



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

**ANTECEDENTES PETROGRAFICOS, GEOQUÍMICOS Y
GEOCRONOLOGICOS DE ROCAS INTRUSIVAS DEL
SECTOR ROSARIO DE RENGO, REGION DEL
LIBERTADOR BERNARDO O´HIGGINS**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEOLOGO

PAULA DENISSE MUÑOZ MORALES

**PROFESOR GUÍA:
SR. CARLOS PALACIOS MONASTERIO**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
SRA. KATJA DECKART
SR. VICTOR MAKSAEV JURCHUC**

**SANTIAGO DE CHILE
2008**

RESUMEN

Las rocas intrusivas del depósito de Cu - Mo Rosario de Rengo corresponden a: monzogranito a granodiorita de anfíbol del Plutón Rosario, granodioritas de anfíbola y biotita de stocks y pórfidos cuarzomonzodioríticos mineralizados. En general la mayoría de las rocas intrusivas son gris claras y contienen principalmente cuarzo, feldespato y plagioclasas. El porcentaje de minerales máficos es <15% y corresponden a anfíbolas, magnetita y biotita.

Los tipos de alteración hidrotermal existentes en Rosario de Rengo son: potásica, sericitica y silicificación. Los sulfuros presentes en los pórfidos cuarzomonzodioríticos y en una roca de contacto entre el Plutón Rosario y el stock son principalmente pirita, en menor cantidad calcopirita, calcosina, covelina, bornita y blenda, también existe presencia de escasa tenorita e hidróxidos de Fe.

Las rocas intrusivas presentan entre un 56,97 a 72,48% de SiO₂, son de carácter subcalino de afinidad calcoalcalina, composicionalmente corresponden fundamentalmente a tonalita-granodiorita y las rocas tienen un carácter metaluminoso, representado por bajos valores de Na₂O (<5%) y alto contenido de Al₂O₃. La variedad porfírica en particular tiene composición intermedia.

Los altos contenidos de Al₂O₃ y Sr, indican que el fraccionamiento de la plagioclasa no fue importante, mientras que las bajas concentraciones de REE pesadas y una concavidad del patrón de tierras raras, indican el posible fraccionamiento de anfíbola. El patrón de distribución de tierras raras para las tres variedades de intrusivos es similar y comparable con los pórfidos Sewell (*tonalítico y diorítico*) en el yacimiento El Teniente.

Las razones La_N/Yb_N, varían entre 8 a 14, y son menores que las que presentan los pórfidos mineralizados de los Bronces y El Teniente, comparables a los de intrusivos estériles de Río Blanco-Los Bronces. Además, las rocas tienen una composición afín a adakitas.

Se obtuvieron 4 edades U-Pb en circón para las rocas intrusivas de Rosario de Rengo: 8,02 ± 0,15 Ma y 8,43 ± 0,15 Ma para pórfidos relacionados espacialmente a brechas mineralizadas y una edad de 8,5 ± 0,1 Ma para una granodiorita de anfíbola inalterada de las cabeceras del Estero Manantial Negro. La edad más antigua de 9,89 ± 0,12 Ma se obtuvo para el plutón granodiorítico Rosario. Consecuentemente los procesos hidrotermales se asocian con las fases más jóvenes del complejo intrusivo presente en el depósito. Esto sugiere que la falla de sentido NNW que atraviesa el valle tendría un rol importante en la mineralización, ya que hacia el sur de ella se concentra la alteración y mineralización, mientras que al norte se encuentra un stock estéril y además a ambos lados de la falla hay rocas de edad similar.

De acuerdo a la edad de los intrusivos (9,89 - 8,43 Ma) se pueden correlacionar con los intrusivos estériles de Río-Blanco-Los Bronces (*Granodiorita Cascada, Diorita Los Bronces BSF*). Posiblemente la estrecha relación espacial que presenta los cuerpos porfíricos que se encuentran en el Sector Los Cristales y al este de la Brecha Rosario, con la mineralización expuesta, sugieren que estos cuerpos podrían estar relacionados a un cuerpo intrusivo mayor y más profundo.

AGRADECIMIENTOS

Con mucho cariño quisiera agradecer a todos aquellos que durante mi carrera han contibuido de alguna manera con mi formación como persona y profesional.

Primero gracias familia por apoyarme en todo momento. Gaby gracias por siempre estar ahí y colaborar junto al Titi en suplir mi rol durante los largos tiempos que no he estado con Amaro. La presencia de ustedes fue y será siempre importante para nosotros. A ti papá gracias por enseñarme a nunca bajar los brazos y siempre luchar por lo se quiere.

A todo el personal administrativo del departamento, quienes con su acogedora personalidad siempre me hicieron sentir como en casa.

A mi gran amiga Maria Rosa, fuiste clave en los minutos en que me vi sin fuerzas para continuar, siempre dispuesta a escucharnos y a colaborar en solucionar nuestros problemas.

Con especial afecto quiero agradecer a la profesora Katja Deckart quien me aporto con su conocimiento y con mucha voluntad me brindó todo su apoyo durante el desarrollo de este trabajo.

También a mis amigos y compañeros de trabajo Cristian, Iart y Cesar, quienes me apoyaron siempre.

A mis queridos compañeros de geología en especial a Karina, Andrea y Dani, a mis amiguis Chasca, Rodolfo, Chicho y también como no olvidar al “gran grupo humano” con todos ustedes compartí horas de estudios y terrenos, con los que aprendimos juntos.

Por último gracias hijo, por darme ánimo en este último tiempo, por tener paciencia, por ser mi motor y mi felicidad.

A la luz de mi vida
Amaro

INDICE DE CONTENIDO

CAPITULO 1. INTRODUCCION	1
1.1 Presentación del problema	1
1.2 Objetivos.....	1
1.3 Metodología	2
1.4 Ubicación y vías de acceso	4
1.5 Historia del Yacimiento.....	5
1.6 Trabajos Anteriores	6
1.7 Marco Geológico Regional.....	9
1.7.1 Franja Mioceno superior-Plioceno	9
1.7.2 Rocas Estratificadas.....	10
1.7.3 Rocas Intrusivas	11
1.7.4 Estructuras.....	12
1.8 Marco Geológico Local.....	13
1.8.1 Rocas estratificadas	13
1.8.2 Rocas Intrusivas	13
1.8.3 Depósitos no consolidados.....	14
CAPITULO 2. GEOLOGIA DEL YACIMIENTO ROSARIO DE RENGO.....	16
2.1 Geomorfología	16
2.2 Litología.....	18
2.2.1 Rocas Estratificadas.....	18
2.2.2 Brechas Hidrotermales.....	18
2.2.3 Rocas Intrusivas	24
2.2.4 Depósitos no Consolidados.....	31
2.2.5 Estructuras.....	31
2.2.6 Alteración y Mineralización.....	32
CAPITULO 3. GEOQUIMICA DE ROCAS INTRUSIVAS	34
3.1 Geoquímica de Elementos Mayores.....	34
3.1.1 Norma CIPW.....	34
3.1.2 Diagramas Discriminantes. Clasificación y Diferenciación Magmática.....	36
3.1.3 Pérdida por Calcinación.....	38
3.1.4 Diagramas Harker.....	40
3.2 Geoquímica de Elementos Trazas.....	42
3.2.1 Diagrama de variación de Elementos Trazas.....	42
3.2.3 Tierras Raras (REE o <i>Rare Earth Elements</i>)	45
CAPITULO 4. GEOCRONOLOGIA DE ROCAS INTRUSIVAS	48
CAPITULO 5. DISCUSION Y CONCLUSIONES	51
RECOMENDACIONES	58
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	59

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa de ubicación con las principales vías de acceso a Rosario de Rengo.....	4
Figura 1.2 Franja Mioceno superior -Plioceno	9
Figura 1.3 Mapa geológico regional	15
Figura 2.1 Mapa geológico del Yacimiento Rosario de Rengo.....	17
Figura 2.2 Plutones del Mioceno	26
Figura 3.1 Diagrama de clasificación de rocas graníticas según su composición normativa ..	36
Figura 3.2 Diagrama de clasificación TAS para rocas plutónicas.....	36
Figura 3.3 Diagrama de SiO ₂ vs. K ₂ O para series subalcalinas	37
Figura 3.4 Diagrama de Maniar & Piccoli, 1989. A/CNK versus A/NK.....	37
Figura 3.5 Diagrama binario Si ₂ O vs. PPC (pérdida por calcinación).....	38
Figura 3.6 Diagrama binario K ₂ O/ (CaO + Na ₂ O) vs. PPC	39
Figura 3.7 Diagramas Harkers para los elementos mayores vs. SiO ₂	41
Figura 3.8 Diagramas binarios para metales de transición vs. SiO ₂	43
Figura 3.9 Diagramas binarios para los elementos HFS vs. SiO ₂	44
Figura 3.10 Diagramas binarios para los elementos LILE vs. SiO ₂	45
Figura 3.11 Diagrama de REE vs. roca normalizado a condrito.	46
Figura 3.12 Diagrama de REE vs. roca normalizado a manto primordial	47
Figura 4.1 Diagrama de edades para los yacimientos de la franja Mioceno sup-Plioceno	50
Figura 5.1 Edad máxima de mineralización inferida depósito mineral Rosario de Rengo.....	54
Figura 5.2 Diagrama AFM. Discrimina entre serie toleítica y calcoalcalina.	55
Figura 5.3 Diagrama de discriminación adakitas	56

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Resumen con principales características de los complejos de brechas	24
Tabla 3.1 Resultado de análisis geoquímico de las rocas intrusivas de Rosario de Rengo	35
Tabla 4.1 Resultado de dataciones U-Pb en circones de rocas intrusivas Rosario de Rengo ..	48
Tabla 4.2 Recopilación de datos geocronológicos, tomado y modificado de Jerez 2007.....	49

INDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1. Variedades texturales de las rocas constituyentes del Plutón Rosario.....	26
Fotografía 2. Intrusivos granodioríticos a tonalíticos	28
Fotografía 3. Rocas intrusivas porfíricas presentes en el yacimiento.....	30

ANEXOS

Anexo A. Ubicación de las muestras estudiadas	
Anexo B. Descripción petrográfica de cortes transparentes	
Anexo C. Descripción de cortes pulidos	
Anexo D. Norma CIPW	
Anexo E. Dataciones U-Pb	

CAPITULO 1. INTRODUCCION

1.1 Presentación del problema

El prospecto Rosario de Rengo ha sido considerado por distintos autores (ej., JICA, 1983; Enrione, 1991; Thomas, 1995; Cabrera y Vela, 2000) como un yacimiento de cobre – molibdeno, debido a que se reconoce en superficie y a una cierta profundidad un cuerpo de brecha hidrotermal mineralizado con Cu y Mo (mina Rosario de Rengo). Además, las características geológicas del sector y la extensión del área alterada permiten inferir que existe un ambiente geológico propicio para la existencia de un yacimiento del tipo pórfido cuprífero, el cual podría contener recursos minerales importantes desde el punto de vista económico.

En un sistema porfídico la mineralización puede estar en gran medida alojada y/o genéticamente relacionada en uno o más tipos de intrusivos, los cuales durante su cristalización liberan soluciones hidrotermales que alteran y mineralizan las rocas. El propósito de este trabajo es contribuir a la comprensión del proceso de mineralización del yacimiento Rosario de Rengo e intentar definir el intrusivo al que se asocia la mineralización hidrotermal.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General: Determinar la relación entre los intrusivos del yacimiento Rosario de Rengo, en cuanto a su composición mineralógica, carácter geoquímico y edades.

1.2.2 Objetivos Específicos:

- Actualizar la geología del depósito mineral.
- Determinar composición mineralógica de las rocas que constituyen los cuerpos intrusivos

- Caracterizar geoquímicamente las rocas intrusivas del sector.
- Determinar edad de las rocas intrusivas presentes.
- Definir el o los posibles eventos magmáticos a través de la interpretación de los datos geocronológicos.

1.3 Metodología

Para cumplir con los objetivos antes descritos se realizó lo siguiente:

❖ Trabajo en terreno.

Se efectuó un reconocimiento geológico de superficie para la identificación de rocas intrusivas, basado principalmente en el mapa geológico de Grez (1982). Se recolectaron muestras de los distintos tipos de intrusivos presentes en el sector y de las zonas de contacto entre ellos, para realizar cortes transparentes y análisis geoquímicos.

❖ Trabajo de Microscopía.

Con el fin de estudiar la composición mineralógica de las rocas ígneas y presencia de minerales de mena, se realizaron 16 cortes transparentes de rocas de zonas de interés de los intrusivos mapeados en terreno y 4 cortes pulidos a aquellas rocas que macroscópicamente presentan sulfuros o indicios de estos.

❖ Análisis Geoquímico

Se analizaron 11 muestras por elementos mayores (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K y P) elementos trazas (Zn, Co, Ni, Ba, Cr, V, Cu, Sr, Zr, Y, Sc y Hf) y tierras raras (por columnas de intercambio iónico: La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, Yb y Lu). Los datos geoquímicos se obtuvieron, mediante el método analítico ICP-AES (*Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry*) del laboratorio de

geoquímica del *Departamento de Geología de la Universidad de Chile*. Este instrumento es un espectroscopio de emisión atómica que genera plasma por acoplamiento inductivo con límite de precisión en ppm. Con estos datos se obtiene el carácter geoquímico de las rocas constituyentes de los intrusivos de interés.

❖ Dataciones

Debido a la presencia de alteración hidrotermal en el sector se eligió el método de datación radiométrico de U-Pb en circones los cuales poseen temperatura de cierre más alta y son minerales resistentes a los procesos de alteración, con lo cual conoceremos con mayor exactitud la edad de cristalización de los intrusivos datados. Los análisis fueron realizados en los laboratorios de la *Australian National University*, mediante SHRIMP (*Sensitive High Resolution Ion Micro Probe*) que corresponde a una microsonda iónica de alta resolución, con la cual se realizaron análisis puntuales en cada grano (20 a 21 puntos por muestra).

❖ Bibliografía.

Se revisó información acerca de los yacimientos de la misma franja, como apoyo a la interpretación de los datos obtenidos.

❖ Interpretación de la información y discusión.

Fase final que corresponde a la integración de los datos adquiridos en los ítems antes mencionados para determinar objetivo general de este trabajo, a través de la interpretación y discusión de los resultados obtenidos.

1.4 Ubicación y vías de acceso

El sector Rosario de Rengo se ubica en la Cordillera de Los Andes, entre las cotas 2300 a 3100 m s.n.m., en el valle glacial del cajón Manantial Negro, afluente del Río Claro. El sector se localiza a 46 km al este de la ciudad de Rengo a 120 km al Sur de la ciudad de Santiago de Chile y a 40 km en línea aproximadamente recta, al sur del yacimiento El Teniente (pórfido de Cu-Mo), en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. (Figura 1.1)

La vía principal desde Santiago a Rengo es la ruta 5 Sur, luego se continua por una ruta transitable para todo vehículo, por un camino desde Rengo hacia el pueblo de Popeta, desde ahí se toma un camino en dirección al Embalse Laguna Los Cristales, por un camino ripiado y en regulares condiciones, por lo cual se debe utilizar un vehículo apropiado.

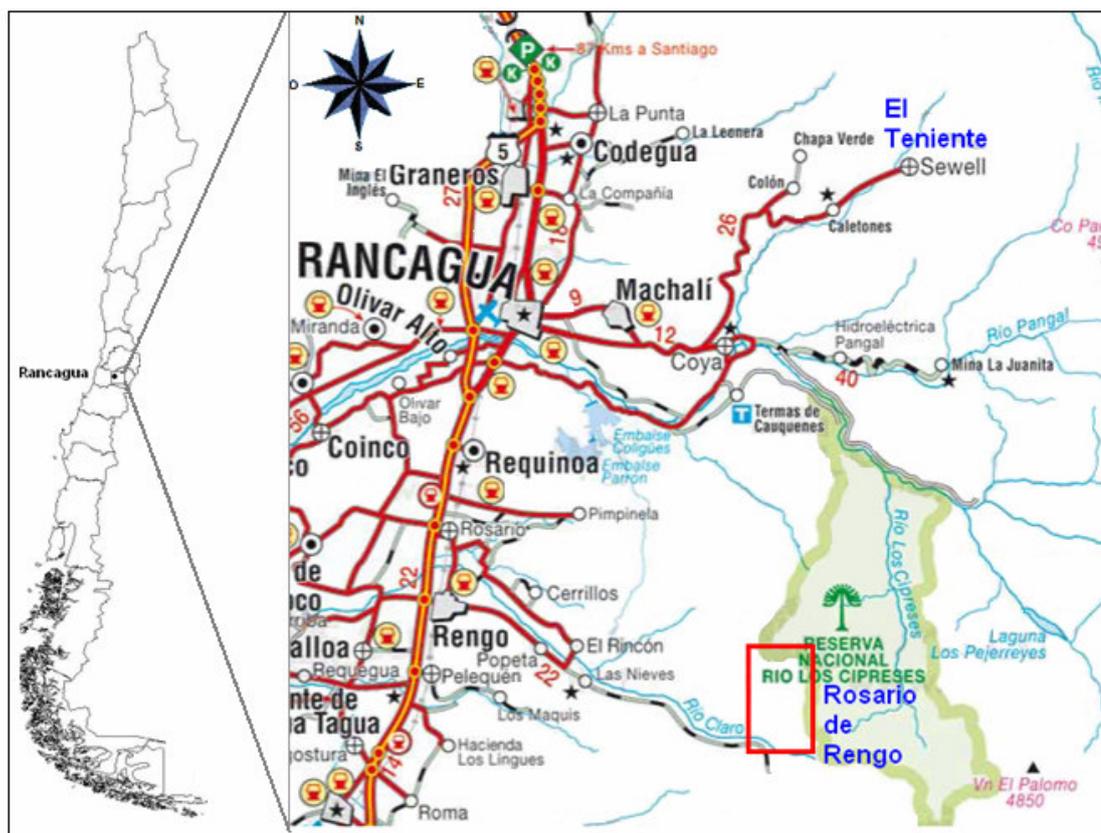


Figura 1.1 Mapa de ubicación con las principales vías de acceso al yacimiento Rosario de Rengo. Cuadro rojo delimita la zona de estudio (www.turistel.cl)

1.5 Historia del Yacimiento

Desde aproximadamente el año 1850, la brecha Rosario (Ver Figura 2.1) comenzó a ser explotada por cobre, de manera parcial por pequeñas labores. También existen antecedentes de algunos trabajos en mineralización vetiforme (Veta Esperanza). Esta actividad continuó esporádicamente hasta que a fines de 1959 se estableció la Sociedad Minera Rosario de Rengo a nombre de Don Enrique Sieveking y en 1960 *Cerro Pasco Corporation* realizó el primer sondaje inclinado cortando a la brecha Rosario, cuyo resultado se desconoce. En 1964 se formó una sociedad mixta entre Sieveking y ENAMI para realizar una campaña de exploración que comenzó con la construcción de los caminos y continuó con la confección de 800 mts de galerías al interior de la Brecha Rosario, cuyos resultados se resumen en el informe de Serrano (1967) e indican una cubicación de 6.000.000 toneladas con 0,64% Cu y 0,03% Mo. A principios de los años 70, con el propósito de construir el Embalse Los Cristales para el riego agrícola, se construyó el túnel que hoy permite el acceso al yacimiento. A partir de 1980 las pertenencias de la Compañía minera pasaron a manos de Don Alfredo Brahm y José Cabrera, quienes con el apoyo económico de CORFO coordinaron la ejecución de estudios geológicos de detalle (ej. Grez, 1982), prospección geofísica (ej. Sepúlveda, 1988), estudios metalúrgicos (ej. INTEC, 1989). Estos estudios se realizaron de manera continua hasta que en 1989 se inició la explotación y producción de la mina Rosario, la cual finalizó ese mismo año por una nevada. En 1990 CORFO llamó a una licitación existiendo a dicha fecha una deuda por parte de los propietarios. Se realizaron estudios con el objetivo de evaluar el interés económico que reviste el proyecto considerando su hipoteca (ej. Enrione, 1991; Millán, 1991 para Banco Edwards, Millán 1993 para ENAMI y Thomas 1995 para ENAMI). Posteriormente finalizó la sociedad entre Brahm y Cabrera, de manera que los problemas legales sumado al factor climático y el difícil acceso al yacimiento paralizaron durante un tiempo las exploraciones geológicas.

Durante el verano del año 2004 - 2005 la empresa *Centenario Copper Corporation*, realizó una campaña de exploración para determinar la calidad y ley del mineral disponible en el yacimiento, lo que determinaría que tipo de explotación comercial se realizaría en un futuro. Realizaron gran parte de los caminos actuales y por lo menos 7 sondajes perforando aproximadamente 2.000 m, de los cuales también se desconocen los resultados. Debido a los problemas legales que presentaban los dueños, la empresa decide dejar en carpeta el proyecto. Actualmente la empresa minera *Compañía Minera del Norte S.A. (COMINOR S.A.)*, es propietaria de aproximadamente 2.000 hectáreas del área de estudio. Durante la temporada de verano del presente año, se ha realizado una campaña de exploración del depósito ejecutando 4 sondajes de diamantina con un total aproximado de 2.000 m perforados y una actualización de la geología.

1.6 Trabajos Anteriores

Los antecedentes geológicos más importantes recopilados de estudios anteriores, corresponden a los siguientes:

SILVA (1966). *Informe geológico Rosario de Rengo* desarrollado en conjunto por el Dpto. de Geología la Universidad de Chile y ENAMI, corresponde al primer informe geológico-geoquímico de Cu y Mo desarrollado en la Brecha Rosario. Sus resultados señalan que existe una concentración de molibdeno que se presenta en cuerpos mineralizados lenticulares en la parte sur del cuerpo brechoso y que existe una gran anomalía de cobre en todo el afloramiento que se presenta de manera diseminada y bastante homogénea.

SERRANO (1967). *Informe Geológico de la Mina Rosario*. Este trabajo fue desarrollado por ENAMI y corresponde a un estudio petrográfico y mineralógico del

complejo de brechas Rosario, incluida la Brecha Rosario, Brecha Pirítica y Brecha Hidrotermal, incluye planos geológicos de estas a escala 1:500 y perfiles.

GREZ (1982). *Geología Minera del Área Laguna Los Cristales*. Es un trabajo que incluye el mejor levantamiento geológico realizado a la fecha a escala 1:10.000 para todo el depósito y de escala 1:500 para las brechas Luisa y Los Cristales, más otros estudios petrográficos y mineralógicos. Plantea la existencia de una zona de alteración interna caracterizada por silicificación y piritización y una zona externa con la asociación epidota cuarzo.

JICA (*Japan International Cooperation Agency*) (1983-1984). *Estudio Geológico y Geoquímico del Sector Los Cipreses*. Hicieron levantamientos geológicos, estudios geofísicos, caracterizaciones mineralógicas y petrográficas y atribuyen finalmente al depósito la calidad de “Pórfido Cuprífero” con una zona potásica en la parte central y una zona marginal propilítica.

SEPULVEDA (1989). *Informe de síntesis geológica del yacimiento Rosario de Rengo*. Presenta en particular la compilación y actualización de la geología a la fecha y su aporte más importante del uso de radiometría como herramienta de prospección. Además, el informe presenta la confección de un perfil geológico interpretativo con dirección NNW que señala y delimita las zonas de alteración del yacimiento, en base al modelo de Pórfido Cuprífero de Lowell y Gilbert. También agrega que las brechas serían “*breccias pipes*” similares a las del yacimiento El Teniente.

ENRIONE (1991). *Informe Geológico del Yacimiento de Cobre y Molibdeno Rosario de Rengo*. Este realiza un levantamiento geológico, estudios petrográficos y compila la

literatura existente llegando a la misma conclusión que el estudio JICA, señalando que el modelo geológico para Rosario, sería el de un “Pórfido Cuprífero”, agregando que considera una porción superior constituida por brechas hidrotermales y una parte inferior donde la mineralización de cobre y molibdeno junto con la alteración estarían zonadas entorno a un pórfido cuarzomonzonítico denominado “*Pórfido Rengo*” la cual presentaría un desarrollo hidrotermal de tipo pórfido cuprífero en cuanto a su mineralización y alteración. En el informe se recomienda la ejecución de un plan de 8 sondajes de diamantina por un total de 4.100 m de extensión, para corroborar su modelo, pero su propuesta nunca se ha realizado en este tiempo.

ALFARO y REYES (1993). *Estudio Diagnóstico Sector Los Cristales Altos y Los Cristales Bajos.* El objetivo de este estudio era revisar el sector Los Cristales, con el fin de desarrollar un modelo geológico que soporte la existencia de manifestación hidrotermal de tipo Pórfido Cuprífero asociado a los cuerpos de brecha hidrotermales existentes en este sector. Los autores señalan que a primera vista el sistema de alteración y mineralización presente en el área corresponden a un sistema hidrotermal pirítico, con desarrollo de vetillas hidrotermales sin cuarzo, no relacionado a un sistema pórfido cuprífero y dejan propuesto que para descartar esta posibilidad se requiere un mapeo de detalle con la zonación de sulfuros, muestreo geoquímico y estudio de limonitas entre otros.

THOMAS (1995). *Prospecto Cristales Alto y Bajo- Rengo. Evaluación Geológica de Superficie.* Este trabajo consiste en un análisis litológico, estructural, de alteración hidrotermal, mineralógico y geoquímico del sector Los Cristales. Los resultados permiten asimilar el prospecto a un pórfido cuprífero y definen como sectores de interés la zona de Cristales Bajos y la parte central del valle.

CABRERA y VELA (2004) *Información Geológica. Proyecto Rosario de Rengo*
 Informe preparado para la empresa *COMINOR S.A.* se basa en los antecedentes disponibles a la fecha más trabajo de terreno cubriendo todos los complejos de brecha y la zona de alteración presente en el área. Según los autores en el sector se presentan todas las condiciones geológicas para la existencia de un pórfido cuprífero.

1.7 Marco Geológico Regional

1.7.1 Franja Mioceno superior-Plioceno

La posición geográfica del yacimiento Rosario de Rengo, lo sitúa dentro de la franja metalogénica Mioceno superior – Plioceno, la cual se reconoce en los Andes de Chile Central, por aproximadamente 400 km entre las localidades de Illapel y San Fernando (Camus, 2003; Figura 1.2).

En esta franja se ubican los megayacimientos de pórfidos de Cu-Mo de Chile, y el mundo (Los Pelambres, Río Blanco-Los Bronces y El Teniente). De manera que este depósito podría ser potencialmente el más austral de los económicamente explotables.

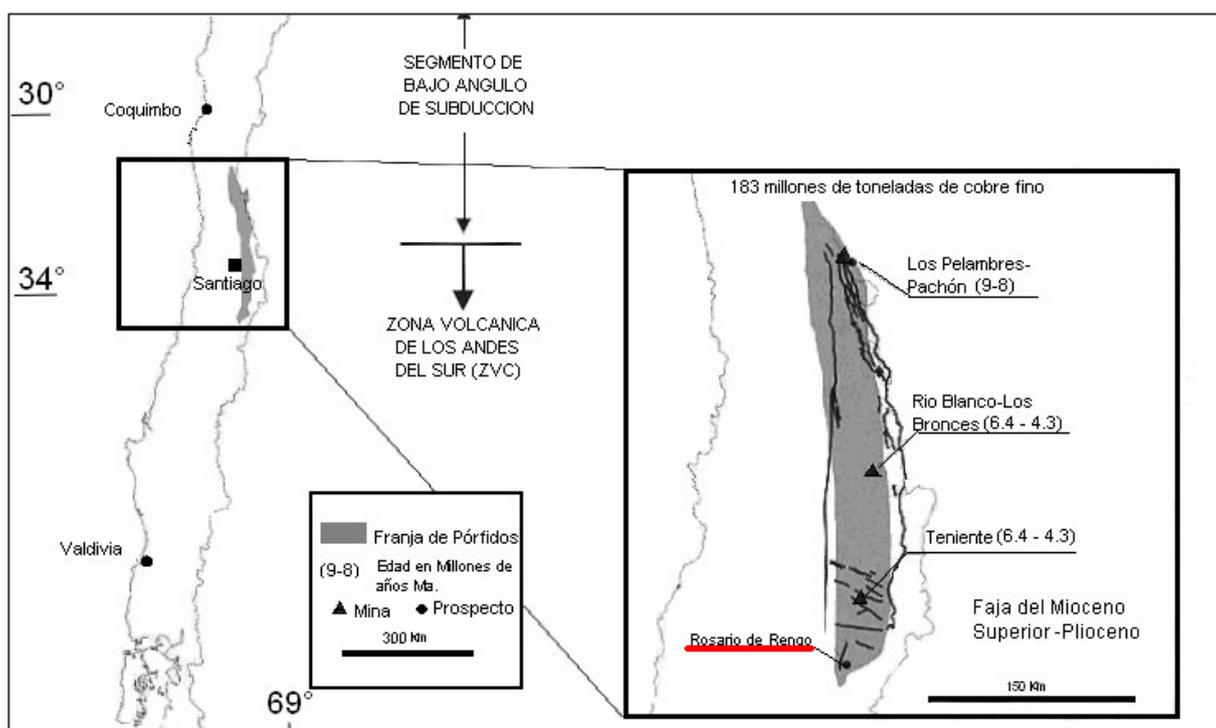


Figura 1.2 Modificado de Camus (2003), señalado con línea roja la ubicación de Rosario de Rengo dentro de la franja Mioceno superior -Plioceno

En general el magmatismo de los Andes Centrales entre los 33°-35° según Makshev et al. (2003), se habría desarrollado en una etapa de engrosamiento cortical y alzamiento tectónico correspondientes a pulsos compresivos de la Fase Quechua (*Mioceno*) y Fase Diaguita (*Plioceno*). Skewes y Stern (1994) han propuesto que producto del rápido alzamiento y exhumación de sistemas plutónicos profundos o porfídicos en este ambiente habrían dado como resultado la exsolución de fluidos magmáticos transportadores del elemento cobre, los cuales habrían causado brechización y mineralización de pórfidos cupríferos gigantes de Cu y Mo, en esta zona.

1.7.2 Rocas Estratificadas

Estos megayacimientos se emplazan en una potente secuencia volcano-sedimentaria Oligocena superior-Miocena, de varios miles de metros de espesor, que se habrían acumulado en una cuenca extensional formada en el Oligoceno tardío (cuenca de Abanico; Charrier et al., 2003), limitada al Este y Oeste por fallas de alto ángulo (Camus, 2003) y que fue invertida en el Mioceno por la tectónica compresiva. Estas rocas estratificadas corresponden a las Formaciones Coya Machalí y Farellones, las cuales presentan entre ellas una discordancia progresiva (transgresiva en el tiempo) entre ~ 20 y 16 Ma.

1.7.2.1 Formación Coya Machali

(Oligoceno superior-Mioceno inferior; Charrier et al., 1996)

Con el nombre de Formación Coya Machalí designó Klohn (1960) a los estratos que se extienden por las serranías de rumbo norte entre los pueblos de Coya y Machalí y que corresponden a 4000 m de depósitos volcanoclasticos y lavas con intercalaciones sedimentarias lacustres. Esta unidad se distribuye en dos franjas de dirección NS las

cuales se encuentran separadas por la Formación Farellones (Charrier et al., 1994). Ambas franjas subyacen en discordancia angular a la Formación Farellones. La parte superior de la Formación Coya Machalí es correlacionable con la Formación Abanico. Entre los 19-18 Ma esta formación fue plegada, alzada y erosionada y sobre ella se depositó la Formación Farellones. (Camus, 2003)

1.7.2.2 Formación Farellones

(Mioceno, Nyström et al., 2003)

La denominación “Formación de los Farellones” fue propuesta verbalmente por Muñoz Cristi (1953), se dispone en una franja de orientación NS en la Cordillera Principal, que separa a las dos franjas de la Formación Coya Machalí. Corresponde a una secuencia volcánica y continental de más de 2400 m de espesor, que consiste en lavas y unidades piroclásticas, de composición andesítica basáltica, andesita y riodacita, que descansan en forma discordante o concordante, sobre la Formación Coya Machalí en función de su ubicación dentro de la cuenca (Camus, 2003).

1.7.3 Rocas Intrusivas

A escala regional en la zona de los megayacimientos de esta franja, se aprecian numerosos intrusivos con edades que varían entre los 4,6 a 21,6 Ma. Las unidades intrusivas comprenden cuerpos plutónicos e hipabisales que corresponden principalmente a granodioritas, pórfido dioríticos-andesíticos, monzonitas, monzodioritas y pórfidos dacíticos. Las rocas que afloran en el área se distribuyen según una alineación de dirección aproximada NS, intruyendo a las Formaciones Coya Machalí y Farellones (Charrier, 1981). Entre ellos se encuentra el complejo Los Pelambres-El Pachón, el Batolito San Francisco (20-8 Ma, Rivera y Navarro, 1996; 15-12 Ma (U-Pb) medida en la cercanía del yacimiento Río Blanco-Los Bronces;

Deckart et al., 2005; Deckart et al., 2006) y el complejo Plutónico El Teniente (12-7 Ma; Kay y Kurtz, 1995; 6-4 Ma. MaksaeV, 2004).

1.7.4 Estructuras

Las estructuras mayores son de rumbo N-S, Falla Pocuro ó San Ramón por el oeste y Chacayes-Yesillo y El Fierro por el este. Estas fallas se han interpretado como fallas normales que limitaban la cuenca volcano-sedimentaria de Abanico (Camus, 2003) y que fueron invertidas luego durante la compresión del Mioceno-Plioceno. Hacia el este hay una faja plegada y corrida que se extiende desde la parte más oriental de Chile y sobretodo en Argentina (Faja Plegada y Corrida del Aconcagua).

Dentro del bloque de la Cordillera Principal entre las fallas NS Pocuro y El Fierro, existe una serie de fallas menores de rumbo NW y NE, que también fueron normales y posteriormente reactivadas con movimientos de cizalle e inversos.

Los ejes de pliegues muestran un rumbo general aproximadamente NS (Klohn, 1960), en las proximidades del río Cachapoal, el plegamiento fue más intenso, expresándose en la existencia de varios pliegues, algunos de ellos isoclinales.

1.8 Marco Geológico Local

El sector estudiado se localiza en la región de los Andes Centrales Sur. Rosario de Rengo se ubica en la pendiente occidental de la Cordillera Principal, donde existe un gran predominio del magmatismo calco-alcalino Cenozoico. (Cabrera y Vela, 2000) (Figura 1.3)

1.8.1 Rocas estratificadas

Las rocas estratificadas reconocidas en el sector tienen edades fundamentalmente Miocénas y corresponden a la Formación Coya Machali y Farellones. La Formación Coya Machalí y sus afloramientos se encuentran plegados, corresponden principalmente a lavas y menor presencia de conglomerados, areniscas, limonitas y margas. Se distribuye por toda la parte Central del área entre El Teniente y la mina Rosario (Cabrera y Vela, 2003).

Por otra parte la Formación Farellones corresponde a coladas de lavas andesíticas y andesítico-basálticas, en algunos casos porfíricas, otras afaníticas porosas y con texturas fluidales. Presentan intercalaciones de tobas cristalinas y de lapilli, y en algunos lugares se reconocen cuerpos de brechas volcánicas. Sus afloramientos se extienden en sentido NS a lo largo del río Los Cipreses y las capas presentan poca deformación y disposición subhorizontal (Charrier, 1983).

1.8.2 Rocas Intrusivas

Consisten en cuerpos intrusivos, plutónicos e hipabisales de composiciones y dimensiones variadas, que generalmente afloran al este de la Zona de Falla Pocuro, intruyendo hasta las formaciones miocenas (Rivera y Falcón, 1998). En general los afloramientos de rocas intrusivas poseen una mínima expresión superficial y se distribuyen según una alineación de direcciones aproximadas NS, evidenciando un control tectónico de emplazamiento y afectando principalmente a las formaciones Coya Machalí y Farellones. (Gómez, 2001)

Se han definido tres grupos de plutones neógenos en la zona cordillerana entre los paralelos 34 y 35° S (Kurtz et al., 1997). El más antiguo y más occidental, está representado por el

plutón La Obra, con edades que varían entre 16 a 20 Ma (Kurtz et al, 1997). El segundo conjunto (Complejo Plutónico El Teniente), ubicado más al este, está formado por una familia de plutones que se agrupan en dos subgrupos, con edades entre los 11-12 Ma y 8-9 Ma (Kurtz et al, 1997; Deckart et al., 2005; Deckart et al., 2006). Un tercer grupo de plutones (Complejo Plutónico Joven), ubicado hacia el oeste del anterior, se caracteriza por edades de 6,6 a 4 Ma. (Maksaev, 2004). Sus patrones de tierras raras y sus razones isotópicas son consistentes con un emplazamiento en una corteza engrosada tectónicamente por la deformación del Mioceno tardío. (Rojas, 2003; Gómez, 2001; Kay et al., 2005).

Dentro de los plutones reconocidos dentro de esta zona, también se encuentra el denominado Plutón Rosario, éste junto al Complejo Plutónico El Teniente, pues ambos desarrollan en su contacto con la roca de caja (Fm. Farellones) aureolas de alteración (Cabrera y Vela 2003).

Los cuerpos menores cercanos a Rosario corresponden a cuerpos hipabisales de pórfidos generalmente de composición tonalítica a dacítica y diques de composición andesítica (Cabrera y Vela, 2003). En el sector cercano al yacimiento El Teniente se destacan cuerpos de composición diorítica (Ej. Diorita Sewell) y cuerpos dacíticos.

1.8.3 Depósitos no consolidados

Abundan en los valles del río Cachapoal, río Cipreses y en la llanura aluvional del valle central. Corresponden a sedimentos fluviales, lacustres y glacio-fluviales formados por gravas, arenas y arcillas. Los depósitos glaciares están representados por morrenas terminales y de fondo. En muchos lugares se observan materiales de derrumbes de laderas de las montañas y salidas de las quebradas principales a los valles principales (Cabrera y Vela, 2003)

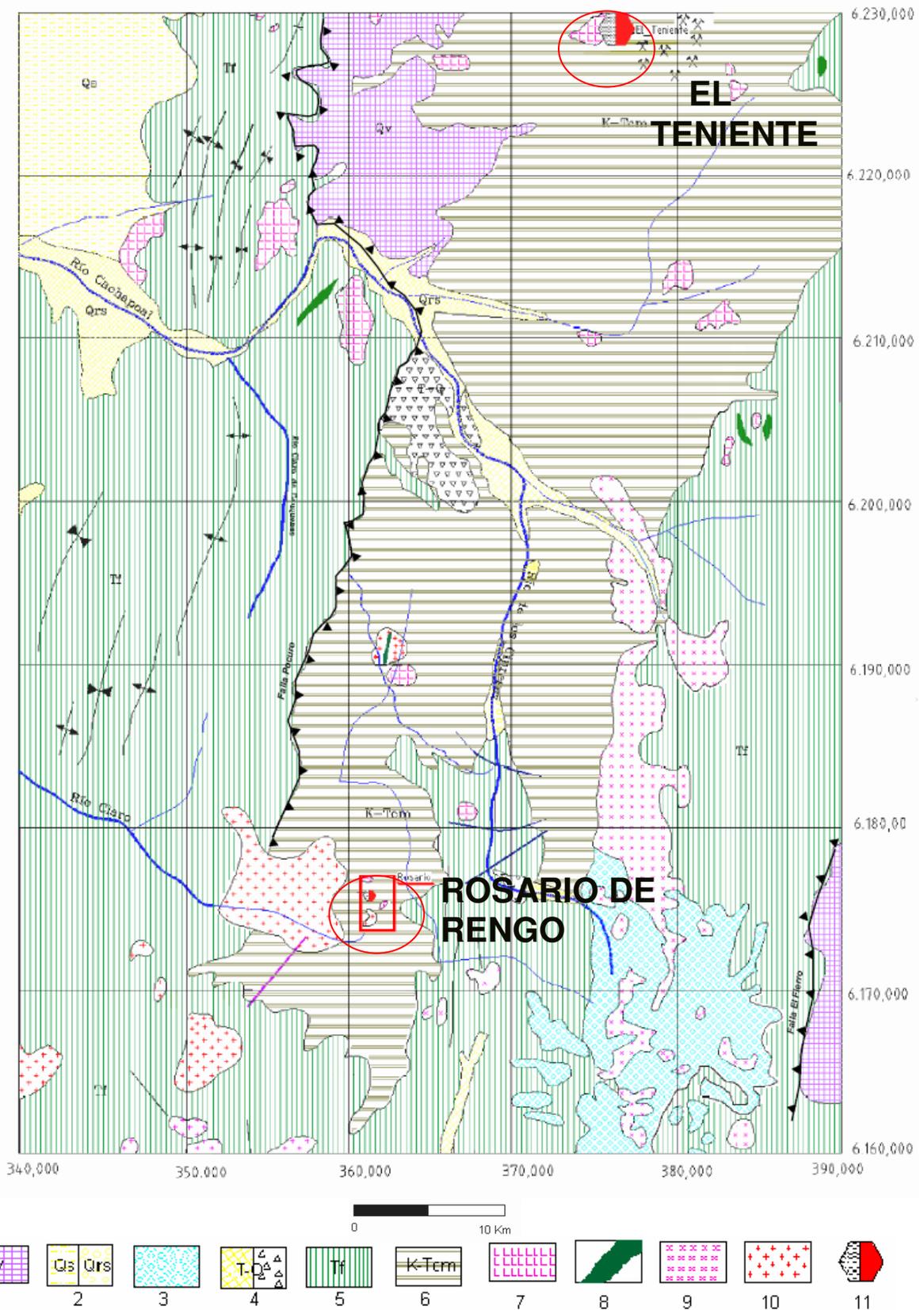


Figura 1.3 Mapa geológico regional ref. Charrier, 1983, tomado y modificado de Cabrera y Vela, (2000). (1) Plioceno-pleistoceno, lavas andesíticas riolíticas y lahares (2) Cuaternario, Qs: depósitos no consolidados, Qrs: depósitos de cauces indiferenciados (3) Glaciares (4) Plioceno superior – Pleistoceno, T: sedimentos de origen glacial, Q: depósito fluvio-glacial y morrenas (5) *Formación Coya Machalí*, Oligoceno superior-Mioceno Superior. Volcánico continental (6) *Formación Farellones*, Mioceno medio-superior. Volcánico continental (7) Mioceno superior. Cuerpos de pórfido dacíticos tonalíticos y de brechas intrusivas con turmalina. (8) Mioceno superior. Cuerpos hipabisales y diques andesíticos (9) Mioceno. Intrusivos tonalíticos-granodioríticos (10) Paleógeno-Neógeno. Plutones de granodioritas (11) Yacimientos de Cu-Mo: El Teniente y Rosario.

CAPITULO 2. GEOLOGIA DEL YACIMIENTO ROSARIO DE RENGO

El sector de Rosario de Rengo se encuentra ubicado en las coordenadas geográficas 70° 31' longitud Este y 34° 33' latitud Sur, presenta un área de afloramientos entre los 2300 a 3000 m.s.n.m. La mineralización de Cu-Mo se emplaza en rocas volcánicas e intrusivas de edad cenozoica. Las rocas volcánicas han sido asignadas a la Formación Farellones del Mioceno (Cabrera y Vela, 2000).

Esta caracterizado por la presencia de brechas hidrotermales con matriz de turmalina con cobre y molibdeno, ubicadas en una zona de contacto entre un complejo intrusivo granodiorítico, con fases tardías porfíricas que cortan a la formación volcánica continental de la Formación Farellones. (Figura 2.1)

2.1 Geomorfología

El área se encuentra localizada en el flanco occidental de la Cordillera de los Andes, específicamente dentro de la hoya hidrográfica del Río Claro. El sector se destaca por presentar un relieve abrupto debido a una intensa erosión glacial. De esta manera existen profundos valles de fondo relativamente plano y paredes muy inclinadas a verticales. En las partes altas del valle hay circos glaciales y los cordones montañosos presentan cumbres muy agudas. En el área se forma una laguna o embalse producto de una barrera natural formada por una morrena terminal, se observa el glaciar que desemboca a esta laguna desde el este. En el área hay morrenas y abundantes escombros de falda y relleno fluvio-glacial. (Enrione, 1991; Cabrera y Vela, 2001).

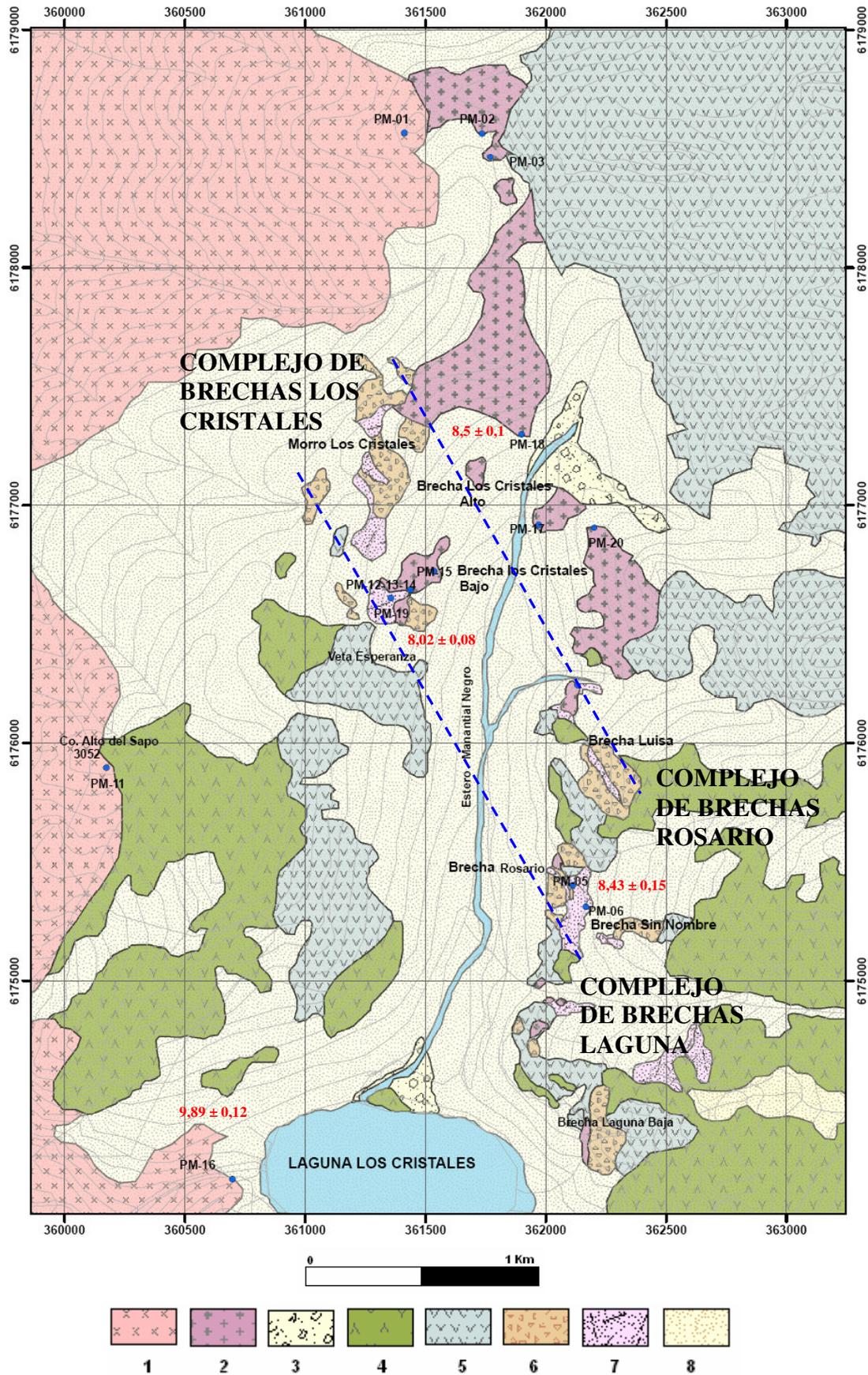


Figura 2.1 Mapa geológico del Yacimiento Rosario de Rengo, realizado en base a la geología de Grez, 1982. (1) Granodiorita, Plutón Rosario (2) Stock Granodiorítico-Tonalítico (3) Depósitos morrénicos (4) Brecha volcánica y toba andesítica (miembro inferior y medio de Formación Farellones) (5) Rocas volcánicas indiferenciadas (6) Brechas Hidrotermales (7) Cuarzomonzodioritas porfíricas y diques andesíticos-dacíticos (8) Relleno aluvial y depósitos gravitacionales

2.2 Litología.

La descripción de las unidades litológicas presentes en el área de estudio es la siguiente:

2.2.1 Rocas Estratificadas

En el área se observan lavas, brechas y tobas de carácter andesítico-basáltico de la Formación Farellones, esta unidad el sector del El Teniente se divide en tres miembros de características locales (Rojas, 2003). En resumen las características asignadas para cada miembro son las siguientes:

- *Miembro inferior*, aloja la mayor cantidad de mineralización y presenta un predominio de lavas andesíticas-basálticas
- *Miembro medio* compuesto de una alternancia de capas volcánicas andesíticas e intercalaciones de rocas sedimentarias lacustres.
- *Miembro superior* se compone de flujos andesíticos y basálticos con intercalaciones de piroclastos y aglomerados volcánicos.

Enrione (1991) señaló que el yacimiento Rosario de Rengo se habría emplazado en los miembros inferior y medio.

2.2.2 Brechas Hidrotermales

En la parte superior del depósito se han desarrollado a lo menos tres complejos de brechas hidrotermales, distribuidas en una franja de 3 Km de longitud por 0,5 Km de ancho en dirección NNW (Enrione, 1991; Cabrera y Vela, 2000) (Figura 2.1)

Estas brechas se emplazaron en una estructura regional NS a NNW y se encuentran en el flanco oriental y occidental del valle del río Manantial Negro. Tienen formas elípticas con su eje mayor orientado N a NNW y sus dimensiones varían entre 0,5 Km y 1 Km de longitud

por 0,5 Km de ancho. En general sus contactos con la roca caja son abruptos y verticales a subvertical, delimitado por fallas. (Enrione, 1991; Cabrera y Vela, 2000)

A continuación se da una descripción de las brechas hidrotermales presentes en el depósito, de cada uno de los complejos, basada en observaciones de terreno y lo descrito por Enrione (1991) y finalmente se presenta un resumen de las principales características correspondientes a los tres complejos de brecha (Tabla 2.1)

-Complejo de Brechas Rosario. Este complejo comprende: la Brecha Rosario, Brecha Pirítica, Brecha Sin Nombre, Brecha Luisa y Brecha Hidrotermal, todas emplazadas en andesitas de la formación Farellones. Cubren un área de 1 Km por 0,5 Km con orientación aproximada NS y se ubican en la ladera oriental del Manantial Estero Negro. En el sector entre las brechas Sin Nombre y Rosario se emplaza un pórfido cuarzomonzodiorítico a granodiorítico.

Las brechas Rosario, Sin Nombre y Luisa son similares en mineralización y alteración, contienen clastos angulosos de andesitas, tonalita y escasos de granodiorita, en su mayoría propilitizados, de tamaños hasta mayores a 1 m, en la matriz se reconocen clastos subangulosos a subredondeados más finos afectados parcial o totalmente por alteración cuarzo-sericita. La diferencia entre estas brechas radica en las características de la matriz y el grado de mineralización. A continuación se detallan las principales características de cada una de las brechas de este complejo.

Brecha Rosario. De forma elíptica en superficie con su eje mayor de 200 m y su eje menor de 100 m aproximadamente, limita al sur con la brecha Pirítica al este con un stock tonalítico y al norte con la brecha hidrotermal. Se emplaza en rocas andesíticas de la Fm. Farellones. Es clastosoportada, en su matriz presenta minerales oxidados de cobre (malaquita

y crisocola principalmente) cuarzo, feldespato potásico, sericita y menor muscovita, turmalina y calcita y sus clastos corresponden a andesitas, pórfido cuarzomonzodiorita y granodiorita. Los sulfuros predominantes son calcopirita, molibdenita, menor pirita, calcosina y covelina. A nivel superficial esta meteorizada y se encuentra fuertemente lixiviada, con abundante arcilla y boxworks con restos de sulfuros parcial a totalmente limonitizados y cuarzo secundario cristalizado. Existen zonas con abundante feldespato potásico, molibdenita y zonas con calcopirita por sobre el 5% en volumen. La brecha se encuentra intruída por un dique dacítico de dirección NNW y en su contacto se aprecia un aumento de la ley de cobre; sin embargo la distribución de la mineralización es bastante homogénea. Según las labores antiguas que se han realizado en esta brecha y por un sondaje realizado por la compañía minera *COMINOR S.A.* se pueden reconocer por lo menos 300 m en la vertical de mineralización y se estima que esta brecha tendría forma de embudo o chimenea de brecha.

Brecha Sin Nombre. Limita al oeste con un pórfido cuarzomonzodiorítico y hacia el este con andesitas de la formación Farellones. Se emplaza en andesitas de la Fm Farellones. Es clastosoportada y sus fragmentos son iguales a los de la brecha Rosario La matriz la constituyen cuarzo, feldespato potásico, sericita, clorita y escasa turmalina. La calcopirita y pirita se encuentran totalmente limonitizadas en superficie. También se encuentra intruída por un dique dacítico emplazado en el borde Este que contiene mineralización diseminada de calcopirita, pirita y bornita.

Brecha Hidrotermal. Inmediatamente al NE de la Brecha Rosario y corresponde a andesita y pórfido completamente alteradas a cuarzo-sericita, es matriz soportada y a pesar de lo pervasivo de la alteración se observan clastos angulosos centimétricos alterados y restos de andesita y de tonalita frescas

Brecha Pirítica. Esta rodea a la brecha Rosario en su flanco Sur Oeste y emplaza en andesita y tonalita. Formada por clastos centimétricos angulosos a redondeados de andesitas principalmente, parcial a totalmente alterados a cuarzo-sericita, clorita y caolín, es clastosoportada y sus clastos se encuentran englobados en un cemento de cuarzo, muscovita, turmalina y minerales de arcilla. El sulfuro predominante es pirita, que se encuentra muy limonitizada a nivel superficial. El contacto con la brecha Rosario es abrupto a gradacional.

Brecha Luisa. Se encuentra a alrededor de 100 m. al noreste de la brecha hidrotermal. Se encuentra emplazada en andesitas y brechas volcánicas de la Formación Farellones. Posee forma elíptica en dirección NNW con un eje mayor de 300 m y el menor de 200 m. Es clastosoportada, sus clastos son angulosos y corresponden al igual que las anteriores a andesitas y pórfido. La mineralización es principalmente calcopirita, pirita y molibdenita con cantidades menores de magnetita, además se observan malaquita, crisocola y escasa azurita, la alteración y tipos de matriz o cemento, no varía con respecto a las brechas antes mencionadas. La principal característica es el incremento de turmalina en la matriz de esta brecha y una pseudoestratificación de sus fragmentos hacia el SW con rumbo NW. Está en contacto con falla vertical de rumbo NW y andesitas estratificadas al SW. Se encuentra, cortada por un dique de composición dacítica de 5 a 30 metros de espesor de rumbo NW con mineralización diseminada de calcopirita, pirita y escasa bornita además posee una alteración potásica. La Brecha se encuentra cortada por falla NE de gran extensión con desplazamientos verticales.

- **Complejo de Brechas Los Cristales.** Agrupa a las brechas Cristales Alto, Cristales Bajo y Brecha Ignacia. Cubren un área de 1 Km por 0,5 Km de ancho y se encuentran en la ladera occidental del valle del río Manantial Negro, formando parte del Morro Los Cristales. A continuación se describen las brechas que conforman este complejo.

Brecha Los Cristales Bajo. Se ubica a 200 m al SE del Morro Los Cristales, presenta forma elíptica con 120 m de largo por 80 m de ancho. Se emplaza en la granodiorita y en la tonalita. Es cortada por un dique dacítico. Es matriz soportada y contiene clastos angulosos de intrusivos de tamaño principalmente centimétricos intensamente alterados a cuarzo-sericita en un matriz silicea con sericita, calcopirita, piritita. La zona que rodea a esta brecha presenta un stockwork de vetillas de cuarzo-hematita tanto en los intrusivos como en las rocas volcánicas y se encuentra fuertemente lixiviada.

Brecha Los Cristales Altos. Aflora en la parte superior del Morro Los Cristales, también presentan una forma elíptica con eje mayor de 900 m y 100 el menor, se emplaza en las mismas rocas que la brecha antes mencionada. Sus afloramientos presentan una orientación NS a NNW. Está cortada por un dique dacítico. Es matrizsoportada y los fragmentos de la brecha son angulosos y de tamaños variables, se encuentran muy alterados a cuarzo-sericita y están englobados en una matriz de cuarzo, sericita, escasa turmalina y escaso feldespató potásico. Su mineralización corresponde a calcopirita, piritita y escasa molibdenita. Se destaca por la presencia de drusas de cuarzo con cristales bien desarrollados tipo “diente de perro” y también cuarzo oqueroso. Esta brecha presenta la alteración cuarzo-sericitica del depósito. Esta cortada por una falla de rumbo NW.

Brecha Ignacia. Se dispone en el flanco occidental del Valle y se reconoce un afloramiento de 60m de largo y 40m de ancho. Es matrizsoportada y contiene fragmentos de andesita propilitizados sobre 0,5 m. y tonalita de tamaños centimétricos, englobados en una matriz de clastos centimétricos alterados a sericita y cuarzo, caolín y turmalina. Los sulfuros que predominan son calcopirita, arsenopirita, molibdenita y piritita. Es muy similar a la Brecha Rosario, pero con menor contenido de calcopirita y feldespatos potásicos. En superficie presenta fuerte lixiviación con presencia de boxworks. Hay crisocola, malaquita y calcosina en vetillas

-Complejo de Brechas Laguna

Brecha Laguna Alta. Se encuentra a unos 350 m al sureste de la Brecha Rosario y sus afloramientos son de formas irregulares cubriendo un área circular de 180 m. de diámetro. Se emplaza en un stock tonalítico de forma tabular. Sus clastos son de andesita y tonalita angulosos entre 0,5 y más de 1 metro englobados en una matriz de clastos centimétricos alterados a sericita con un cemento de cuarzo, turmalina, biotita y sulfuros, entre los cuales se reconoce calcopirita, piritita y molibdenita.

Brecha Laguna Baja. Corresponde a la brecha ubicada más al Sur y se encuentra al NE de la ribera oriental del embalse Los Cristales. Tiene una forma elíptica de 120 m por 80 m. Esta hospedada en andesitas y brechas volcánicas de la Formación Farellones. Contiene clastos de andesita subangulosos a redondeados. Muestra un recubrimiento lixiviado muy débil.

Tabla 2.1 Resumen con principales características de los complejos de brechas presentes en el depósito mineral Rosario de Rengo



2.2.3 Rocas Intrusivas

Las rocas intrusivas ocupan gran parte del área de estudio y corresponden a cuerpos intrusivos de carácter intermedio a ácido, con texturas faneríticas a porfíricas, emplazadas como plutones, stock y diques.

2.2.4.1 Rocas Plutónicas

Plutón Rosario

Se ubica en la confluencia de los Ríos Claro de Rengo y Tapado, cubre gran parte del área occidental y sur de la región de estudio, corresponde a una macizo granodiorítico de aproximadamente 45 Km². Su contacto con las rocas volcánicas de la Formación Farellones es claramente intrusivo y produce un metamorfismo de contacto con la formación de rocas corneas, esta acompañado por un intenso fracturamiento y fallamiento de estas (Enrione, 1991). Charrier (1983) menciona una edad K-Ar

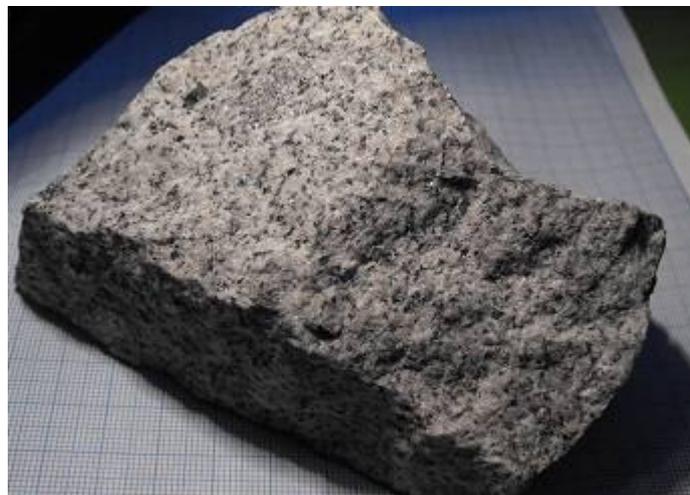
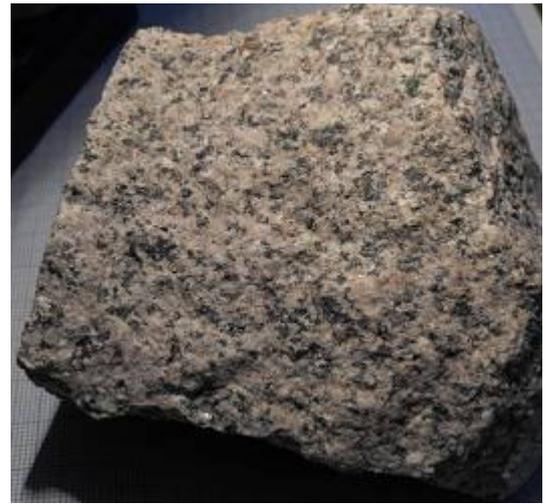
radioisotópica de 9 ± 4 Ma, mientras que Kurtz et al. (1997) obtuvo una edad $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en hornblenda de $16,2 \pm 1,2$ Ma, de manera que este plutón, que es el de mayores dimensiones en el área, formaría parte de los plutones miocenos de la zona central (Figura 2.2) y probablemente se trata de un plutón compuesto.

Petrografía

Granodiorita a Monzogranito de anfíbola. Corresponde a una roca de color claro que posee como mineral ferromagnesiano principal la anfíbola. Su textura es fanerítica inequigranular y la forma de sus cristales varían de alotromórficos a hipidiomórficos, es una roca holocristalina y algunos de sus cristales presentan textura poikilitica, presenta un grano medio ($< 0,5$ mm a 2 mm), salvo una variedad más fina (PM-01). Sus plagioclasas en su mayoría se encuentran zonadas y una porción de ellas presentan textura sieve y otras presentan textura pertítica. El feldespato potásico es principalmente ortoclasas con escasa sanidina y microclina. Se reconocen hornblenda y menor actinolita, además biotita oxidada y alterando a las anfíbolas. Estas rocas presentan silicificación y biotitización débil. Corresponden a las muestras PM-01, PM-11 y PM-16



Figura. 2.2 Plutones del Mioceno, señalado con rojo la ubicación del Plutón Los Cristales. Tomado de Maksaev et al. 2003



Fotografía 1. Variedades texturales de las rocas constituyentes del Plutón Rosario

2.2.4.1.2 Stocks Tonalíticos a Granodioríticos.

Estos poseen formas irregulares, cortan tanto a las rocas volcánicas como al plutón y se distribuyen en sentido NNW, siguiendo una estructura de carácter regional, observable en el flanco oriental del valle Manantial Negro. Poseen variación textural de fanerítica a porfíricas y son de composición tonalítica a granodiorítica (Fotografía 2).

Petrografía

Son rocas leucocráticas de textura fanerítica media, según el mineral máfico predominante se pueden clasificar en dos subgrupos:

Granodiorita de Biotita. Es una roca holocristalina de textura inequigranular y según el desarrollo de sus cristales varía de alotrófica a hipidiomórfica. El cuarzo se presenta anhedral recristalizado y con extinción ondulosa debido a strain. Las plagioclasas se encuentran en su mayoría zonadas, con macla polisintética y peritita, fracturadas y con textura sieve presentando inclusiones menores, entre ellos destaca el circón, una porción de ellas presentan bordes de crecimiento. Feldespato potásico se manifiesta como microclina y ortoclasas subhedrales zonadas. Ambos minerales félsicos se encuentran débilmente alterados con sericita y arcilla. La biotita se encuentra formando cúmulos, diseminada y como microcristales rodeando biotitas mayores, algunas de ellas encuentran oxidadas y cloritizadas, puntual vetillas semirectas y biotita hexagonal. Finalmente este campo presentaría una alteración potásica y silicificación moderada, además de cuarzo sericita débil. Corresponden a las muestras PM-09, PM-13 y PM-15.

Granodiorita de Anfíbola. Estas rocas holocristalinas varían su textura de inequigranular a porfirica, presenta una variedad de grano muy fino (PM-18), generalmente panidiomórfica y cumulofídica. El cuarzo se presenta anhedral, presenta un fuerte extinción ondulosa y se encuentra entrecrecido junto a plagioclasa y feldespato. Las plagioclasas, presentan macla polisintética, la gran mayoría de ellas se encuentran zonadas y se disponen en cúmulos, algunas presentan bordes con textura mirmequitica y se encuentran fracturadas. El feldespato potásico de forma subhedral se presenta como ortoclasa y microclina zonados. Destacan tremolita subhedral con incipiente alteración a biotita y se observan algunas porciones de hornblenda menores. Se observa biotita fracturada y diseminada y clorita afectando al anfíbol. La alteración principal es una biotitización muy débil. La variedad mas porfirica presenta tremolita actinolita fina en la masa fundamental junto a biotita. Corresponden a esta variedad las muestras PM-03, PM-17 y PM-18.



Granodiorita-Tonalita de Biotita



Granodiorita-Tonalita de Anfíbola

Fotografía 2. Intrusivos granodioríticos a tonalíticos

2.2.4.1.3 Pórfidos

Estos afloramientos son irregulares a tabulares en superficie de dimensiones menores, existen tres tipos:

Pórfido cuarzomonzonítico

Este aparece mencionado en la literatura, pero durante la campaña no fue observado, la razón sería que tiene una escasa distribución areal la cual debe haber quedado cubierta por escombros de faldas. Es llamado por algunos autores como el *Pórfido Rengo* y corta a las rocas volcánicas, al plutón y a los stocks, muestra mineralización de cobre y molibdeno acompañada por alteración hidrotermal potásica y fílica. Enrione (1991) señala que este pórfido por su mineralización y alteración podría corresponder al intrusivo más importante del depósito y tendría su mayor extensión y efecto mineralizador en profundidad.

Porfidos dacíticos

Corresponden a diques que se encuentran cortando a las brechas hidrotermales presentes en el sector y a los intrusivos antes mencionados, sus afloramientos tienen rumbo preferente NNW. Presentan a alteración potásica, con escasa mineralización diseminada de pirita, calcopirita y escasa bornita. Estos intrusivos no fueron incluidos en el estudio, pero al estar estos diques mineralizados y asociados espacialmente a las brechas podrían tener relación con los procesos hidrotermales.

Pórfido cuarzomonzodiorítico

Tiene una gran distribución areal, en especial en el sector cercano Brecha Cristales Altos (Fotografía 3).

Petrografía

Corresponden a rocas holocristalinas porfíricas, de textura inequigranular, hipidiomórfica y pilotaxítica pues contienen una masa fundamentalmente compuesta por microlitos de plagioclasas con una pseudorientación. Las plagioclasas presentan textura sieve, sus borde están corroídos y se encuentran fuertemente alteradas a sericita y arcilla, forman cúmulos junto a feldespato ortoclasa y cuarzo anhedral. Presenta esqueletos de minerales máficos completamente cloritizados. También se presentan cristales finos de biotita diseminada. Corresponden a este grupo las muestras PM-05 y PM-06. La masa fundamental aparece como un agregado recrystalizado de cuarzo y feldespato, de manera que posee una moderada alteración potásica. Y además estas rocas a diferencia de las anteriores solo presentan escasos esqueletos máficos de anfíbol y biotita cloritizados



Pórfido cuarzomonzodiorítico Rosario



Pórfido cuarzomonzodiorítico Los Cristales

Fotografía 3. Rocas intrusivas porfíricas presentes en el yacimiento

2.2.4 Depósitos no Consolidados

Depósitos Glaciales. Constituidos por acumulaciones de grandes bloques de rocas con cantos subangulosos y a veces con estrías. Estos depósitos se observan en el fondo del Estero Manantial Negro y localmente en los flancos del valle constituyendo restos de morrenas laterales.

Aluvios y Coluvios. Se observan grandes acumulaciones de bloques angulosos, generados por deslizamientos gravitacionales de rocas o por lluvias debido al abrupto relieve. Estos se disponen sobre las morrenas y en las laderas del valle.

2.2.5 Estructuras

La característica estructural más notoria del área estudiada es la existencia de chimeneas de brecha emplazadas en lineamientos o fallas regionales mayores de rumbo EW y preferentemente NS y NNW. (Enrione, 1991) Los pliegues observados tienen preferentemente una dirección norte-sur con vergencia hacia el oeste (Cabrera y Vela, 2003). Se observan una serie de fallas sublongitudinales que afectan principalmente a la unidad Coya Machalí mientras que las fallas que cortan a Farellones son de gran ángulo, normales y de dirección EW, NW, NE y NNW (Enrione, 1991)

Según Enrione (1991) en el área de Rosario de Rengo se observa una falla importante de dirección NE que reaparece a la altura del estero Cortaderal, y señala que es probable que sea una falla de gran envergadura que tuvo desplazamientos horizontales.

2.2.6 Alteración y Mineralización

Las alteraciones hipógenas descritas previamente por diversos autores, son de tres tipos fundamentales: propilítica, cuarzo sericítica, y potásica (*e.g.* Enrione, 1991). Presentan una zonación dispuesta en dirección NS a N-NW, tal como se emplazan los cuerpos intrusivos hipabisales.

La *alteración propilítica* intensa se observa en las rocas volcánicas de composición andesítica y está representada por calcita, epidota, pirita y vetillas de cuarzo blanco; se distribuye fundamentalmente en una franja a lo largo de 5 x 1.5 Km en dirección N, NW – S (Cabrera y Vela, 2000).

La *alteración cuarzo – sericítica* está representada por cuarzo granular fino, sericita abundante y turmalina. En algunos lugares esta alteración se hace intensa y contiene mineralización de cobre y molibdeno. Su distribución areal es alargada en dirección NW, siguiendo la cadena de afloramientos de brechas múltiples (Cabrera R. y Vela A., 2000).

La *alteración potásica* típica representada por biotita y feldespato potásico secundario se encuentra asociada a los afloramientos de pórfidos tonalíticos y diques de dacita porfídica. Su distribución se limita a los afloramientos de estas rocas y generalmente presenta mineralización de cobre asociada (Cabrera y Vela, 2000).

La mineralización se encuentra principalmente formando chimeneas de brecha dentro de las rocas volcánicas y los stocks tonalíticos en afloramientos aislados. Los minerales de cobre y molibdeno se disponen fundamentalmente en el cemento de la matriz de la brecha, la cual es a su vez una brecha de fragmentos más pequeños. Los minerales metálicos consisten en calcopirita, pirita, molibdenita y escasa bornita en algunos lugares. Además existe mineralización de tipo stockwork de sílice y sílice-limonitas, la primera emplazada en rocas volcánicas propilitizadas y en el pórfido tonalítico respectivamente. Los minerales metálicos

observados son principalmente pirita, calcopirita y de acuerdo a los datos geoquímicos debe haber molibdenita (Cabrera y Vela, 2000).

CAPITULO 3. GEOQUIMICA DE ROCAS INTRUSIVAS

3.1 Geoquímica de Elementos Mayores

Los resultados para el análisis químico de los óxidos Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K y P se muestran en la tabla 3.1 y se encuentran expresados en porcentaje peso.

3.1.1 Norma CIPW

Se calculó la norma CIPW, para ver la composición mineralógica de una roca, a partir de análisis geoquímicos de elementos mayores de las rocas intrusivas estudiadas. Los minerales normativos corresponden de manera general a cuarzo, anortita, albita, ortoclasa, hiperstena, ilmenita, magnetita y como minerales accesorios, apatito y circón. (Anexo D).

De las 11 muestras analizadas, 6 corresponden a muestras que contienen la asociación de minerales normativos: cuarzo, corindón y ortopiroxeno (hiperstena), la presencia de corindón implica un exceso de aluminio y la asociación representaría a rocas *saturadas en silice*, y *subalcalinas*; 5 muestras contienen la asociación mineral: cuarzo, diópsido y ortopiroxeno (hiperstena), la presencia de diópsido indica alto contenido de magnesio y fierro en comparación con el calcio y la asociación de minerales es interpretada como rocas *saturadas en silice*, *subaluminosas* y *subalcalinas*. Los datos son ploteados en un diagrama ternario An-Ab-Or (Figura 3.1) y las muestras se concentran principalmente en el límite entre los campos granodiorita y tonalita. Solo dos muestras se alejan de este campo y se encuentran en el límite entre los campo granito y cuarzomonzonita.

Tabla 3.1. Resultado de análisis geoquímico de las rocas intrusivas del sector Rosario de Rengo, obtenidos por ICP-AES, realizado en el laboratorio de geoquímica del Dpto. de geología de la Universidad de Chile

	PM-01	PM-02	PM-03	PM-05	PM-06	PM-11	PM-15	PM-16	PM-18	PM-19	PM-20
Elementos Mayores [%]											
SiO ₂ %	71,46	72,48	60,64	61,12	61,17	64,15	66,35	67,33	59,35	56,97	66,03
TiO ₂	0,38	0,35	0,84	0,73	0,65	0,65	0,58	0,55	0,87	0,88	0,56
Al ₂ O ₃	14,70	14,50	17,00	18,60	17,40	16,00	16,60	14,80	17,40	18,30	16,30
Fe ₂ O ₃	1,14	1,23	2,43	1,55	1,89	1,90	1,45	1,15	2,32	2,98	1,62
FeO	1,08	0,32	3,08	2,04	3,60	2,60	2,12	2,40	3,44	3,48	1,84
MnO	0,02	0,02	0,09	0,07	0,08	0,08	0,02	0,06	0,08	0,06	0,07
MgO	0,67	0,28	2,71	2,00	2,65	2,09	1,72	1,71	3,21	3,98	1,58
CaO	2,05	1,67	5,11	3,61	4,13	4,22	3,19	3,88	5,87	5,14	3,67
Na ₂ O	3,39	2,74	4,17	4,54	3,77	4,00	4,48	4,09	4,47	3,86	4,36
K ₂ O	4,44	4,97	2,63	1,51	2,08	2,99	2,04	2,84	1,73	1,69	2,96
P ₂ O ₅	0,07	0,10	0,22	N/D*	0,22	0,16	0,19	0,15	0,24	0,23	0,16
PPC	0,51	1,08	0,64	2,72	2,10	1,12	0,95	0,58	0,62	1,98	0,46
TOTAL	99,91	99,74	99,56	98,49	99,74	99,96	99,69	99,54	99,60	99,55	99,61
Tierras Raras [ppm]											
La	22	19	17	19	17	16	17	16	16	13	20
Ce	50	40	43	42	36	38	40	35	36	29	39
Nd	19	19	21	22	16	18	18	18	20	17	18
Sm	3,20	2,51	4,28	3,78	2,80	2,92	2,50	3,27	3,23	3,13	2,49
Eu	0,72	0,72	1,10	1,20	1,16	0,92	0,85	0,91	1,13	1,16	0,84
Gd	3,03	2,42	3,16	2,88	2,68	2,63	1,85	2,42	2,65	2,77	1,94
Dy	2,58	2,75	2,78	2,57	2,23	2,30	1,76	2,10	2,20	2,72	1,65
Ho	0,52	0,58	0,58	0,53	0,45	0,48	0,38	0,42	0,40	0,50	0,35
Er	1,44	1,62	1,54	1,26	1,18	1,24	0,89	1,13	0,89	1,06	0,93
Yb	1,39	1,58	1,50	1,20	1,14	1,20	0,86	1,10	0,84	1,03	0,92
Lu	0,21	0,22	0,25	0,21	0,17	0,17	0,15	0,15	0,15	0,17	0,16
Elementos trazas [ppm]											
Y	14	15	14	10	11	12	7,5	10	8,8	11	7,7
Sc	3,7	2,5	12	6,4	11	8,5	6,9	8,0	11	13	6,0
Hf	5,0	3,9	3,4	2,5	3,0	2,3	1,9	2,4	2,6	2,5	2,3
Zn	44	34	67	111	85	84	32	56	84	89	46
Co	5,0	4,0	17	12	8,0	12	10	11	20	22	10
Ni	11	12	19	18	19	19	13	10	31	40	15
Ba	645	930	460	508	447	570	617	560	477	359	691
Cr	2,0	2,0	4,0	6,0	34	10	10	10	60	70	20
V	43	23	137	112	123	98	88	89	149	153	81
Cu	11	180	117	0,95%	244	28	17	32	49	217	15
Sr	237	236	460	760	630	430	530	450	740	610	490
Zr	198	212	170	112	102	184	134	141	92	89	124

- Debido al alto contenido de cobre de esta muestra no es posible determinar la cantidad de fósforo,

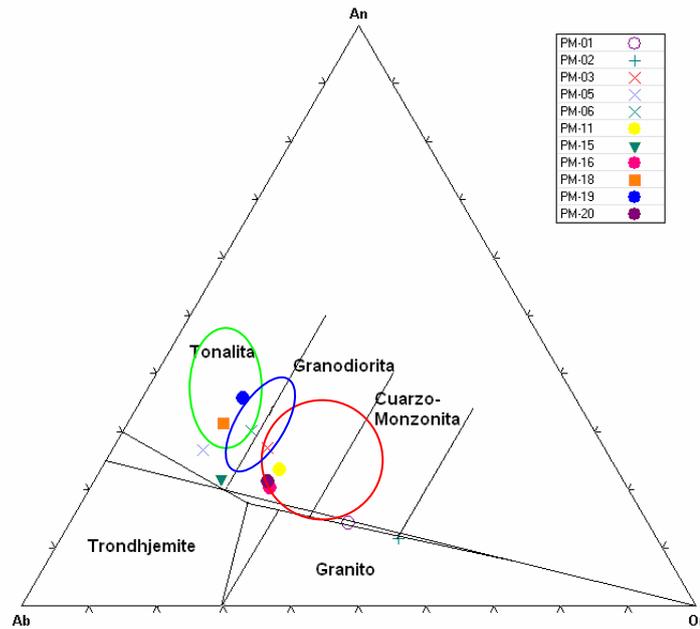


Figura 3.1 Diagrama de clasificación de rocas graníticas según su composición normativa de An (anortita), Ab (albita) y Or (Ortoclasa): \bigcirc campo que incluye la variedad petrográfica cuarzomonzodiorítica; \bigcirc campo que incluye a las tonalitas de anfíbola y biotita; \bigcirc incluye las granodioritas a monzogranitos definidos petrográficamente

3.1.2 Diagramas Discriminantes. Clasificación y Diferenciación Magmática

Las rocas estudiadas corresponden principalmente, según la clasificación dada por el total de álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) vs. SiO_2 (Fig. 3.2) a dioritas y cuarzodiorita subcalinas de composición intermedia a ácida. La variedad petrográfica cuarzomonzodiorita tendrían una composición principalmente intermedia.

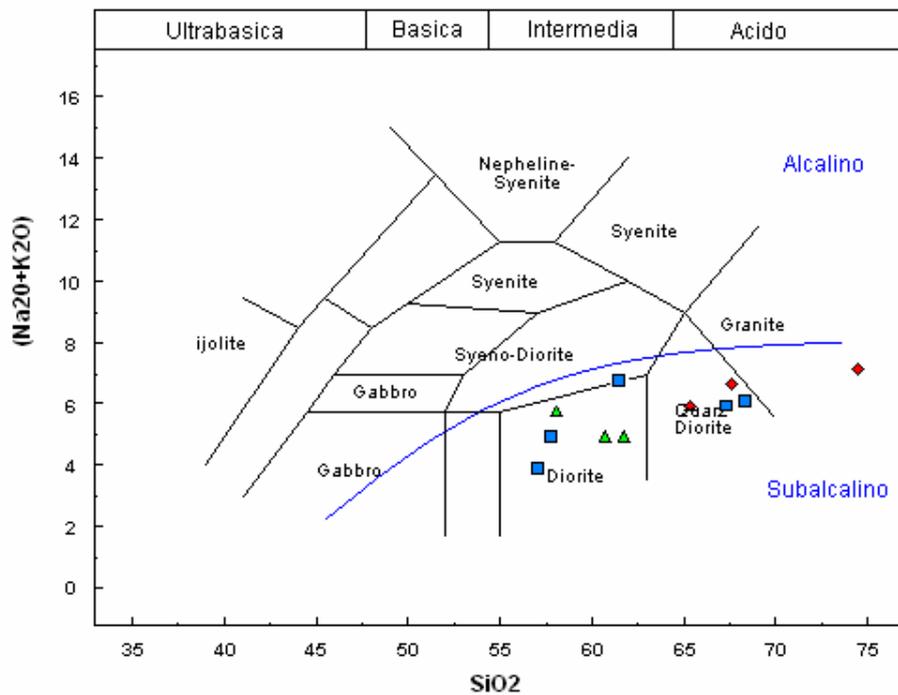


Figura. 3.2 Diagrama de clasificación TAS para rocas plutónicas. (Variedades petrográficas definidas previamente; \blacklozenge : Granodiorita a monzogranito; \blacksquare : Granodiorita de biotita y anfíbola; \blacktriangle : Cuarzomonzodiorita porfirica).

Luego corresponderían según su nivel de K_2O vs. SiO_2 (Fig. 3.3) a rocas con un medio a alto contenido de K. La variedad cuarzomonzodiorita y granodiorítica corresponderían a la serie calcoalcalina, mientras que la variedad granodiorita-monzogranítica es principalmente calcoalcalina de alto K.

Las 3 variedades según el diagrama de Maniar & Piccoli (1989) (Figura 3.4), presentan un carácter metaluminoso.

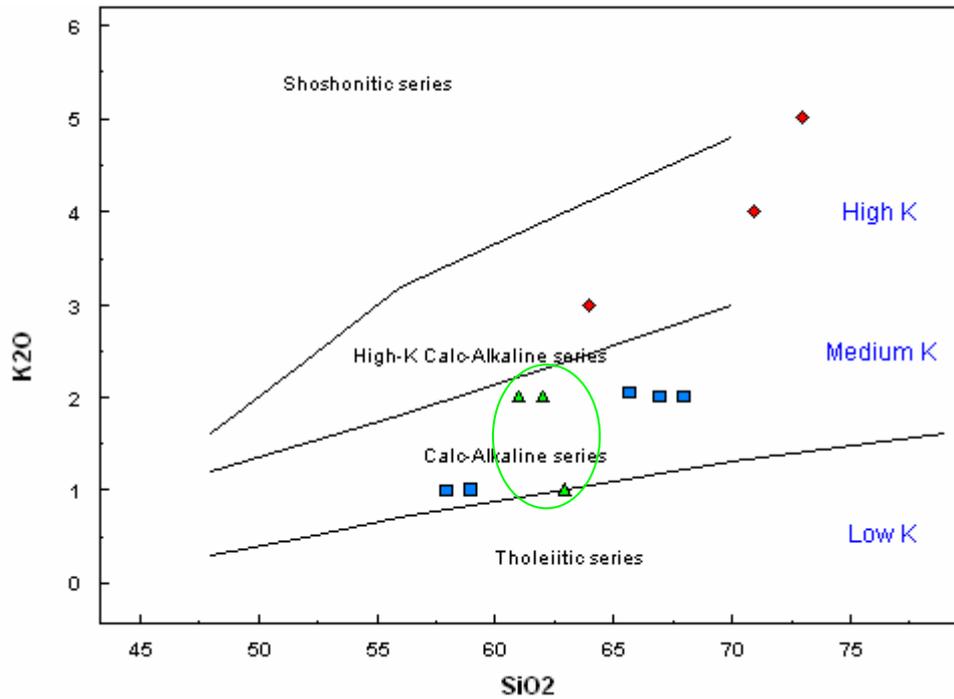


Figura 3.3 Diagrama de SiO_2 vs. K_2O para series subcalcinas. (Variedades petrográficas definidas previamente; \blacklozenge : Granodiorita a monzogranito; \blacksquare : Granodiorita de biotita y anfíbola; \blacktriangle : Cuarzomonzodiorita porfirica).

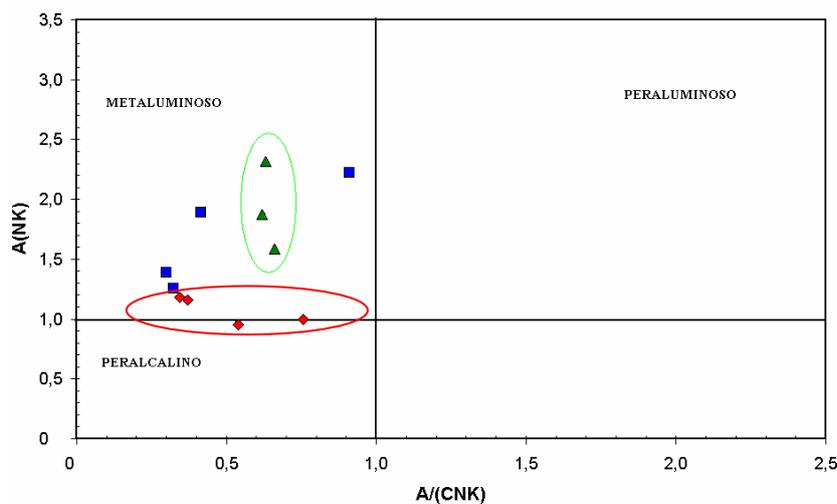


Figura 3.4 Diagrama de Maniar & Piccoli, 1989. $A/(CNK)$: $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$ versus $A/(NK)$: $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)$ en series subcalcinas. (Variedades petrográficas definidas previamente; \blacklozenge : Granodiorita a monzogranito; \blacksquare : Granodiorita de biotita y anfíbola; \blacktriangle : Cuarzomonzodiorita porfirica).

3.1.3 Pérdida por Calcinación

La pérdida por calcinación (PPC) da cuenta de la cantidad de volátiles liberados, es decir, evidencia la deshidratación de minerales hidratados, lo cual es reflejo de la alteración que ha sufrido la roca. Para este trabajo y en base al criterio arbitrario asignado por Rojas (2003) para el Pórfido Teniente, se considera que las muestras con pérdida por calcinación menores a 1 % de peso presentan un *muy bajo grado de alteración hidrotermal*, entre 1 % a 2 % de peso presentan un *bajo grado de alteración hidrotermal* y para muestras con pérdida por calcinación entre 2 % a 3 % de peso presentan un *moderado a alto grado de alteración hidrotermal*.

Los valores para la pérdida por calcinación de las rocas intrusivas estudiadas varían entre 0,46 % a 2,72 % de peso, el valor menor corresponde a la muestra mas austral del sistema (PM-01) y el mayor valor para las muestras de pórfidos tomadas en el sector de la brecha Rosario (PM-05; PM-06). De manera general las rocas tomadas presentarían de muy bajo a bajo grado de alteración y los menores valores se encuentran en las muestras mas alejadas del centro del valle, indicando esto que en ese sector y en dirección noroeste se concentrarían los efectos de la actividad hidrotermal.

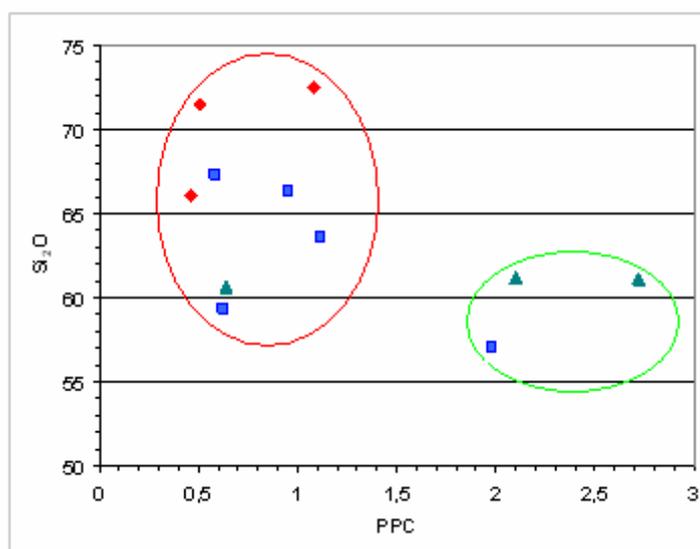


Figura 3.5 . Diagrama binario Si₂O vs. PPC (pérdida por calcinación). .(Variedades petrográficas definidas previamente; ♦: Granodiorita a monzogranito; ■: Granodiorita de biotita y anfíbola; ▲: Cuarzomonzodiorita porfirica).

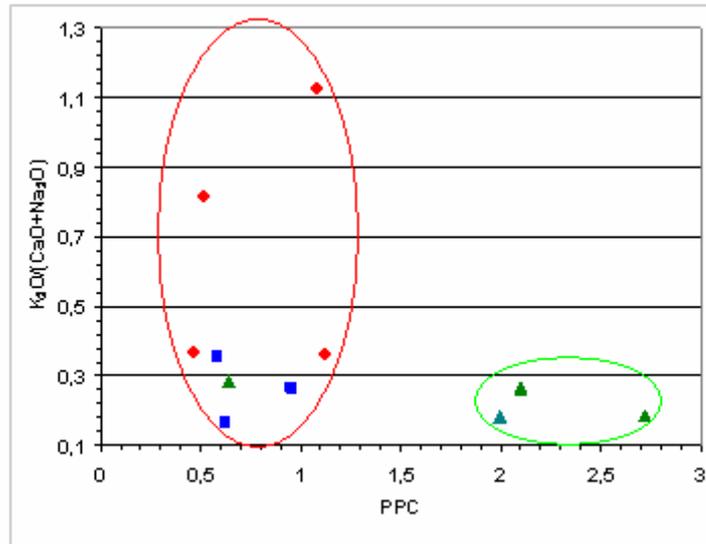


Figura 3.6 . Diagrama binario $K_2O/(CaO + Na_2O)$ vs. PPC (pérdida por calcinación) . (Variedades petrográficas definidas previamente; ◆: Granodiorita a monzogranito; ■: Granodiorita de biotita y anfíbola; ▲: Cuarzomonzodiorita porfirica).

De la figura 3.5 se aprecia que el aumento de sílice se encuentra relacionado con bajos valores de PPC, así las rocas menos alteradas presentan un rango de sílice entre 65 a 75 %

En la figura 3.6 se observa que las muestras que poseen las razones mas bajas de $K_2O/(CaO + Na_2O)$ y alto PPC corresponden a rocas con alto contenido de Na_2O , mientras las muestras con baja razón de $K_2O/(CaO + Na_2O)$ y bajo PPC corresponden a rocas con alto contenido de CaO . Las rocas con $PPC < 1,5$ % muestran una razón mas alta de $K_2O/(CaO + Na_2O)$ producto de alto contenido de K_2O . El aumento de PPC se relaciona con el aumento de Na_2O . Las muestras que presentan los mayores valores de $K_2O/(CaO + Na_2O)$ corresponden a aquellas que tienen los menores valores de CaO y Na_2O .

3.1.4 Diagramas Harker

Los patrones de variación de elementos mayores reflejan en parte los procesos magmáticos que ha sufrido una roca. Los óxidos estudiados a excepción del TiO_2 y P_2O_5 , presentan comportamiento aproximadamente lineal con algunos puntos de inflexión que podrían corresponder a alteración de la roca, pero al ser poco el número de muestras no se puede afirmar o reconocer claramente la evolución del magma.

Las tres variedades petrográficas tienen similar comportamiento para los siguientes elementos: CaO , $\text{FeO}_{\text{total}}$, TiO_2 , P_2O_5 , y MgO ya que su relación es negativa con respecto al SiO_2 .

La variedad cuarzomonzodiorita sería la única que presenta correlaciones aproximadamente positivas para los elementos P_2O_5 y Al_2O_3 . El resto de las variedades presenta correlaciones negativas o constantes como el caso del NaO .

Los comportamientos anómalos para los elementos CaO , NaO y Al_2O_3 para las tres variedades de rocas tiene relación con su mineralogía la cual fue observado en secciones transparentes, como el caso de las plagioclasas, en cuanto la mayoría de ellas presentaban zonación y algunas albitización. Específicamente la variedad cuarzomonzodiorita, presenta moderada alteración potásica y sericítica, lo que es coherente con este comportamiento.

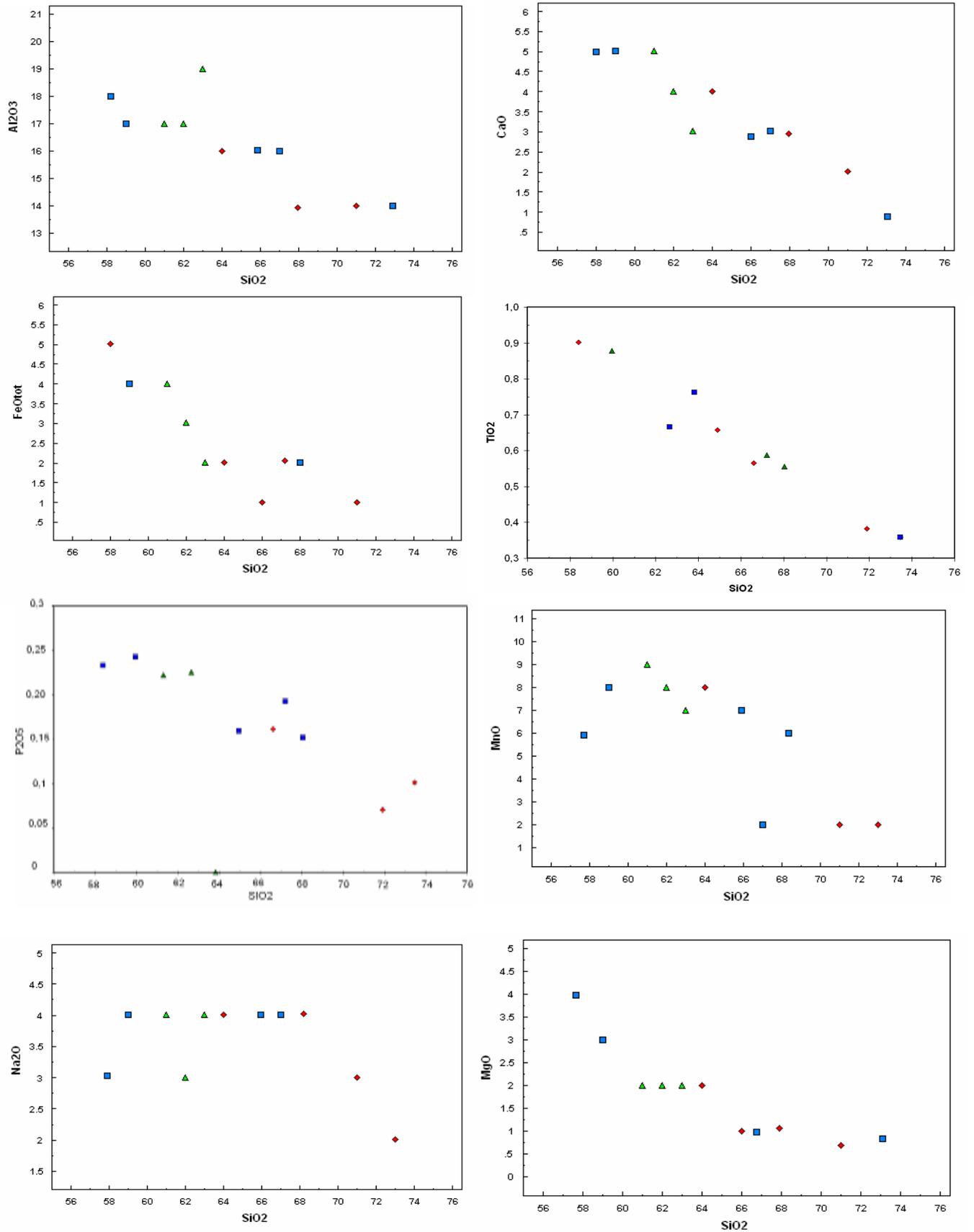


Figura 3.7 Diagramas Harkers para los elementos mayores de las distintas variedades petrográficas definidas para los intrusivos del sector Rosario de Rengo. ♦: Granodiorita a monzogranito; ■: Granodiorita de biotita y anfíbola; ▲: Cuarzomonzodiorita porfirica).

3.2 Geoquímica de Elementos Trazas

Los elementos trazas entregan información sobre los procesos petrológicos, en especial las tierras raras, estas se comportan relativamente inmóviles frente a los procesos hidrotermales o de metamorfismo de bajo grado. La movilidad de los elementos depende de los cambios mineralógicos que se dan durante la alteración y de la naturaleza de la fase fluida (Rollinson, 1993). Los elementos trazas analizados corresponden a: tierras raras (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er y Lu) y los elementos Y, Sc, Hf, Zr, Ba, Sr, Co, Ni, Cr, V, Zn y Cu.

3.2.1 Diagrama de variación de Elementos Trazas

El resultado del análisis químico para los elementos trazas se aprecia en la tabla 3.1 y para su estudio se realizaron diagramas binarios de los elementos vs. el contenido de SiO₂.

Ya sea por su afinidad con fases minerales del manto, por sus características físicas o químicas muy similares, se consideran de manera generalizada como elementos compatibles a:

Metales de Transición. Dentro de este grupo se encuentran: Co, Ni, Cr, V, Zn y Cu, estos se mantendrían inmóviles, con excepción de Zn y Cu los cuales a altas temperaturas se comportan de manera móvil (Fig. 3.8)

Por otra parte los minerales que se consideran incompatibles, por tanto, son los que encontramos enriquecidos en la corteza corresponden a:

Elementos de alto potencial iónico (HFS o *High Field Strength Elements*). Estos corresponden a elementos con pequeño radio iónico y alta carga, por lo cual se comportan bastante inmóviles. Entre ellos se encuentran: Y, Sc, Hf, y Zr.

Elementos litófilos de gran radio iónico (LILE o *Large Ion Lithophile Elements*). Como su nombre los describe poseen gran radio iónico y además baja carga o potencial iónico, por estas características son muy móviles. Dentro de este grupo se encuentran Ba y Sr

Metales de Transición.

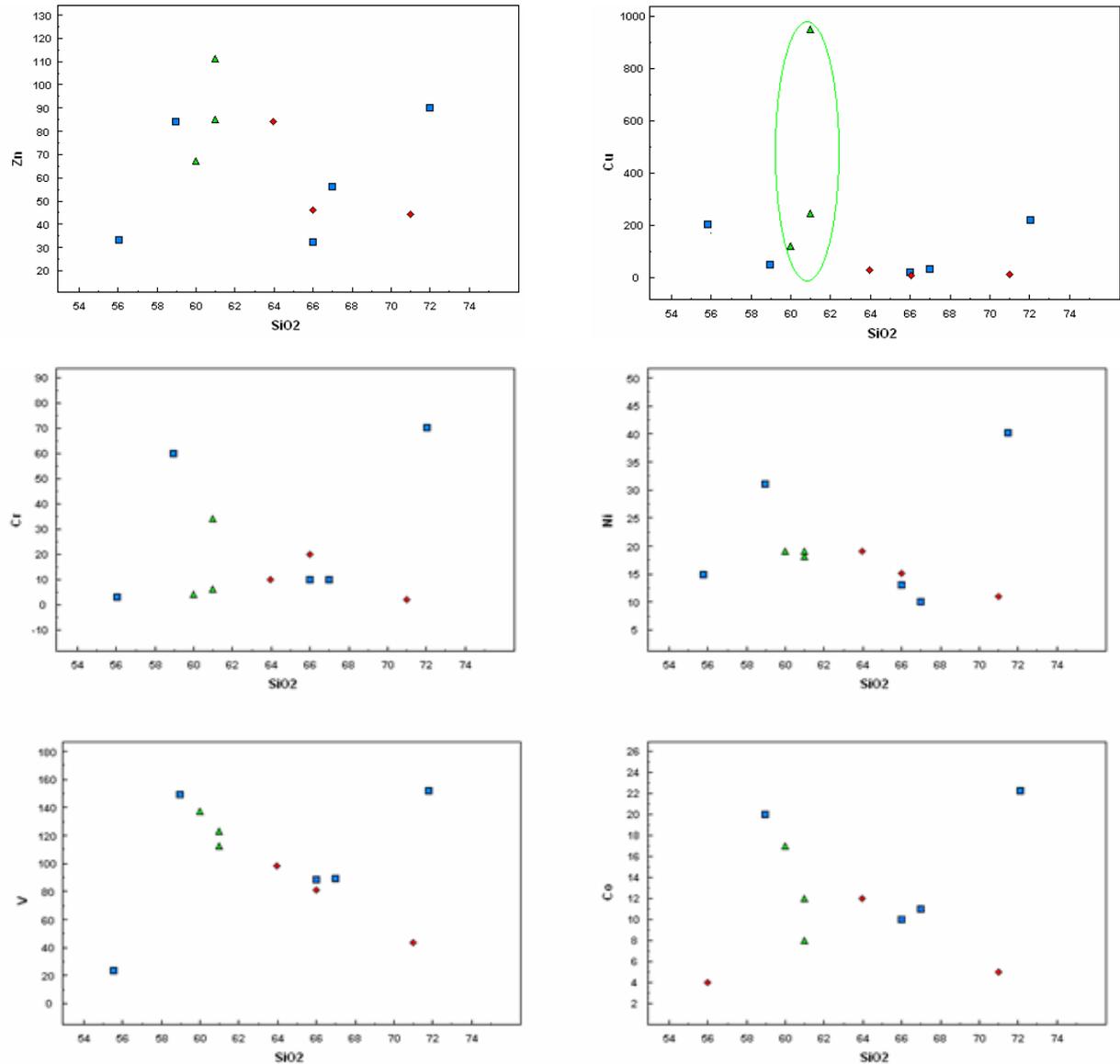


Figura 3.8 Diagramas binarios para metales de transición vs. SiO₂, de las distintas variedades petrográficas definidas para los intrusivos del sector Rosario de Rengo. (◆: Granodiorita a monzogranito; ■: Granodiorita de biotita y anfíbola; ▲: Cuarzomonzodiorita porfirica).

De la figura 3.8 podemos apreciar que para la variedad petrográfica granodiorita-monzogranito el comportamiento no es claro y no se puede definir claramente su correlación, mientras tanto que para la variedad granodiorítica, la correlación entre SiO₂ con los metales de transición es negativa, con excepción del elemento Cu el cual se mantiene relativamente constante y por último la variedad cuarzomonzodiorítica, presenta correlación positiva para los elementos Zn, Cu y Cr, correlación negativa para los elementos V y Co y se mantiene constante para el Ni.

Elementos de alto potencial iónico (HFS)

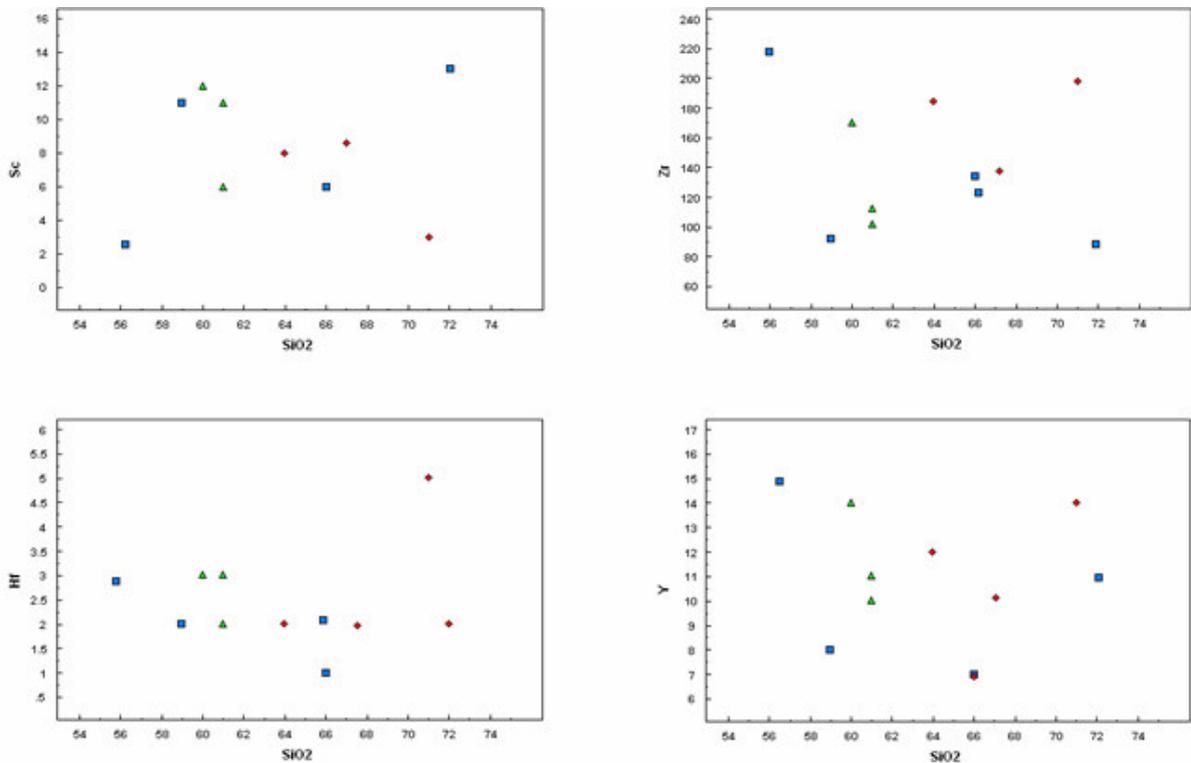


Figura 3.9 Diagramas binarios para los elementos HFS vs. SiO₂, de las distintas variedades petrográficas definidas para los intrusivos del sector Rosario de Rengo. ♦: Granodiorita a monzogranito; ■: Granodiorita de biotita y anfíbola; ▲: Cuarzomonzodiorita porfirica).

El comportamiento de los elementos HFS (Fig. 3.9) no se presenta de manera clara respecto al SiO₂, para la variedad granodiorita, no se logran reconocer patrones, para la variedad granodiorita solo se presenta una correlación positiva del Zr respecto al sílice y para las cuarzomonzodioritas, se puede inferir una correlación aproximadamente negativa para los cuatro elementos.

LILE

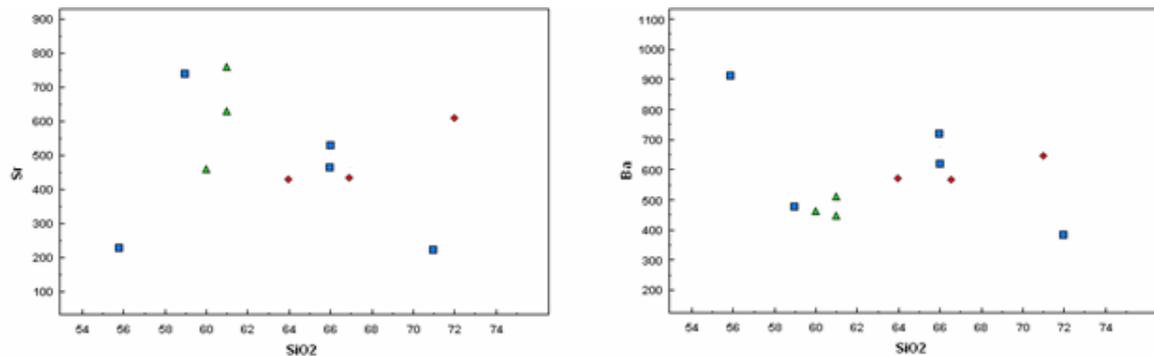


Figura 3.10 Diagramas binarios para los elementos LILE vs. SiO₂, de las distintas variedades petrográficas definidas para los intrusivos del sector Rosario de Rengo. ♦: Granodiorita a monzogranito; ■: Granodiorita de biotita y anfíbola; ▲: Cuarzomonzodiorita porfírica).

Los diagramas binarios de elementos LILE (Fig. 3.10) contienen muy pocas muestras para afirmar correlaciones con respecto al SiO₂.

3.2.3 Tierras Raras (REE o *Rare Earth Elements*)

Dentro de la tabla periódica de elementos, las tierras raras ocupan la serie de los lantánidos. Son altamente incompatibles, de manera que se encuentran en abundancia dentro de la corteza, son en general inmóviles. Dentro de este grupo se encuentran La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, Yb y Lu. Luego su radio iónico disminuye de La a Lu, de manera que su incompatibilidad también disminuye en este sentido. Los valores de sus concentraciones se encuentran en la tabla 3.1 y su expresión gráfica se observa en la Figura 3.11

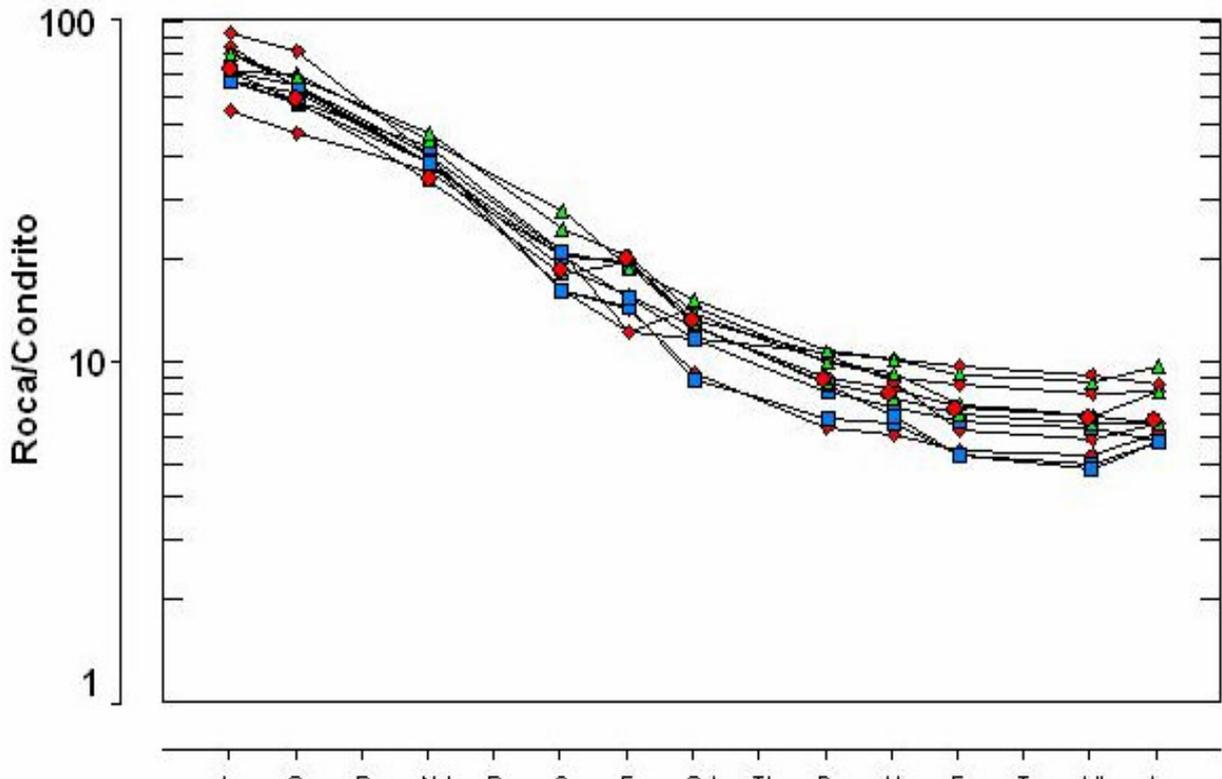


Figura 3.11 Diagrama de REE vs. roca normalizado a condrito (Sun & McDonough, 1989), las muestras ploteadas corresponden a las distintas variedades petrográficas definidas para los intrusivos del sector Rosario de Rengo. ◆: Granodiorita a monzogranito; ■: Granodiorita de biotita y anfíbola; ▲: Cuarzomonzodiorita porfirica.

Del diagrama de REE vs. la roca normalizada a condrito (Fig. 3.11), podemos observar que el patrón de tierras raras presenta una forma curva suave, lo cual es compatible con fraccionamiento de anfíbola, ya que estas retienen las tierras raras intermedias. Además las razones La/Yb de 8 a 14 no son tan altas como para postular la existencia de granate residual en la fuente. Salvo un par de muestras de granodiorita a monzogranito, el patrón de REE es bastante similar para todas las muestras, caracterizando por encontrarse altamente enriquecido en Tierras Raras Pesadas (HREE) y enriquecido en tierras raras livianas (LREE) La variedad petrográfica cuarzomonzodiorita es la que presenta los mayores valores de REE.

Taylor and McLennan (1985) para cuantificar la anomalía de Eu, proponen la siguiente medida $Eu/Eu^* = (Eu_N/[Sm_N * Gd_N]^{1/2})$, al realizar este cálculo las razones obtenidas resultan ser casi todas mayores a 1, de manera que las muestras presentan una anomalía positiva de Eu, sin reflejar fraccionamiento de la plagioclasa.

Normalizando las concentraciones de los elementos de tierras raras junto a algunos elementos mayores y trazas incompatibles respecto a la composición del manto primitivo, se obtiene un diagrama denominado spider multielemento. El propósito de la utilización de este tipo de diagrama es determinar las variaciones de los elementos trazas respecto a la composición primitiva del manto.

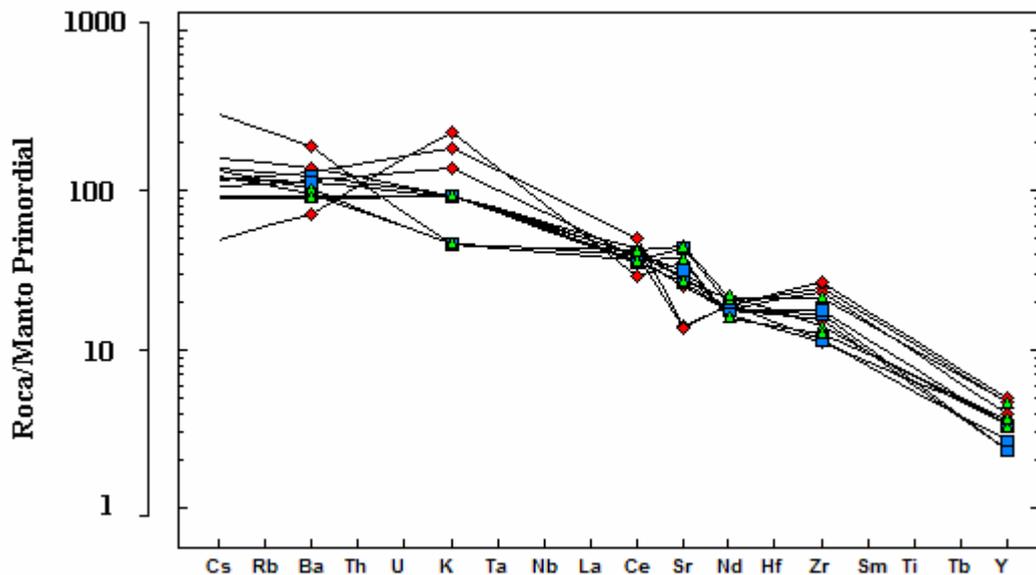


Figura 3.12 Diagrama de REE vs. roca normalizado a manto primordial Taylor & McLennan 1985, las muestras ploteadas corresponden a las distintas variedades petrográficas definidas para los intrusivos del sector Rosario de Rengo. ◆: Granodiorita a monzogranito; ■: Granodiorita de biotita y anfíbola; ▲: Cuarzomonzodiorita porfirica).

Se observa en el diagrama REE vs. roca normalizada a manto primordial (Figura 3.12) que existen diferencias en el patrón general de las REE según la variedad petrográfica. La granodiorita-monzogranito presenta un marcado peak positivo de K, los valores más altos y más bajo de Ba, un peak negativo de Sr y los valores más altos de Y y Zr. Por otro lado las variedades granodiorita-tonalita y cuarzomonzodiorita se comportan de manera más similar, presentando un peak positivo de Sr y Zr, y un peak negativo de Y y Nd.

CAPITULO 4. GEOCRONOLOGIA DE ROCAS INTRUSIVAS

Los datos geocronológicos que existen en publicaciones, para el sector Rosario de Rengo, corresponden a dos. El más antiguo registrado corresponde a una edad K-Ar radioisotópica de $9,0 \pm 0,4$ Ma señalada en Charrier (1983), que se habría realizado en un stock de diorita cuarcífera ubicada en la confluencia de los ríos Claro de Rengo y Tapado. El otro dato conocido corresponde a una edad $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de $16,2 \pm 1,2$ Ma en hornblenda proporcionada por Kurtz (1997) para el plutón granodiorítico Santa Rosa de Rengo. Considerando la ubicación de las muestras y las similitudes composicionales citadas, ambos antecedentes de edades se refieren a lo que actualmente se reconoce como “Plutón Rosario”.

Para tener mayor conocimiento de las edades de emplazamiento de las rocas intrusivas del sector, se tomaron cuatro muestras de distintos tipos de intrusivos (Ubicación ver en anexo A) para realizar datación U-Pb en circones.

De cada muestra se extraen por lo menos 25 granos de circón, la determinación de la edad se realiza por medio de SHRIMP (*Sensitive High Resolution Ion Micro Probe*) que corresponde a una microsonda iónica de alta resolución. Se realizan puntualmente medidas en distintos lugares de cada grano y finalmente la edad se calcula estadísticamente. (Ver Anexo E)

Las edades obtenidas se entregan en la siguiente tabla:

Tabla 4.1 Resultado de dataciones U-Pb en circones de rocas intrusivas Rosario de Rengo

Numero de muestra	Descripción Petrográfica	EDAD U-Pb (Ma)
PM-06	Cuarzomonzodiorita pórfirica	8.43 ± 0.15
PM-16	Granodiorita-Monzogranito de Anfíbola	9.89 ± 0.12
PM-18	Granodiorita de Anfíbola	8.50 ± 0.09
PM-19	Cuarzomonzodiorita pórfirica	8.02 ± 0.09

Kurtz et al. (1997) define grupos de intrusivos en función de su edad y Jerez (2007) realizó una recopilación bibliográfica para intrusivos de la franja Mioceno superior-Plioceno (Tabla 4.2)

Tabla 4.2 Recopilación de datos geocronológicos, tomado y modificado de Jerez 2007

Unidad	Edad (Ma)	Método	Referencia
PLUTONES ANTIGUOS			
La Obra	21,6 ± 4,9	40Ar/39Ar en hornblenda	Kurtz et al., 1997
	19,6 ± 0,5	40Ar/39Ar en biotita	Kurtz et al., 1997
	16,2 ± 0,3	40Ar/39Ar en feldespato	Kurtz et al., 1997
Santa Rosa de Rengo	16,2 ± 1,2	40Ar/39Ar en hornblenda	Kurtz et al., 1997
Diorita de Hornblenda (LB)	18,5 ± 1,7	K-Ar en hornblenda	Warnaars et al., 1985
COMPLEJO PLUTONICO TENIENTE			
Grupo 12 Ma			
Alfalfalito	12,3 ± 0,2	40Ar/39Ar en biotita	Kurtz et al., 1997
San Gabriel	11,4 ± 0,2	40Ar/39Ar en biotita primaria	Kurtz et al., 1997
Romeral	11,3 ± 0,3	40Ar/39Ar en biotita	Kurtz et al., 1997
	11,9 ± 0,4	U/Pb en circón	Deckart et al., 2005
Granodiorita Río Blanco (BSF)	11,6 ± 0,1	40Ar/39Ar en biotita	Deckart et al., 2005
	10,9 ± 0,3		
	11,7 ± 0,9		
Cerro Mesón Alto (CMA)	12,4 ± 2,5	40Ar/39Ar en hornblenda	Kurtz et al., 1997
	11,3 ± 0,1	U/Pb en circón	Deckart and Godoy 2006
Plutón La Gloria (LGP)	10,3 ± 0,2	U/Pb en circón	Deckart and Godoy 2006
Tonalita Los Pelambres	12	U/Pb intercepto inferior	Bertens et al., 2006
Cuerpos centrales Los Pelambres	12,5 a 13,9	U/Pb en circón	Bertens et al., 2006
Intrusivo BSF	11,2 ± 0,1	U/Pb en circón	Deckart et al., 2006
	14,7 ± 0,1		
Intrusivo YL	14,9 ± 0,2	U/Pb en circón	Deckart et al., 2006
Diorita de hornblenda Los Bronces(BSF)	12,5 ± 0,5	K-Ar en biotita	Warnaars et al., 1985
Grupo 8 Ma			
Estero Crucero	8,8 ± 0,1	40Ar/39Ar en biotita	Kurtz et al., 1997
Carlota	8,7 ± 0,3	40Ar/39Ar en biotita	Kurtz et al., 1997
Nacimiento Río Cortaedral	8,4 ± 0,1	40Ar/39Ar en biotita	Kurtz et al., 1997
	7,7 ± 0,1	40Ar/39Ar en feldespato K	
Granodiorita Cascada (Intrusivo en BSF)	8,4 ± 0,2	U/Pb en circón	Deckart et al., 2005
Diorita(intrusivo en BSF)	8,2 ± 0,5	U/Pb en circón	Deckart et al., 2005
Granodiorita Los Bronces (LB)(BSF)	8,6 ± 0,1	K-Ar en plagioclasas	Vergara y Draker 1979
	8,4 ± 0,2		
	8,6 ± 0,9	K-Ar en hornblenda	Warnaars et al., 1985
	7,9 ± 0,4	K-Ar en biotita	
COMPLEJO PLUTONICO JOVEN			
Jeria	6,6 ± 0,1	40Ar/39Ar en biotita	Kurtz et al., 1997
Cruz	5,5 ± 0,2	40Ar/39Ar en biotita	Kurtz et al., 1997
Diorita (BSF)	4,6 ± 0,1	40Ar/39Ar en biotita secundaria	Deckart et al., 2005

Las edades que se obtuvieron para las muestras de Rosario de Rengo (pófidos mineralizados y granodioritas de roca caja) permiten contextualizarlo dentro de la franja Mioceno superior-Plioceno y sus edades se correlacionan bien con las edades de los intrusivos no-mineralizados de Río Blanco de Los Bronces. (Figura 4.1)

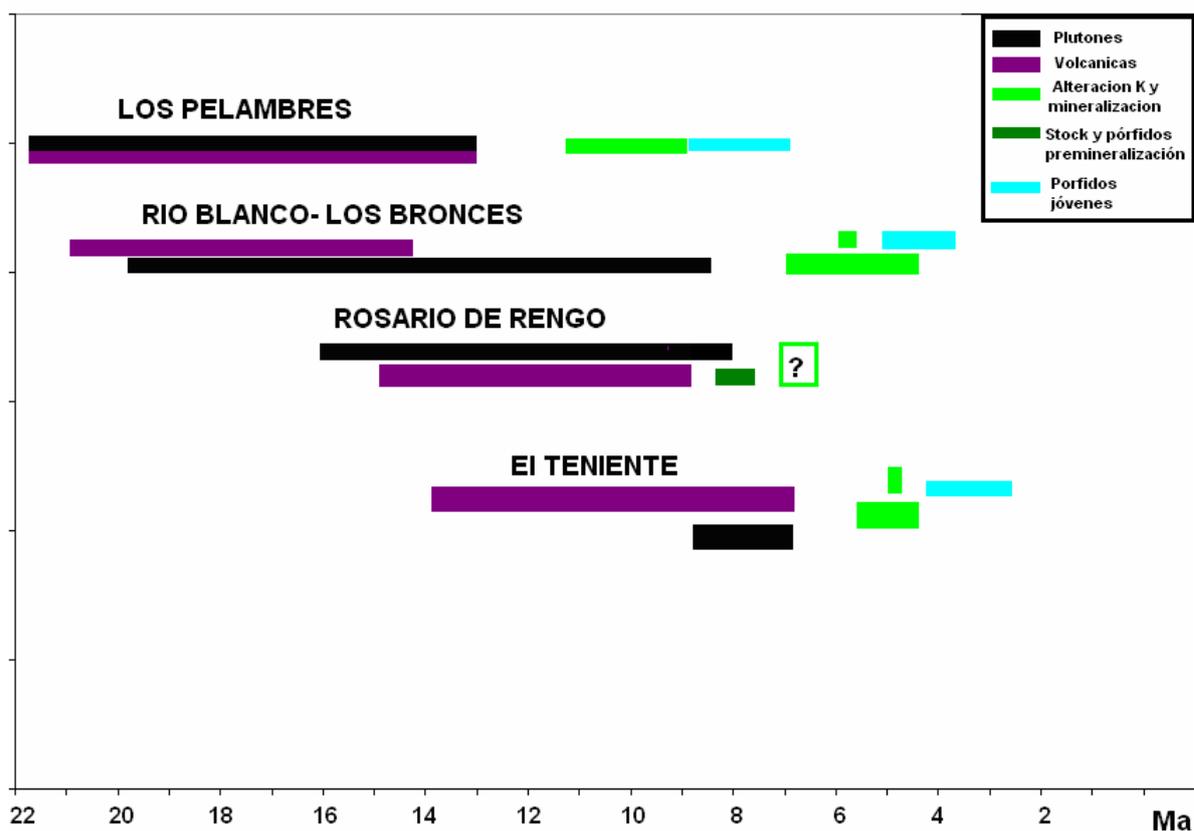


Figura. 4.1. Diagrama de edades para los distintos yacimientos de la franja Mioceno superior-Plioceno

CAPITULO 5. DISCUSION Y CONCLUSIONES

PETROGRAFIA

Los cuerpos intrusivos presentes en Rosario de Rengo son: granodiorita a monzogranito de anfíbola del Plutón Rosario, granodiorita-tonalita de anfíbola y biotita de los stocks presentes en el extremo norte del valle y los Pórfidos cuarzomonzodioríticos que corresponden a los intrusivos próximos a las Brechas Rosario y Cristales Bajos y que contienen mineralización. En general la mayoría de las rocas intrusivas son leucocráticas y contienen principalmente cuarzo, feldespato y plagioclasas. Cabe señalar que el feldespato y cuarzo son tanto primario, como secundario. Debido a esta última razón, algunas muestras pueden estar sobreestimadas en sus composiciones primarias, debido al difícil reconocimiento en secciones transparentes sobretodo del feldespato K de alteración.

El porcentaje de minerales máficos es <15% solo existe una roca (PM-19) que presenta un índice superior de 23% y correspondería a un aumento de anfíbolos y magnetita, producto de la alteración.

Al noroeste del área estudiada se encuentra la zona de contacto entre el stock tonalítico-granodiorítico y la granodiorita-monzogranito (Plutón Rosario), en esta zona hay una disminución del tamaño de grano del plutón, debido a que correspondería a un borde de enfriamiento de la roca, mientras en el extremo sur se diferencia por un tamaño de grano mas grueso, además de la presencia de enclaves máficos.

En general las alteraciones hidrotermales observadas en las secciones transparentes son para el plutón silicificación y presencia de biotita producto de metamorfismo de contacto, el stock tonalítico-granodiorítico presentan alteración potásica y sericítica débil, mientras que los pórfidos cuarzomonzodioríticos presentan alteración hidrotermal de tipo potásica, sericítica moderada y también silicificación.

La cantidad de minerales opácos de cada muestra fue < 5% y para ver si estos correspondían a sulfuros se realizaron secciones pulidas a 5 muestras, de las cuales una correspondía a una

roca de contacto entre el Plutón y el Stock granodiorítico y las otras a las rocas porfíricas, los minerales observados son principalmente pirita y magnetita, en menor cantidad calcopirita, tenorita, calcosina, covelina y bornita, también existe presencia de hidróxidos de Fe y de blenda. La muestra con mayor contenido de Cu corresponde al pórfido ubicado al costado Este de la brecha Rosario (PM-05), en el diagrama binario Cu vs. SiO₂ (Figura 3.8) se aprecia como una de las muestras de cuarzomonzodiorita esta por sobre el promedio, esto producto del enriquecimiento supérgeno de calcosina y covelina, que se aprecia en los bordes de las escasas calcopiritas.

GEOQUIMICA

Las rocas intrusivas del sector estudiado tienen una composición de intermedia a ácida (56,97 a 72,48% SiO₂) y de carácter subalcalino de afinidad calcoalcalina, composicionalmente corresponden fundamentalmente a tonalita-granodiorita y las rocas tienen un carácter metaluminoso, representado por bajos valores de Na₂O (<5%) y alto contenido de Al₂O₃.

Los patrones de tierras raras se encuentran fuertemente fraccionados con razones La_N/Yb_N que varían entre 8 a 14, que son menores que las que presentan los pórfidos mineralizados de los Bronces y El Teniente, comparables con los intrusivos estériles de Río Blanco-Los Bronces. (*Granodiorita Cascada, Granodiorita Los Bronces, Diorita BSF*; Jeréz 2007).

Los altos contenidos de Al₂O₃ y Sr, indican que el fraccionamiento de la plagioclasa en la fuente no fue importante, mientras que las bajas concentraciones de REE pesadas y una suave curva del patrón, indican el posible fraccionamiento de anfíbola.

El comportamiento en general para las variedades de intrusivos es un patrón geoquímico similar entre ellos y perfectamente asimilable con pórfidos Sewell (tonalítico y diorítico; Rojas, 2003).

La variedad porfírica tiene composición intermedia, lo que podría sugerir un origen distinto, pero el patrón de distribución de REE es similar para las tres variedades de rocas.

Utilizando el criterio de la pérdida por calcinación, la cual evidencia la deshidratación de minerales que en general corresponden a minerales de alteración, se tiene que las rocas presentarían de muy bajo a bajo grado de alteración, lo cual al ser comparado con la descripción petrográfica es congruente, ya que la variedad granodiorítica-monzogranítica se encuentra escasamente alterada y las otras dos variedades presentan escasa alteración. Ahora bien, lo anterior en cuanto a minerales de alteración hidratados. Los pórfidos cuarzomonzodioríticos y el stock tonalítico-granodiorítico, presentan de escasa a moderada alteración cuarzo-sericita y potásica.

Los diagramas binarios para elementos mayores y trazas muestran correlaciones bastante lineales en algunos casos con escasos puntos de inflexión y en otros dispersión. En los elementos más móviles como el Zn, Ni, Cu y Co no se puede definir un patrón pues los datos se distribuyen de manera dispersa. Por la cantidad de los datos, no es posible inferir en esta instancia, sobre la distribución y anomalías que presentan estos, tarea que queda pendiente para futuras investigaciones.

GEOCROLOGIA.

De los datos obtenidos podemos notar que aquellas dos muestras que presentan las menores edades corresponden a los pórfidos cuarzomonzodioríticos mineralizados. (PM-06 y PM-19).

El valor menor $8,02 \pm 0,09$ Ma corresponde al pórfido que se encuentra en el área de la Brecha Los Cristales, luego el valor de $8,43 \pm 0,15$ Ma corresponden al pórfido que se encuentra al costado este de la Brecha Rosario. Esta edad es correlacionable con los 8,5 Ma otorgado al stock granodiorítico estéril del fondo del valle. Esto sugiere que el rol de la falla de sentido NNW que atraviesa el valle tendría un rol importante en la mineralización, ya que hacia el sur de ella se concentra la alteración y mineralización, mientras que al norte se encuentra un stock estéril y a ambos lados de la falla encontramos rocas de similar edad.

De acuerdo a la edad de los clastos que poseen las brechas, se estima que la edad de mineralización máxima se encuentra alrededor de los 8,43 (Figura 5.1).

Complejo Brecha Rosario: Andesitas Fm. Farellones Cuarzomonzodiorita porfirica (8.43 ± 0.15) Stock granodiorita-tonalita (8.49 ± 0.09)
Complejo Brecha Los Cristales: Plutón Rosario(9.89 ± 0.12) Stock granodiorita-tonalita(8.49 ± 0.09)
Complejo Brecha laguna: Andesita Fm. Farellones Stock granodiorita-tonalita(8.49 ± 0.09)
Se infiere que la edad máxima de mineralización fue 8,43 Ma

Figura 5.1 Edad máxima de mineralización inferida por edad de clastos intrusivos de brecha del depósito mineral Rosario de Rengo.

De manera que la edad de mineralización no sería tan temprana como en el caso de Teniente, donde el evento mineralizador tiene entre 4 a 4,8 Ma, sino más bien se asimilaría a la edad de mineralización de Río Blanco-Los Bronces entre 4,2 a 7,3 Ma o Los Pelambres que se encuentra entre 8,9 a 10 Ma (Skewes y Stern, 1995). (Ver Figura 4.1)

Cabe señalar que la muestra de pórfido Los Cristales presentó circones heredados de $16,5 \pm 0,4$ Ma edad que se correlaciona con la otorgada por Kurtz, 1997 para el Plutón Rosario.

Finalmente la edad entregada para el Plutón Rosario, es la más antigua, $9,89 \pm 0,12$ Ma y precede a los otros intrusivos.

PETROGENESIS

En el segmento entre el borde del segmento de subducción plana (flat slab) y la zona volcánica sur (ZVS), se sitúan los megayacimiento de Cu-Mo. Debido al acortamiento en Los Andes (Skeves et al, 1991) y Kurtz et al, 1997), se propone para esta zona un engrosamiento y contaminación cortical (Kay et al, 2005). El diagrama AFM muestra una típica asociación calcoalcalina de arco magmático.

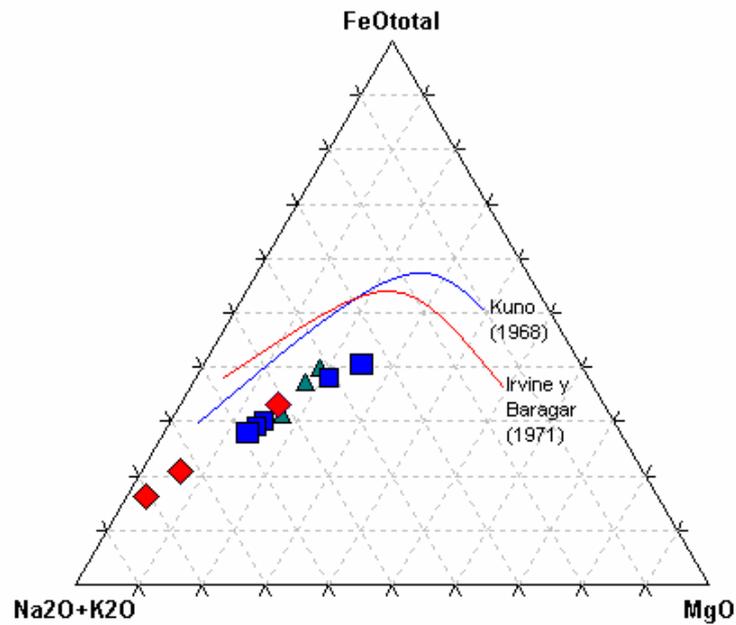


Figura 5.2 Diagrama AFM. Discrimina entre serie toleítica y calcoalcalina. ◆: Granodiorita a monzogranito; ■: Granodiorita de biotita y anfíbola; ▲: Cuarzomonzodiorita porfirica)

Se ha propuesto como modelo de génesis de magmas para esta zona, el tipo de magma adakítico (Kay et al, 2005), para rocas plutónicas ricas en sílice y razones altas de Sr/Y y La/Yb, derivadas de la fusión de una porción de corteza oceánica basáltica subductada bajo el arco volcánico.

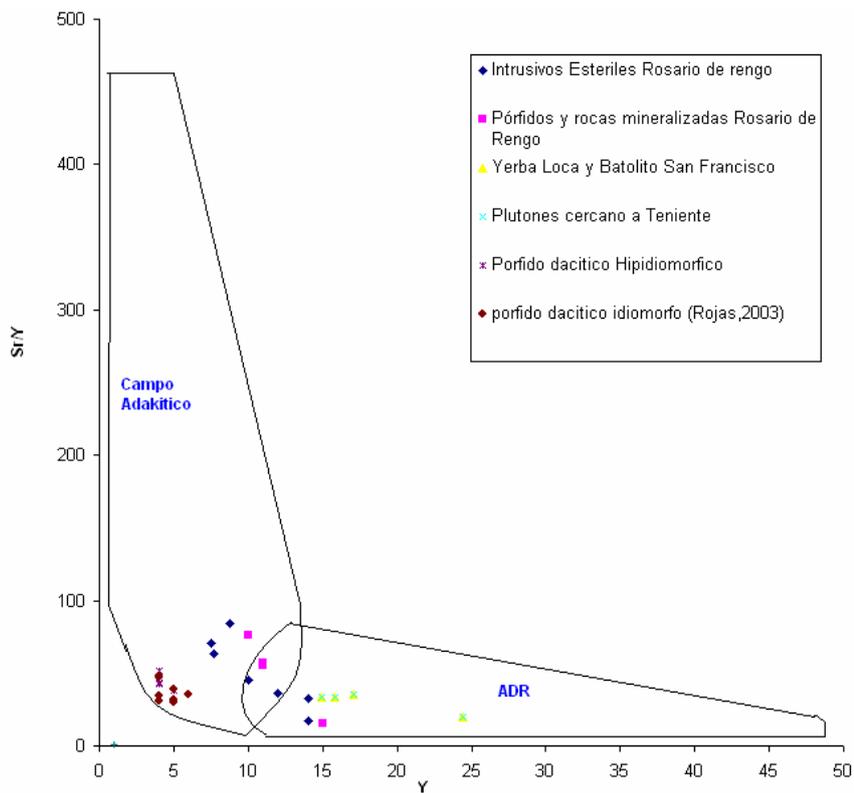
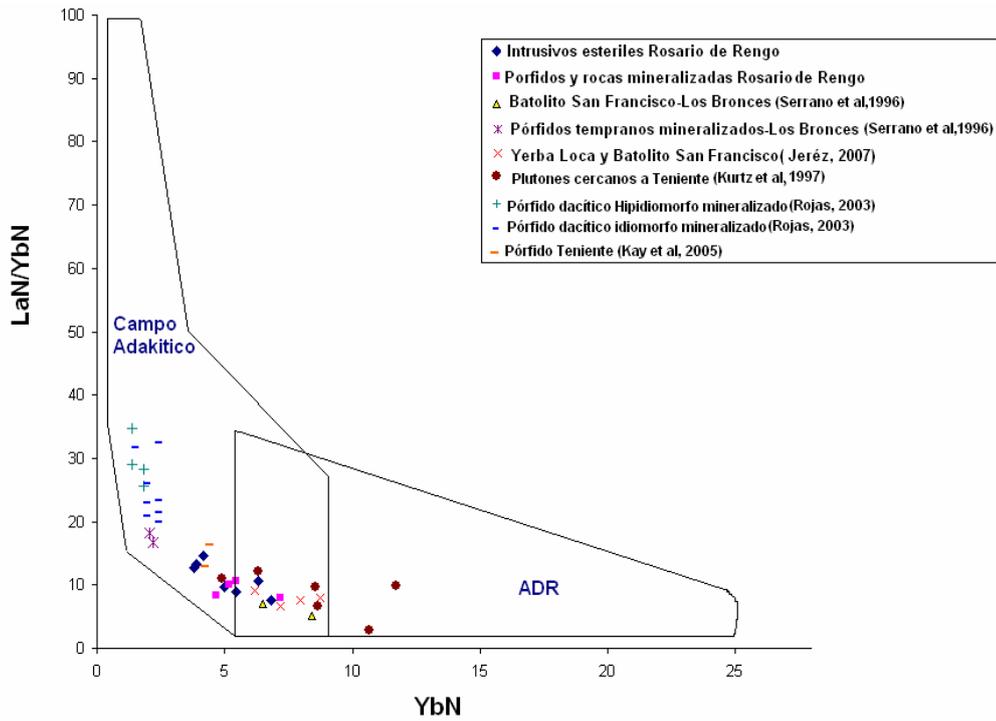


Figura 5.3 Diagrama de discriminación adakitas

De los gráficos de la Figura 5.3 podemos observar que los intrusivos mineralizados tienen afinidad con el patrón adakítico. La mayoría de las muestras intrusivas del sector Rosario de Rengo tienen un comportamiento adakítico.

CONCLUSIONES

Las rocas intrusivas del depósito Rosario de Rengo tienen una edad Mioceno superior, de manera que se ubica en la franja Mioceno Superior-Plioceno, donde se encuentran los megayacimientos de pórfido de cobre.

Petrográficamente se reconocieron tres variedades: granodiorita a monzogranito de anfíbol, granodiorita-tonalita de anfíbol y biotita, y los pórfidos cuarzomonzodiorítico. Todas estas variedades presentan como mineralogía primaria principalmente cuarzo, plagioclasas y feldespatos K, en menor cantidad anfíbol y biotita.

Las rocas intrusivas del sector estudiado presentan un rango de SiO_2 de 56,97 a 72,48 % y altos valores de Al_2O_3 de 14,50 a 18,50 % y bajos valores de Na_2O (<5%), de manera que definen su carácter subcalino, metaluminoso, con afinidad calcoalcalina. Composicionalmente corresponden fundamentalmente a tonalita-granodiorita.

Las rocas poseen afinidad adakítica y sus razones La_N/Yb_N , varían entre 8 a 14 y son menores que las que presentan los pórfidos mineralizados de los Bronces y El Teniente, pero similares con los intrusivos estériles de Río Blanco-Los Bronces.

Las edades entregadas corresponden para el Plutón Rosario, la más antigua $9,89 \pm 0,12$ Ma, la cual precede a los otros intrusivos que serían coetáneos: stock granodiorítico 8.50 ± 0.09 , pórfidos cuarzomonzodioríticos 8.43 ± 0.15 y 8.02 ± 0.09 . Estas edades se pueden correlacionar con los intrusivos estériles de Río-Blanco-Los Bronces (Granodiorita cascada, diorita Los Bronces BSF), las que corresponden al Mioceno superior.

La correlación geocronológica y la similitud en el tipo de magma adakítico propuesta para la zona, no implica que se trate del mismo tipo de megayacimiento de la franja, las condiciones para que se hayan dado este tipo de depósitos depende de muchos factores, como composición del fluido, temperatura, reacción con la roca caja, etc.

En este yacimiento el control estructural juega un rol predominante en la mineralización y posiblemente la estrecha relación espacial que presenta los cuerpos porfíricos que se

encuentran en el Sector Los Cristales y al este de la Brecha Rosario, con la mineralización expuesta, sugieren que estos cuerpos podrían estar relacionados a un cuerpo intrusivo mayor y más profundo el cual habría aportado los fluidos responsables de la mineralización.

RECOMENDACIONES

- Continuar las investigaciones geológicas, entre ellas: determinar la edad de mineralización (Re-Os en molibdenita) y estudiar los pórfidos que cortan a las brechas para conocer su rol en la mineralización.
- Continuar con muestreos de superficie geoquímicos y definir claramente las zonas de alteración y mineralización.
- Realizar un estudio estructural del depósito, ya que este factor controla la mineralización.
- Debido a que hay una relación espacial entre los pórfidos mineralizados y las brechas se recomienda continuar con sondajes profundos en estas zonas para ver si estos se encuentran relacionados a un intrusivo mucho mayor.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alfaro, M., Reyes, M. 1993. Estudio diagnóstico sector los Cristales Altos y Cristales Bajos. *Informe inédito*
- Baker, F. 1979 Thronhjemite. Definition, environment and hypohese of origin. In: Baker F. (ed), Thronhjemite, dacites and related rocks. Elsevier, Amsterdam p 1-12.
- Cabrera, R., Vela, A., 2000. Información geológica Proyecto Rosario de Rengo. *Informe inédito* preparado para COMINOR S.A.
- Camus, F. 2003. Geología de los Sistemas Porfídicos en los Andes de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile, 267 p.
- Charrier, R., Baeza, O., Elgueta, S., Flynn, J.J., Gans, P., Kay, S.M., Muñoz, N., Wyss, A.R. y Zurita, E. 2002. Evidence for Cenozoic extensional basin development and tectonic inversion south of the flat-slab segment, southern Central Andes, Chile (33°-36°S.L.). *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 15, 117-139.
- Charrier, R., Wyss, A., Flynn, J., Swisher III, C., Spichiger, S. & Zapatta, F., 1994. Nuevos antecedentes estratigráficos y estructurales para las Formaciones Coya-Machalí y Abanico, entre los 33°50' y 35°, Cordillera Principal chilena. *Actas del VII Congreso Geológico Chileno*, Vol. 2, p. 1.316 – 1.319. Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de La Tierra, Facultad de Ciencias Químicas. Concepción, Chile.
- Charrier, R 1983. Carta Geológica de Chile escala 1:250.000 Hoja El Teniente. Biblioteca del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN).
- Charrier, R., 1981. Mesozoic y Cenozoic stratigraphy of the central Argentinian-Chilean andes (31°-35°S) y chronology of their tectonic evolution. *Zentralblatt Geologie Palantol.*, Parte I, N° ¾, p.344-355, Stuttgart.
- Deckart, K., Clark, A.H., Aguilar, C., Vargas, R. 2005. Magmatic and hydrothermal chronology of the supergiant Río Blanco Porphyry Copper Deposit, Central Chile: Implications of an integrated U-Pb and 40Ar-39Ar database. *Economic Geology Special Issue on "Giant Porphyry Cu-Mo Deposits of the Andean and PNG/Irian Jaya Foldbelts"*, vol. 100, no. 5, 905-934.
- Deckart, K., Godoy, E., 2006. Barren Igneous intrusive in The central Andes: U Pb y Nd-Hf isotope Geochemistry. *Short papers, V-SSAGI*, 349-351, Punta del Este, Uruguay.
- Deckart, K., Godoy, E., Bertens, A., 2006. Miocene intrusions of the Central Andes: Preliminary geochemistry U/Pb geochronology. *Actas*, vol.2, XI Congreso Geológico Chileno.
- Enrione, A. 1991. Informe Geológico del Yacimiento de Cobre Molibdeno Rosario de Rengo. *Informe inédito* para ENAMI. p 70.

Gómez, R. 2001. Geología de las Unidades Volcanogénicas Cenozoicas del Area Industrial de la Mina El Teniente, entre Colón y Coya, Cordillera Principal de Rancagua, VI Región, Memoria para optar al título de Geólogo, Universidad de Chile.

Kay, S., Godoy, E., Kurtz, A., 2005. Episodic arc migration, crustal thinning, subduction erosion and magmatism in the south-central Andes. *Geological Society of America Bulletin*, vol. 117, n°1, p 67-88.

Kurtz, A., Kay, S., Charrier, R., Farrar, E., 1997. Geochronology the Miocene plutons and exhumation history of the El Teniente región, Central Chile (34-35 °S). *Revista Geológica de Chile*, vol. n° 24, n°1, p 75-90.

Klöhn, C., 1960. Geología de la Cordillera de Los Andes de Chile Central. Provincias de Santiago, Colchagua y Curicó. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, Boletín N° 8.

González A., 1974. Proyecto Explotación de la mina Rosario de Rengo. Tesis Ingeniería Civil en Minas, Universidad de Chile, p 123.

Grez E., 1982. Geología Minera del área Laguna Los Cristales. *Informe inédito* preparado para ENAMI.

JICA., 1983. Informe de reconocimiento geológico y exploración geoquímica del área andina entre los 34°S y 35°S: fase II. *Informe inédito*.

Lowell, J. y Guilbert, J. 1970. Lateral and Vertical Alteration and Mineralization Zoning in Porphyry Ore Deposits. *Economic Geology* Vol 65, pp. 373-408.

Maksaev, V., Zentilli, M., Munizaga, F. y Charrier, R.. Denudación/alzamiento del Mioceno Superior - Plioceno Inferior de la Cordillera de Chile Central (33°-35°S) Inferida por dataciones por trazas de fisión en apatito de plutones miocenos. Décimo Congreso Geológico Chileno, 6-10 Octubre, 2003, Simposio 1 Depósitos Gigantes de Pórfidos Cupríferos Andinos, Universidad de Concepción, Chile.

Maksaev, V.; Munizaga, F.; McWilliams, M.; Mathur, R.; Ruiz, J.; Fanning, M.C. and Zentilli, M. New Timeframe for El Teniente Cu-Mo Giant Porphyry Deposit: U-Pb, 40 Ar- 39 Ar, Re-Os and Fission Track Dating. Short Papers - IV South American Symposium on Isotope Geology, IV SSAGI, August 24th - 27th, 2003, Salvador, Bahía, Brazil, p. 736-739.

Falcón, M. & Rivera, O., 1998. Estudio geológico distrital de la División El Teniente de Codelco-Chile, escala 1:25.000. *Informe inédito*, 108 p. Vicepresidencia de exploraciones y asociaciones mineras, Corporación Nacional del Cobre Codelco-Chile, Santiago, Chile.

Ramos, V. et al., 2004. Las adakitas de la Cordillera Patagónica: Nuevas evidencias geoquímicas y geocronológicas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*,

Rojas A., 2003. Petrografía y Geoquímica del Pórfido Teniente, ubicado en el sector norte del yacimiento El Teniente, Provincia de Cachapoal, VI Región, Chile. Memoria para optar al título de geólogo. Universidad de Concepción. p. 130

Rollinson H., 1983. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. Longman Scientific y Technical, United States. p. 352

Skewes, M., Stern, Ch., Holmgren, C., Contreras, A., Godoy, S., Vela, I. & Rivano, S., 1991. Evolución magmática cerca del borde sur del segmento de bajo ángulo de subducción en Chile Central (32°-34°S). Actas del VI Congreso Geológico Chileno, Vol. 1, p. 146 - 148. Viña del Mar, Chile.

Serrano M., 1967. Informe Geológico de la Mina Rosario, Comuna de Rengo, Departamento Caupolicán, Provincia de O'Higgins. Informe inédito preparado para el departamento de Fomento y Desarrollo de ENAMI. p. 67

Serrano, L.; Vargas, R.; Stambuk, V.; Aguilar, C.; Galeb, M.; Holgrem, C., and Stern, C.R., 1996. The late Miocene Río Blanco-Los Bronces copper deposits, Central Chilean Andes. SEG Special Publication 5. p. 119-130.

Sepúlveda, C. 1989. Informe de Síntesis Geológica del Yacimiento Rosario de Rengo *Informe Inédito* p.39.

Silva J., 1966. Informe geológico Rosario de Rengo. Universidad de Chile. Departamento Geología, *Informe Inédito* preparado en conjunto con ENAMI, p. 35

Streckeisen, A., 1976. To each plutonic rock its proper name. Earth Science Reviews, 12, p 1-33.

Thomas, A., 1995. Prospecto Cristales Alto y Bajo-Rengo. Evaluación geológica de Superficie. p. 35

Warnaars, F.; Holmgren, C.; Barassi F. Porphyry copper and tourmaline breccias at Los Bronces-Rio Blanco, Chile; *Economic Geology*; October 1985; v. 80; no. 6; p. 1544-1565 .

ANEXOS

ANEXO A

**UBICACIÓN DE MUESTRAS
ESTUDIADAS**

A1. Resumen de muestras obtenidas, para el estudio geocronológico, petrográfico y geoquímico.

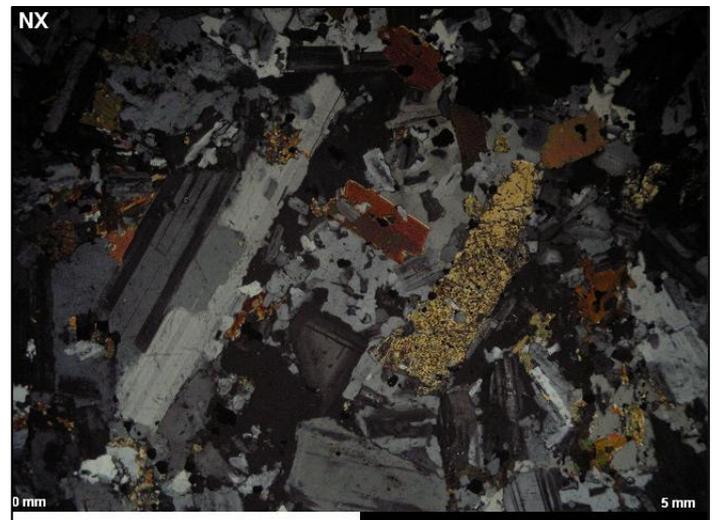
Numero de muestra	Coordenada Norte	Coordenada Este	Altura	Muestra Datación U-Pb	Muestra Geoquímica	Muestra Corte	SECTOR	OBSERVACIONES
PM-01	6178568	361413	2965		*	*	Plutón Rosario Norte	Se descarta muestra para datación, por proximidad al contacto
PM-02	6178566	361736	2906		*	**	Zona de contacto entre Plutón Rosario y Stock Norte	Presenta relictos de sulfuros
PM-03	6178466	361771	2890		*	*	Stock Norte	Muestra datación descartada por cercanía al contacto
PM-05	6175405	362111	2619		*	**	Porfido Rosario Norte	
PM-06	6175311	362167	2619	*	*	**	Porfido Rosario Sur	Contiene abundante pirita
PM-09	6176244	362132	2596			*	Zona alterada norte Brecha Luisa	
PM-11	6175896	360177	2986		*	*	Plutón Rosario Cumbre	
PM-12	6176647	361439	2637			**	Porfido Cristales	Muestra datación descartada, por alteración y proximidad al contacto
PM-13	6176647	361439	2637			*	Zona de contacto entre Stock Cristales y Pórfido Cristales	
PM-14	6176647	361439	2637			*	Stock Cristales Bajos	
PM-15	6176725	361537	2595		*	*	Stock Cristales Altos	
PM-16	6174169	360700	2247	*	*	*	Plutón Rosario Sur	Se ocupa muestra obtenida para geoquímica también para datación. En el sector se observan xenolitos
PM-17	6176920	361971	2576			*	Stock Norte	
PM-18	6177300	361900	2680	*	*	*	Stock Norte	
PM-19	6176613	361357	2678	*	*	**	Porfido Cristales	
PM-20	6176907	362202	2704		*	*	Stock Norte	

** Muestras a las cuales se les realizó estudio de opacos por medio de corte pulido

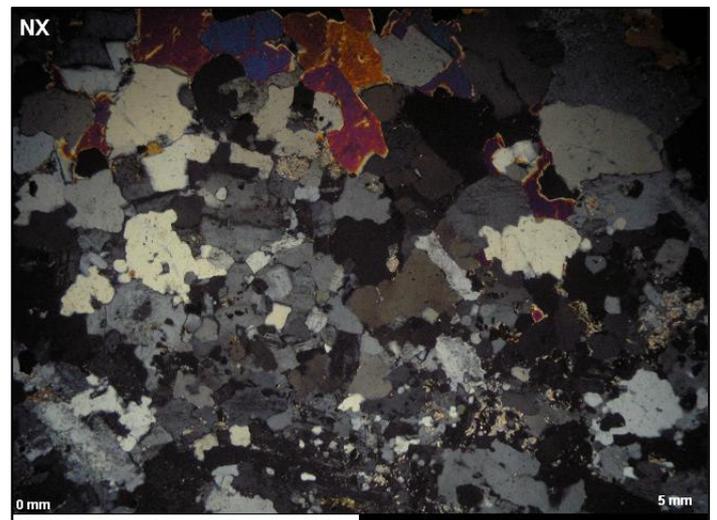
ANEXO B

**DESCRIPCION PETROGRAFICA DE
CORTES TRANSPARENTES**

MUESTRA	PM-01
	<p>TEXTURA Inequigranular, hipidiomorfica, holocristalina y algunos cristales presentan textura poikilitica</p>
	<p>COMPOSICIÓN 35% plagioclasas subhedrales en su mayoría zonadas y con macla polisintética, una porción presenta textura sieve y otra presenta textura pertitica. Tamaño desde < 0,5 mm a 2 mm 25% feldespato potásico, principalmente ortoclasas, escasa sanidina y microclina. Subhedrales de tamaño promedio 1 mm 23% cuarzo anhedral como agregados finos entrecrecidos en la masa fundamental, tamaño < 0,5mm a 1 mm 8% biotita subhedral, en su mayoría oxidadas y también alterando a las anfíbolas. 3% anfíbola subhedral, se reconoce escasamente hornblenda y actinolita, pues se encuentran alterados con óxidos y biotita, presenta textura poikilitica con inclusiones de opacos y finos entre los que se distinguen rutilo y circón, presentan macla simple y clivaje 1% piroxeno con inclusiones de plagioclasas y otros 5% minerales opacos diseminados, subhedrales y anhedrales Accesorios: circón y rutilo</p>
ALTERACION	La roca presenta silicificación y biotitización débil
CLASIFICACION	<i>Granodiorita a Monzogranito de anfíbola</i>



MUESTRA	PM-02
TEXTURA	Inequigranular, pues presenta cúmulos de cristales subhedrales > a 0,5 mm en una masa de agregados felsosídica de cristales mas finos, hipidiomorfa, holocristalina
COMPOSICIÓN	63 % cuarzo, como agregados finos en la masa y una porción de cristales subhedrales de tamaño promedio a 1mm. 20 % plagioclasa, presentan macla polisintética, afectadas moderadamente por alteración sericitica y arcillas, algunas presentan textura sieve con alta cantidad de pequeñas inclusiones. 18 % feldespato K, anhedral se encuentra junto al cuarzo en la masa como un agregado fino pero en menor cantidad, se logra distinguir por su incipiente alteración a arcilla y algunas maclas simples observadas 1% piroxeno anhedral de fuerte color tamaño promedio 1 mm. <1 % minerales opacos subhedrales Accesorios: rutilo, muscovita y anfíbola
ALTERACION	La roca se encuentra altamente silicificada, y presenta incipiente alteración sericitica, trazas de clorita y epidota. Escasos óxidos de Fe alterando a algunos piroxenos
CLASIFICACION	<i>Roca silicificada</i>



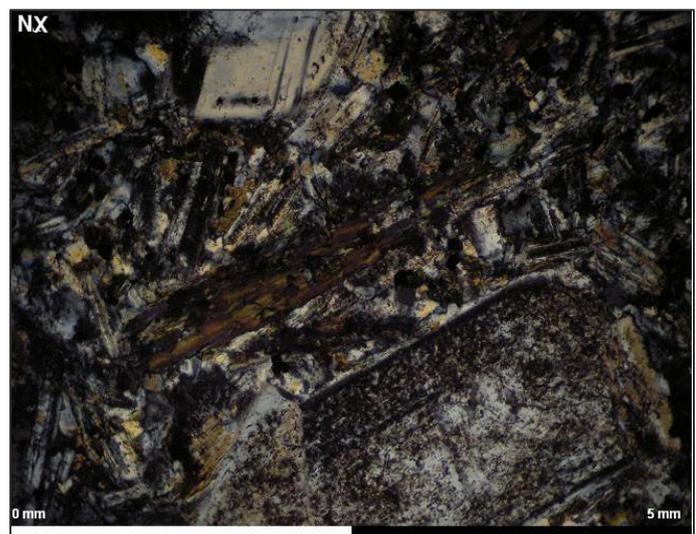
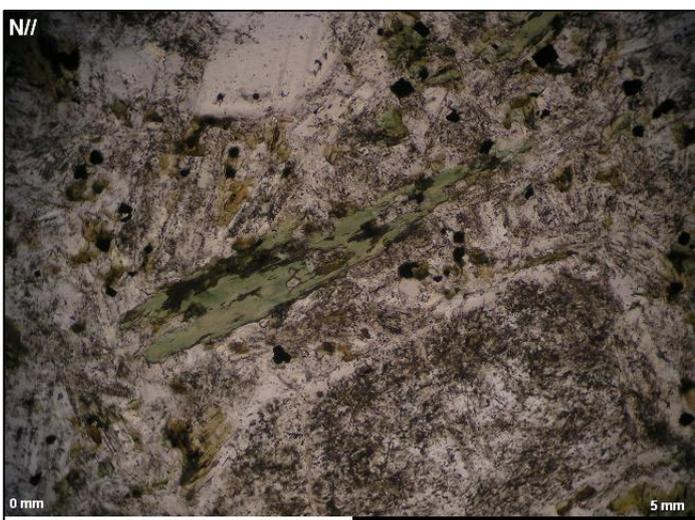
MUESTRA	PM-03
	TEXTURA Inequigranular, hipidiomorfica, holocristalina
	COMPOSICIÓN 44% plagioclasas subhedrales, gran parte de ellas con textura peritica, escasas con textura mirmequitica, presentan macla polisintética. Tamaño de 0,5 a > 2 mm. 20% cuarzo anhedral. Tamaño promedio 1mm. 13% feldespato K, se reconoce solo ortoclasa de tamaño de 1 a 2 mm 6% anfíbola subhedral con macla simple, algunos parcialmente biotitizados y cloritizados moderadamente tamaños de 1 a 4 mm con textura poikilitica con inclusiones de opacos y apatito 3% arcilla alterando a las ortoclasas 3% biotita, en su mayoría oxidada tamaño muy fino hasta 1 mm 2% piroxeno subhedral fuertemente fracturados y con textura de reabsorción 2% minerales opacos anhedrales a subhedrales de formas cúbicas
ALTERACION	Presenta cloritización débil e incipiente biotitización
CLASIFICACION	<i>Granodiorita de Anfíbola</i>



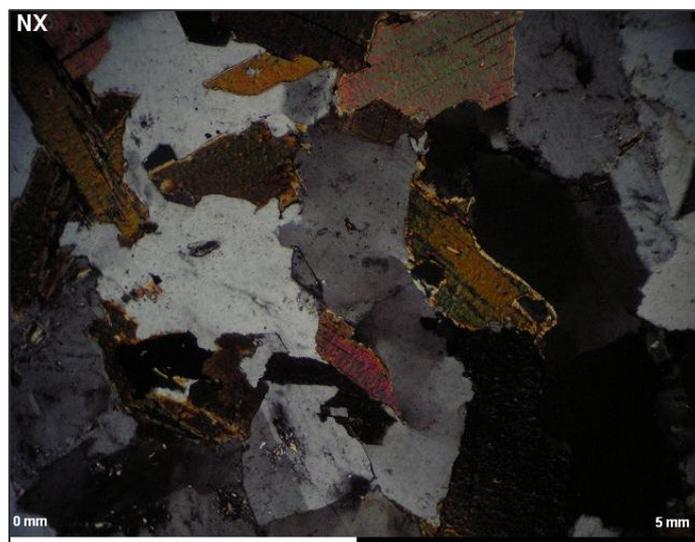
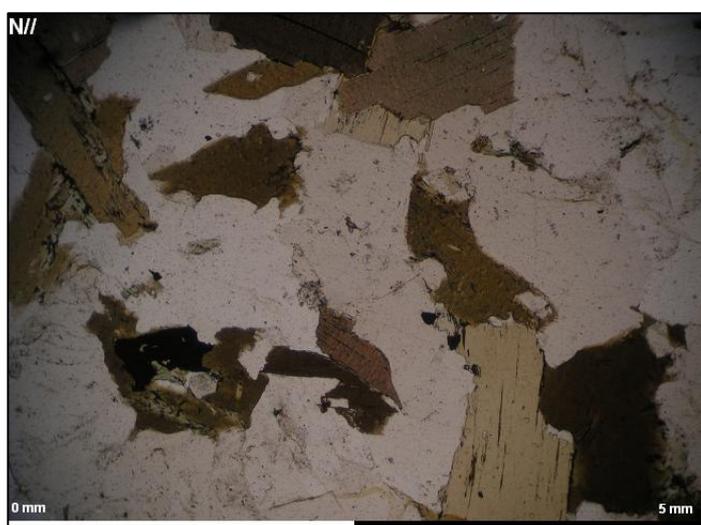
MUESTRA	PM -05
TEXTURA	Inequigranular, hipidiomorfica, holocristalina, porfirica, pilotaxitica
COMPOSICIÓN	<p>Fenocristales (10%): 7% plagioclasas subhedrales de tamaño de 0,5 a 2 mm promedio, bastante reabsorbidas y moderadamente alteradas a arcilla y sericita, presentan macla de carsbad y polisintética la mayoría presenta textura sieve. Se presentan escasos esqueletos de plagioclasas alterados a arcilla y sericita 3% cuarzo anhedral de tamaño variable de 0,1 a 0,5 mm 2% feldespato K tipo ortoclasa, también alterado a sericita y arcilla de tamaño de 1 a 2 mm</p> <p>Masa fundamental (90%): Constituida principalmente por microlitos de plagioclasas (70%) junto a escasos granos de cuarzo y feldespato (20%), se observa una pseudorientación de los cristales. Minerales opacos 2% se presentan junto a clorita y algunos óxidos de Fe</p>
ALTERACION	Fílica, caracterizada por sericita en plagioclasas y arcilla moderada en la masa, se observa además moderada cloritización
CLASIFICACION	Cuarzo-Monzodiorita porfirica



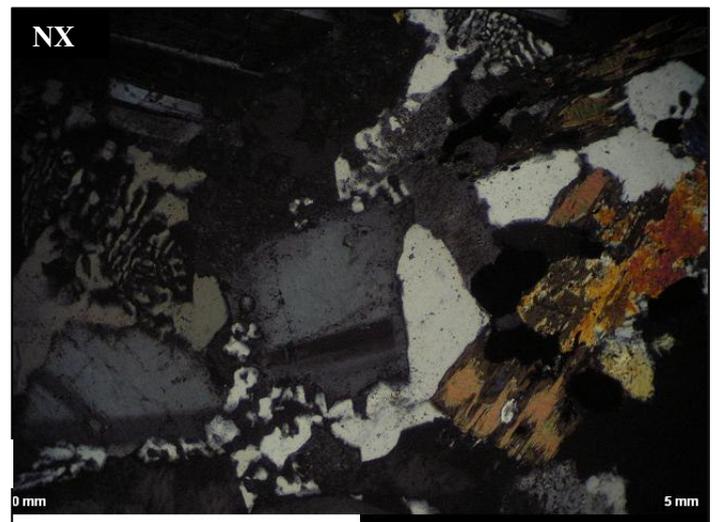
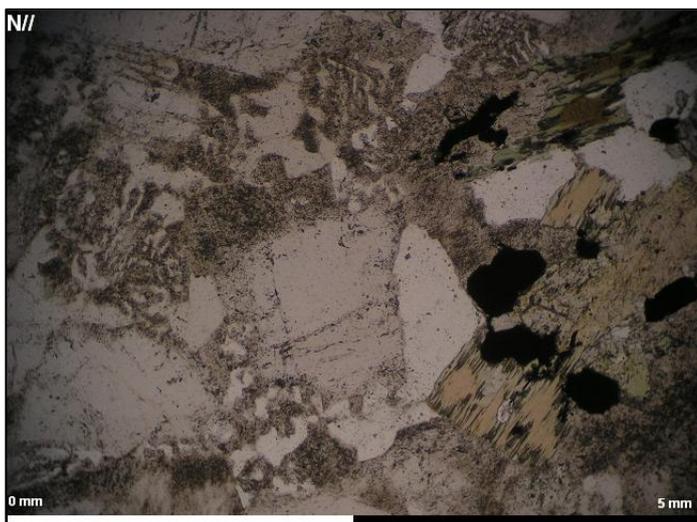
MUESTRA	PM-06
	<p>TEXTURA Inequigranular, hipidiomorfa, holocristalina, porfirica, pilotaxítica</p> <p>COMPOSICIÓN Fenocristales (20%) 12% plagioclasas, subhedrales de tamaño variable entre 0,5 a 2 mm presenta textura sieve y se encuentran fuertemente alteradas a arcilla y sericita, sus bordes se encuentran corroídos, presentan macla de carsbad y polisintética, se aprecian cúmulos de plagioclasas mas 4% feldespato K subhedral del tipo ortoclasa las cuales se encuentran en su mayoría zonadas 2% cuarzo anhedral, de tamaño promedio 0,5 mm 2% esqueletos de minerales máficos cloritizados, entre ellos se distingue anfíbol subhedral completamente cloritizado</p> <p>Masa fundamental (80%) Fundamentalmente compuesta por microlitos de plagioclasas (70%) y granos finos de cuarzo, también se presentan cristales finos de biotita oxidada (5%) y un 4% de minerales opacos subhedrales de formas cúbicas diseminados y anhedrales</p> <p>Accesorios: esfero y circones como inclusiones en plagioclasas</p>
ALTERACION	Fílica caracterizada por sericita en plagioclasas y arcilla intensa en algunas ortoclasas y en la masa fundamental, además presenta cloritización y biotita diseminada moderada
CLASIFICACION	<i>Cuarzo-monzodiorita Porfirica</i>



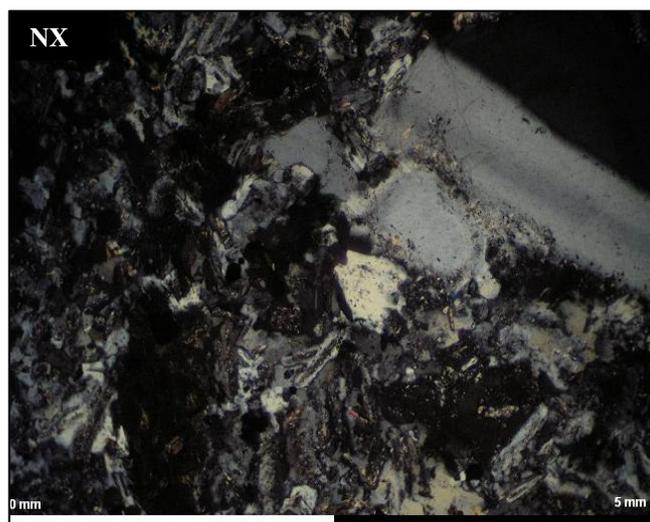
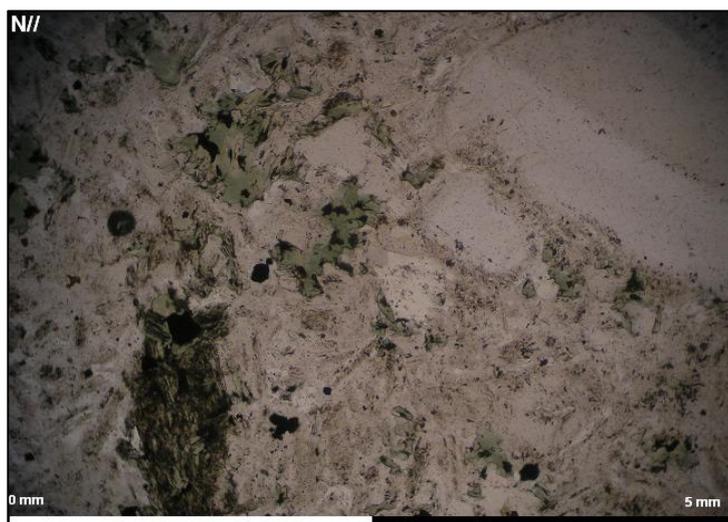
MUESTRA	PM-09
	<p>TEXTURA Inequigranular, hipidiomorfica, holocristalina</p> <p>COMPOSICIÓN 30% cuarzo anhedral y con extinción ondulosa debido a strain, tamaño >2 mm 37% plagioclasas la mayoría zonadas con macla polisintética, presentan alteración incipiente de sericita, presentan inclusiones menores, entre ellos destaca el circón. Tamaño 0,5 mm a 1 mm 20% feldespato K, microclina reconocida por macla de tartran, ortoclasas subhedrales zonadas con macla simple y débilmente alterada con sericita y arcilla. Tamaño > 2 mm. 10% biotita formando cúmulos y también de manera diseminada, una porción de estas se ubica en los bordes de biotitas subhedrales, pero no presenta pleocroismo y son anhedrales, correspondiendo posiblemente a la oxidación de estas. Tamaño 0,5 a 1 mm 2% sericita, alterando a plagioclasa y feldespato 1% minerales opacos anhedrales 1% óxidos de Fe alrededor de los cúmulos de biotita Accesorios: muscovita, circón</p>
	<p>ALTERACION</p> <p>Alteración: Presenta escasa sericitización de plagioclasas y feldespato y biotitización débil</p>
CLASIFICACION	<i>Granodiorita de Biotita</i>



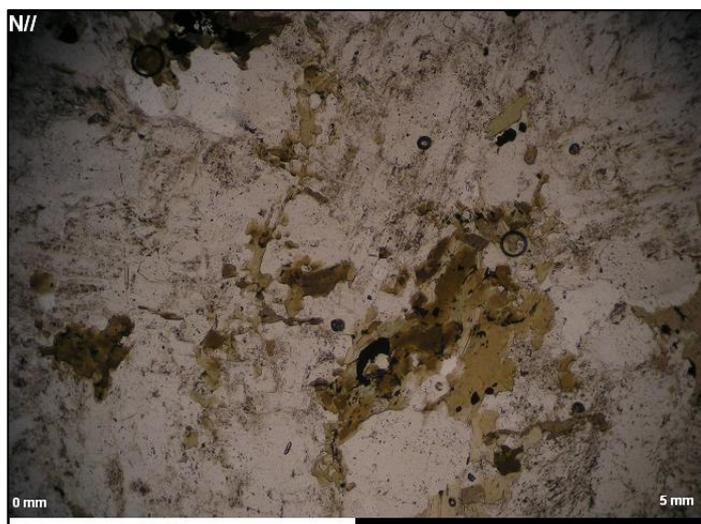
MUESTRA	PM-11
	<p>TEXTURA Inequigranular, alotromorfica, holocristalina, algunas plagioclasas presentan textura sieve con inclusión de minerales muy pequeños difícil de distinguir, en secciones se observa también una textura micrográfica desarrollada entre cristales de cuarzo sobre un fondo de feldespato y también presenta porciones mirmequiticas con cuarzo en forma de gusano entrecrecido en un plagioclasa.</p>
	<p>COMPOSICIÓN 35% plagioclasas con textura pertitica, algunas zonadas y con maclas polisintéticas. Tamaño de 0,5 a >2 mm 20% feldespato K, se distingue microclina por su macla de tartran, ortoclasa y sanidina. Tamaño de de 1 a 2 mm 20 % cuarzo anhedral y con extinción ondulosa debido a strain. Tamaño de 1 a 2 mm 6% clorita diseminada y alterando a biotita y anfíbola 3% sericita alterando a algunas plagioclasas 2% biotita, se presenta moderadamente cloritizada 2% arcilla la cual le da el aspecto sucio a los feldespatos 2% epidota se aprecia junto a la clorita 3% anfíbola anhedral parcialmente biotitizado, tamaños de 0,5 a 1 mm 2% piroxeno pigeonita, presenta macla simple, moderadamente cloritizado, presentan textura poikilitica con inclusiones de opacos, plagioclasas y otros minerales. Tamaño promedio 1 mm. Algunos muestran reabsorción (colores fuertes) 5% opácos de formas subhedrales Accesorios: circón, apatito.</p>
ALTERACION	Presenta una moderada argilización de plagioclasas y feldespatos, débil sericitización e incipiente alteración propilitica, más óxidos de Fe
CLASIFICACION	<i>Granodiorita a monzogranito de Anfíbol</i>



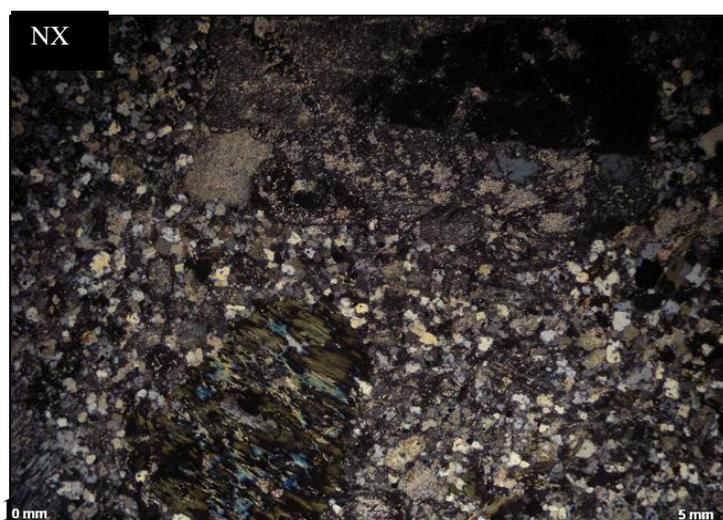
MUESTRA	PM-12
	<p>TEXTURA Holocristalina porfirica, fenocristales subhedrales de tamaño entre 1 a 2 mm en una masa fundamental recristalizada equigranular fina < 0,2 mm.</p> <p>COMPOSICIÓN Fenocristales (10%) 5% plagioclasa subhedrales y algunas fracturadas, la mayoría de ellas se encuentran zonadas, tamaño entre 1 a 2 mm presentan maclas polisintéticas. Se encuentran moderadamente alteradas a arcilla y sericita 4% feldespato K subhedral con bordes alterados a arcilla, se distingue ortoclasa > microclina de tamaño 1 a 3 mm 1% cuarzo anhedral tamaño promedio 1 mm</p> <p>Masa Fundamental (90%). Agregado fino de cuarzo-feldespato anhedrales y se distinguen microlitos de plagioclasas subhedrales (80%) los cuales se encuentran moderadamente alterados a arcillas. Se reconocen minerales opacos diseminados subhedrales y anhedrales y como mineral accesorio 1% de circones diseminados</p>
ALTERACION	<p>Presenta clorita (10%) diseminada y en esqueletos máficos cloritizados (entre ellos se distinguen biotitas). La roca presentaría una alteración cuarzo-sericitica débil y una cloritización y argilización moderada.</p> <p>Observación: La muestra presenta dos vetillas bien definidas de espesor 0,3 mm rectas de cuarzo-feldespato menor sericita y muscovita con presencia de minerales opacos de formas cúbicas.</p>
CLASIFICACION	Tonalita porfirica



MUESTRA	PM-13
	TEXTURA Holocristalina inequigranular, alotriomorfica
	COMPOSICIÓN 30% cuarzo recristalizado anhedral en toda a roca y en vetillas tamaño <1mm 10% feldespato, se presenta zonado y con alteración a sercita y arcilla tamaño promedio 1 mm 28% plagioclasa, algunas de ellas fracturadas, con textura sieve y los bordes corroídos, presentan moderada alteración a sercita y menor arcilla, la mayoría de ellas presentan zonación y macla polisintética. Tamaño varia entre 0,5 a 2 mm 10% sercita, alterando a los feldespatos y plagioclasas de manera moderada. 10% biotita muy fina hasta 0,5 mm, algunas se presentan oxidadas y cloritizadas, ocurren de manera diseminada o en finas vetillas semirectas 4% clorita diseminada y alterando a biotita 3% minerales opacos de formas subhedrales y euhedrales cúbicas 5% arcilla alterando a feldespatos y plagioclasas junto a sercita
ALTERACION	Presenta una alteración potásica y silicificación moderada, mas cuarzo-sercita o fílica débil
CLASIFICACION	<i>Granodiorita-Tonalita de Biotita</i>



MUESTRA	PM-14
	<p>TEXTURA Holocristalina porfirica, idiomorfica con fenocristales de 1 a 2 mm en una masa fundamental equigranular con tamaño de grano <0,2 mm</p> <p>COMPOSICIÓN Fenocristales (20%): 12% plagioclasa la mayoría completamente sericitizadas y moderada arcilla intensamente fracturadas, tamaño variable entre 1 a 3 mm 8% feldespato K, se alcanza a reconocer ortoclasas y puntual microclina, la mayoría se encuentran completamente sericitizados y moderada arcilla, su tamaño varía de 1 a 3 mm</p> <p>Masa Fundamental (80%) Agregado cristalino de cuarzo feldespato fino presenta un 10% de minerales opacos de formas principalmente anhedrales y escasos subhedrales de forma cúbica</p>
ALTERACION	Fuerte alteración cuarzo-sericitica con arcilla moderada y alteración potásica débil. Además se presenta clorita alterando a esqueletos máficos (10%), se distinguen anfíbol y biotita, los cuales presenta a su vez bordes con óxidos de fierro, silicificación débil.
CLASIFICACION	<i>Roca porfídica alterada</i>



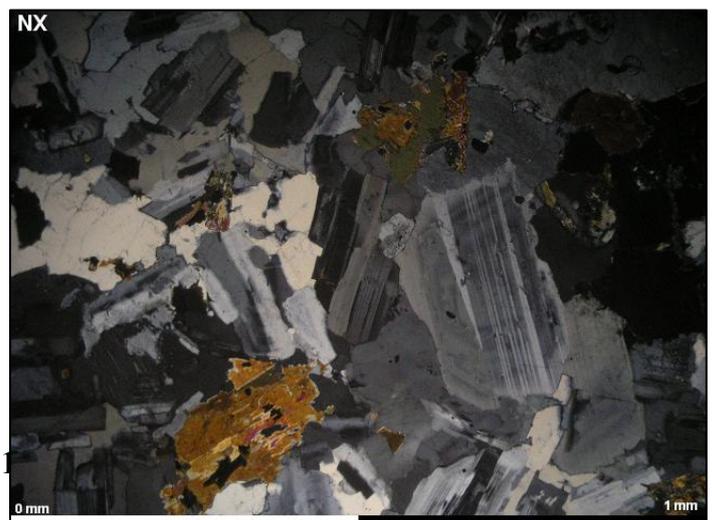
MUESTRA	PM-15
	<p>TEXTURA Holocristalina, inequigranular, panidiomórfica</p>
	<p>COMPOSICIÓN 45% plagioclasas subhedrales, escasas con textura sieve, algunas de ella presentan zonación, con bordes de crecimiento, débilmente alteradas con sericita y arcillas, se aprecian porciones periticas en moderada parte de la población, presentan maclado polisintético característico. Tamaño variable entre 1 a 4 mm 30% cuarzo anhedral en sectores con textura de mosaico con un tamaño de grano que varía de 0,1 a 0,5 mm 15 % feldespato K subhedral, se reconoce ortoclasa débilmente alterada a arcillas, algunas de ellas se encuentran zonadas y con un borde de crecimiento, se aprecia una menor cantidad de microclina. 5% biotita. Se presentan esqueletos de biotita hexagonal, diseminada y en pequeños cúmulos de biotita fina, algunas se encuentran parcialmente cloritizadas y otras presentan color marrón fuerte. 3% minerales opacos subhedrales a euhedrales de formas cúbicas, una porción de ellos se encuentra en las biotitas de color marrón 2% clorita alterando y reemplazando moderadamente a una porción de las biotitas Accesorios: apatito, circón, rutilo</p>
ALTERACION	La muestra presenta una débil silicificación y escasa arcilla y sericita en los feldespatos y plagioclasas, de manera que esta asociación permite inferir una incipiente alteración cuarzo-sericítica o fílica
CLASIFICACION	<i>Granodiorita de biotita</i>



MUESTRA	PM-16
	TEXTURA Holocristalina, inequigranular, panidiomórfica, cumulofídica
	COMPOSICIÓN 40% plagioclasa, presentan macla polisintética, la gran mayoría de ellas se encuentran zonadas y se disponen en cúmulos, el tamaño es bastante variable desde 0,3 mm a 3 mm, algunas presentan bordes con textura mirmequitica y se encuentran fracturadas. 20% feldespato K subhedrales se aprecia una mayor cantidad de microclina en comparación con el resto de las muestras, pero sigue siendo menor que la cantidad de ortoclasa, ambos se encuentran zonados de tamaño 1 a 3 mm 30% cuarzo anhedral con extinción ondulosa, entrecrecido junto a los feldespatos y plagioclasas 1% clinopiroxenos anhedral, se disponen en cúmulos, presentan débil cloritización e inclusiones de minerales opacos subhedrales rómbicos y cúbicos, se distingue puntual augita euhedral de tamaño variable de 0,5 mm a 1 mm. 4% anfíbola, destacan tremolita subhedral, presenta macla simple e incipiente alteración a biotita y se observan algunas porciones de Hornblenda menores. Tamaño de 1 a 3 mm 4% biotita fracturada y diseminada de varia de 0,5 a 2 mm 1% clorita afectando al anfíbol Accesorios: abundante circón, menor apatito
ALTERACION	Biotitización muy débil de algunos anfíboles, pero podría corresponder a un grado de metamorfismo, lo cual sería concordante con la fuerte extinción ondulosas que presentan los cuarzos.
CLASIFICACION	<i>Granodiorita de Anfíbola</i>



MUESTRA	PM-17
	<p>TEXTURA Holocristalina, inequigranular, panidimórfica, cataclástica</p>
	<p>COMPOSICIÓN 40% cuarzo anhedral entrecrecido junto a feldespatos y plagioclasas, presenta extinción ondulosa, tamaño variable de 0,5 a 1 mm. 26% plagioclasas fracturadas la mayoría zonadas, presentan débil alteración sericítica junto a arcilla en el núcleo. Algunas de ellas poseen textura sieve, mirmequítica y algunas presentan peritita. La mayoría de ellas presenta macla polisintética y escasas de periclina. Tamaño variable entre 1 a 3 mm. Se aprecia una suerte de entrecrecimiento entre plagioclasas 20 % feldespato subhedral y fracturado, se distingue microclina y ortoclasa. Tamaño variable entre 1 a 2 mm, presentan débil sericitización y algunas moderada arcilla 6 % anfíbola, presenta biotitización moderada, se concentra en cúmulos y algunas de ellas presentan macla simple, se distinguen hornblenda y tremolita 5% biotita diseminada fina y mayores de 1 mm presenta inclusiones de opacos presenta bordes con óxidos de Fe 3% minerales opacos subhedrales cúbicos y anhedrales</p>
ALTERACION	Debido a la presencia de biotita alterando a los anfíboles y la recristalización de los feldespatos y plagioclasas, se trataría de una débil alteración potásica
CLASIFICACION	<i>Granodiorita de Anfíbola</i>



MUESTRA	PM-18
	<p>TEXTURA Holocristalina, Inequigranular, porfírica, y poikilitica.</p>
	<p>COMPOSICIÓN Fenocristales (10%) Corresponden principalmente a plagioclasas euhedrales con macla polisintética, carlsbad y periclina de tamaño de 3 a 5 mm. También se reconocen trozos de ortoclasa con macla simple de tamaño promedio 2 mm y escasas anfíbolos de 3 mm</p> <p>Masa fundamental (90%) Esta constituida por cuarzo anhedral (35%) mas plagioclasas (25%) y feldespato ortoclasa (10%) de tamaño entre 0,3 a 1 mm, se observan el cuarzo con gran cantidad de inclusiones de plagioclasas y feldespato. Además se observa un 4% de biotita con óxidos de Fe rodeando a algunas de ellas y diseminado en la masa aparecen un 12% de anfíbolal de fuertes colores con débil alteración a biotita y también se distingue un 2% de piroxenos subhedrales de tamaño <0,5 mm ambos presentan inclusiones de minerales opacos Finalmente presenta un 2% de minerales opacos subhedrales diseminados finos. Accesorios: Circón y apatito</p>
ALTERACION	<p>La roca presenta una leve biotitización y el porcentaje de anfíbola corresponde a tremolita actinolita, de manera que la roca presentaría una incipiente alteración potásica</p> <p>Observación: El corte en general presenta una extinción ondulosa, indicador de que la muestra estuvo sometida a un cierto grado de strain</p>
CLASIFICACION	<i>Granodiorita de Anfíbola</i>



MUESTRA	PM-19
	<p>TEXTURA Holocristalina, inequigranular, porfídica, panidiomorfica</p>
	<p>COMPOSICIÓN Fenocristales (20 %) Plagioclasas (10%) y feldespatos (5%) fracturados, subhedrales los cuales presentan núcleo zonado con arcillas solo en sus bordes, de tamaños variables de 1 a 4 mm. Ambos se encuentran maclados y zonados. Algunas plagioclasas presentan textura peritica y se encuentran de débil a moderadamente alteradas a arcillas. Existe un (5%) de anfíbola subhedral moderadamente cloritizado de tamaño variable de 1 a 3 mm, algunos de ellos presentan macla simple, se reconoce hornblenda y tremolita (fuerte color).</p> <p>Masa Fundamental (80 %) Compuesta por cuarzo anhedral junto a microlitos de plagioclasas entrecrecidos con microcristales feldespato y menor cuarzo, se observa un 10% de biotita diseminada fina y escasos cristales de 2 mm, además de un 18% de anfíbola fino y moderadamente cloritizado en la matriz. La clorita (7%) diseminada fina y afectando a los cristales mayores de biotita y anfíbola. Tiene un 10% de minerales opacos, subhedrales de formas cúbicas y anhedrales, diseminados en la masa y como inclusiones dentro de los anfíbolos mayores</p> <p>Accesorios: circón</p>
ALTERACION	La muestra presenta una débil alteración potásica, con cloritización moderada sobreimpuesta y débil argilización de feldespatos y plagioclasas
CLASIFICACION	<i>Cuarzomonzodiorita de Anfíbol porfirica</i>



MUESTRA	PM-20
	TEXTURA Holocristalina, inequigranular, panidiomórfica
	COMPOSICIÓN 25% Feldespato: subhedrales, se destacan principalmente ortoclasas y escasas microclinas, presentan zonación junto a maclas simple y de tartran respectivamente, algunos de ellos presentan incipiente alteración sericitica. Tamaño variable de 0,5 a 3 mm 40% Plagioclasas: subhedrales presentan macla de carlsbad, polisintética y de periclina, algunas tienen textura peritítica y otras sieve 25% Cuarzo: anhedral entrecrecido en la masa su tamaño promedio 1 mm aunque presenta pequeños sectores de cuarzo microcristalino. 5% Biotita se presentan agregados de biotita fino y diseminada, y afectando parcialmente a cristales de anfíbol. Se presentan oxidos de Fe y minerales opacos alrededor de las biotitas 3% Anfíbola sunhedral de tamaño de 0,5 a 1 mm, se reconocen actinolita y hornblenda, parcialmente alterados a biotita, presentan macla simple 2% de minerales opacos sunhedrales cúbicos a anhedrales Accesorios: rutilo
ALTERACION	Presenta una débil alteración potásica e incipiente alteración sericitica en la plagioclasas.
CLASIFICACION	<i>Granodiorita a monzogranito de Anfíbola</i>

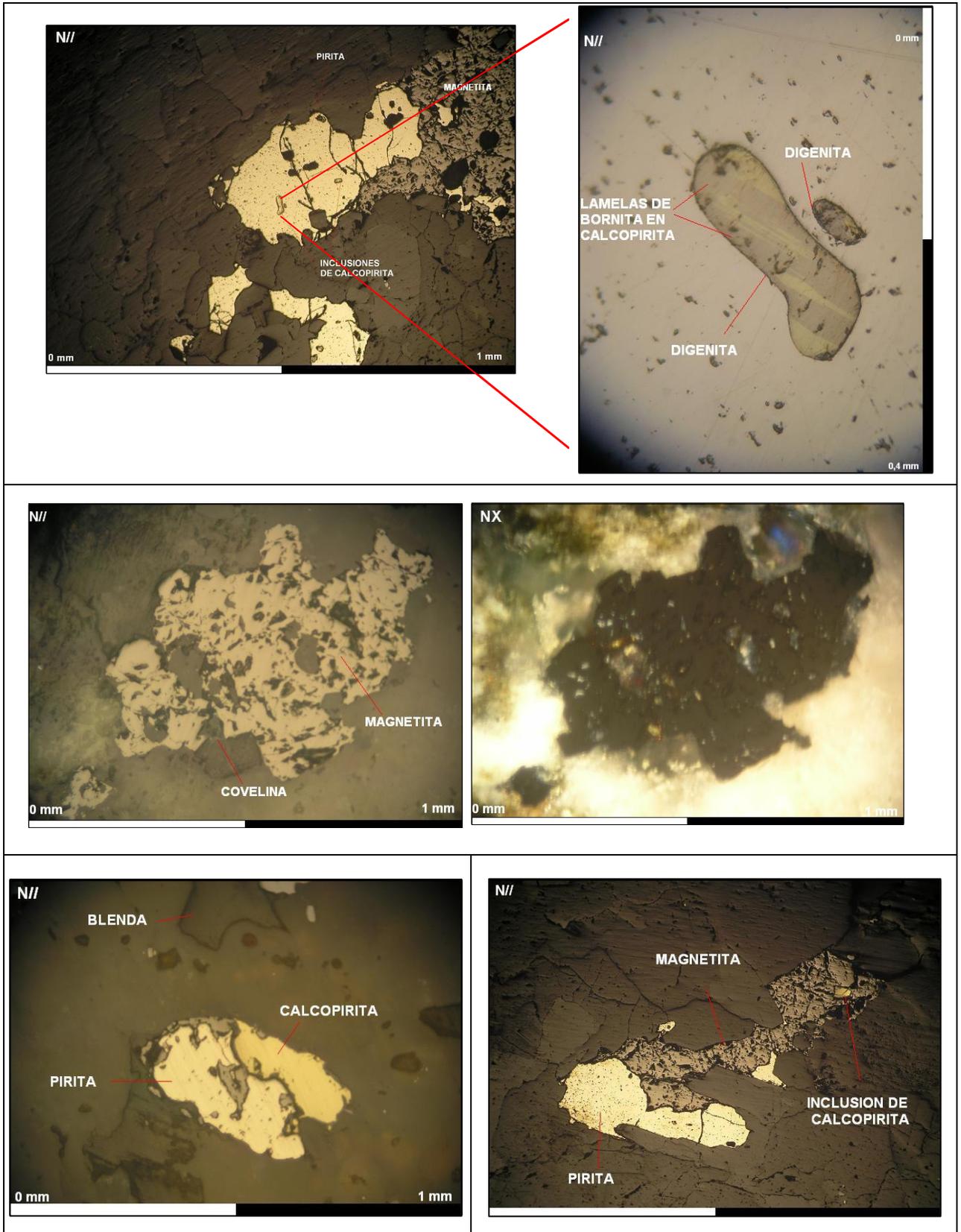


ANEXO C

**DESCRIPCION DE
CORTES PULIDOS**

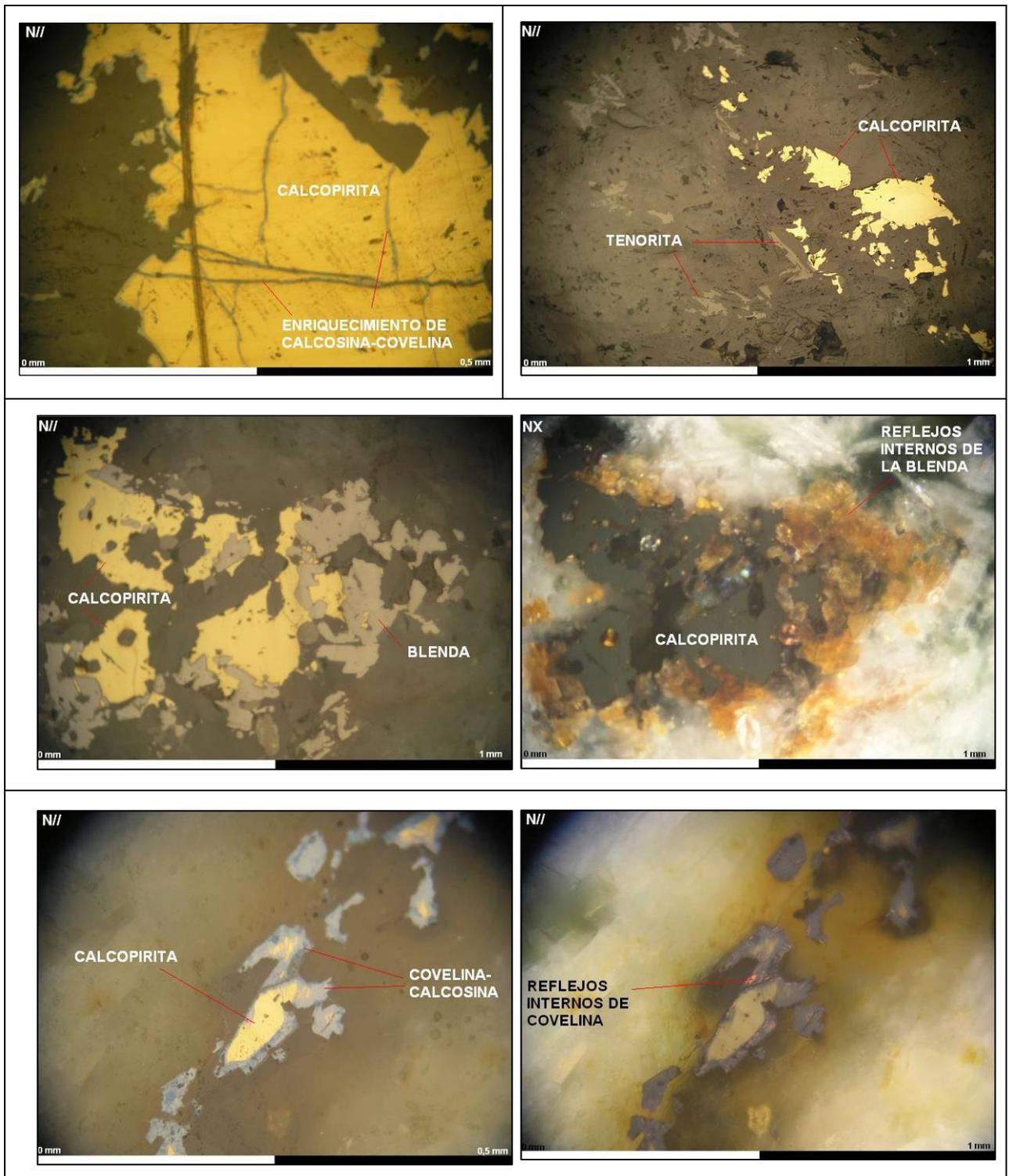
MUESTRA PM-02

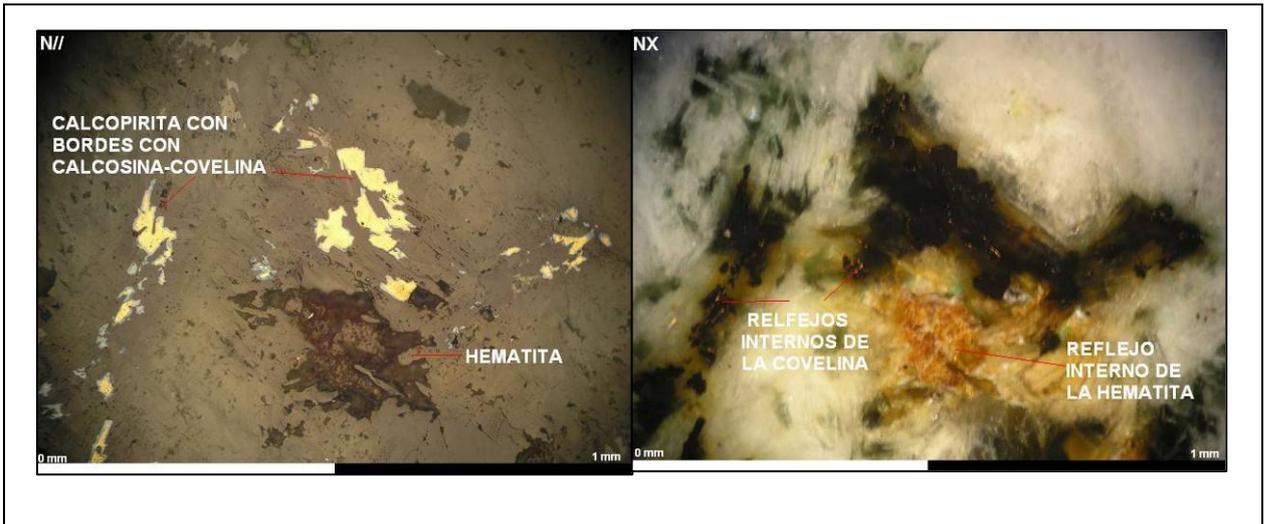
Presenta Pirita (1%) de color amarillo latón pálido con fuerte relieve y muy sucia, se encuentra diseminada y en vetillas con óxidos de Fe. Se observa escasa (<1%) Calcopirita entrecrecida con la Pirita y como inclusiones en ella. La Calcopirita es de color amarillo latón oscuro y presenta lamelas de Bornita y trazas de Digenita. También se presenta magnetita de color gris claro y textura rugosa, diseminada y con escasa presencia de covelina en los bordes. Además posee blenda diseminada.



MUESTRA PM-05

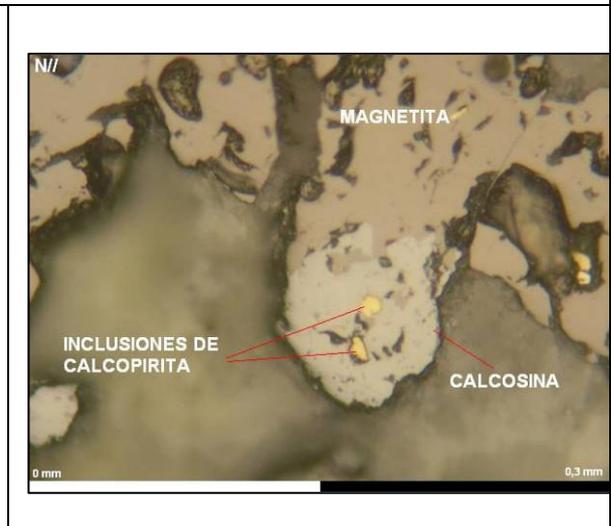
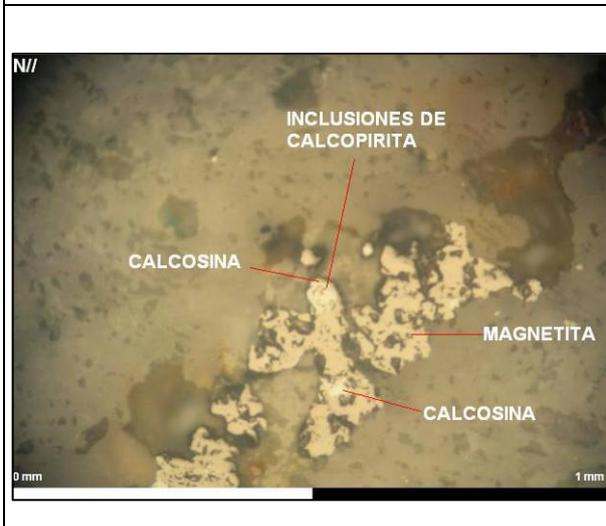
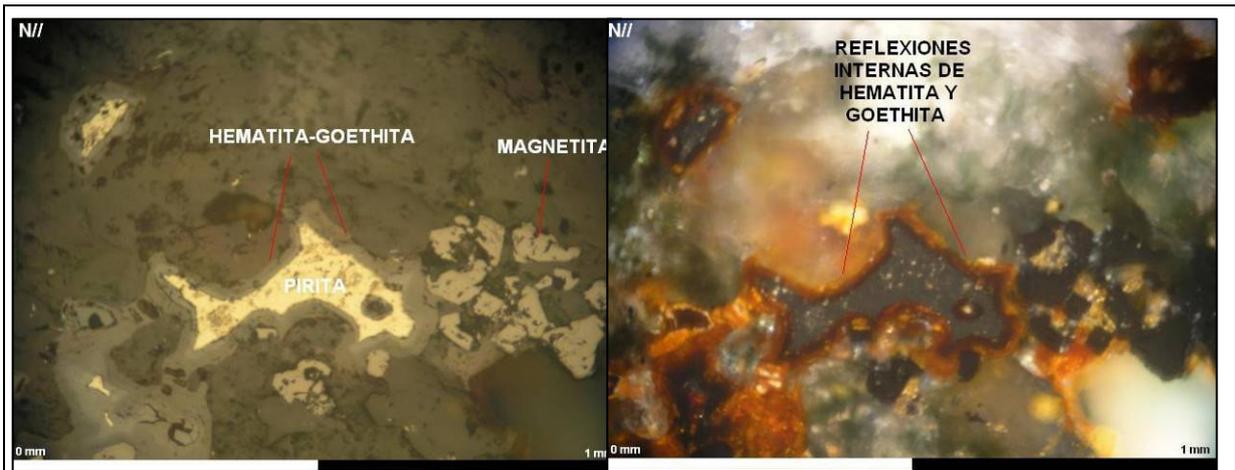
Presenta Calcopirita irregular y con escasas estrías diseminada (1,5%) y puntualmente se observa enriquecimiento de calcosina y covelina en los bordes y entrecrecida en la Calcopirita. Se observa blenda junto a calcopirita y en algunos sectores trazas de tenorita.





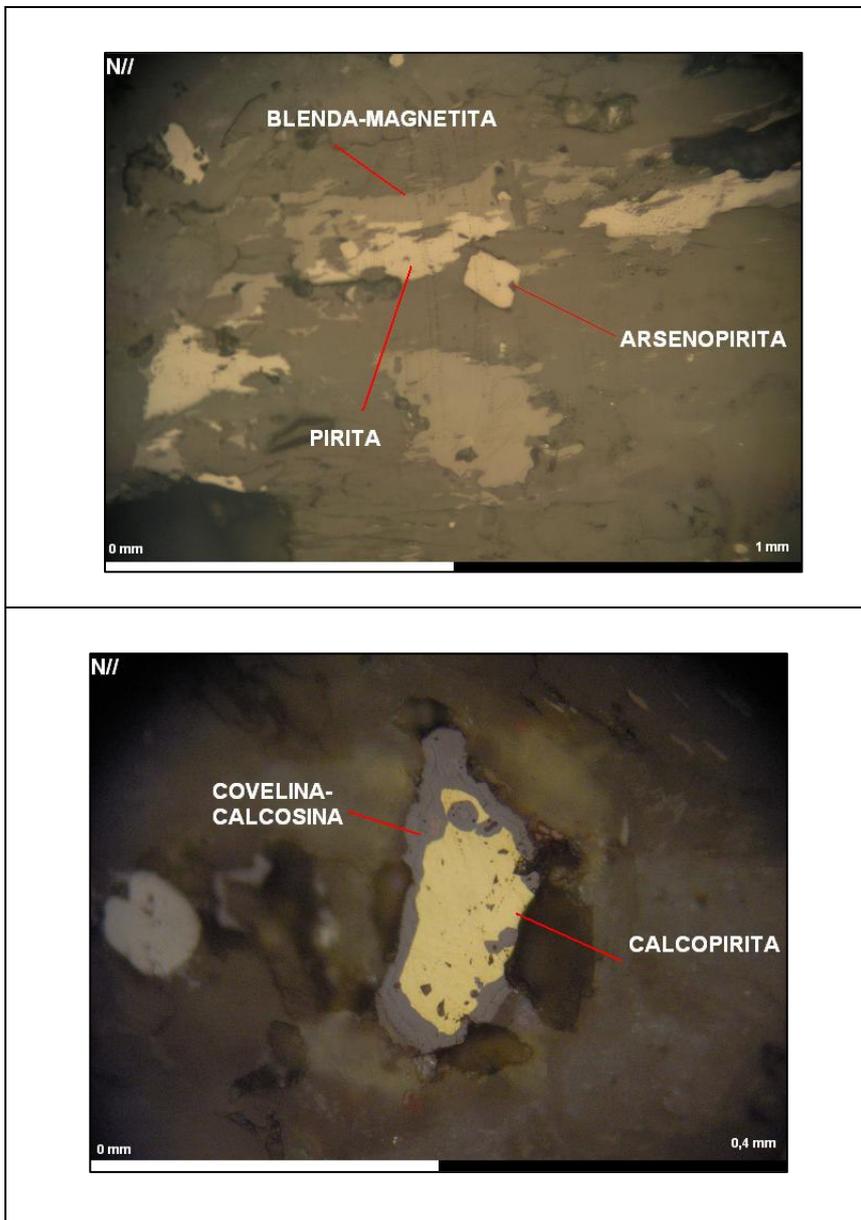
MUESTRA PM-12

Presencia de Py (5%) con estrías y bordes grises con óxidos de Fe y junto a magnetita gris-café. Además hematita llenando cavidades y en vetillas.



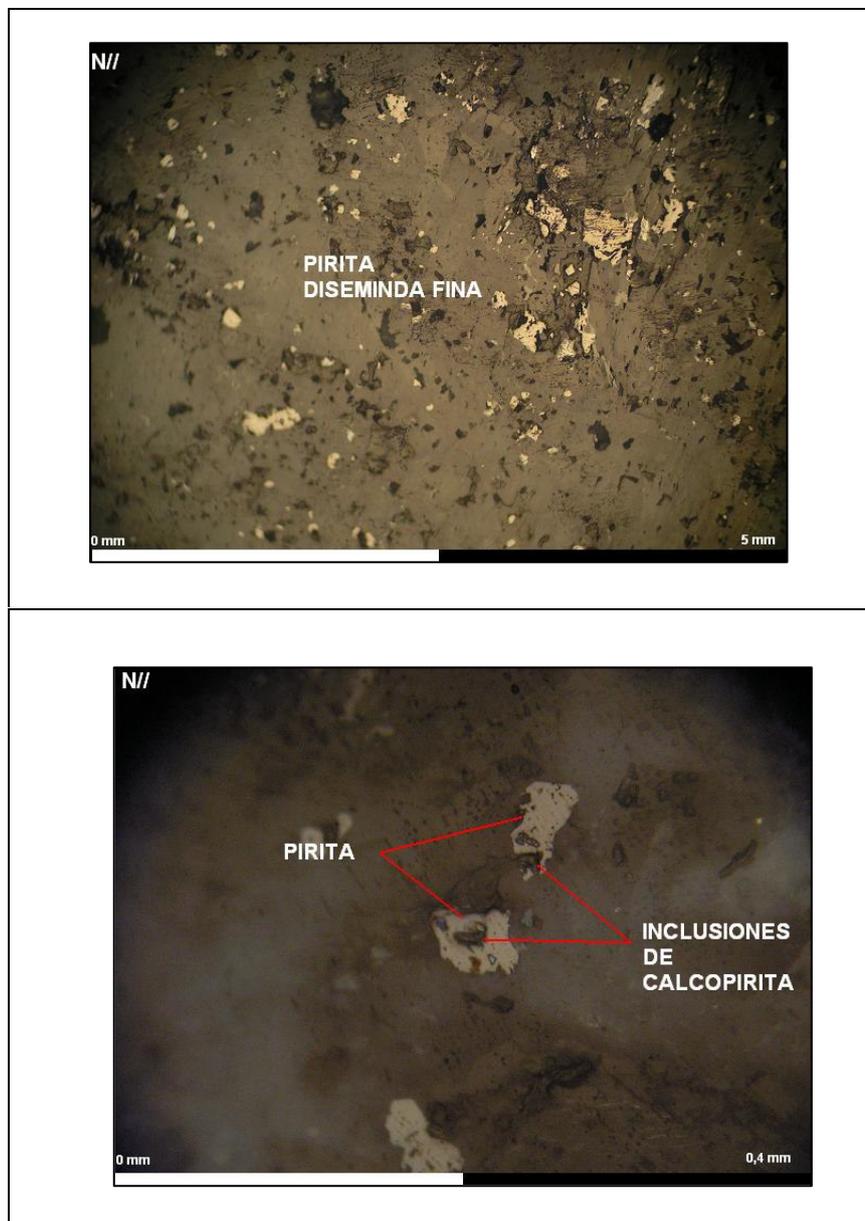
MUESTRA PM-06

Presenta Pirita gruesa y escasa blenda y magnetita, se observa puntualmente arsenopirita y un grano de calcopirita y como pequeñas inclusiones en algunas piritas.



MUESTRA PM-19

Presenta un 5% de pirita diseminada fina y puntual grano de calcopirita con enriquecimiento de calcosina, se observa magnetita diseminada fina.



ANEXO D

NORMA CIPW

PM-01		
Normative Minerals	Weight % Norm	Volume % Norm
Quartz	28,67	28,95
Anorthite	9,76	9,46
Albite	28,85	29,46
Orthoclase	26,92	28,14
Nepheline		
Leucite		
Kalsilite		
Corundum	0,67	0,45
Diopside		
Hypersthene	3,21	2,44
Wollastonite		
Olivine		
Larnite		
Acmite		
K ₂ SiO ₃		
Na ₂ SiO ₃		
Rutile		
Ilmenite	0,72	0,41
Magnetite	1,03	0,53
Hematite		
Apatite	0,16	0,14
Zircon	0,04	0,03
Perovskite		
Chromite		
Sphene		
Pyrite		
Halite		
Fluorite		
Anhydrite		
Na ₂ SO ₄		
Calcite		
Na ₂ CO ₃		
Total	100,04	100,02

PM-02		
Normative Minerals	Weight % Norm	Volume % Norm
Quartz	33,33	33,53
Anorthite	7,73	7,46
Albite	23,52	23,94
Orthoclase	30,51	31,77
Nepheline		
Leucite		
Kalsilite		
Corundum	1,70	1,14
Diopside		
Hypersthene	1,60	1,19
Wollastonite		
Olivine		
Larnite		
Acmite		
K ₂ SiO ₃		
Na ₂ SiO ₃		
Rutile		
Ilmenite	0,68	0,38
Magnetite	0,70	0,36
Hematite		
Apatite	0,23	0,19
Zircon	0,04	0,03
Perovskite		
Chromite		
Sphene		
Pyrite		
Halite		
Fluorite		
Anhydrite		
Na ₂ SO ₄		
Calcite		
Na ₂ CO ₃		
Total	100,04	99,99

PM-03		
Normative Minerals	Weight % Norm	Volume % Norm
Quartz	10,82	11,35
Anorthite	19,92	20,08
Albite	35,70	37,91
Orthoclase	16,08	17,47
Nepheline		
Leucite		
Kalsilite		
Corundum		
Diopside	3,49	2,92
Hypersthene	9,27	7,48
Wollastonite		
Olivine		
Larnite		
Acmite		
K ₂ SiO ₃		
Na ₂ SiO ₃		
Rutile		
Ilmenite	1,61	0,95
Magnetite	2,58	1,38
Hematite		
Apatite	0,51	0,44
Zircon	0,03	0,02
Perovskite		
Chromite		
Sphene		
Pyrite		
Halite		
Fluorite		
Anhydrite		
Na ₂ SO ₄		
Calcite		
Na ₂ CO ₃		
Total	100,02	100,00

PM-05		
Normative Minerals	Weight % Norm	Volume % Norm
Quartz	17,57	18,32
Anorthite	18,70	18,73
Albite	40,11	42,31
Orthoclase	9,77	10,55
Nepheline		
Leucite		
Kalsilite		
Corundum	2,98	2,07
Diopside		
Hypersthene	7,70	6,24
Wollastonite		
Olivine		
Larnite		
Acmite		
K ₂ SiO ₃		
Na ₂ SiO ₃		
Rutile		
Ilmenite	1,44	0,84
Magnetite	1,74	0,92
Hematite		
Apatite		
Zircon	0,03	0,02
Perovskite		
Chromite		
Sphene		
Pyrite		
Halite		
Fluorite		
Anhydrite		
Na ₂ SO ₄		
Calcite		
Na ₂ CO ₃		
Total	100,04	100,00

PM-06		
Normative Minerals	Weight % Norm	Volume % Norm
Quartz	17,29	18,22
Anorthite	19,48	19,71
Albite	32,66	34,82
Orthoclase	12,95	14,13
Nepheline		
Leucite		
Kalsilite		
Corundum	1,96	1,37
Diopside		
Hypersthene	11,27	9,09
Wollastonite		
Olivine		
Larnite		
Acmite		
K ₂ SiO ₃		
Na ₂ SiO ₃		
Rutile		
Ilmenite	1,27	0,75
Magnetite	2,62	1,41
Hematite		
Apatite	0,53	0,47
Zircon	0,01	0,01
Perovskite		
Chromite		
Sphene		
Pyrite		
Halite		
Fluorite		
Anhydrite		
Na ₂ SO ₄		
Calcite		
Na ₂ CO ₃		
Total	100,04	100,00

PM-11		
Normative Minerals	Weight % Norm	Volume % Norm
Quartz	16,74	17,35
Anorthite	16,83	16,75
Albite	34,27	35,94
Orthoclase	18,34	19,68
Nepheline		
Leucite		
Kalsilite		
Corundum		
Diopside	2,70	2,23
Hypersthene	7,40	5,87
Wollastonite		
Olivine		
Larnite		
Acmite		
K ₂ SiO ₃		
Na ₂ SiO ₃		
Rutile		
Ilmenite	1,25	0,73
Magnetite	2,10	1,11
Hematite		
Apatite	0,37	0,32
Zircon	0,03	0,02
Perovskite		
Chromite		
Sphene		
Pyrite		
Halite		
Fluorite		
Anhydrite		
Na ₂ SO ₄		
Calcite		
Na ₂ CO ₃		
Total	100,03	100,00

PM-15		
Normative Minerals	Weight % Norm	Volume % Norm
Quartz	22,37	23,10
Anorthite	14,78	14,66
Albite	38,42	40,12
Orthoclase	12,74	13,62
Nepheline		
Leucite		
Kalsilite		
Corundum	1,59	1,09
Diopside		
Hypersthene	6,90	5,48
Wollastonite		
Olivine		
Larnite		
Acmite		
K ₂ SiO ₃		
Na ₂ SiO ₃		
Rutile		
Ilmenite	1,12	0,65
Magnetite	1,68	0,89
Hematite		
Apatite	0,44	0,38
Zircon	0,03	0,02
Perovskite		
Chromite		
Sphene		
Pyrite		
Halite		
Fluorite		
Anhydrite		
Na ₂ SO ₄		
Calcite		
Na ₂ CO ₃		
Total	100,07	100,01

PM-16		
Normative Minerals	Weight % Norm	Volume % Norm
Quartz	22,00	22,64
Anorthite	13,59	13,42
Albite	34,95	36,36
Orthoclase	17,40	18,52
Nepheline		
Leucite		
Kalsilite		
Corundum		
Diopside	3,98	3,26
Hypersthene	5,06	4,00
Wollastonite		
Olivine		
Larnite		
Acmite		
K ₂ SiO ₃		
Na ₂ SiO ₃		
Rutile		
Ilmenite	1,06	0,61
Magnetite	1,68	0,88
Hematite		
Apatite	0,35	0,30
Zircon	0,03	0,02
Perovskite		
Chromite		
Sphene		
Pyrite		
Halite		
Fluorite		
Anhydrite		
Na ₂ SO ₄		
Calcite		
Na ₂ CO ₃		
Total	100,09	100,01

PM-18		
Normative Minerals	Weight % Norm	Volume % Norm
Quartz	9,09	9,61
Anorthite	22,33	22,67
Albite	38,25	40,91
Orthoclase	10,70	11,72
Nepheline		
Leucite		
Kalsilite		
Corundum		
Diopside	4,48	3,78
Hypersthene	10,23	8,36
Wollastonite		
Olivine		
Larnite		
Acmite		
K ₂ SiO ₃		
Na ₂ SiO ₃		
Rutile		
Ilmenite	1,67	0,99
Magnetite	2,70	1,45
Hematite		
Apatite	0,56	0,49
Zircon	0,01	0,01
Perovskite		
Chromite	0,01	0,01
Sphene		
Pyrite		
Halite		
Fluorite		
Anhydrite		
Na ₂ SO ₄		
Calcite		
Na ₂ CO ₃		
Total	100,03	100,00

PM-19		
Normative Minerals	Weight % Norm	Volume % Norm
Quartz	9,56	10,22
Anorthite	24,58	25,22
Albite	33,51	36,22
Orthoclase	10,51	11,63
Nepheline		
Leucite		
Kalsilite		
Corundum	1,31	0,93
Diopside		
Hypersthene	15,17	12,58
Wollastonite		
Olivine		
Larnite		
Acmite		
K ₂ SiO ₃		
Na ₂ SiO ₃		
Rutile		
Ilmenite	1,71	1,02
Magnetite	3,06	1,67
Hematite		
Apatite	0,56	0,49
Zircon	0,01	0,01
Perovskite		
Chromite	0,01	0,01
Sphene		
Pyrite		
Halite		
Fluorite		
Anhydrite		
Na ₂ SO ₄		
Calcite		
Na ₂ CO ₃		
Total	99,98	100,00

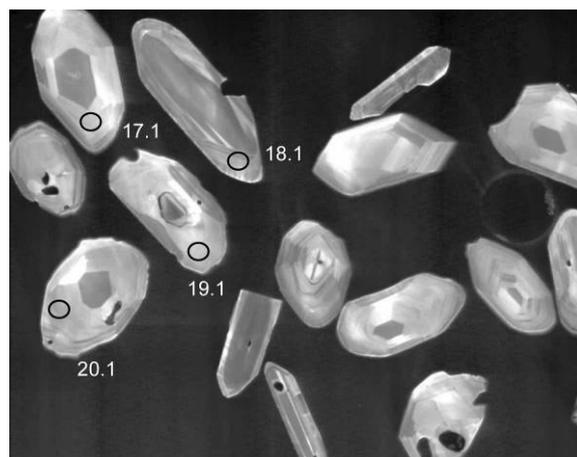
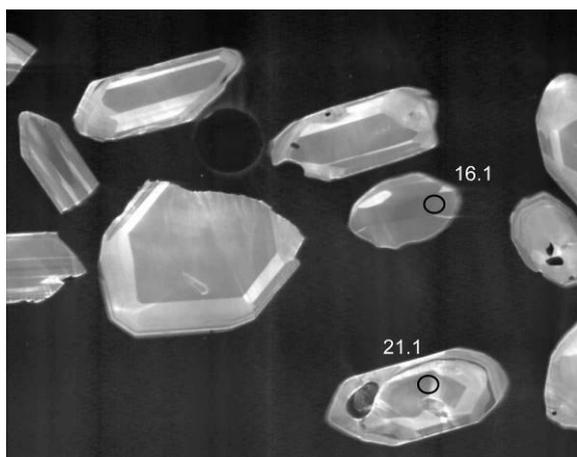
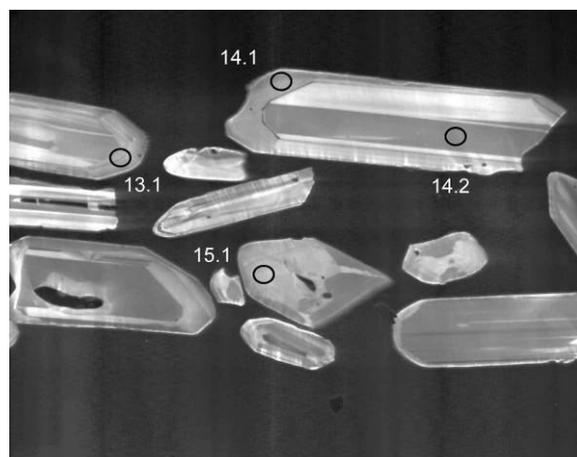
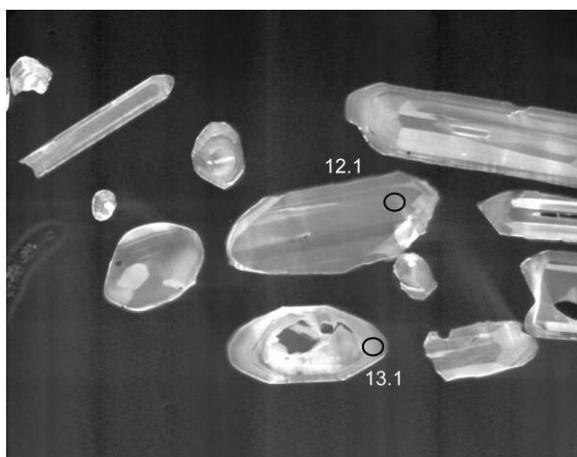
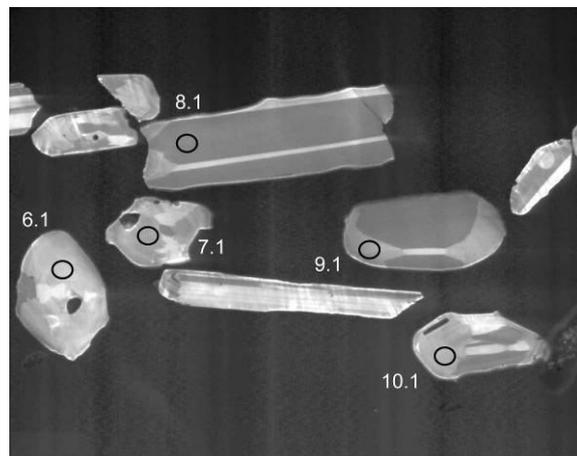
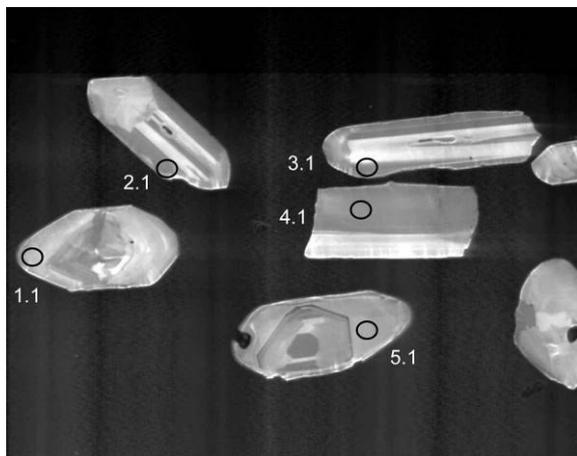
PM-20		
Normative Minerals	Weight % Norm	Volume % Norm
Quartz	18,44	18,90
Anorthite	15,99	15,74
Albite	37,23	38,61
Orthoclase	18,25	19,37
Nepheline		
Leucite		
Kalsilite		
Corundum		
Diopside	1,08	0,88
Hypersthene	6,00	4,71
Wollastonite		
Olivine		
Larnite		
Acmite		
K ₂ SiO ₃		
Na ₂ SiO ₃		
Rutile		
Ilmenite	1,06	0,61
Magnetite	1,61	0,84
Hematite		
Apatite	0,37	0,31
Zircon	0,03	0,02
Perovskite		
Chromite		
Sphene		
Pyrite		
Halite		
Fluorite		
Anhydrite		
Na ₂ SO ₄		
Calcite		
Na ₂ CO ₃		
Total	100,06	99,99

ANEXO E

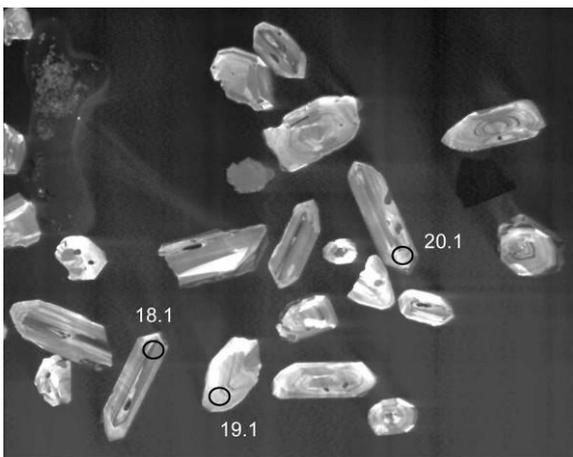
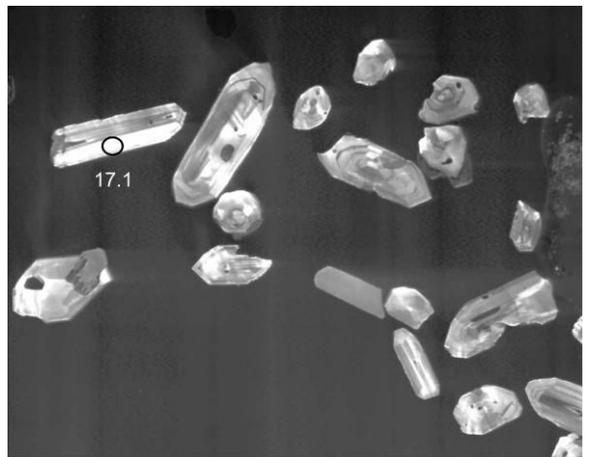
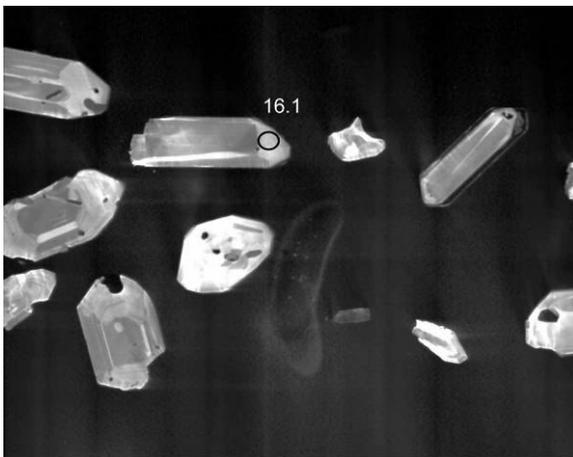
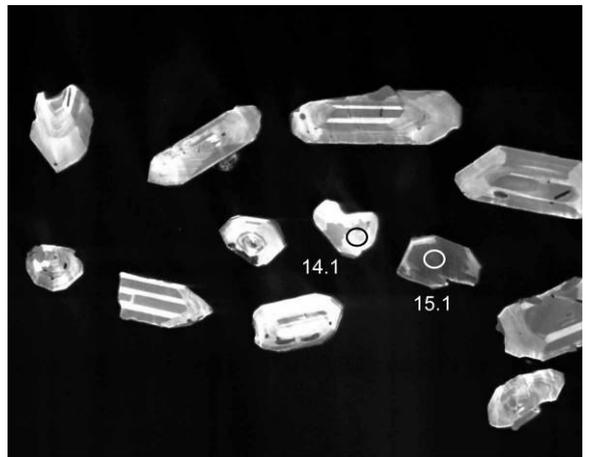
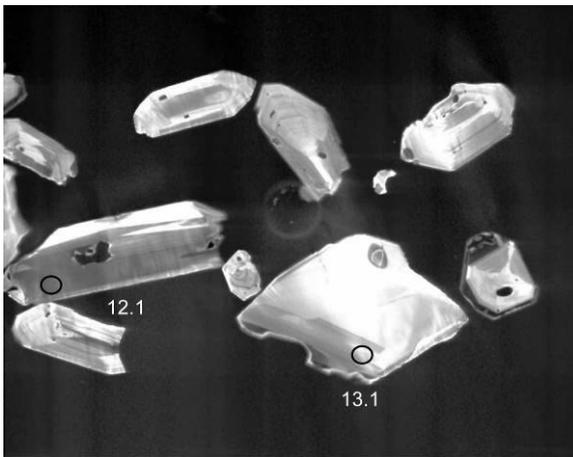
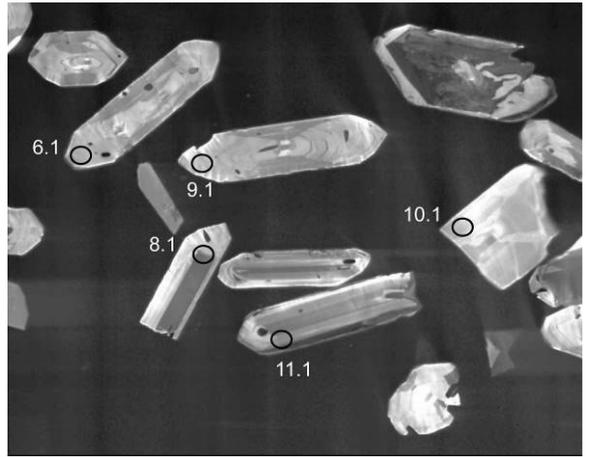
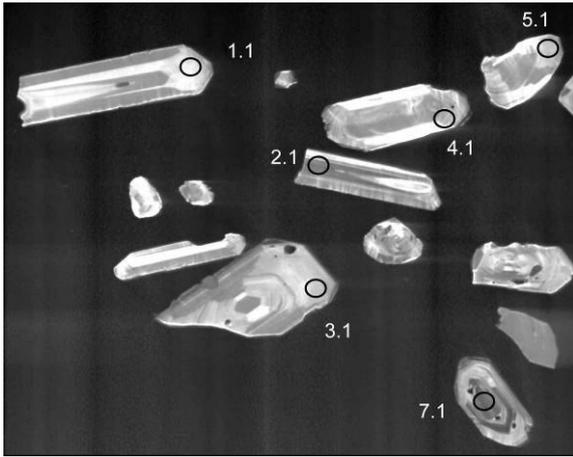
DATACIONES U-Pb

Microfotografías de granos de circón, señalando la zona donde puntualmente se dirigió el láser para tomar la medida

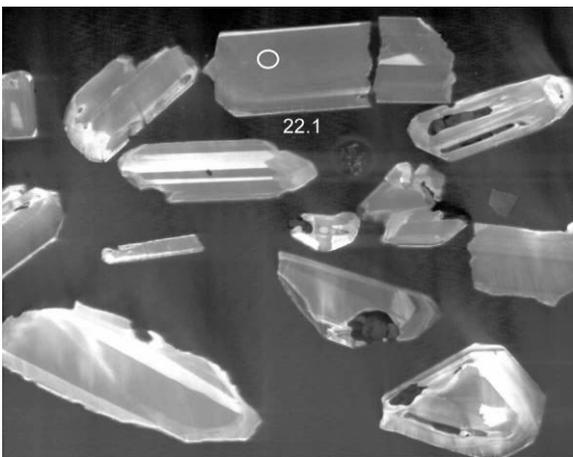
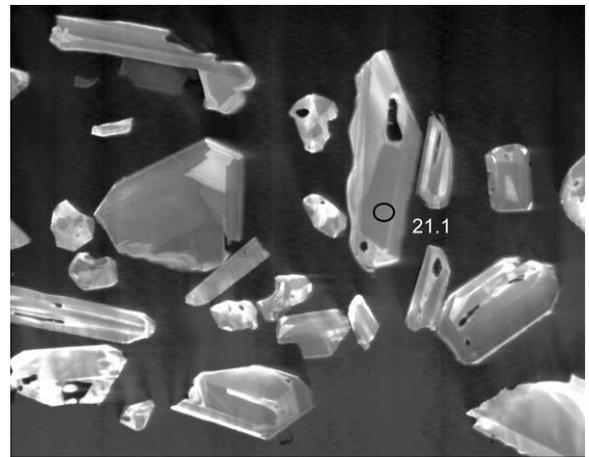
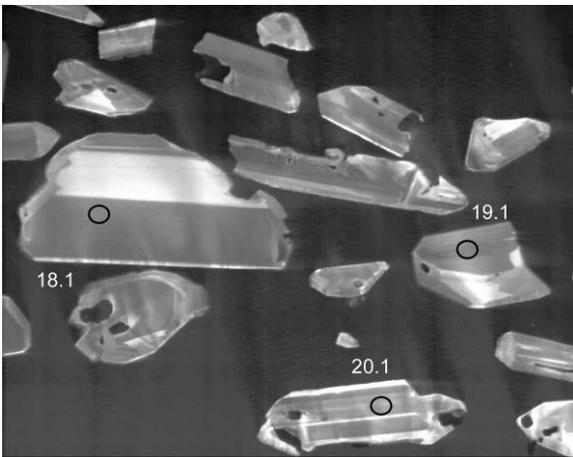
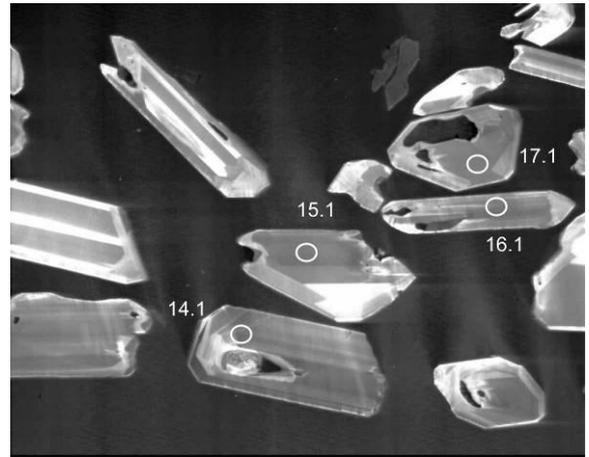
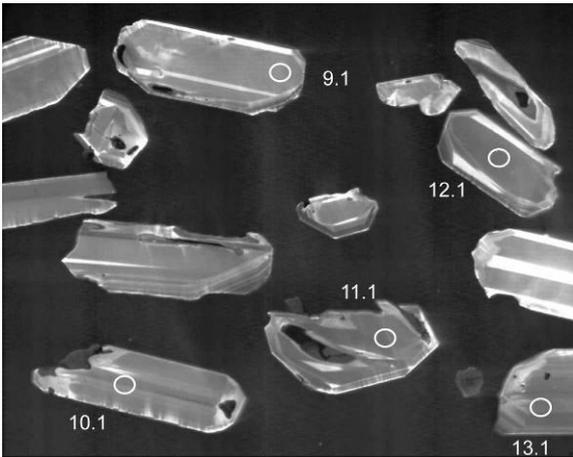
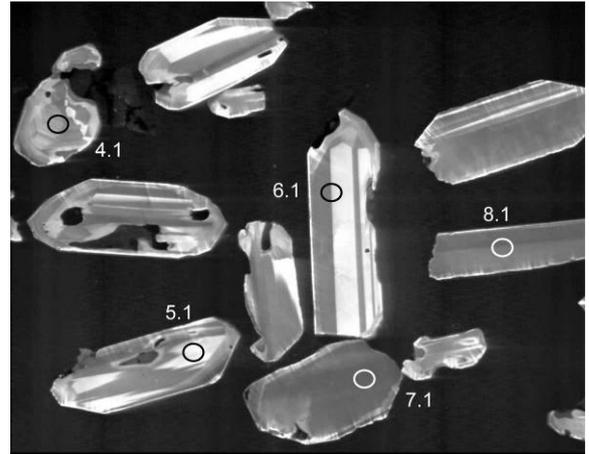
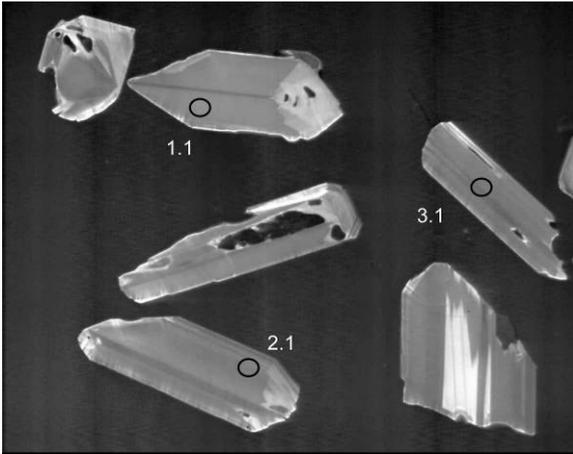
MUESTRA PM-06



MUESTRA PM-16



MUESTRA PM-18



MUESTRA PM-19

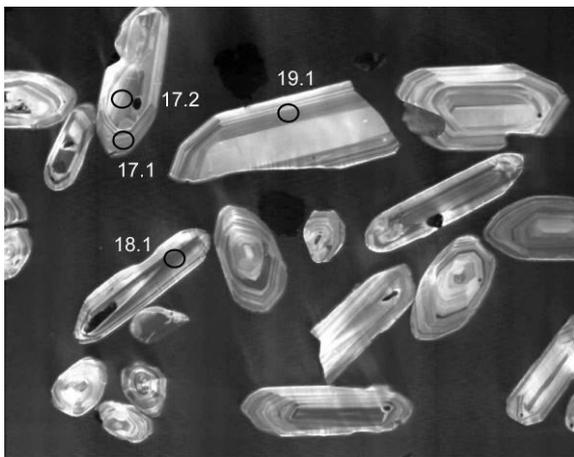
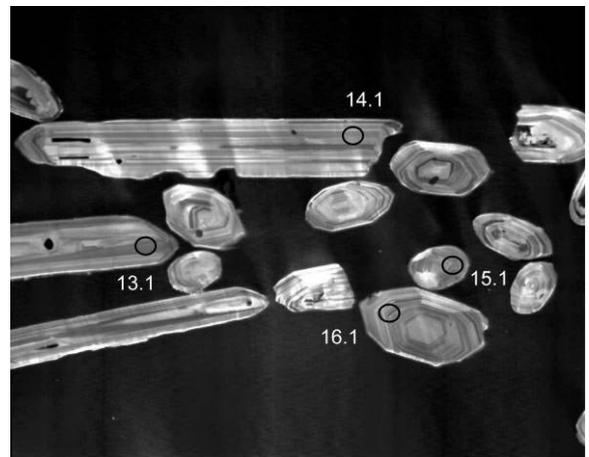
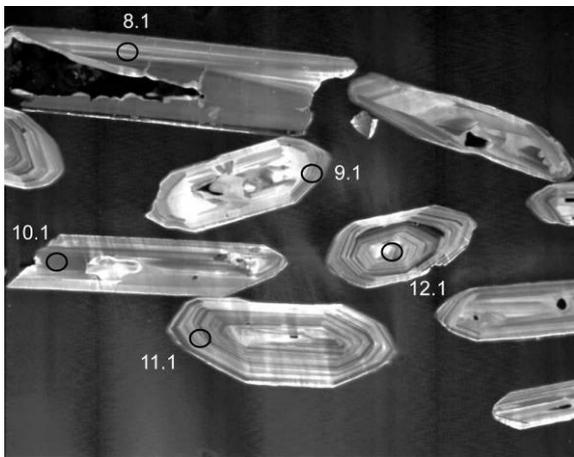
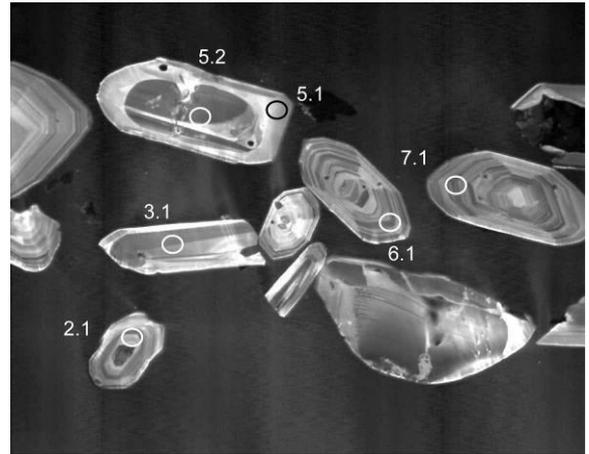
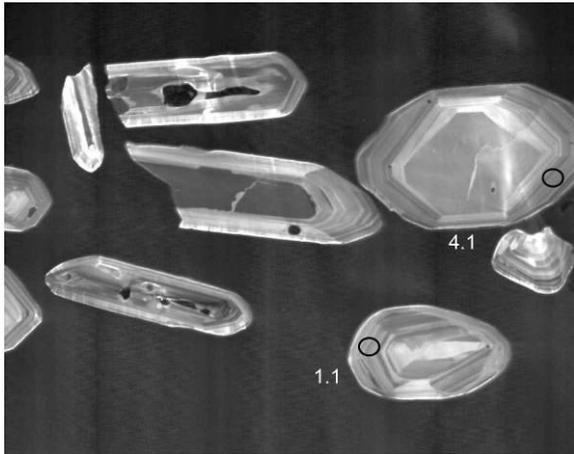


Tabla E1. Resumen de resultado de determinación de edad por SHRIMP-UPb en circones, para la muestra de intrusivo PM-06.

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	99	51	0,51	0,12	0,024099	8,62	738,1	26,6	0,1143	0,0139	0,0012	0,0001	8,0	0,3
2,1	94	87	0,93	0,11	0,022552	5,13	759,5	29,0	0,0867	0,0144	0,0012	0,0001	8,0	0,3
3,1	115	108	0,94	0,13	-	3,43	756,7	26,4	0,0733	0,0117	0,0013	0,0000	8,2	0,3
4,1	53	42	0,79	0,07	0,005988	10,3	663,6	32,1	0,1273	0,0221	0,0014	0,0001	8,7	0,5
5,1	259	242	0,94	0,31	0,008049	2,62	724,5	16,6	0,0669	0,0060	0,0013	0,0000	8,7	0,2
6,1	59	35	0,60	0,07	0,038954	9,09	674,0	30,8	0,1180	0,0198	0,0013	0,0001	8,7	0,5
7,1	91	67	0,74	0,11	0,012416	6,39	741,4	28,1	0,0967	0,0144	0,0013	0,0001	8,1	0,3
8,1	70	67	0,96	0,09	0,004678	5,87	671,4	27,4	0,0926	0,0168	0,0014	0,0001	9,0	0,4
9,1	77	54	0,70	0,09	0,001901	4,11	720,9	30,0	0,0787	0,0166	0,0013	0,0001	8,6	0,4
10,1	89	51	0,57	0,11	-	5,17	707,6	27,1	0,0870	0,0152	0,0013	0,0001	8,6	0,4
11,1	154	86	0,56	0,18	-	3,46	742,9	22,2	0,0735	0,0095	0,0013	0,0000	8,4	0,3
12,1	82	72	0,88	0,10	0,013794	8,33	703,9	27,3	0,1120	0,0158	0,0013	0,0001	8,4	0,4
13,1	74	47	0,64	0,09	-	6,09	712,0	29,8	0,0943	0,0180	0,0013	0,0001	8,5	0,4
14,1	64	38	0,59	0,08	0,031089	11,5	661,4	28,2	0,1369	0,0184	0,0013	0,0001	8,6	0,4
14,2	70	68	0,98	0,08	0,021934	10,6	709,8	30,3	0,1297	0,0181	0,0013	0,0001	8,1	0,4
15,1	126	68	0,54	0,15	0,009748	5,71	722,3	23,3	0,0913	0,0132	0,0013	0,0000	8,4	0,3
16,1	256	324	1,26	0,29	0,010457	2,23	757,5	18,3	0,0638	0,0063	0,0013	0,0000	8,3	0,2
17,1	80	49	0,61	0,10	0,020684	7,05	723,2	28,5	0,1019	0,0237	0,0013	0,0001	8,3	0,4
18,1	82	54	0,66	0,09	-	4,51	764,3	34,8	0,0818	0,0171	0,0012	0,0001	8,0	0,4
19,1	62	39	0,63	0,08	-	7,96	673,8	30,2	0,1091	0,0195	0,0014	0,0001	8,8	0,5
20,1	106	64	0,60	0,13	0,001575	4,17	681,4	23,1	0,0791	0,0122	0,0014	0,0001	9,1	0,3
21,1	121	98	0,81	0,25	0,027625	4,86	423,6	11,9	0,0847	0,0080	0,0022	0,0001	14,5	0,4

Tabla E2. Resumen de resultado de determinación de edad por SHRIMP-UPb en circones, para la muestra de intrusivo PM-16

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	49	31	0,64	0,08	-	6,11	538,3	28,8	0,0945	0,0227	0,0017	0,0001	11,2	0,7
2,1	408	609	1,49	0,54	0,009327	2,80	646,4	12,7	0,0684	0,0048	0,0015	0,0000	9,7	0,2
3,1	96	60	0,62	0,13	0,006670	6,17	640,4	23,3	0,0950	0,0139	0,0015	0,0001	9,4	0,4
4,1	159	112	0,71	0,22	0,013469	5,37	625,1	17,4	0,0887	0,0096	0,0015	0,0000	9,8	0,3
5,1	111	73	0,66	0,15	-	4,50	627,8	20,7	0,0818	0,0108	0,0015	0,0001	9,8	0,4
6,1	111	76	0,68	0,17	0,001030	5,66	550,5	17,2	0,0910	0,0103	0,0017	0,0001	11,0	0,4
7,1	881	1512	1,72	1,16	0,002552	0,65	649,7	9,8	0,0514	0,0032	0,0015	0,0000	9,9	0,2
8,1	579	791	1,37	0,79	-	1,01	633,2	10,6	0,0542	0,0035	0,0016	0,0000	10,1	0,2
9,1	165	119	0,72	0,23	0,002203	5,12	620,8	17,0	0,0867	0,0082	0,0015	0,0000	9,8	0,3
10,1	79	61	0,77	0,11	-	4,91	616,7	24,9	0,0850	0,0157	0,0015	0,0001	9,9	0,5
11,1	218	274	1,26	0,29	0,011929	2,85	642,3	15,6	0,0688	0,0063	0,0015	0,0000	9,7	0,2
12,1	929	2316	2,49	1,24	0,000688	0,25	643,3	9,6	0,0482	0,0027	0,0016	0,0000	10,0	0,2
13,1	218	101	0,46	0,42	0,009578	2,60	449,3	9,8	0,0669	0,0055	0,0022	0,0000	14,0	0,3
14,1	65	40	0,61	0,09	-	1,65	607,4	26,0	0,0593	0,0151	0,0016	0,0001	10,4	0,5
15,1	449	778	1,74	0,51	0,006799	2,57	752,2	14,5	0,0665	0,0046	0,0013	0,0000	8,3	0,2
16,1	115	66	0,58	0,16	0,007711	6,82	622,1	19,7	0,1001	0,0107	0,0015	0,0001	9,6	0,3
17,1	113	98	0,87	0,16	0,015637	5,10	597,0	18,5	0,0865	0,0095	0,0016	0,0001	10,2	0,3
18,1	399	607	1,52	0,55	0,001915	2,95	619,3	11,6	0,0696	0,0045	0,0016	0,0000	10,1	0,2
19,1	126	96	0,76	0,17	0,000020	2,42	635,7	19,3	0,0654	0,0101	0,0015	0,0001	9,9	0,3
20,1	120	88	0,74	0,16	0,024971	5,60	641,8	20,1	0,0904	0,0110	0,0015	0,0001	9,5	0,3

Tabla E3. Resumen de resultado de determinación de edad por SHRIMP-UPb en circones, para la muestra de intrusivo PM-18

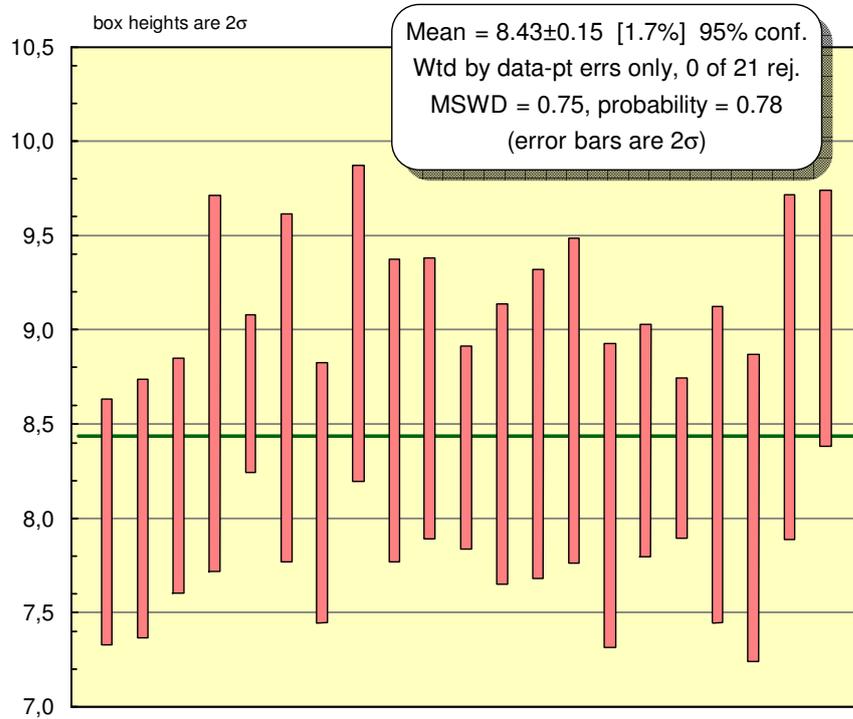
Grain. spot	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	²⁰⁶ Pb* (ppm)	²⁰⁴ Pb/ ²⁰⁶ Pb	f ₂₀₆ %	Total				Radiogenic		Age (Ma)	
							²³⁸ U/ ²⁰⁶ Pb	±	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±
1,1	151	178	1,18	0,18	0,023081	5,27	721,5	21,5	0,0878	0,0097	0,0013	0,0000	8,5	0,3
2,1	258	294	1,14	0,30	0,000992	3,63	738,4	17,9	0,0749	0,0070	0,0013	0,0000	8,4	0,2
3,1	352	605	1,72	0,41	0,010789	2,91	731,4	15,5	0,0692	0,0064	0,0013	0,0000	8,6	0,2
4,1	271	283	1,04	0,32	-	2,39	736,1	25,2	0,0651	0,0063	0,0013	0,0000	8,5	0,3
5,1	74	59	0,79	0,09	0,020171	11,6	712,1	28,7	0,1375	0,0172	0,0012	0,0001	8,0	0,4
6,1	187	212	1,13	0,22	-	3,24	745,0	20,6	0,0718	0,0085	0,0013	0,0000	8,4	0,2
7,1	454	497	1,09	0,52	0,000430	2,25	751,1	14,3	0,0640	0,0046	0,0013	0,0000	8,4	0,2
8,1	266	357	1,34	0,31	0,004489	1,15	735,8	17,2	0,0553	0,0059	0,0013	0,0000	8,7	0,2
9,1	109	114	1,04	0,13	0,047391	7,42	709,8	24,2	0,1048	0,0118	0,0013	0,0000	8,4	0,3
10,1	384	772	2,01	0,43	-	2,13	771,2	15,7	0,0631	0,0051	0,0013	0,0000	8,2	0,2
11,1	268	399	1,49	0,32	-	3,26	714,8	16,7	0,0719	0,0064	0,0014	0,0000	8,7	0,2
12,1	413	500	1,21	0,46	0,003937	3,43	749,4	16,9	0,0733	0,0051	0,0013	0,0000	8,3	0,2
13,1	280	214	0,76	0,33	0,001892	1,47	717,8	15,9	0,0578	0,0055	0,0014	0,0000	8,8	0,2
14,1	428	364	0,85	0,49	0,005047	1,79	728,1	13,9	0,0604	0,0042	0,0013	0,0000	8,7	0,2
15,1	409	742	1,81	0,46	-	2,00	756,7	15,0	0,0620	0,0049	0,0013	0,0000	8,3	0,2
16,1	290	401	1,38	0,35	-	3,14	719,1	16,1	0,0710	0,0060	0,0013	0,0000	8,7	0,2
16,1	189	244	1,29	0,21	0,005636	4,32	756,6	20,5	0,0803	0,0106	0,0013	0,0000	8,1	0,2
17,1	144	166	1,15	0,16	0,006021	4,41	752,3	22,9	0,0811	0,0100	0,0013	0,0000	8,2	0,3
18,1	534	1208	2,26	0,61	0,000213	1,43	732,7	13,2	0,0575	0,0040	0,0013	0,0000	8,7	0,2
19,1	159	174	1,09	0,18	0,003660	3,31	731,5	21,2	0,0724	0,0086	0,0013	0,0000	8,5	0,3
20,1	182	191	1,05	0,22	0,008213	3,48	696,7	18,6	0,0737	0,0074	0,0014	0,0000	8,9	0,3
21,1	179	183	1,02	0,20	0,006803	1,22	740,1	20,5	0,0558	0,0077	0,0013	0,0000	8,6	0,3

Tabla E4. Resumen de resultado de determinación de edad por SHRIMP-UPb en circones, para la muestra de intrusivo PM-19

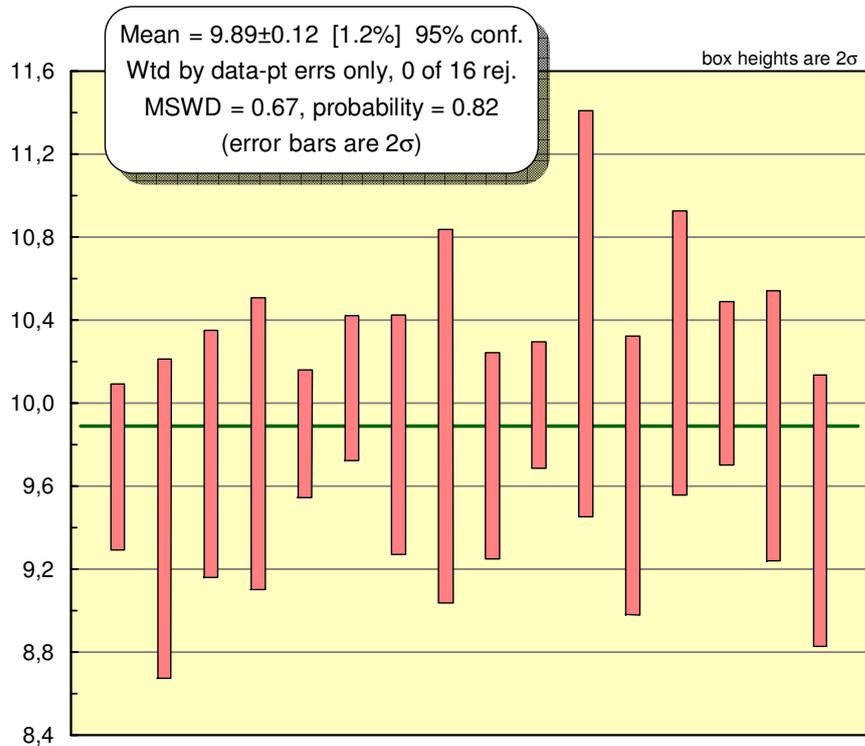
Grain. spot	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	²⁰⁶ Pb* (ppm)	²⁰⁴ Pb/ ²⁰⁶ Pb	f ₂₀₆ %	Total				Radiogenic		Age (Ma)	
							²³⁸ U/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±	±	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±
1,1	207	162	0,78	0,23	0,001385	4,76	776,6	20,4	0,0838	0,0080	0,0012	0,0000	7,9	0,2
2,1	441	606	1,37	0,48	-	1,74	793,1	15,5	0,0600	0,0047	0,0012	0,0000	8,0	0,2
3,1	351	437	1,24	0,38	0,000138	2,32	795,9	17,1	0,0645	0,0055	0,0012	0,0000	7,9	0,2
4,1	180	96	0,54	0,20	0,016122	4,51	775,3	21,5	0,0818	0,0084	0,0012	0,0000	7,9	0,2
5,1	192	134	0,70	0,41	-	0,89	402,9	8,5	0,0534	0,0052	0,0025	0,0001	15,8	0,3
5,2	921	1087	1,18	2,08	0,002094	2,83	380,4	5,0	0,0687	0,0022	0,0026	0,0000	16,4	0,2
6,1	369	271	0,74	0,39	-	1,13	804,5	17,0	0,0551	0,0051	0,0012	0,0000	7,9	0,2
7,1	352	233	0,66	0,39	-	2,24	764,9	16,3	0,0639	0,0056	0,0013	0,0000	8,2	0,2
8,1	206	137	0,67	0,46	-	0,91	386,8	8,0	0,0536	0,0052	0,0026	0,0001	16,5	0,4
9,1	174	104	0,60	0,32	0,002205	3,20	460,9	10,5	0,0716	0,0062	0,0021	0,0001	13,5	0,3
10,1	822	1007	1,23	0,87	-	0,25	808,8	13,0	0,0481	0,0031	0,0012	0,0000	7,9	0,1
11,1	311	204	0,66	0,34	-	2,45	788,6	19,6	0,0655	0,0064	0,0012	0,0000	8,0	0,2
12,1	441	392	0,89	0,49	-	2,35	768,5	14,9	0,0647	0,0074	0,0013	0,0000	8,2	0,2
13,1	356	275	0,77	0,38	0,002619	1,42	798,2	17,1	0,0574	0,0052	0,0012	0,0000	8,0	0,2
14,1	208	262	1,26	0,23	0,004460	4,77	782,1	20,8	0,0839	0,0080	0,0012	0,0000	7,8	0,2
15,1	323	253	0,78	0,35	-	1,03	784,0	17,4	0,0543	0,0054	0,0013	0,0000	8,1	0,2
16,1	423	321	0,76	0,48	0,012312	1,47	760,4	15,0	0,0578	0,0041	0,0013	0,0000	8,3	0,2
17,1	294	309	1,05	0,32	0,002054	2,20	788,3	18,0	0,0636	0,0060	0,0012	0,0000	8,0	0,2
17,2	228	184	0,81	0,26	0,009852	2,41	754,5	19,1	0,0652	0,0073	0,0013	0,0000	8,3	0,2
18,1	1442	1997	1,38	1,51	0,001310	0,59	818,3	11,4	0,0509	0,0023	0,0012	0,0000	7,8	0,1
19,1	207	191	0,92	0,23	0,006299	2,54	776,2	20,6	0,0662	0,0073	0,0013	0,0000	8,1	0,2
20,1	230	130	0,57	0,26	-	2,54	755,7	21,1	0,0663	0,0069	0,0013	0,0000	8,3	0,2

Diagramas de variación estadística, señalando el cálculo de las edades con sus respectivas confianzas

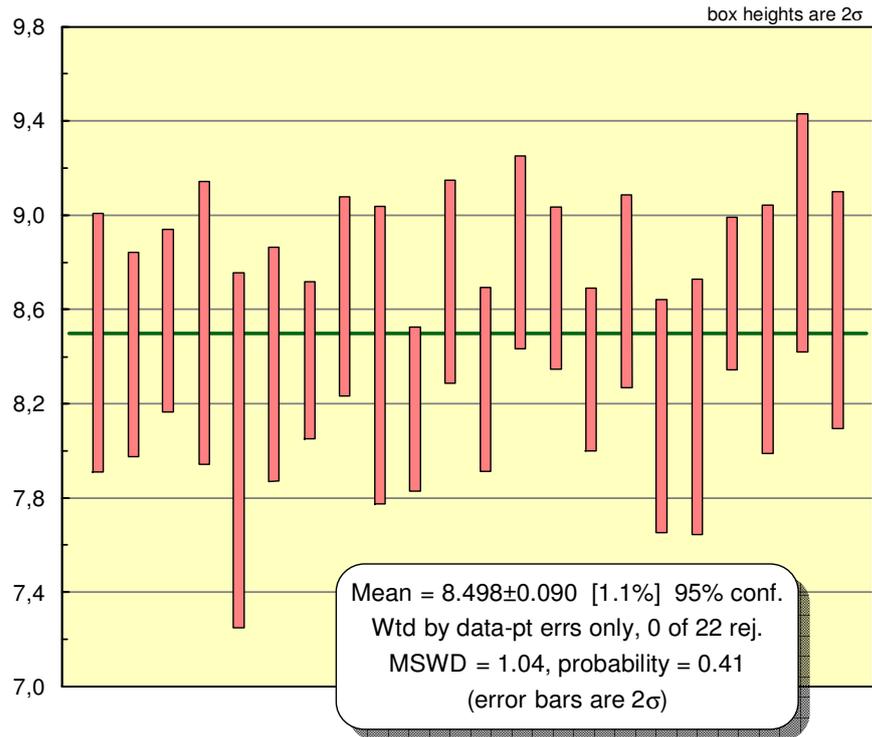
MUESTRA PM-06



MUESTRA PM-16



MUESTRA PM-18



MUESTRA PM-19

