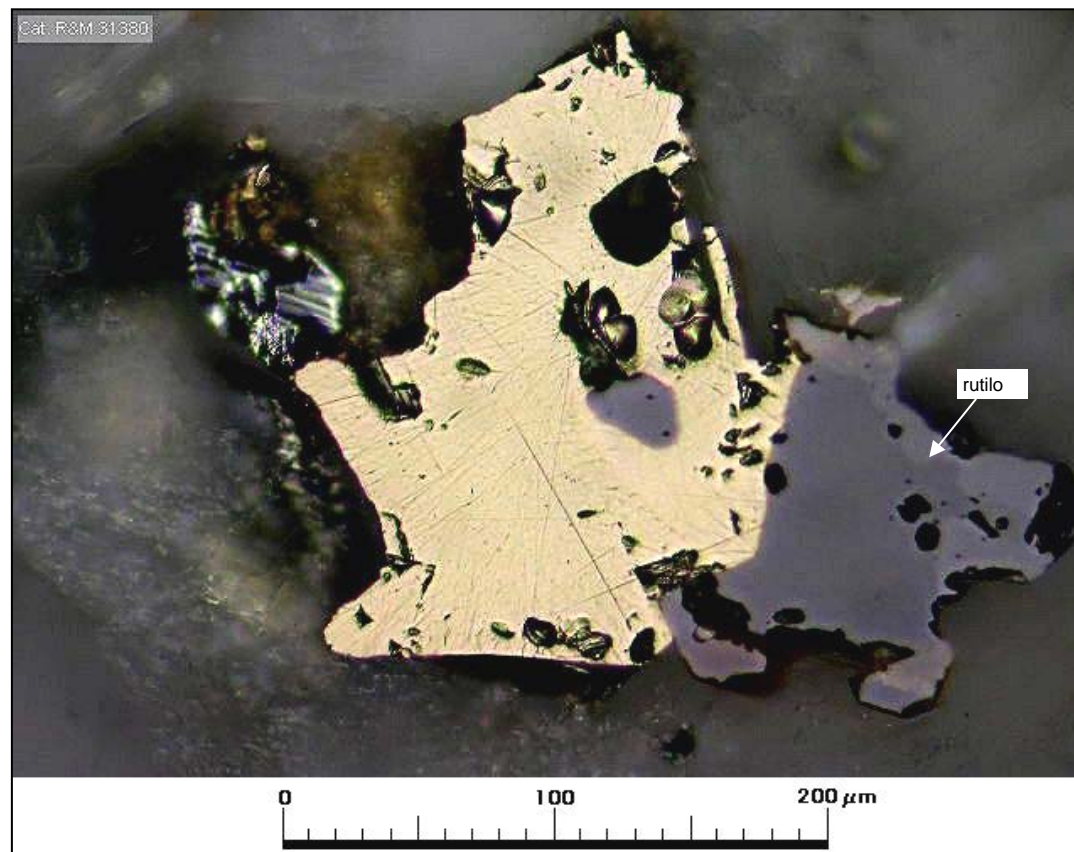


Muestra 160383: grano anhedral de calcopirita junto a dos pequeños granitos de rutilo de color café anaranjado. Aum.: 32x10; Nic. paralelos.

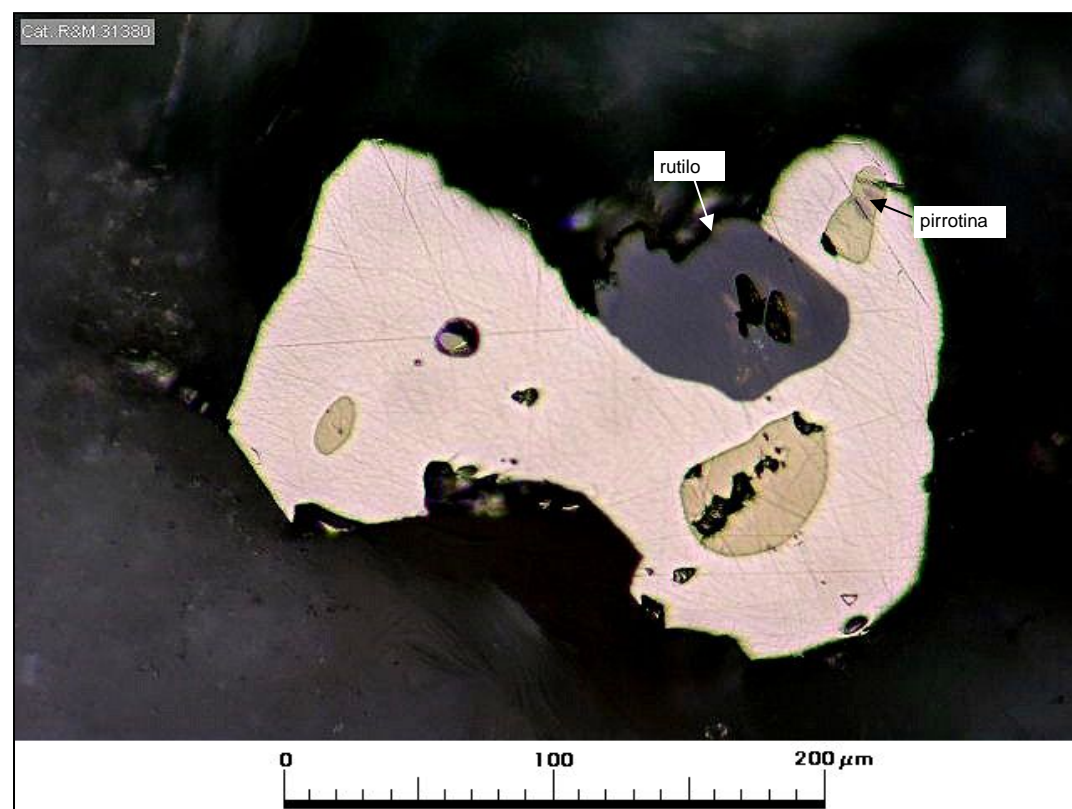
Observaciones microscópicas

Componentes minerales			
Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
pirita	1,5	sin alteración.	ocurre en granos anhedrales diseminados de 0,04-2 mm; algunos granos forman parte del relleno de vetillas de cuarzo. Contienen escasas inclusiones de calcopirita de 0,01-0,07 mm (algunas tipo blebs o pequeños cuerpos esféricos o elipsoidales junto con escasa pirrotina).
calcopirita	2	sin alteración.	granos anhedrales diseminados de 0,03-1,3 mm en contacto con pirita o rutilo. En ambos casos la calcopirita es de depositación posterior en la secuencia paragenética. Algunas inclusiones tipo blebs de calcopirita contienen trazas mackinawita, FeS.
molibdenita	tr	sin alteración.	pequeños granitos hojosos de 0,03-0,1 mm en vetillas de cuarzo.
rutilo	<1	formado a partir del Ti liberado de la alteración de máficos.	granos anhedrales/ subhedrales de 0,02-0,25 mm, algunos en contacto o como inclusiones en pirita y calcopirita.

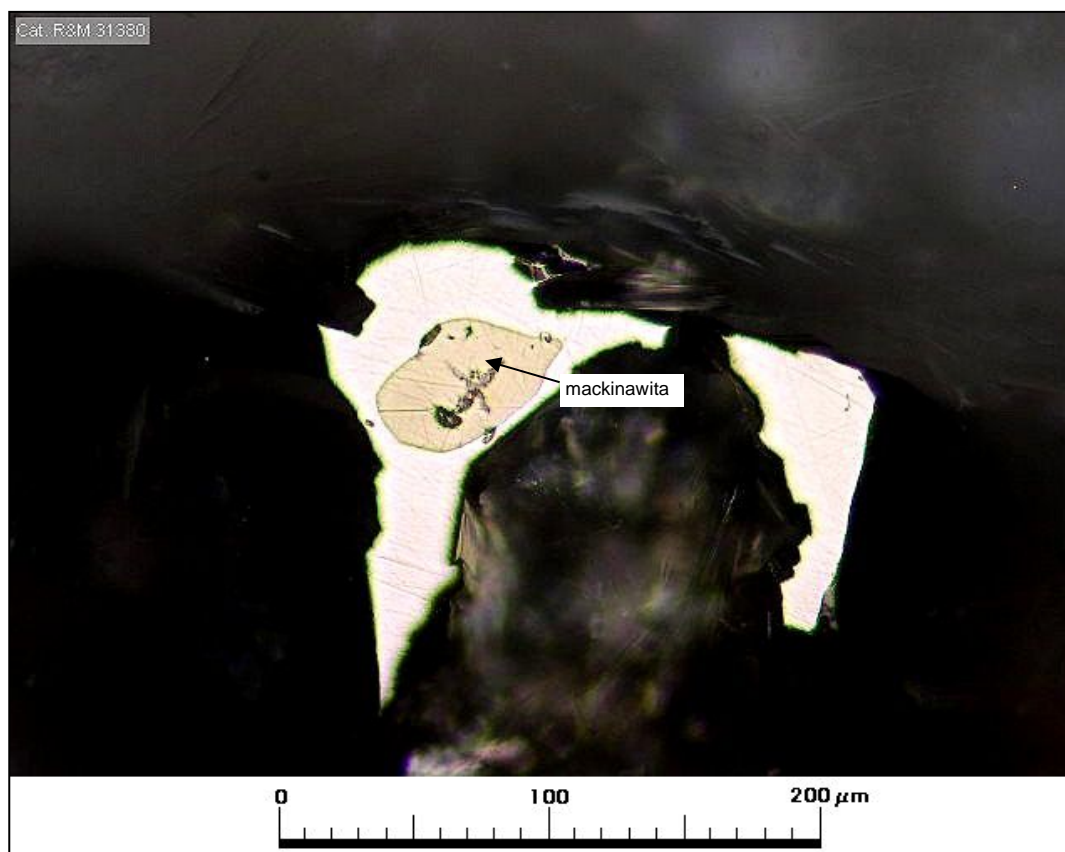
Selección de microfotografías



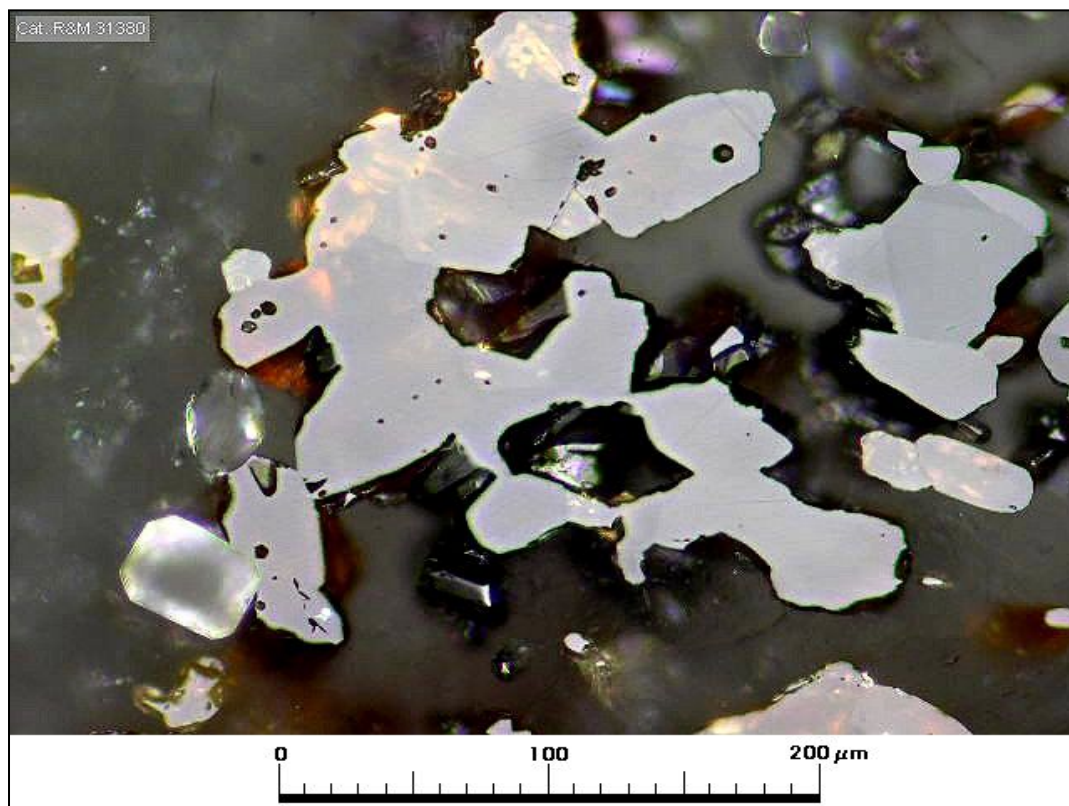
Muestra 160383: grano de rutilo en contacto con calcopirita; las relaciones de contacto indican que la calcopirita es de depositación posterior al rutilo en la secuencia paragenética. El rutilo se formó tempranamente en el proceso hidrotermal a partir del Ti liberado de minerales ferromagnesianos titaníferos. Aum.: 32x10; Nic. paralelos.



Muestra 160383: grano de pirita con inclusiones tipo blebs de calcopirita; un grano de calcopirita contiene trazas de pirrotina. Aum.: 32x10; Nic. paralelos.



Muestra 160383: inclusión tipo bleb (burbuja) de calcopirita en pirita; la calcopirita contiene trazas de mackinawita. Aum.: 32x10; Nic. paralelos.



Muestra 160383: agregado de cristalitas subhedral de rutilo. Aum.: 32x10; Nic. paralelos.

Estudio por	TIDY & Cía. Ltda.
Enrique Tidy F.	
Fecha	Firma
25-10-2011	



INFORME ESTUDIO PETROGRAFICO

GE-S 027204

Nº Muestra	160383
Guía Nº	TCL20432 control interno

Procedencia	Coord. Norte	Coord. Este	Elevacion (m)
Proyecto Mocha.			

Solicitado por	Fecha
Geólogo Sr. Patricio Faúndez, Exploraciones Mineras Andinas S. A., Of. Calama.	02-09-2011

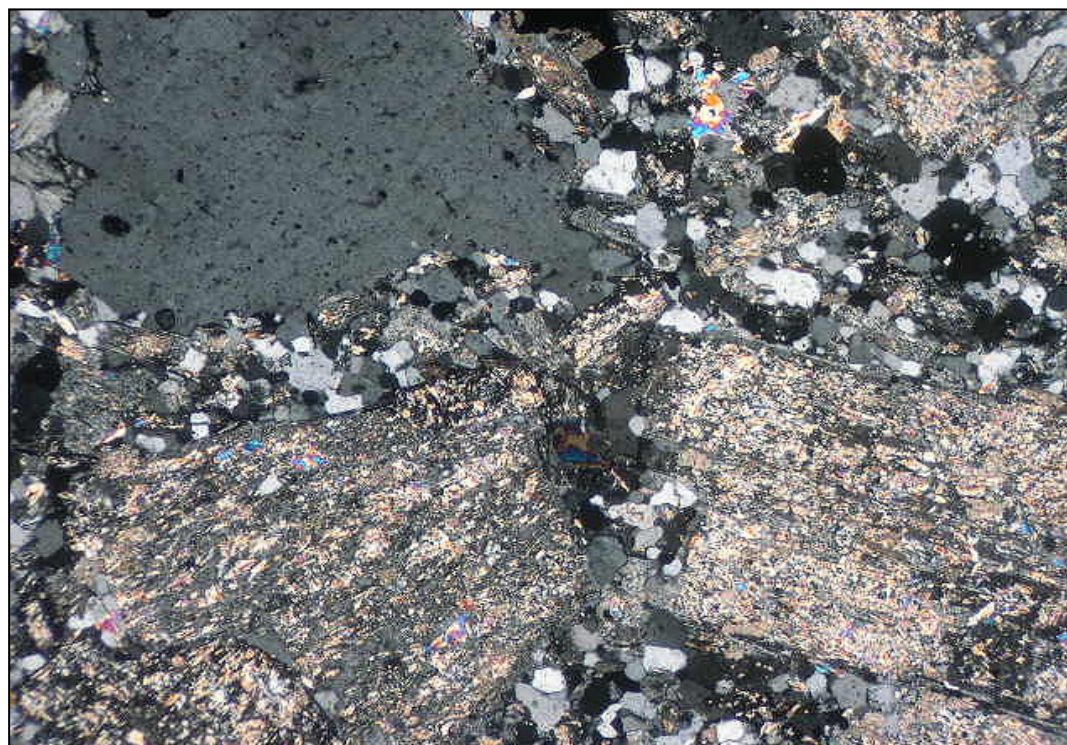
Clasificación petrográfica	Pórfido dacítico con pseudomorfos de biotita.
----------------------------	---

Textura	Fxx: % 40 Mf: % 60
Porfídica, con masa fundamental afanítica.	

Observaciones megascópicas/ microscópicas

Roca de textura porfídica, de emplazamiento posiblemente hipabisal, color gris claro, formada por fenocristales abundantes de plagioclasa de hasta 3,8 mm, con reemplazo parcial a fuerte por sericita y calcita; fenocristales de cuarzo de hasta 2 mm y pseudomorfos de biotita de hasta 2 mm con reemplazo por clorita y sericita muscovítica. La masa fundamental es afanítica, formada por cristales subhedrales finos de plagioclasa y cuarzo con tamaño medio de 0,15 mm, con cristales finos de biotita con reemplazo por clorita y montmorillonita. Los minerales opacos corresponden a cristales de pirita y/o calcopirita abundantes. La roca se encuentra cortada por delgadas vetillas de cuarzo y anhidrita.

Microfotografía (aspecto general)



Muestra 160383: aspecto de la muestra en que se observan fenocristales de plagioclasa con reemplazo parcial a fuerte por sericita y calcita y parte de fenocristal de cuarzo en masa fundamental afanítica. Aum.: 5X10; Nic. cruzados.

Estudio Microscópico

Fenocristales: %		40	
Mineral	%	Alteración	Características/Ocurrencia
plagioclasa	35	parcial a fuerte reemplazo por sericita y calcita	cristales subhedrales/ euhedrales de hasta 3,8 mm, de composición andesina (An ₃₂).
cuarzo	3	sin alteración	cristales subhedrales de hasta 2 mm.
biotita	2	intenso reemplazo por clorita y muscovita	cristales subhedrales de hasta 2 mm.

Masa fundamental: %		60	
Mineral	%	Alteración	Características/Ocurrencia
plagioclasa	31	parcial reemplazo por sericita y calcita	cristales subhedrales de 0,1 a 0,3 mm, con tamaño medio de 0,15 mm.
cuarzo	22	sin alteración	en forma intersticial entre cristales de plagioclasa y granos anhedrales con tamaño medio de 0,15 mm.
biotita	3	intenso reemplazo por clorita y sericita	cristales subhedrales finos de hasta 0,3 mm.
opacos	4		

Componentes accesorios

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
apatita	<1	cristales subhedrales de hasta 0,25 mm.
circón	tr	cristales subhedrales de hasta 0,12 mm.

Minerales Alteración (incluye minerales introducidos por hidrotermalismo y supérgenos).

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
sericita	25	como producto de alteración parcial a fuerte de cristales de plagioclasa. Localmente como sericita muscovítica reemplazando a biotita.
calcita	13	como reemplazo parcial de plagioclasa y localmente de biotita.
clorita	3	como reemplazo parcial a fuerte de cristales de biotita.
cuarzo	2	como parte de relleno de vetillas.
anhidrita	2	como parte de relleno de vetillas y escasamente diseminada en la roca.

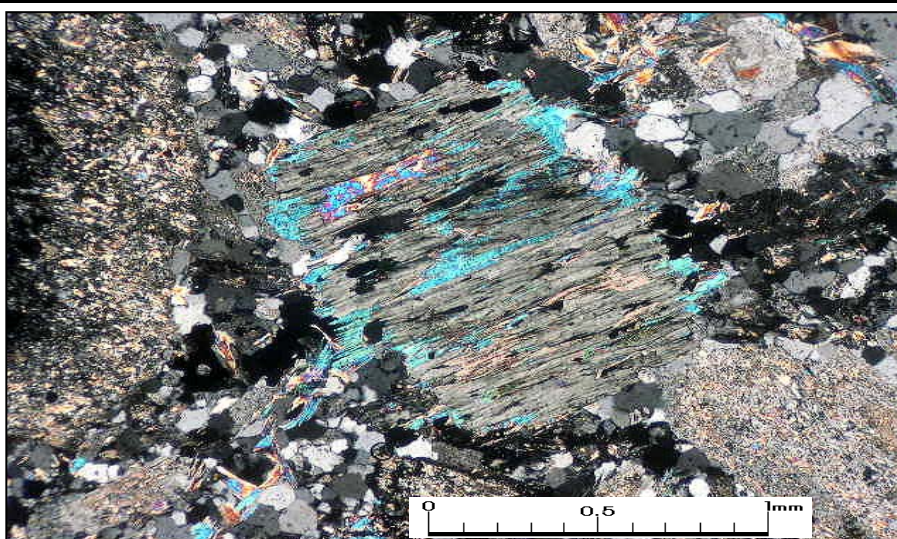
Minerales Opacos

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
sulfuros	4	cristales subhedrales de hasta 0,8 mm.
rutilo (semiopaco)	<1	cristales subhedrales de hasta 0,25 mm.

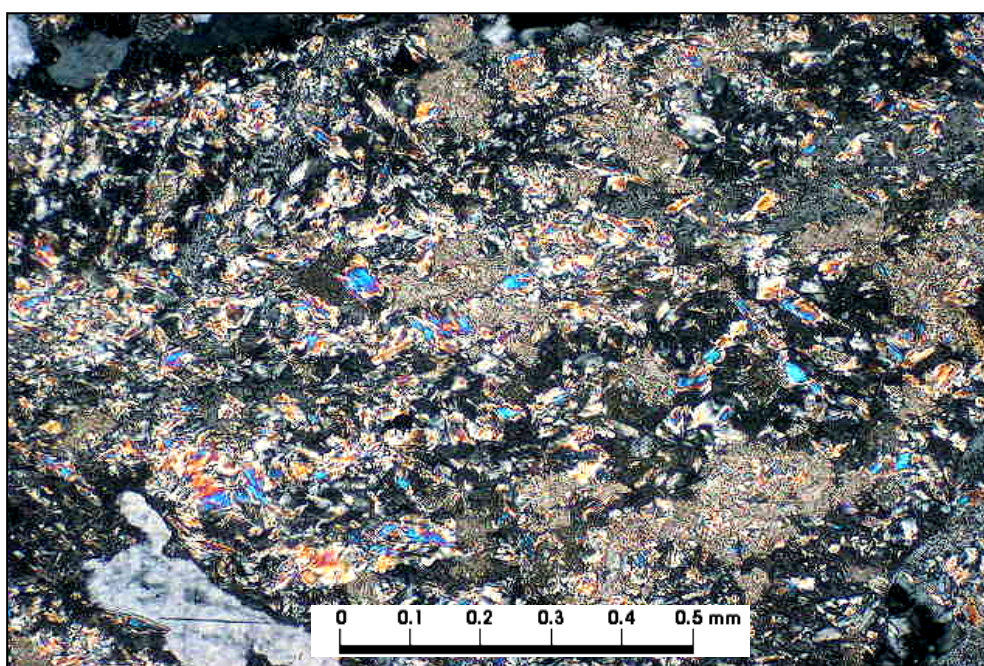
Estructuras

Vetillas / Agregados	Espesor/Tamaño	Características/Modo de ocurrencia
vetillas de cuarzo-anhidrita	<2,5 mm	con relleno de cuarzo granular, anhidrita de hasta 0,8 mm y localmente escasos granos de pirita y calcopirita. Corresponde a vetillas localmente muy delgadas y agregados lenticulares.

Selección de microfotografías

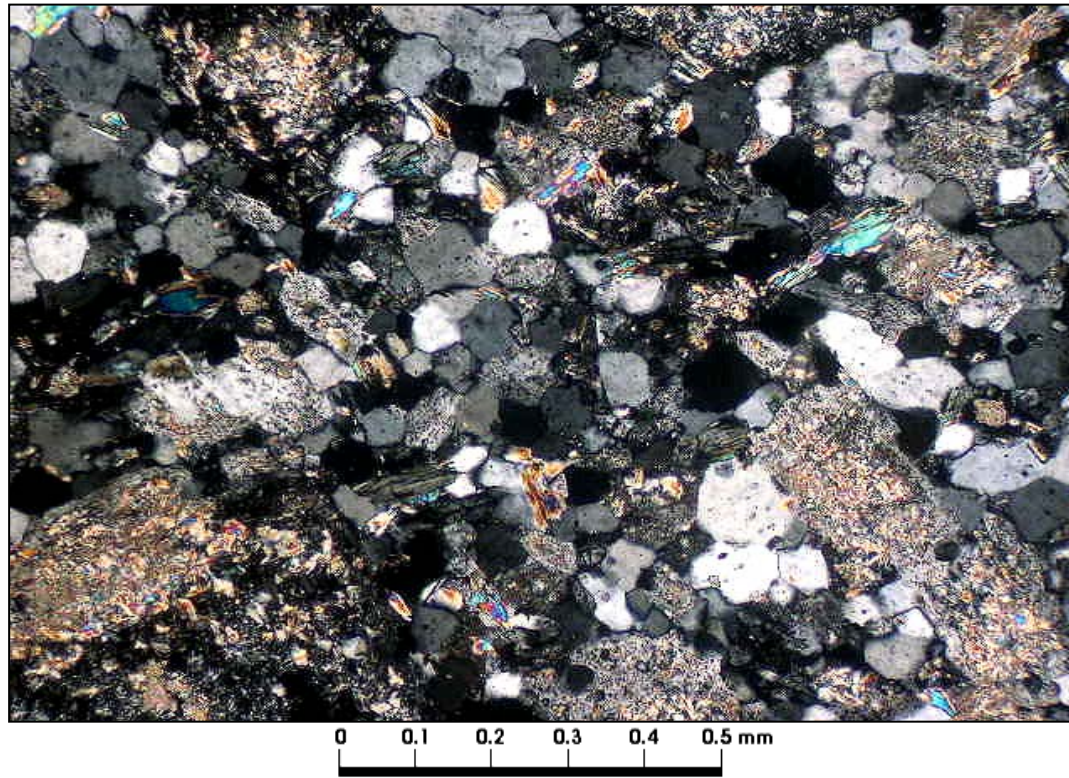


Muestra 160383: en la microfotografía se observa fenocristal de biotita con reemplazo intenso por clorita, sericita muscovítica y escasa calcita. Aum.: 5X10; Nic. cruzados.

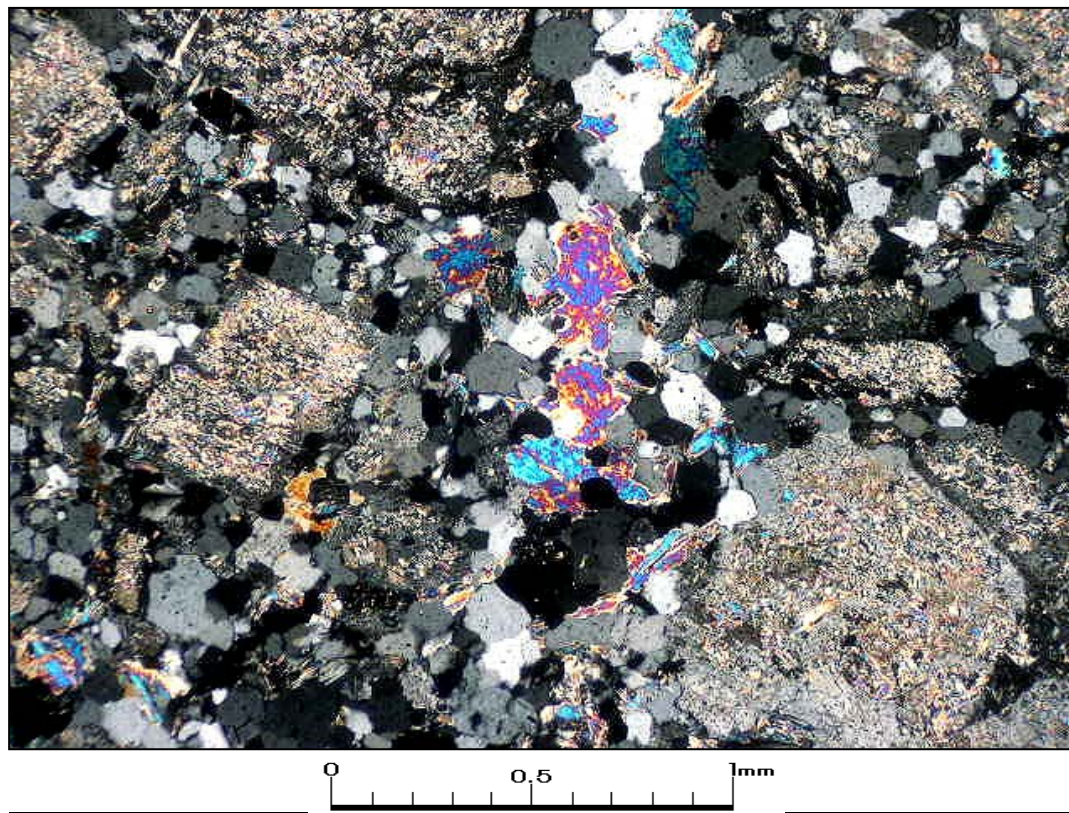


Muestra 160383: detalle de fenocristal de plagioclasa con reemplazo por sericita y calcita en forma parcial. Aum.: 10X10; Nic. cruzados.

Microfotografías



Muestra 160383: detalle de masa fundamental afanítica. Aum.: 10X10; Nic. cruzados.



Muestra 160383: en la microfotografía se observa vetilla delgada con relleno de cuarzo y anhidrita (NS). Aum.: 5X10; Nic. cruzados.

Estudio por	TIDY & Cía. Ltda.
Enrique Tidy/ Mauricio Ureta	
Fecha	Firma
26-10-2011	



INFORME ESTUDIO PETROGRAFICO

GE-S 027204

Nº Muestra	160384
Guía Nº	TCL20432 control interno

Procedencia	Coord. Norte	Coord. Este	Elevacion (m)
Proyecto Mocha.			

Solicitado por	Fecha
Geólogo Sr. Patricio Faúndez, Exploraciones Mineras Andinas S. A., Of. Calama.	02-09-2011

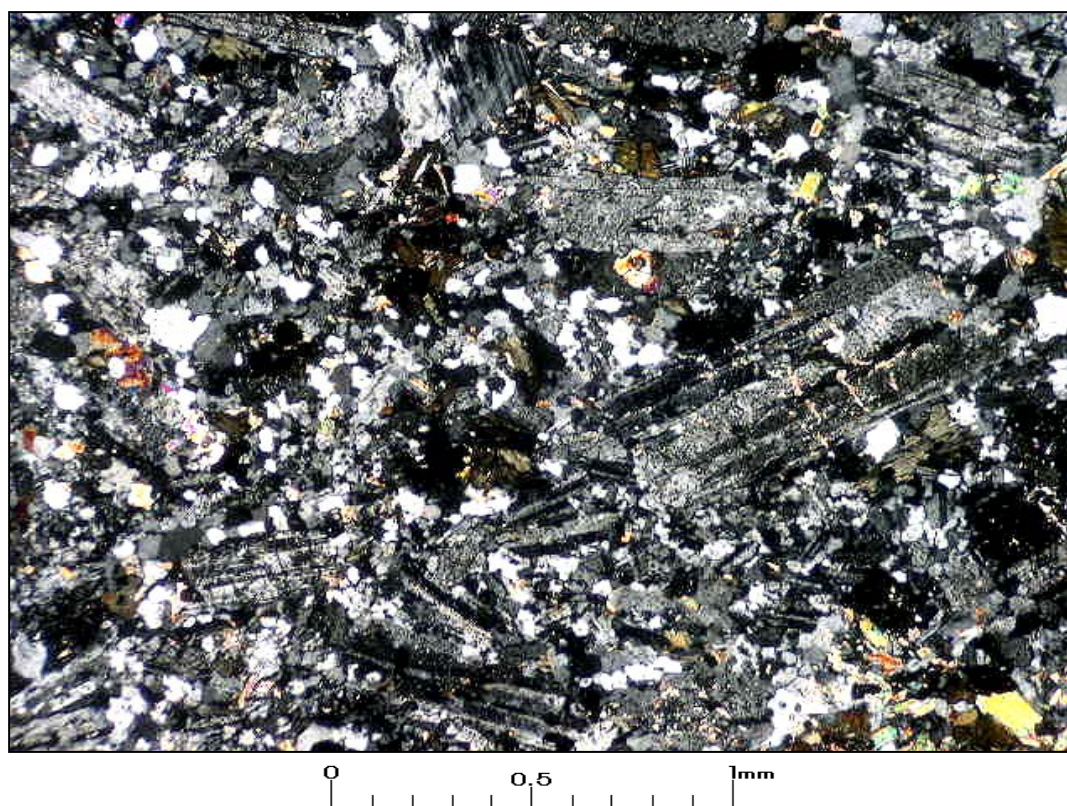
Clasificación petrográfica	Dacita de biotita.
----------------------------	--------------------

Textura	Fxx: % 35 Mf: % 65
Porfídica, con masa fundamental pilotaxítica.	

Observaciones megascópicas/ microscópicas

Roca de textura porfídica, color gris oscuro a intermedio, formada por fenocristales de plagioclasa de hasta 2,8 mm, con reemplazo local por albita en forma intensa; escasa sericitización; fenocristales de cuarzo de hasta 2 mm, policristalino y muy escasos fenocristales de biotita de hasta 1,5 mm, con reemplazo parcial a fuerte por biotita secundaria fina. La masa fundamental es pilotaxítica, formada por cristales de plagioclasa alargada con tamaño medio de 0,2 mm, localmente con parcial orientación, cuarzo granular fino en forma intersticial y cristales finos de biotita posiblemente en parte de origen secundario. Los minerales opacos corresponden a cristales de magnetita y escasos sulfuros dispersos en la roca y presentes como parte de relleno de vetillas junto con cuarzo, anhidrita y clorita.

Microfotografía (aspecto general)



Muestra 160384: aspecto de la muestra en que se observan fenocristales de plagioclasa en masa fundamental pilotaxítica. Aum.: 5X10; Nic. cruzados.

Estudio Microscópico

Fenocristales: %		35	
Mineral	%	Alteración	Características/Ocurrencia
plagioclasa	31	localmente con fuerte albitización; escaso desarrollo de sericita	cristales subhedrales/ euhedrales de hasta 2,8 mm, de composición andesina (An ₄₀).
cuarzo	3	parcial reabsorción y recristalización	cristales subhedrales de hasta 2 mm.
biotita	1	localmente reemplazo parcial a fuerte por biotita secundaria fina	cristales subhedrales de hasta 1,5 mm.

Masa fundamental: %		65	
Mineral	%	Alteración	Características/Ocurrencia
plagioclasa	39	localmente albitizada	cristales subhedrales alargados con tamaño medio de 0,2 mm, localmente con parcial a fuerte orientación.
cuarzo	17	sin alteración	en forma intersticial entre cristales finos de plagioclasa.
biotita	7	localmente reemplazo por clorita	cristales subhedrales finos de 0,05 a 0,2 mm, posiblemente en parte de origen secundario.
opacos	2		

Componentes accesorios

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
apatita	<1	cristales subhedrales de hasta 0,25 mm.

Minerales Alteración (incluye minerales introducidos por hidrotermalismo y supérgenos).

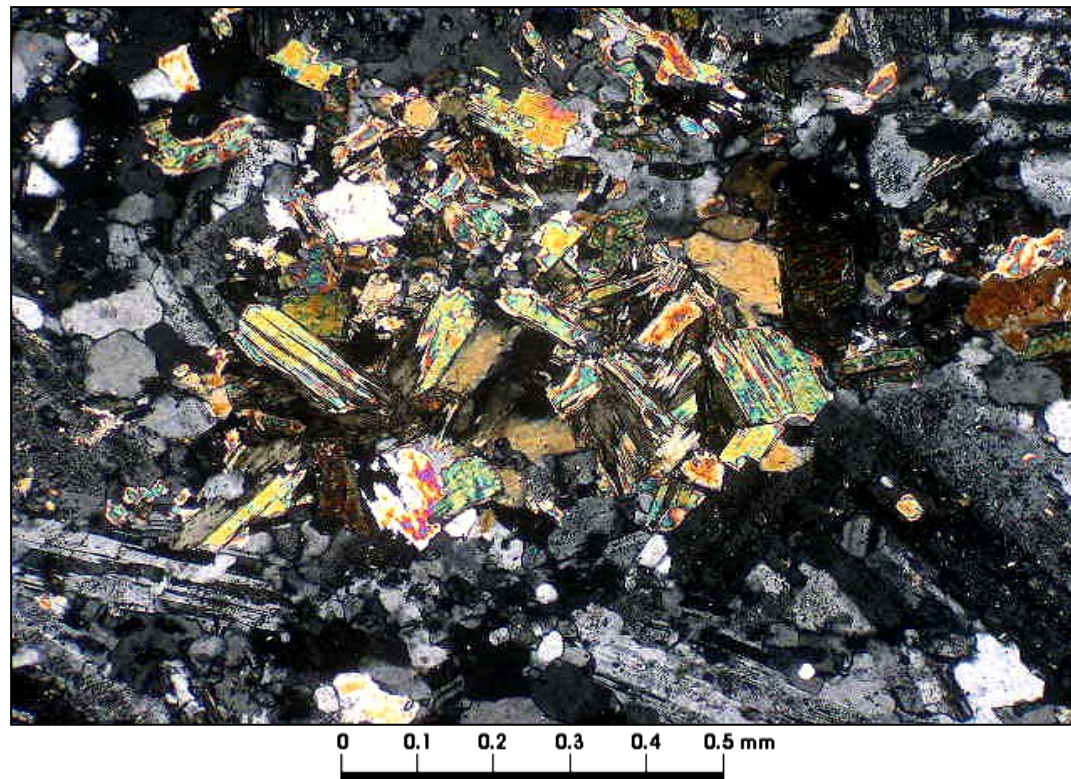
Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
albita	3	como reemplazo metasomático intenso de cristales de plagioclasa en forma local.
sericita	2	como producto de alteración de cristales de plagioclasa en forma débil.
clorita	3	como reemplazo parcial a fuerte de cristales de biotita en forma local.
biotita	<5	algunos de los cristales de biotita presente en la masa fundamental podrían ser de origen secundario.
cuarzo-anhidrita	6	como parte de relleno de vetillas.

Minerales Opacos

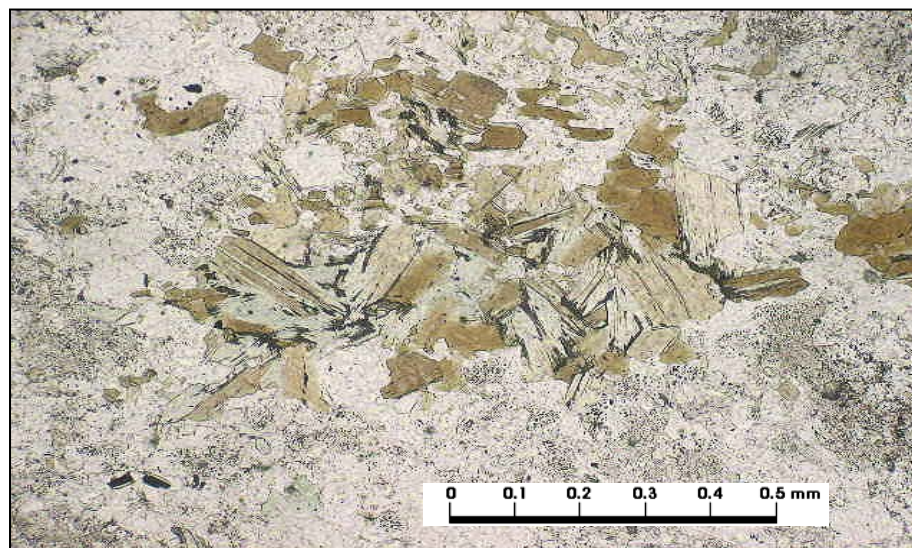
Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
magnetita	2	cristales subhedrales/ anhedral de hasta 0,5 mm, presente en vetillas y en parte de la roca.
sulfuros	<1	escasos cristales de pirita y/o calcopirita en parte de vetillas y escasamente diseminada en la roca.

Estructuras

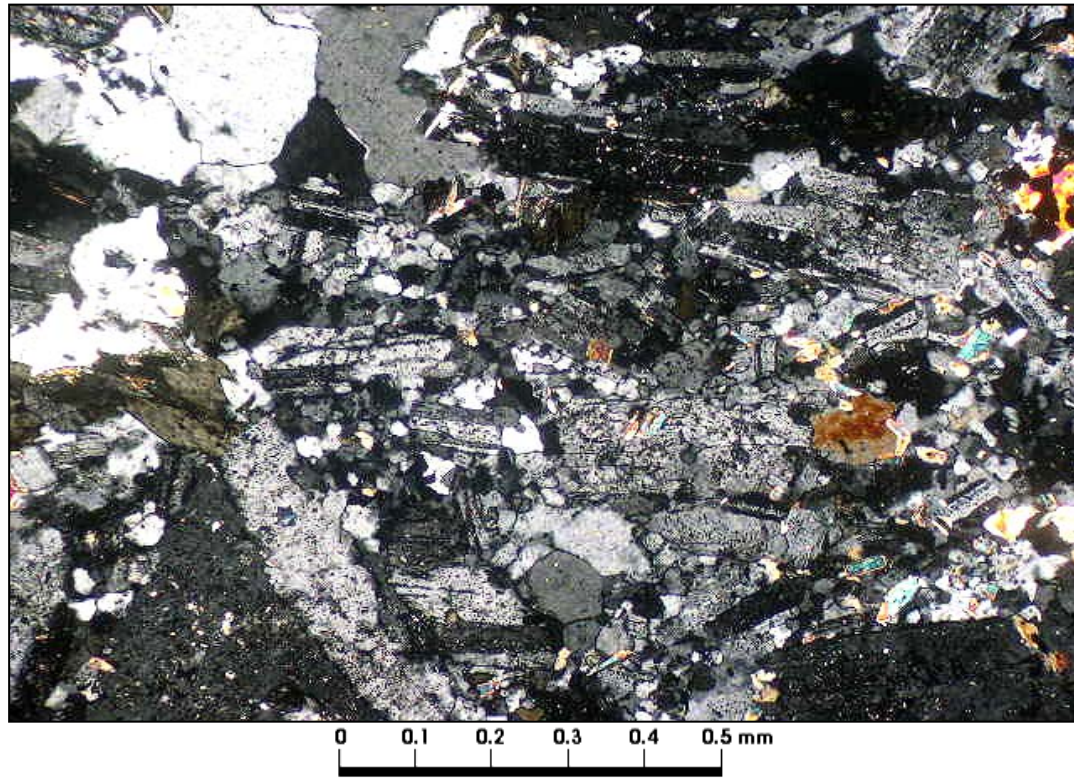
Vetillas / Agregados	Espesor/Tmño	Características/Modo de ocurrencia
vetillas de cuarzo, anhidrita con opacos y escasa clorita	<4 mm	corresponde a vetillas subparalelas, con desarrollo de escasa biotita secundaria fina en halos en forma local.

Selección de microfotografías

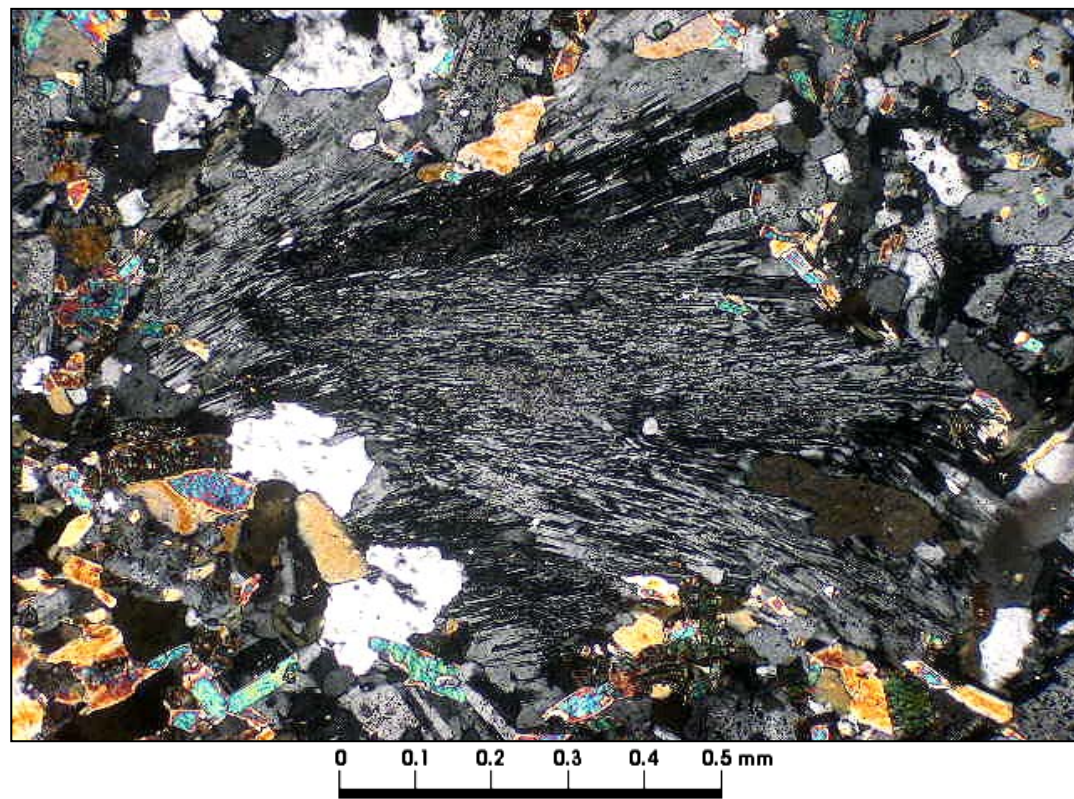
Muestra 160384: detalle en que se observa fenocristal de biotita con reemplazo por biotita secundaria fina y clorita. Aum.: 10X10; Nic. cruzados.



Muestra 160384: misma microfotografía anterior pero a nicoles paralelos. Se advierte en color verde claro, cristales de biotita cloritizada. Aum.: 10X10; Nic. paralelos.



Muestra 160384: detalle de masa fundamental pilotaxítica. Aum.: 10X10; Nic. cruzados.



Muestra 160384: detalle en que se observa cristal de plagioclasa con reemplazo intenso por albita. Aum.: 10X10; Nic. cruzados.

Estudio por	TIDY & Cía. Ltda.
Enrique Tidy/ Mauricio Ureta	
Fecha	Firma
26-10-2011	

ANEXO 3
Dataciones radiométricas U/Pb, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ y Re/Os



ANU COLLEGE OF PHYSICAL & MATHEMATICAL SCIENCES

RESEARCH SCHOOL OF EARTH SCIENCES
BUILDING 61

Senior Fellow, Manager *PRISE*
C.M Fanning

Canberra ACT 0200 Australia

T: +61 (0)2 6125 5507
F: +61 (0)2 6125 4835
E: Mark.Fanning@anu.edu.au

27 September 2011

**Exploraciones Mineras Andinas S.A.
CODELCO
Av. Apoquindo 4775, oficina 602/603
Las Condes
Santiago
Chile**

Attention : Mónica Vukasovic M.

Report 11-420

**SHRIMP U-Pb zircon age determination: Sample 160395.
Exploraciones Mineras Andinas S.A. - CODELCO**

C.M. Fanning
Senior Fellow
Manager *PRISE*

1. INTRODUCTION

This report formalises the SHRIMP U-Pb zircon data for sample 160359 received from Dr Mónica Vukasovic M., Exploraciones Mineras Andinas S.A. - CODELCO. An electronic version of the data (Excel workbook & labelled CL images) has been previously sent to Dr Vukasovic.

It is understood that the data and contents of this report are to remain the proprietary information of Exploraciones Mineras Andinas S.A. - CODELCO.

2. PROCEDURES

A sample of drill core was provided by Exploraciones Mineras Andinas S.A. - CODELCO. Zircons were separated using standard crushing, desliming, heavy liquid and paramagnetic methods. Hand selected zircon grains were placed onto double-sided tape, mounted in epoxy together with chips of the Temora reference zircon, sectioned approximately in half, and polished. Reflected and transmitted light photomicrographs were prepared for all zircons, as were cathodoluminescence (CL) Scanning Electron Microscope (SEM) images. These CL images were used to decipher the internal structure of the sectioned grains and to ensure that the ~20µm SHRIMP spot was wholly within a single age component.

The U-Th-Pb analyses were made using SHRIMP II at the Research School of Earth Sciences, The Australian National University, Canberra, Australia following procedures given in Williams (1998, and references therein). Each analysis consisted of 6 scans through the mass range, with the Temora reference zircon grains analysed for every three unknown analyses. The data have been reduced using the SQUID Excel Macro of Ludwig (2001). The Pb/U ratios have been normalised relative to a value of 0.0668 for the Temora reference zircon, equivalent to an age of 417 Ma (see Black et al., 2003). Uncertainty in the U-Pb calibration was 0.66% for the SHRIMP II session.

Uncertainties given for individual analyses (ratios and ages) are at the one σ level (Table 1). Tera and Wasserburg (1972) concordia plots, probability density plot with stacked histogram and weighted mean $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age calculations were carried out using ISOPLOT/EX (Ludwig, 2003), the latter reported with 95% confidence limits.

3. RESULTS

The SHRIMP U-Pb results are presented in Table 1, and Figures 1 to 6. Transmitted light photomicrographs of zircon grains analysed are shown in Plates 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 & 17, and the companion CL images as Plates 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 & 18.

3.1 Sample 160395 porphyritic dacite

The zircons from this sample are predominantly elongate euhedral grains with multi-faceted, bi-pyramidal terminations (see Plates 1-18). Some subequant grains are present, as are some more elongate, slender grains. The zircons are mostly simple and clear under transmitted light with few inclusions. The CL images reveal the true complexity of this zircon population (see Plates 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 & 18). Whilst the majority of zircons are oscillatory zoned from centre to rim, or sector zoned, many have older inherited central components with zoned outers and rims (grains 3, 5 & 15). The inherited components range from oscillatory zoned to more homogeneous, likely metamorphic zircon (grain 1).

For the current study, twenty six areas have been analysed on 22 zircon grains using SHRIMP II; Table 1 & Fig.1 to 6. The inherited core and zoned rim areas were analysed on grains 1, 3, 5 and 15 on the basis of a preliminary interpretation of the CL images.

A number of the areas analysed are notable for high to very high Th concentrations, ranging up to ~6,800 ppm; see Table 1 and data for analyses 1.1, 3.1, 5.1, 13.1, 15.1 & 17.1. Importantly, these are all analyses of oscillatory zoned rim areas. Whilst the Th is very high, the U is not and more in the range commonly seen in igneous zircon. The resultant Th/U ratios are therefore most unusual and some areas have $\text{Th/U} \geq 10.0$. Note also that all other areas analysed have moderate to low U and Th ppm, with Th/U ratios in the usual range for common igneous zircon (0.5 to 1.0, Table 1).

Another important feature of this zircon population is the presence of structured zircon grains, for example grains 1, 3, 5 and 15. There is clear evidence in the CL images of apparently older inherited cores overgrown by zoned igneous zircon. In some cases, there are examples of oscillatory zoned inner components separated from younger outer zoned components by a discontinuity.

Although the current analyses of the “inherited” cores is hardly a representative sampling of that inheritance, from the data at hand zircon cores range in age up to ~955 Ma (grains 1 & 5; Fig.1 & 3). Notable is the fact some of the interpreted cores analysed yield $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages (grains 3 & 15) that are within uncertainty of the rims with an interpreted latest Palaeocene magmatic age (see below; Table 1). The central area to grain 3 is discordant to the zoned rim but the $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age is within uncertainty of that for the zoned rim. This indicates that some of the complex internal structure formed during a single magmatic crystallisation event, presumably in response to changes in magma composition during that process.

Further in terms of the complex internal structure, surprisingly the analyses of the core and rim to the complexly structured grain 15 yield identical $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages (Table 1). Whereas the relatively simple oscillatory zoned, slender grain 16 yields an Ediacaran $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age of ~595 Ma (Table 1) with little evidence for any Palaeocene zircon growth.

Analyses of the inherited components was brief as the majority of the analyses were focussed on determining a magmatic crystallisation age for this porphyritic dacite rock. In this respect a concerted effort was made to date the zoned rims and outer areas. These areas yield dominantly Palaeocene $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages, apart from the oscillatory zoned rim to grain 5 which has a $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age of ~ 75 Ma (Table 1, Fig. 2 & 4). On a plot of the calibrated total ratios, uncorrected for common Pb the zoned igneous zircon analyses show variable enrichment in common Pb and do not plot within uncertainty of the Tera-Wasserburg concordia curve (Fig.2). There is significant dispersion on the Tera-Wasserburg plot and this is further highlighted on a probability density plot with stacked histogram of the radiogenic $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages (Fig.4 & 5). There is a dominant peak at about 56 Ma with an asymmetric tail on the younger age side. Whether this tail arises simply from radiogenic Pb loss, or not is difficult to determine. One mechanism to investigate the dispersion in U-Pb ages is to use the “mixture modelling” algorithm of Sambridge and Compston (1994) via ISOPLOT/EX. As shown on Fig. 5 the dispersion and irregular age distribution can be deconvolved, on a purely statistical basis, into three possible age groupings. There is a dominant group at about 56.5 Ma (64% of the analyses), with subordinate groupings at about 53 Ma and 59 Ma (Fig. 5). However, such a subdivision does not seem to have any basis in terms of observed features in the CL images. An alternative consideration is to interpret to younger dates to be a consequence of radiogenic Pb loss on the one hand, coupled with slight overlaps with the clearly evident older zircon components on the other hand. It is thus possible to calculate for 16 of the 26 areas analysed a weighted mean $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age of 56.1 ± 0.6 Ma (MSWD = 1.05; Fig.6).

In summary, the zircons from sample 160395 show predominantly a simple zoned igneous internal structure, but also contain variable inherited older components. The zoned igneous components give rise to a dispersed Palaeocene age distribution. However, from the current data set an age of 56.1 ± 0.6 Ma for 16 of 26 areas analysed provides a reasonable estimate for the time of zoned igneous zircon crystallisation in the porphyritic dacite sample.

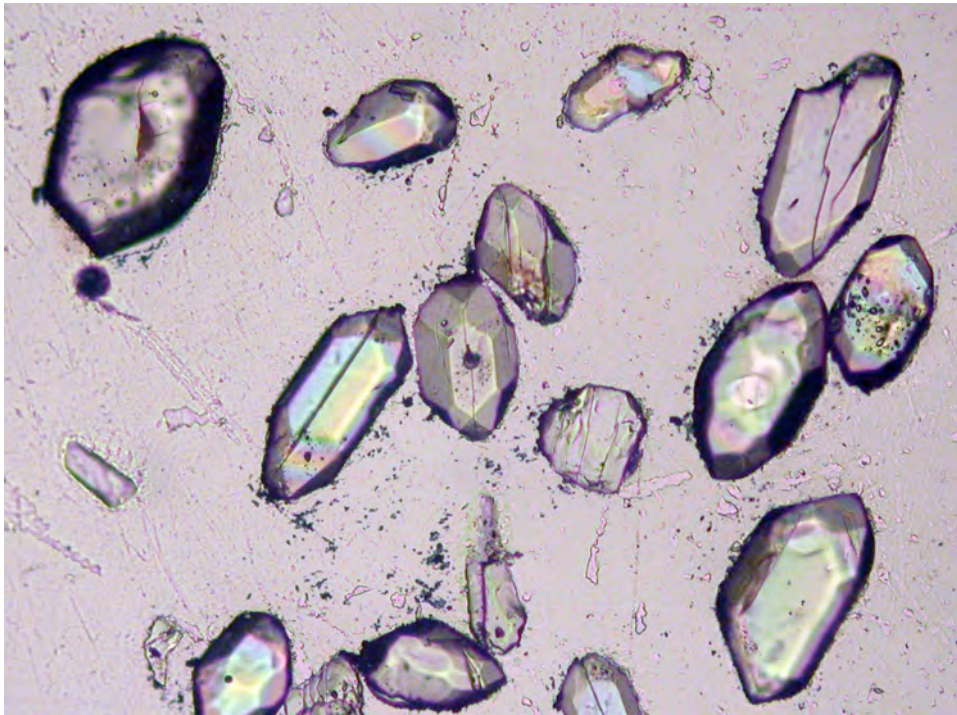


Plate 1. Transmitted light photomicrograph of sectioned zircon grains from sample 160395. The field of view is similar to the CL image shown as Plate 2 below.

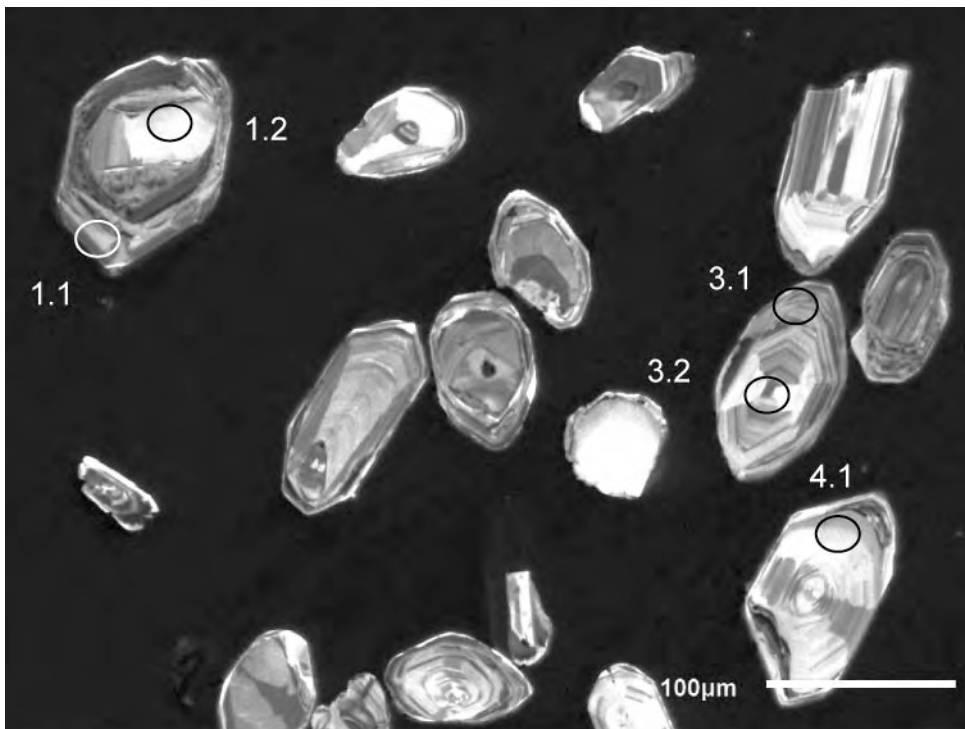


Plate 2. CL image of sectioned zircon grains from sample 160395. Locations of SHRIMP analyses are shown, labelled as per Table 1.

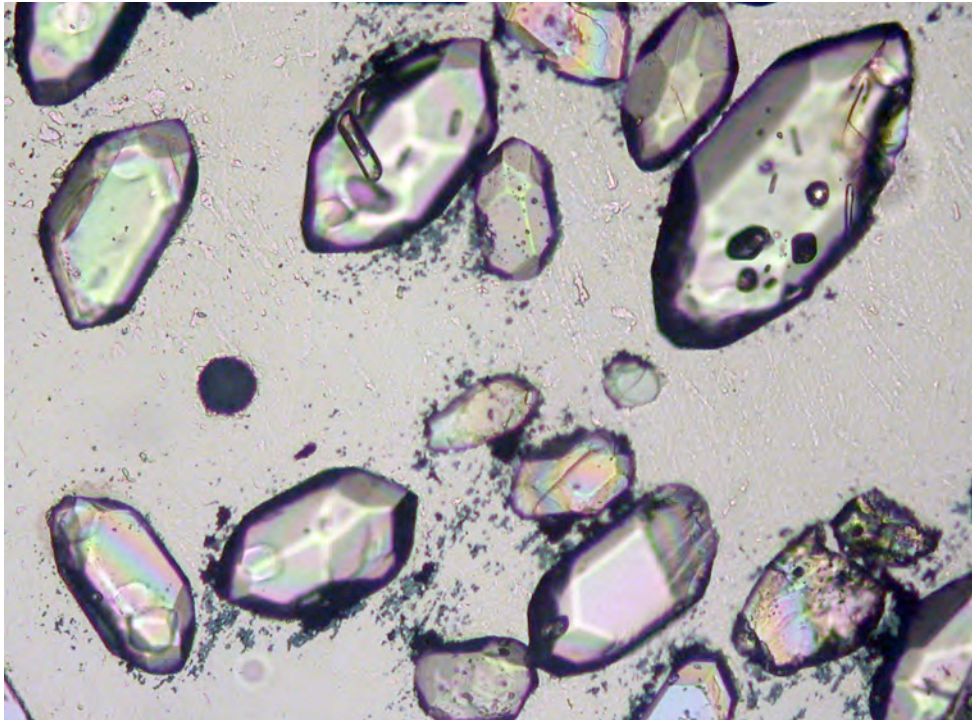


Plate 3. Transmitted light photomicrograph of sectioned zircon grains from sample 160395. The field of view is similar to the CL image shown as Plate 4 below.

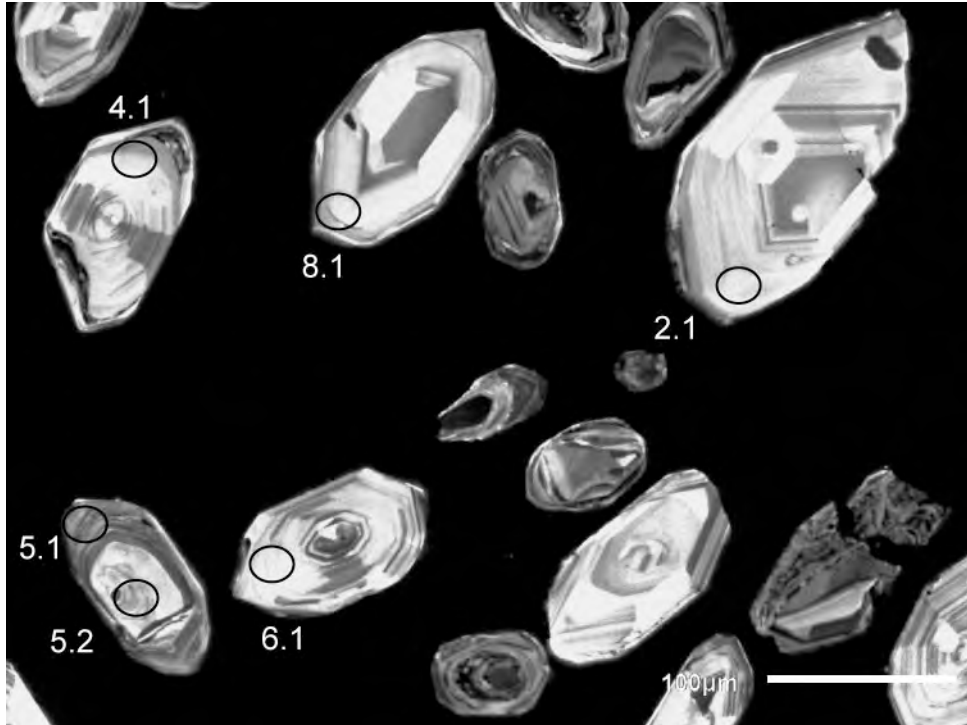


Plate 4. CL image of sectioned zircon grains from sample 160395. Locations of SHRIMP analyses are shown, labelled as per Table 1.

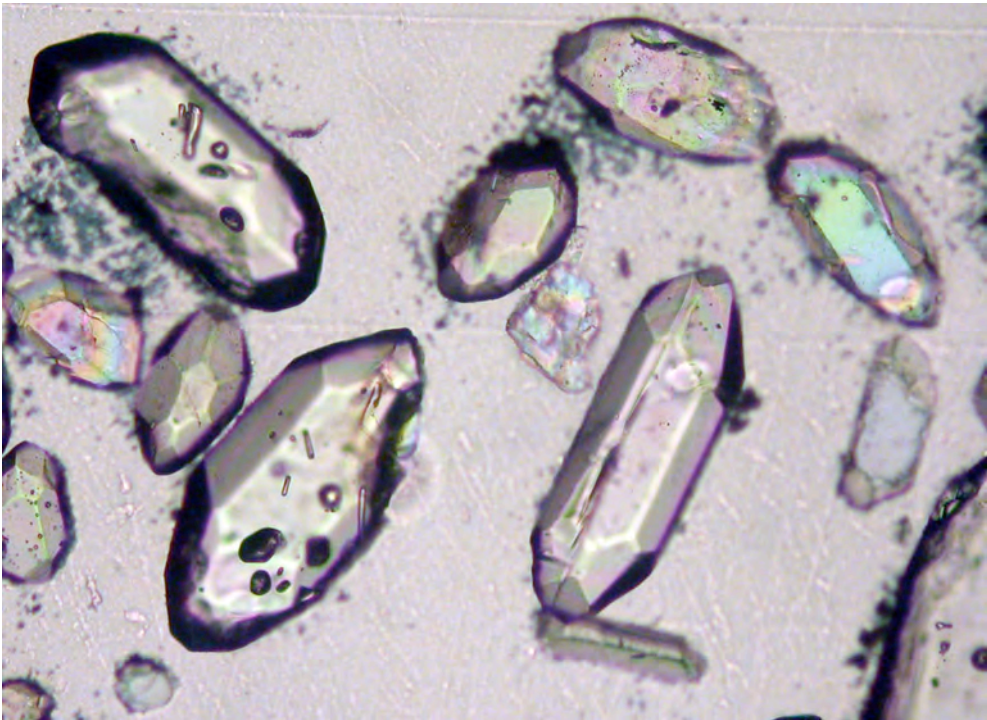


Plate 5. Transmitted light photomicrograph of sectioned zircon grains from sample 160395. The field of view is similar to the CL image shown as Plate 6 below.

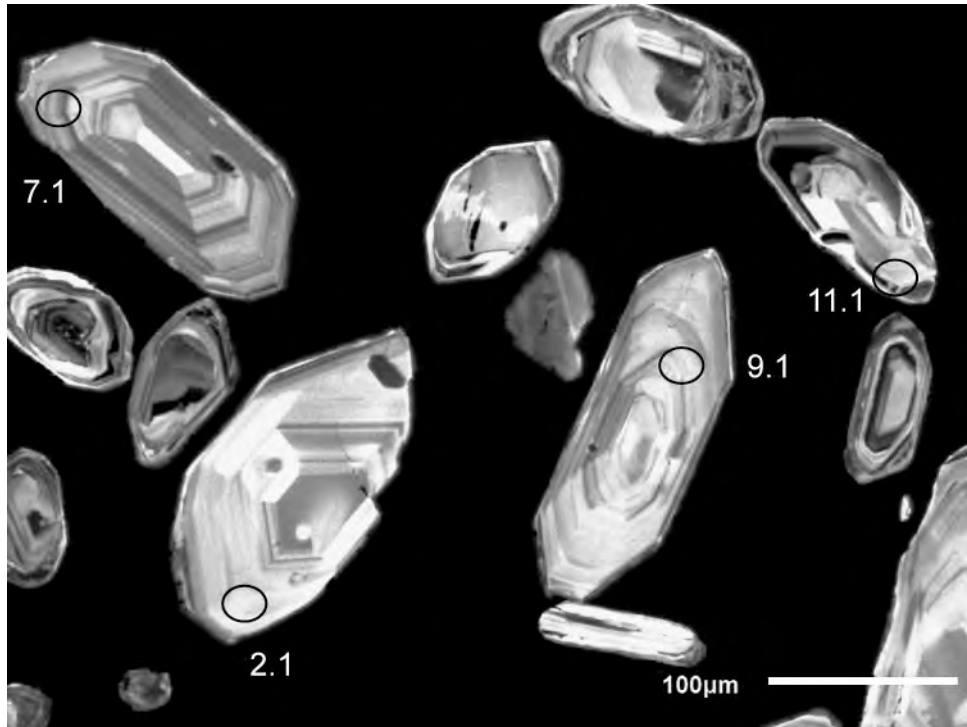


Plate 6. CL image of sectioned zircon grains from sample 160395. Locations of SHRIMP analyses are shown, labelled as per Table 1.

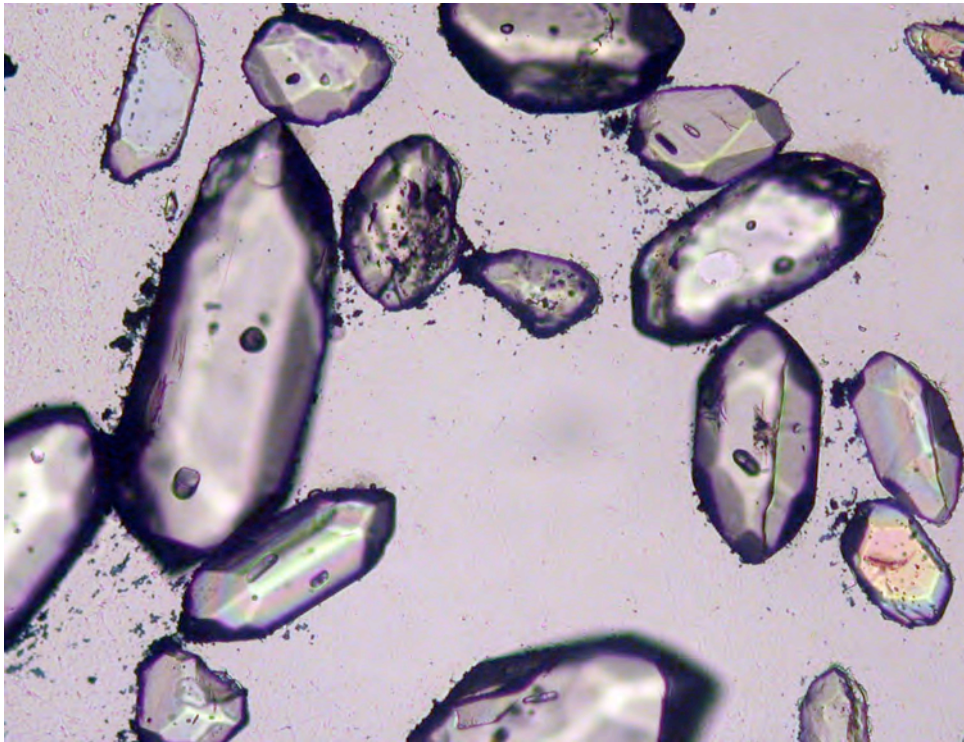


Plate 7. Transmitted light photomicrograph of sectioned zircon grains from sample 160395. The field of view is similar to the CL image shown as Plate 8 below.

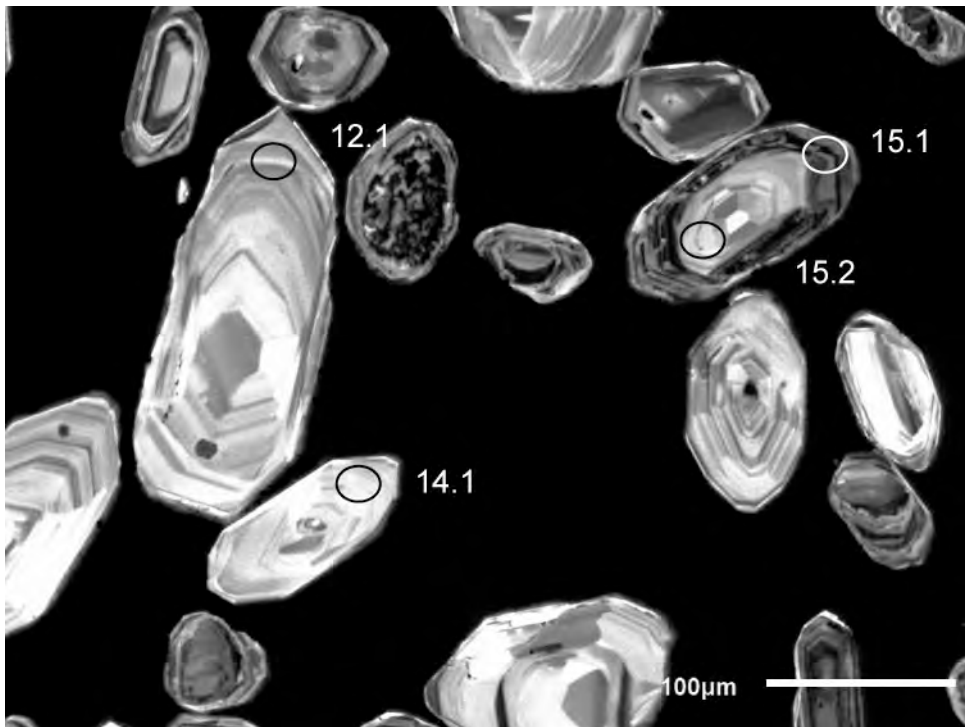


Plate 8. CL image of sectioned zircon grains from sample 160395. Locations of SHRIMP analyses are shown, labelled as per Table 1.

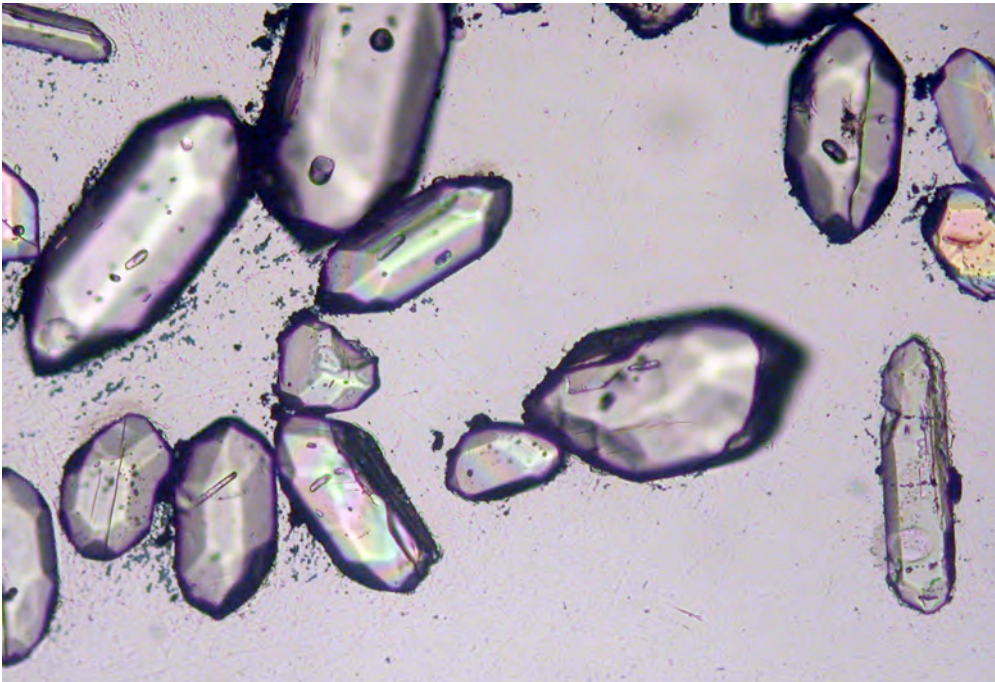


Plate 9. Transmitted light photomicrograph of sectioned zircon grains from sample 160395. The field of view is similar to the CL image shown as Plate 10 below.

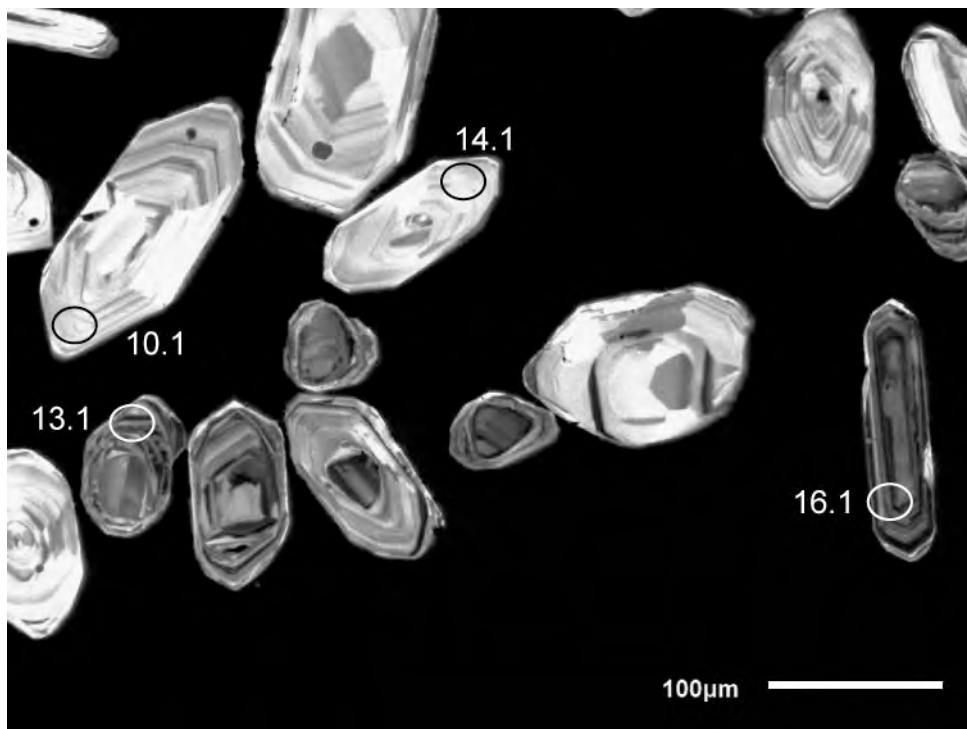


Plate 10. CL image of sectioned zircon grains from sample 160395. Locations of SHRIMP analyses are shown, labelled as per Table 1.

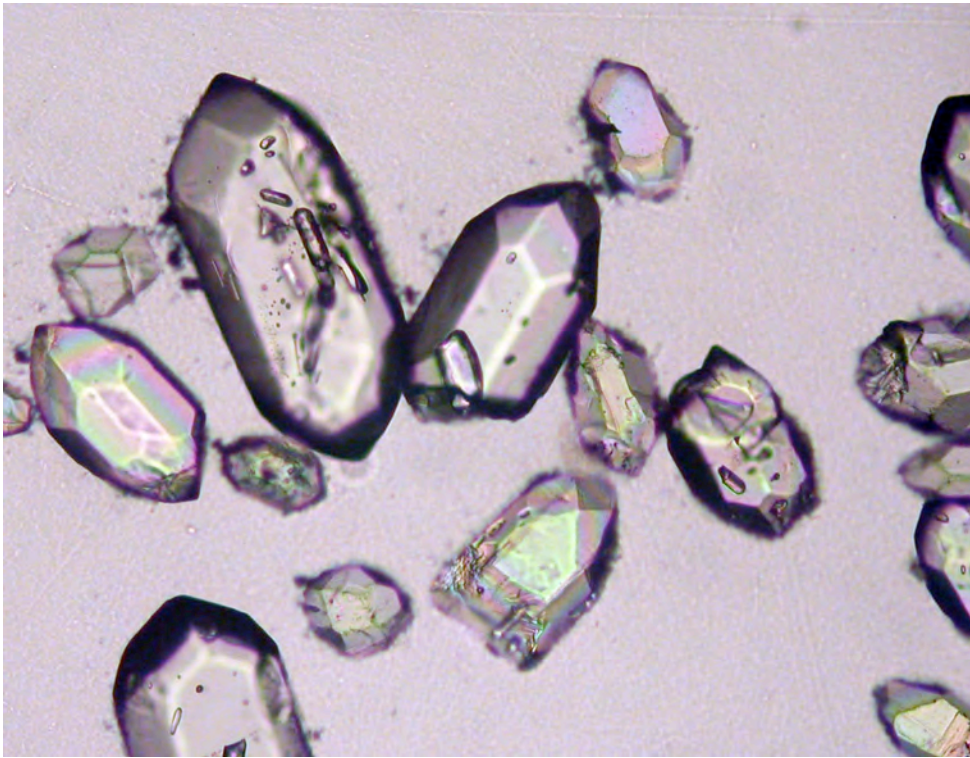


Plate 11. Transmitted light photomicrograph of sectioned zircon grains from sample 160395. The field of view is similar to the CL image shown as Plate 12 below.

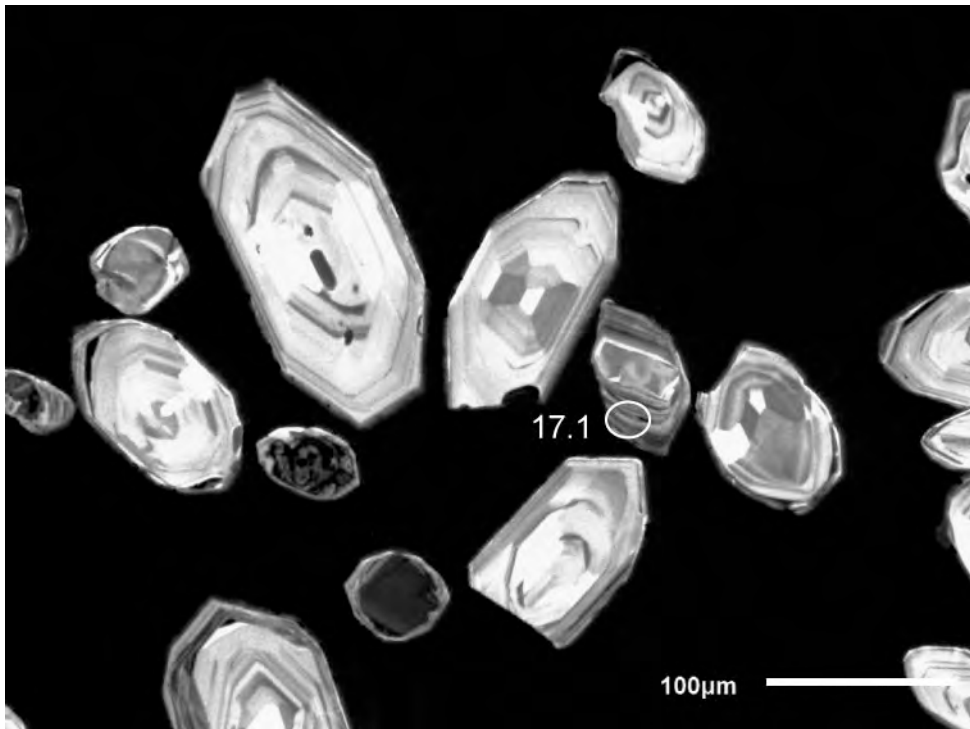


Plate 12. CL image of sectioned zircon grains from sample 160395. Locations of SHRIMP analyses are shown, labelled as per Table 1.

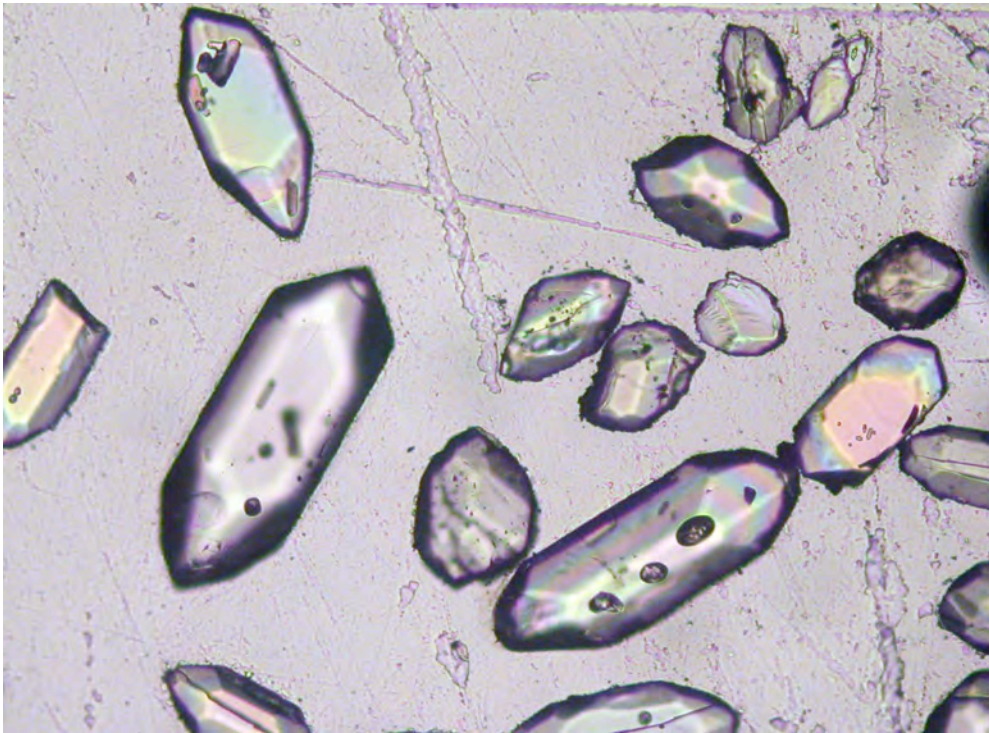


Plate 13. Transmitted light photomicrograph of sectioned zircon grains from sample 160395. The field of view is similar to the CL image shown as Plate 14 below.

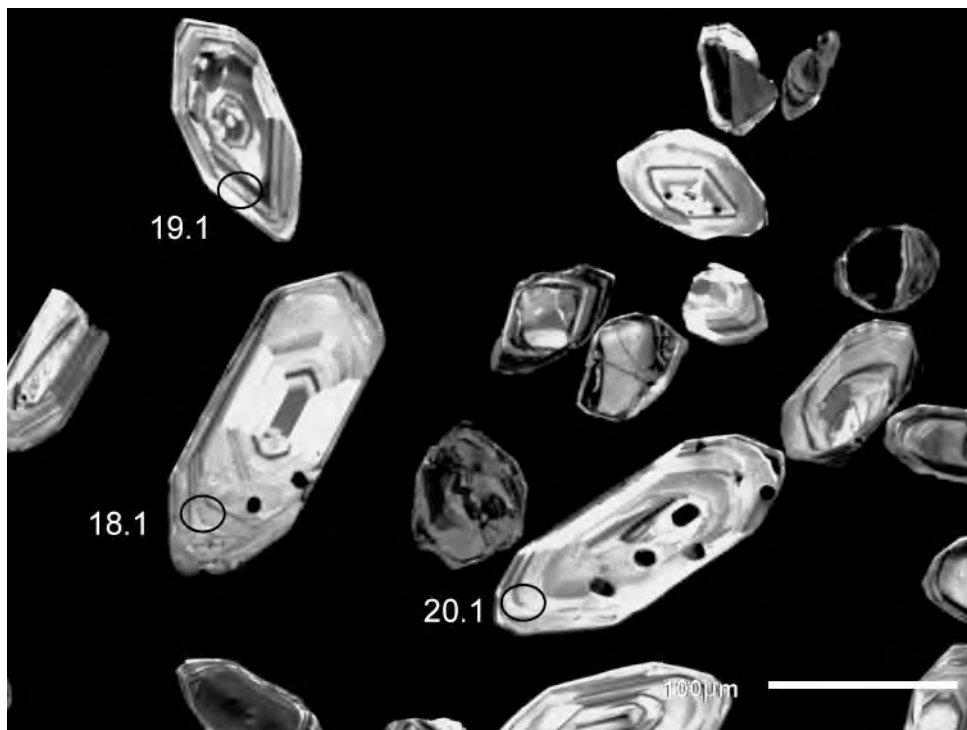


Plate 14. CL image of sectioned zircon grains from sample 160395. Locations of SHRIMP analyses are shown, labelled as per Table 1.

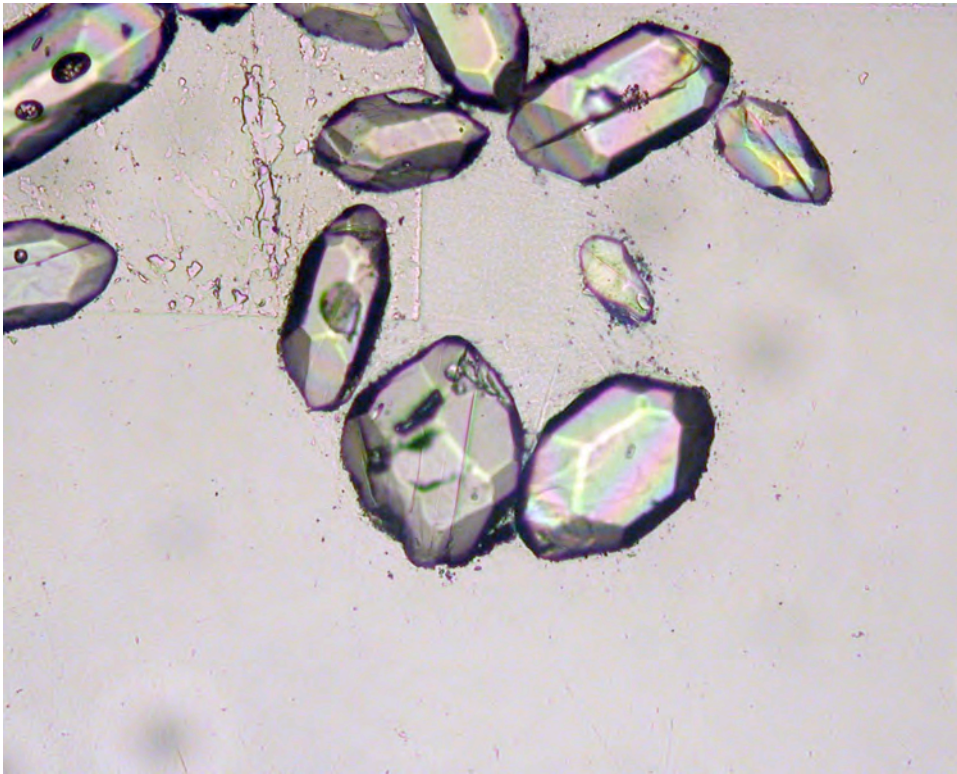


Plate 15. Transmitted light photomicrograph of sectioned zircon grains from sample 160395. The field of view is similar to the CL image shown as Plate 16 below.

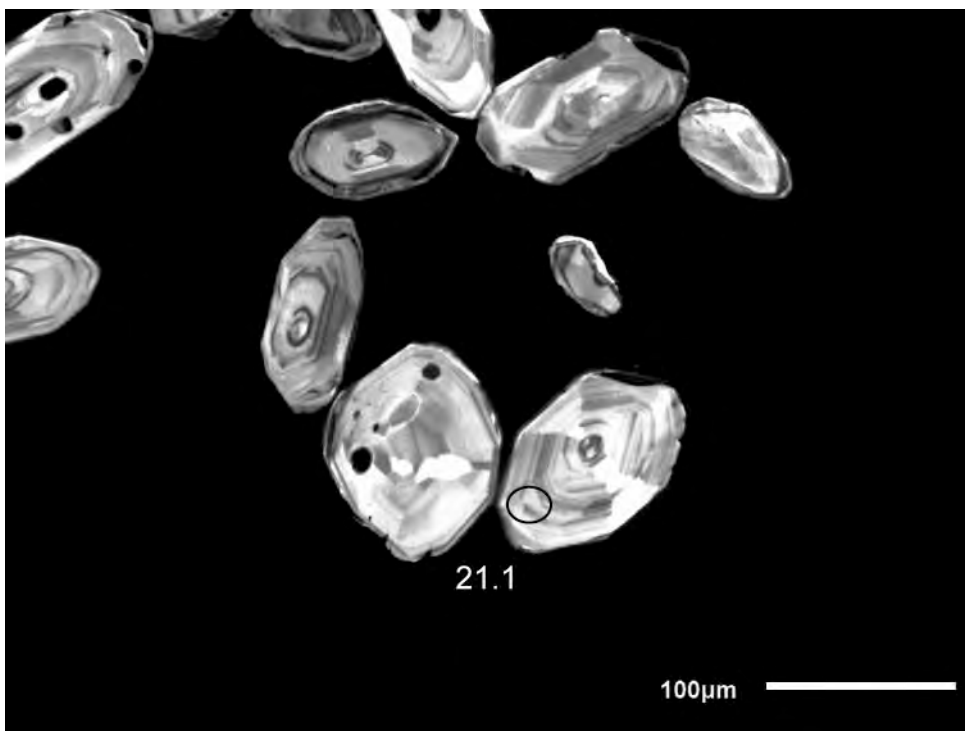


Plate 16. CL image of sectioned zircon grains from sample 160395. Locations of SHRIMP analyses are shown, labelled as per Table 1.

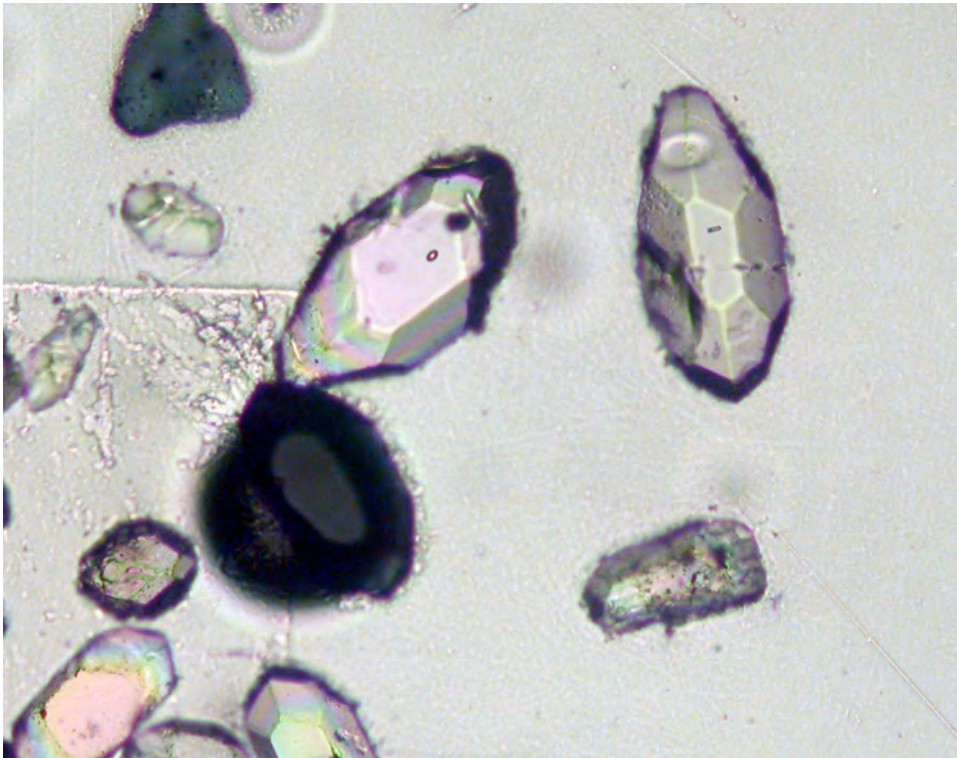


Plate 17. Transmitted light photomicrograph of sectioned zircon grains from sample 160395. The field of view is similar to the CL image shown as Plate 18 below.

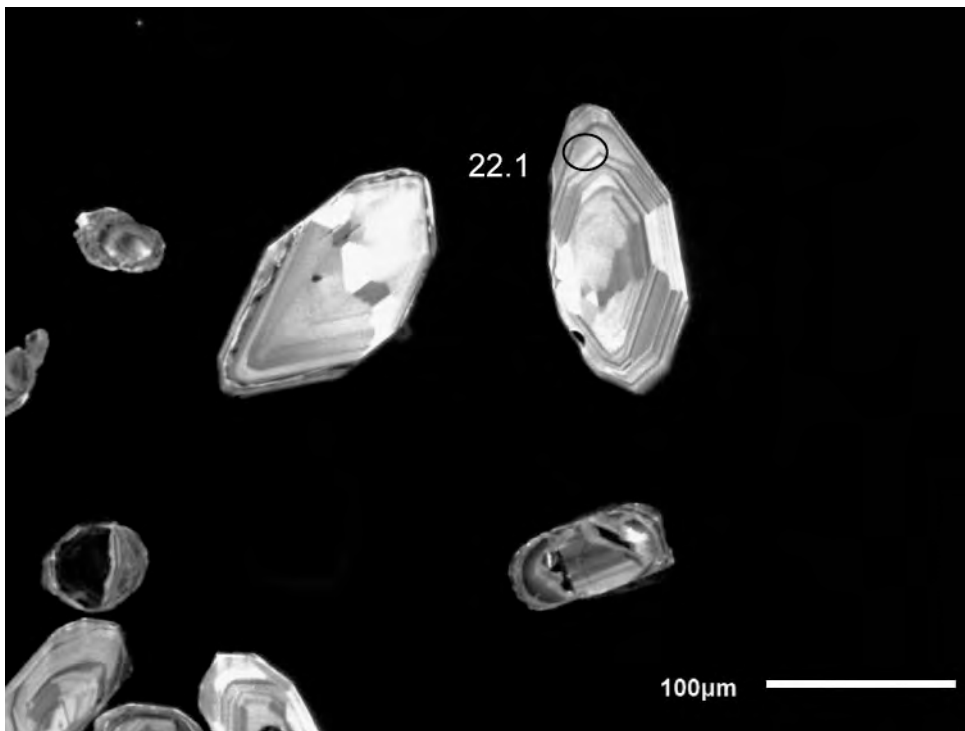


Plate 18. CL image of sectioned zircon grains from sample 160395. Locations of SHRIMP analyses are shown, labelled as per Table 1.

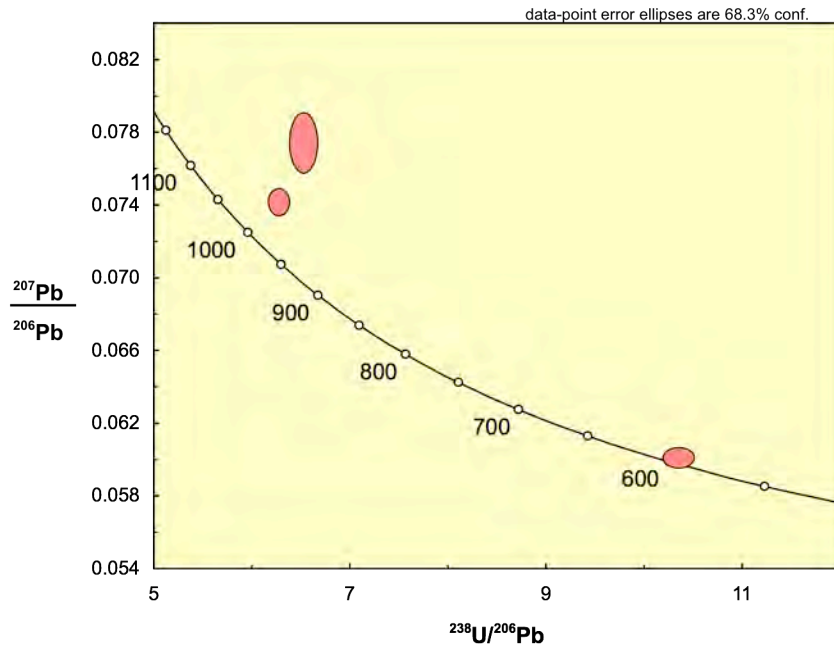


Figure 1. Tera & Wasserburg concordia plot of the older SHRIMP U-Pb zircon analyses for sample 160395. Analyses plotted as one σ error ellipses.

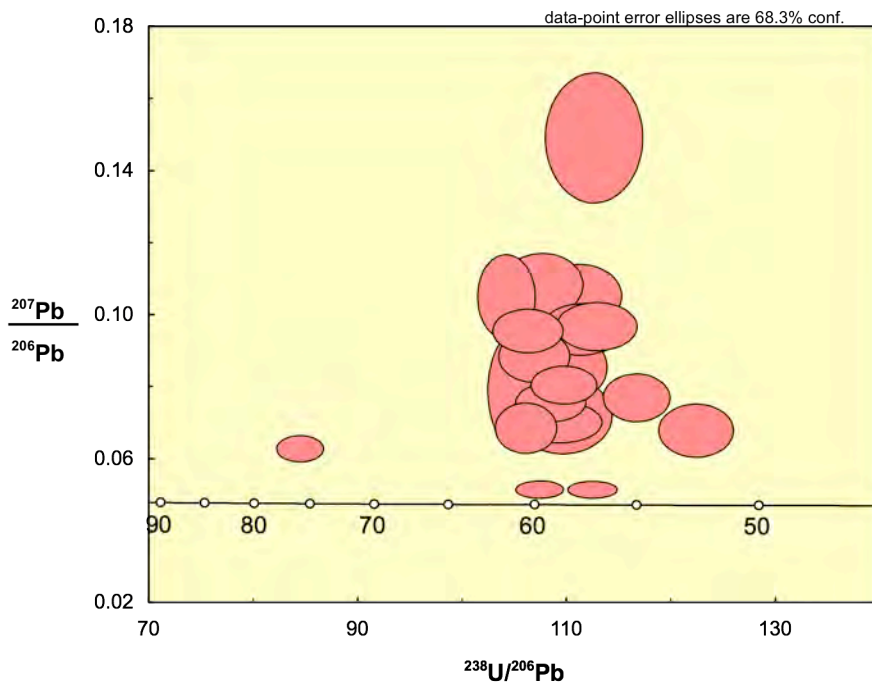


Figure 2. Tera & Wasserburg concordia plot of the younger SHRIMP U-Pb zircon analyses for sample 160395. Analyses plotted as one σ error ellipses.

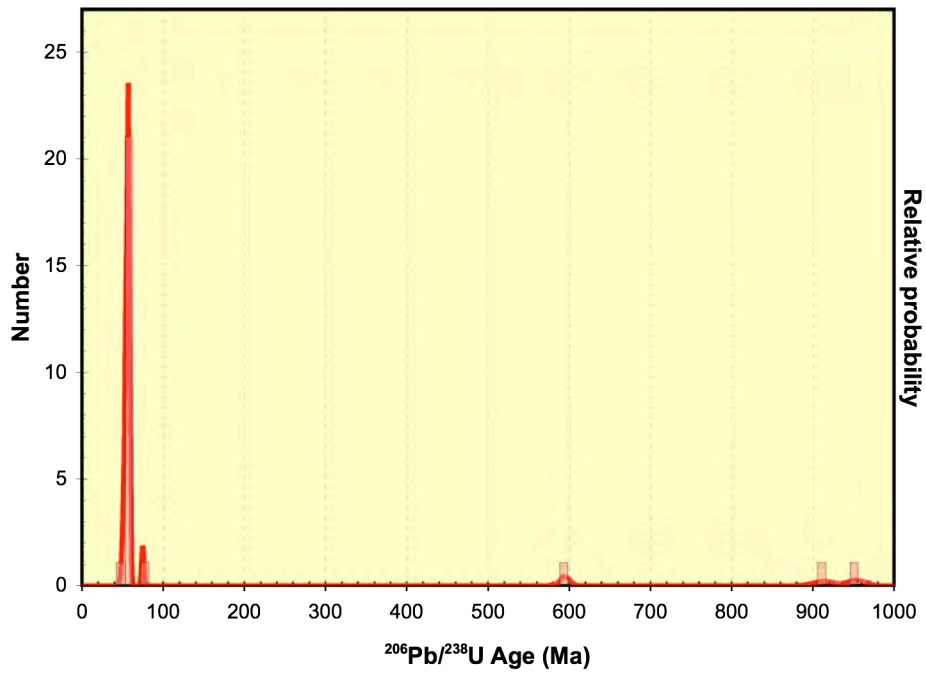


Figure 3. Probability density plot, with stacked histogram of all $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages for sample 160395.

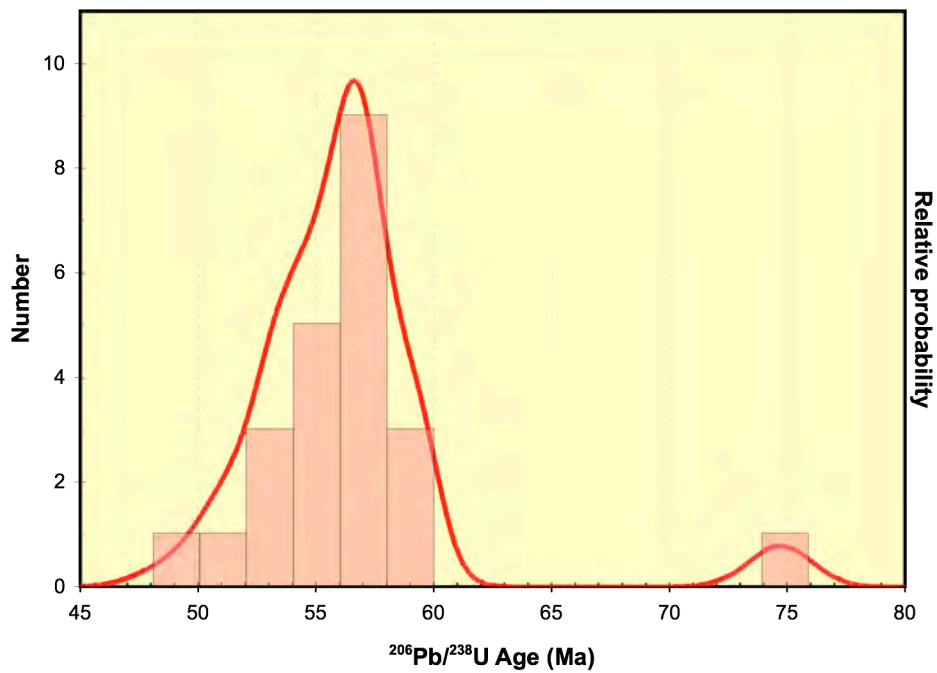


Figure 4. Probability density plot, with stacked histogram of the younger $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages for sample 160395. The plot shows an irregular distribution of $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages with a dispersed tail on the younger age side, and a single ~75 Ma zircon area.

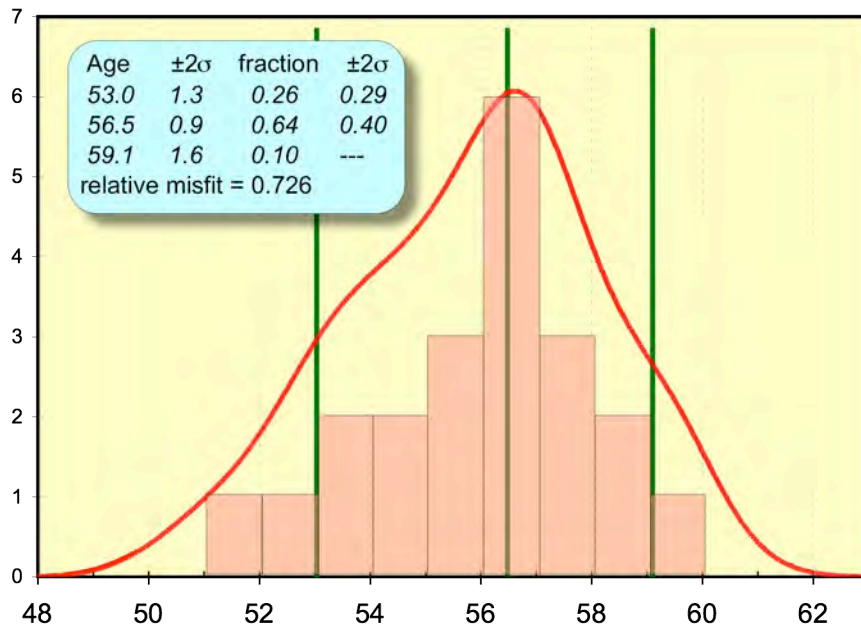


Figure 5. Mixture modelling deconvolution of $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages for sample 160395 (using Sambridge & Compston, 1994; via ISOPLOT). The plot highlights the irregular distribution of $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages with a dispersed tail on the younger age side. Approximately 64% of the analyses comprise the ~ 56.5 Ma dominant age grouping.

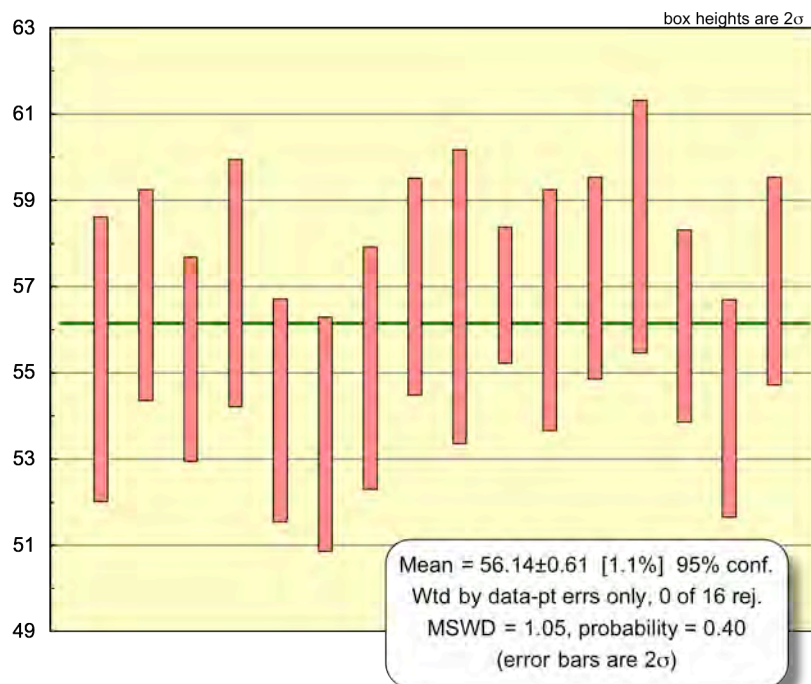


Figure 6. Weighted mean of $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages for igneous zircon from sample 160395.

Table 1. Summary of U-Pb data for zircons from sample 160395.

Grain. spot	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	²⁰⁶ Pb* (ppm)	²⁰⁴ Pb/ ²⁰⁶ Pb	f ₂₀₆ %	Total				Radiogenic			Age (Ma)	
							²³⁸ U/ ²⁰⁶ Pb	±	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±	
1.1	269	2736	10.19	1.9	0.002878	2.57	122.4	2.4	0.0674	0.0049	0.0080	0.0002	51.1	1.0	
1.2	96	45	0.47	12.7	0.000059	0.94	6.487	0.096	0.0774	0.0011	0.1527	0.0023	916	13	
2.1	91	62	0.69	0.7	0.003880	6.83	108.1	3.1	0.1012	0.0062	0.0086	0.0003	55.3	1.7	
3.1	173	1319	7.60	1.4	0.006865	6.05	106.2	2.2	0.0950	0.0040	0.0089	0.0002	56.8	1.2	
3.2	189	164	0.87	1.5	0.002133	4.79	110.5	2.2	0.0850	0.0058	0.0086	0.0002	55.3	1.2	
4.1	138	88	0.63	1.1	-	2.84	109.2	2.7	0.0697	0.0038	0.0089	0.0002	57.1	1.4	
5.1	207	2095	10.12	2.1	0.001698	1.87	84.17	1.51	0.0624	0.0024	0.0117	0.0002	74.7	1.4	
5.2	445	100	0.22	61.3	0.000067	0.38	6.234	0.070	0.0741	0.0005	0.1598	0.0019	956	10	
6.1	83	50	0.61	0.6	0.008365	12.86	112.5	3.1	0.1488	0.0119	0.0077	0.0003	49.7	1.6	
7.1	258	173	0.67	1.9	0.001521	3.73	116.7	2.1	0.0766	0.0044	0.0082	0.0002	53.0	1.0	
8.1	151	112	0.74	1.2	0.004037	6.34	111.1	2.5	0.0973	0.0068	0.0084	0.0002	54.1	1.3	
9.1	110	68	0.62	0.8	0.003581	7.30	111.1	2.7	0.1049	0.0057	0.0083	0.0002	53.6	1.4	
10.1	113	66	0.58	0.9	0.006608	7.68	107.6	2.6	0.1079	0.0058	0.0086	0.0002	55.1	1.4	
11.1	135	145	1.07	1.0	0.003172	6.23	112.9	2.6	0.0964	0.0044	0.0083	0.0002	53.3	1.2	
12.1	161	84	0.52	1.3	0.003413	5.17	106.8	2.3	0.0881	0.0048	0.0089	0.0002	57.0	1.3	
13.1	635	4005	6.30	5.1	0.001127	0.49	107.3	1.5	0.0511	0.0016	0.0093	0.0001	59.5	0.9	
14.1	84	74	0.89	0.7	-	3.09	109.6	3.2	0.0716	0.0070	0.0088	0.0003	56.8	1.7	
15.1	637	6807	10.68	4.9	0.000522	0.49	112.5	1.6	0.0510	0.0015	0.0088	0.0001	56.8	0.8	
15.2	127	108	0.85	1.0	0.003955	7.10	105.6	2.4	0.1034	0.0070	0.0088	0.0002	56.5	1.4	
16.1	1112	1222	1.10	92.4	0.000075	0.03	10.34	0.11	0.0600	0.0004	0.0967	0.0011	595	6	
17.1	308	4026	13.08	2.5	0.004325	7.26	104.1	1.8	0.1047	0.0077	0.0089	0.0002	57.2	1.2	
18.1	181	157	0.87	1.5	0.001070	3.99	105.5	2.1	0.0788	0.0114	0.0091	0.0002	58.4	1.5	
19.1	239	241	1.01	1.9	0.002768	2.65	106.0	2.0	0.0682	0.0046	0.0092	0.0002	59.0	1.2	
20.1	217	143	0.66	1.7	0.000639	4.18	109.7	2.1	0.0802	0.0035	0.0087	0.0002	56.1	1.1	
21.1	149	117	0.78	1.2	0.004671	6.13	111.3	2.5	0.0956	0.0047	0.0084	0.0002	54.2	1.3	
22.1	175	154	0.88	1.4	0.000117	3.55	108.4	2.2	0.0753	0.0036	0.0089	0.0002	57.1	1.2	

Notes: 1. Uncertainties given at the one σ level.

2. Error in Temora reference zircon calibration was 0.66% for the analytical session.

(not included in above errors but required when comparing data from different mounts).

3. f₂₀₆ % denotes the percentage of ²⁰⁶Pb that is common Pb.

4. Correction for common Pb for the U/Pb data has been made using the measured ²³⁸U/²⁰⁶Pb and ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb ratios following Tera and Wasserburg (1972) as outlined in Williams (1998).

4. REFERENCES

- Black, L.P., Kamo, S.L., Allen, C.M., Aleinikoff, J.N., Davis, D.W., Korsch, R.J. & Foudoulis, C., 2003. TEMORA 1: a new zircon standard for Phanerozoic U–Pb geochronology. *Chemical Geology* 200, 155-170.
- Ludwig, K.R. 2003. User's manual for ISOPLOT/EX, Version 3.0, A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication No. 4, 2455 Ridge Road, Berkeley CA 94709, USA.
- Ludwig K.R. 2001. SQUID 1.02, A User's Manual; Berkeley Geochronology Center Special Publication. No. 2, 2455 Ridge Road, Berkeley, CA 94709, USA.
- Sambridge, M.S. and Compston, W., 1994. Mixture modelling of multicomponent data sets with application to ion-probe zircon ages. *Earth and Planetary Science Letters*, 128, 373-390.
- Steiger, R. H. & Jäger, E., 1977. Subcommittee on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth & Planetary Science Letters* 36, 359–362.
- Tera, F. & Wasserburg, G. 1972. U-Th-Pb systematics in three Apollo 14 basalts and the problem of initial Pb in lunar rocks. *Earth & Planetary Science Letters* 14, 281-304.
- Williams, I.S. 1998. U-Th-Pb Geochronology by Ion Microprobe. In: McKibben, M.A., Shanks III, W.C. and Ridley, W.I. (eds), Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes, *Reviews in Economic Geology* 7, 1-35.



**Servicio Nacional de Geología y Minería
Subdirección Nacional de Geología
Departamento de Laboratorios**

Documento Externo

**Este trabajo fue efectuado por:
Carlos Pérez de Arce Raveau**

**SRA. HELENA MENDOZA VILCHES
EMPRESA: EXPLORACIONES MINERAS ANDINAS S.A.**

**UNIDAD DE GEOLOGÍA ISOTÓPICA
INFORME AR/AR N°19/2012
INFORME DE FACTIBILIDAD N°43/2011**



Santiago, 03 de abril del 2012

Informe Ar/Ar 19/2012

Solicitante: Sra. Helena Mendoza Vilches
Exploraciones Mineras Andinas S.A.

Muestra : **160396**
Material : muscovita
Nº interno : 12631-01

Análisis de step heating

Edad integrada: 55.29 ± 0.17 Ma
Edad Plateau: **55.31 ± 0.16 Ma**
Pasos en el plateau: 9/9 (100% en el plateau)
MSWD Plateau: 1.12

Análisis de Isócrona

Edad Isócrona: 55.30 ± 0.18 Ma
Pasos: 9/9 (Todos los pasos)
Intercepto 40/36: 296.3 ± 1.0
MSWD Isócrona: 1.2

Comentarios:

Todos los resultados obtenidos son concordantes no se aprecia exceso de Ar. Se recomienda usar la edad obtenida con el plateau.

Departamento de Laboratorios Servicio Nacional de Geología y Minería
Til Til 1993, Ñuñoa - Santiago - FONO: (56-2) 2385292 FAX: (56-2) 2385332 - www.sernageomin.cl
E-mail: jefe_lab@sernageomin.cl - Casilla:10465 y 1347, correo 21- SANTIAGO - CHILE



DATOS ADICIONALES

Razón 40/36 de argón atmosférico: 295.5 ± 0.5
MSWD aceptable: < 3

Condiciones mínimas para el plateau: 3 pasos consecutivos con concordancia de error a 2 sigma y por lo menos un 50% de Ar^{39} .

En el informe, los errores en las edades están expresados en el ámbito de dos sigma de confiabilidad.

En los espectros de step-heating, los errores están expresados con dos sigmas de confiabilidad.

En las tablas de datos y el diagrama de isócrona inversa, los datos están expresados con un sigma de confiabilidad.

Cada tres o cuatro pasos se hicieron análisis de niveles de blancos, que permitieron ir corrigiendo los resultados posteriores.



CARLOS PEREZ DE ARCE R.
JEFE UNIDAD DE GEOLOGIA ISOTOPICA

CPR/ ny.



Informe de factibilidad 43/11

Solicitado por: Sra. Helen Mendoza Vilches
Razón Social/Proyecto: Exploraciones Mineras Andina S.A.
Cantidad de muestras: 2
Fecha de entrega: 14 de octubre 2011
Correlativo interno: 369-11

Solicita factibilidad de datación por método Ar/Ar.

Las muestras para factibilidad de datación fueron estudiadas por Difracción de Rayos X, posterior a una molienda controlada para método Ar/Ar. Según el solicitante se debe seleccionar una de ellas.

1) **160396**

Cuarzo, muscovita, trazas de nacrita.

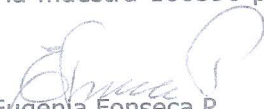
Roca **APTA** para datación por método Ar/Ar. Se recomienda moler y separar, extraer la mayor parte de la arcilla que es muy poca y confeccionar un segundo difractograma del concentrado.

2) **160423**

Cuarzo, muscovita, illita, anhidrita, anortoclasa.

Roca **NO APTA** para datación por método Ar/Ar, ya que hay minerales primarios que aportan potasio.

Además según el difractograma la muestra 160396 presenta mejores condiciones para datación.


Eugenia Fonseca P.
Geólogo

Jefe Depto. de Laboratorios

CC/Sr. Carlos Pérez de Arce. Jefe Unidad de Geocronología y Separación de Minerales.
Laboratorio de Separación de Minerales.
Sr. Eugenio Pizarro. Responsable de Taller de Molienda.

INFORME DE DATACION RADIOMETRICA
Edad Re-Os de Molibdenita

SOLICITADO POR:

Patricio Faúndez
Exploraciones Mineras Andinas S.A., Chile

Muestra N°	Peso (g)	Re Total (ppm)	¹⁸⁷Re (ppm)	¹⁸⁷Os (ppb)	Edad (Ma)
RO404-3_160424	0.012	404.06 ± 1.86	253.96 ± 1.17	238.87 ± 1.00	56.43 ± 0.23

OBSERVACIONES: Analisis realizado por Dr. David Selby, Universidad de Durham, UK, por dilución isotópica y TIMS (Thermal Ionization Mass Spectrometry).

Dr. Fernando Barra
Dpto. de Geología
Universidad de Chile

ANEXO 4
Tabla resultados mediciones microtermométricas

Anexo 4

Tabla resultados mediciones microtermométricas

Ubicación Muestra				Inclusión Fluida		% de Fases en Inclusiones				Temperaturas						NaCl % Peso	
Sondaje	Prof. (m)	Lit.	Muestra	Tamaño (micrón)	Tipo	Gas	Liq.	Halita	Silvita	THI	THg	TDs	TDh	Tc	Te	TFf	NaCl
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V1	15	L+V+S	10	80	10		357			234				34
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V1	30	L+V+S	15	74	10	1s	440			277				37
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V1	32	L+V+S	15	75	10		443			281				37
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V1	25	L+V+S	20	70	10		449			279				37
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V1	35	L+V+S	15	75	10		454			286				37
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V1	13	L+V+S	10	80	10		407			278				37
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V1	25	L+V+S	20	70	10		477			284				37
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V1	38	L+V	25	75			561						-11	15
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V1	10	L+V	10	90			346						-9	12
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V1	18	L+V	10	90			366						-6	9
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V1	12	L+V	15	85			387						-7	10
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V1	18	V+L	70	30				466					-5	8
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V1	16	V+L	80	20				532					-4	7
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V1	19	L+V	15	85			363						-5	8
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V1	24	L+V+S	10	79	10	1s	365			296				38
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V1	15	L+V+S	10	75	15		389			298				38
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V1	16	L+V	30	70			552						-9	13
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V1	13	L+V	10	90			334						-7	10
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V1	18	L+V+S	10	80	10		426			292				38
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V1	15	L+V+S	20	65	15		434			285				37
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V1	23	L+V+S	20	70	10		487			312				39
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V1	18	L+V	15	85			452						-12	16
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V1	13	L+V	20	80			471						-10	14
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V1	18	V+L	90	10				522					-6	9

Ubicación Muestra				Inclusión Fluida		% de Fases en Inclusiones				Temperaturas						NaCl % Peso	
Sondaje	Prof. (m)	Lit.	Muestra	Tamaño (micrón)	Tipo	Gas	Liq.	Halita	Silvita	THI	THg	TDs	TDh	Tc	Te	Tff	NaCl
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V1	14	L+V	10	90			384						-6	9
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V1	21	L+V+S	15	70	15		506			306				39
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V1	24	L+V+S	10	75	15		409			285				37
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V1	16	L+V+S	30	50	20		447			289				37
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V-2	18	L+V+S	10	80	10		403			226				33
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V-2	13	L+V+S	15	75	10		427			232				34
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V-2	22	L+V	15	85			444						-6	10
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V-2	17	L+V	20	79		1s	332						-5	8
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V-2	21	L+V	20	80			490						-8	12
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V-2	24	L+V	15	85			456						-7	10
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V-2	20	L+V	25	75			494						-11	15
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V-2	11	L+V	10	90			442						-7	10
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V-2	15	L+V+S	10	80	10		307			321				40
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V-2	17	L+V+S	15	70	15		433			243				34
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V-2	14	L+V+S	15	75	10		386			208				32
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V-2	30	L+V	40	60			541						-11	15
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V-2	26	V+L	60	40				527					-6	9
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V-2	21	L+V	10	90			436						-8	12
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V-2	19	L+V	15	85			434						-7	11
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V-2	14	L+V	15	85			437						-9	13
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V-2	11	L+V	10	90			365						-6	9
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V-2	16	L+V	15	85			467						-9	13
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V-2	18	L+V	20	80			471						-9	13
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V-2	23	L+V	20	80			494						-8	12
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V-2	16	V+L	70	30				510					-2	4
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V-2	12	L+V	10	90			344						-7	11
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V-2	19	L+V	15	85			410						-8	11

Ubicación Muestra				Inclusión Fluida		% de Fases en Inclusiones				Temperaturas						NaCl % Peso	
Sondaje	Prof. (m)	Lit.	Muestra	Tamaño (micrón)	Tipo	Gas	Liq.	Halita	Silvita	THI	THg	TDs	TDh	Tc	Te	Tff	NaCl
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V-2	21	L+V	10	90			424						-8	12
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V-2	15	V+L	80	20				507					-6	10
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V-2	17	L+V+S	10	75	15		381			198				32
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V-2	14	L+V+S	10	80	10		433			243				34
DDH-2103	244	P-TEMP	387-V-2	18	L+V+S	15	70	15		386			208				32
DDH-2104	1019	P-INT	388-V	28	L+V	20	70			481				-47	-26	-8	11
DDH-2104	1019	P-INT	388-V	21	L+V	20	80			380						-5	7
DDH-2104	1019	P-INT	388-V	10	L+V	15	85			441						-6	9
DDH-2104	1019	P-INT	388-V	23	L+V	40	60			444						-6	9
DDH-2104	1019	P-INT	388-V	14	L+V	25	75			420						-7	10
DDH-2104	1019	P-INT	388-V	17	L+V	20	78		2s	413						-7	10
DDH-2104	1019	P-INT	388-V	19	L+V	20	80			400						-6	10
DDH-2104	1019	P-INT	388-V	16	L+V	45	55			476				-45	-24	-6	9
DDH-2104	1019	P-INT	388-V	13	L+V	20	80			426						-6	9
DDH-2104	1019	P-INT	388-V	36	L+V	20	80			474						-6	9
DDH-2104	1019	P-INT	388-V	26	L+V	40	58		2hm	452						-6	9
DDH-2104	1019	P-INT	388-V	22	L+V	20	80			396						-6	9
DDH-2104	1019	P-INT	388-V	13	L+V	20	80			479						-7	11
DDH-2104	1019	P-INT	388-V	21	L+V	20	80			416						-5	7
DDH-2104	1019	P-INT	388-V	24	L+V	20	80			433						-7	11
DDH-2104	1019	P-INT	388-V	16	L+V	20	79		1s	417						-4	7
DDH-2104	1019	P-INT	388-V	20	L+V	25	75			414						-4	6
DDH-2104	1019	P-INT	388-V	23	L+V	20	80			426				-43	-27	-5	8
DDH-2104	1019	P-INT	388-V	18	L+V	30	70			444						-5	8
DDH-2104	1019	P-INT	388-V	17	L+V	25	75			423						-5	8
DDH-2104	1019	P-INT	388-V	24	L+V	20	80			395						-4	7
DDH-2104	1019	P-INT	388-V	18	L+V	30	70			374						-4	6

Ubicación Muestra				Inclusión Fluida		% de Fases en Inclusiones				Temperaturas						NaCl % Peso	
Sondaje	Prof. (m)	Lit.	Muestra	Tamaño (micrón)	Tipo	Gas	Liq.	Halita	Silvita	THI	THg	TDs	TDh	Tc	Te	Tff	NaCl
DDH-2104	1019	P-INT	388-V	24	L+V	20	80			436						-5	7
DDH-2104	1019	P-INT	388-V	17	L+V	30	70			377						-3	5
DDH-2104	1019	P-INT	388-V	15	L+V	30	70		2hm	401						-6	9
DDH-2104	1019	P-INT	388-V	18	L+V	30	70			380						-3	5
DDH-2104	1019	P-INT	388-V	14	L+V	20	80			389						-5	8
DDH-2104	1019	P-INT	388-V	11	L+V	35	65			433						-5	8
DDH-2104	1019	P-INT	388-MF	26	L+V	40	59		1s	509						-10	13
DDH-2104	1019	P-INT	388-MF	18	L+V	20	79		1s	512						-10	14
DDH-2104	1019	P-INT	388-MF	28	L+V	35	65			614						-12	16
DDH-2104	1019	P-INT	388-MF	26	L+V+S	20	70	10		514			233				34
DDH-2104	1019	P-INT	388-MF	15	L+V	20	80			581						-11	15
DDH-2104	1019	P-INT	388-MF	12	L+V	30	70			647						-15	19
DDH-2104	1019	P-INT	388-MF	15	L+V	20	80			484						-8	12
DDH-2104	1019	P-INT	388-MF	17	L+V	20	80			581						-10	14
DDH-2104	1019	P-INT	388-MF	21	L+V	40	60			587						-11	15
DDH-2104	1019	P-INT	388-MF	24	V+L	70	29		1s		633					-6	10
DDH-2104	1019	P-INT	388-MF	19	L+V	20	80			596						-11	15
DDH-2104	1019	P-INT	388-MF	12	L+V	10	90			374						-7	11
DDH-2104	1019	P-INT	388-MF	10	L+V	15	85			437						-8	12
DDH-2104	1019	P-INT	388-MF	16	V+L	60	40				557					-7	11
DDH-2104	1019	P-INT	388-MF	15	L+V	20	80			575						-9	13
DDH-2104	1019	P-INT	388-MF	12	L+V	20	78		2s	593						-10	14
DDH-2104	1019	P-INT	388-MF	21	L+V	25	75			487						-10	14
DDH-2104	1019	P-INT	388-MF	18	L+V	15	85			401						-8	12
DDH-2104	1019	P-INT	388-MF	21	L+V	40	60			484						-8	11
DDH-2104	1019	P-INT	388-MF	23	L+V	45	55			481						-7	11
DDH-2104	1019	P-INT	388-MF	17	L+V	30	70			616						-12	16

Ubicación Muestra				Inclusión Fluida		% de Fases en Inclusiones				Temperaturas						NaCl % Peso	
Sondaje	Prof. (m)	Lit.	Muestra	Tamaño (micrón)	Tipo	Gas	Liq.	Halita	Silvita	THI	THg	TDs	TDh	Tc	Te	TFf	NaCl
DDH-2104	1019	P-INT	388-MF	19	L+V	20	80			491						-9	13
DDH-2104	1019	P-INT	388-MF	16	L+V	15	85			465						-8	12
DDH-2104	1019	P-INT	388-MF	13	L+V	30	69		1hm	444						-7	10
DDH-2104	1019	P-INT	388-MF	22	L+V	40	60			567						-9	13
DDH-2104	1019	P-INT	388-MF	20	L+V	30	70			521						-9	13
DDH-2104	1019	P-INT	388-MF	16	L+V	15	85			491						-10	14
DDH-2102	470	AND	389-V-2	27	L+V+S	20	65	15		406			328				40
DDH-2102	470	AND	389-V-2	14	L+V+S	10	80	10		456			304				39
DDH-2102	470	AND	389-V-2	19	L+V+S	15	75	10		402			306				39
DDH-2102	470	AND	389-V-2	16	L+V+S	20	65	15		410			331				41
DDH-2102	470	AND	389-V-2	21	L+V	10	90			453						-9	13
DDH-2102	470	AND	389-V-2	24	L+V	20	80			476						-9	12
DDH-2102	470	AND	389-V-2	13	L+V	30	70			484						-8	12
DDH-2102	470	AND	389-V-2	16	L+V	20	80			459						-9	13
DDH-2102	470	AND	389-V-2	14	L+V	20	80			470						-9	13
DDH-2102	470	AND	389-V-2	22	L+V	10	90			473						-7	10
DDH-2102	470	AND	389-V-2	31	L+V+S	15	75	10		454			312				39
DDH-2102	470	AND	389-V-2	18	L+V+S	10	75	15		430			328				40
DDH-2102	470	AND	389-V-2	20	L+V+S	10	80	10		432			348				42
DDH-2102	470	AND	389-V-2	19	L+V+S	15	68	15	2s	414			365				44
DDH-2102	470	AND	389-V-2	16	L+V	30	70			446						-7	11
DDH-2102	470	AND	389-V-2	18	L+V	20	80			502						-8	12
DDH-2102	470	AND	389-V-2	12	L+V+S	10	75	15		391			392				47
DDH-2102	470	AND	389-V-2	14	L+V+S	30	55	15		425			337				41
DDH-2102	470	AND	389-V-2	13	L+V	15	85			477						-8	12
DDH-2102	470	AND	389-V-2	16	L+V	15	85			385						-6	9
DDH-2102	470	AND	389-V-2	21	L+V+S	10	80	10		403			319				40

Ubicación Muestra				Inclusión Fluida		% de Fases en Inclusiones				Temperaturas						NaCl % Peso	
Sondaje	Prof. (m)	Lit.	Muestra	Tamaño (micrón)	Tipo	Gas	Liq.	Halita	Silvita	THI	THg	TDs	TDh	Tc	Te	TFf	NaCl
DDH-2102	470	AND	389-V-2	17	L+V+S	10	80	10		404			322				40
DDH-2102	470	AND	389-V-2	15	L+V	30	70			585						-11	15
DDH-2102	470	AND	389-V-2	19	L+V	10	90			560						-10	14
DDH-2102	470	AND	389-V-2	16	L+V+S	10	75	15		370			371				44
DDH-2102	470	AND	389-V-2	18	L+V+S	15	75	10		451			318				40
DDH-2102	470	AND	389-V-1	28	L+V+S	15	68	15	2hm	434			312				39
DDH-2102	470	AND	389-V-1	32	L+V+S	15	73	10	1s1hm	436			302				38
DDH-2102	470	AND	389-V-1	19	L+V+S	10	80	10		433			299				38
DDH-2102	470	AND	389-V-1	23	L+V+S	10	79	10	1hm	492			239				34
DDH-2102	470	AND	389-V-1	20	L+V+S	20	70	10	2s	371			243				34
DDH-2102	470	AND	389-V-1	20	L+V	30	70			501						-7	10
DDH-2102	470	AND	389-V-1	28	V+L	60	40				567					-13	17
DDH-2102	470	AND	389-V-1	25	L+V	20	80			465						-7	10
DDH-2102	470	AND	389-V-1	28	L+V	25	75			476						-8	12
DDH-2102	470	AND	389-V-1	17	L+V	30	70			457						-8	12
DDH-2102	470	AND	389-V-1	15	L+V	10	90			444						-6	9
DDH-2102	470	AND	389-V-1	21	L+V	15	85			437						-6	10
DDH-2102	470	AND	389-V-1	23	L+V+S	15	75	10		340			386				46
DDH-2102	470	AND	389-V-1	15	L+V+S	15	70	15		380			381				45
DDH-2102	470	AND	389-V-1	19	L+V+S	10	80	10		374			395				47
DDH-2102	470	AND	389-V-1	24	L+V	10	90			336						-3	5
DDH-2102	470	AND	389-V-1	16	L+V	15	85			417						-6	9
DDH-2102	470	AND	389-V-1	19	L+V	10	90			385						-6	9
DDH-2102	470	AND	389-V-1	13	L+V	10	90			383						-6	9
DDH-2102	470	AND	389-V-1	16	L+V	15	85			394						-7	10
DDH-2102	470	AND	389-V-1	17	L+V+S	15	75	10		422			363				44
DDH-2102	470	AND	389-V-1	23	L+V+S	10	75	15		547			387				46

Ubicación Muestra				Inclusión Fluida		% de Fases en Inclusiones				Temperaturas						NaCl % Peso	
Sondaje	Prof. (m)	Lit.	Muestra	Tamaño (micrón)	Tipo	Gas	Liq.	Halita	Silvita	THI	THg	TDs	TDh	Tc	Te	Tff	NaCl
DDH-2102	470	AND	389-V-1	20	L+V+S	10	80	10		427			294				38
DDH-2102	470	AND	389-V-1	16	L+V	10	90			436						-8	11
DDH-2102	470	AND	389-V-1	18	L+V	10	90			481						-7	11
DDH-2102	470	AND	389-V-1	20	L+V	20	80			515						-13	16
DDH-2102	470	AND	389-V-1	13	L+V	25	75			565						-11	15
DDH-2102	470	AND	389-V-1	11	L+V	20	80			509						-10	14
DDH-2102	489	AND	390-V-2	12	L+V	15	85			357				-44	-24	-6	9
DDH-2102	489	AND	390-V-2	9	L+V	10	90			366						-6	9
DDH-2102	489	AND	390-V-2	13	L+V	20	80			364						-5	8
DDH-2102	489	AND	390-V-2	10	L+V	10	90			361						-6	10
DDH-2102	489	AND	390-V-2	8	L+V	10	90			360						-6	9
DDH-2102	489	AND	390-V-2	12	L+V	10	90			363						-6	9
DDH-2102	489	AND	390-V-2	10	L+V	15	85			382						-7	10
DDH-2102	489	AND	390-V-2	14	L+V	10	90			350						-7	10
DDH-2102	489	AND	390-V-2	9	L+V	10	90			313						-3	5
DDH-2102	489	AND	390-V-2	13	L+V	15	85			407						-5	8
DDH-2102	489	AND	390-V-2	12	L+V	10	90			446						-7	10
DDH-2102	489	AND	390-V-2	15	L+V	20	80			462				-46	-23	-5	8
DDH-2102	489	AND	390-V-2	16	L+V	30	70			476						-7	11
DDH-2102	489	AND	390-V-2	11	L+V	25	75			312						-3	5
DDH-2102	489	AND	390-V-2	9	L+V	10	90			427						-5	8
DDH-2102	489	AND	390-V-2	12	L+V	10	90			452						-8	12
DDH-2102	489	AND	390-V-2	10	L+V	30	70			430						-7	10
DDH-2102	489	AND	390-V-2	17	L+V	20	80			454				-48	-25	-8	11
DDH-2102	489	AND	390-V-2	13	L+V	10	90			443						-7	11
DDH-2102	489	AND	390-V-2	12	L+V	10	90			384						-6	10
DDH-2102	489	AND	390-V-1	10	L+V+S	10	75	15		384			251				35

Ubicación Muestra				Inclusión Fluida		% de Fases en Inclusiones				Temperaturas						NaCl % Peso	
Sondaje	Prof. (m)	Lit.	Muestra	Tamaño (micrón)	Tipo	Gas	Liq.	Halita	Silvita	THI	THg	TDs	TDh	Tc	Te	TFf	NaCl
DDH-2102	489	AND	390-V-1	12	L+V+S	10	80	10		336			249				35
DDH-2102	489	AND	390-V-1	15	L+V+S	15	75	10		333			266				36
DDH-2102	489	AND	390-V-1	13	L+V	20	80			407						-7	11
DDH-2102	489	AND	390-V-1	10	L+V	10	90			404						-8	12
DDH-2102	489	AND	390-V-1	15	L+V+S	15	75	10		372			286				37
DDH-2102	489	AND	390-V-1	18	L+V+S	10	80	10		381			273				36
DDH-2102	489	AND	390-V-1	28	L+V+S	15	68	15	2hm	390			282				37
DDH-2102	489	AND	390-V-1	22	L+V	15	85			474						-8	12
DDH-2102	489	AND	390-V-1	12	L+V	10	90			416						-7	11
DDH-2102	489	AND	390-V-1	10	L+V	10	89		1hm	427						-7	11
DDH-2102	489	AND	390-V-1	12	L+V	10	90			341						-6	9
DDH-2102	489	AND	390-V-1	15	L+V	20	80			341						-6	9
DDH-2102	489	AND	390-V-1	10	L+V	10	90			434						-9	13
DDH-2102	489	AND	390-V-1	14	L+V	30	70			423						-8	11
DDH-2102	489	AND	390-V-1	11	L+V	10	90			444						-7	11
DDH-2102	489	AND	390-V-1	15	L+V	10	90			387						-6	9
DDH-2102	489	AND	390-V-1	13	L+V+S	10	72	15	1s2hm	301			396				47
DDH-2102	489	AND	390-V-1	10	L+V+S	10	80	10		282			334				41
DDH-2102	489	AND	390-V-1	15	L+V+S	10	80	10		284			389				46
DDH-2102	489	AND	390-V-1	12	L+V	10	90			366						-5	7
DDH-2102	489	AND	390-V-1	15	L+V	15	85			312						-3	5
DDH-2102	489	AND	390-V-1	20	L+V	20	80		1s	434						-11	15
DDH-2102	489	AND	390-V-1	18	L+V	10	90			383						-8	11
DDH-2102	489	AND	390-V-1	11	L+V	10	90			363						-6	9
DDH-2102	489	AND	390-V-1	14	L+V	15	85			343						-6	9
DDH-2102	489	AND	390-V-1	19	L+V	20	80			410						-7	10
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-1	26	L+V	20	80			440						-7	10

Ubicación Muestra				Inclusión Fluida		% de Fases en Inclusiones				Temperaturas						NaCl % Peso	
Sondaje	Prof. (m)	Lit.	Muestra	Tamaño (micrón)	Tipo	Gas	Liq.	Halita	Silvita	THI	THg	TDs	TDh	Tc	Te	Tff	NaCl
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-1	32	L+V	30	70			444						-7	11
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-1	16	L+V	15	85			462						-8	11
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-1	20	L+V	20	80			532						-11	15
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-1	18	L+V+S	15	75	10		414			228				33
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-1	15	L+V+S	10	80	10		395			211				32
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-1	16	L+V+S	10	80	10		421			303				38
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-1	18	L+V	20	80			447						-7	11
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-1	12	L+V	15	85			416						-5	7
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-1	33	L+V	10	90			380						-3	5
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-1	15	L+V	15	85			422						-5	8
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-1	13	L+V	10	90			481						-9	13
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-1	16	L+V	30	70			421						-6	10
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-1	22	L+V	15	85			373						-6	9
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-1	14	L+V	10	90			444						-8	12
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-1	19	L+V	40	60			486						-8	11
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-1	15	L+V	10	79		1s	440						-7	11
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-1	12	L+V	20	80			475						-9	12
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-1	16	L+V	20	80			435						-7	10
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-1	12	L+V	10	90			364						-4	6
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-1	15	L+V	10	90			409						-5	7
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-1	18	L+V	15	85			441						-8	12
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-1	13	L+V	10	90			453						-8	12
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-1	24	L+V	20	80			455						-9	12
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-1	20	L+V	20	80			506						-10	14
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-1	14	L+V	15	85			514						-12	16
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-1	16	V+L	70	30				545					-3	5
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-1	12	L+V	25	75			462						-9	13

Ubicación Muestra				Inclusión Fluida		% de Fases en Inclusiones				Temperaturas						NaCl % Peso	
Sondaje	Prof. (m)	Lit.	Muestra	Tamaño (micrón)	Tipo	Gas	Liq.	Halita	Silvita	THI	THg	TDs	TDh	Tc	Te	Tff	NaCl
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-2	18	L+V+S	20	65	15		433			285				37
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-2	15	L+V+S	20	70	10		431			283				37
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-2	13	L+V	20	80			497						-10	13
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-2	17	V+L	60	40				566					-3	5
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-2	20	V+L	70	30				421					-4	7
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-2	14	L+V	40	60			534						-12	16
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-2	17	L+V	25	75			494						-6	10
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-2	12	L+V	30	70			496						-6	10
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-2	11	L+V	30	70			450						-6	9
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-2	21	L+V	20	80			485						-7	11
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-2	12	L+V	30	70			562						-10	14
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-2	38	L+V	20	80			445						-6	9
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-2	36	L+V	30	70			475						-7	10
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-2	23	L+V	20	80			473						-7	10
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-2	18	L+V	20	80			524						-11	15
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-2	29	L+V	40	60			517						-9	13
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-2	15	L+V	30	70			495						-7	11
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-2	21	L+V	30	70			498						-7	10
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-2	15	L+V	10	90			437						-6	9
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-2	12	L+V	10	90			416						-5	8
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-2	10	L+V	15	85			512						-8	12
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-2	13	L+V	20	80			547						-8	12
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-2	26	L+V+S	20	64	15	1s	582			331				41
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-2	11	L+V+S	15	75	10		301			468				56
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-2	10	L+V	10	90			367						-4	7
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-2	13	L+V	20	80			484						-8	12
DDH-2102	586	P-TEMP	391-V-2	12	L+V	15	85			371						-5	8

Ubicación Muestra				Inclusión Fluida		% de Fases en Inclusiones				Temperaturas						NaCl % Peso	
Sondaje	Prof. (m)	Lit.	Muestra	Tamaño (micrón)	Tipo	Gas	Liq.	Halita	Silvita	THI	THg	TDs	TDh	Tc	Te	Tff	NaCl
DDH-2101	509	AND	392-v-2	17	L+V	35	65			656						-12	16
DDH-2101	509	AND	392-v-2	12	L+V	40	60			624						-10	14
DDH-2101	509	AND	392-v-2	25	V+L	60	40				576					-7	10
DDH-2101	509	AND	392-v-2	17	L+V+S	15	65	20		439			324				40
DDH-2101	509	AND	392-v-2	15	L+V+S	15	73	10	2s	524			236				34
DDH-2101	509	AND	392-v-2	16	V+L	90	10				579					-4	7
DDH-2101	509	AND	392-v-2	13	L+V	15	85			675						-17	20
DDH-2101	509	AND	392-v-2	23	L+V	40	60			417						-8	12
DDH-2101	509	AND	392-v-2	20	L+V	30	68		2s	652						-15	19
DDH-2101	509	AND	392-v-2	18	L+V	25	75			627						-17	20
DDH-2101	509	AND	392-v-2	15	L+V+S	10	80	10		504			374				45
DDH-2101	509	AND	392-v-2	13	L+V+S	15	75	10		404			381				45
DDH-2101	509	AND	392-v-2	19	L+V+S	10	80	10		393			352				43
DDH-2101	509	AND	392-v-2	21	V+L	70	30				584					-5	8
DDH-2101	509	AND	392-v-2	16	V+L	88	10		2s		571					-6	10
DDH-2101	509	AND	392-v-2	18	L+V	30	70			682						-14	18
DDH-2101	509	AND	392-v-2	12	L+V	10	90			493						-8	11
DDH-2101	509	AND	392-v-2	17	L+V	30	70			646						-12	16
DDH-2101	509	AND	392-v-2	14	L+V+S	30	50	20		655			576				71
DDH-2101	509	AND	392-v-2	23	L+V+S	10	80	10		412			351				43
DDH-2101	509	AND	392-v-2	20	L+V	20	79		1s	547						-9	13
DDH-2101	509	AND	392-v-2	14	L+V	10	90			535						-8	12
DDH-2101	509	AND	392-v-2	19	V+L	80	20				575					-5	8
DDH-2101	509	AND	392-v-2	23	L+V	10	90			384						-6	9
DDH-2101	509	AND	392-v-2	14	L+V	10	90			389						-7	10
DDH-2101	509	AND	392-v-2	18	L+V	20	79		1s	551						-9	13
DDH-2101	509	AND	392-v-2	15	L+V	15	85			401						-7	11

Ubicación Muestra				Inclusión Fluida		% de Fases en Inclusiones				Temperaturas						NaCl % Peso	
Sondaje	Prof. (m)	Lit.	Muestra	Tamaño (micrón)	Tipo	Gas	Liq.	Halita	Silvita	THI	THg	TDs	TDh	Tc	Te	Tff	NaCl
DDH-2101	509	AND	392-v-2	19	L+V	10	88		2hm	467						-8	12
DDH-2101	509	AND	392-v-2	16	L+V	20	80			375						-6	9
DDH-2101	509	AND	392-v-1	11	L+V	10	90			339						-5	8
DDH-2101	509	AND	392-v-1	16	L+V	10	90			375						-6	9
DDH-2101	509	AND	392-v-1	12	L+V	15	85			382				-48	-26	-6	9
DDH-2101	509	AND	392-v-1	27	L+V	20	80			329						-4	6
DDH-2101	509	AND	392-v-1	22	L+V	30	70			429						-7	10
DDH-2101	509	AND	392-v-1	15	L+V	30	70			477						-7	10
DDH-2101	509	AND	392-v-1	13	L+V	25	75			442						-6	9
DDH-2101	509	AND	392-v-1	18	L+V	10	90			354						-5	8
DDH-2101	509	AND	392-v-1	20	L+V	10	90			357						-6	10
DDH-2101	509	AND	392-v-1	15	L+V	20	80			426						-7	11
DDH-2101	509	AND	392-v-1	13	L+V	20	80			427				-49	-27	-7	11
DDH-2101	509	AND	392-v-1	24	L+V	10	90			337						-5	8
DDH-2101	509	AND	392-v-1	21	L+V	10	90			333						-5	8
DDH-2101	509	AND	392-v-1	14	L+V	15	95			352						-6	9
DDH-2101	509	AND	392-v-1	17	L+V	20	80			361						-6	9
DDH-2101	509	AND	392-v-1	20	L+V	10	90			321						-2	4
DDH-2101	509	AND	392-v-1	13	L+V	25	75			347						-3	5
DDH-2101	509	AND	392-v-1	16	L+V	30	70			307				-52	-23	-3	4
DDH-2101	509	AND	392-v-1	11	L+V	15	85			314						-4	6
DDH-2101	509	AND	392-v-1	14	L+V	10	90			323						-3	5
DDH-2101	509	AND	392-v-1	8	L+V*	10	90			362						-7	11
DDH-2101	509	AND	392-v-1	11	L+V*	10	90			383						-8	12
DDH-2101	509	AND	392-v-1	16	L+V*	10	90			387				-54	-29	-9	13
DDH-2101	509	AND	392-v-1	14	L+V*	10	90			424						-11	15
DDH-2101	509	AND	392-v-1	16	L+V*	15	85			416						-9	13

Ubicación Muestra				Inclusión Fluida		% de Fases en Inclusiones				Temperaturas						NaCl % Peso	
Sondaje	Prof. (m)	Lit.	Muestra	Tamaño (micrón)	Tipo	Gas	Liq.	Halita	Silvita	THI	THg	TDs	TDh	Tc	Te	Tff	NaCl
DDH-2101	509	AND	392-v-1	12	L+V*	10	90			392						-10	14
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-1	13	L+V*	20	80			293				-64	-28	-3	5
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-1	16	L+V*	10	90			286						-3	5
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-1	19	L+V*	20	80			276						-4	7
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-1	12	L+V*	15	85			314						-5	8
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-1	16	L+V	15	85			277						-3	4
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-1	15	L+V	10	90			420				-48	-23	-6	9
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-1	11	L+V	15	85			394						-5	8
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-1	16	L+V	10	90			336						-5	7
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-1	14	L+V	20	80			334						-7	10
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-1	21	L+V	10	90			383						-7	11
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-1	18	L+V*	10	90			335				-59	-29	-6	9
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-1	15	L+V*	10	90			316						-6	9
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-1	18	L+V	10	90			327						-5	7
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-1	14	L+V	15	85			347						-5	8
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-1	17	L+V	20	80			354				-45	-24	-5	8
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-1	10	L+V	10	90			373						-7	10
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-1	13	L+V	10	90			402						-8	11
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-1	16	L+V	20	80			367						-7	10
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-1	18	L+V	15	85			391						-7	11
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-1	14	L+V	10	90			337						-3	5
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-1	19	L+V	10	90			450						-10	14
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-2	31	L+V	15	85			561						-9	13
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-2	15	L+V+S	10	80	10		584			472				56
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-2	18	L+V	20	80			414						-8	12
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-2	14	L+V	10	90			410						-8	11
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-2	17	V+L	80	20				407					-3	4

Ubicación Muestra				Inclusión Fluida		% de Fases en Inclusiones				Temperaturas						NaCl % Peso	
Sondaje	Prof. (m)	Lit.	Muestra	Tamaño (micrón)	Tipo	Gas	Liq.	Halita	Silvita	THI	THg	TDs	TDh	Tc	Te	Tff	NaCl
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-2	11	V+L	70	30				504					-5	8
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-2	19	L+V	10	90			343						-5	8
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-2	13	L+V	10	90			390						-6	9
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-2	9	L+V	30	70			470						-8	12
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-2	11	L+V	10	90			325						-6	9
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-2	16	L+V	10	90			322						-5	8
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-2	19	V+L	80	20				405					-4	7
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-2	16	L+V	10	90			389						-6	10
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-2	14	L+V	15	85			394						-6	9
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-2	18	L+V	10	90			374						-5	8
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-2	15	L+V	20	80			369						-6	9
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-2	13	L+V	15	85			366						-5	8
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-2	12	L+V	10	90			371						-6	9
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-2	22	L+V	15	85			389						-5	7
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-2	19	L+V	10	90			377						-5	7
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-2	13	L+V	10	90			374						-5	8
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-2	16	L+V	30	70			455						-7	11
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-2	14	L+V	20	80			444						-7	10
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-2	20	L+V	20	80			447						-8	11
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-2	12	L+V	15	85			391						-5	8
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-2	14	L+V	10	90			389						-6	9
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-2	17	L+V	20	80			454						-7	11
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-2	12	L+V	10	90			425						-8	12
DDH-2105	1052	P-INT	393-v-2	15	L+V	10	90			374						-7	11
DDH-2104	554	P-TEMP	394-v-1	15	L+V+S	20	70	10		364			288				37
DDH-2104	554	P-TEMP	394-v-1	12	L+V+S	10	80	10		367			274				36
DDH-2104	554	P-TEMP	394-v-1	17	L+V	10	90			372						-3	6

Ubicación Muestra				Inclusión Fluida		% de Fases en Inclusiones				Temperaturas						NaCl % Peso	
Sondaje	Prof. (m)	Lit.	Muestra	Tamaño (micrón)	Tipo	Gas	Liq.	Halita	Silvita	THI	THg	TDs	TDh	Tc	Te	Tff	NaCl
DDH-2104	554	P-TEMP	394-v-1	11	L+V	20	80			389						-4	6
DDH-2104	554	P-TEMP	394-v-1	14	L+V	20	80			505						-8	11
DDH-2104	554	P-TEMP	394-v-1	12	L+V	25	75			510						-7	11
DDH-2104	554	P-TEMP	394-v-1	15	L+V	20	80			473						-6	9
DDH-2104	554	P-TEMP	394-v-1	24	L+V	30	70			476						-6	9
DDH-2104	554	P-TEMP	394-v-1	18	L+V	25	75			484						-6	10
DDH-2104	554	P-TEMP	394-v-1	15	L+V	15	85			472						-7	10
DDH-2104	554	P-TEMP	394-v-1	20	L+V	10	90			445						-6	9
DDH-2104	554	P-TEMP	394-v-1	11	L+V	10	90			320						-3	4
DDH-2104	554	P-TEMP	394-v-1	12	L+V	15	85			352						-4	6
DDH-2104	554	P-TEMP	394-v-1	16	L+V	10	90			443						-5	8
DDH-2104	554	P-TEMP	394-v-1	19	L+V	10	90			446						-7	10
DDH-2104	554	P-TEMP	394-v-1	14	L+V	10	80			451						-7	10
DDH-2104	554	P-TEMP	394-v-1	10	L+V	25	75			512						-9	13
DDH-2104	554	P-TEMP	394-v-1	13	L+V	15	85			527						-10	14
DDH-2104	554	P-TEMP	394-v-1	15	L+V	10	90			342						-5	8
DDH-2104	554	P-TEMP	394-v-1	18	L+V	20	80			431						-6	10
DDH-2104	554	P-TEMP	394-v-1	13	L+V	10	90			387						-3	4
DDH-2104	554	P-TEMP	394-v-1	16	L+V	10	90			406						-5	8
DDH-2104	554	P-TEMP	394-v-1	14	L+V	15	85			469						-6	10
DDH-2104	554	P-TEMP	394-v-1	17	L+V	20	80			507						-8	12
DDH-2104	554	P-TEMP	394-v-1	15	L+V	10	90			530						-12	16
DDH-2104	554	P-TEMP	394-v-1	12	L+V	10	90			470						-7	10
DDH-2104	554	P-TEMP	394-v-1	19	L+V	10	90			505						-9	13
DDH-2104	554	P-TEMP	394-v-1	20	L+V	15	85			427						-8	12
DDH-2104	554	P-TEMP	394-V-2	20	L+V	30	69		1s	531						-8	11
DDH-2104	554	P-TEMP	394-V-2	16	L+V	20	80			521						-6	10

