



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

**EL COMPLEJO VOLCÁNICO DEL DISTRITO LA COIPA,  
FRANJA DE MARICUNGA:  
GEOQUÍMICA, PETROLOGÍA Y ALTERACIÓN**

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO:  
EDUARDO FELIPE BELLO FERNÁNDEZ

PROFESOS GUÍA:  
BRIAN TOWNLEY CALLEJAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
ANGELO CASTRUCCIO ALVAREZ  
VICTOR MAKSAEV JURCHUC

SANTIAGO DE CHILE  
ABRIL 2012

## RESUMEN

En el distrito La Coipa está definido un Complejo Volcánico (Domas La Coipa y domos dacíticos centrales) de edad Oligoceno – Mioceno conformado por domos efusivos y productos piroclásticos asociados. Estas unidades junto con rocas intrusivas más antiguas (Eoceno, Paleoceno, Cretácico y Paleozoico) que afloran en el distrito fueron consideradas en este estudio geoquímico, petrológico y de alteración.

A partir de la geoquímica y petrografía es posible generar claras diferencias entre las unidades. En términos generales la mineralogía es similar (plagioclasa, cuarzo, biotita y anfíbola) pero existen diferencias en la proporción de estos minerales, en las texturas y en la alteración. El Complejo volcánico La Coipa está conformado por los domos dacíticos centrales (Mioceno Medio) que están prácticamente inalterados y tienen una matriz vítrea a diferencia de los domos La Coipa (Oligoceno – Mioceno) que presentan una textura cristalina (felsítica). Dado que la composición es similar, es posible que lo que se observa de los domos La Coipa represente una porción más interna, o un mayor grado de desvitrificación o simplemente haya existido una mayor desgasificación asociado a la formación de estos. Las tobas de la unidad domos La Coipa son fácilmente reconocibles por la textura, los fragmentos de cristales y líticos. Las unidades más antiguas en general presentan mayor alteración y son fácilmente distinguibles por las texturas y mineralogía primaria.

Los resultados geoquímicos tienen un buen sustento petrográfico (diagrama TAS). Las unidades están en el campo calcoalcalino consecuente con el ambiente de arco volcánico continental. La mayoría de las muestras son metaluminosas (típico de las rocas en Chile) por lo que tienden a formar alguna fase que pueda acomodar el exceso de Ca (por ejemplo, hornblenda), las otras son peraluminosas posiblemente debido a un efecto de alteración. En cuanto a los óxidos mayores  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , CaO, MgO,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ , MnO,  $\text{P}_2\text{O}_5$  y SrO decrecen con el aumento de  $\text{SiO}_2$ , es decir, ellos muestran un comportamiento compatible.  $\text{K}_2\text{O}$  y BaO tienen una correlación positiva, comportamiento incompatible. La mayoría de estos rasgos son los esperables en procesos de diferenciación magmática, salvo el  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Na}_2\text{O}$  que posiblemente se deba a un efecto de alteración. Respecto a las tierras raras (REEs), todas las muestras de superficie presentan una pendiente negativa pronunciada, asociada a un fuerte fraccionamiento con un notable enriquecimiento en tierras raras livianas (LREE) por sobre las tierras raras pesadas (HREE). Las muestras del Paleoceno - Eoceno presentan una mayor razón La/Yb que las muestras del Oligoceno - Mioceno, aunque ambos grupos presentan una tendencia adakítica. Este resultado indica que las rocas derivan de altas presiones (profundidad mínima de 35 km) y que la corteza tuvo su mayor espesor durante el Paleoceno - Eoceno. Este resultado es coincidente con trabajos estructurales que indican que el cambio de stress regional ocurrió entre los 36 y 32 Ma (último acortamiento en la región) y 26 Ma, desde un ambiente compresivo a uno extensional y de rumbo.

Geoquímica de tasas molares de elementos (PER y GER) fue utilizada para determinar el grado de alteración que presentan las muestras. De esta manera fue posible generar un índice de alteración el cual arrojó anomalías cerca de zonas mineralizadas (Purén West, Pompeya y Maritza) y en una nueva zona más al sur de las minas del bloque oeste. Esta nueva zona presenta varias características favorables, por ejemplo: (i) es la continuidad hacia el sur del bloque oeste, (ii) presenta altos valores del índice de alteración, (iii) existen labores de pirquineros inmediatamente al norte (Mina Vieja), (iv) gran cantidad de brechas freáticas en las cercanías, (v) diques dacíticos con valores interesantes de Ag (una muestra de hasta 40 ppm), (vi) fallas que generan gran oxidación y pudieron ayudar en el ascenso de fluidos hidrotermales y (vii) presencia de un domo dacítico con in intenso stockwork de cuarzo gris. Respecto al comportamiento de algunos cationes respecto a la alteración, se observó que al aumentar la alteración (mayor índice de alteración) existe un enriquecimiento en Ca y Al y un empobrecimiento de Na y K en las rocas.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quisiera comenzar agradeciendo a mi familia por el apoyo y comprensión brindada durante toda mi vida, en especial a mis padres María Angélica y Eduardo Bello.

Agradezco a Kinross por el apoyo, financiamiento y facilidades entregados en la realización de mi memoria de título en La Coipa. Agradezco de manera especial a Sergio Gamonal y Rodolfo Lagos por el apoyo y preocupación durante el desarrollo del trabajo. Gracias a todo el personal de Kinross en especial a “Chuma”, Wido y Danilo que fueron un aporte fundamental en la toma de muestras.

Gracias a toda la gente que trabaja en el departamento de geología de la Universidad de Chile que hizo muy agradable mi estadía durante los 6 años de estudio. De manera especial quisiera agradecer a mi profesor guía Brian Townley por el apoyo, observaciones y correcciones de este trabajo. También un agradecimiento a Angelo Castruccio y Víctor Maksaev (miembros de la comisión) por las correcciones sugeridas a este trabajo.

El último agradecimiento, y uno de los más importantes, es para todos mis compañeros de carrera que hicieron que estos seis años pasaran volando. Gracias por todos los buenos momentos en terreno, en la salas de clases y en el patio de los naranjos. Este agradecimiento va de manera especial para todos los miembros de la pandilla (Cata, bip – bip, Diego, Pedro, Felipe, Arnold y Manu).

## **Índice de contenidos**

<b>CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1 Formulación	1
1.2 Objetivos	3
1.3 Metodología	3
1.3.1 Geoquímica	3
1.3.2 Petrografía y espectrometría VNIR – SWIR	4
1.4 Hipótesis de trabajo	7
1.5 Ubicación y vías de acceso	7
<b>CAPITULO 2: ANTECEDENTES GEOLÓGICOS DE LA ZONA DE ESTUDIO</b>	<b>8</b>
2.1 Ambiente metalogénico	8
2.2 Geología	8
2.2.1 Unidades	8
2.2.2 Geología estructural	14
2.2.3 Alteración y mineralización	15
<b>CAPITULO 3: CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y PETROGRÁFICA DEL COMPLEJO VOLCÁNICO LA COIPA Y UNIDADES INTRUSIVAS DEL DISTRITO</b>	<b>17</b>
3.1 Andesita (Pzmz)	17
3.2 Pórfidos monzodioríticos (KTzmd)	18
3.3 Pórfidos dacíticos (TPpd)	20
3.4 Pórfidos y diques riódacíticos (TEpr)	23
3.5 Domos riolíticos (TEdr)	26
3.6 Domos La Coipa (TOMdlc)	27
3.6.1 Domos riolíticos (TOMdlc1)	28
3.6.2 Domos dacíticos (TOMdlc2)	28
3.6.3 Domos andesíticos (TOMdlc3)	30
3.6.4 Tobas riolíticas (TOMdlc4)	34
3.6.5 Tobas dacíticas (TOMdlc5)	36
3.6.6 Tobas de lapilli (TOMdlc6)	39
3.6.7 Brechas freáticas (TOMdlc7)	40
3.6.8 Tobas dacíticas de biotita (TOMdlc8)	44
3.6.9 Domos dacíticos de biotita (TOMdlc9)	44
3.7 Domos dacíticos centrales (Mmddc)	45
3.8 Brecha hidrotermal (diatrema – Pompeya)	48
3.9 “Pórfido andesítico” (Pompeya)	50
3.10 Brecha hidrotermal (diatrema – Purén)	53
3.14 Granito (Brecha Norte)	55
<b>CAPITULO 4: ALTERACIÓN</b>	<b>57</b>
<b>CAPITULO 5: GEOQUÍMICA</b>	<b>60</b>
5.1 Antecedentes previos	60
5.2 Ubicación de las muestras	60
5.3 Resultados	62
5.3.1 Geoquímica de muestras en superficie	62
(1) Diagrama AFM y Jensen	62

(2) Diagrama TAS	64
(3) Índice de saturación de alúmina	65
(4) Elementos mayores	65
(a) Diagramas Harker	66
(5) Elementos traza	66
(a) Diagramas Harker	66
(b) Tierras raras	67
(c) Rasgos tipo adakita	67
(6) Tasas molares de elementos (PER y GER)	69
(a) Diagrama de alteración de rocas volcánicas para depósitos epitermales	71
(b) Diagrama de control de feldespato Na - K	72
(c) Diagrama PER (ab – mv - aluminosilicatos)	73
(d) Diagrama PER (ab - Kfd)	74
(7) índice de alteración (IA)	75
5.3.2 Geoquímica de muestras de sondaje	77
(1) Diagrama Jensen y TAS	77
(2) Tasas molares de elementos (PER y GER)	78
<b>CAPITULO 6: DISCUSIONES</b>	<b>81</b>
<b>CAPITULO 7: CONCLUSIONES</b>	<b>86</b>
<b>CAPITULO 8: REFERENCIAS</b>	<b>88</b>
<b>ANEXOS:</b>	
1. Ubicación de afloramientos	91
2. Descripciones petrográficas	95
3. Resultados geoquímicos (muestras de superficie)	154
4. Resultados geoquímicos (muestras de sondaje)	158
5. Tabla resumen de las unidades	161

## Índice de figuras

Figura 1.1	Ubicación de los depósitos epitermales de metales preciosos y pórfidos ricos en Au del Mioceno – Oligoceno del Norte de Chile (Modificado de Makshev, et al. (2007) y Muntean y Einaudi (2001))	2
Figura 1.2	Ubicación de los prospectos y minas en el bloque este y oeste del distrito La Coipa	6
Figura 1.3	Ubicación área de estudio	7
Figura 2.1	Mapa geológico del distrito La Coipa	12
Figura 2.2	Mecanismo de rotación de bloques que explica el dominio estructural en el distrito La Coipa. Tomado de Abels et al., 1999	15
Figura 3.1 y 3.2	Andesita (Pzmz)	18
Figura 3.3 y 3.4	Pórfidos monzodioríticos (KTzmd)	19
Figura 3.5, 3.6 y 3.7	Pórfidos dacíticos (TPpd)	21
Figura 3.8, 3.9, 3.10 y 3.11	Pórfidos y diques riódacíticos (TEpr)	24
Figura 3.12 y 3.13	Domo riolítico (TEdr)	26
Figura 3.14	Domos riolíticos (TOMdlc1)	28
Figura 3.15, 3.16 y 3.17	Domos dacítico (TOMdlc2)	29
Figura 3.18, 3.19, 3.20 y 3.21	Domos andesítico (TOMdlc3)	32
Figura 3.22, 3.23 y 3.24	Toba riolítica (TOMdlc4)	35
Figura 3.25 y 3.26	Toba dacítica (TOMdlc5)	38
Figura 3.27, 3.28 y 3.29	Tobas de lapilli (TOMdlc6)	39
Figura 3.30 y 3.31	Brechas freáticas (TOMdlc7)	42
Figura 3.32	Tobas dacíticas de biotita (TOMdlc8)	44
Figura 3.33	Domos dacíticos de biotita (TOMdlc9)	44
Figura 3.34, 3.35 y 3.36	Domos dacíticos centrales (Mmddc)	45
Figura 3.37, 3.38, 3.39, 3.40 y 3.41	Diatrema de Pompeya	48
Figura 3.42, 3.43 y 3.44	Pórfido andesítico (Pompeya)	50
Figura 3.45 y 3.46	Brecha hidrotermal (diatrema de Purén)	52
Figura 3.47 y 3.48	Granito (Brecha Norte)	55

Se agrupó las diferentes imágenes de las unidades del distrito La Coipa. Se trata de fotografías de afloramientos, muestra de mano y de secciones transparentes. El número que aparece en el índice corresponde al de la primera imagen.

Figura 4.1	Rasgos de absorción de las muestras analizadas	57
Figura 4.2	Patrones de absorción teóricos	58
Figura 5.1	Ubicación de las muestras geoquímicas	61
Figura 5.2	Diagrama AFM	63
Figura 5.3	Diagrama de Jensen	63
Figura 5.4	Diagrama TAS	64
Figura 5.5	Índice de saturación de alumina	65
Figura 5.6	Diagramas Harker de óxidos mayores respecto al sílice	66
Figura 5.7	Diagramas Harker para algunos elementos traza	67
Figura 5.8	Diagramas de REEs normalizadas al condrito	68
Figura 5.9	Diagrama La/Yb vs Yb	69

Figura 5.10	Gráfico Zr (ppm) vs TiO <sub>2</sub> (wt%)	70
Figura 5.11	Diagrama de alteración para distritos epitermales	71
Figura 5.12	Diagrama de alteración para las tobas de la unidad Domos La Coipa	72
Figura 5.13	Diagrama tipo GER (feldespato Na - K)	73
Figura 5.14	Diagrama PER (Zr; albita)	74
Figura 5.15	Diagrama PER (Zr, albita vs feldespato potásico)	75
Figura 5.16	Mapa de índice de alteración	76
Figura 5.17	Diagramas de variación de Ca, Na, Al y K respecto al índice de alteración	77
Figura 5.18	Diagrama de Jensen para las muestras de sondaje	78
Figura 5.19	Diagrama TAS para las muestras de sondaje	79
Figura 5.20	Diagramas PER y GER para las muestras de sondaje	79
Figura 5.21	Diagramas de variación de Ca, Na, Al y K respecto al índice de alteración	80
Figura 6.1	Mapa de índice de alteración y nuevas zonas de interés	83
Figura 6.2	Domo afectado por intenso stockwork de cuarzo	84
Figura 6.3	Afloramiento del domo de la Fig. 6.2	84
Figura 6.4	Muestras de mano de domo con vetillas de cuarzo gris	85
Figura 6.5	Dique dacítico con altas leyes de Ag cortando a tobas de cristales	85
Figura 6.6	Brecha freática	85

## **Índice de tablas**

Tabla 1.1	Elementos analizados y límites de detección.	5
-----------	--	---

# **1 INTRODUCCIÓN**

El distrito La Coipa tiene una extensión areal de 15 x 10 km y contiene mineralización epitermal de Au-Ag en vetas profundas controladas estructuralmente en lutitas competentes y en forma diseminada en la secuencia superior de rocas volcánicas. La Coipa se ubica dentro de la Franja de Maricunga (Fig. 1.1), de 200 km de largo y portadora de mineralización de metales preciosos, que se presenta en el borde occidental del Altiplano de Copiapó (26-28°S) y representa el frente volcánico Oligoceno-Mioceno de la zona sur de los Andes Centrales (Kay et al., 1994).

Los primeros reconocimientos del área cercana a La Coipa datan de hace un siglo (San Román, 1911), no generando mayor interés hasta el año 1975 cuando se descubre el depósito El Indio ubicado aproximadamente 300 km al sur de La Coipa. Tal hallazgo condujo a una serie de compañías a realizar exploración, descubriéndose depósitos tales como: La Coipa, Esperanza, Lobo-Marte, La Pepa y Pantanillos entre otros.

La zona de la Coipa, que había sido explotada por mineralización de cobre-plata por pirquineros cerca de 2 km al sureste de las actuales operaciones, en la década del 70 atrajo a varias compañías de exploración debido a la presencia de anomalías de color sobresalientes y el descubrimiento de estructuras que contenían oro.

Existen varias zonas mineralizadas en el distrito, algunas de las cuales están siendo explotadas, tales como: Ladera-Farellón, Coipa Norte, Brecha Norte, Can-Can, Chimberos y Purén. Se han estimado reservas de 15,3 Mton con leyes de 1,36 ppm y 40,8 ppm de Au y Ag respectivamente<sup>1</sup>.

Actualmente la empresa Kinross está explorando nuevas zonas con mineralización y mejorando la geología del distrito, y es en este contexto en el cual se inserta esta memoria de título.

## **1.1 FORMULACIÓN**

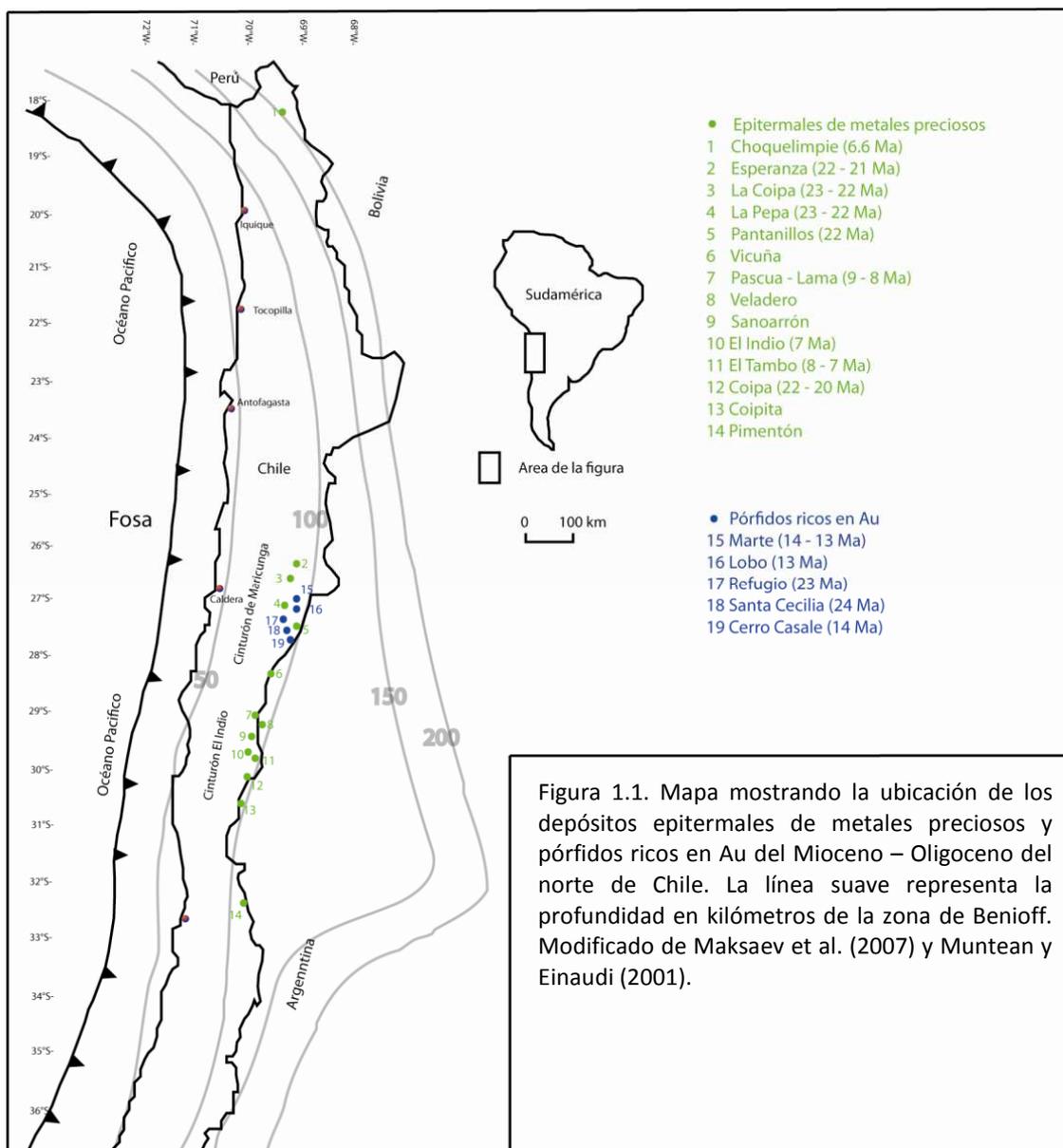
La Coipa se ubica dentro de la Franja de Maricunga. Diversos estudios regionales han sido realizados en la Franja, entre ellos los realizados por Sillitoe et al. (1991), los que mediante dataciones K-Ar tanto en minerales primarios como en alunita hidrotermal propusieron dividir la Franja de Maricunga en dos subcinturones superpuestos, perteneciendo La Coipa al más antiguo situado al oeste. Otros trabajos destacables en la Franja de Maricunga corresponden a los de Kay et al. (1994) y Mpodozis et al. (1995), los cuales realizaron una síntesis de la evolución tectono-magmática de la Franja, organizando la actividad volcánica en cinco eventos. El más importante en la zona de estudio corresponde al más antiguo (26 - 21 Ma), el que dio origen a los domos múltiples asociados a mineralización de Esperanza y La Coipa. El segundo evento (20 - 17 Ma), con poco volcanismo asociado, generó en el sector de La Coipa una secuencia de ignimbritas que cubre las rocas alteradas. El tercer evento (16 - 12 Ma) se caracteriza por un aumento en la actividad volcánica que se ve representada en la zona de La Coipa por dos pequeños domos dacíticos (Cerro Vicuña y Cerro La Coipa). Finalmente, el cuarto (11 - 7 Ma) y quinto (6 - 5 Ma) evento se caracterizan por volcanismo en la parte sur de la Franja de Maricunga, por lo que no existe evidencia de estos en la zona de estudio.

---

<sup>1</sup> <http://www.kinross.com/operations/operation-la-coipa-chile.aspx>

Diferentes trabajos de La Coipa han sido publicados. A escala local Oviedo et al. (1991) realizaron una caracterización de la geología del distrito enfocándose principalmente en las zonas de Ladera - Farellón y Coipa Norte (Fig. 1.2), las cuales poseen altas leyes de plata y oro asociadas principalmente con alteración argílica avanzada (alunita - caolinita ± dickita - cuarzo).

Las rocas intrusivas y volcánicas reconocidas por Oviedo et al. (1991) corresponden a dos tipos, pequeños diques y sills en el oeste (21 Ma) y domos dacíticos (22 - 23 Ma) en el centro y alrededores de las zonas mineralizadas. Además estos autores señalan que el volcanismo estuvo activo entre los 25 y 20 Ma comprendiendo tres eventos. El primero (25 Ma) produjo las rocas volcánicas más antiguas, el segundo (24 - 22 Ma) está relacionado a un complejo de domos dacíticos, y el tercero (20 Ma) coincide con la depositación de tobas félsicas. Unidades superiores en los alrededores de La Coipa, principalmente andesitas y dacitas inalteradas, fueron datadas en 20 a 14 Ma. Edades de alteración en alunita son de  $15.5 \pm 0.5$  Ma (Oviedo et al., 1991),  $17.3 \pm 0.5$  Ma y  $20.6 \pm 0.6$  Ma (Sillitoe et al., 1991).



En el distrito La Coipa está definido un Complejo volcánico conformado principalmente por domos y tobas del Oligoceno – Mioceno. En el mismo distrito se encuentran rocas intrusivas más antiguas (Eoceno, Paleoceno, Cretácico y Paleozoico) y una serie de unidades diferentes observadas en sondajes.

La problemática que surge al abordar este estudio es la falta de estudios petrográficos y litogeoquímicos (de roca total) en las unidades del distrito.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo general**

Determinar diferencias existentes entre las unidades del distrito La Coipa en base a la petrografía y geoquímica. Además utilizar la geoquímica de roca total como herramienta adicional de exploración en el distrito.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar la petrografía y alteración de los cuerpos presentes en el distrito La Coipa, con especial énfasis en los domos.
- Caracterizar en base a la litogeoquímica las diferentes unidades terciarias del distrito.
- Diferenciar los cuerpos que componen el Complejo volcánico en estudio.
- Utilizar la litogeoquímica como herramienta adicional de exploración en el distrito.

## **1.3 METODOLOGÍA**

El trabajo de terreno, principalmente asociado a la toma de muestras, fue realizado entre los meses de Agosto y Septiembre.

### **1.3.1 Geoquímica**

Se recolectaron 118 muestras, 75 corresponden a muestras de superficie, c. 4-5 kg, lo menos meteorizadas posibles. Las restantes 43 muestras corresponden a muestras de sondajes de Pompeya, Purén Sur y Brecha Norte (Fig. 1.2). Las muestras de superficie y de sondaje fueron preparadas y analizadas por el laboratorio ALS en La Serena. El paquete elegido fue ME-MS81d el cual es una combinación de los paquetes de óxidos mayores (ME-ICP06) y elementos traza (ME-MS81). La preparación de las muestras (PREP-31) consistió en secado y triturado a 70% < 2 mm (malla 10), cuarteo de aproximadamente 250 gr en rifle splitter y pulverizado de la sub-muestra a 85% < 75 µm (malla 200).

Los métodos analíticos utilizados fueron:

1. Roca total (ME-ICP06): Una muestra (0.2 gr) es adicionada a un flujo de metaborato de litio/tetraborato de litio (0.9 gr), mezclada y fundida en un horno a 1000°C. El fundido resultante es entonces enfriado y disuelto en 100 ml de 4% ácido nítrico/2% ácido clorhídrico. Esta solución es analizada por ICP-AES (inductively coupled plasma – atomic emission spectrometry) y los resultados son corregidos por interferencias inter-elementos. Concentraciones de óxidos son calculadas de la concentración elemental determinada. Además una muestra (1 gr) es puesta en

un horno a 1000°C por una hora, enfriada y luego pesada. El porcentaje de pérdida por fusión (LOI) es calculado de la diferencia en peso.

2. Método ultra traza (ME-MS-81): Una muestra (0.2 gr) es adicionada a un flujo de metaborato de litio (0.9 gr), mezclada y fundida a 1000°C. El fundido resultante es entonces enfriado y disuelto en 100 ml de 4% ácido nítrico/2% ácido clorhídrico. Esta solución es entonces analizada por ICP-MS (inductively coupled plasma – mass spectrometry). La fusión por metaborato de litio no es el método preferido para la determinación de metales base. Muchos sulfuros y algunos óxidos de metales son solo parcialmente descompuestos por la fusión y algunos elementos tales como el cadmio y zinc pueden ser volatilizados. Metales base pueden ser reportados con ME-MS81 ya sea con digestión con agua regia (ME-AQ81) o una digestión con cuatro ácidos (ME-4ACD81). La digestión con cuatro ácidos es preferida cuando los targets incluyen más mineralización resistiva tales como la asociada con níquel y cobalto.

Mayores detalles pueden encontrarse en la página web del laboratorio: <http://www.alsglobal.com/minerals/downloads/short-method-descriptions.aspx>

Los elementos analizados por cada método y los límites de detección para los elementos analizados son mostrados en la tabla 1.1.

A partir de la geoquímica se clasificó las unidades que componen el Complejo volcánico en estudio en función de diferentes diagramas existentes, por ejemplo, AFM, de Jensen, Harker, REEs, etc. Además la geoquímica de roca total, mediante el uso de tasas molares (PER y GER), permitió determinar rocas cogenéticas y el grado de alteración sufrido por estas. Finalmente el uso de tasas molares permitió la definición de un índice de alteración que puede resultar útil como herramienta de exploración en el distrito La Coipa.

### **1.3.2 Petrografía y espectrometría VNIR – SWIR**

Mediciones con un espectrómetro VNIR – SWIR portátil (Terraspec) fueron realizadas a las muestras tomadas en terreno para determinar ocurrencias minerales, principalmente de alteración.

La espectroscopia de reflectancia VNIR – SWIR es la técnica que utiliza la energía en las regiones del espectro electromagnético de la luz visible (VIS; 0.4 – 0.7  $\mu\text{m}$ ), la cercana a la infrarroja (NIR; 0.7 – 1.3  $\mu\text{m}$ ) y la infrarroja de onda corta (SWIR; 1.3 – 2.5  $\mu\text{m}$ ) para analizar los materiales. Ciertos átomos y moléculas absorben energía en función de su estructura atómica, esto se manifiesta en la forma de un gráfico o espectro de reflectancia con sus característicos rasgos de absorción, posición de longitudes de onda y perfiles o aspectos distintivos que pueden ser usados para identificar minerales y fases orgánicas.

Las posiciones de longitud de onda son determinadas por el catión y la longitud del enlace respectivo. La espectroscopía mide la energía vibracional de aquellos enlaces. Por ejemplo, el enlace Al-OH se encuentra siempre en la zona de longitud de onda de 2.2  $\mu\text{m}$ .

La mayor parte de los rasgos espectrales determinantes se encuentran en el SWIR o infrarrojo de onda corta. Los rasgos de absorción en la región SWIR son una función de la composición del mineral y ocurren en posiciones de longitud de onda bien definidos.

Cada mineral detectado en el rango SWIR tiene un conjunto de rasgos espectrales bastante únicos que se combinan en el espectro de reflectancia. Los rasgos tienen frecuencias o longitudes de onda con

posiciones y anchos de bandas característicos. Tanto los rasgos espectrales como la envolvente o componente de fondo son influenciados por múltiples variables.

Para caracterizar la petrografía y alteración de las unidades terciarias se utilizaron 32 secciones delgadas (ver capítulo 3). Como herramienta adicional se usó un espectrómetro VNIR – SWIR (Terraspec) para determinar ocurrencias de minerales de alteración junto con los cambios en las proporciones y composición de los mismos (ver capítulo 4).

Tabla 1.1. Elementos analizados y límites de detección. La concentración de todos los elementos es en ppm, salvo para los elementos mayoritarios (ME-ICP06) que es en porcentaje. \*: Algunos óxidos de metales base y sulfuros pueden no ser completamente descompuestos por la fusión con borato de Li. Resultados para Ag, Co, Cu, Mo, Ni, Pb y Zn probablemente no serán cuantitativos por este método. \*\*: Hg es digerido solamente con agua regia.

Código del método	Elemento	Símbolo	Limite inferior	Limite superior	Código del método	Elemento	Símbolo	Limite inferior	Limite superior
ME-ICP06	Aluminio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	100	ME-MS81	Niobio	Nb	0.2	10000
	Bario	BaO	0.01	100		Neodimio	Nd	0.1	10000
	Calcio	CaO	0.01	100		Níquel*	Ni	5	10000
	Cromo	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	100		Plomo*	Pb	5	10000
	Hierro	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	100		Praseodimio	Pr	0.03	1000
	Magnesio	MgO	0.01	100		Rubidio	Rb	0.2	10000
	Manganeso	MnO	0.01	100		Samario	Sm	0.03	1000
	Fósforo	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	100		Estaño	Sn	1	10000
	Potasio	K <sub>2</sub> O	0.01	100		Estroncio	Sr	0.1	10000
	Silicio	SiO <sub>2</sub>	0.01	100		Tantalio	Ta	0.1	10000
	Sodio	Na <sub>2</sub> O	0.01	100		Terbio	Tb	0.01	1000
	Estroncio	SrO	0.01	100		Torio	Th	0.05	1000
Titanio	TiO <sub>2</sub>	0.01	100	Talio	Tl	0.5	1000		
OA-GRA05 o ME-GRA05	Loss on Ignition	LOI	0.01	100	Tulio	Tm	0.01	1000	
					Uranio	U	0.05	1000	
ME-MS81	Plata	Ag	1	1000	Vanadio	V	5	10000	
	Bario	Ba	0.5	10000	Wolframio	W	1	10000	
	Cerio	Ce	0.5	10000	Ytrio	Y	0.5	10000	
	Cobalto	Co	0.5	10000	Yterbio	Yb	0.03	1000	
	Cromo	Cr	10	10000	Zinc*	Zn	5	10000	
	Cesio	Cs	0.01	10000	Circonio	Zr	2	10000	
	Cobre	Cu	5	10000	ME-AQ81 o ME-4ACD81	Plata	Ag	0.5	100
	Disprobio	Dy	0.05	1000		Arsénico	As	5	10000
	Erbio	Er	0.03	1000		Cadmio	Cd	0.5	10000
	Europio	Eu	0.03	1000		Cobalto	Co	1	10000
	Galio	Ga	0.1	1000		Cobre	Cu	1	10000
	Gadolinio	Gd	0.05	1000		Mercurio**	Hg	1	10000
	Hafnio	Hf	0.2	10000		Molibdeno	Mo	1	10000
	Holmio	Ho	0.01	1000		Níquel	Ni	1	10000
	Lantano	La	0.5	10000		Plomo	Pb	1	10000
	Lutecio	Lu	0.01	1000		Zinc*	Zn	2	10000
	Molibdeno*	Mo	2	10000					

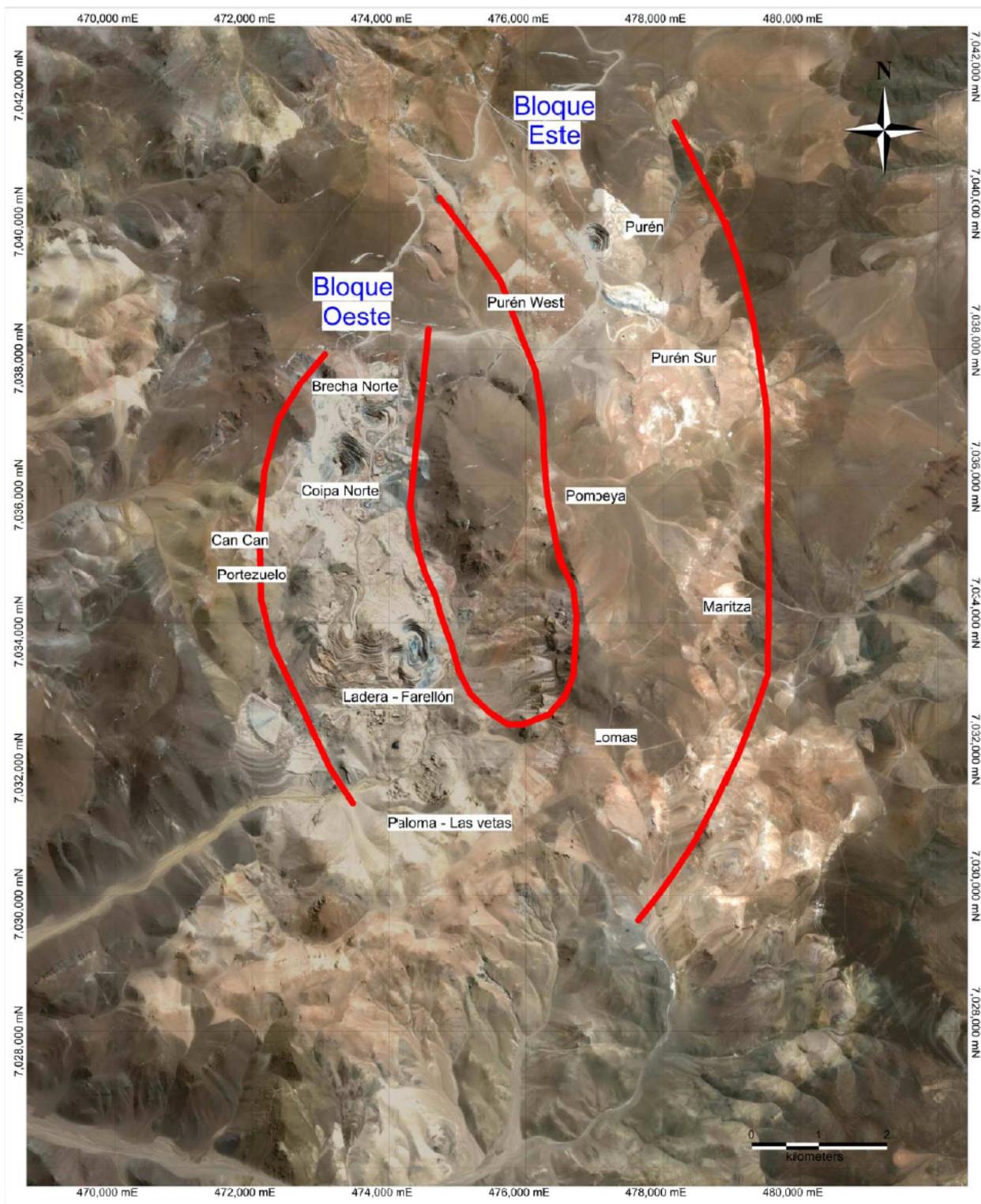


Figura 1.2. Ubicación de los prospectos y minas en el bloque este y oeste del distrito La Coipa.

## 1.4 HIPÓTESIS DE TRABAJO

Existen claras diferencias entre los cuerpos que componen el Complejo volcánico y las unidades intrusivas del distrito. Además las unidades estudiadas están ligadas a los eventos de alteración – mineralización reconocidos en el sector, por lo cual la litogeoquímica debería evidenciar los procesos de transferencia de material (procesos hidrotermales).

## 1.5 UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

El área de estudio corresponde al distrito La Coipa (Fig. 1.2), el cual se ubica entre las coordenadas 7.042.000 mN – 470.000 mE y 7.026.000 mN – 484.000 mE (Datum: PSAD56/19S; Fig. 1.3), región de Atacama, Chile, aproximadamente 1000 km al norte de Santiago.

El camino más corto entre Copiapó, la ciudad más cercana, y La Coipa tiene una extensión de 140 km (Fig. 1.3). Desde Copiapó se puede llegar al sector de estudio tomando la Ruta 5 hacia el sureste. A la altura de Paipote se toma la ruta 31 hacia el noreste, de 30 km de camino pavimentado y 54 km de camino ripiado. En el kilómetro 152, en la intersección de las quebradas Codocedo y La Coipa, se toma el desvío al norte hasta llegar a las instalaciones de La Coipa a una cota de 4.080 m.s.n.m.

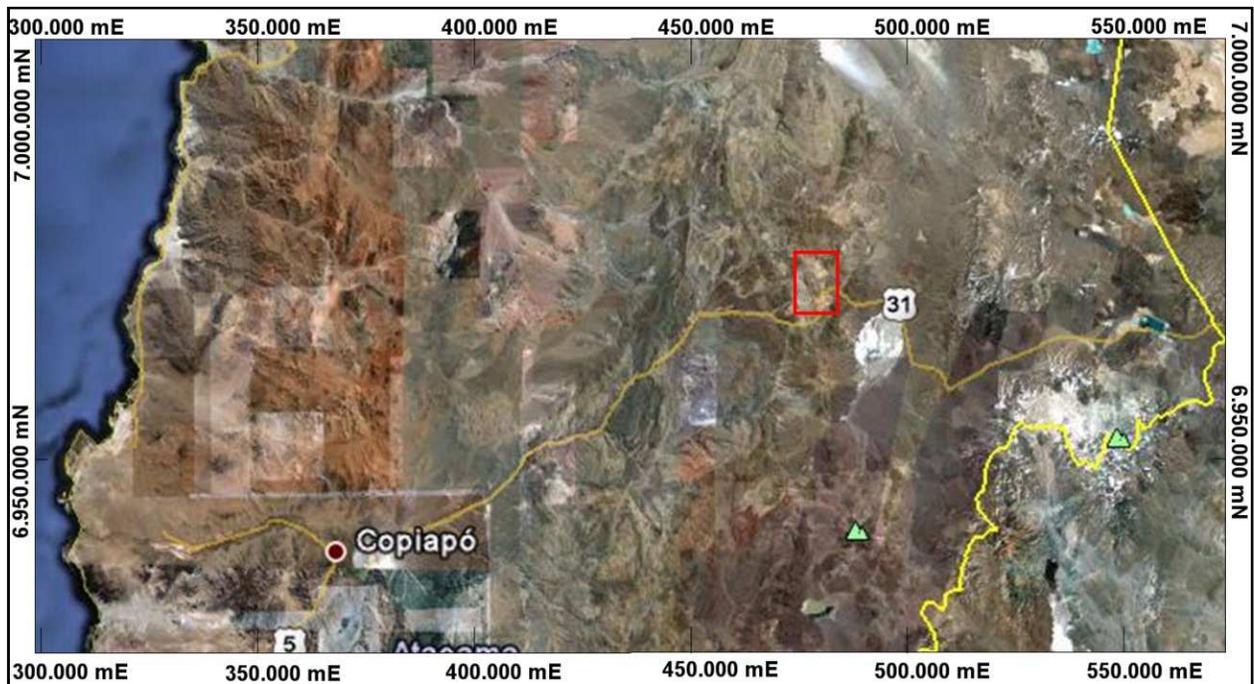


Figura 1.3. Ubicación área de estudio.

## **2 ANTECEDENTES GEOLÓGICOS DE LA ZONA DE ESTUDIO**

En esta sección se presentan algunos antecedentes referentes a la Franja de Maricunga y en particular al distrito La Coipa. La información se divide en dos partes, la primera es una síntesis de la evolución tectonomagmática que permitió la formación de los depósitos en la Franja de Maricunga, mientras que la segunda incluye los antecedentes geológicos a escala regional y local de la zona estudiada, con énfasis en las unidades geológicas, estructuras, alteración y mineralización.

### **2.1 AMBIENTE METALOGÉNICO**

Los depósitos epitermales de oro en Chile tienen edades comprendidas entre el Cretácico y Cenozoico. Las menas y rocas volcánicas asociadas a estos depósitos fueron generadas en márgenes de placas convergentes no colisionales, en presencia de cinturones magmáticos extensos y ligeramente sinuosos con una orientación nor-noreste, formados paralelos a la costa del Pacífico (Davidson y Mpodozis, 1991).

Los depósitos epitermales de las franjas de El Indio y Maricunga se asocian a la provincia magmática del Oligoceno Tardío – Mioceno Medio del sur de los Andes centrales en el norte de Chile (26° - 31° S; Fig. 1.1), la que coincide aproximadamente con el segmento actual de subducción plana de los Andes chilenos. En este segmento se encuentran una gran cantidad de depósitos tipo pórfido y epitermal, dentro de esta última categoría destacan La Coipa, Pascua y El Indio, los cuales se asocian a grandes zonas con alteración argílica y argílica avanzada.

La actividad magmática comenzó aproximadamente a los 26 Ma y cesó aproximadamente a los 5 Ma cuando el frente volcánico migró hacia el este, asociado a la consolidación de la subducción plana. Según Kay et al. (1999), la mineralización de Au y Cu en las franjas de El Indio y Maricunga ocurrió durante estados de menor volcanismo en el arco, precediendo la migración del frente del arco hacia el este o el fin de la actividad ígnea.

Kay et al. (1994) reconocieron cinco episodios tectono-magmáticos en la franja de Maricunga. El primero, y más importante para el área de La Coipa, ocurrió en el Oligoceno Tardío – Mioceno Temprano (26 a 20 Ma), durante el cual complejos volcánicos hicieron erupción durante subducción normal con una corteza de espesor entre 35 a 40 km. La mayoría de los complejos de domos fueron alterados hidrotermalmente y en algunos ocurrió mineralización de oro y plata. Los otros cuatro eventos no están asociados a mineralización en La Coipa. Sillitoe et al. (1991) señalan que la mineralización en La Coipa tuvo lugar probablemente entre los 24 y 20 Ma, aunque quizás existe un segundo evento de alteración-mineralización ocurrido en torno a los 17 Ma.

## **GEOLOGÍA**

### **2.1.1 Unidades**

La siguiente síntesis se basa en los mapas realizados por Mpodozis (s. a) y los geólogos de exploración de La Coipa (Fig. 2.1). Debido a que actualmente en algunos sectores no se puede conocer la geología superficial (presencia de rajos, botaderos, relaves, etc.), esta fue compilada por los geólogos de Kinross de trabajos previos en la zona. Las unidades son descritas de más antiguas a más recientes, finalizando con la geología del área mina.

## PALEOZOICO

### **Intrusivos de Quebradas Caballo Muerto (Pérmico)**

Al sur del Batolito de Pedernales, intruyendo a la formación La Tabla, ocurren algunos cuerpos intrusivos independientes y separados de éste (Fig. 2.1). Corresponden a cuerpos menores de pórfidos riolíticos de color rojo, con fenocristales de cuarzo y feldespatos potásico. Su edad es incierta, pero su similitud litológica y relaciones de intrusión, permiten compararlos con los pórfidos riolíticos del Batolito Pedernales, asignados al Pérmico.

### **Formación La Tabla (Paleozoico Superior)**

Secuencia maciza de tobas y brechas riolíticas y andesíticas, de color rojizo a verdoso, de más de 1000 m expuestos, que se apoya discordantemente sobre la Formación Chinchas y está en contacto por falla inversa con los Estratos El Mono. Los niveles superiores incluyen tobas soldadas y brechosas riolíticas, junto a un volumen menor de lavas y brechas andesíticas, generalmente epidotizadas. Esta unidad aflora en la zona de estudio como un bloque con una marcada orientación NE.

## TRÍASICO SUPERIOR – JURÁSICO INFERIOR

### **Estratos El Mono (Triásico Superior – Jurásico Inferior; TrJem)**

Secuencia sedimentaria detrítica, de hasta 2000 m de espesor (Fig. 2.1). Sus niveles superiores muestran un paso gradual a calizas de la Formación Montandón (Quebrada Codoceo y Caballo Muerto). En la zona de estudio presenta una disposición casi norte – sur con un rumbo principalmente NNW. El techo de la secuencia se encontraría hacia el oeste.

**Conglomerados y areniscas cuarcíferas (TrJem1)**, niveles superiores con potencias observadas de entre 800 a 1200 m, son rocas de color pardo amarillento. Los conglomerados son matriz-soportada y las areniscas muestran gradación normal.

**Lutitas (TrJem2)**, corresponden a los niveles intermedios de más de 1300 m de potencia, representadas por lutitas negras laminadas, ricas en materia orgánica, con intercalaciones de areniscas finas con laminación paralela y gradación normal, que se exponen en la zona de la mina La Coipa y Portezuelo Codoceo y son portadoras, junto a vegetales, de formas de Esterias, Ostrácodos y *Diplodon sp.*

## JURÁSICO INFERIOR – CRETÁCICO INFERIOR

### **Formación Pedernales (Titoniano – Valanginiano; Jkp)**

Secuencia de espesor variable, entre 150 y 300 m, formada por una alternancia de calizas y areniscas calcáreas fosilíferas amarillas, con intercalaciones de areniscas verdes (Fig. 2.1). Las calizas (calcarenitas y ruditas) presentan un distintivo color de meteorización amarillo ocre y son portadoras en las quebradas Asientos, Chañaral Alto y Vicuña de fauna fósil de trigonias y ammonites, con un intervalo de edad comprendido entre el Titoniano y el Valanginiano. En la zona de estudio aflora en el sector este camino al salar de Maricunga presentando un rumbo NE (Fig. 2.1).

### **Formación Quebrada Monardes (Cretácico Inferior; Klqm)**

Secuencia sedimentaria clástica, principalmente arenosa, de color pardo rojizo, dispuesta en forma concordante sobre la Formación Pedernales y cubierta en discordancia de erosión por los Estratos de Cerro Los Carneros (Cretácico Superior; Fig. 2.1). Generalmente se reconocen estructuras sedimentarias como: estratificación cruzada y gradada, ondulitas, laminación paralela y grietas de secamiento. Hacia el

techo de la formación se observan niveles evaporíticos. En la zona de estudio aflora en el sector noroeste con una disposición NE (Fig. 2.1).

### **CRETÁCICO SUPERIOR (90 – 66 Ma)**

#### **Pórfidos monzodioríticos (KTzmd)**

Monzodioritas y pórfidos monzodioríticos de piroxeno, “stocks” de pequeño tamaño (1 – 3 km<sup>2</sup>), que intruyen a los Estratos El Mono y Estratos de Cerro Los Carneros (Fig. 2.1).

#### **Estratos de Cerro Los Carneros (85? – 65 Ma; Ksecc)**

Secuencia volcánica de hasta 2000 m de espesor, descrita en el sector de Mina La Coipa y Quebrada Codoceo (Fig. 2.1). La unidad se apoya en discordancia angular sobre la Formación Quebrada Monardes y secuencias más antiguas y está cubierta por Estratos de Cerro Valientes. Se pueden reconocer los siguientes miembros: (1) andesitas porfídicas medias a gruesas (Ksecc1), (2) andesitas porfídicas finas a medias (Ksecc2), (3) sills ocoíticos (Ksecc3) y (4) brechas y conglomerados andesíticos (Ksecc4). Cubre gran parte de la zona de estudio, en la zona sur se encuentra sin deformación mientras que en la zona noroeste está prácticamente vertical (asociado a fallamiento inverso).

### **PALEOCENO – EOCENO INFERIOR (63 – 55 Ma)**

#### **Intrusivos Hipabisales (65 – 59? Ma)**

Intrusivos que se emplazan en las secuencias sedimentarias mesozoicas y Estratos de Cerro Los Carneros (Fig. 2.1).

**Pórfidos dacíticos (TPpd)**, pequeños “stocks” (0,5 – 2 km) que ocurren en las zonas de las quebradas Colorada y Vicuña. Afectados, localmente, por alteración cuarzo-sericita, presentan en parte “stockwork” de cuarzo y aureolas de rocas argilizadas.

### **EOCENO MEDIO – EOCENO SUPERIOR (45 - 35 Ma)**

#### **Domos riolíticos (41 – 39 Ma; TEdr)**

Cuerpos extrusivos riolíticos de notable relieve, emplazados en el dominio de fallas sinistralas NW (Quebrada Indagua, Vicuña, Cerros Bravos y Sierra San Emilio), donde intruyen a secuencias mesozoicas (Fig. 2.1). Presentan secciones subcirculares de 1 a 3 km de diámetro, bandeamiento de flujo, diaclasamiento columnar radial y zonas superiores y marginales con láminas de foliación. Muestran alteración hidrotermal fílica (sericita – illita) y silicificación.

#### **Intrusivos Hipabisales (46 – 35 Ma)**

Intrusivos menores que se encuentran relacionados con las fallas NW.

**Pórfidos riódacíticos y diques riódacíticos (TEpr)**, cuerpos menores y diques de rumbo NW (Fig. 2.1), de color blanco comúnmente afectados por alteración hidrotermal fílica. Contienen fenocristales de cuarzo (“ojos”), biotita y masa fundamental microcristalina feldespática, generalmente sericitizada o silicificada.

### **COMPLEJOS DE DOMOS COALESCENTES**

#### **Domos La Coipa (25 – 21 Ma; TOMdlc)**

Complejo de domos múltiples y productos piroclásticos asociados, afectados por alteración hidrotermal, que hospedan la mineralización hidrotermal de plata y oro del distrito La Coipa. El complejo está emplazado sobre un basamento de rocas sedimentarias triásicas (Estratos El Mono) y volcánicas

cretácicas (Estratos de Cerro Los Carneros; Fig. 2.1). El núcleo del complejo está formado por, a lo menos, cuatro domos, con diferentes grados de alteración hidrotermal, que se emplazaron en secuencia, en la zona de intersección de la falla inversa Vega La Junta con la falla siniestral, de rumbo NW, de Quebrada Indagua, seguido de un grupo de cuerpos menores no afectados por alteración ubicados al noreste de La Coipa. Mpodozis (s. a) reconoce los siguientes miembros: (1) tobas riolíticas dacíticas finas, (2) domos riolíticos y dacíticos y (3) brechas piroclásticas y tobas de lapilli gruesas. En un mapeo posterior, realizado por los geólogos de exploración de La Coipa, se reconocen los siguientes miembros: (1) domos riolíticos (TOMdlc1), (2) domos dacíticos (TOMdlc2), (3) domos andesíticos (TOMdlc3), (4) tobas riolíticas (TOMdlc4), (5) tobas dacíticas (TOMdlc5), (6) tobas de lapilli (TOMdlc6), (7) brechas freáticas (TOMdlc7), (8) tobas dacíticas de biotita (TOMdlc8) y (9) domos dacíticos de biotita (TOMdlc9).

### **MIOCENO MEDIO (17 – 11 Ma)**

**Depósitos aluviales antiguos (MsPla)**, corresponden a las gravas de Atacama. Es una unidad clástica, polimíctica con fragmentos subangulares, tal vez redondeados de mala clasificación. El ambiente apunta a un sistema aluvial – fluvial. Las gravas muestran algunas intercalaciones con ignimbritas (Mortimer, 1973).

### **Aparatos volcánicos centrales: Volcán Ojo de Maricunga y cerros Vicuña y La Coipa (16 – 14 Ma)**

Centros volcánicos medianamente erodados, con edades comprendidas entre 16 – 14 Ma que ocurren al oeste del Salar de Maricunga y al norte del yacimiento La Coipa. Corresponden a un conjunto de domos dacíticos menores rodeados de flujos piroclásticos (Cerros Vicuña y La Coipa) alineados sobre la traza de fallas NNW, que cubren un área aproximada entre 30 y 35 km<sup>2</sup> (Fig. 2.1).

**Domos dacíticos centrales (Mmddc)**, extrusivos de composición dacítica con texturas porfídicas, ricos en fenocristales de hornblenda, plagioclasa y biotita subordinada, con estructuras bandeadas de flujo. En el Cerro La Coipa los márgenes del domo presentan estructuras de flujo y están rodeados por un “plateau” de lavas daciandesíticas.

**Formación San Andrés (Milt)**, grandes secuencias de rocas piroclásticas blancas hasta rosadas con una composición dacítica – riolítica. Son rocas de baja dureza con alta porosidad y una enorme cantidad de piroclastos (Clark et al., 1967).

### **CUATERNARIO**

Conformado por: (1) depósitos aluviales (Qa), depósitos coluviales (Qc) y depósitos de remociones en masa.

### **AREA MINA**

En el área mina (Fig. 2.1), Acosta et al. (1990) reconoció la presencia de intrusivos subvolcánicos y lavas dacíticas (TcMcbm), intrusivos dacíticos (Tlcl), miembros de Estratos de Caballo Muerto (Tecm; tobas de cristales, tobas de lapilli, brechas tobáceas (Tecm1) y niveles sedimentarios con aporte volcánico), limonitas y fangolitas con intercalaciones de yeso (Trecc) y lutitas negras y areniscas (Trem).

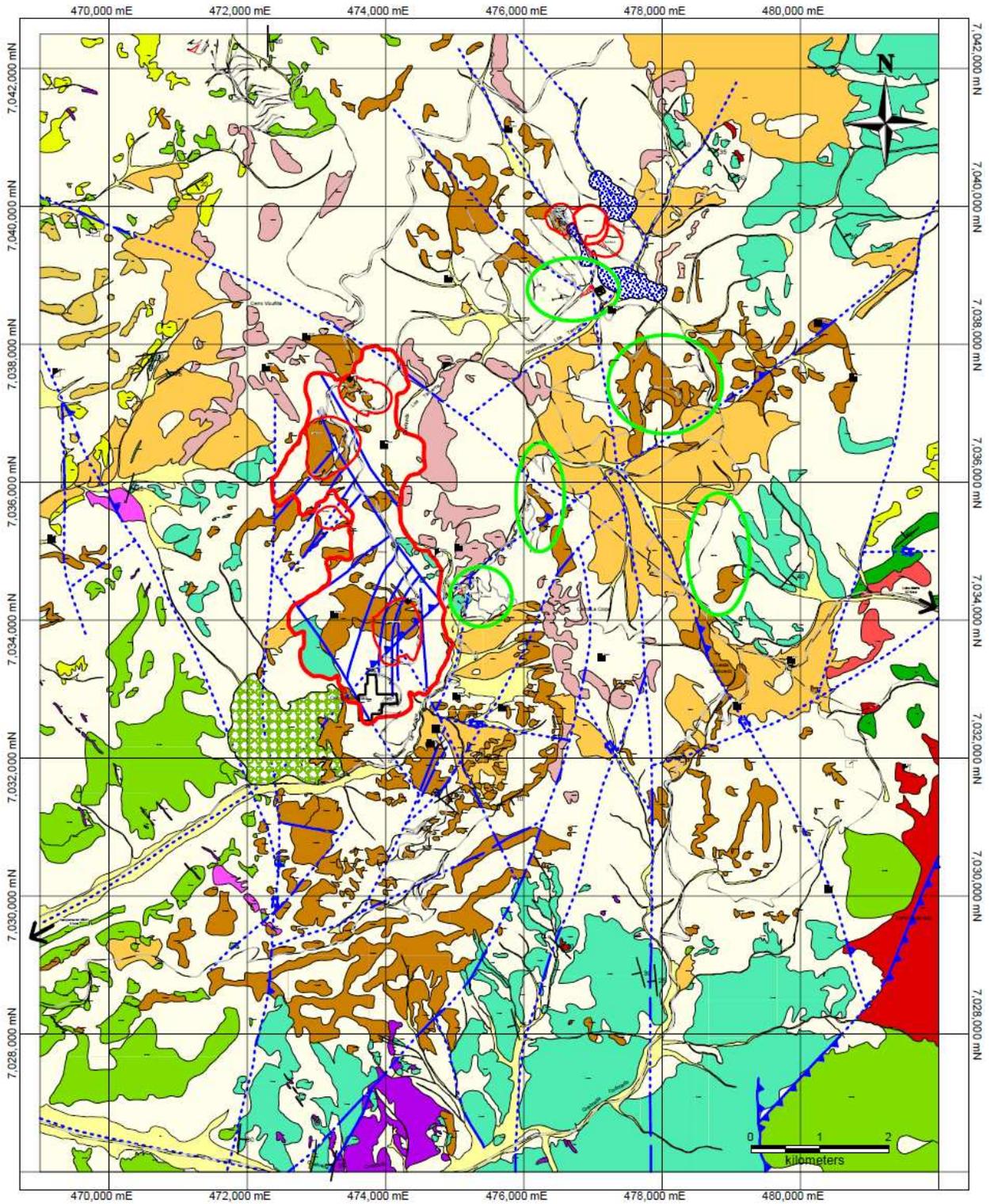


Figura 2.1. Mapa geológico del distrito La Coipa. Las elipses corresponden a prospectos y las áreas encerradas en rojo a las minas. Leyenda en próxima página.

## Leyenda

### Litología de afloramientos

#### Mapa Distrito La Coipa (MDO)

	Qa	Depósitos Aluviales
	Qc	Depósitos Coluviales
	MsPla	Depósitos Aluviales Antiguos
	Mmddc	Domos Dacíticos Centrales
	Miilt	Formación San Andrés
	TOMdlc	Domos La Coipa
	TOMdlc1	Domos Riolíticos
	TOMdlc2	Domos Dacíticos
	TOMdlc3	Domos Andesíticos
	TOMdlc4	Tobas Riolíticas
	TOMdlc5	Tobas Dacíticas
	TOMdlc6	Tobas de Lapilli
	TOMdlc7	Brechas Freáticas
	TOMdlc8	Tobas Dacíticas de Biotita
	TOMdlc9	Domos Dacíticos de Biotita
	TEdr	Domos Riolíticos
	TEpr	Pórfidos Riódacíticos y Diques Riódacíticos
	TPpd	Pórfidos Dacíticos
	KTmzd	Pórfidos Monzodioríticos
	Ksecc	Estratos de Cerro Los Cameros
	Ksecc1	Andesitas Porfídicas Medias a Gruesas
	Ksecc2	Andesitas Porfídicas Finas a Medias
	Ksecc3	Sills Ocoíticos
	Ksecc4	Brechas y Conglomerados Andesíticos
	Kiqm	Formación Quebrada Monardes
	JKp	Formación Pedemales
	TrJem	Estratos El Mono
	TrJem1	Conglomerados y Areniscas Cuarcíferas
	TrJem2	Lutitas
	Pzmoz	Monzogranitos de Quebrada Caballo Muerto

#### Mapa Área mina (Acosta et al., 1990)

	Tcvcbm	Intrusivos subvolcánicos y lavas dacíticas
	Tid	Intrusivos Dacíticos
	Tecm	Estratos de Caballo Muerto
	Tecm1	Tobas de cristales, Tobas de Lapilli y Brechas Tobáceas
	Tecm2	Niveles sedimentarios con aporte volcánico
	Trecc	Limolitas y Fangolitas con intercalaciones de yeso
	Trem	Lutitas negras y Areniscas

#### Dataciones (Comejo y Mpodozis, 1993; Sillitoe et. al, 1991)

	Biotita
	Roca total
	Anfibola
	Alunita

#### Estructuras

	Falla Inversa
	Falla Normal
	Falla Inferida

#### Actividad Mina

	Área Mina
	Proyectos y Prospectos
	Botadero
	Tranque de Relaves
	Caminos

Figura 2.1 (continuación). En la parte oriental aflora parte del basamento Paleozoico (Pzmoz), sobre este y en todo el distrito afloran rocas sedimentarias triásicas. El jurásico solo es observable en la parte oriental del distrito (calizas camino al Salar de Maricunga). Las rocas volcánicas cretácicas afloran principalmente en el bloque oeste, lo mismo que pórfidos y domos del Paleoceno-Eoceno. Los "Domos La Coipa" se encuentran ampliamente distribuidos en todo el distrito, mientras que los domos dacíticos centrales conforman una franja de orientación NW-SE en la zona central. El distrito La Coipa presenta dos sets estructurales muy marcados, uno inverso (NNE, sistema de falla Agua Amarga) y otro de rumbo-normal (NW, sistema de falla Vega Las Juntas).

### 2.1.2 Geología estructural

La Coipa está caracterizada por varios horst-graben de orientación preferencial NNE, producto de fallamiento inverso (sistema de falla Agua Amarga), el cual no se observa debido a la cubierta de rocas volcánicas del Mioceno Temprano a Medio. Un set posterior de fallas normales con orientación NW (sistema de falla Vega las Juntas) y un set secundario de fallas con orientación NE se superpuso (Fig.2.1; Oviedo, 1991). Intersecciones entre los sistemas de fallas normales e inversas controlaron la ubicación de las rocas volcánicas en La Coipa. En resumen, La Coipa presenta dos sistemas estructurales muy marcados, uno de fallas inversas con orientación NNE y uno de fallas normales y de rumbo con orientación NW.

La edad del movimiento a lo largo del sistema de fallas con orientación NW (Fig. 2.1 y 2.2) está constreñida por las rocas del Complejo volcánico Cerros Bravos y La Coipa del Oligoceno-Mioceno (ca. 26 – 22 Ma) que no están deformadas, mientras que relaciones de corte con rocas intrusivas indican movimiento durante el Eoceno Medio entre ca. 42 y 39 Ma (Abels et al., 1999).

Análisis cinemático de las estructuras NW revelan tanto un componente de movimiento normal (máximo ~500 m) y un componente más significativo de desplazamiento siniestral. En base a indicadores de movimiento de rumbo se han descrito amplios desplazamientos de fallas individuales, tan grandes como ~3,5 km (Cornejo et al., 1993). Relaciones de campo muestran que el movimiento normal es posterior al movimiento de rumbo, lo que Abels et al. (1999) interpretaron como el resultado del colapso después de una deformación compresiva en el arco magmático. El campo de stress regional cambió entre los 36 y 32 Ma (último acortamiento en la región) y 26 Ma (rocas volcánicas no deformadas en los complejos volcánicos La Coipa y Cerros Bravos).

El dominio NNW es mejor explicado por la reactivación de una estructura de basamento preexistente durante la orogenia en el Eoceno.

Como ya fue mencionado, el sistema de fallas NW se intersecta con un sistema de fallas con orientación NNE (Fig. 2.1). Para este último, debido a que las gravas de Atacama miocenas no están deformadas se puede inferir una edad mínima de fallamiento. Para la falla Agua Amarga, que compone este sistema, se tiene una actividad comprendida entre los 47 y 44 Ma (Abels et al., 1999). No existen indicadores cinemáticos de movimiento de rumbo de la falla Agua Amarga, lo que sugiere que la estructura es netamente compresiva sin movimiento de rumbo significativo. Más al norte, la falla Agua Amarga probablemente continúa en la falla Sierra Castillo, la cual representa el límite oeste de la faja plegada y corrida de Potrerillos. Todas las características estructurales y geocronológicas sugieren que los principales rasgos estructurales en la zona de estudio estuvieron activos durante el Eoceno Medio-Tardío (Abels et al. 1999).

Abels et al. (1999) proponen un mecanismo para explicar la deformación existente en el sector de estudio. Estos autores indican que durante el Eoceno la placa de Farallón subducía bajo la placa Sudamericana con una orientación noreste, lo cual habría inducido un régimen tectónico transpresivo general dextral en el arco y antearco. Esto, junto con los patrones de deformación y la evidencia de estructuras de basamento preexistentes, explicarían la rotación en sentido horario documentada por investigaciones paleomagnéticas (Roperch et al. (1997) y Taylor et al. (1988b)).

El acoplamiento de las placas asociado a la subducción noreste, favorecido por zonas de debilidad estructural noroeste en el basamento pre-Andino, provocaron la rotación de grandes bloques, vía un

mecanismo de domino (Fig. 2.2). Cuando la deformación alcanzó el límite oriental de la corteza termalmente debilitada, la rotación no se propagó. Fallas que se desarrollaron durante los últimos estados de la orogenia, por ejemplo presumiblemente las fallas Sierra Castillo y Agua Amarga, son por lo tanto paralelas al margen y representan solo rasgos compresivos sin un componente significativo de rumbo (corresponderían a las fallas NE en la Fig. 2.2).

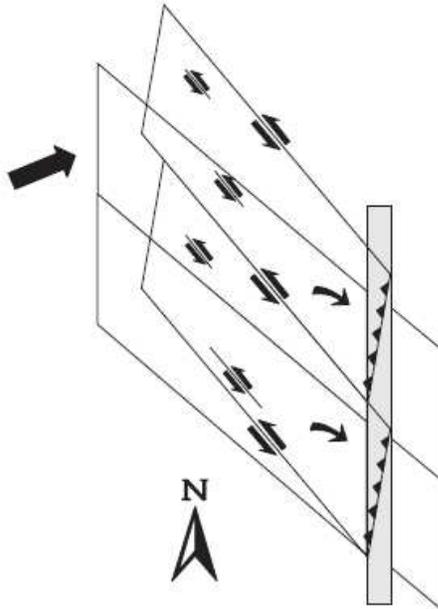


Figura 2.2. Mecanismo de rotación de bloques que explica el dominio estructural en el distrito La Coipa. Transpresión dextral causa rotación de los bloques en sentido horario, induciendo estructuras siniestrales. Estructuras compresivas son desarrolladas en los ejes de los bloques en el arco magmático debilitado termalmente. Tomado de Abels et al., 1999.

### 2.1.3 Alteración y mineralización

El distrito La Coipa tiene una extensión areal de 15 x 10 km y contiene mineralización epitermal de Au-Ag en vetas profundas controladas estructuralmente en lutitas competentes y en forma diseminada en la secuencia superior de rocas volcánicas. Es posible que este distrito presente mineralización tipo pórfido de oro en profundidad bajo el lithocap que hospeda los depósitos epitermales de alta e intermedia sulfidización, tales como Farellón, Coipa Norte, Brecha Norte y Purén (Sillitoe, 2010; 2011).

Actualmente el distrito La Coipa está dividido en tres bloques con orientación NNW (Fig. 1.2). Se acepta que estos tres bloques están separados por fallas NW, implicando que niveles de erosión pueden ser diferentes entre los bloques.

El bloque oeste está disectado por la erosión y expone una porción de cuarzo oqueroso mineralizada bajo la capa de alteración "steam-heated". El bloque este, con una menor erosión, expone los límites de la cubierta de alteración "steam-heated". El bloque central, poco alterado, comprende mayoritariamente domos dacíticos (Corbett, 2009).

El bloque occidental (Fig. 1.2) comprende los depósitos Brecha Norte, Coipa Norte, Can Can, Portezuelo y Farellón. Todos estos depósitos se caracterizan por presentar asociaciones típicas de ambiente epitermal de alta sulfuración con un fuerte control estructural en la mineralización. Oviedo et al. (1991) y Cecioni et al. (1992) estudiaron los depósitos Coipa Norte, Ladera-Farellón y Can Can, coincidiendo en los siguientes puntos: (1) la mineralización en profundidad está canalizada (lutitas triásicas), y se disemina cerca de la superficie (en rocas volcánicas), (2) las alteraciones dominantes son silicificación, alteración argílica avanzada (alunita - caolinita ± dickita - cuarzo), argílica intermedia (illita - esmectita ± sericita),

encontrándose la clásica zonación de ambiente epitermal y (3) la existencia de una zonación anormal en la razón Au/Ag que disminuye hacia la superficie. Respecto a la mineralogía de mena, destacan el oro nativo y la cerargita (AgCl), encontrándose plata nativa, embolita (Ag(ClBr)), iodargirita (AgI), electrum (Au, Ag), argentita (Ag<sub>2</sub>S) y argentojarosita (Ag<sub>3</sub>Fe<sub>3</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub>). Bornita, calcopirita, calcosina, covelina, enargita, tetrahedrita, galena y esfalerita son encontrados en los sondeos profundos en zonas no oxidadas de Ladera-Farellón y Coipa Norte.

El bloque central (Fig. 1.2) comprende mayoritariamente domos dacíticos poco alterados y sin mineralización.

En el bloque oriental (Fig. 1.2) están las azufreras de Codocedo y Purén (representando la paleosuperficie) lo que indica que la erosión ha sido mínima. Además se encuentra la mina Purén y los prospectos Purén West, Pompeya, Maritza y Lomas. Corbett (2009) indica que Purén presenta alteración del tipo alta sulfuración y mineralización de Au-Ag, la que evoluciona a características de baja sulfuración, con presencia predominante de pirita, esfalerita, tenantita y menor cantidad de galena junto con carbonatos (rodocrosita), lo que corresponde a las características de un depósito epitermal de sulfuración intermedia (o de metales base-carbonatos según la clasificación de Corbett (2002)). Pompeya por otra parte presenta características de un depósito epitermal de alta sulfuración con ledges de cuarzo-alunita, incluyendo intervalos de cuarzo oqueroso, bajo una zona de alteración steam-heated con horizonte de ópalo que representa el paleonivel freático.

Recientemente en Purén West se ha observado la existencia de un pórfido dacítico de grano grueso o relativamente fino y una brecha tobácea polimíctica. El pórfido dacítico, localmente con texturas de flujo, probablemente es parte de un complejo domo volcánico, incluyendo diques relacionados. La brecha tobácea, que contiene clastos de 1 cm de ancho, es matriz soportada y parece contener un componente tobáceo en la matriz, es interpretada preliminarmente como una diatrema. La edad relativa entre el pórfido dacítico y la brecha tobácea aún no está definida, aunque la presencia de clastos del pórfido dacítico en partes de la brecha implica que al menos algunos emplazamientos de pórfidos dacíticos predataron el desarrollo de la diatrema (Sillitoe, 2010; 2011).

Tanto el pórfido dacítico como la brecha tobácea presentan alteración argílica avanzada pervasiva. En Purén Sur, existe una presencia importante de "ledges" con cuarzo-alunita con valores bajos de oro y plata, los cuales contienen abundante marcasita y pirita, junto con estados tardíos de baja temperatura con azufre nativo y oropimente. La alteración grada hacia fuera a la asociación cuarzo - pirofilita - caolinita con menor cantidad de sulfuros de hierro, azufre nativo y oropimente. En contraste un poco más al sur, en Pompeya, los "ledges" están compuestos de cuarzo oqueroso con valores altos de oro y plata y un ensamblaje rico en sulfuros incluyendo enargita.

La distribución de la brecha tobácea y el pórfido dacítico en el bloque este, al sur de Purén, es imposible de determinar en superficie debido a la cubierta coluvial. Sin embargo, es posible que las dos litologías continúen en profundidad entre Purén Sur y Pompeya, por una distancia aproximada de 2 km (Sillitoe, 2010; 2011).

### **3 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y PETROGRÁFICA DEL COMPLEJO VOLCÁNICO LA COIPA Y UNIDADES INTRUSIVAS DEL DISTRITO**

En esta sección se describen las unidades presentes en la zona de estudio. La descripción de cada unidad se realizó tanto a escala de afloramiento como a nivel petrográfico (microscopía).

Junto con las unidades pertenecientes al Complejo volcánico La Coipa (Domas La Coipa –TOMdlc- y domos dacíticos centrales –Mmddc-) se estudiaron las siguientes unidades existentes en el distrito: domos riolíticos (TEdr), pórfidos y diques riolíticos (TEpr), pórfidos dacíticos (TPpd), pórfido monzodiorítico (KTzmd) y monzogranito (Pzmz).

Además de las muestras de superficie se tomaron muestras de sondajes de Pompeya, Purén Sur y Brecha Norte. Las muestras de sondaje de Pompeya corresponden a una “diatrema” y un “pórfido dacítico”. Las de Purén Sur a una “diatrema”. Las de Brecha Norte a tobas, domos y una roca intrusiva de grano grueso (“granito”).

Las unidades son descritas por orden temporal comenzando con las más antiguas. Al final del capítulo son descritas las unidades observadas en sondaje.

El anexo 1 incluye mapas con la ubicación de los afloramientos de las unidades estudiadas (en el texto aparecen citadas como Fig. A1.“Número”.“Letra”). El anexo 2 contiene la ubicación y descripción microscópica de las muestras utilizadas para la caracterización de las unidades. Al final de este trabajo (anexo 5) se presenta una tabla resumen con las características de todas las unidades.

#### **3.1 ANDESITA (Pzmz)**

Esta unidad aflora en el sector oriental del distrito (Fig. A1.1a, Fig. 2.1) siendo considerada del Paleozoico (Mpodosis, s.a). En la zona de estudio el techo de esta secuencia se encuentra en contacto discordante con la unidad volcánica cretácica (Estratos de Cerro Los Carneros; Fig. 2.1). La base de la unidad no está expuesta en la zona de estudio, pero por referencias bibliográficas se conoce que se apoya discordantemente sobre la Formación Chinchas (rocas sedimentarias carboníferas; Mpodosis, s.a). En imágenes satelitales se observa como un bloque de orientación NE.

Corresponden a andesitas de anfíbola con textura porfídica y fenocristales visibles de plagioclasa y anfíbola, lo que hace suponer un carácter volcánico o subvolcánico (Fig. 3.1a). La unidad tiene un color negro verdoso debido a una alteración de clorita (leve y en forma diseminada) y epidota (en pátinas). Se encuentra sumamente fracturada (por el sistema estructural NE, el cual es obviamente el responsable de alzar esta unidad, ya que son principalmente fallas inversas) y cortada por diques andesíticos de biotita (Fig. 3.1b) los que presentan una masa fundamental microcristalina rica en feldespatos con una alteración incipiente de clorita y epidota.

##### **Petrografía:**

En secciones transparentes son descritas como andesitas de anfíbola con textura porfídica y pilotaxítica con fenocristales de plagioclasa y anfíbola inmersos en una masa fundamental conformada por microlitos de plagioclasa, cuarzo y anfíbola (Fig. 3.2a).

Los fenocristales de plagioclasa (70%) son tabulares, con macla polisintética, tamaño variable entre 1 y 1,5 mm y levemente argilizados. Los microlitos (10%) tienen un tamaño promedio de 0,01 mm y están

prácticamente inalterados. Es posible observar texturas de flujo en los fenocristales (Fig. 3.2b), lo que correspondería a textura pilotaxítica dado que los intersticios están rellenos por cristales.

Los cristales de anfíbola (5%) son tabulares o romboédricos, con tamaño menor a 0,1 mm. Los microlitos de anfíbola (3%) tienen el mismo hábito que los fenocristales. Ambos tipos de cristales están fuertemente remplazados (clorita y epidota).

El cuarzo (2%) está presente en la masa fundamental como cristales anhedrales de tamaño 0,01 mm. La alteración es variable, normalmente se trata de cuarzo diseminado en la masa fundamental.



Figura 3.1. a. Muestra de la unidad paleozoica andesita (Pzmd). b. Dique andesítico que corta la secuencia paleozoica. Martillo geológico como escala (cuadro blanco).

### 3.2 PÓRFIDOS MONZODIORÍTICOS (KTzmd)

Unidad cretácica (Mpodozis, s.a) que aflora en el sector oriental del distrito (Fig. A1.1b; Fig. 2.1) camino al Salar de Maricunga por el camino internacional CH-31 hacia Argentina. Corresponde a un pequeño stock de 0,5 km de ancho y varios kilómetros de longitud con una marcada orientación NE. En la zona de estudio intruye a las areniscas y calizas de la Formación Pedernales del Jurásico, generando una leve recrystalización en esta unidad. En otros sectores se ha descrito intruyendo a las tobas basales de los Estratos de Cerro Los Carneros (Cretácico Superior; Mpodozis, s.a). Su continuidad hacia el sur es poco clara (Fig. 2.1), dado que esa zona está cubierta por tobas cristalinas del Oligoceno – Mioceno, mientras que hacia el norte parece continuar por varios kilómetros (por imágenes satelitales).

Corresponden a dioritas muy duras color gris verdoso con textura porfídica y fenocristales de plagioclasa, cuarzo y anfíbola dentro de una masa fundamental microcristalina (Fig. 3.3). El color de la roca está dado en gran medida por la alteración, presentando un ensamblaje propilítico rico en clorita, epidota y carbonatos.

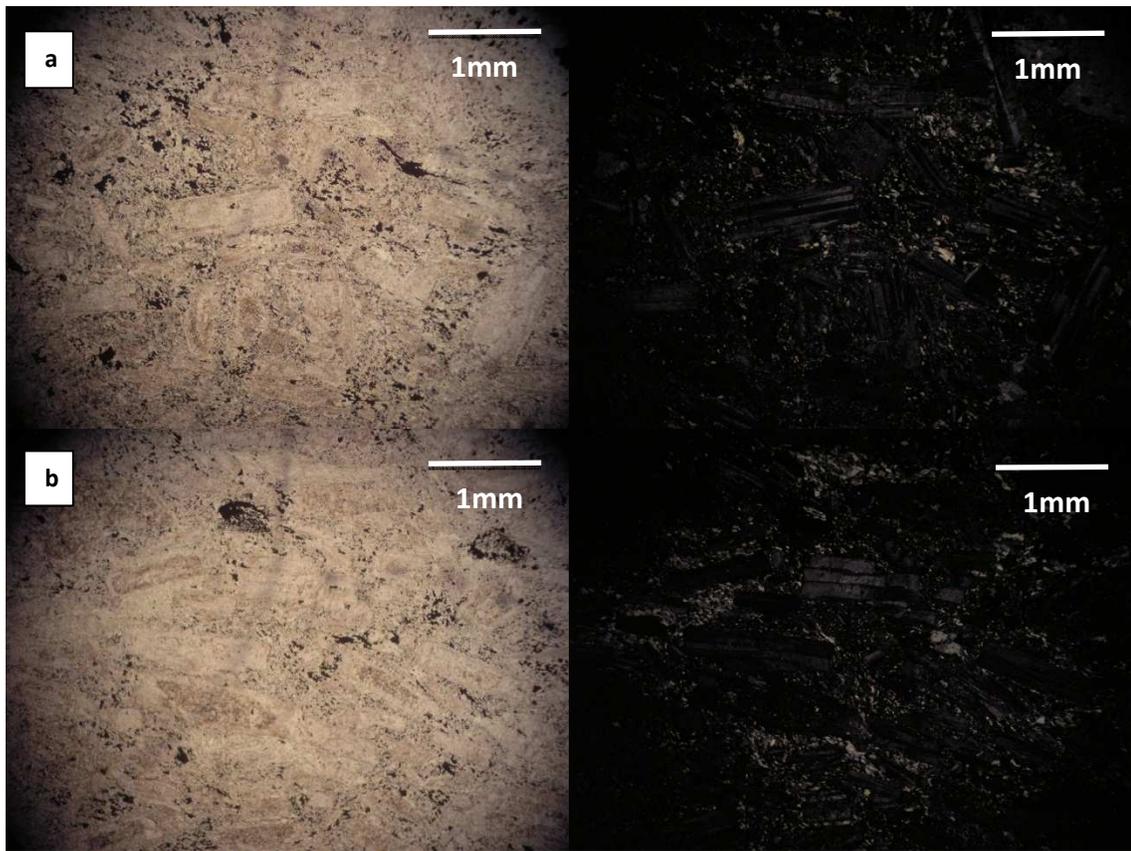


Figura 3.2. Andesita (Pzmz) a. Vista general donde es posible notar la textura porfídica que caracteriza a la muestra con fenocristales de plagioclasa dentro de la masa fundamental cristalina conformada por cuarzo, plagioclasa y anfíbola. b. Notar la textura pilotaxítica (de flujo) en los fenocristales de plagioclasa, lo que confirma el carácter volcánico o subvolcánico de la muestra.



Figura 3.3. Muestra de pórfido monzodiorítico (KTzmd).

#### Petrografía:

En cortes transparentes corresponden a dioritas porfídicas con fenocristales de plagioclasa, cuarzo y máficos dentro de una masa fundamental microcristalina conformada principalmente por plagioclasa. La alteración se caracteriza por presentar clorita, epidota y carbonatos.

Los fenocristales de plagioclasa (55%) son tabulares y con tamaño variable entre 0,1 y 2,5 mm. Se conservan las maclas polisintéticas aunque están muy alterados (argilizados y con parches de clorita y carbonatos) (Fig. 3.4a).

Los cristales de anfíbola (3%) son tabulares y romboédricos con tamaño variable (mayor a 0,3 mm). Los cristales están completamente remplazados por clorita (Fig. 3.4b, c).

El cuarzo (2%) ocurre como cristales anhedrales (subredondeados) y con tamaño de 0,1 mm.

La alteración es abundante (30%) predominando la clorita, arcillas, sericita, carbonatos y epidota. La clorita está alterando a los minerales máficos (reemplazo completo) o como pequeños parches en la roca. Las arcillas y sericita se encuentran alterando a las plagioclasas. Los carbonatos se encuentran como parches en la roca o alterando a minerales máficos. La epidota se encuentra en baja proporción alterando a máficos o en forma diseminada (Fig. 3.4c).

### **3.3 PÓRFIDOS DACÍTICOS (TPpd)**

Unidad paleocena (Mpodozis, s.a) correspondiente a pequeños “stocks” (0,5 – 2 km) en la parte occidental del distrito (Fig. A1.1c, Fig. 2.1). En la zona intruyen a las rocas volcánicas de la Formación Estratos de Cerro Los Carneros y es sobreyacida por tobas de lapilli de la unidad domos La Coipa del Oligoceno – Mioceno (Fig. 3.5), mientras que en la zona centro-oeste intruyen a las areniscas cretácicas de la Formación Quebrada Monardes, siendo cubiertos en gran medida por los depósitos aluviales antiguos (Fig. 2.1).

Son rocas de color gris oscuro de composición dacítica con fenocristales de plagioclasa y biotita (Fig. 3.6). Se encuentran muy alteradas presentando diferentes zonas con silicificación, alteración cuarzo-sericita, hematización y aureolas de rocas argilizadas.

#### Petrografía:

En secciones delgadas corresponden a dacitas de biotita. Presentan textura felsítica o vitrofírica (Fig. 3.7a, b) con fenocristales de plagioclasa y biotita normalmente con textura traquítica (de flujo). La mineralogía primaria se compone de la masa fundamental (70%) y los fenocristales (30%).

Los fenocristales de plagioclasa (25% de la roca) son tabulares, con tamaño variable entre <0,1 hasta 1,4 mm, generalmente presentan macla polisintética y/o Carlsbad. Los cristales de biotita (5%) son tabulares, con tamaño variable entre <0,1 hasta 0,8 mm, con tamaño promedio 0,2 mm.

La mineralogía de alteración consiste principalmente de arcilla en la masa fundamental y sericita en las plagioclasas (Fig. 3.7c). Las biotitas se encuentran prácticamente inalteradas. La masa fundamental se encuentra recristalizada y silicificada. Los minerales opacos (<1%) tienen forma regular.

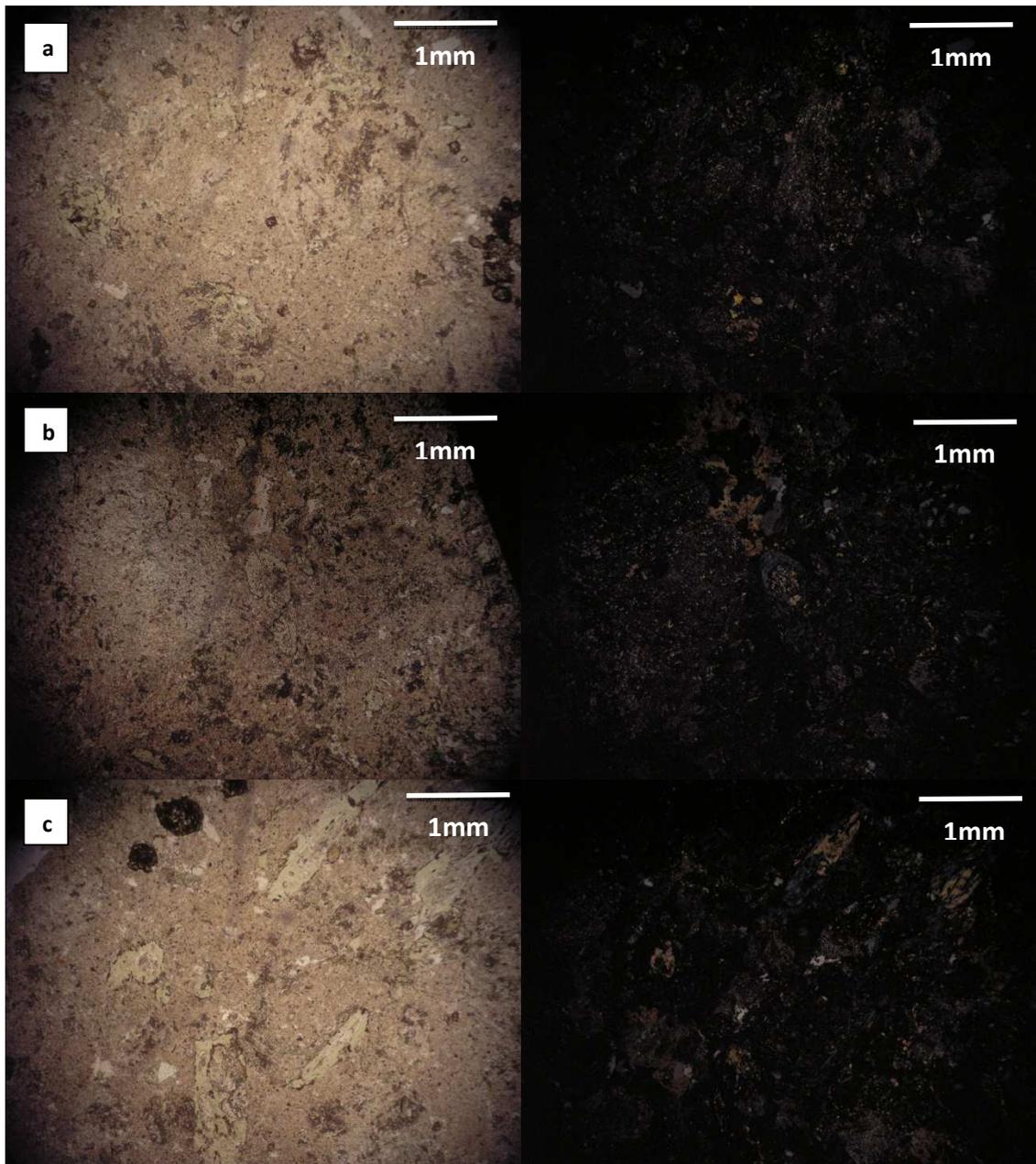


Figura 3.4. Pórfido monzodiorítico (KTzmd) a. Textura general donde es posible apreciar los fenocristales de plagioclasa (muy argilizados y sericitizados) dentro de la masa fundamental. b. Fenocristal de anfíbola completamente remplazado por clorita. Notar el grado de alteración que presenta la roca, con presencia de clorita alterando a minerales máficos, parches de carbonatos y los fenocristales de plagioclasa argilizados y sericitizados. c. Imagen similar a la anterior donde es posible notar los fenocristales de anfíbola (tabulares) completamente remplazados por clorita y parches de carbonatos.

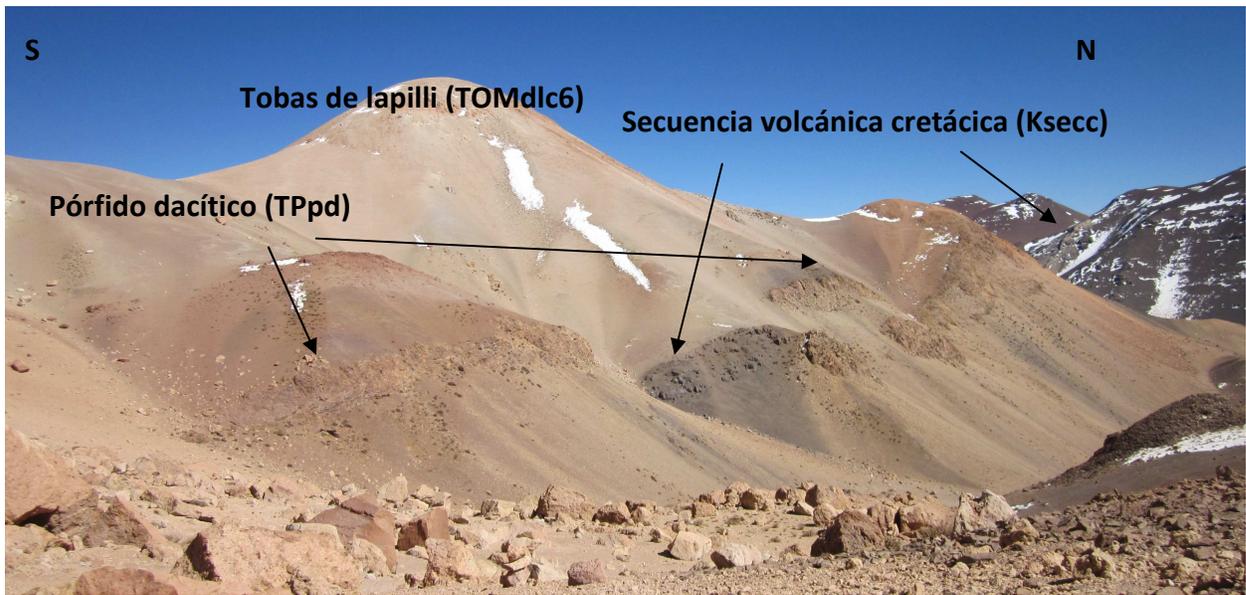


Figura 3.5. Perfil donde se observa la secuencia volcánica cretácica (Fm. Estratos de Cerro Los Carneros) intruida por el pórfido dacítico (TPpd). Cubriendo a lo anterior se aprecian las tobas de lapilli de la unidad domos La Coipa del Oligoceno – Mioceno.



Figura 3.6. Pórfido dacítico el cual se presenta silicificado y con hematita con fenocristales de plagioclasa y biotita.

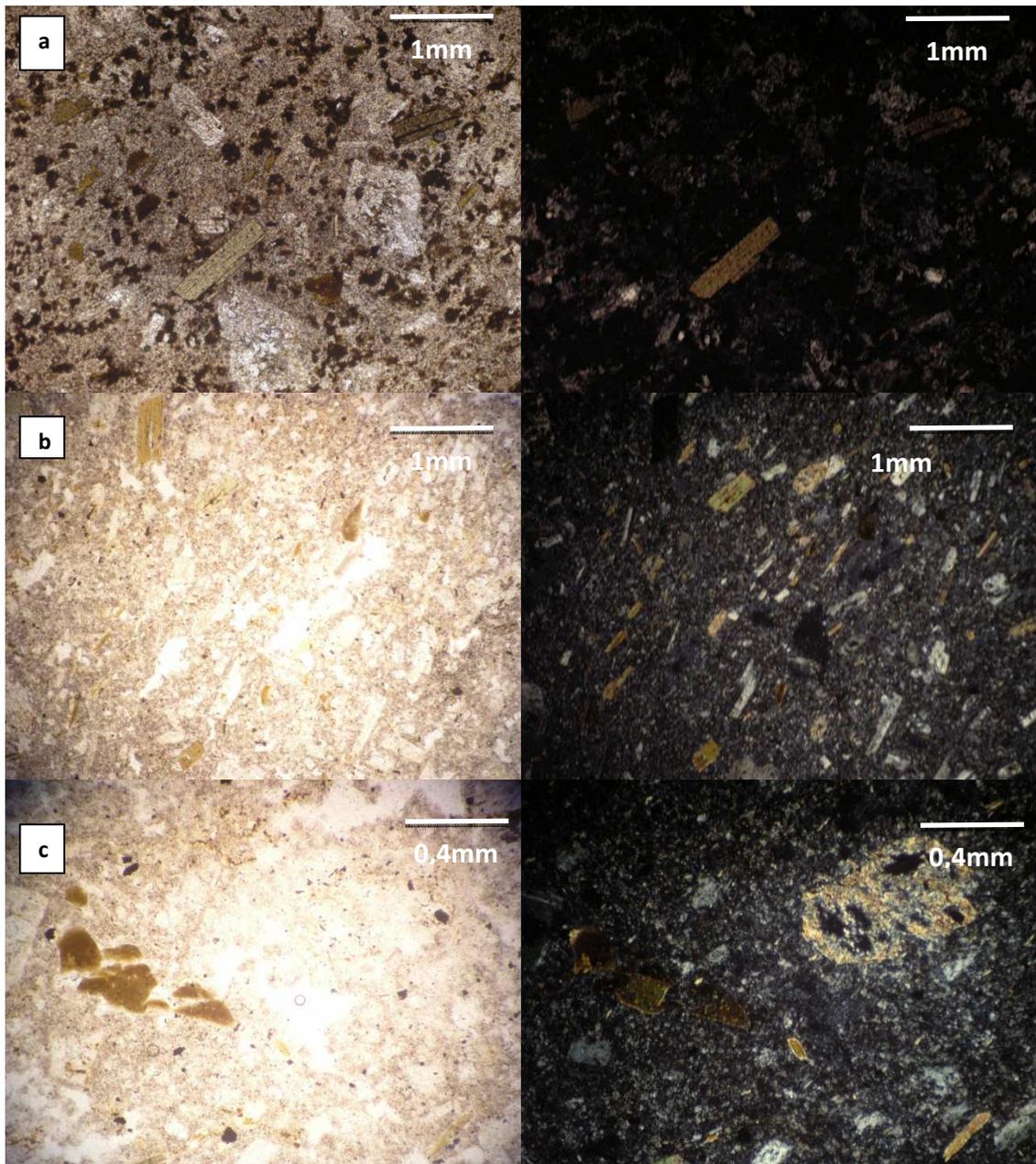


Figura 3.7. Pórfidos dacíticos (TPpd). a. Textura vitrofírica con fenocristales de plagioclasa y biotita. Los cristales de plagioclasa están completamente remplazados. La masa fundamental (vítrea) es incolora a cafésosa. b. Clara orientación preferencial de los minerales con textura de flujo, notar la textura felsítica. Presencia de plagioclasas con embahiamientos. c. Textura felsítica con fenocristales de plagioclasa y biotita.

### 3.4 PÓRFIDOS Y DIQUES RIODACÍTICOS (TEpr)

Unidad eocena (Mpodozis, s.a) correspondiente a cuerpos menores (stocks) y diques de rumbo NW en la zona sur y centro de estudio, respectivamente (Fig. A1.1d, Fig. 2.1). En la zona sur de estudio se encuentran intruyendo a la secuencia sedimentaria triásica (Estratos El Mono; Fig. 3.8) y en la zona centro a las rocas volcánicas cretácicas (Estratos de Cerro Los Carneros; Fig. 3.9).

Son rocas blanquecinas con textura porfídica conteniendo fenocristales de cuarzo y plagioclasa en una masa fundamental rica en cuarzo (Fig. 3.8a). La alteración es variable, destacando la silicificación.

Es relevante señalar el grado de fracturamiento de la unidad en la zona sur con dos set de fracturas muy marcados,  $N60^{\circ}W/70^{\circ}NE$  y  $N80^{\circ}W/75^{\circ}SW$  (Fig. 3.8b).



Figura 3.8. Pórfido riódacítico intruyendo a conglomerados de la Fm. Estratos El Mono (Triásico) en la parte sur de la zona de estudio. Se puede observar un “roof pendant” de esta ultima unidad dentro de la unidad intrusiva.



Figura 3.9. Dique riódacítico con orientación NW cortando a las secuencias volcánicas de la Fm. Estratos de Cerro Los Carneros. Se puede observar fallas menores que desplazan al dique.

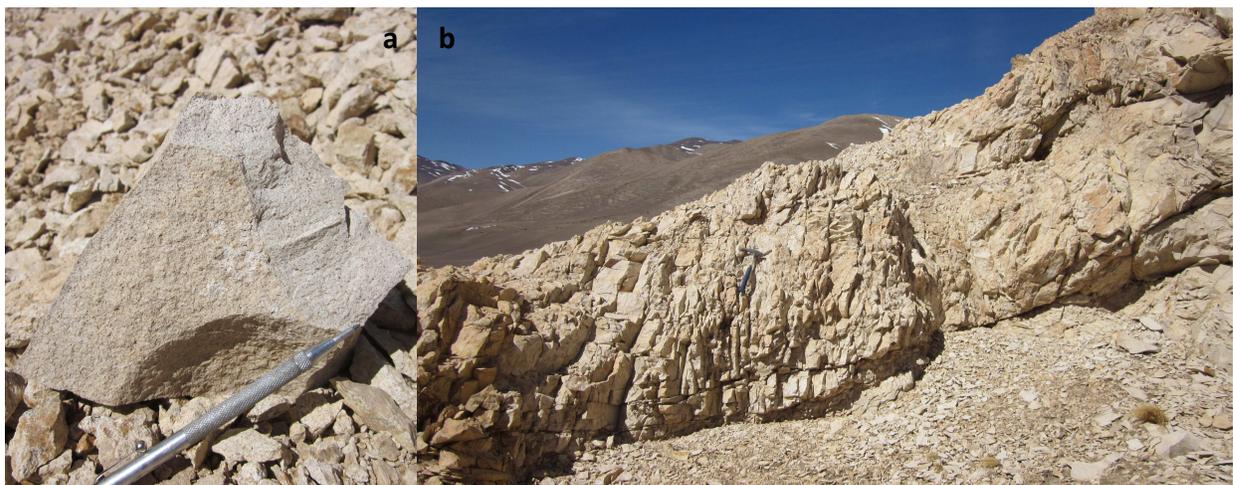


Figura 3.10. a. Pórfido riódacítico (TEpr). La muestra presenta fenocristales de cuarzo y plagioclasa en una masa fundamental silicificada (recristalizada). b. Dos set de diaclasas muy marcados ( $N60^{\circ}W/70^{\circ}NE$  y  $N80^{\circ}W/75^{\circ}SW$ ). Notar el martillo geológico como referencia en la parte central de la foto.

Petrografía:

En corte transparente corresponde a una riodacita con textura felsítica-porfídica. La masa fundamental es un intercrecimiento microcristalino de cuarzo y feldespato con fenocristales de plagioclasa y cuarzo (Fig. 3.11a).

La mineralogía primaria (85%) consiste en la masa fundamental (75% de la roca; cuarzo y feldespato microcristalino) y fenocristales de plagioclasa y cuarzo (10%).

Los fenocristales de plagioclasa (8% de la roca) son tabulares, de tamaño promedio 0,7 mm, alterados a arcillas. Los de cuarzo (2%) son anhedrales, subredondeados, de tamaño 0,4 mm.

La mineralogía de alteración (15%) consiste de sericita (6%) y jarosita (8%). Las arcillas (1%) son un mineral de alteración importante en los fenocristales de plagioclasa. Los minerales opacos (<1%) son de forma regular (Fig. 3.11b).

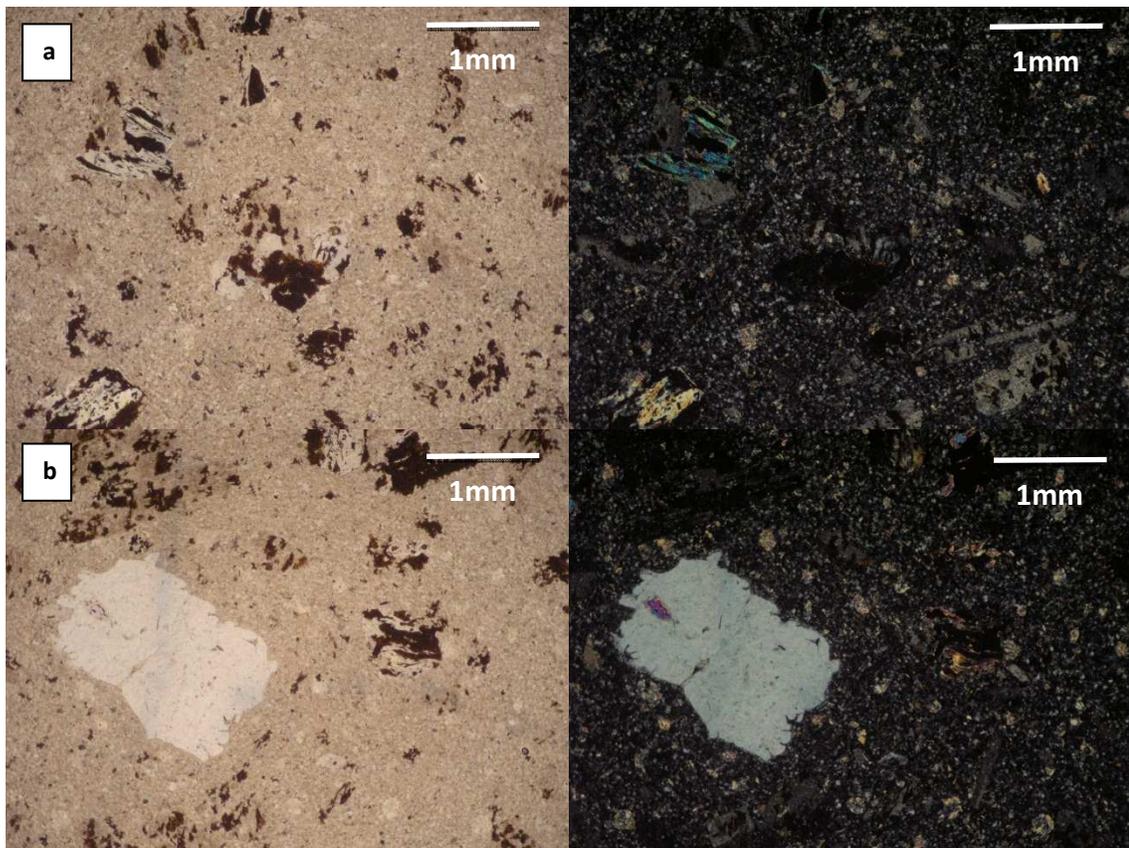


Figura 3.11. Pórfidos y diques riodacíticos (TEpr). a. Vista general del corte. Notar la textura felsítica con fenocristales de plagioclasa (argilizados) junto con restos de jarosita y sericita (moscovita). b. Similar a la imagen anterior, donde además se logran apreciar fenocristales de cuarzo y la alteración sericita – jarosita.

### 3.5 DOMOS RIOLÍTICOS (TEdr)

Cuerpos extrusivos riolíticos de notable relieve, cuya ubicación está controlada por el dominio de fallas sinistralas NW (Quebrada Indagua, Vicuña, Cerros Bravos y Sierra San Emilio), cubriendo parte de las secuencias mesozoicas. En la zona de estudio aparecen al noroeste (Fig. A1.1e, Fig. 2.1) sobre las rocas volcánicas cretácicas de los Estratos de Cerro Los Carneros (Fig. 3.12). Presentan secciones subcirculares de 1 a 3 km de diámetro, bandeamiento de flujo, diaclasamiento columnar radial y zonas superiores y marginales con láminas de foliación.

Son rocas blandas de color blanco con textura porfídica y escasos fenocristales de cuarzo y plagioclasa. Presenta alteración cuarzo-sericita y silicificación penetrativa que oblitera gran parte de la textura original de la unidad.

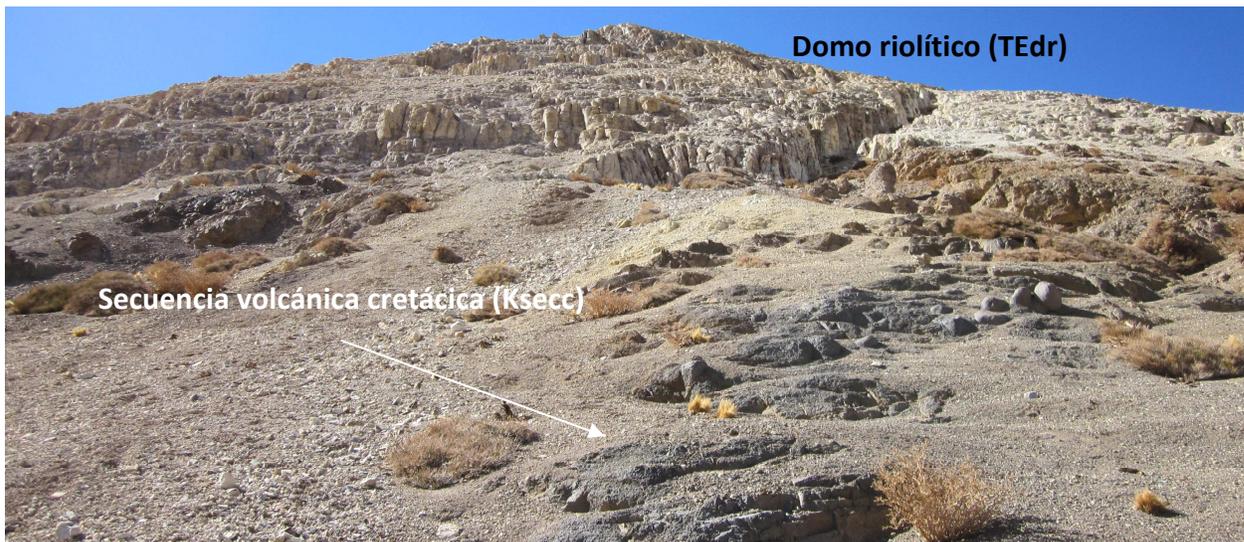


Figura 3.12. Domos riolíticos (TEdr) intruyendo a la secuencia volcánica cretácica (Ksecc). Se puede observar el diaclasamiento columnar en el domo riolítico.

#### Petrografía:

En secciones delgadas corresponden a riolitas con textura porfídica y con alteración penetrativa de cuarzo-sericita (Fig. 3.13).

La mineralogía primaria (60%; Fig. 3.13a) se concentra en la masa fundamental y en los fenocristales. La masa fundamental (50%; Fig. 3.13b) tiene una alta proporción de cuarzo, el cual se encuentra en gran parte recristalizado. Los fenocristales de cuarzo (2%) son redondeados y con tamaño variable entre 0,1 y 4 mm. Los cristales de plagioclasa (8%; Fig. 3.13c) son tabulares y con tamaño de 2 mm.

La mineralogía de alteración (40%) corresponde a la asociación cuarzo-sericita. Los minerales opacos (<<1%) son de forma regular y de tamaño 0,01 mm.

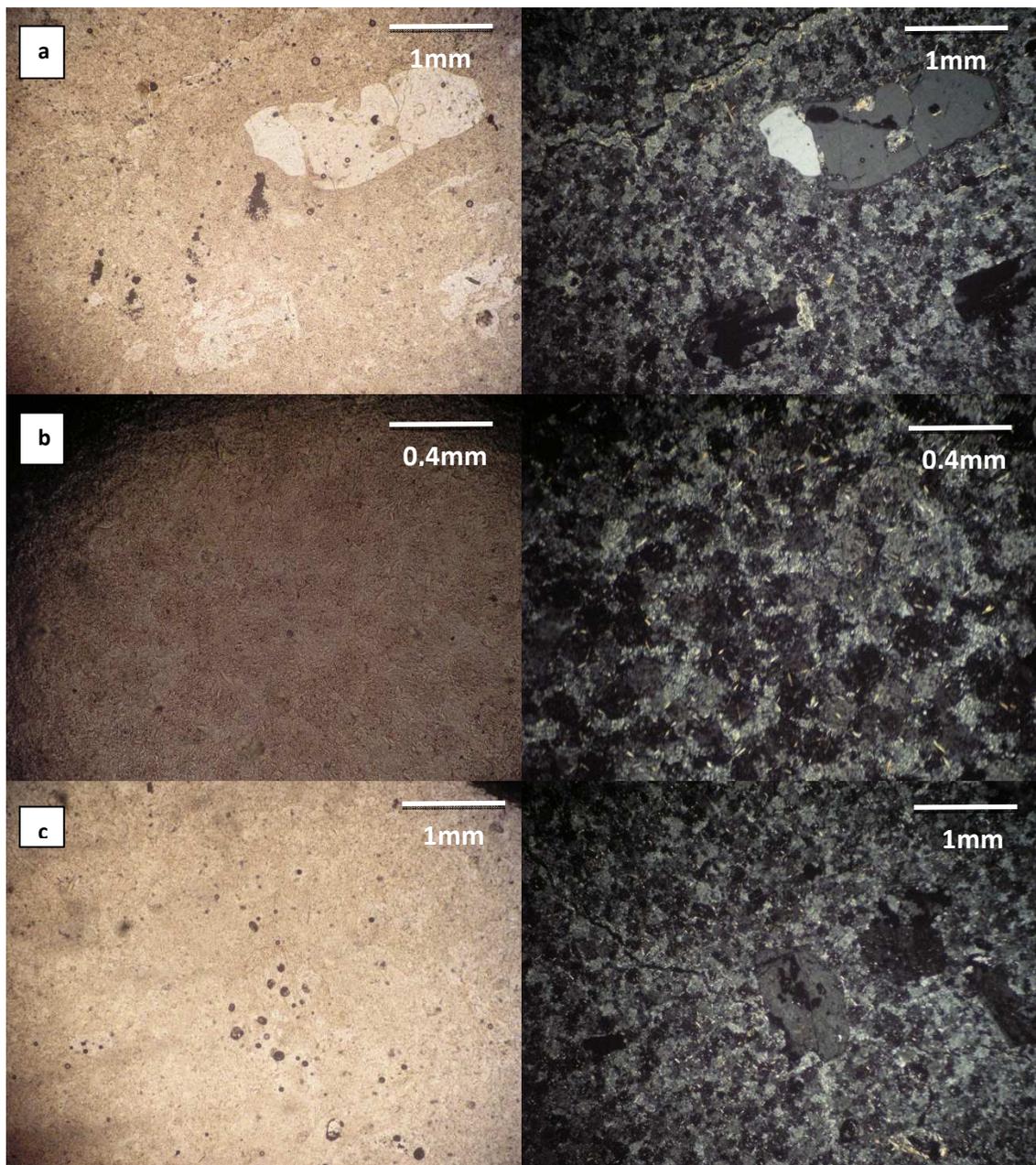


Figura 3.13. Domo riolítico (TEdr). a. Vista general. Notar la textura porfídica con fenocristales de cuarzo y plagioclasa. La masa fundamental es rica en cuarzo, la muestra presenta gran proporción de oquerosidades y además algunas fracturas y vetillas. Presencia de sericita y arcillas como minerales de alteración. b. Masa fundamental rica en cuarzo y arcillas. Presencia de sericita como mineral de alteración. c. Fenocristales de plagioclasa completamente alterados.

### 3.6 DOMOS LA COIPA (TOMdlc)

Afloran en toda la zona de estudio, principalmente en la zona sur y en el bloque oriental del distrito (Fig. 2.1). Es un complejo de domos múltiples y productos piroclásticos asociados, afectados por alteración hidrotermal, que hospedan la mineralización epitermal de plata y oro en el distrito. El complejo está emplazado sobre un basamento de rocas sedimentarias triásicas (Estratos El Mono) y volcánicas cretácicas (Estratos de Cerro Los Carneros).

Según Mpodozis (s. a) el núcleo del complejo está formado por, a lo menos, cuatro domos con diferentes grado de alteración hidrotermal, que se emplazaron en secuencia en la zona de intersección de la falla inversa Vega La Junta con la falla sinistral, de orientación NW, Quebrada Indagua, seguido de un grupo de cuerpos menores no afectados por alteración ubicados al noreste de La Coipa.

La unidad Domos La Coipa (TOMdlc) se compone de tobas cristalinas, domos riolíticos y dacíticos y tobas líticas. Actualmente los geólogos de exploración de La Coipa han subdividido la unidad en los siguientes miembros: (1) domos riolíticos (TOMdlc1), (2) domos dacíticos (TOMdlc2), (3) domos andesíticos (TOMdlc3), (4) tobas riolíticas (TOMdlc4), (5) tobas dacíticas (TOMdlc5), (6) tobas de lapilli (TOMdlc6), (7) brechas freáticas (TOMdlc7), (8) tobas dacíticas de biotita (TOMdlc8) y (9) domos dacíticos de biotita (TOMdlc9).

### 3.6.1 Domos riolíticos (TOMdlc1)

Descritos en la parte central del bloque oriental del distrito (Fig. A1.1f) topográficamente sobre el sector de Pompeya. Corresponde a una dacita con ojos de cuarzo y biotita (Fig. 3.14). Dadas las características petrográficas, geoquímicas y su ubicación corresponde a parte de la unidad Domos dacíticos centrales (Mmddc), los cuales son descritos más adelante.



Figura 3.14. Domos riolíticos (TOMdlc1).

### 3.6.2 Domos dacíticos (TOMdlc2)

Afloran en la parte central de la zona de estudio junto al camino que va a la mina, y en la parte norte al este de la mina Purén (Fig. A1.1g, Fig. 3.15). El contacto con otras unidades es poco claro, posiblemente esta subunidad es previa a las subunidades piroclásticas de los Domos La Coipa, ya que las tobas no se ven afectadas por los domos.

Son rocas de color gris de composición dacítica con fenocristales de plagioclasa, cuarzo, biotita y anfíbola dentro de una masa fundamental grisácea rica en cuarzo (Fig. 3.16). La alteración es variable, dado que

en este periodo ocurrió la mineralización y muchas rocas son caja de ésta, pero en general corresponde a una leve argilización (caolinita-dickita) en las plagioclasas y masa fundamental.



Figura 3.15. Afloramiento del domo dacítico (TOMdlc2) inmediatamente al norte del camino a la mina. Persona de rojo como escala.



Figura 3.16. Muestra de domo dacítico (TOMdlc2). Fenocristales de plagioclasa (levemente argilizadas), cuarzo, biotita y anfíbola en una masa fundamental gris rica en cuarzo. Notar las diferencias de color con las muestras de los domos dacíticos centrales (Mmddc; Fig. 3.36).

### Petrografía:

En secciones delgadas son descritas como dacitas de biotita y anfíbola. Presentan textura felsítica - porfídica con fenocristales de plagioclasa, cuarzo, biotita y anfíbola (Fig. 3.17a, b).

Las plagioclasas son el mineral más abundante (25%). Son cristales tabulares y de tamaño promedio 1,2 mm. En algunos cortes se observan argilizadas y con parches de carbonatos.

A diferencia de otras dacitas del distrito, por ejemplo domos dacíticos centrales (Mmddc), esta subunidad presenta mayor proporción de cuarzo (4%) como fenocristales anhedrales-subredondeados. El tamaño promedio es de 1,6 mm.

Biotita es el mineral máfico más abundante (5%). Son cristales tabulares bien formados con tamaño variable entre 0,1 y 1,4 mm. Presentan excelente clivaje y opacos en los bordes (Fig. 3.7c).

Es posible observar fenocristales de anfíbola (2%), hexagonales, con tamaño variable entre 0,2 y 0,6 mm. En las muestras descritas los cristales han sido reemplazados por carbonatos y clorita. Los bordes presentan gran cantidad de opacos.

La alteración varía con la ubicación de la muestra. Donde la alteración es más fuerte destaca la asociación de arcillas (3%) y calcita (6%) tanto en forma diseminada en la masa fundamental como alterando a los fenocristales. La proporción de minerales opacos es alta (cerca al 1%) de forma regular y con bordes oxidados.

### **3.6.3 Domos andesíticos (TOMdlc3)**

Afloran en la parte sur de la zona de estudio (Fig. A1.1h). Corresponden a cuerpos subcirculares con un diámetro menor a 0.7 km y con bandeamiento de flujo (Fig.3.18). Se encuentran sobre las rocas volcánicas cretácicas de los Estratos de Cerro Los Carneros.

Son rocas porfídicas con fenocristales de plagioclasa y biotita en una masa fundamental gris claro (Fig. 3.19). La alteración es variable, desde inalterado hasta fuertemente silicificado (recristalizado) o con una fuerte hematización (Fig. 3.20). En la zona centro-sur de estudio aparece con vetillas de cuarzo gris (Fig. 6.24). Geoquímica y petrográficamente no se diferencian de la subunidad domos dacíticos (TOMdlc2).

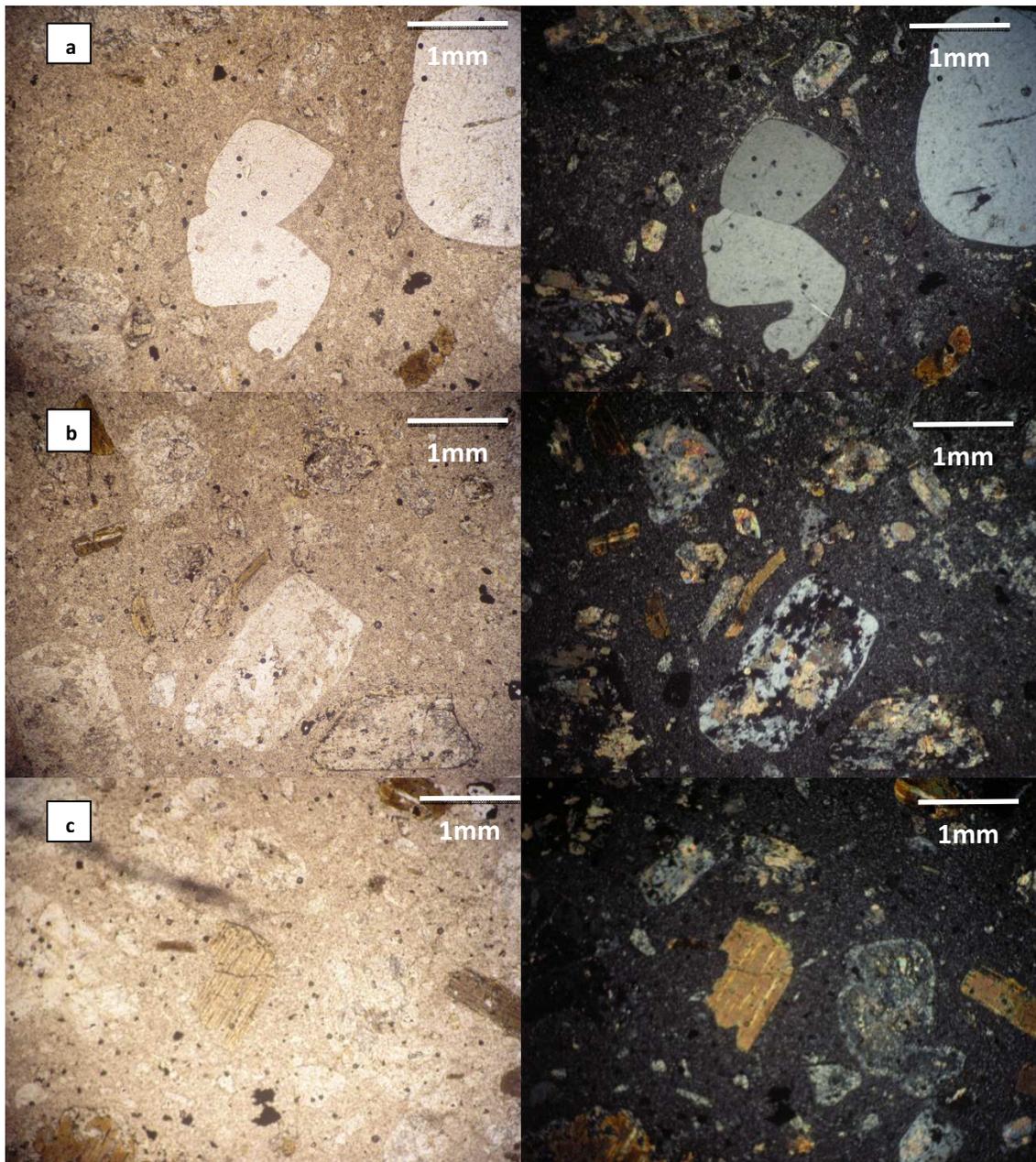


Figura 3.17. Domos dacíticas (TOMlc2) a. Vista general del corte donde se aprecian los fenocristales de cuarzo subredondeados inmersos en una masa fundamental felsítica. Se pueden observar cristales de plagioclasa de menor tamaño completamente obliterados (reemplazados por calcita) y zonados. Notar el grado de alteración de la muestra. b. Similar a la imagen anterior. En esta imagen la alteración de los fenocristales de plagioclasa es más evidente. Los cristales de biotita están prácticamente inalterados, solo presentan bordes con minerales opacos. c. Cristales de biotita (mineral máfico más abundante) inalterados con bordes de minerales opacos.



Figura 3.18. Bandeamiento de flujo en afloramiento del domo andesítico (TOMdlc3). Martillo como escala.



Figura 3.19. Muestra del domo andesítico (TOMdlc3).



Figura 3.20. Domo andesítico (TOMdlc3). Este afloramiento en particular presenta una fuerte hematización. Altura aproximada: 80 m. Largo de la foto: 300 m.

### Petrografía:

En secciones delgadas son descritas como dacitas de biotita y anfíbola. Se caracterizan por presentar textura felsítica-porfídica con fenocristales de plagioclasa, cuarzo, biotita y anfíbola (Fig. 3.21a, b).

La masa fundamental (65%) corresponde a un intercrecimiento microscópico entre feldespato y cuarzo. Los fenocristales (34%) son de plagioclasa, biotita, cuarzo y anfíbola. La alteración (1%) es variable, presentando carbonatos, arcillas, hematita o cuarzo.

Los cristales de plagioclasa (25%) son tabulares, con tamaño variable entre 0,25 hasta 3,75 mm, y en promedio 0,75 mm. Se observan dos poblaciones de tamaño, los de mayor tamaño se encuentran en general fracturados, zonados y con cierto grado de argilización y carbonatos en los bordes, mientras que los de menor tamaño están inalterados y sin zonación. Esto se explica por dos etapas de cristalización en la formación de los domos (Fig. 3.21b, c).

Biotita es el mineral máfico más abundante (5%). Son cristales tabulares, excelente clivaje, poca alteración y de tamaño promedio 1 mm.

Los cristales de cuarzo (2%) son anhedrales, normalmente redondeados (“ojos de cuarzo”) y bastante fracturados. El tamaño promedio es de 0,7 mm.

Solo es posible observar relictos de cristales de anfíbola (2%). Los cristales están bien formados aunque completamente remplazados y fracturados.

La mineralogía de alteración corresponde principalmente a calcita y arcillas. Los minerales opacos tienen forma regular y alcanzan el 1%.

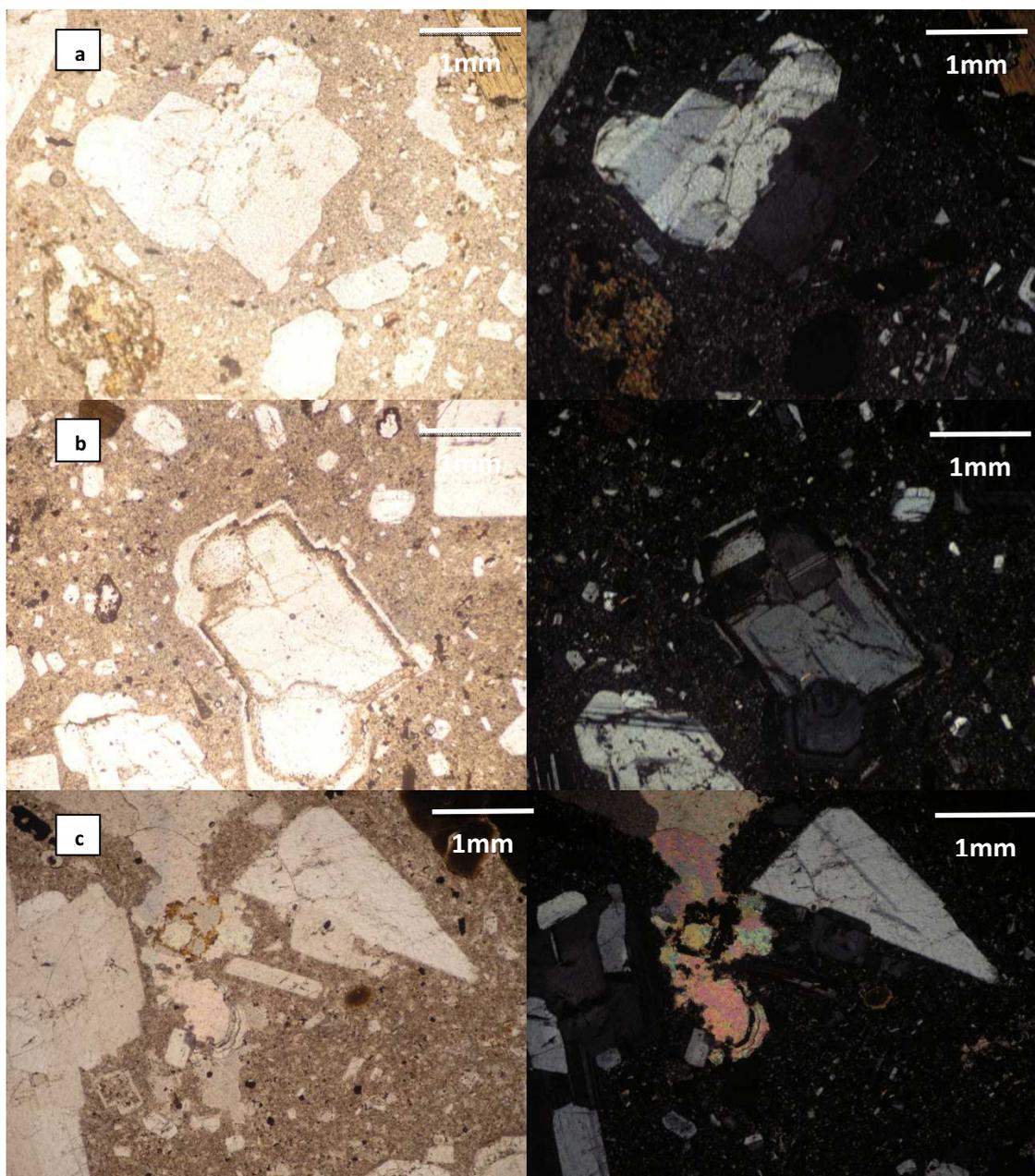


Figura 3.21. Domos andesíticas (TOMdlc3). a. Vista general del corte. Notar la textura felsítica que caracteriza a la muestra y los fenocristales de plagioclasa, biotita y anfíbola. Los cristales de biotita en general se encuentran poco alterados, mientras que los de anfíbola están completamente reemplazados y con bordes de minerales opacos. Las plagioclasas presentan dos poblaciones de tamaño, las de mayor tamaño se encuentran en general fracturadas, zonadas y con cierto grado de argilización, mientras que las de menor tamaño en general están mejor conservadas. b. Textura glomeroporfídica en plagioclasas, junto con la zonación y alteración de los cristales de plagioclasa. c. Alteración abundante de carbonatos (cc).

### 3.6.4 Tobas riolíticas (TOMdlc4)

Afloran en toda la zona de estudio, principalmente en la parte sureste del distrito (Fig. A1.1i). Se encuentra interdigitadas con las tobas de lapilli (TOMdlc6) y sobre los domos de esta misma unidad. Esta unidad junto con las tobas de lapilli (TOMdlc6) posiblemente corresponden al último evento volcánico

Oligoceno – Mioceno previo a las ignimbritas del sector norte (Formación San Andrés) y los domos dacíticos centrales (Mmddc, Mioceno Medio)

Son tobas cristalinas de color blanco, bastante blandas, caracterizadas por fragmentos juveniles, líticos y de cristales. Los juveniles son pómez alargadas, los líticos son principalmente fragmentos de rocas con textura porfídica (domos de esta misma unidad) y los cristales son de cuarzo, plagioclasa, biotita y anfíbola. La masa fundamental es ceniza blanquecina muy poco consolidada (Fig. 3.22 y 3.23).



Figura 3.22. Afloramiento de toba riolítica (TOMdlc4).



Figura 3.23. Toba riolítica con fragmentos líticos (grises) y juveniles (blancos).

**Petrografía:**

En corte transparente son descritas como tobas cristalinas de biotita. La textura principal es fragmental, que incluye cristales fracturados de biotita, plagioclasa y cuarzo junto con fragmentos líticos riodacíticos y tobáceos (Fig. 3.24a, b).

La razón masa fundamental/fragmentos es 60/40. La masa fundamental corresponde principalmente a vidrio de color café.

Dos tipos de fragmentos líticos (10%) fueron reconocidos. Los fragmentos riolíticos (7%) son subredondeados, de tamaño variable entre 0,6 y 7 mm, con textura felsítica y posiblemente corresponden a fragmentos de domos dacíticos – andesíticos (TOMdlc2-TOMdlc3). Los fragmentos de tobas de cristales (3%) son subredondeados con vidrio café (70% del clasto) y fragmentos de plagioclasa (20% del clasto, tabulares, con tamaño promedio 0,8 mm) y anfíbola (10% del clasto, tabulares a hexagonales, con tamaño promedio 0,3 mm) (Fig. 3.24b, c).

Los fragmentos de cristales corresponden al 30% de la roca. Se pueden reconocer cristales de plagioclasa, biotita, cuarzo y anfíbola. Los cristales de plagioclasa (20%) son tabulares y muy fracturados, con tamaño variable entre 0,1 hasta 1,6 mm y en promedio de 0,6 mm. Biotita (5%) es tabular y con tamaño 0,6 mm. Cuarzo (4%) es generalmente anhedral y muy fracturado. Anfíbola (1%) es hexagonal, con clivaje muy marcado y tamaño 0,3 mm.

### **3.6.5 Tobas dacíticas (TOMdlc5)**

Afloran en la parte centro-sur de la zona de estudio (Fig. A1.1j). Corresponden a tobas de cristales con fragmentos de cuarzo, plagioclasa, biotita y anfíbola (Fig. 3.25). No presenta grandes diferencias de la subunidad tobas riolíticas (TOMdlc4).

#### Petrografía:

Corresponde a una toba de cristales. Los fragmentos consisten principalmente en cristales fracturados de cuarzo, biotita y plagioclasa (Fig. 3.26).

La razón masa fundamental/fragmentos es 60/40. La masa fundamental corresponde a vidrio café. Los fragmentos líticos corresponden al 5% de la roca y son acumulaciones de cristales de cuarzo posiblemente de origen hidrotermal, dada la forma tabular y alargada de los cristales, con tamaño promedio 1,9 mm (Fig. 3.26a).

Los fragmentos de cristales (35%) corresponden a cuarzo, plagioclasa, biotita y anfíbola (Fig. 3.26b). Los cristales de cuarzo (16%) son redondeados y están fracturados, su tamaño varía entre 0,1 y 0,9 mm. Los cristales de plagioclasa (16%) son tabulares y están fracturados, su tamaño varía entre 0,1 y 0,8 mm. Los cristales de anfíbola (2%) son hexagonales y tabulares, con tamaño promedio 0,3 mm. Los cristales de biotita (1%) son tabulares con tamaño de 0,1 mm.

La alteración es variable, arcillas ocurren diseminadas en la masa fundamental, mientras que los cristales máficos están cloritizados y argilizados. Relativamente baja proporción de minerales opacos en la muestra (<1%) generalmente de forma regular y oxidados (hematitizados).

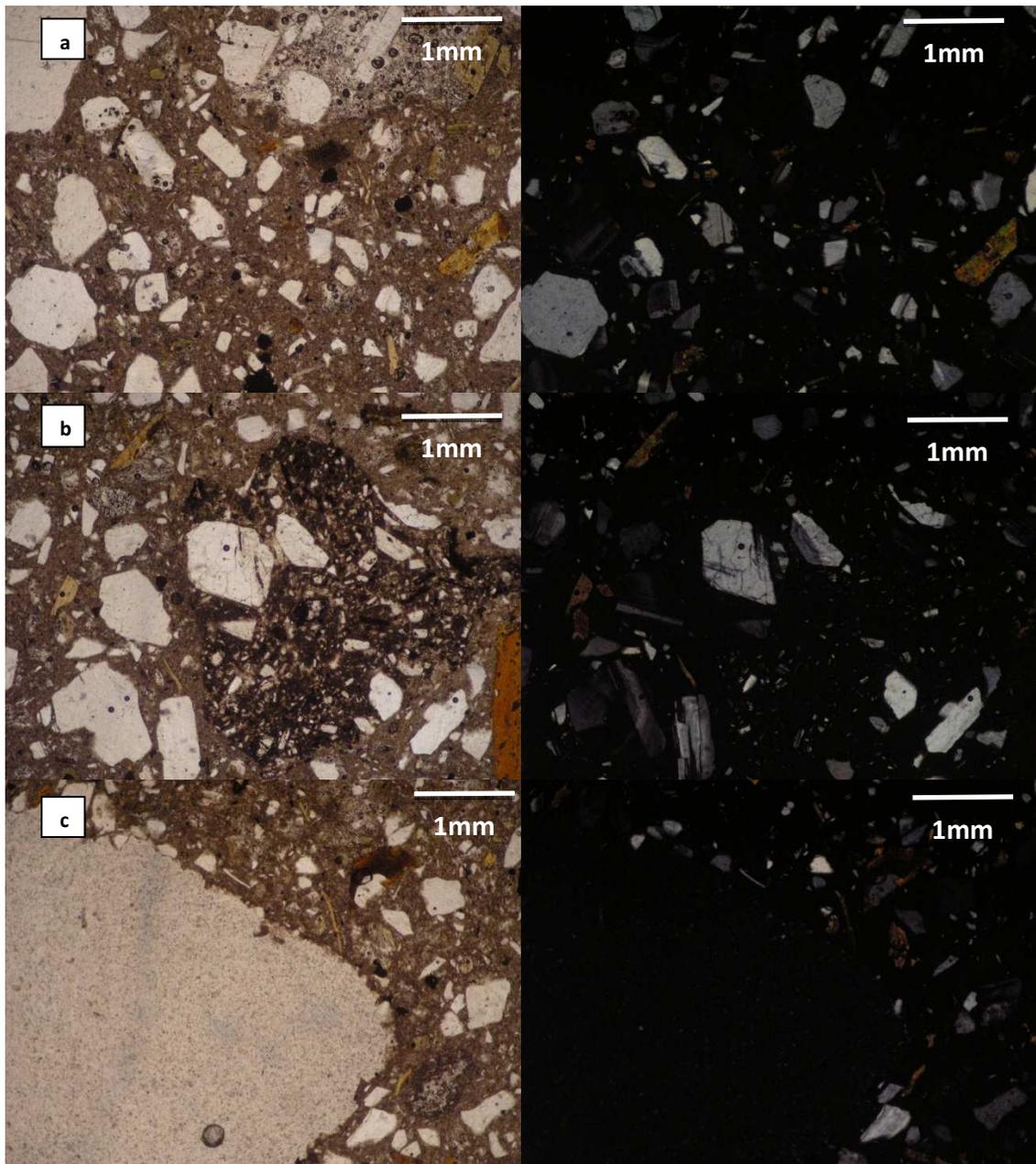


Figura 3.24. Tobas riolíticas (TOMdlc4). a. Vista general del corte donde se observa la textura fragmental en la que predominan cristales fracturados. Es posible observar fragmentos de plagioclasa, biotita y cuarzo dentro de una masa fundamental color café (argilizada). b. Fragmento lítico tobáceo, en el cual se observan principalmente cristales fracturados de plagioclasa y cuarzo dentro de una masa fundamental vítrea. c. Otro tipo común de fragmento lítico correspondiente a riolita.



Figura 3.25. Muestra de toba dacítica (TOMdlc5).

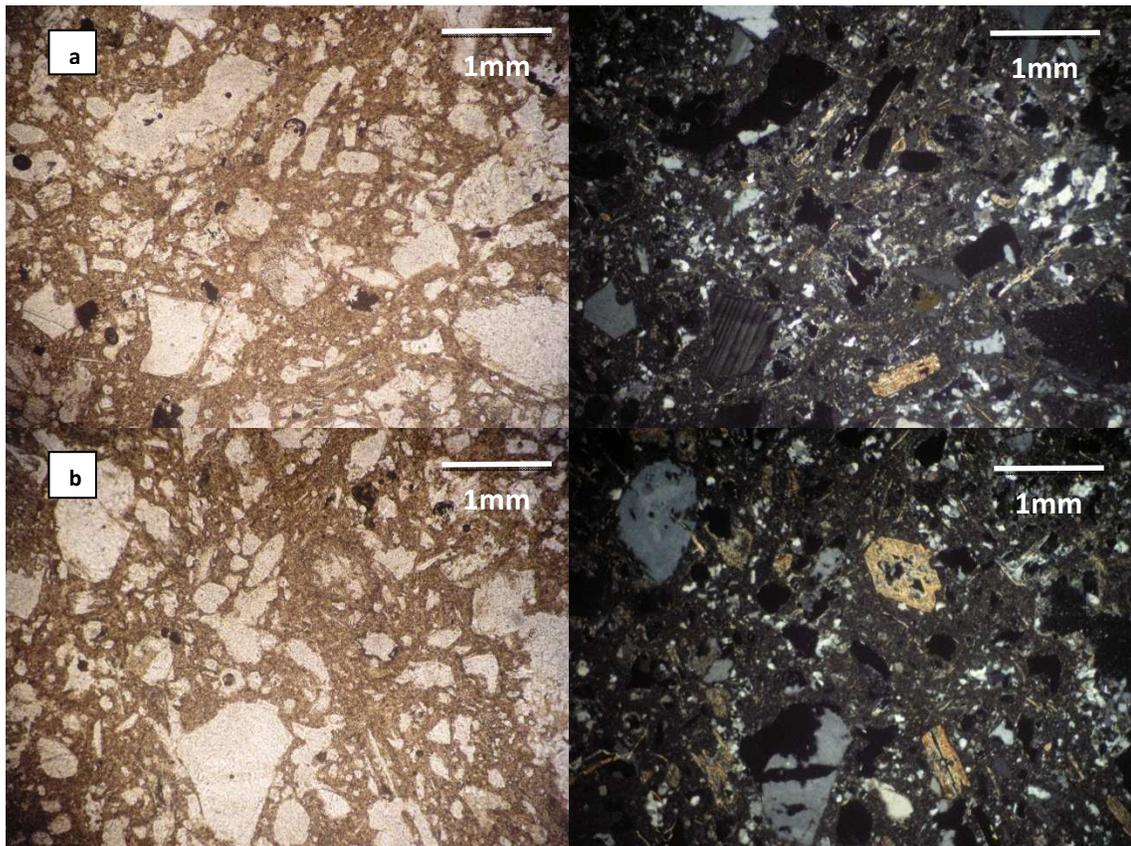


Figura 3.26. a. Vista general del corte. Notar la textura fragmental cristales de cuarzo, plagioclasa y anfíbola. Es posible observar las “acumulaciones” de cristales de cuarzo y la masa fundamental vítrea de color café rica en cuarzo. b. Cristales de cuarzo, plagioclasa, biotita y anfíbola dentro de la masa fundamental.

### 3.6.6 Tobas de lapilli (TOMdlc6)

Es la subunidad más ampliamente distribuida en el distrito (Fig. A1.1k). De forma tabular alcanzando potencias de 100 m, no se encuentra deformada y pareciera estar asociada al último evento volcánico del límite Oligoceno –Mioceno. En la zona sur se encuentra sobre las rocas volcánicas cretácicas (Estratos de Cerro Los Carneros; Fig. 3.5) y sobre los domos de esta misma unidad.

Corresponde a una toba lítica de lapilli de color gris - lila, los fragmentos líticos son angulosos y de variados tamaños (1 mm hasta 10 cm), correspondientes a fragmentos de rocas sedimentarias y a rocas con textura porfídica (domos; Fig. 3.27 y 3.28).



Figura 3.27. Toba con fragmentos líticos y juveniles en una matriz de ceniza de color gris - lila (TOMdlc6).



Figura 3.28. Toba de lapilli lítica (TOMdlc6).

### Petrografía:

En secciones delgadas son descritas como tobas de lapilli líticas. Presentan una gran cantidad de fragmentos angulosos a redondeados de líticas de diferente tipo y en menor cantidad de cristales fracturados de cuarzo, biotita y plagioclasa (Fig. 3.29a).

La masa fundamental corresponde al 50% de la roca y está compuesta principalmente por vidrio rojizo (rico en óxidos de Fe).

Los fragmentos líticas (35%) corresponden a rocas sedimentarias e ígneas con diferente grado de alteración. Se pueden reconocer fragmentos riódacíticos, sedimentarios y tobáceos. Los fragmentos riódacíticos (20%; Fig. 3.29b) son angulosos, con textura felsítica y en algunas ocasiones con fenocristales de plagioclasa y cuarzo, posiblemente corresponde a domos dacíticos (TOMdlc2) o andesíticos (TOMdlc3). Los fragmentos sedimentarios (10%; Fig. 3.29c) corresponden a areniscas (posiblemente triásicas) compuestas por cuarzo (70% del clasto), sericita (15%) y arcillas (15%). Los fragmentos tobáceos (5%) corresponden a tobas de cristales compuestas por plagioclasa (60% del clasto), cuarzo (20%) y anfíbola (20%).

Los fragmentos de cristales (15%) son de cuarzo, biotita y plagioclasa. Los cristales de plagioclasa (7%) son tabulares, muy fracturados y con tamaño promedio de 1,5 mm. Los cristales de cuarzo (6%) son subredondeados con tamaño promedio de 0,6 mm. Los cristales de biotita (2%) son tabulares, presentan un excelente clivaje y un tamaño de 0,8 mm.

La toba se encuentra alterada con arcillas principalmente de forma diseminada. Los minerales opacos (<1%) tienen forma regular con bordes oxidados.

### **3.6.7 Brechas freáticas (TOMdlc7)**

Ocurren en el sector centro-sur del distrito La Coipa (Fig. A1.1I). Cortan a los domos y tobas de lapilli (TOMdlc6) de esta misma unidad. Son cuerpos verticales de un ancho aproximado de 50 m.

Son rocas de color gris con textura fragmental conformadas por cuarzo en la matriz y fragmentos de domos y rocas sedimentarias angulosos evidenciando poco transporte. Contienen algo de pirita diseminada y están fuertemente alteradas a hematita y limonita (Fig. 3.30). Dado su morfología, el cuarzo de la matriz, la angulosidad de los fragmentos y la presencia de pirita en la matriz son interpretadas como brechas freáticas.

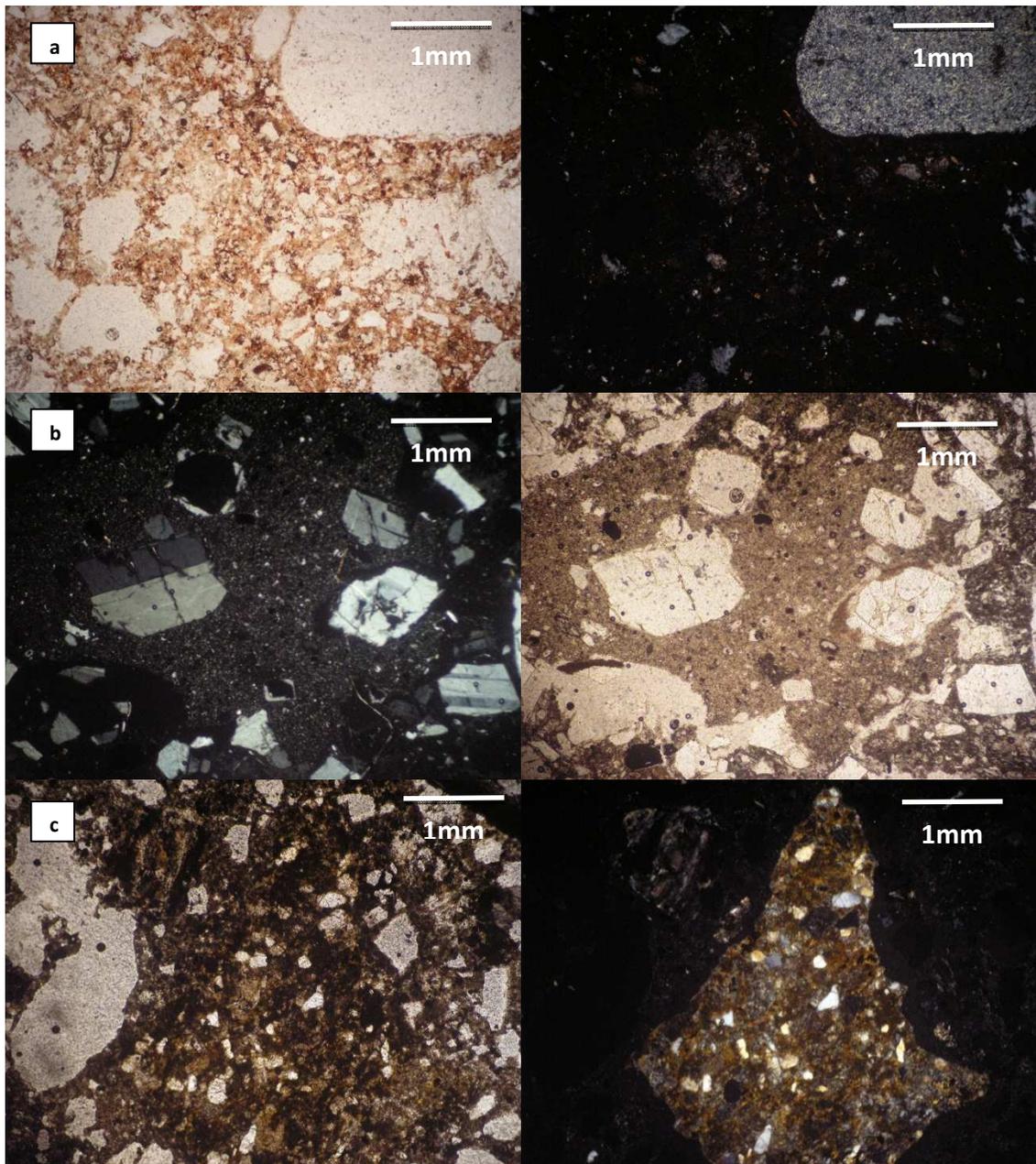


Figura 3.29. Tobas de lapilli (TOMdlc6). a. Vista general del corte, donde predomina la textura fragmental con líticos angulosos a redondeados. La masa fundamental es de color rojizo (óxidos de Fe). El fragmento observable en la esquina derecha corresponde a un lítico obliterado alterado a sericita. b. Fragmento lítico de origen sedimentario. Es anguloso de 2,5 x 4 mm conformado principalmente por cristales de cuarzo angulosos a subredondeados dentro de una matriz arcillosa de color café-amarillento. c. Fragmento de riodacita con textura felsítica y fenocristales de cuarzo y plagioclasa en el interior.



Figura 3.30. Brecha hidrotermal freática, donde se observan fragmentos de rocas con textura porfídica (domos) en una matriz de cuarzo con pirita diseminada.

#### Petrografía:

Por observaciones de terreno corresponden a brechas freáticas, aunque en secciones delgadas presentan características de una toba lítica. Contiene fragmentos líticos (riodacíticos y sedimentarios) y de cristales (principalmente cuarzo, plagioclasa, biotita y relictos de anfíbola) (Fig. 3.31).

La masa fundamental representa el 40% de la roca y corresponde a vidrio de color café. El restante 60% corresponde a fragmentos líticos y de cristales.

Distintos tipos de fragmentos (30%) son reconocidos. Fragmentos riolíticos (55%; Fig. 3.31a), compuestos por cuarzo (75% del clasto, subredondeados, tamaño promedio  $<0,1$  mm, principalmente en la masa fundamental), plagioclasa (20%, tabular, tamaño promedio 0,15 mm) y anfíbola (5%, hexagonal, tamaño promedio 0,2 mm). Fragmentos sedimentarios (40%; Fig. 3.31b) compuestos principalmente por cuarzo (60% de los clastos, redondeado, tamaño promedio 0,2 mm), plagioclasa (20%, tabular, tamaño promedio 0,1 mm) y sericita (20%, como matriz en la masa fundamental). Fragmentos de cuarzo microcristalino (5%), son subredondeados y con vetillas rectas de cuarzo y hematita.

Los fragmentos de cristales (30%) se componen de cristales fracturados de cuarzo, plagioclasa y biotita. Los cristales de cuarzo (25%) son redondeados y con tamaño promedio 0,4 mm. Los cristales de plagioclasa (4%) son tabulares, tamaño promedio 0,4 mm y generalmente maclados. Los cristales de biotita (1%) son tabulares y de tamaño promedio 0,2 mm.

La alteración se compone de arcillas en la masa fundamental y hematita principalmente rellenando fracturas ( $<1\%$ ), también es posible observar epidota y jarosita en forma diseminada en el corte y vetillas sinuosas de cuarzo (0,05 mm de espesor; Fig. 3.31c). La proporción de minerales opacos es baja, en general en torno a minerales máficos.

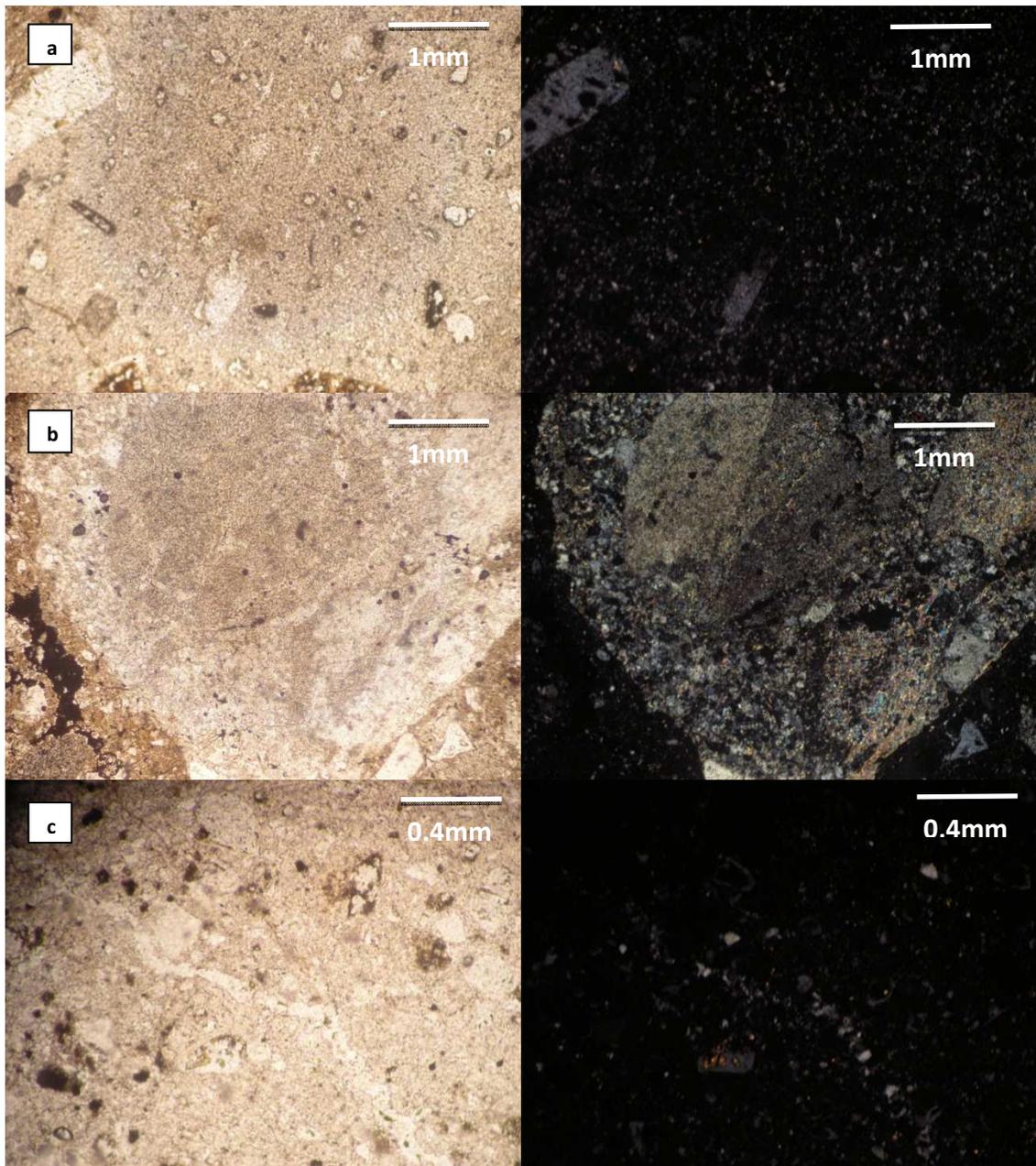


Figura 3.31. Brechas freáticas (TOMdlc7). a. Fragmento subredondeado riolítico con textura felsítica y fenocristales de plagioclasa. b. Fragmento sedimentario con cristales tabulares de plagioclasa y cristales redondeados de cuarzo en una matriz de sericita. c. Vetilla sinuosa de cuarzo y epidota como mineral de alteración.

### 3.6.8 Tobas dacíticas de biotita (TOMdlc8)

Son descritas al sur de las minas del bloque occidental (Fig. A1.1m). Corresponden a tobas de cristales (Fig. 3.32), petrográfica y geoquímicamente no se diferencia de las subunidades TOMdlc4 y TOMdlc5, por lo cual pueden ser consideradas parte de la misma subunidad (ver TOMdlc4 y TOMdlc5).



Figura 3.32. Toba riódacítica de biotita (TOMdlc8).

### 3.6.9 Domos dacíticos de biotita (TOMdlc9)

Son descritos al sur de las minas del bloque occidental (Fig. A1.1n). Presentan las mismas características de los domos dacíticos (TOMdlc2) por lo cual puede ser considerada parte de la misma subunidad (Fig. 3.33).

En resumen los domos de esta unidad están separados en diferentes subunidades. Los domos riolíticos (TOMdlc1) son cuerpos que petrográficamente y geoquímicamente pueden ser considerados parte de los domos dacíticos centrales (Mmddc). Los domos dacíticos (TOMdlc2), andesíticos (TOMdlc3) y dacíticos de biotita (TOMdlc9) están constituidos por diferentes eventos volcánicos, pero petrográficamente y geoquímicamente son muy similares, e indiferenciables en cuanto a mapeo.



Figura 3.33. Pórfido dacítico de biotita (TOMdlc9).

### 3.7 DOMOS DACÍTICOS CENTRALES (Mmddc)

Afloran en la parte centro-norte, en el bloque central del distrito, como una franja de orientación NNW (Fig. A1.1ñ, Fig. 2.1) asociado al sistema de falla Indagua. Son rocas extrusivas de composición dacítica con estructuras bandeadas de flujo (Fig. 3.34), caracterizadas por una textura porfídica con fenocristales de plagioclasa, cuarzo, biotita y anfíbola dentro de una masa fundamental color negro (Fig. 3.35).

Petrográficamente existen varias diferencias con los domos de la unidad domos La Coipa, principalmente la masa fundamental y los fenocristales. Los domos dacíticos centrales tienen una textura vitrofírica y no presentan fenocristales (“ojos”) de cuarzo a diferencia de los domos de domos La Coipa que si tienen fenocristales de cuarzo y presentan textura felsítica. Existen tres explicaciones para la diferencia en la masa fundamental: (i) Las muestras tomadas de los domos dacíticos centrales corresponden a una porción más externa de un domo, es decir, la parte que se enfría más rápido y por lo tanto genera menor nucleación de cristales y vidrio en la masa fundamental. De esta manera los domos La Coipa pueden ser la porción más interna de un domo o (ii) incluso la porción externa de un domo la cual sufrió un proceso de desvitrificación (aunque en secciones delgadas no se observa evidencia de esto, por ejemplo esferulitas). (iii) La tercer explicación sugiere un mayor proceso de desgasificación de los domos La Coipa por lo cual tienden a estar más cristalizados.



Figura 3.34. Estructuras de flujo en los domos dacíticos centrales (Mmddc). Se observa un ligero bandeamiento vertical (donde está el martillo).



Figura 3.35. Muestra del domo dacítico de biotita (Mmddc). Notar la textura porfídica y la masa fundamental de color negro con mucho cuarzo.

### Petrografía:

A partir de cortes transparentes se pudo definir la litología como dacita-andesita de biotita y anfíbola. Se caracterizan por presentar textura vitrofírica con fenocristales de plagioclasa, biotita, anfíbola y cuarzo dentro de una masa fundamental vítrea que en algunas zonas exhibe textura de flujo (pilotaxítica) (Fig. 3.36a, b). Se distinguen dos poblaciones de tamaños de plagioclasas y ferromagnesianos, lo que indica dos etapas de cristalización.

Las plagioclasas son el mineral más abundante (variable entre 15 y 25%) con dos poblaciones de tamaño. La de menor tamaño tiene un promedio de 0,2 mm (microlitos dentro de la masa fundamental), mientras que la de mayor tiene un promedio de 2 mm. Los cristales son tabulares, generalmente maclados (macla polisintética), estando los de mayor tamaño usualmente fracturados posiblemente debido al flujo asociado a la formación de los domos. En algunas ocasiones forman cúmulos de cristales (textura glomeroporfídica; Fig. 3.36c).

Biotita es el mineral máfico más abundante (8%), con textura seriada y un rango de tamaño variable entre 0,2 y 1,4 mm. Los cristales son tabulares y con excelente clivaje.

Los cristales de anfíbola (3%) son hexagonales con buen clivaje, el tamaño promedio es de 0,3 mm.

El cuarzo es escaso, principalmente aparece como cristales redondos (“ojos de cuarzo”).

Los domos dacíticos centrales (Mmddc) en general se encuentran inalterados y presentando gran cantidad de opacos (3%).

La falta de mineralogía común de rocas básicas (clinopiroxeno, ortopiroxeno u olivino) junto con la escasa presencia de cuarzo define a la litología como una dacita-andesita de biotita y anfíbola.

A partir de todas estas observaciones es posible señalar que existen diferencias entre los domos La Coipa (TOMdlc) y los domos dacíticos centrales (Mmddc). Aunque ambos tienen una composición dacítica (capítulo 5), los domos dacíticos centrales (Mmddc) tienen un componente vítreo mientras que los domos La Coipa son mucho más cristalinos, lo que puede explicarse de diversas formas: (i) lo que se observa en los domos La Coipa representa una porción más interna de un domo, (ii) o presenta mayor grado de desvitrificación (siendo ambas unidades la porción externa de un domo), o (iii) existió una mayor desgasificación asociada a la formación de los domos, lo que originó una mayor cristalización.

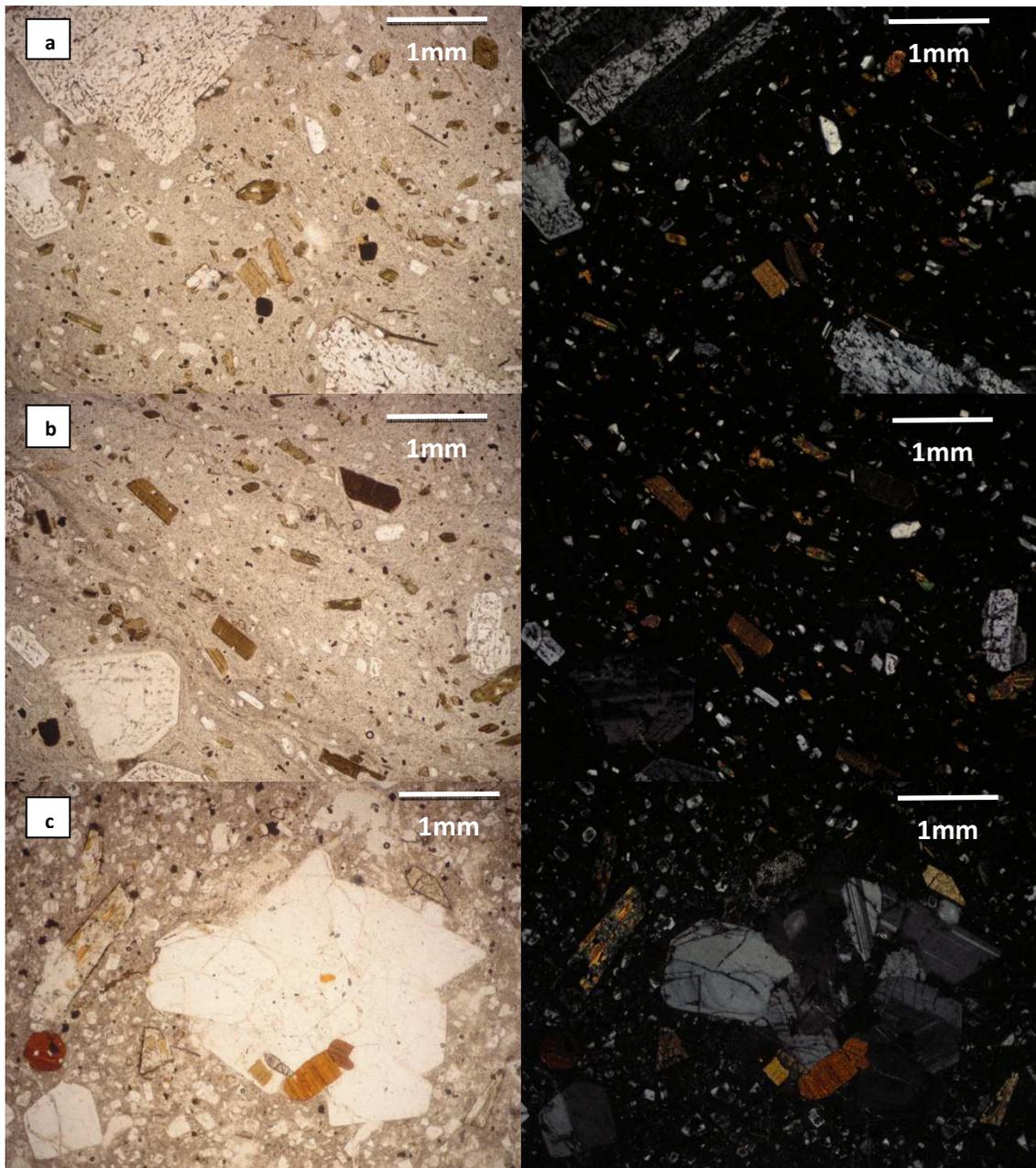


Figura 3.36. Domos dacíticas centrales (Mmddc). a. Mineralogía primaria caracterizada por fenocristales de plagioclasa, biotita y anfíbola inmersos en vidrio café (textura vitrofírica). Notar las dos poblaciones de tamaños de cristales de plagioclasa. b. Textura pilotaxítica. Fenocristales de plagioclasa, biotita y anfíbola orientados (flujo). c. Textura glomeroporfídica en cristales de plagioclasa y biotita.

Las próximas dos unidades fueron observadas en sondajes de Pompeya (Fig. 1.2).

### 3.5 **BRECHA HIDROTHERMAL (DIATREMA)**

Corresponde a una brecha tobácea con fragmentos de tamaño variable, siendo en algunos casos mayor al centímetro, pero en promedio de 2 a 3 mm de diámetro. Es matriz soportada con fragmentos angulosos de basamento sedimentario triásico, pórfidos con vetillas de pirita y fragmentos totalmente remplazados por pirita (Fig. 3.37 y 3.38). Esta unidad es cortada por ledges de cuarzo oqueroso (“vuggy silica”; Fig. 3.39). Sobre la brecha se presenta una secuencia sedimentaria conformada principalmente por areniscas finas y lutitas con buena estratificación con intercalaciones de tobas y niveles de conglomerados arenosos, lo que se ha interpretado como el maar de la diatrema (Fig. 3.40). Se tomaron muestras para geoquímica y para petrografía del sondaje DPMP-19.



Figura 3.37. Brecha posiblemente de origen freatomagmático con fragmentos de basamento triásico y de rocas pórfidas con vetillas (flecha).



Figura 3.38. Misma litología que la imagen anterior, se observa como fragmentos están completamente remplazados por pirita.



Figura 3.39. Ledge de cuarzo oqueroso cortando a la diatrema.



Figura 3.40. Secuencia sedimentaria fina que se encuentra por sobre la brecha tobácea, lo que ha sido interpretado como el maar de un sistema maar-diatrema.

#### Petrografía:

Por observaciones de sondaje y terreno la litología corresponde a una brecha freatomagmática (diatrema). En secciones delgadas corresponde a una toba de cristales con fragmentos de cuarzo, biotita y plagioclasa. Los fragmentos líticos son principalmente riolíticos y sedimentarios. La matriz es vítrea de color café (Fig. 3.41).

La razón masa fundamental/fragmentos es de 60/40. Los fragmentos líticos (15%) corresponden a tres tipos: fragmentos sedimentarios (7% de la roca; Fig. 3.41a), compuestos por cuarzo (80% del fragmento, angulosos, tamaño promedio 0,4 mm) y sericita (20%, tabulares, tamaño <0,1 mm); fragmentos riolíticos (5% de la roca) son redondeados con textura felsítica y fenocristales de plagioclasa; el tercer tipo de fragmento no es posible reconocer su origen, son redondeados y con tamaño promedio 5 mm.

Los fragmentos de cristales (25% de la roca) se componen de cuarzo, plagioclasa y biotita, todos estos minerales muy fracturados. Los cristales de cuarzo (18% de la roca) tienen un tamaño promedio de 0,4 mm. Los cristales de plagioclasa (5%) un tamaño variable entre 0,2 y 1,6 mm. Los cristales de biotita (2%) son tabulares y con tamaño promedio 0,4 mm.

La matriz está compuesta de vidrio café y con jarosita diseminada (Fig. 3.41b). Gran cantidad de minerales opacos, principalmente tabulares (1%).

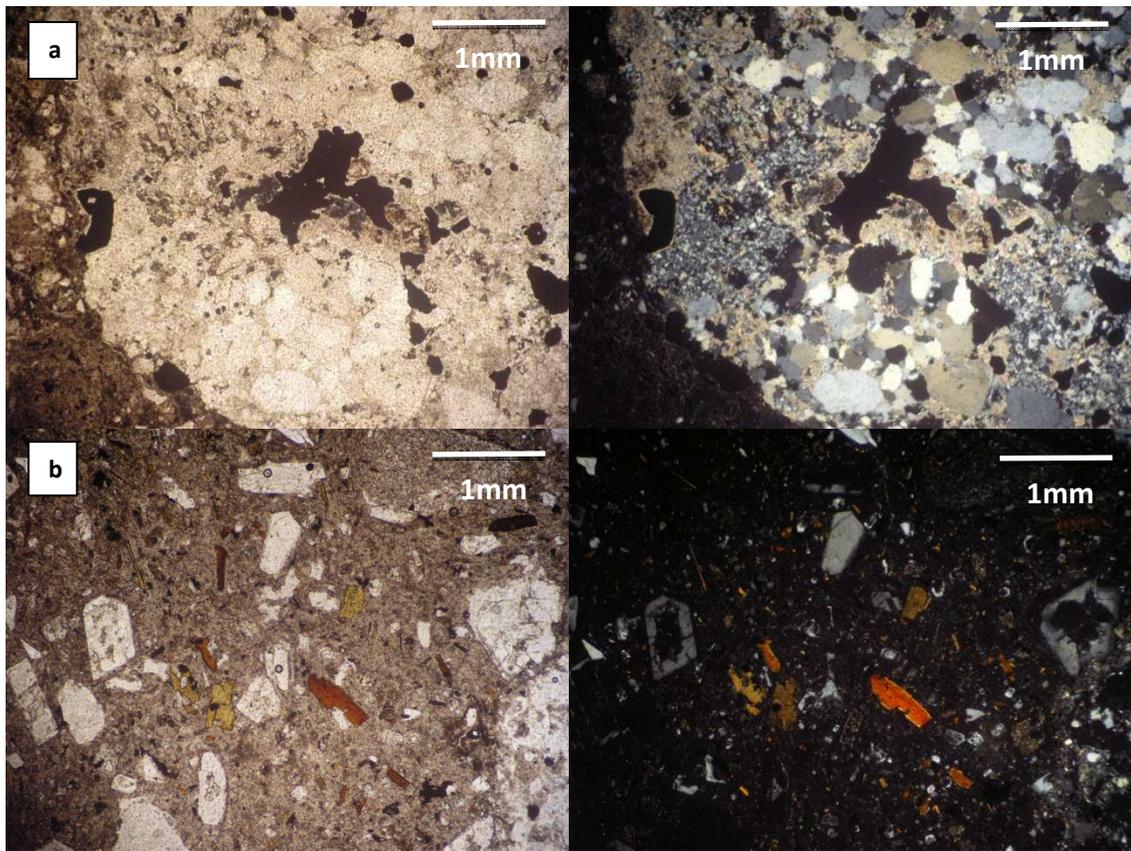


Figura 3.41. Diatrema de Pompeya. a. Fragmento lítico sedimentario con cristales de cuarzo alargados dentro de una matriz rica en sericita. El fragmento es irregular y tiende a ser alargado. b. Fragmento lítico de origen volcánico (ígneo) en el cual destacan fenocristales de plagioclasa y biotita dentro de una masa vítrea argilizada.

### 3.6 “PÓRFIDO ANDESÍTICO”

Corresponde a una andesita con textura porfídica de biotita (Fig. 3.42). Se presenta bajo la diatrema en los sondajes en el sector de Pompeya (Fig. 1.2). Al igual que la diatrema es cortado por ledges de cuarzo oqueroso, pero además presenta una mineralización previa consistente en vetillas de pirita + enargita gradando en profundidad a vetillas de cuarzo bandeado ( $\zeta$ ) (Fig. 3.43). Se tomaron muestras del sondaje DPMP-19 para geoquímica y petrografía.



Figura 3.42. Pórfido andesítico de biotita, el cual se presenta en el sondaje cortando a la brecha tobácea (diatrema). Sin mineralización.



Figura 3.43. Pórfido andesítico bajo la brecha (diatrema) presentando dos tipos de vetillas: pirita + enargita y de cuarzo bandeado.

Petrografía:

En secciones delgadas corresponde a una dacita porfídica de anfíbola completamente obliterada (Fig. 3.44). Es posible reconocer fenocristales de plagioclasa y anfíbola completamente alterados en una masa fundamental recrystalizada (solo cuarzo).

De la mineralogía primaria (30%) solo es posible reconocer fenocristales de plagioclasa y anfíbola (Fig. 3.44a) completamente “reemplazados” por cuarzo. Los cristales de plagioclasa (28% de la roca; Fig. 3.44b) son tabulares con tamaño promedio 1,4 mm. Los cristales de anfíbola (2%) son romboédricos, de tamaño promedio 0,6 mm.

La mineralogía de alteración (68%) corresponde principalmente a cuarzo (63% de la roca) y alunita (5%). En algunas muestras se observan vuggy con forma tabular que posiblemente correspondieron a fenocristales de plagioclasa (Fig. 3.44c), en otras muestras han sido rellenados con cuarzo microcristalino. Los minerales opacos (2%) son de forma regular y de tamaño aproximado (0,2 mm) con bordes oxidados (hematita).

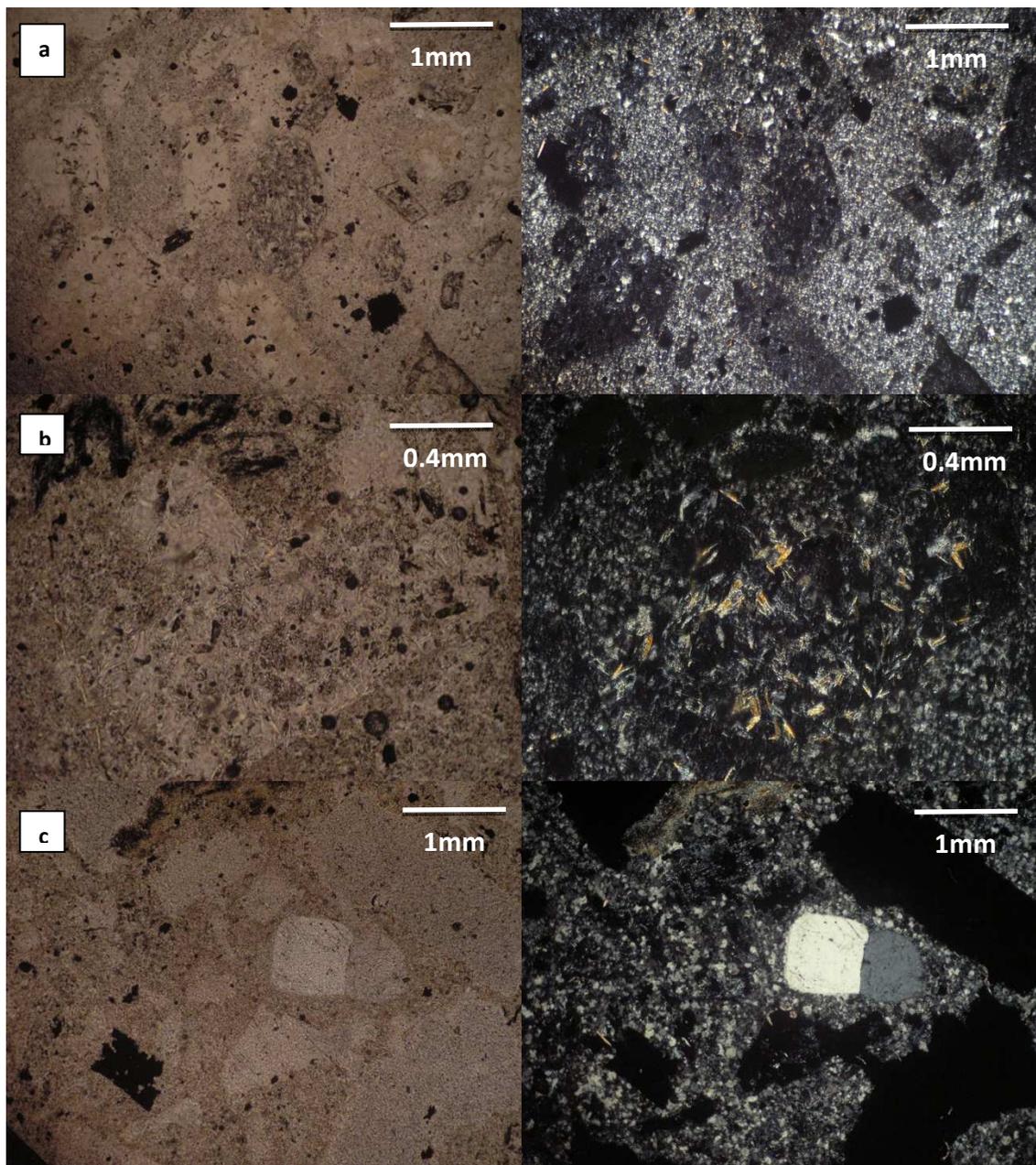


Figura 3.44. "Pórfido andesítico". a. Vista general del corte. Es posible apreciar tanto la masa fundamental como los fenocristales de plagioclasa (tabulares) y anfíbola (romboédrico) completamente "reemplazados" por cuarzo microcristalino (son oquerosidades rellenas con cuarzo microcristalino). Los cristales tabulares de bajo color de interferencia corresponden a cristales de alunita. b. Mayor aumento que la imagen anterior (10x) donde es posible observar de mejor manera los cristales de plagioclasa completamente reemplazados por cuarzo microcristalino y alunita. Presencia de cristales de alunita y biotita. El protolito de la muestra pudo haber correspondido a algún miembro de los domos La Coipa (TOMdlc) por la textura y mineralogía primaria. c. Textura general de la muestra con fenocristales de cuarzo y vuggy tabulares (plagioclasa). Presencia de arcillas y alunita.

### 3.7 BRECHA HIDROTERMAL (DIATREMA)

Brecha hidrotermal de origen freatomagmático (diatrema) observada en los sondajes de Purén Sur. La brecha es matriz soportada con fragmentos angulosos de basamento triásico y otros de rocas con textura porfídica con fuerte alteración a vuggy silica. Presenta pirita diseminada (Fig. 3.45).



Figura 3.45. Muestra de la diatrema de Purén.

#### Petrografía:

En secciones delgadas presenta textura porfídica (*i*) con fenocristales de cuarzo y oquerosidades tabulares (plagioclasa?) (Fig. 3.46a). La mineralogía primaria corresponde a cuarzo (5%) anhedral con tamaño variable entre 0,1 y 2,5 mm. La mineralogía de alteración (95%) corresponde a una asociación argílica avanzada representada por cuarzo microcristalino (90%), alunita y azufre (Fig. 3.46b y c).

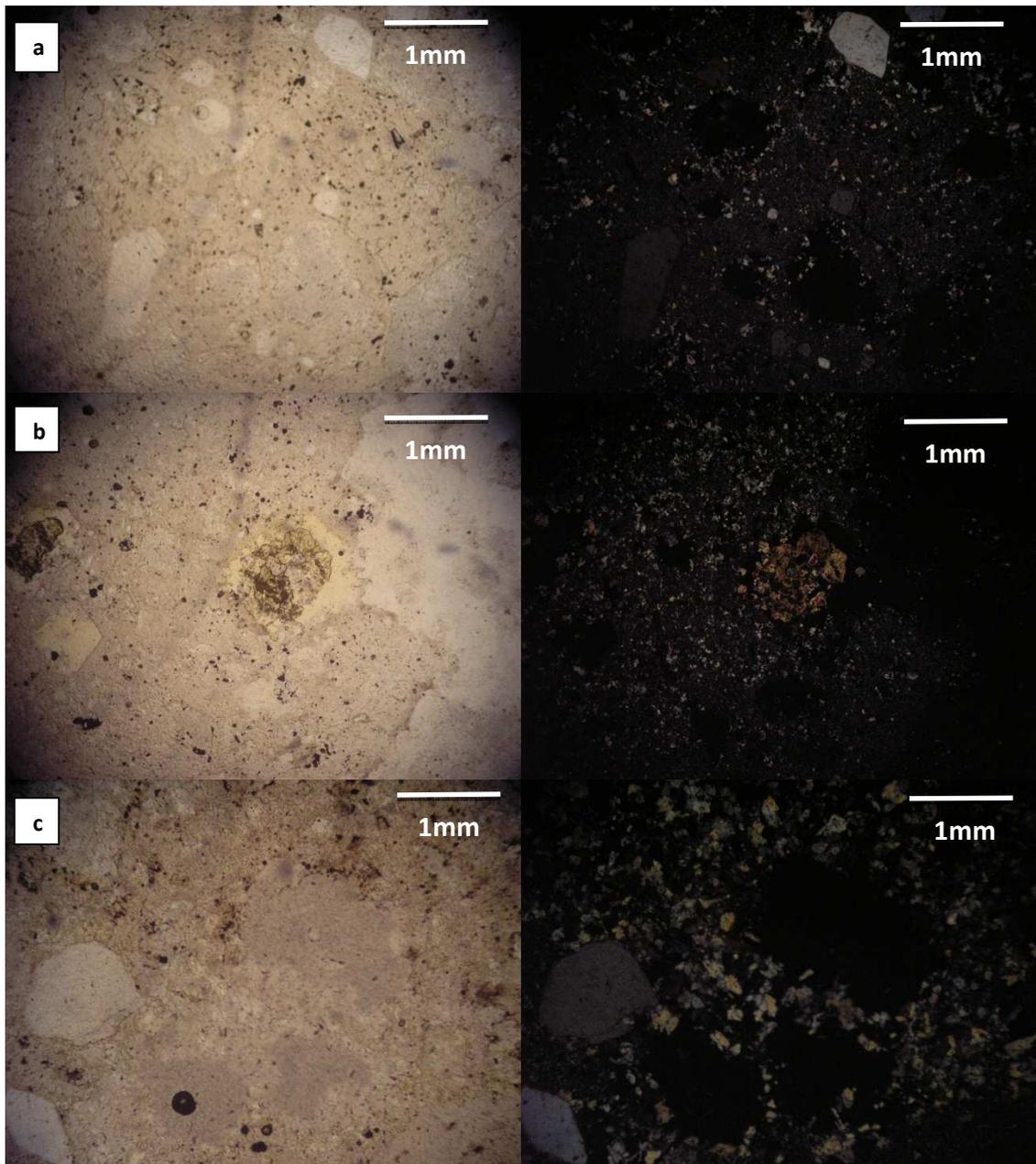


Figura 3.46. Diatrema de Purén Sur. a. Textura general donde es posible apreciar los cristales de cuarzo anhedrales inmersos en la masa fundamental recristalizada consistente en cuarzo microcristalino. Notar las oquerosidades. b. En esta imagen se resalta la alteración que sufre la roca consistente en arcillas y azufre. c. Fuerte presencia de alunita en torno a las oquerosidades.

### 3.8 GRANITO

Roca con textura porfídica con cristales de cuarzo y plagioclasa dentro de una matriz blanquecina completamente argilizada, observable en los sondajes de Brecha Norte. Se caracteriza por presentar una gran cantidad de vetillas sinuosas de biotita y pirita. En algunos tramos es tanta la densidad de vetillas que la roca se encuentra brechizada (Fig. 3.47).



Figura 3.47. Muestra del granito de Brecha Norte.

#### Petrografía:

En secciones delgadas es descrita como granodiorita. Presenta textura fanerítica con cristales de cuarzo, plagioclasa (y pseudomorfos de esta), moscovita y feldespato potásico (Fig. 3.48).

El cuarzo (20%) es anhedral con tamaño variable entre 0,1 y 2,5 mm.

Los cristales de plagioclasa (50%) son tabulares con tamaño variable hasta 2,5 mm. Presentan macla polisintética y normalmente están argilizados-sericitizados.

Los cristales de moscovita (5%) son tabulares y fibrosos con tamaño variable entre 0,1 y 1 mm.

El feldespato potásico se encuentra en baja proporción (<1%) y normalmente intercrecido con las plagioclasas (textura perítica).

La mineralogía de alteración corresponde al 25% y se compone de sericita (13%), cuarzo (7%), arcillas (3%), clorita (1%) y carbonatos (1%). La sericita está alterando principalmente a los cristales de plagioclasa y moscovita. El cuarzo aparece rellenando vetillas y en forma diseminada en la muestra (cuarzo microcristalino). Las arcillas ocurren alterando a plagioclasas y en la masa fundamental. Clorita está alterando a cristales de moscovita. Los carbonatos ocurren de forma diseminada y en vetillas.

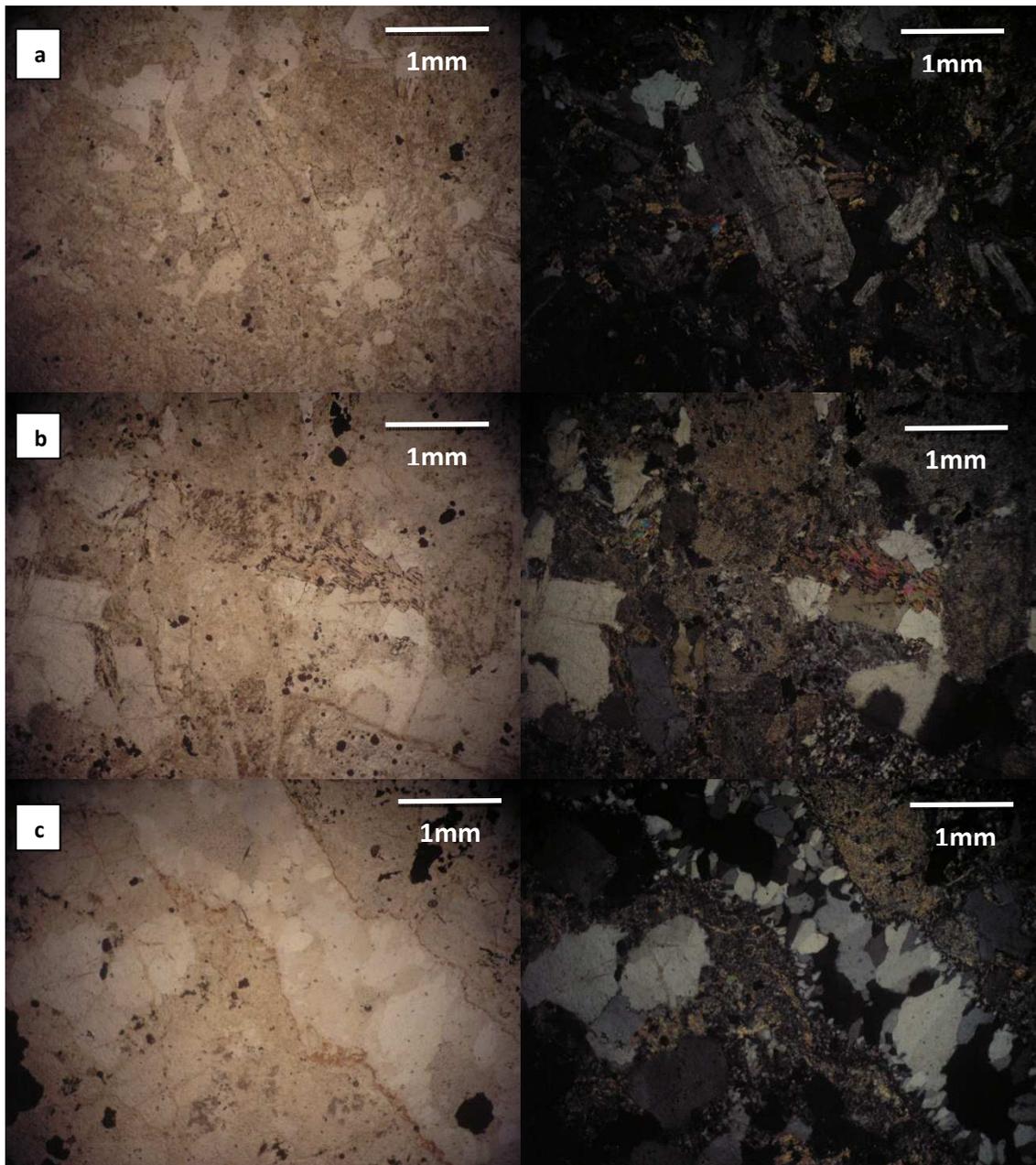


Figura 3.48. "Granito de Brecha Norte". a. Textura general de la roca (fanerítica) con cristales anhedrales de cuarzo junto a cristales tabulares de plagioclasa y moscovita. b. Similar a la imagen anterior donde se aprecia de mejor manera los cristales primarios de moscovita cloritizados. c. Vetilla de 0,8 mm de espesor rellena con cuarzo.

## 4 ALTERACIÓN

A partir de los espectros obtenidos en las muestras recolectadas en terreno, se puede señalar que estas no presentan una alteración muy variable, destacando una asociación argílica. Los minerales de alteración más abundantes corresponden a la asociación illita – montmorillonita y en segundo lugar a la asociación caolinita - dickita - halloysita.

A grandes rasgos los espectros pueden clasificarse en cuatro grupos. Las muestras pertenecientes a cada grupo presentan características disímiles, principalmente en la región visible del espectro, lo que puede deberse a otras fases minerales presentes como a ciertos elementos presentes en los minerales.

**Grupo I:** Patrón plano (no decreciente) con peaks simples y profundos en 1.4, 1.9 y 2.2  $\mu\text{m}$  (Fig. 4.1a; Fig. 4.2a, b), correspondiente a la asociación illita - esmectita - montmorillonita. Estos tres minerales tienen espectros comunes aunque con ciertas diferencias que permiten predecir que mineral se encuentra en mayor proporción, por ejemplo, rasgos de absorción en 2.35 y 2.45  $\mu\text{m}$  indican una mayor proporción de illita sobre esmectita, pendiente pronunciada en dirección a los 2.5  $\mu\text{m}$  indica la presencia de esmectita o montmorillonita, finalmente, una inflexión en torno a los 1.4  $\mu\text{m}$  es indicio de esmectita.

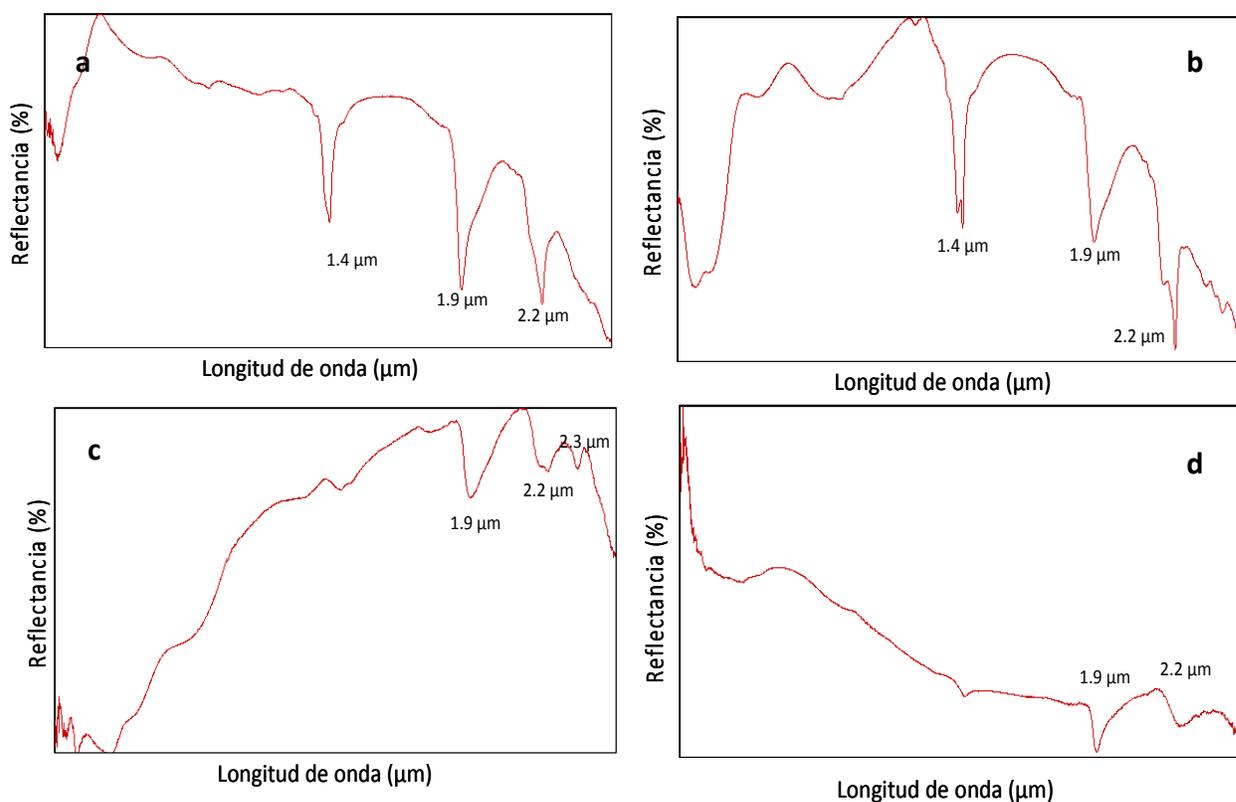


Figura 4.1. Rasgos de absorción más comunes en las muestras analizadas. Pueden agruparse en cuatro grupos. a. Rasgos de absorción del grupo I en las longitudes 1.4, 1.9 y 2.2  $\mu\text{m}$ . A los 1.4  $\mu\text{m}$  se observa una pequeña inflexión, lo cual es un signo diagnóstico de presencia de esmectitas. b. Rasgos de absorción del grupo II con rasgos dobles de absorción en 1.4 y 2.2  $\mu\text{m}$ , además de uno simple en 1.9  $\mu\text{m}$ . c. Rasgos de absorción del grupo III, a diferencia de los dos patrones anteriores se observa una forma creciente, indicativa de presencia de Fe, y ausencia de un rasgo a los 1.4  $\mu\text{m}$ , lo que señala la ausencia de moléculas de OH. d. Rasgos de absorción del grupo IV, donde se observa un patrón poco definido con absorción leve en 1.9 y 2.2  $\mu\text{m}$ . Comparar los patrones obtenidos con los teóricos para los minerales mencionados (Fig. 4.2).

**Grupo II:** Patrón con peaks dobles en 1.4 y 2.2  $\mu\text{m}$ , y simple en 1.9  $\mu\text{m}$  (Fig. 4.1b; Fig. 4.2c, d, e). Estos patrones se asocian a la presencia de una mezcla entre caolinita, halloysita y dickita, minerales comúnmente formados por meteorización o alteración hidrotermal de feldespatos u otros aluminosilicatos.

**Grupo III:** Patrón ascendente con peaks amplios en 1.9, 2.2 y 2.3 o 2.5  $\mu\text{m}$  (Fig. 4.1c; Fig. 4.2f). La forma ascendente del espectro se explica por la presencia de Fe. Biotita, como mineral primario, puede explicar de buena manera la forma del espectro.

**Grupo IV:** Patrón decreciente, con peaks simples y poco pronunciados en 1.4, 1.9 y 2.2  $\mu\text{m}$  (Fig. 4.1d). Dada la posición y forma de los peaks es probable la presencia de la asociación illita – montmorillonita, la cual se puede formar por meteorización de feldespatos o alteración de minerales de arcilla, entre otras posibles causas. Pero debido a que es poco definido, no se puede concluir esto.

Aunque la alteración es bastante homogénea, de todas maneras existen algunas diferencias entre las unidades reconocibles en terreno.

A modo de resumen, las muestras de los Domos dacíticos centrales tienen alteración dada por la asociación del grupo I (illita – esmectita – montmorillonita). La alteración en las muestras de los Domos La Coipa es bastante variable, dependiendo mucho de la subunidad. Los Domos riolíticos (TEdr) y pórfidos riodacíticos (TEpr) tienen características de alteración representadas por el grupo I, mientras que los pórfidos dacíticos (TPpd) y andesítico (sondaje) presentan características del grupo II (caolinita - halloysita - dickita).

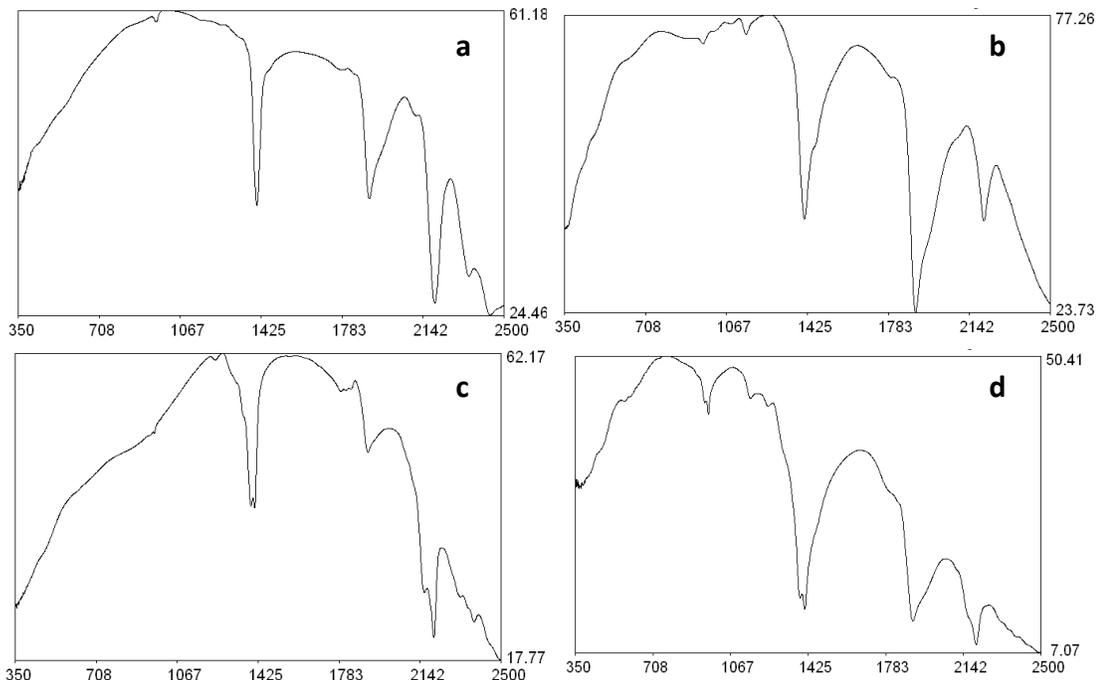


Figura 4.2. Patrones de absorción teóricos para algunos minerales típicos de alteración. a. Illita. b. Montmorillonita. c. Kaolinita. d. Halloysita.

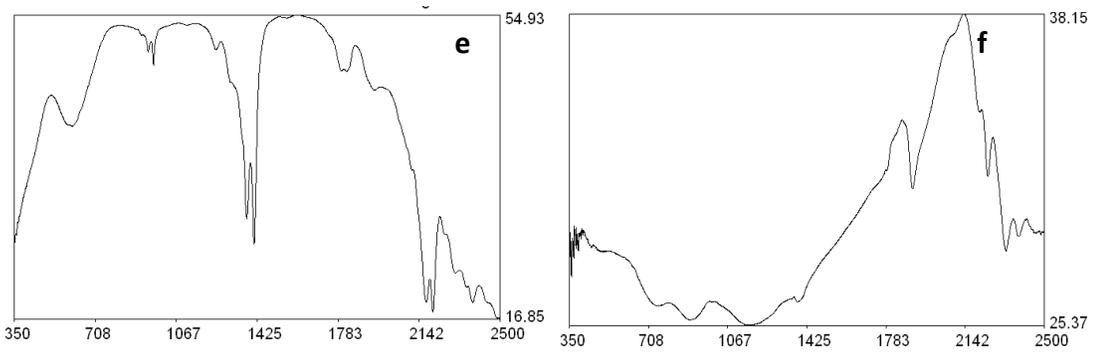


Figura 4.2 (continuación). e. Dickita. f. Biotita.

## **5 CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA**

### **5.1 ANTECEDENTES PREVIOS**

Estudios litogeoquímicos cercanos a la zona de estudio han sido realizados por varios autores, destacando los trabajos de Moscoso et al. (1993), Kay et al. (1994) y Mpodozis et al. (1995).

Kay et al. (1993) y Mpodozis et al. (1995) realizaron estudios petroquímicos en la franja de Maricunga en rocas del Oligoceno – Mioceno. Los resultados obtenidos por estos autores indican que las rocas tienen un amplio rango de composición, entre 55% y 73% de SiO<sub>2</sub>, aunque la mayor parte se agrupa en el campo de las andesitas y dacitas. Estas rocas tienen valores intermedios a altos de K<sub>2</sub>O y relativamente bajos de Na<sub>2</sub>O y en los diagramas FeO\*/MgO v/s SiO<sub>2</sub> se ubican en el campo calcoalcalino. Los patrones de elementos traza muestran el característico empobrecimiento en Ta y enriquecimiento en Ba, Th y U en relación a LREE, típica de magmas de arco asociados a zonas de subducción activa. Las razones de La/Yb, están en el rango de 7 a 21, siendo más elevados en el sector norte (sector de La Coipa) que en el sur de la franja (Pantanillo y Refugio), lo que indicaría que en la zona norte existen evidencias de condiciones de cristalización a mayor presión que en el sur de la franja. Dentro de este contexto, los magmas del Oligoceno-Mioceno inferior de la zona norte de la Franja de Maricunga (Cerros Bravos – La Coipa) parecen haber evolucionado bajo condiciones de corteza relativamente más gruesa y en un ambiente más compresivo que la zona sur de la franja y la región de subducción subhorizontal. Según Kay et al. (1994) el espesor cortical en la zona de Cerros Bravos pudo alcanzar hasta los 50 km entre los 26 – 21 Ma.

Moscoso et al. (1993) estudiaron el Complejo Cerros Bravos, ubicado al norte del distrito La Coipa, concluyendo que las rocas del Complejo Cerros Bravos son calcoalcalinas de acuerdo al diagrama AFM, con valores K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O ligeramente altos, lo que podría indicar una tendencia shoshonítica. Además señalan que el Complejo volcánico Cerros Bravos y el Complejo volcánico La Coipa son similares en cuanto a litología y edad.

### **5.2 UBICACIÓN DE LAS MUESTRAS**

La figura 5.1 muestra la ubicación de las 118 muestras utilizadas en este estudio. De estas 75 corresponden a muestras de roca en superficie y 43 a muestras de sondajes. Las muestras de sondajes provienen de Pompeya (13 muestras), Purén Sur (11 muestras) y Brecha Norte (19 muestras). Las muestras de superficie (Fig. 5.1) corresponden a las siguientes unidades:

- (1) Domos dacíticos centrales (Mmddc): 6 muestras
- (2) Domos La Coipa (TOMdlc)
  - (2.1) Domos riolíticos (TOMdlc1): 3 muestras
  - (2.2) Domos dacíticos (TOMdlc2): 10 muestras
  - (2.3) Domos andesíticos (TOMdlc3): 12 muestras
  - (2.4) Tobas riolíticas (TOMdlc4): 11 muestras
  - (2.5) Tobas dacíticas (TOMdlc5): 2 muestras
  - (2.6) Tobas de lapilli (TOMdlc6): 9 muestras
  - (2.7) Brechas freáticas (TOMdlc7): 3 muestras
  - (2.8) Tobas dacíticas de biotita (TOMdlc8)
  - (2.9) Domos dacíticos de biotita (TOMdlc9)
- (3) Domos riolíticos (TEdr): 5 muestras

- (4) Pórfidos riódacíticos y diques riódacíticos (TEpr): 3 muestras
- (5) Pórfidos dacíticos (TPpd): 3 muestras
- (6) Pórfidos monzodioríticos (KTzmd): 3 muestras
- (7) Andesita (Pzmz): 3 muestras

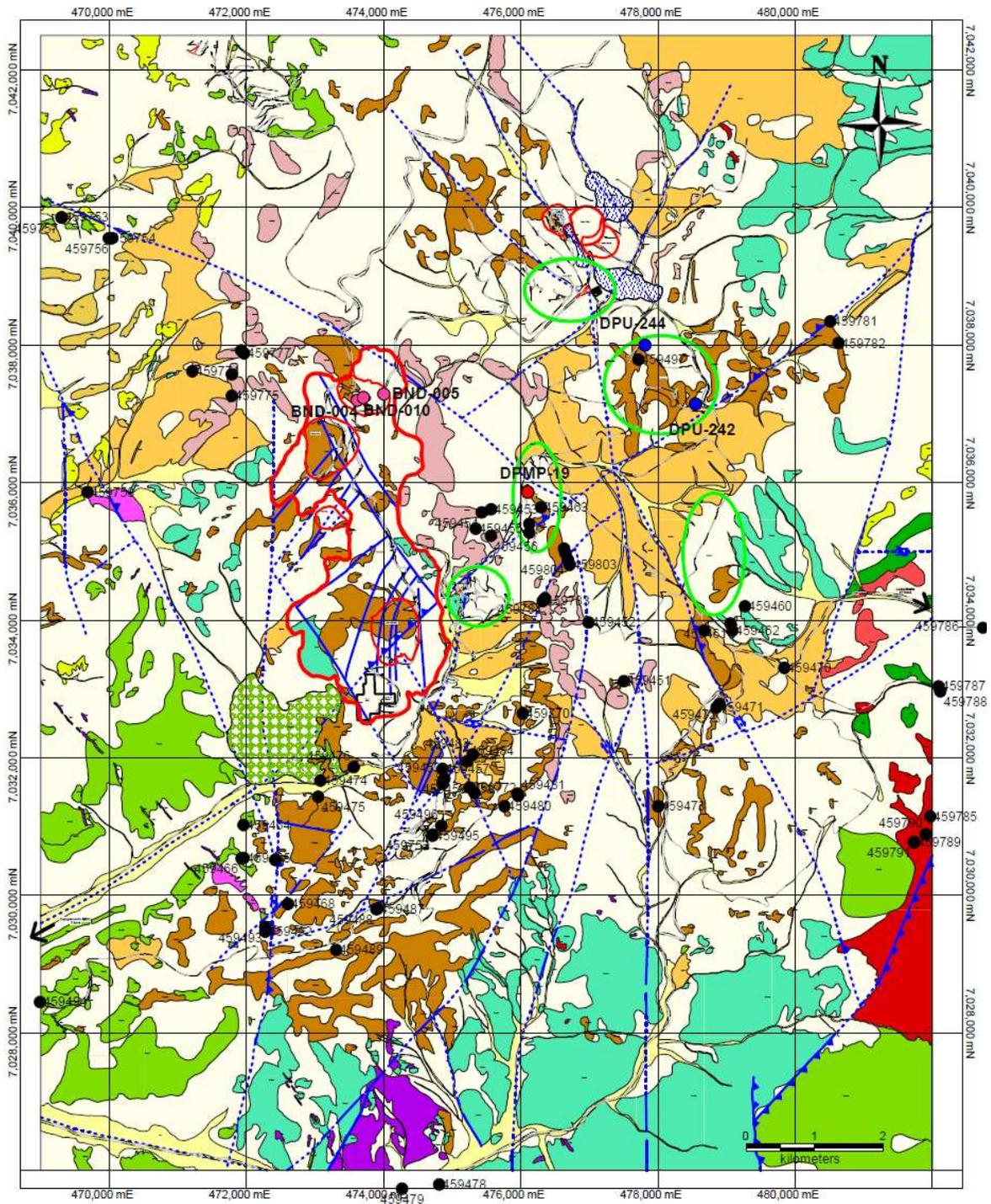


Figura 5.1. Ubicación de las muestras geoquímicas (leyenda en Fig. 2.2). En rojo la ubicación de las muestras del sondaje de Pompeya, en azul las muestras de sondaje de Purén Sur y en rosado las muestras de sondaje de Brecha Norte.

### 5.3 RESULTADOS

Los elementos analizados mediante geoquímica de roca total corresponden a los óxidos mayores, tierras raras y una serie de elementos trazas (tabla 5.1). Para todos los cálculos y gráficos se utilizó el programa ioGAS versión 4.3. Es importante indicar que ningún procedimiento de control de calidad (QAQC) fue realizado en este trabajo.

El tratamiento realizado consistió en una primera etapa en definir las diferencias existentes entre las unidades en base a un análisis de elementos mayoritarios y trazas. Se utilizaron diferentes diagramas de clasificación de rocas y de variación de óxidos (Harker), teniendo siempre en cuenta que muchas de estas rocas presentan un grado de alteración considerable. Los datos fueron tratados utilizando discriminantes geoquímicos bien establecidos tales como el contenido de  $\text{SiO}_2$ , número magnésiano, índice de diferenciación, gráficos álcali –  $\text{SiO}_2$  y AFM, los cuales fueron creados y pensados para clasificar rocas ígneas inalteradas. El problema que surge es que la mayoría de los elementos utilizados como discriminantes en estos diagramas presentan gran movilidad en procesos hidrotermales. De esta manera los resultados obtenidos con geoquímica tradicional pueden ser confusos dependiendo del grado de alteración que presentan las rocas, sobre todo las muestras de sondaje. Finalmente se presentan resultados de geoquímica de tasas molares (Pearce Element Ratio y General Element ratio).

#### 5.3.1 Geoquímica de muestras en superficie

La siguiente sección presenta los resultados obtenidos para muestras en superficie. Los resultados de laboratorio, ubicación y unidad de las muestras pueden revisarse en el Anexo 4.

##### Diagramas de clasificación:

(1) **Diagrama AFM y Jensen:** La figura 5.2 representa un diagrama AFM para las muestras obtenidas en terreno. De la imagen se observa que las rocas son calcoalcalinas.

El diagrama de Jensen (Fig.5.3) es un método alternativo para clasificar rocas subalcalinas. El resultado obtenido fue el mismo, las muestras son calcoalcalinas estando en su mayoría en el campo de las riolitas. Es importante indicar que muchas muestras plotan en el campo de las riolitas dado que este diagrama no toma en cuenta la proporción de  $\text{SiO}_2$  y define la litología en base a la proporción de Al (junto con Ti + Fe y Mg), el cual tiende a ser mayor en las rocas del distrito.

El resultado obtenido es el esperable para las muestras dado el contexto geológico asociado a la formación de estas.

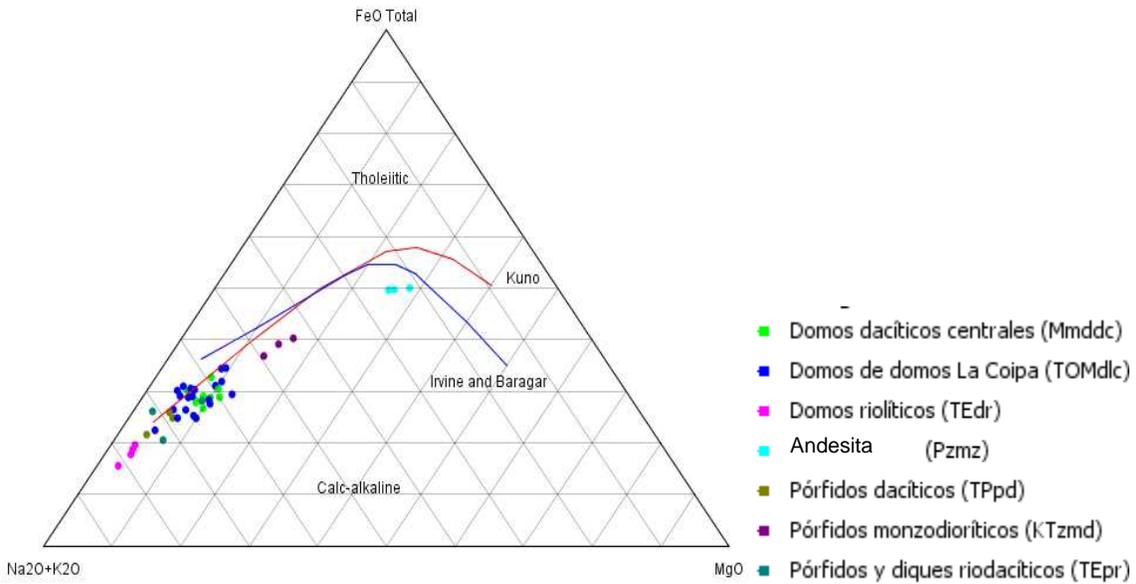


Figura 5.2. *Izquierda*. Diagrama AFM (Irvine y Baragar, 1971; Kuno, 1968; Rollinson, 1993) para las rocas del distrito La Coipa. *Derecha*. Nomenclatura de colores utilizada para las diferentes unidades. Es importante indicar que las muestras de domos de la unidad Domos La Coipa (TOMdlc) fueron agrupadas en una sola unidad.

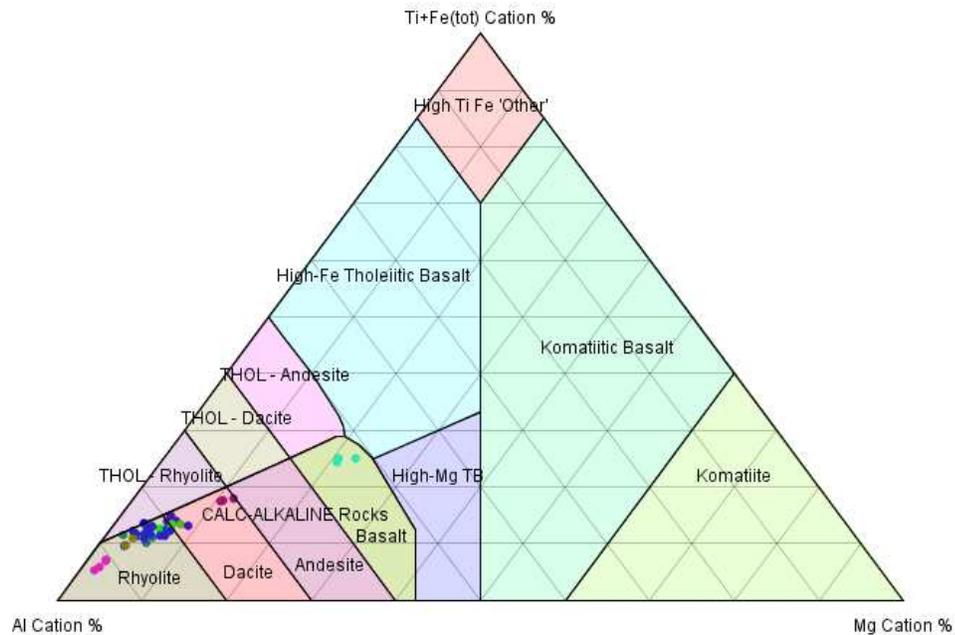


Figura 5.3. Diagrama de clasificación de Jensen (Jensen, 1976; Rollinson, 1993) para rocas subalcalinas. Mismos colores que la figura 5.2. Las muestras en su mayoría están en el campo de las riolitas, principalmente calcoalcalinas y en segundo lugar toleíticas. La denominación de riolitas se debe principalmente al hecho que este diagrama no toma en cuenta la proporción de SiO<sub>2</sub>, sino que solo la proporción de Al – Mg – (Ti + Fe) para la clasificación, y normalmente el Al tiende a estar enriquecido debido a la alteración.

(2) **Diagrama TAS:** La petrografía se condice bastante bien con la geoquímica para las muestras en superficie. Los domos pertenecientes a la unidad Doms La Coipa (TOMdlc) y domos dacíticos centrales (Mmddc) están todos en el rango de las dacitas, los domos riolíticos (TEdr) están en el campo de las riolitas, las tobas de la unidad Doms La Coipa (TOMdlc) tienen una composición andesítica-dacítica, su alta variabilidad se debe a la gran cantidad de fragmentos líticos con composición variable que presentan. Para las otras unidades se prefirió la utilización de un diagrama TAS para rocas intrusivas. Los pórfidos y diques riodacíticos (TEpr) y pórfidos dacíticos (TPpd) tienen una composición muy ácida y plotean en el campo de los granitos, los pórfidos monzodioríticos (KTzmd) clasifican como dioritas, mientras que las andesitas paleozoicas (Pzms) son clasificadas como gabros.

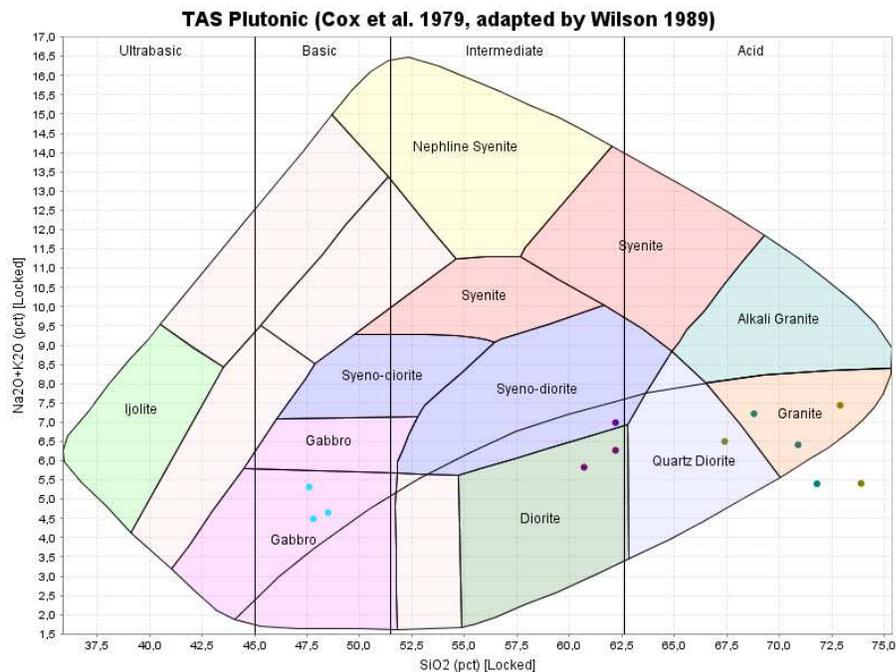
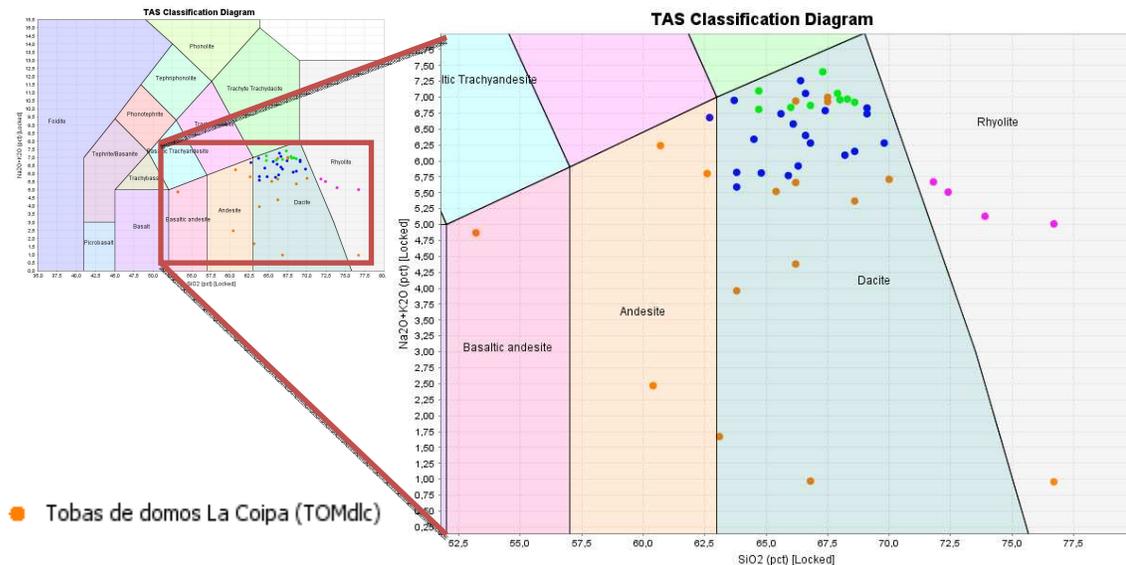


Figura 5.4. *Arriba.* Diagrama de clasificación TAS para rocas volcánicas utilizados para la clasificación de domos (Le Maitre et al., 1989; Rollinson, 1993). *Abajo.* Diagrama TAS para rocas intrusivas (Cox et al., 1979, Wilson, 1989). Mismos colores que la figura 5.2 y en naranja están representadas las muestras de las tobas de la unidad Doms La Coipa (TOMdlc).

Los resultados obtenidos en el diagrama TAS son los esperados, es decir, la petrografía se condice bastante bien con la geoquímica de elementos mayores.

**(3) Índice de saturación de alumina:** La mayoría de las muestras analizadas están en el campo de rocas metaluminosas (Fig. 5.5). En las rocas metaluminosas ( $ASI = \text{proporción molar de } Al_2O_3 / (K_2O + Na_2O + CaO) < 1$ ) es probable que exista un exceso de Ca después que el aluminio ha sido acomodado en feldespatos. Como resultado de esto, las rocas metaluminosas contienen fases cálcicas tales como hornblenda y augita, y carecen de moscovita o ferromagnesianos sódicos. El caso de las rocas que se alejan del campo metaluminoso y están en el campo fuertemente peraluminoso posiblemente se debe a un efecto de alteración hidrotermal, en donde los cationes de Ca, Na y K fueron lixiviados y la roca quedó con un exceso de Al (por ejemplo alteración argílica intermedia).

Otros gráficos de clasificación con elementos mayoritarios fueron realizados, por ejemplo el diagrama de clasificación para rocas volcánicas alteradas (Winchester y Floyd, 1977 y Pearce, 1996) los cuales no aportaron información significativa.

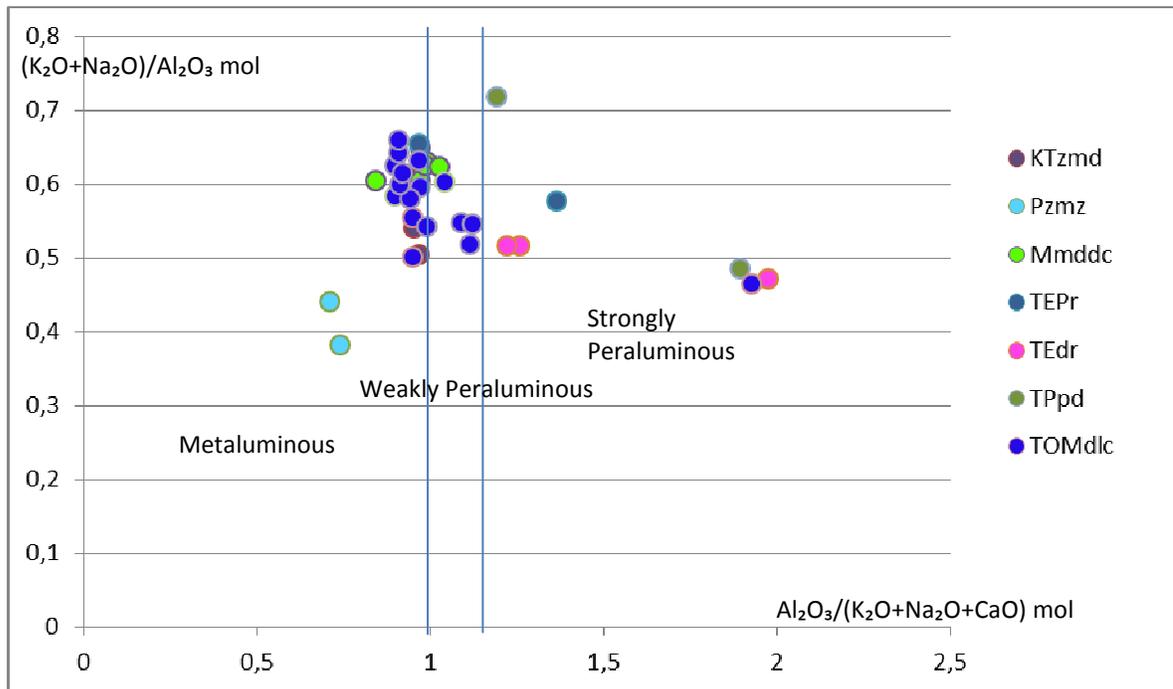


Figura 5.5. Índice de saturación de alúmina (Roser y Korsch, 1988; Rollinson, 1993) en las muestras tomadas en terreno. Mismos colores que la figura 5.2.

**(4) Elementos mayores:** Las rocas del estudio presentan un rango de  $SiO_2$  entre 60-77 wt% (promedio de 67,6 wt%). Los valores de  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $Na_2O$  y  $K_2O$  son relativamente bajos, siendo en promedio 0,54; 1,96; 2,62 y 2,75 wt% respectivamente. Los otros óxidos se encuentran en el rango mundial para rocas con una composición dacítica (Rudnick, 2003). Las rocas están caracterizadas por una razón  $K_2O/Na_2O < 1$  en la mayoría de los casos, salvo aquellos donde el valor de  $Na_2O$  es muy bajo. El valor de  $Al_2O_3 / (CaO + Na_2O + K_2O)$  es cercano a 1,5 aunque algunos son muy altos debido a bajos valores

de Na<sub>2</sub>O (principalmente en el sondaje). El número magnésiano ( $\#Mg = 100 * MgO / (MgO + Fe_2O_3)$ ) es relativamente bajo, en promedio 11,6 wt%.

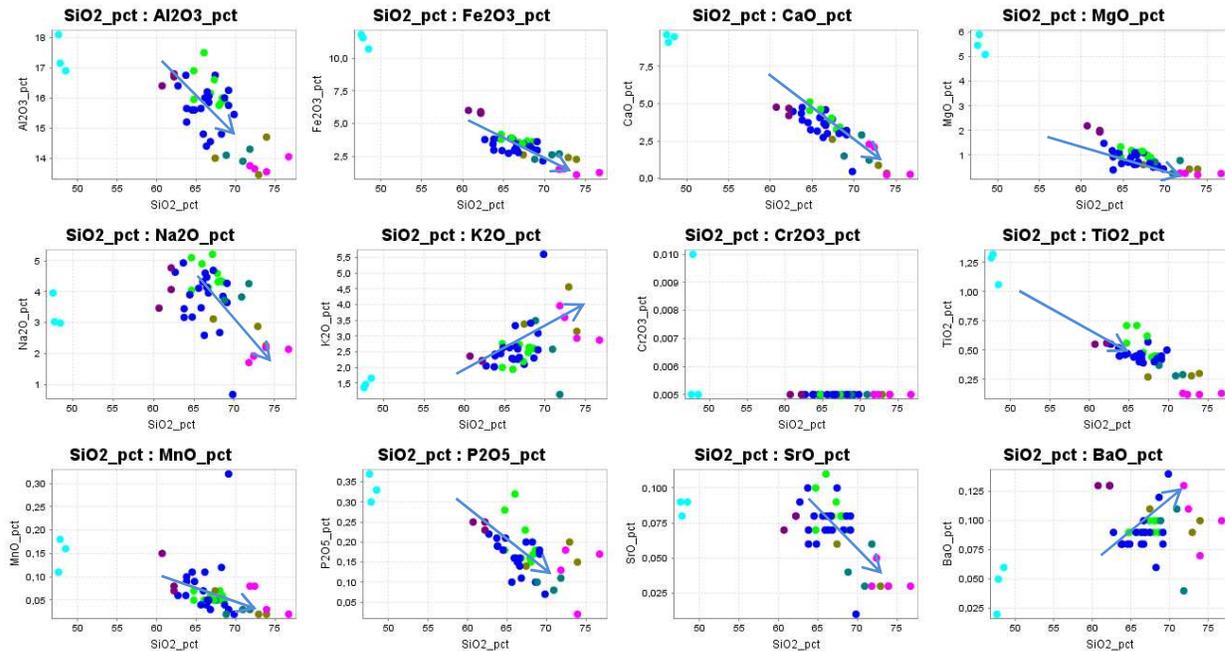


Figura 5.6. Diagramas de variación de los óxidos mayoritarios respecto al sílice. Los diferentes colores representan las distintas unidades reconocibles en terreno (Figura 5.2). Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, MnO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y SrO decrecen con el aumento de SiO<sub>2</sub>. K<sub>2</sub>O y BaO presentan una correlación positiva.

**(a) Diagramas de variación de elementos mayoritarios (diagramas Harker):** En la figura 5.6 se presentan los diagramas de variación de los óxidos mayores respecto a la sílice utilizando las muestras tomadas en superficie. Es importante indicar que cierto grado de alteración en algunas muestras puede generar patrones que no son fácilmente interpretables, cuando este es el caso es recomendable utilizar diagramas de tasas molares (que utiliza elementos inmóviles).

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, MnO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y SrO decrecen con el aumento de SiO<sub>2</sub>, es decir, ellos muestran un comportamiento compatible. K<sub>2</sub>O y BaO presentan una correlación positiva, mostrando un comportamiento incompatible. Asociado a procesos de diferenciación magmática, el resultado esperable es que al aumentar el contenido de sílice disminuya el contenido de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, MnO y SrO y aumente el contenido de K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O y BaO, lo que es observado para la mayoría de los óxidos salvo para el Na<sub>2</sub>O. El comportamiento de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Na<sub>2</sub>O no es el esperado, posiblemente debido a un efecto de alteración, mientras que el comportamiento de TiO<sub>2</sub> y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> posiblemente se debe a un efecto por fraccionamiento de alguna fase mineral que presente estos óxidos.

**(5) Elementos traza:**

**(a) Diagramas Harker de algunos elementos trazas:** Se realizaron diferentes diagramas Harker para una serie de elementos trazas, utilizando el contenido de SiO<sub>2</sub> como índice de variación (Fig. 5.7). Se observan correlaciones lineales positivas entre SiO<sub>2</sub> con Th, U y Sr y negativas con Zr, Sr, Y e Yb. Además se generan claras diferencias en las composiciones de elementos minoritarios respecto a la unidad reconocible en terreno.

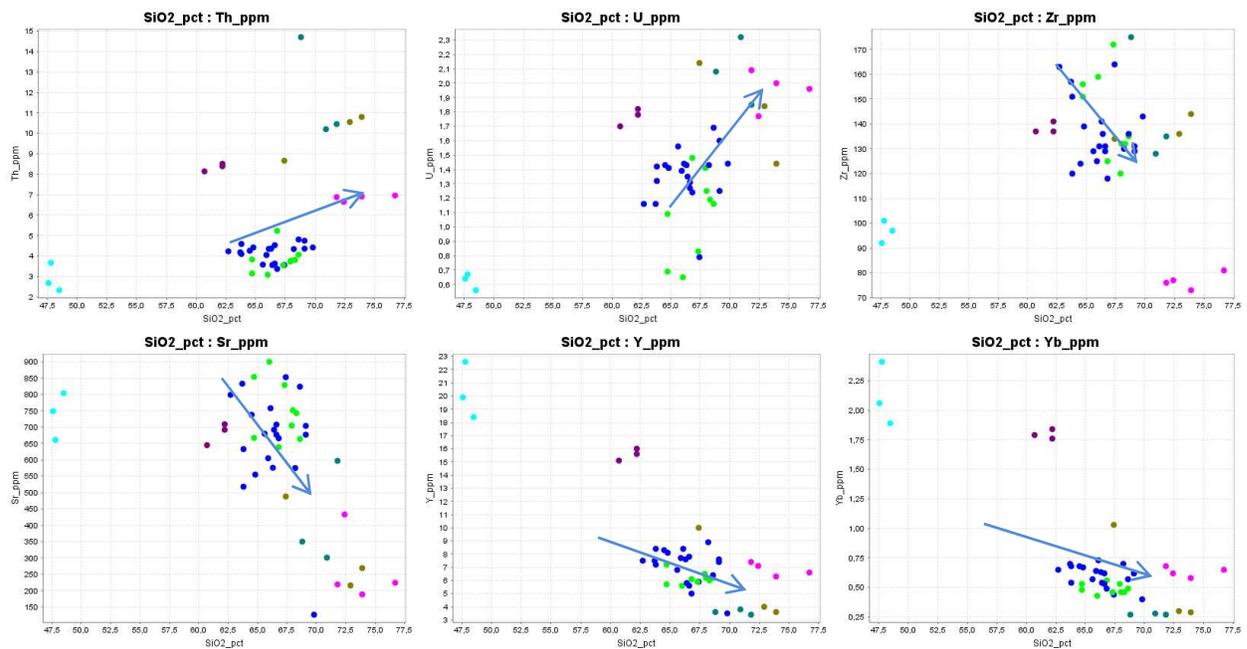


Figura 5.7. Diagramas Harker para algunos elementos traza.

**(b) Tierras raras:** La figura 5.8 presenta una serie de diagramas spiders de REEs normalizados al condrito para las distintas unidades reconocibles en terreno. Para todas las unidades, salvo las muestras del Paleozoico (Andesita –Pzmz-), se obtuvo un patrón de REEs con una pendiente negativa pronunciada, asociada a un fuerte fraccionamiento con un notable enriquecimiento en tierras raras livianas (LREE) por sobre las tierras raras pesadas (HREE).

Aunque el patrón general coincide, de todas maneras se pueden establecer diferencias entre las unidades. Los domos dacíticos centrales (Mmddc) y domos de la unidad Doms La Coipa (TOMdlc) presentan el mismo patrón con el mismo rango de valores de REEs. Los domos riolíticos (TEdr) se encuentran por debajo del patrón anterior con una curva más suave. Los pórfidos y diques riodacíticos (TEpr) son los que presentan los valores más altos de LREE, es decir, una mayor razón La/Yb, seguida por las muestras de los pórfidos dacíticos (TPpd). Finalmente los valores de las muestras paleozoicas están ligeramente por sobre el promedio de HREE y bajo el promedio en LREE lo que hace que la razón La/Yb no sea alta.

**(c) Rasgos tipo adakita:** La mayoría de las muestras estudiadas están en el campo de las adakitas (Fig. 5.9), con altas razones La/Yb y Sr/Y. Este rasgo también es observable en el diagrama de REEs (Fig. 5.8), donde se define una pendiente negativa pronunciada para la mayoría de las unidades. Las únicas dos unidades que escapan de la tendencia son las correspondientes a las rocas más antiguas (Paleozoico y Cretácico).

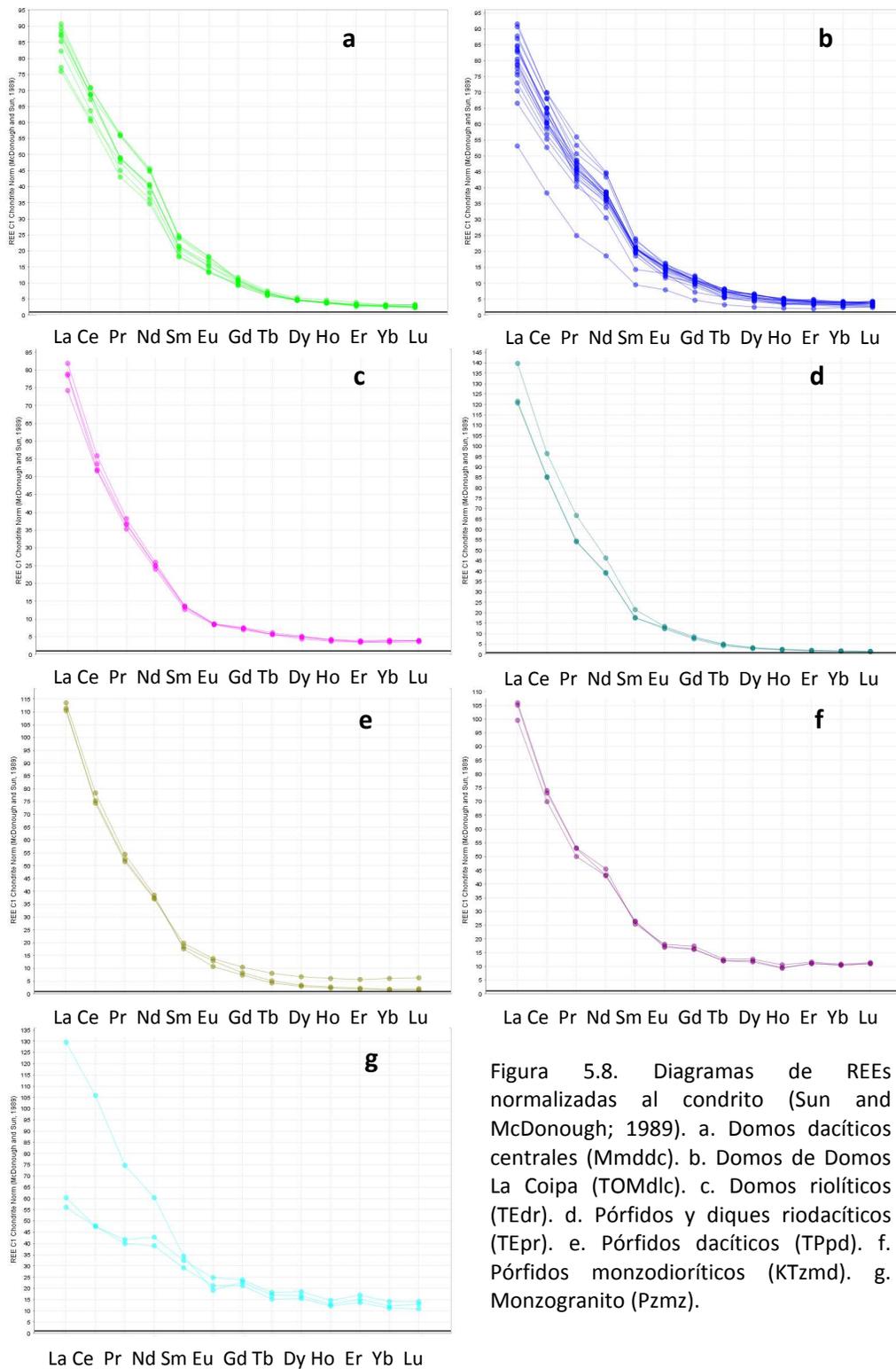


Figura 5.8. Diagramas de REEs normalizadas al condrito (Sun and McDonough; 1989). a. Domos dacíticos centrales (Mmddc). b. Domos de Domos La Coipa (TOMdlc). c. Domos riolíticos (TEdr). d. Pórfidos y diques riodacíticos (TEpr). e. Pórfidos dacíticos (TPpd). f. Pórfidos monzodioríticos (KTzmd). g. Monzogranito (Pzmz).

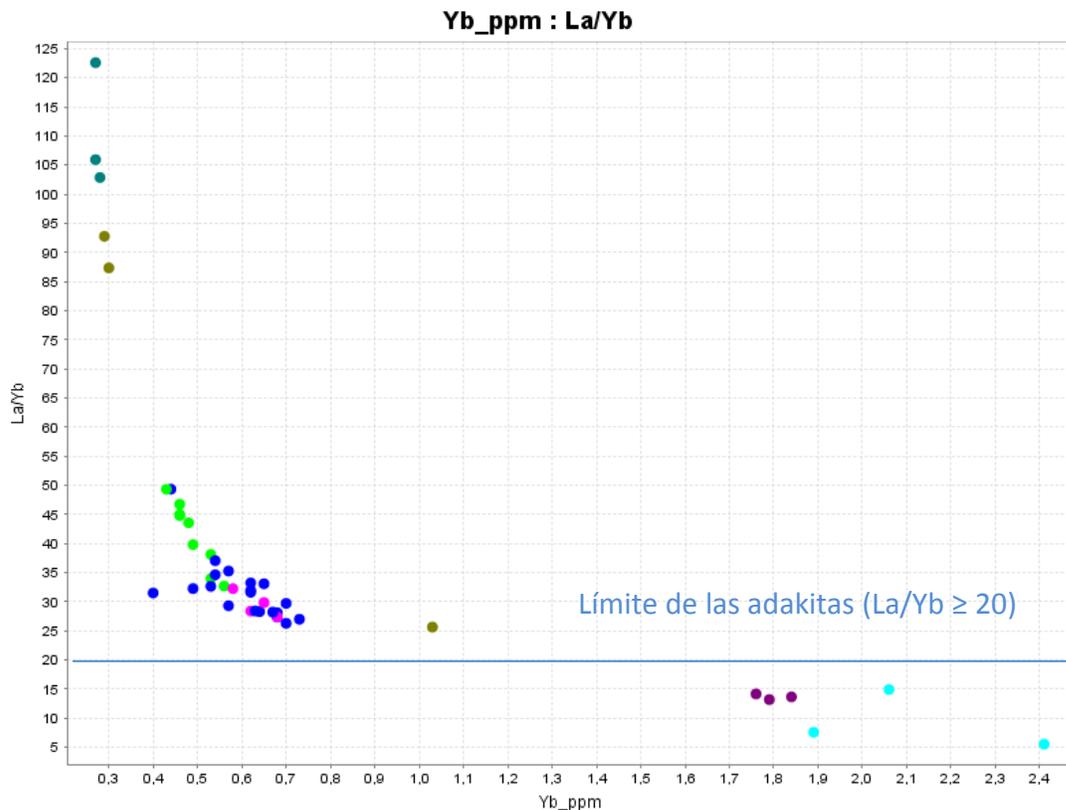


Figura 5.9. Diagrama La/Yb vs Yb. La razón  $La/Yb \geq 20$  indica rocas con una afinidad del tipo adakítico.

Las adakitas han sido definidas como rocas volcánicas e intrusivas con  $SiO_2 \geq 56$  wt%,  $Al_2O_3 \geq 15$  wt%,  $K_2O/Na_2O$  típicamente  $< 0,6$ . Los elementos traza permiten una mejor distinción entre magmas calcoalcalinos de arco típicos y adakíticos. Las adakitas tienen altos contenidos de Sr ( $>400$  ppm), la razón  $(La/Yb) > 20$  y La entre 40 a 150, el contenido de Y es bajo ( $< 19$  ppm), el contenido de HREE es muy bajo ( $Yb \leq 19$  ppm) y altas tasas  $Sr/Y > 40$ . Adakitas presentan fenocristales de plagioclasa zonada, anfíbola, biotita, apatito, titanita, circón y titanomagnetita. La presencia de adakitas en toda la región del circumpacífico es amplia. Claramente la mayoría de las muestras en estudio cumplen con estas características.

Varios autores proponen que las adakitas derivan de fusión parcial a altas presiones ( $\geq 1-1.2$  GPa) de corteza oceánica subductada o material básico bajo las placas a una profundidad mínima de 35 km.

#### (6) Tasas molares de elementos (PER y GER):

Para rocas alteradas, como las presentes en el distrito La Coipa, la geoquímica tradicional puede arrojar resultados no tan claros debido a que en procesos hidrotermales muchos elementos son altamente móviles. Por ejemplo en los diagramas Harker, un proceso de transferencia de material tendrá diferentes efectos en el diagrama, por lo que no es posible de distinguir. Esta sección presenta resultados obtenidos con geoquímica de elementos inmóviles.

Para determinar que elementos han permanecido inmóviles, es decir, aquellos que a pesar del proceso y grado de alteración han sido conservados normalmente se grafican dos elementos. Tres hipótesis deben ser cumplidas: (1) el elemento del eje X debe ser conservado, (2) el elemento del eje Y debe ser conservado y (3) las rocas derivan del mismo "magma". Fácilmente se puede determinar que elementos han permanecido inmóviles, ya que formarán una tendencia lineal ( $r=0.9-0.99$ ) que idealmente pasará

por el origen. Hay que evitar elementos que tengan un coeficiente de partición similar, por ejemplo, K-Rb o Zr-Hf.

Generalmente se utilizan los siguientes elementos (u óxidos) para probar inmovilidad: Zr,  $TiO_2$ , Y, Nb y  $Al_2O_3$ .

Las rocas del distrito corresponden a un sistema magmático de alto contenido en  $SiO_2$ . Estos sistemas son más complejos que aquellos que envuelven magma basáltico debido a que procesos como fraccionamiento, mezcla de magmas, cristalización fraccionada, asimilación y el grado de fusión parcial en el manto deben ser considerados.

Bradshaw (1992) demostró que el Zr permanece inmóvil en este tipo de ambiente debido a que el fraccionamiento del zircón puede ser suprimido por altas temperaturas de fusión e incremento en el contenido de volátiles. Por este motivo para este trabajo se prefirió la utilización de Zr como elemento inmóvil para la mayoría de los diagramas de tasas molares de Pearce (Fig. 5.10).

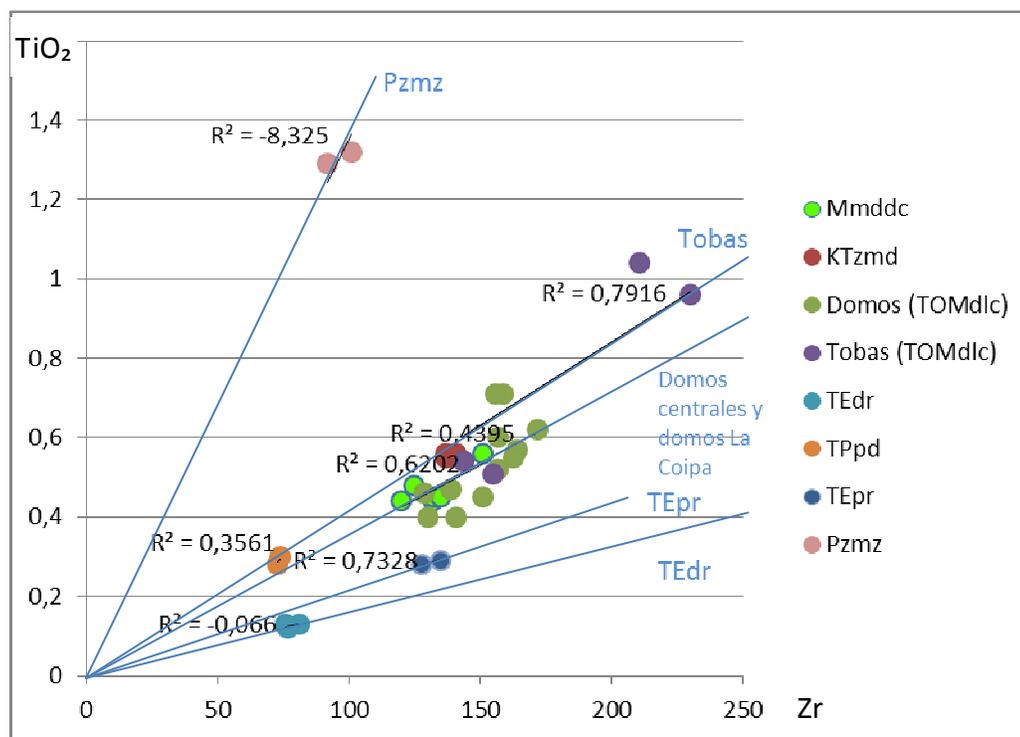


Figura 5.10. Gráfico Zr (ppm) vs  $TiO_2$  (wt%). Para todas las unidades fue graficada la recta que pasa por el origen y que interpola de mejor manera los datos junto con el valor de  $R^2$ . Las muestras paleozoicas, cretácicas, paleocenas y eocenas presentan poca cantidad de datos, por lo cual la recta y el valor de  $R^2$  no son representativos. Las muestras del Oligoceno - Mioceno y Mioceno Medio presentan relativamente buenos valores de  $R^2$  (entre 0,44 y 0,79, es decir, valores de R entre 0,66 y 0,88). Es importante indicar que la recta no necesariamente debe pasar por el origen, dado que los interceptos son un rasgo del magma inicial (Russell y Nicholls, 1988). En este caso los valores de  $R^2$  están en el rango de 0,5 y 0,88 (y los valores de R entre 0,7 y 0,93, bastante mejores). Mismos colores que la figura 5.2.

A partir del gráfico Zr vs  $TiO_2$  (Fig. 5.10) es posible observar algunas tendencias. Las muestras del Oligoceno y Mioceno (domos La Coipa y domos dacíticos centrales) constituyen una sola tendencia, es decir, posiblemente corresponden a parte de un mismo periodo volcánico (son rocas cogénéticas). Las tobas de la unidad domos La Coipa presenta una mayor dispersión asociado a la variabilidad geoquímica

de esta unidad. Es importante indicar que esto no es concluyente dado que muestras del Cretácico y del Paleoceno presentan una tendencia similar (obviamente es necesario un muestreo geoquímico en detalle y además una mejor resolución de la geocronología). Dos otros eventos son claramente reconocibles, el del Paleozoico y el del Eoceno.

A continuación se utilizará la metodología de las tasas molares como herramienta adicional para la exploración.

**(a) Diagrama de alteración de rocas volcánicas para depósitos epitermales:** Es un gráfico utilizado para evaluar el grado de alteración hidrotermal en depósitos epitermales (principalmente de baja sulfuración) en donde la zona con mayor ley se caracteriza por presentar valores más altos de potasio. Rocas alteradas hidrotermalmente afectadas por un metasomatismo potásico estarán caracterizadas por una ganancia de K y generalmente por una pérdida de Na y Ca. Lo que se compara en este gráfico son las tasas molares  $(2Ca+Na+K)/Al$  versus  $K/Al$ , siendo posible comparar la composición secundaria de las rocas con la de minerales de alteración típicos definiendo líneas de tendencias de alteración, desde rocas frescas a rocas alteradas.

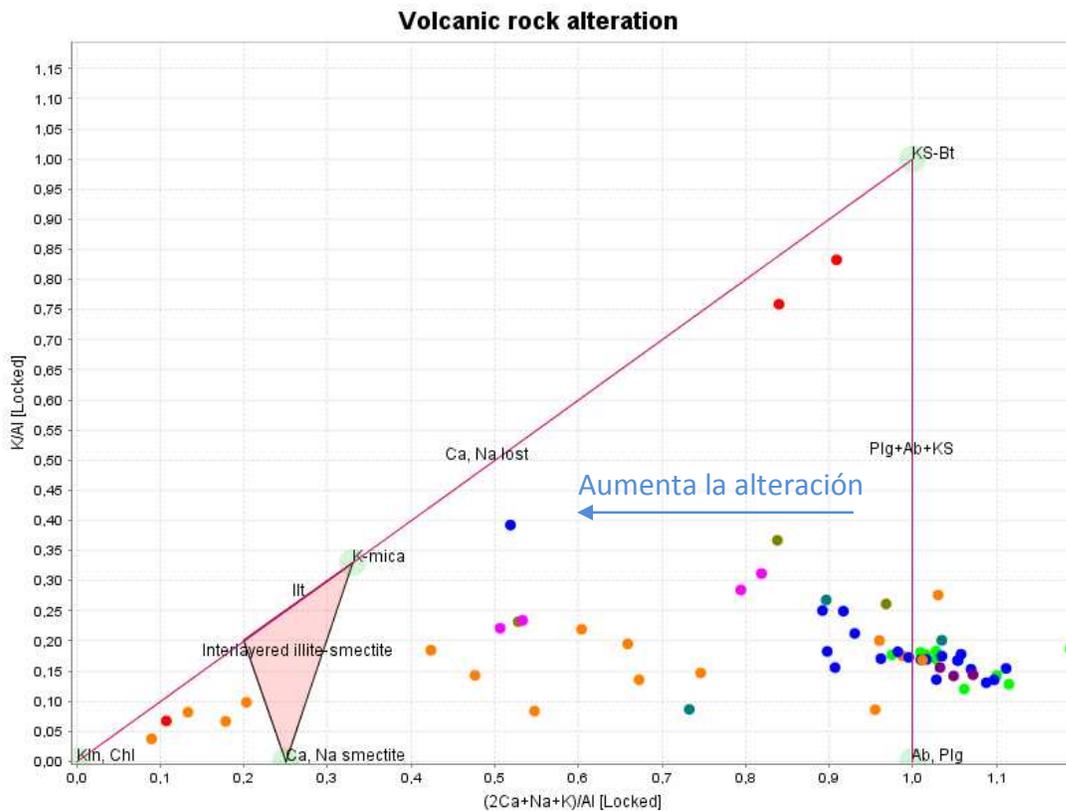


Figura 5.11. Diagrama de alteración para distritos epitermales (Warren et al., 2007). La composición de algunos minerales de alteración aparece en el gráfico. Colores de las unidades en la figura 5.2, además se agregaron muestras de brechas freáticas (en rojo) y muestras de tobas de la unidad Domos La Coipa (en naranja).

De la figura 5.11 puede observarse que los domos de la unidad Domos La Coipa (TOMdlc) y domos dacíticos centrales (Mmddc) se encuentran cercanos a la recta definida por plagioclasa + albita + feldespato potásico, lo que coincide con la escasa alteración que presentan. Las tobas (TOM), ampliamente distribuidas en el distrito, presentan una tendencia desde el campo pl + ab + kfd hasta el

campo de las arcillas. Se puede observar en la figura 5.12 que las muestras con mayor alteración corresponden a las obtenidas en el sector de Pompeya y Purén Sur, además de un par de muestras obtenidas al sur de Maritza y al sur del distrito.

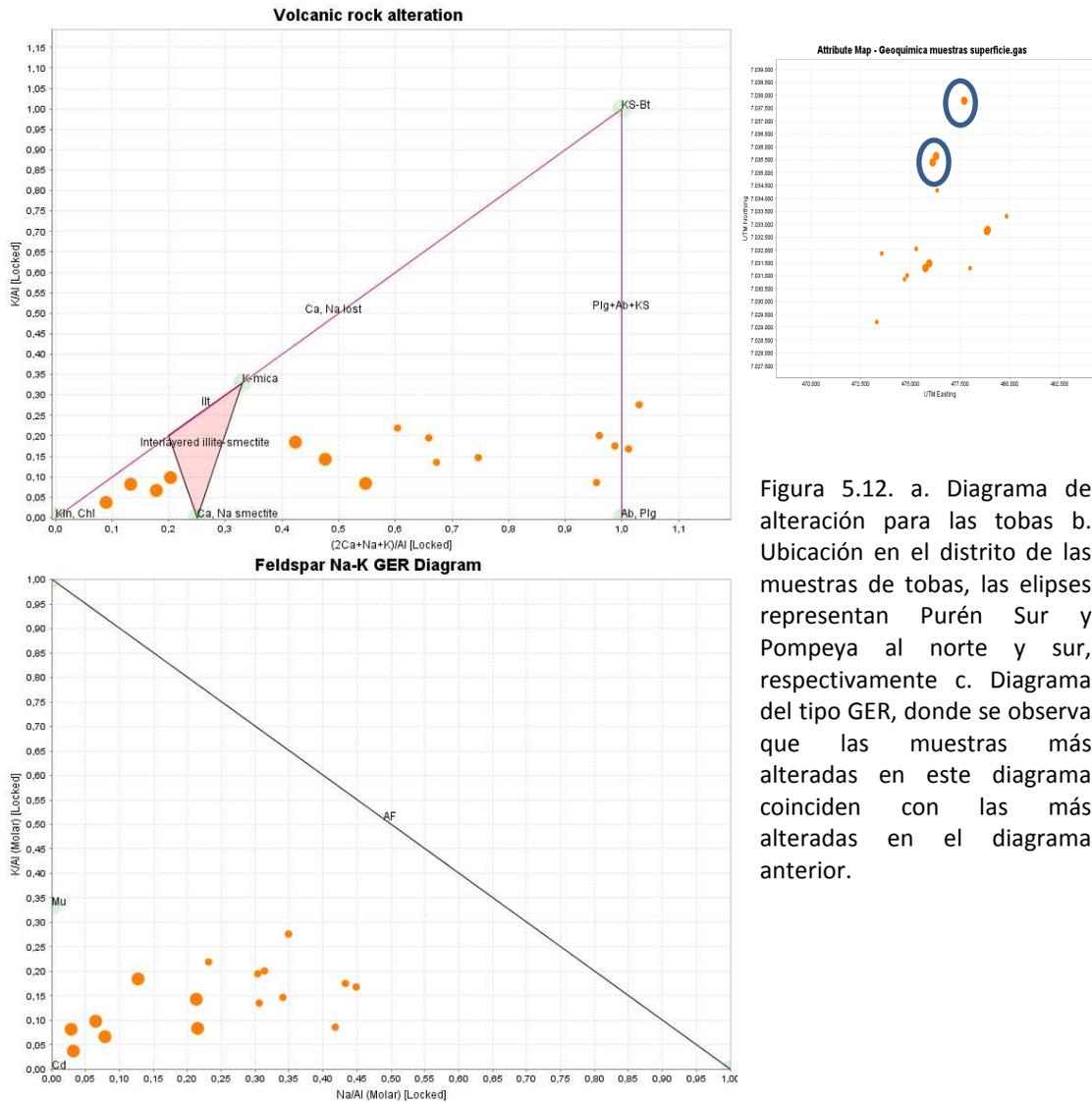


Figura 5.12. a. Diagrama de alteración para las tobas b. Ubicación en el distrito de las muestras de tobas, las elipses representan Purén Sur y Pompeya al norte y sur, respectivamente c. Diagrama del tipo GER, donde se observa que las muestras más alteradas en este diagrama coinciden con las más alteradas en el diagrama anterior.

Este diagrama resulta bastante útil ya que las muestras con poca alteración (domos) plotean cerca de la recta de los minerales formadores de roca, mientras que para el caso de las tobas (donde la alteración es compleja de evidenciar) las muestras que están más alteradas concuerdan con la ubicación de zonas con mineralización conocida.

**(b) Diagrama de control de feldespato Na - K:** Es un diagrama del tipo GER (General Element Ratio) creado por Stanley. Al ser un diagrama GER, se ocupan tasas molares pero sin elementos conservados. Generalmente se ocupan donde no existe evidencia que algún elemento haya sido conservado, el denominador puede ser un solo elemento, o una combinación lineal de elementos. En este gráfico los minerales plotean en diferentes ubicaciones, las muestras que se mueven hacia un nodo presentaran

mayor abundancia de ese mineral en la roca. Una “tie-line” puede ser establecida entre rocas alteradas e inalteradas.

Los domos (TOM) y domos dacíticos centrales se encuentran entre la recta y la tendencia moscovita-cordierita (Fig. 5.13). Para el caso de las tobas, (Fig. 5.12) las muestras que escapan de la línea de tendencia de kF - Ab coinciden con las muestras más alteradas en el diagrama para depósitos epitermales.

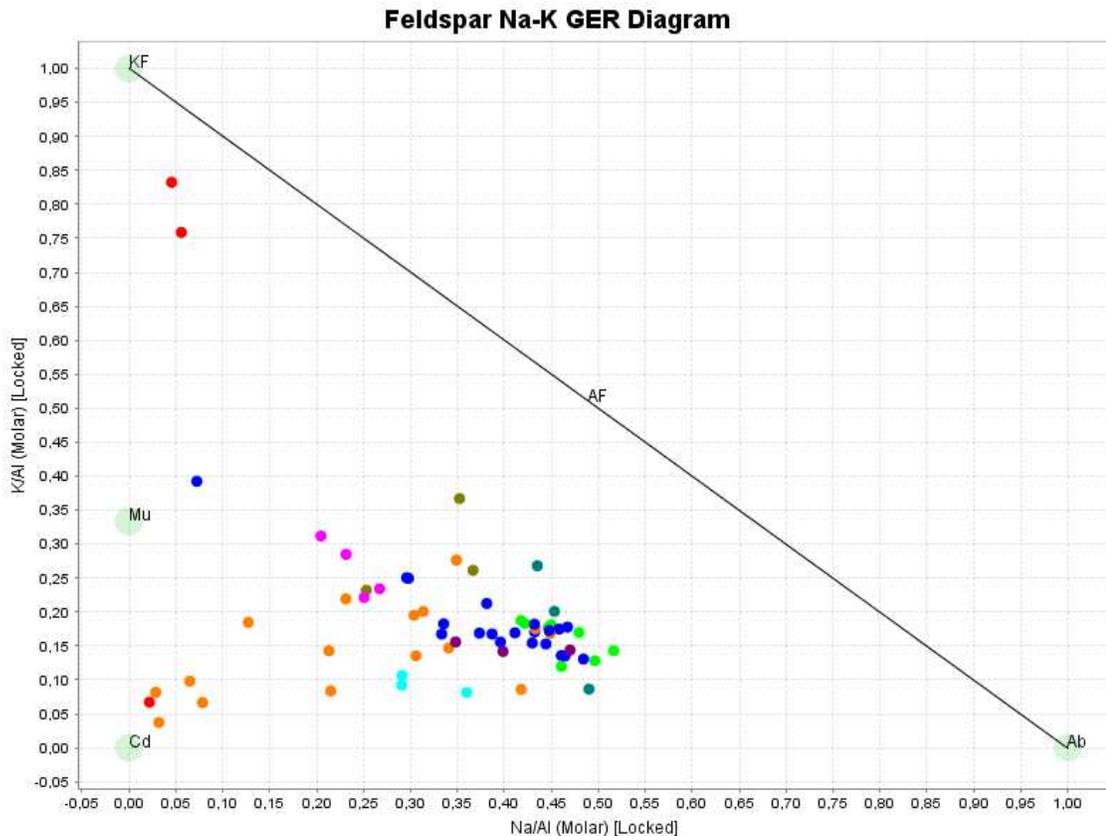


Figura 5.13. Diagrama tipo GER con feldespato Na - K, moscovita y cordierita como minerales de control (Stanley y Madeisky, 1996). Colores de las unidades en la figura 5.2.

**(c) Diagrama PER (albita – moscovita – aluminosilicatos):** Es un diagrama del tipo PER (Pearce Element Ratio), es decir, el denominador es un elemento conservado. AB corresponde a la línea de control de la albita. Moscovita y aluminosilicatos plotean a lo largo del eje x. Anortita y feldespato potásico no tienen efecto en la ubicación de la muestra (está proyectado desde estos minerales).

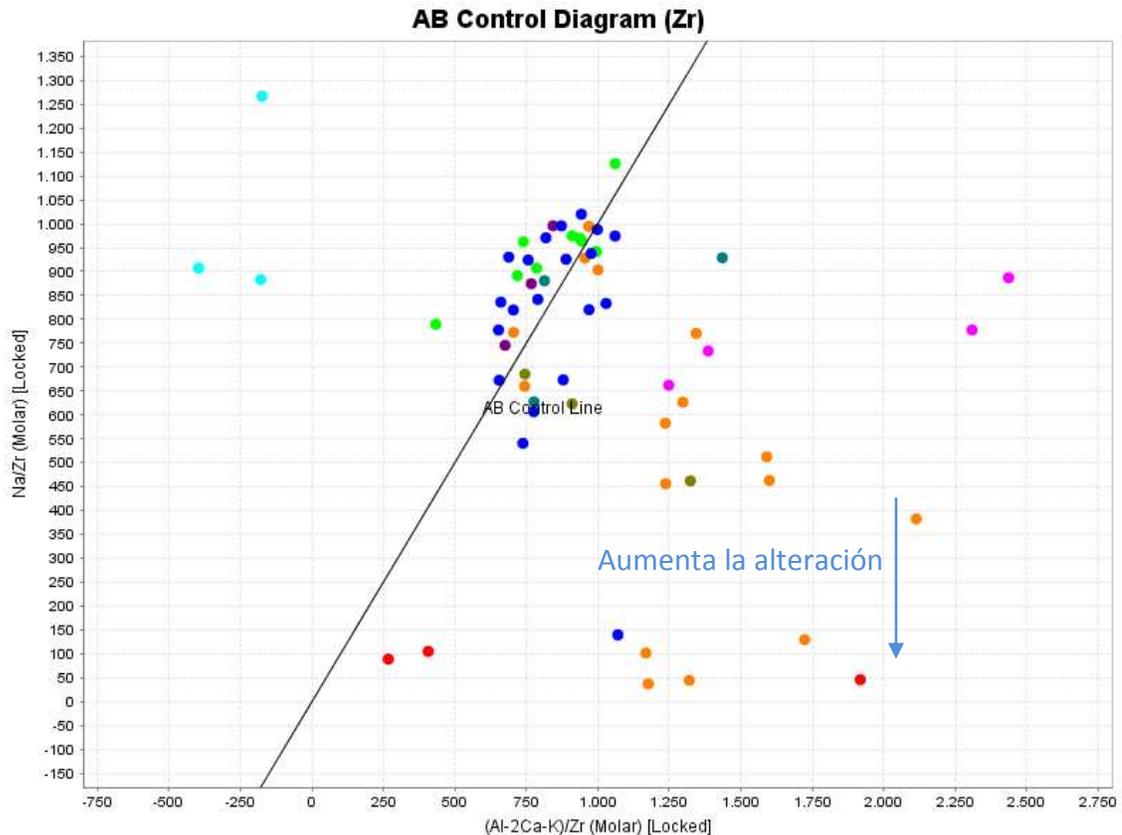


Figura 5.14. Diagrama PER siendo las fases importantes la albita, moscovita y aluminosilicatos (Stanley y Madeisky, 1996). Colores de las unidades en la figura 5.2.

En este diagrama las muestras más alteradas deberían plotear cercanas al eje x, mientras que muestras inalteradas deberían plotear cerca de la línea de control AB. Los domos de La Coipa y los domos dacíticos centrales (Fig. 5.14) en general se encuentran en torno a la recta AB. Como es de esperarse las muestras de una misma unidad no plotean en el mismo punto, esto se debe principalmente a procesos magmáticos (Fig. 5.14).

Las tobas presentan una distribución heterogénea en el diagrama (Fig. 5.14). Las muestras cercanas al eje x (más alteradas) son las mismas que destacan en los diagramas: alteración de rocas volcánicas para depósitos epitermales y de control de feldespato Na-K.

**(d) Diagrama PER (albita – feldespato potásico):** Las fases relevantes en este diagrama son la albita y el feldespato potásico. La línea de control de la albita (AB) está representado por el eje x y línea de control del feldespato (KF) por el eje y. La anortita no tiene efecto en la posición de la muestra (diagrama proyectado desde este mineral). Las rocas más alteradas deberían plotear cercanas al origen (con el supuesto que la litología inicial está conformada por feldespato potásico y albita). Esto se observa bastante bien para las tobas (Fig. 5.15).

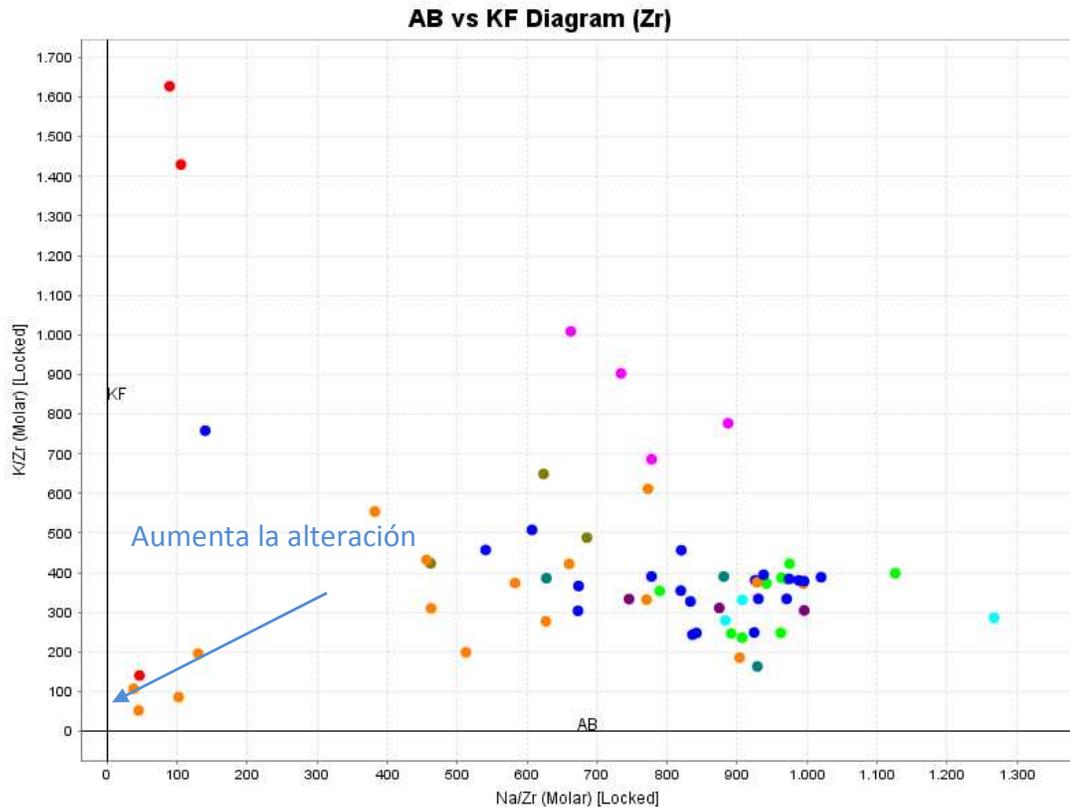
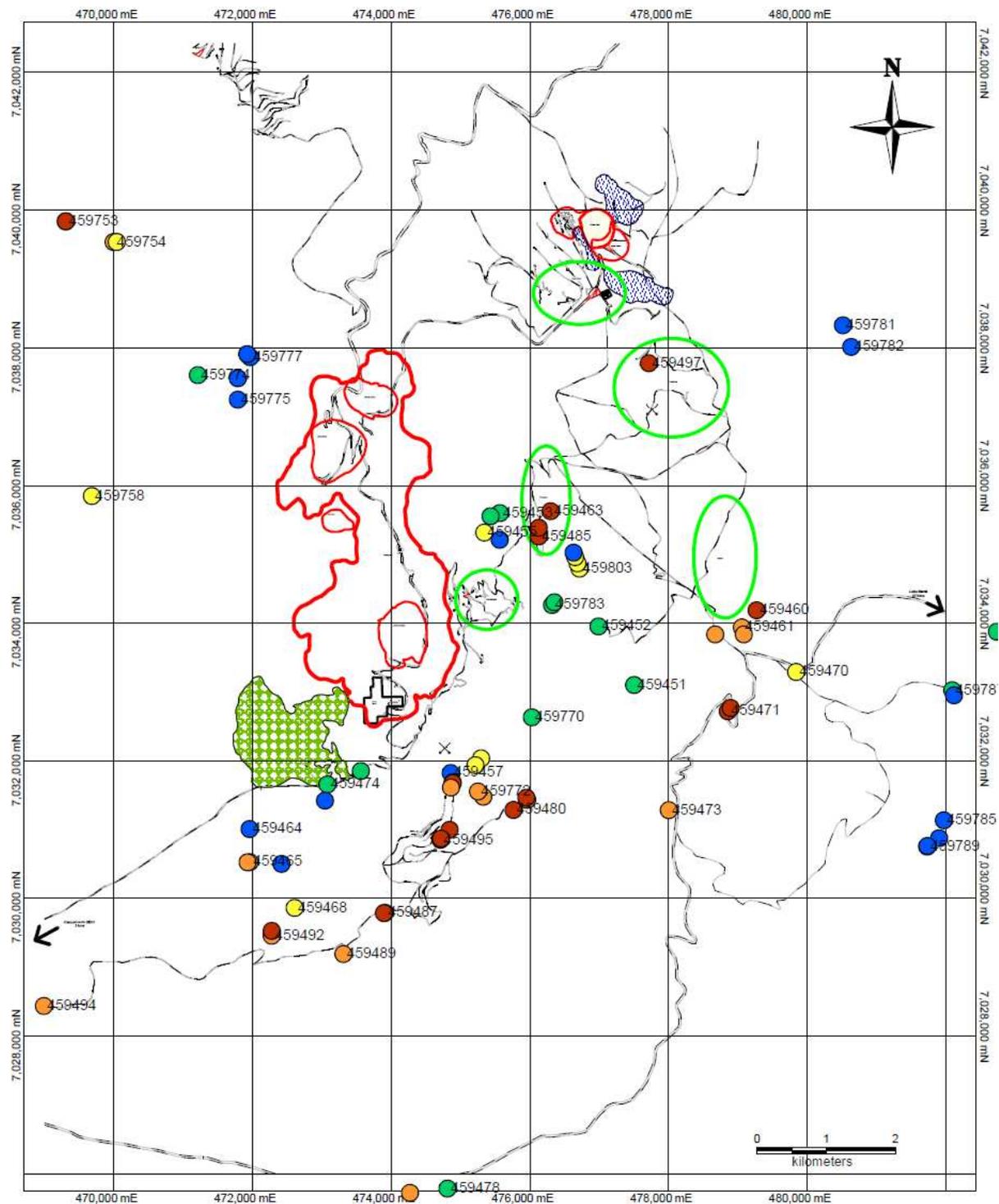


Figura 5.15. Diagrama PER siendo las fases importantes la albita y el feldespato potásico (Stanley y Madeisky, 1996). Colores de las unidades en la figura 5.2.

### (7) Índice de Alteración:

En el diagrama PER (albita – moscovita – aluminosilicatos; Fig. 5.14) las muestras inalteradas se concentran en torno a la recta con pendiente 1, mientras que las muestras más alteradas tienden a concentrarse en torno al eje x. A partir de esto, es posible generar un índice de alteración como la división del eje y por el eje x, es decir,  $IA = Na/(Al-2Ca-K)$ , siendo los valores cercanos a 0 los que representan las rocas más alteradas y los cercanos a 1 a las rocas menos alteradas (Fig. 5.16).

La figura 5.17 presenta diferentes diagramas de variación para el Ca, Na, Al y K respecto al índice de alteración. Se puede observar que para el Ca y Na existe una variación uniforme respecto al índice de alteración, entre mayor es el índice de alteración, menor es el contenido de calcio. Para el caso del Al y K se observa un quiebre en  $IA \sim 65$ , este quiebre puede explicarse con el hecho que rocas con  $IA < 65$  están muy poco alteradas (prácticamente inalteradas) entonces evidencian el comportamiento de los elementos sufridos durante los procesos de diferenciación magmática, mientras que rocas con  $IA > 65$  evidencian el comportamiento debido a la alteración. Si se observa de esta forma, se pueden obtener las siguientes conclusiones: el contenido de Ca disminuye globalmente, pero a partir de  $IA \sim 65$  la disminución es menos pronunciada, esto debido a un proceso de aporte (leve) de Ca a las rocas durante la alteración, pero no tan fuerte como para cambiar la pendiente de variación. El Na presenta un comportamiento similar, con una disminución global, pero acentuándose después del  $IA \sim 65$ , lo que se explica por una lixiviación de Na durante los procesos hidrotermales. El Al presenta un comportamiento totalmente opuesto, y esto se debe a que a mayor intensidad de la alteración el contenido de Al aumenta. K presenta un comportamiento claramente diferente a ambos lados de  $IA \sim 65$ . A bajos valores de IA, es creciente, mientras que a altos valores, es decir cuando existe mayor alteración, el contenido de K disminuye asociado a una lixiviación de la roca.



**Índice de alteración**

- 75 to 100 (18)
- 56 to 75 (16)
- 45 to 56 (10)
- 38 to 45 (13)
- 0 to 38 (18)

Figura 5.16. Mapa de índice de alteración (IA). El índice de alteración se calculó en base a las proporciones molares de Na, Al, Ca y K. Para cada muestra se calculó  $IA = Na/(Al-2Ca-K)$ , teniendo en cuenta que valores muy bajos indican las rocas más alteradas, finalmente se normalizó todo a un valor porcentual, en donde el 100% representa la roca más alterada. Como puede observarse las muestras de superficie más alteradas coinciden con zonas mineralizadas conocidas (Pompeya, Purén Sur, Maritza).

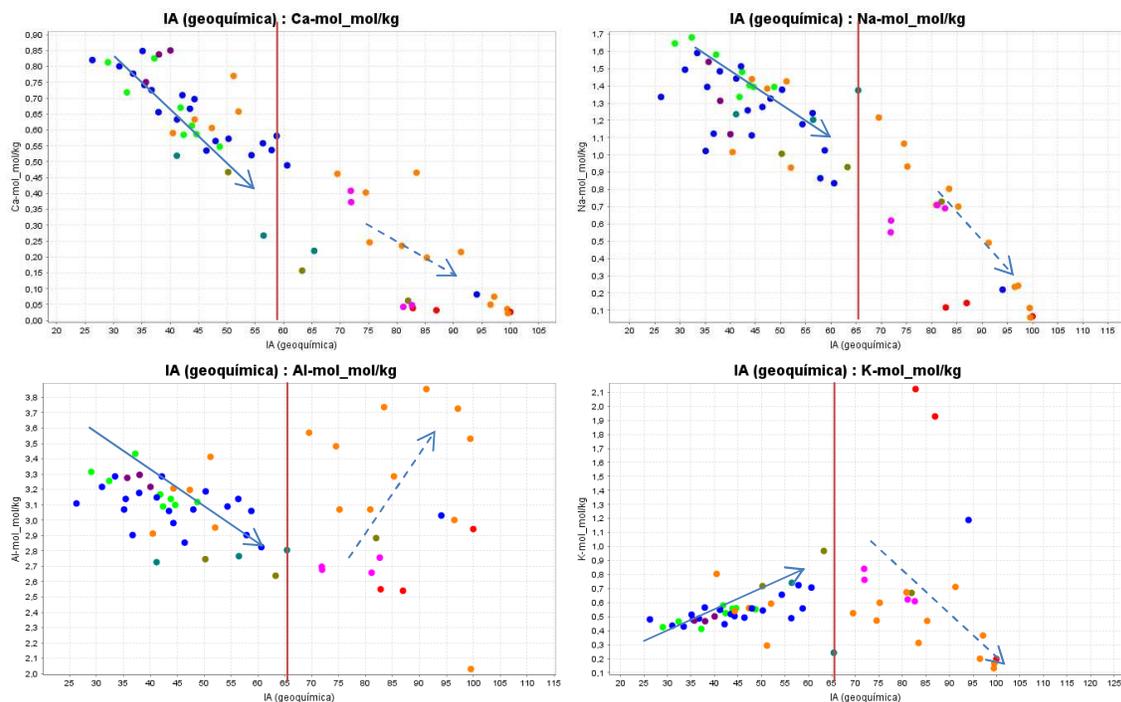


Figura 5.17. Diagramas de variación del Ca, Na, Al y K respecto al índice de alteración. Colores de las unidades en la figura 5.2.

### 5.3.2 GEOQUIMICA DE MUESTRAS DE SONDAJE

La siguiente sección presenta los resultados obtenidos para muestras de sondajes (Pompeya, Purén Sur y Brecha Norte). Los datos obtenidos de laboratorio pueden revisarse en el Anexo 4.

#### Diagramas de clasificación:

Dado que la mayoría de los diagramas de clasificación fueron ideados para rocas inalteradas, los resultados obtenidos a partir de estos no son muy claros. Por ejemplo en el diagrama AFM, la mayoría de las muestras plotea en el campo toleítico asociado a un exceso de Fe producto de la mineralización.

**(1) Diagrama Jensen y TAS:** El único diagrama de clasificación de rocas que tiene sentido realizar es el diagrama de Jensen. Este diagrama fue creado para clasificar rocas volcánicas subalcalinas, la teoría detrás de este diagrama es muy simple. Cationes de Al, Mg, Ti y Fe son seleccionados como los ápices del diagrama ternario debido a su estabilidad en rocas volcánicas, dado que son menos susceptibles a migración química.

Aunque el diagrama Jensen (Fig. 5.18) tiene más sentido teórico para clasificar estas rocas que el diagrama AFM, los resultados siguen siendo poco claros. En general las rocas son clasificadas como toleíticas, debido a un exceso de Fe producto de la alteración.

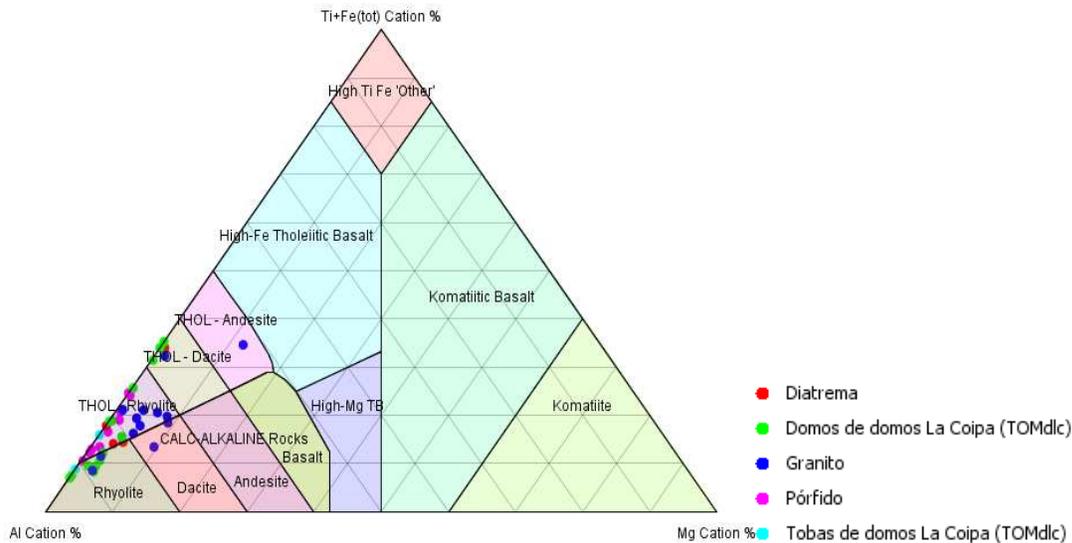


Figura 5.18. *Izquierda*. Diagrama de Jensen para las muestras de sondaje. *Derecha*. Nomenclatura de colores utilizada para las diferentes unidades observadas en sondajes.

También fue realizado un diagrama TAS para rocas volcánicas, principalmente para determinar una estimación de su composición (Fig. 5.19). De acuerdo a este diagrama las muestras correspondientes a domos que forman parte de la unidad Domos La Coipa (TOMdlc) son de composición dacítica (igual que las muestras inalteradas) aunque hay un subgrupo que clasifica como basalto-andesita debido a la alteración. Las muestras del “granito” de Brecha Norte corresponden principalmente a dacitas, aunque es importante indicar que estas muestras se presentaban muy alteradas. Finalmente las muestras del pórfido de Pompeya presenta una gran variación respecto al contenido de sílice, desde basalto-andesita hasta dacita.

## (2) Tasas molares de elementos (PER y GER):

Un análisis similar al realizado en las muestras de superficie fue realizado a las muestras de sondaje. Cuatro diferentes tipos de diagramas (Fig. 5.20) fueron realizados para determinar el grado de alteración de cada muestra. Comparadas con las muestras en superficie, las de sondaje presentan mayor grado de alteración, como es de esperarse.

Existe una amplia similitud en todos los diagramas (Fig. 5.20), por ejemplo, las muestras más alteradas en los domos de Domos La Coipa (TOMdlc) y “granito” de Brecha Norte del diagrama de alteración para rocas volcánicas (Fig. 5.20a) son las con más alteración indicadas en los otros tres diagramas.

Al igual como se hizo para el caso de las muestras en superficie, se creó un índice de alteración para muestras de sondaje y se observó como variaba la concentración de algunos elementos en las muestras respecto a la alteración que estas presentan (Fig. 5.21). A diferencia de los quiebres observados en las muestras de superficie aquí no se observa esta variación sino que solo un patrón continuo, esta diferencia se debe a que todas las muestras están alteradas y no existe un quiebre entre rocas alteradas e inalteradas como en el caso de las muestras de superficie.

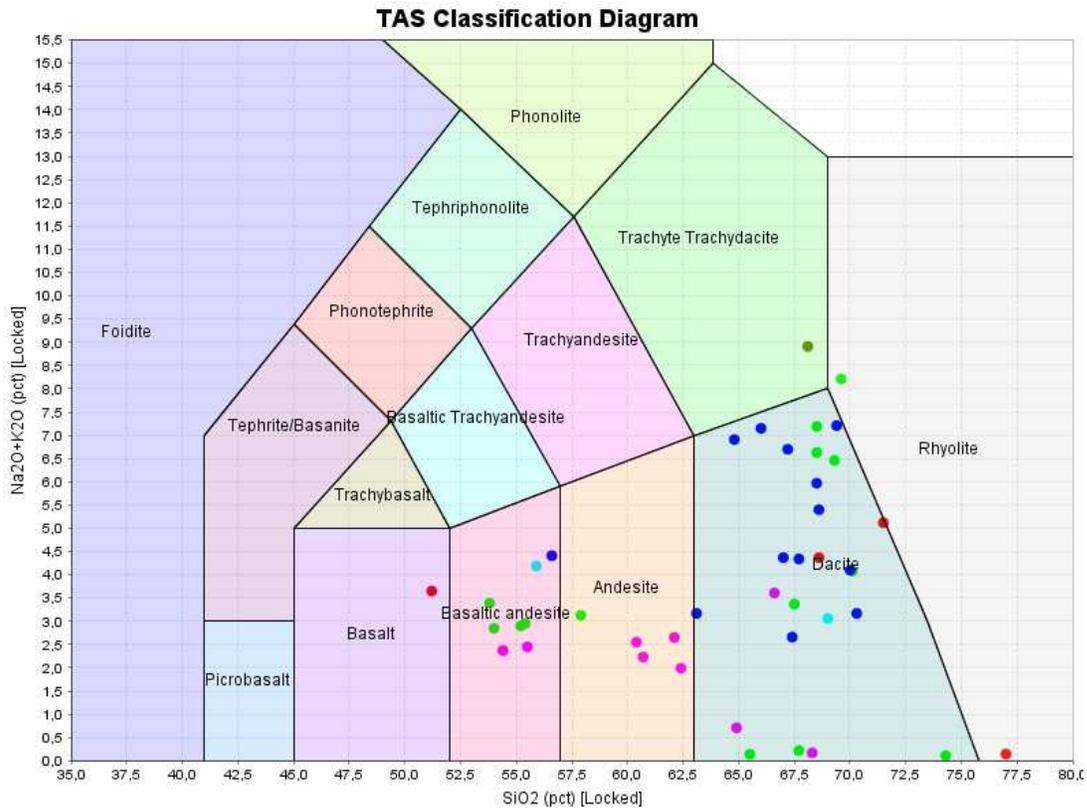


Figura 5.19. Diagrama TAS para las muestras de sondaje. Mismos colores que la figura 5.18.

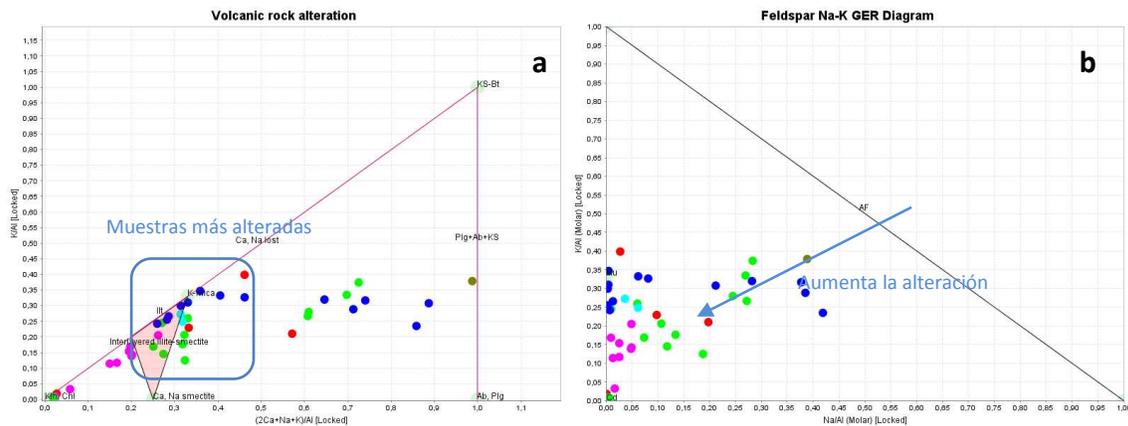


Figura 5.20. Diferentes diagramas tipo PER y GER para las muestras de sondajes. a. Diagrama de alteración para rocas volcánicas para depósitos epitermales, en donde las rocas más alteradas se concentran en torno al campo de la composición illita-esmedtita. b. Diagrama tipo GER con línea de control del feldespato Na-K

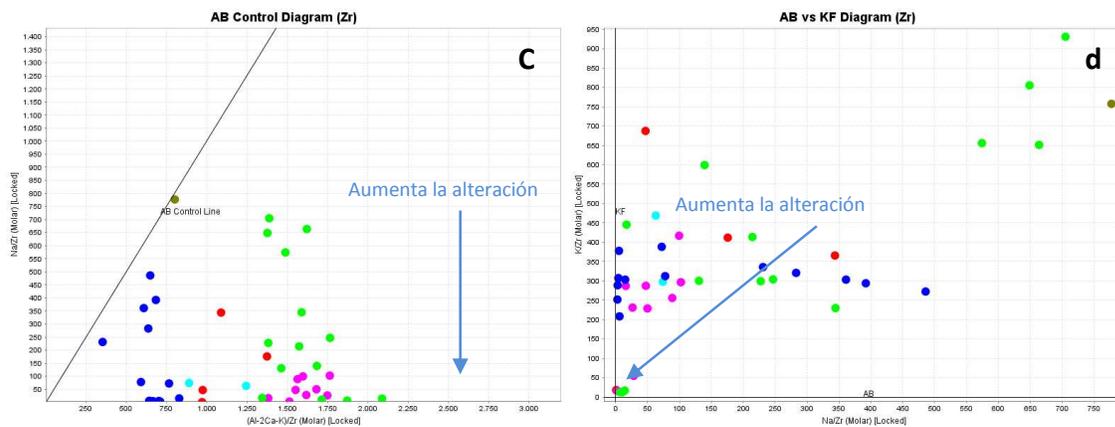


Figura 5.20 (continuación) c. Diagrama tipo PER con línea de control de la albita. d. Diagrama tipo PER con dos líneas de control, el feldespato potásico y la albita. En el diagrama a se indica el área con las muestras más alteradas y en los otros tres diagramas se muestra la dirección en la cual aumenta el grado de alteración. Mismos colores que la figura 5.18.

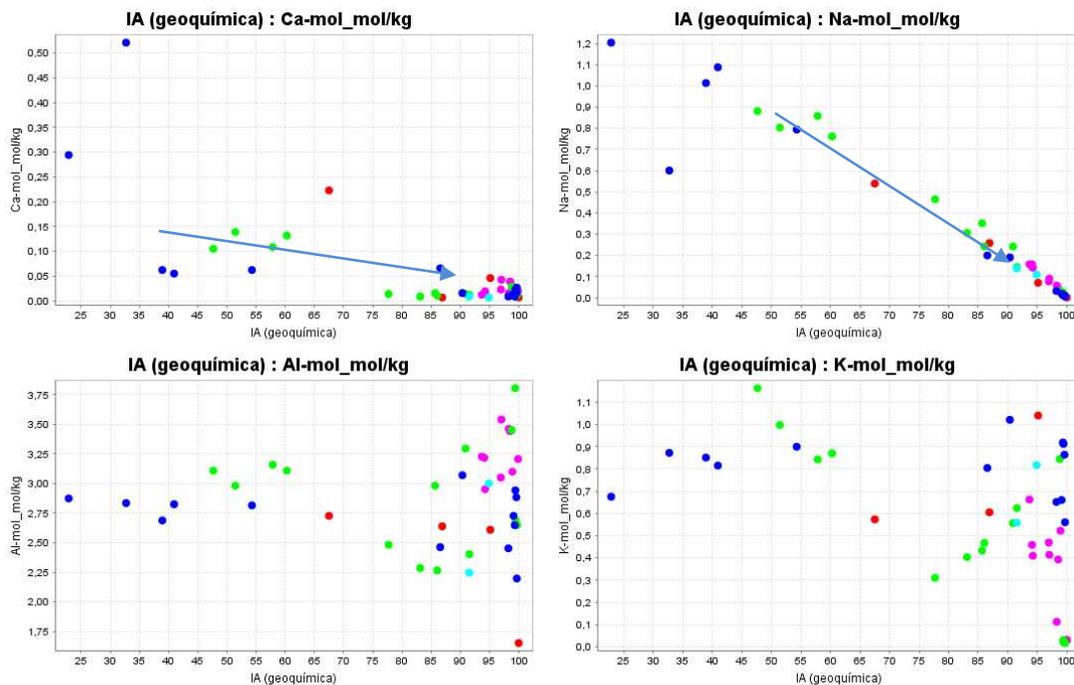


Figura 5.21. Diagramas de variación del Ca, Na, Al y K respecto al índice de alteración. Mismos colores que la figura 5.18.

## 6 DISCUSIONES

En los capítulos previos fueron presentados los resultados obtenidos en este trabajo junto con un breve análisis acerca de estos. En esta sección se profundizan los resultados obtenidos mediante geoquímica de tasas molares de elementos, se dan algunos antecedentes del porqué resulta útil esta metodología y también algunas recomendaciones.

Varios trabajos publicados han utilizado tasas molares de elementos como metodología para la exploración. Dentro de estos se encuentran Benavides et al. (2008), Urqueta et al. (2009) y Booden et al. (2011). Benavides et al. (2008) en el área de Mantoverde concluyeron que la metodología de tasas molares es útil para programas de exploración regional para depósitos IOCG en ambiente hiperárido. En el distrito de Collahuasi, Urqueta et al. (2009) utilizaron esta metodología encontrando que las zonas anómalas coinciden con las zonas mineralizadas ya conocidas. Finalmente Booden et al. (2011) en depósitos epitermales de baja sulfuración en Waitakauri, Nueva Zelanda, lograron demostrar que esta metodología resulta más útil que la geoquímica tradicional, ya que los “pathfinders” típicos de Au como lo son el As, Sb y Hg definen anomalías hidrotermales locales (muy cerca de la zona mineralizada) pero el balance de masa mediante tasas molares de elementos logra descifrar de mejor manera los procesos hidrotermales que actuaron y de esta manera resulta una mejor herramienta para la exploración. De todo esto es posible concluir que existe evidencia que esta metodología resulta muy útil para exploración independiente del tipo de depósito que se busque (pórfidos, IOCGs, epitermales, etc.) dado que refleja de manera coherente los procesos hidrotermales sufridos por las rocas.

Lo realizado en el distrito La Coipa apunta en el sentido del párrafo anterior, es decir, utilizar las tasas molares de elementos como herramienta adicional de exploración en el distrito. Para mejorar los resultados obtenidos, varias observaciones deben ser realizadas: (i) la cantidad de muestras es insuficiente, sobre todo para determinar la inmovilidad de algunos elementos para los diagramas PER, (ii) ligado a lo anterior sería interesante tomar muestras de sondajes (con mineralización en profundidad) de los primeros metros del bloque oeste para tener una mayor base de datos y conocer el patrón geoquímico existente en superficie que bajo ella presenta mineralización, y finalmente (iii) realizar un control de calidad de los datos (QAQC).

Actualmente los esfuerzos de exploración en el distrito se concentran en el bloque oriental, asociado al nuevo descubrimiento Pompeya y posiblemente en el futuro a los prospectos Purén Sur, Purén West y Maritza. A partir de este trabajo, mediante un índice de alteración creado a partir de geoquímica de tasas molares, fue posible observar anomalías en todas las zonas cercanas a la mineralización conocida (Fig. 6.1) y además identificar una nueva zona de interés, evidenciando la utilidad de esta metodología.

La nueva zona (círculo en amarillo en la Fig. 6.1) presenta una serie de características interesantes que hacen necesario un trabajo en detalle en el sector.

- Es la continuidad hacia el sur del bloque oeste del distrito (el cual tiene las minas Ladera – Farellón, Can Can, Brecha Norte y Coipa Norte).
- Presenta altos valores de índice de alteración (mediante la metodología de tasas molares de elementos). Valores tan altos como los obtenidos en las cercanías de Purén West, Pompeya y Maritza.
- Existen labores inmediatamente al norte realizadas por pirquineros (Mina Vieja).
- La zona presenta una gran anomalía de color (esta cubierta por tobas de lapilli –TOMdlc6- lo mismo que pasa con gran parte del bloque oriental; Fig. 6.1).

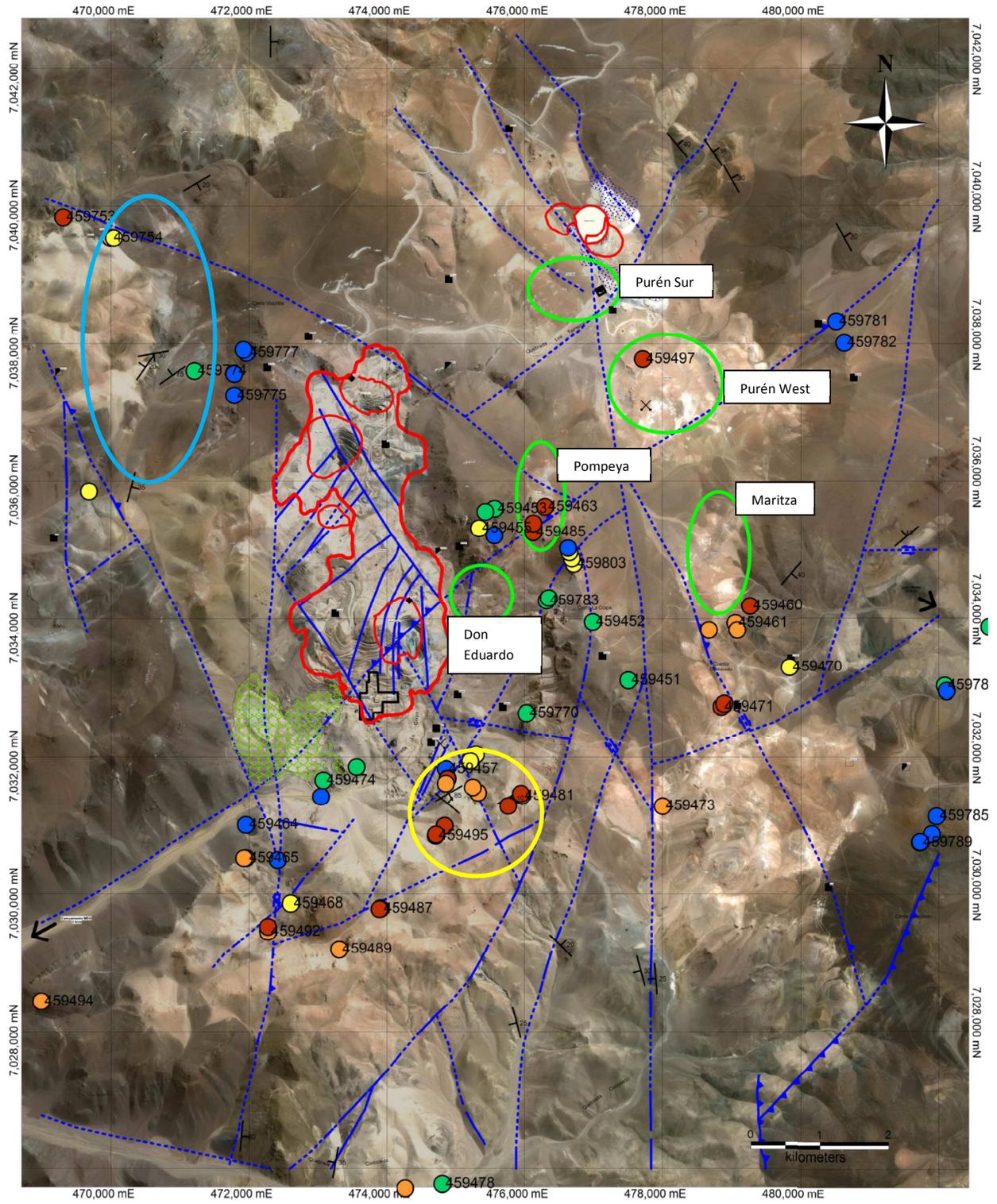
- Presenta un domo el cual se encuentra cortado por una estructura (Fig. 6.2) la cual generó una gran oxidación en la unidad (Fig. 6.3). Este domo presenta todas las características de los domos La Coipa pero cortado por un intenso stockwork de cuarzo gris (Fig. 6.4; muestras 459771, 459772 y 459773).
- Cercano a este sector se obtuvo un par de muestras con altos valores de plata (Fig. 6.5; el más alto de 40 ppm; muestra 459752).
- Gran cantidad de brechas freáticas lo que indica que el sistema hidrotermal estuvo activo en la zona (Fig. 6.6; muestras 459487 y 459488).

Lo interesante de esta zona es que escapa del modelo de mineralización conocido para La Coipa ya que presenta características tipo pórfido con una superposición (“telescoping”) epitermal (brechas freáticas al oeste y ledges de vuggy silica en la Mina Vieja inmediatamente al norte). De esta manera el stockwork se asemejaría a las vetillas de cuarzo bandeado descritas por Muntean y Einaudi (2001), esto por la oscuridad de las bandas que refleja la presencia de abundantes inclusiones fluidas ricas en vapor y sulfuros de tamaño micrométrico (posiblemente no se observan “bandeadas” dado a un solo evento de relleno de las vetillas). Si lo anterior fuese correcto, no hay que descartar que la mineralización se extienda en profundidad con vetillas tipo A (Muntean y Einaudi, 2001) en un ambiente tipo pórfido de Au.

Posiblemente posterior al evento de stockwork ocurrió algo de exhumación con un episodio posterior epitermal (“telescoping”) asociado a las brechas freáticas y ledges con vuggy encontrados en las cercanías. De todas maneras la presencia de vetillas de cuarzo gris, sin vetillas tipo A, indicaría que el sistema tipo “pórfido” (si es que existe) no ha sido erodado completamente.

Con estos antecedentes se hace necesario mayor cantidad de trabajo geológico en el sector como también uso de geoquímica tradicional, principalmente para obtener leyes de Au ya que la geoquímica de roca total no las entrega.

Finalmente se hace recomendable realizar mayor trabajo geológico en el sector noroeste del distrito (elipse azul en la Fig. 6.1) dado que en ese sector continúan aflorando los domos La Coipa y el sistema hidrotermal puede extenderse en esta dirección (es evidente que existe una relación entre el sistema hidrotermal con el sistema magmático Oligoceno – Mioceno y además existe una gran cantidad de estructuras en el sector).



Índice de alteración

- 75 to 100 (18)
- 56 to 75 (16)
- 45 to 56 (10)
- 38 to 45 (13)
- 0 to 38 (18)

Figura 6.1. Mapa de índice de alteración (IA). Ver procedimiento de cálculo de índice de alteración en la Fig. 5.16. Se destacan las zonas con mineralización conocida en el bloque oriental y en polígono en rojo las zonas mineralizadas del bloque oeste (Ladera –Farellón, Can Can, Coipa Norte y Brecha Norte). En amarillo zona que necesita revisión a más detalle (ver texto). Elipse azul continuidad de los domos La Coipa.



Figura 6.2. Domo afectado por un intenso stockwork de cuarzo. En la imagen es posible observar una estructura de sentido NW (la cual se extiende en dirección a las minas del bloque oeste; Fig. 2.1). Notar el grado de oxidación del afloramiento.



Figura 6.3. Afloramiento del domo. Es posible observar la gran intensidad del vetilleo, el cual presenta gran oxidación.



Figura 6.4. Muestras de domo dacítico (asociado a la unidad domos La Coipa) el cual se encuentra con un intenso stockwork de cuarzo gris.



Figura 6.5. Dique dacítico cortando a las tobas de cristales (TOMdlc4) el cual presenta altos valores de Ag (hasta 40 ppm).

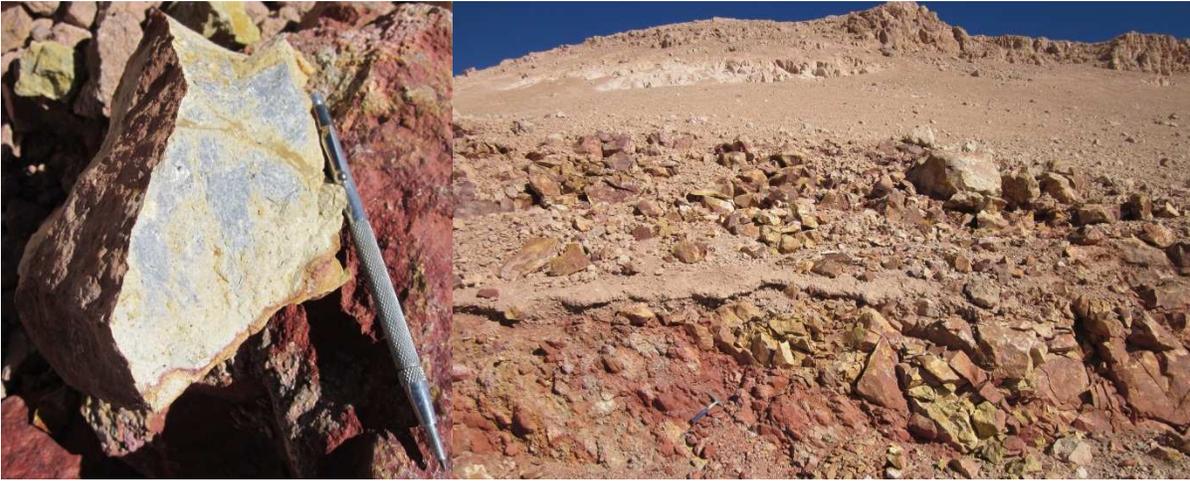


Figura 6.6. (izq) Muestra de mano de la brecha freática, es prácticamente puro cuarzo con algo de pirita diseminada. (der) Afloramiento de la brecha freática bajo el nivel de tobas de lapilli (TOMdlc6) que se presenta hacia el sur cubriendo gran parte del distrito.

## 7 CONCLUSIONES

Este trabajo resume las características petrográficas y geoquímicas de las unidades pertenecientes al Complejo volcánico La Coipa y otras unidades en sondajes o que afloran en el distrito.

De la caracterización petrográfica es posible señalar:

- Los domos de la unidad domos La Coipa (TOMdlc) se subdividen en varios miembros, domos riolíticos (TOMdlc1), dacíticos (TOMdlc2), andesíticos (TOMdlc3) y dacíticos de biotita (TOMdlc9), los cuales petrográfica y geoquímicamente no presentan diferencias. Es natural pensar que los domos La Coipa se componen de varios cuerpos (diferentes eventos magmáticos), pero una diferenciación en base a la petrografía y/o geoquímica carece de sentido.
- Lo mismo ocurre entre las subunidades piroclásticas de la unidad domos La Coipa, tobas riolíticas (TOMdlc4), dacíticas (TOMdlc5) y dacíticas de biotita (TOMdlc8) que corresponden a tobas cristalinas de composición dacítica, pero indiferenciables petrográfica y geoquímicamente.
- Respecto a la subunidad domos riolíticos (TOMdlc1) de los domos La Coipa posiblemente corresponde a la continuación hacia el sureste de los domos dacíticos centrales. Evidencia de esto son las características petrográficas.
- Salvo los dos párrafos anteriores, es posible generar claras diferencias petrográficas y geoquímicas de las unidades terciarias.

De la geoquímica de roca total es posible concluir para las muestras de superficie:

- Todas presentan un comportamiento calcoalcalino típico de rocas formadas en un ambiente de arco volcánico asociado a subducción de placa oceánica – placa continental.
- La geoquímica se condice bastante bien con la petrografía (en base a los diagramas TAS).
- Las muestras están en el campo de las rocas metaluminosas. Estas rocas se caracterizan por presentar un exceso de Ca después que el Al ha sido acomodado en feldespatos, por lo cual tienden a formarse fases con Ca tales como hornblenda o augita. Esta tendencia es común en las rocas de Chile.
- En cuanto a los elementos mayores, las rocas del estudio presentan un rango de SiO<sub>2</sub> entre 60-77 wt% (promedio de 67,6 wt%). Los valores de MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O y K<sub>2</sub>O son relativamente bajos, siendo en promedio 0,54; 1,96; 2,62 y 2,75 wt%, respectivamente.
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, MnO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y SrO decrecen con el aumento de SiO<sub>2</sub>, es decir, ellos muestran un comportamiento compatible. K<sub>2</sub>O y BaO presentan una correlación positiva, mostrando un comportamiento incompatible. El comportamiento de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Na<sub>2</sub>O no es el esperado, posiblemente debido a un efecto de alteración y el de TiO<sub>2</sub> y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> posiblemente se debe a un efecto de fraccionamiento de alguna fase mineral que presente estos óxidos.
- Respecto a las tierras raras (REEs), todas las muestras de superficie presentan una pendiente negativa pronunciada, asociada a un fuerte fraccionamiento con un notable enriquecimiento en tierras raras livianas (LREE) por sobre las tierras raras pesadas (HREE). Las muestras del Paleoceno - Eoceno presentan una mayor razón La/Yb que las muestras del Oligoceno - Mioceno, aunque ambos grupos presentan una tendencia adakítica. Este resultado indica que las rocas derivan de altas presiones (profundidad mínima de 35 km) y que la corteza tuvo su mayor espesor durante el Paleoceno-Eoceno. Este resultado es coincidente con trabajos estructurales (Abels et al., 1999) en donde indican que el cambio de stress regional ocurrió entre los 36 y 32 Ma (último acortamiento de la región) y 26 Ma, desde un ambiente compresivo a uno extensional y de rumbo.

Para las muestras de sondaje:

- Para las muestras de sondaje fue realizado un tratamiento similar. Como los diagramas de clasificación fueron pensados para rocas inalteradas, la mayoría carece de sentido para estas

muestras. El diagrama de Jensen tiene más sentido teórico para clasificar estas rocas que el diagrama AFM, pero los resultados siguen siendo poco claros, la mayoría de las rocas son clasificadas como toleíticas debido a un exceso de Fe producto de la alteración.

En resumen la geoquímica de roca total funciona bastante bien para la clasificación de las rocas en superficie, pero para las muestras de sondaje dado el grado de alteración estas no pueden ser clasificadas de una manera precisa. A partir de los resultados geoquímicos y petrográficos es recomendable agrupar algunas subunidades de la unidad Domos La Coipa (TOMdlc). Los domos dacíticos (TOMdlc2), andesíticos (TOMdlc3) y dacíticos de biotita (TOMdlc9) no presentan diferencias, los tres corresponden a dacitas con textura felsítica y fenocristales de plagioclasa, cuarzo, biotita y anfíbola. De forma similar no existen diferencias entre las unidades tobas riolíticas (TOMdlc4), dacíticas (TOMdlc5) y dacíticas de biotita (TOMdlc8) que corresponden a tobas cristalinas con fragmentos juveniles, líticos (principalmente de domos) y de cristales (cuarzo, plagioclasa, biotita y anfíbola).

Acerca de la metodología de tasas molares:

Tasas molares de elementos (PER y GER) fueron utilizadas para determinar el grado de alteración de las muestras tomadas en el distrito, coincidiendo las muestras más alteradas en todos los diagramas. A partir de diagramas PER se pudo construir un índice de alteración capaz de determinar el grado de alteración de las muestras, observándose anomalías en muestras cercanas a centros con mineralización conocidos como lo son Purén Sur, Pompeya y Maritza. Además se encontró una nueva zona de interés (**ver capítulo de discusiones**) que presenta varias características interesantes.

El comportamiento de algunos cationes respecto al índice de alteración evidencia que durante procesos hidrotermales que afectaron a las muestras en estudio, el Ca y el Al fueron enriquecidos en las rocas (ya sea porque se agregaron o no fueron lixiviados) y el Na y K disminuyeron su concentración.

Todo esto indica que la utilización de geoquímica de roca total resulta muy útil para la caracterización de las unidades y además es una poderosa herramienta para la exploración.

Las siguientes son recomendaciones que podrían ayudar a obtener un trabajo de mejor calidad:

- La geoquímica de roca total resulta útil para poder diferenciar unidades. De esta manera es necesario realizar un mayor muestreo geoquímico de todas las unidades para poder obtener un rango de valores de algunos elementos. Así es posible calibrar de manera más exacta un gráfico Zr vs  $TiO_2$  para cada unidad y después simplemente para cada muestra que no quede claro la unidad a la que pertenece se plotea en este gráfico.
- Es necesario realizar un control de calidad de los datos para que los resultados sean validados.
- Obviamente es recomendable realizar geocronología de algunas unidades para determinar la temporalidad de los procesos magmáticos como también de los hidrotermales (principalmente de las brechas freatomagmáticas, domos centrales y también de la mineralización conocida).
- Es interesante pensar en la posibilidad de ocupar fluorescencia de rayos x (portátil) para caracterizar las unidades de sondajes como también las muestras que se tomen en superficie. Además se podría investigar si los resultados son similares a los obtenidos por el laboratorio (calibración).
- Es necesario poner atención en la parte sur del distrito (circulo amarillo en la Fig. 6.1) en donde se ha observado un domo con stockwork de vetillas de cuarzo gris, lo que escapa del modelo de mineralización conocido en La Coipa, lo que se asemeja mucho más a un modelo de pórfido de Au (Muntean y Einaudi, 2001) con un grado de “telescoping” considerable (por la presencia de brechas freáticas y ledges con vuggy en las cercanías; ver capítulo de discusiones).

## **8 REFERENCIAS**

- Abels, A., Bischoff, L., 1999, Clockwise block rotations in northern Chile: Indications for a large-scale domino mechanism during the middle-late Eocene: *Geology*, no. 27, p. 751-754.
- Bradshaw, T., 1992, The adaptation of Pearce element ratio diagrams to complex high silica systems: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, no. 109, p. 450 -458.
- Benavides, J., Kyser, K., Clark, A., Stanley, C., Oates, C., 2008, Application of molar element ratio analysis of lag talus composite samples to the exploration for iron oxide-copper-gold mineralization: Mantoverde area, northern Chile: "Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis", no. 8, p. 1-12.
- Booden, M., Mauk, J. and Simpson, M., 2011, Quantifying metasomatism in epithermal Au-Ag deposits: A case study from the Waitekauri area, New Zealand: *Economic Geology*, vol. 106, p. 999-1030.
- Cecioni, A., Dick, L., 1992, Geología del yacimiento epitermal de oro y plata Can Can, Franja de Maricunga, Precordillera de Copiapó, Chile: *Revista geológica de Chile*, no. 19, no. 1, p. 3-17.
- Clark, A., Mayer, C., Mortimer, C., Sillitoe, R., Looke, R., Snelling, N., 1967, Implications of the isotopic ages of ignimbrite flows, southern Atacama desert, Chile: *Nature*, Bd. 21, p. 723-724.
- Corbett, G., 2002, Epithermal gold for explorationists: *AIG Journal – Applied geoscientific practice and research in Australia*, paper 2002-01, 26 p.
- Corbett, G., 2009, Comments on current exploration in the Maricunga belt, Chile for Kinross gold corporation. Reporte Interno.
- Cox, K. G., Bell, J. D. and Pankhurst, R. J., 1979, *The interpretation of igneous rocks*. George Allen & Unwin, Londres, 450 p.
- Davidson, J. y Mpodozis, C., 1991, Regional geologic setting of epithermal gold deposits, Chile: *Economic Geology*, vol. 86, p. 1174-1186.
- Davies, A., Cooke, D., Gemmell, J., 2008, Hydrothermal breccias and veins at the Kelian gold mine, Kalimantan, Indonesia: Genesis of a large epithermal gold deposit: *Economic Geology*, vol. 103, p. 717-757.
- Davis, M., Holland, H. D., Turekian, K. K. (eds), 2003, *Treatise on Geochemistry, Volume 1, Meteorites, Comets and Planets*: Elsevier.
- Hedenquist, J., Henley, R., 1985, Hydrothermal eruptions in the Waitapu geothermal system, New Zealand: Their origin, associated breccias, and relation to precious metal mineralization: *Economic Geology*, vol. 80, p. 1640-1668.
- Irvine, T. N., and Baragar, W. R. A., 1971, A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks: *Canadian Journal of Earth Sciences*, no. 8, p. 523-548.
- Jensen, L.S., 1976, A new cation plot for classifying subalkalic volcanic rocks: *Ontario Division Mines Misc.*, 66 pp.

Kay, S., Mpodozis, C., Tittler, A., Cornejo, P., 1994, Tertiary magmatic evolution of Maricunga mineral belt in Chile: *International geology review*, no. 36, p. 1079-1112.

Kay, S., Mpodozis, C., Coira, B., 1999, Neogene magmatism, tectonism, and mineral deposits of the Central Andes (22° - 33° S latitude): Skinner, B. J. (ed.) *Geology and Ore Deposits of the Central Andes*. Society of Economic Geologists, Special Publications, no. 7, p. 27–59.

Kuno, H., 1968, Origin of and its bearing on the island structure: *Bull. Volcanol.* no. 32, p. 141-176.

Le Maitre, R.W., 1989, *A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences. Subcommission on the Systematics of igneous rocks*. Blackwell, Oxford, 193 pp.

Maksaev, V., Townley, B., Palacios, C., Camus, F., 2007, Metallic ore deposits in Chile. In: Moreno, T. & Gibbons, W. (eds) *The geology of Chile*. The Geological Society, London, 179-199.

Mercado, M., 1982, *Geología de la hoja laguna del Negro Francisco, 1:100.000: Santiago, Chile: Servicio Nacional de Geología y Minería, carta geológica de Chile, no. 56, 73 pp.*

Moreno, T., y Gibbons, W. (eds), 2007, *The Geology of Chile: The Geological society, London*.

Mortimer, C., 1973, The Cenozoic history of the southern Atacama desert, Chile: *Geological society of London, Journal*, vol. 129, p. 505-526.

Mpodozis, C., Cornejo, P., Kay, S., Tittler, A., 1995, La Franja de Maricunga: síntesis de la evolución del frente volcánico Oligoceno-Mioceno de la zona sur de los Andes centrales: *Revista geológica de Chile*, no. 21, p. 273-313.

Mpodozis, C. s.a. Mapa “geología regional sector La Coipa”.

Muntean, J., Einaudi, M., 2001, Porphyry - epithermal transition: Maricunga Belt, Northern Chile: *Economic Geology*, vol. 96, p. 743-772.

Oviedo, L., 1991, General Geology of La Coipa Precious Metal Deposit, Atacama, Chile: *Economic Geology*, vol. 86, p. 1287 -1300.

Pearce, T., Stanley, C., 1991, The validity of Pearce element ratio analysis in petrology: an example from Uwekahuna laccolith, Hawaii: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, no. 108, p. 212 – 218.

Pearce, J. 1996. Sources and settings of granitic rocks: *Episodes*, vol. 19, no. 4, p. 120-125.

Rollinson, H.R., 1993, *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*, Longman, UK. 352 pp.

Roperch, P., Dupont-Nivet, G., and Pinto, L, 1997, Rotaciones tectónicas en el norte de Chile: Congreso Geológico Chileno, 8th, Antofagasta, Actas, p. 241-245.

Roser, B.P., Korsch, R.J., 1988, Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant functions analysis of major element data: *Chemical Geology*, no. 67, p. 119-139.

Rudnick, R., 2003, The Crust. In: Davis, M., Holland, H. D., Turekian, K. K. (eds), Treatise on Geochemistry, Volume 1, Meteorites, Comets and Planets: Elsevier.

Russell, J., Nicholls, J., 1988, Analysis of petrologic hypotheses with Pearce element ratios: Contributions to Mineralogy and Petrology, p. 25-35.

San Román, F., 1911, Estudios geológicos i mineralógicos del desierto i cordillera de Atacama: Santiago, Chile, Soc. Nac. Minería, p. 323-327.

Sillitoe, R., Mckee, E., Vila, T., 1991, Reconnaissance K-Ar Geochronology of the Maricunga Gold-Silver Belt, Northern Chile: Economic Geology, vol. 86, p. 1261-1270.

Sillitoe, R. 2010. Comments on La Coipa and Lobo-Marte brownfields exploration and the Lobo-Marte geological model. Reporte interno.

Sillitoe, R., 2011. Comments on Quebrada Valiente, La Coipa, Vally and Escondido exploration programmes and the Lobo-Marte geological model. Reporte interno.

Stanley, C., Russell, J., 1989, Petrologic hypothesis testing with Pearce element ratio diagrams: derivation of diagram axes: Contributions to Mineralogy and Petrology, p. 78-89.

Stanley, C. R., and Madeisky H. E., 1996, Lithogeochemical Exploration for Metasomatic Zones Associated with Hydrothermal Mineral Deposits Using Pearce Element Ratio Analysis.

Sun, S., and McDonough, W., 1989, Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes: Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society, Special Publication, no. 42, p. 313-345.

Taylor, G. K, Paulton, C., Selby, T., and Grocott, J., 1988b, Paleomagnetism and block rotations in northern Chile: New results from the Inca de Oro region and their implications: Andean Geoscience Workshop, 3<sup>rd</sup>, Plymouth, UK; Programme and Abstracts, 1 p.

Urqueta, E., Kyser, K., Clark, A., Stanley, C., Oates, C., 2009, Lithogeochemistry of Collahuasi porphyry Cu-Mo and epithermal Cu-Ag (-Au) cluster, northern Chile: Pearce element ratio vectors to ore: "Geochemistry: Exploration, Environment Analysis, vol. 9, p. 9-17.

Warren, I., Simmons, S., Mauk, J., 2007, Whole-rock geochemical techniques for evaluating hydrothermal alteration, mass changes, and compositional gradients associated with epithermal Au-Ag mineralization: Economic Geology, no. 5, p. 923-948.

Wilson, M., 1989. Igneous Petrogenesis. Unwin Hyman, London.

Winchester, J.A. y Floyd, P.A., 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements: Chemical Geology, no. 20, p. 325-343

.

## ANEXO 1. Ubicación de los afloramientos de las unidades del distrito La Coipa.

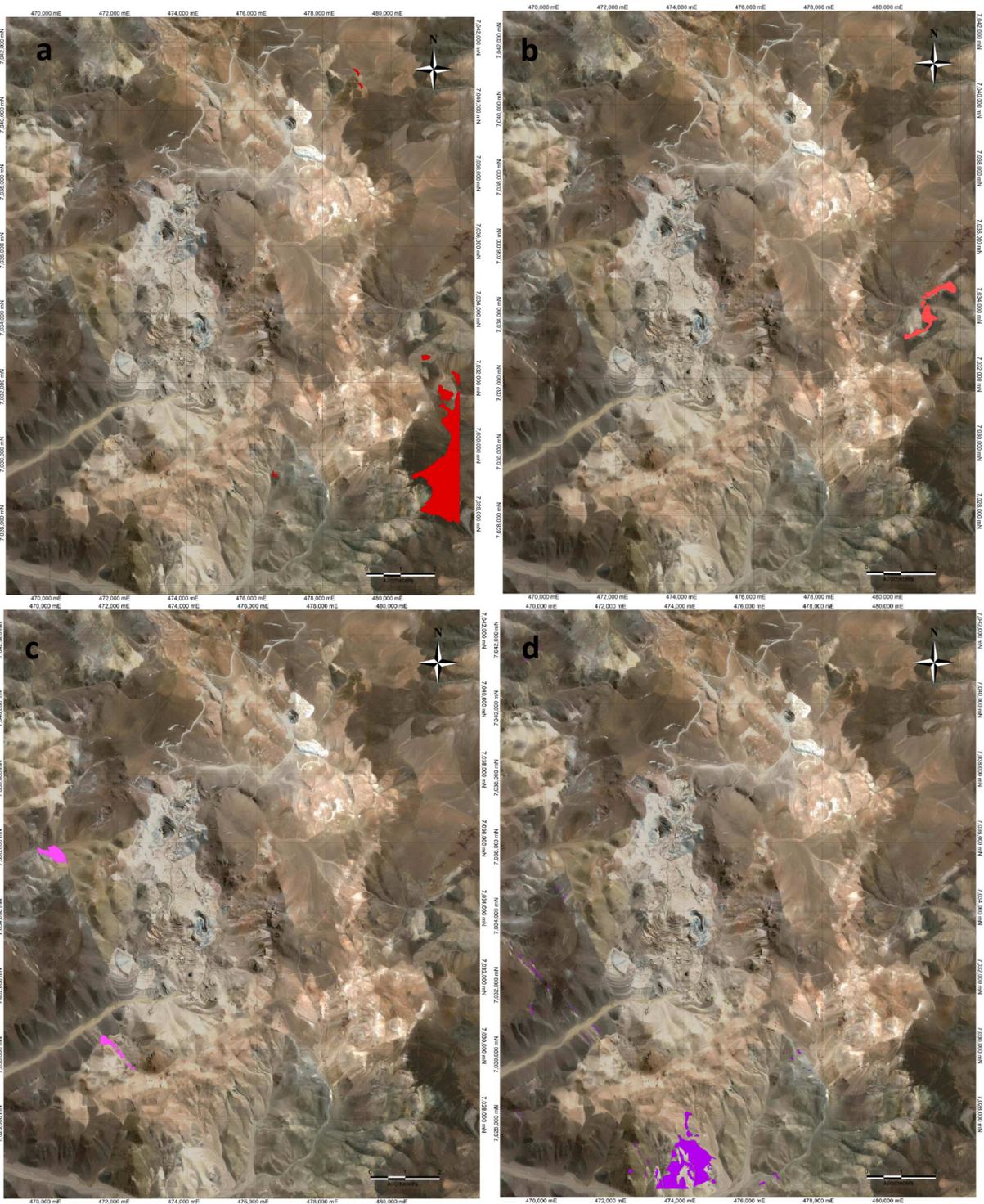


Figura A1.1. Mapa de afloramientos. a. Andesita (Pzpz). b. Pórfidos monzodioríticos (KTzmd). c. Pórfidos dacíticos (TPpd). d. Pórfidos y diques riódacíticos (TEpr).

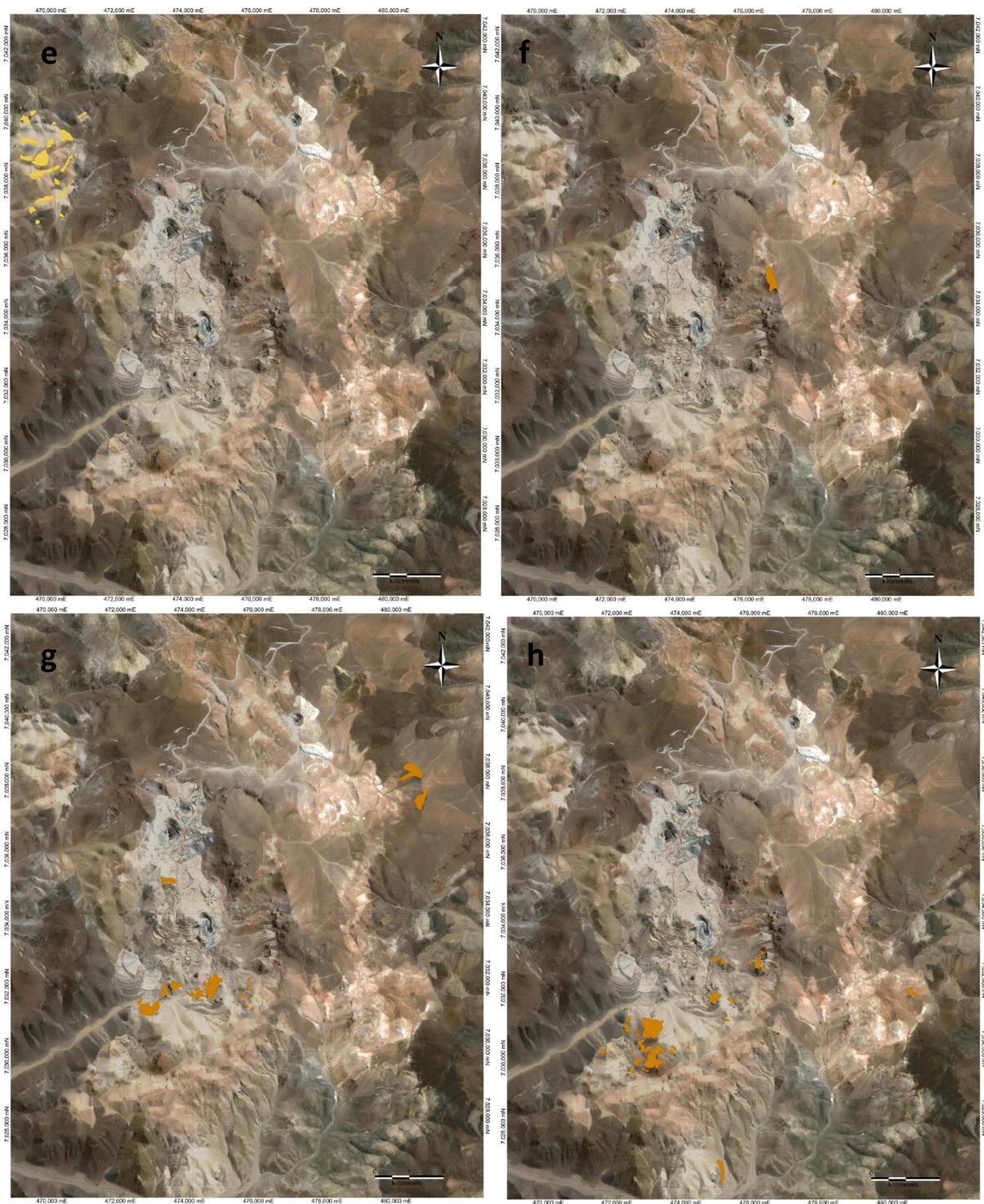


Figura A1.1 (continuación) e. Domos riolíticos (TEdr). f. Domos riolíticos (Domas La Coipa; TOMdlc1). g. Domas dacíticos (Domas La Coipa; TOMdlc2). h. Domas andesíticos (Domas La Coipa; TOMdlc3).

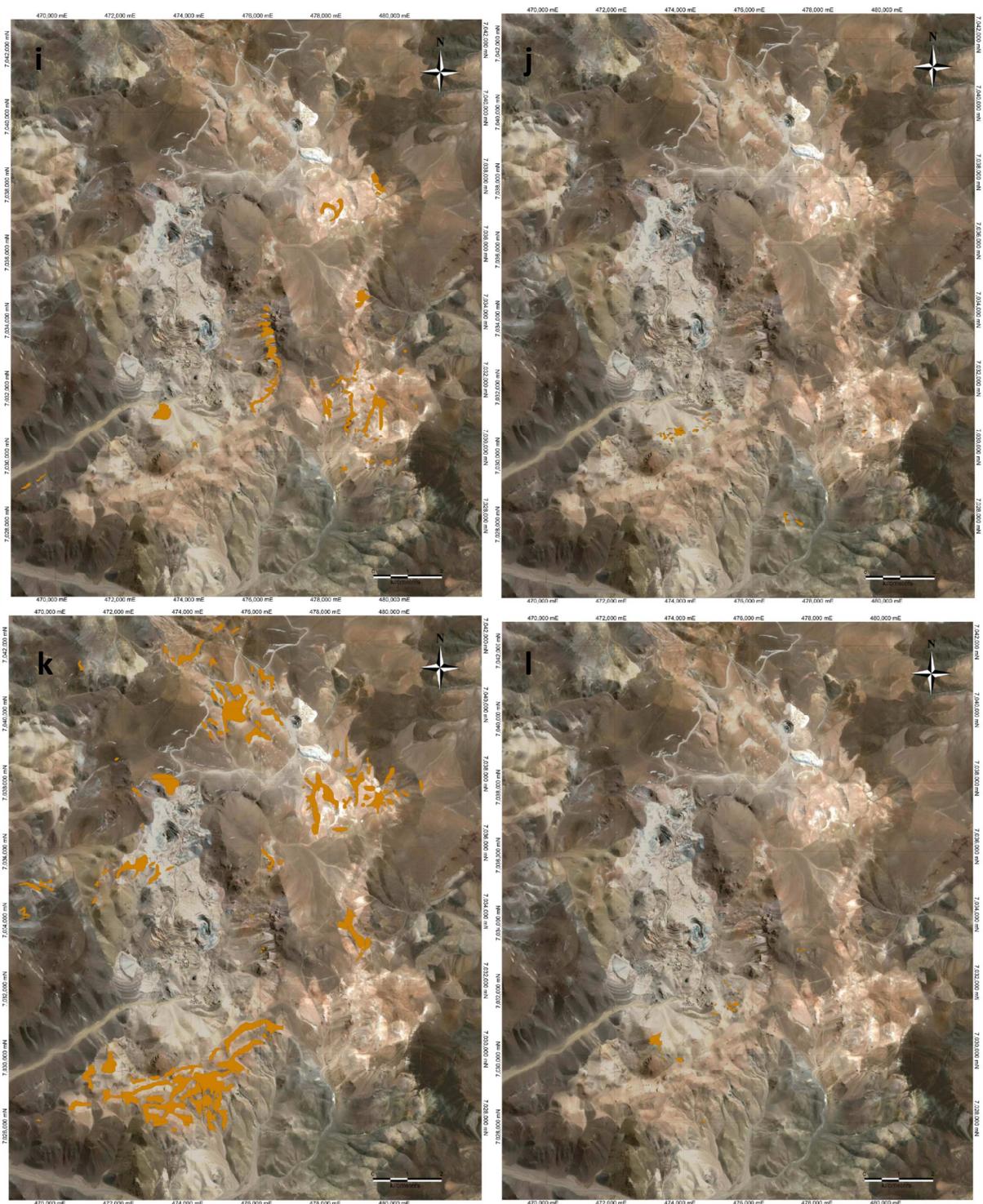


Figura A1.1 (continuación) i. Tobas riolíticas (Domas La Coipa; TOMdlc4). j Tobas dacíticas (Domas La Coipa; TOMdlc5). k. Tobas de lapilli (Domas La Coipa; TOMdlc6). l. Brechas freáticas (Domas La Coipa; TOMdlc7).

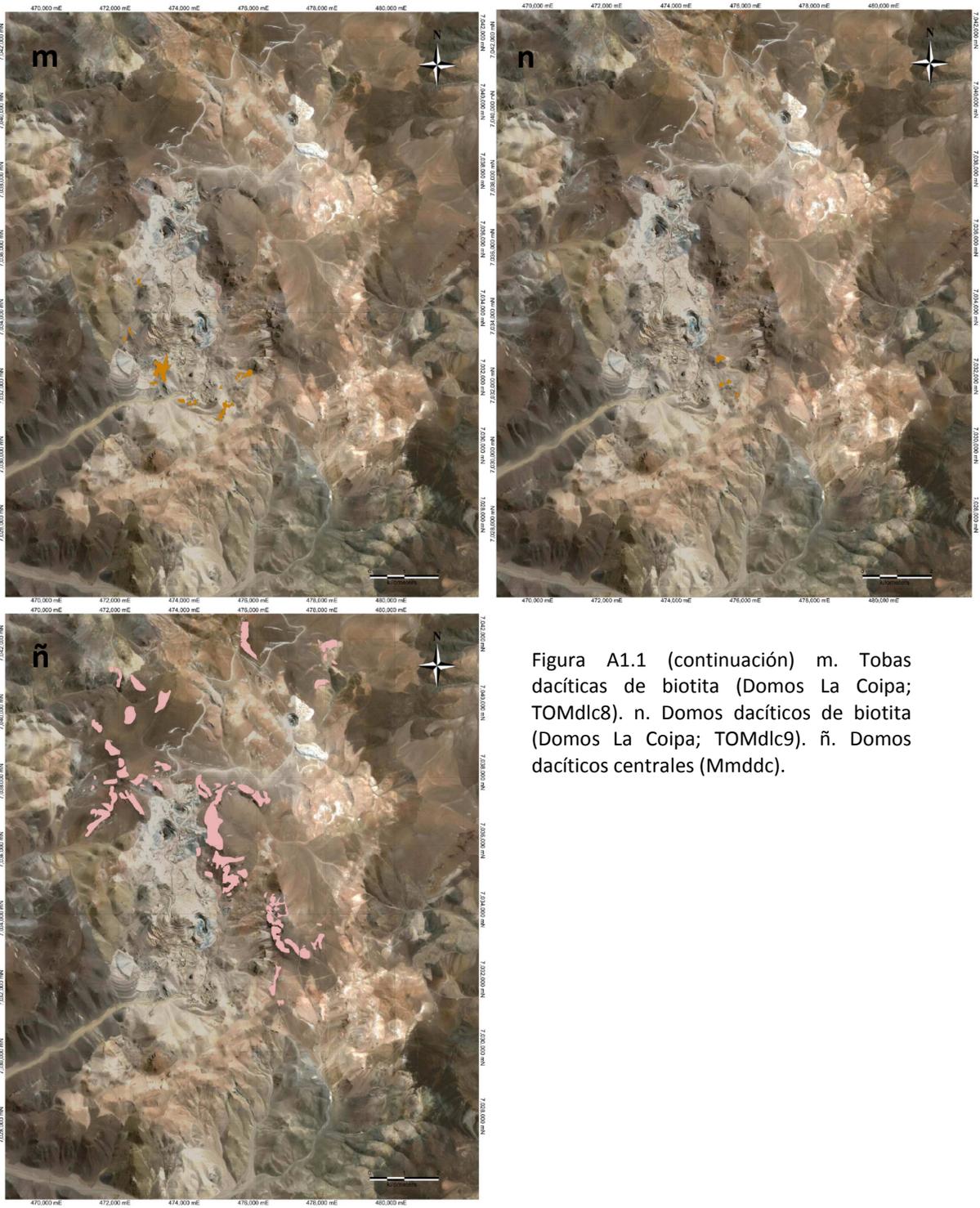


Figura A1.1 (continuación) m. Tobas dacíticas de biotita (Domas La Coipa; TOMdlc8). n. Domas dacíticos de biotita (Domas La Coipa; TOMdlc9). ñ. Domas dacíticos centrales (Mmddc).



Tabla A2.1. Ubicación, descripción breve y unidad que representan las muestras de petrografía. <sup>1</sup>: muestras de sondaje DPMP-19 (Pompeya); <sup>2</sup>: muestras de sondaje DPU-242 (Purén Sur); <sup>3</sup>: muestras de sondaje DPU-244 (Purén Sur); <sup>4</sup>: muestras de sondaje BND-004 (Brecha Norte); <sup>5</sup>: muestras de sondaje BND-005 (Brecha Norte); <sup>6</sup>: Muestras de sondaje BND-006 (Brecha Norte).

Norte	Este	Elev.	Muestra	Nombre	Unidad
7035567	475429	4267	459454	Andesita de biotita y anfíbola	Domos dacíticos centrales (Mmddc)
7035328	475340	4216	459455	Dacita de biotita y anfíbola	Domos dacíticos centrales (Mmddc)
7035639	476296	4284	459463	Toba de lapilli cristalina	Domos La Coipa (TOMdlc) - TOMdlc6
7031022	471955	3580	459464	Dacita de biotita y anfíbola	Domos La Coipa (TOMdlc) - TOMdlc3
7030541	471958	3738	459465	Dacita de biotita	Pórfidos dacíticos (TPpd)
7033304	479839	4309	459470	Toba cristalina de biotita	Domos La Coipa (TOMdlc) - TOMdlc4
7025797	474808	3604	459477	Riolita	Pórfidos riódacíticos y diques (TEpr)
7029805	473908	4063	459487	Brecha hidrotermal (freática)	Domos La Coipa (TOMdlc) - TOMdlc7
7029798	473892	4074	459488	Brecha hidrotermal (freática)	Domos La Coipa (TOMdlc) - TOMdlc7
7029656	473083	4034	459490	Dacita de biotita y anfíbola	Domos La Coipa (TOMdlc) - TOMdlc3
7029470	472423	3882	459491	Andesita de biotita	Pórfidos dacíticos (TPpd)
7031009	474840	4183	459496	Toba cristalina	Domos La Coipa (TOMdlc) - TOMdlc5
7037788	477712	4392	459497	Toba de lapilli	Domos La Coipa (TOMdlc) - TOMdlc6
7031662	473092	3611	459498	Dacita de biotita y anfíbola	Domos La Coipa (TOMdlc) - TOMdlc2
7029194	473219	4105	459500	Toba de cristales	Domos La Coipa (TOMdlc) - TOMdlc6
7039852	469304	3892	459757	Riolita	Domos riolíticos (TEdr)
7035860	476100	106,83	459760	Diatrema	s.u
7035860	476100	188,92	459763	Pórfido andesítico de anfíbola	s.u
7035860	476100	450,8	459768	Pórfido andesítico de anfíbola	s.u
7037572	471785	4468	459776	Andesita de anfíbola	Domos dacíticos centrales (Mmddc)
7031147	459785	4501	459785	Andesita de anfíbola	Andesita (Pzmz)
7033888	482735	4103	459786	Diorita de anfíbola	Pórfido monzodiorítico (KTzmd)
7037141	478546	426,25	459792	Indeterminada	Diatrema
7037141	478546	460,66	459793	Dacita	Domo dacítico (TOMdlc2?)
7037998	477808	277,25	459799	Dacita	Domo dacítico (TOMdlc2?)
7037998	477808	329,31	459801	Dacita	Domo dacítico (TOMdlc2?)
7034972	476651	4495	459805	Dacita de biotita	Domo riolítico (TOMdlc1)
7037196	473611	98,57	459809	Dacita de biotita	Domo dacítico (TOMdlc2)
7037196	473611	246,42	459812	Granodiorita	"Granito"
7037286	474001	22,71	459814	Toba de cristales	Toba riolítica (TOMdlc4?)
7037286	474001	197,45	459817	Granodiorita	"Granito"
7037235	473702	288,78	459825	Granodiorita	"Granito"

### Muestra: 459454; Domos dacíticos centrales (Mmddc)

**RESUMEN:** Andesita de biotita y anfíbola. Roca de textura vitrofírica con fenocristales de plagioclasa, biotita y anfíbola. Se puede observar textura pilotaxítica (de flujo) con alineación de cristales de plagioclasa y biotita, mientras que los fenocristales de plagioclasa de mayor tamaño se encuentran fracturados y rotados (Fig. A2.1).

**ROCA:** Domo andesítico de biotita y anfíbola.

**TEXTURAS:** Diferentes texturas pueden observarse en el corte, la principal es vitrofírica con fenocristales de plagioclasa, biotita y anfíbola dentro de la masa fundamental vítrea cafésosa. También es posible observar textura pilotaxítica donde existe una orientación preferente (de flujo) de fenocristales de plagioclasa y biotita.

Los fenocristales de plagioclasa presentan una leve zonación junto con texturas de intercrecimiento (mirmequítica) en el centro (asociado a cristalización durante un proceso de deformación), es decir, un primer proceso de crecimiento durante deformación y un segundo proceso de cristalización, sin deformación. Algunos cristales de plagioclasa presentan textura poikilitica encerrando a cristales pequeños de biotita.

**MINERALOGIA PRIMARIA:** Corresponden al 30% de la roca. El restante 70% corresponde a la masa fundamental.

MINERAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Plagioclasa	20	Cristales euhedrales-tabulares	Variable, menor a 0,1 hasta 2	Dos poblaciones de tamaño. La macla polisintética predomina en las plagioclasas.
Biotita	7	Cristales euhedrales tabulares	Variable, desde 0,2 hasta 0,7	Cristales de diferente tamaño pero con una continuidad (textura seriada). Los cristales son alargados y con excelente clivaje.
Anfíbola	3	Cristales euhedrales hexagonales	0,3	Se observa un buen clivaje en la mayoría de los cristales. Cristales muy poco alterados.

**MINERALOGIA DE ALTERACIÓN:** Roca prácticamente inalterada. Algunas arcillas alterando a plagioclasas (levemente) principalmente en los bordes (en los cristales zonados).

**MINERALES OPACOS:** <1% de minerales opacos siendo principalmente de forma cuadrada a rectangular.

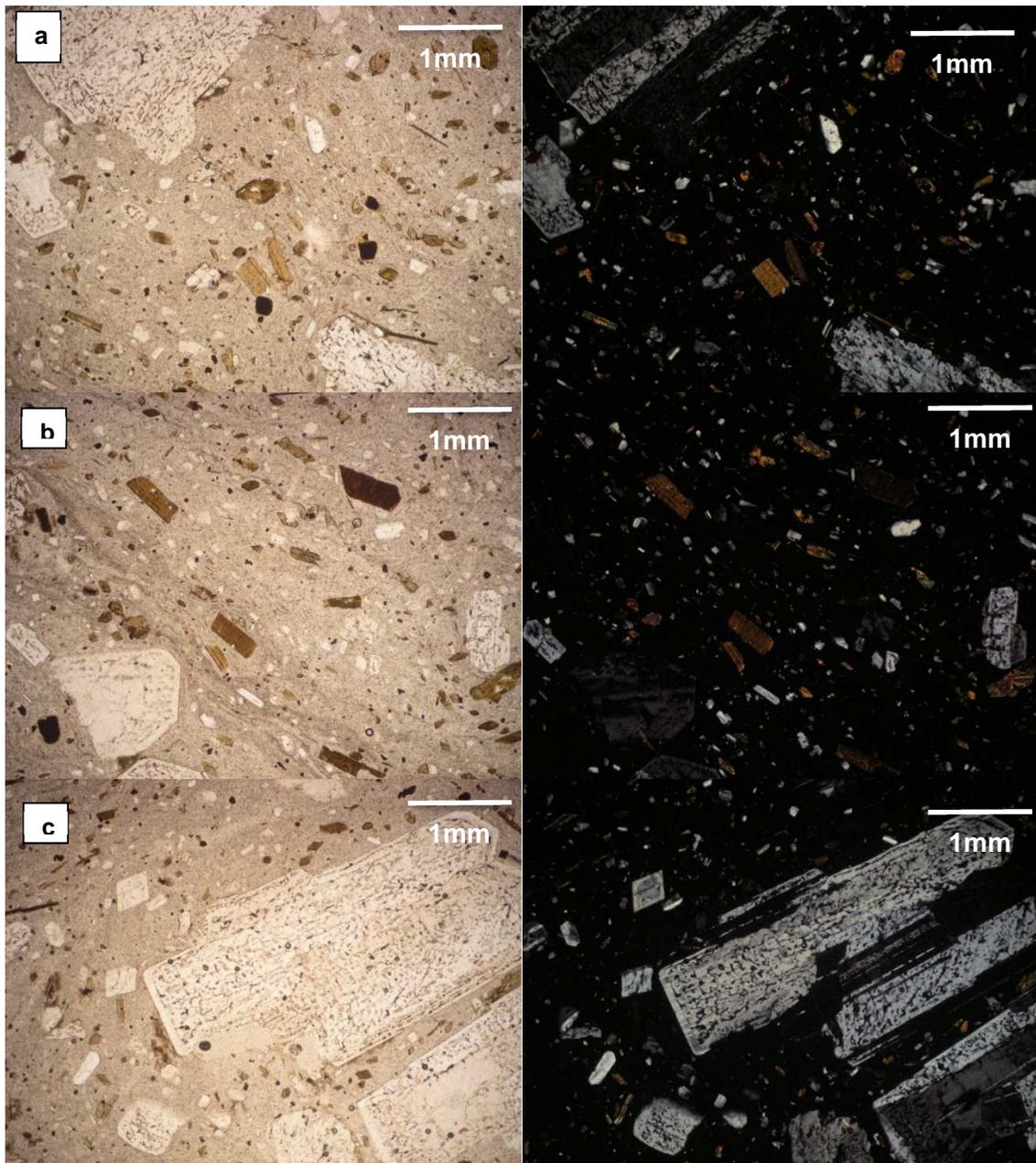


Figura A2.1. a. vista general del corte donde es posible apreciar cristales de plagioclasa, biotita y anfíbola (hornblenda) inmersos en vidrio café (textura vitrofírica). Notar las dos poblaciones de tamaños de plagioclasas. b. Textura pilotaxítica (indicadora de flujo), se observan fenocristales de plagioclasa, biotita y anfíbola alineados. Algunos cristales están fracturados debido al flujo. c. Fenocristal de plagioclasa con textura mirmequítica.

### Muestra: 459455; Domos dacíticos centrales (Mmddc)

**RESUMEN:** La roca corresponde a una dacita de biotita y anfíbola. Presenta textura vitrofírica – glomeroporfídica en donde existen fenocristales de plagioclasa, cuarzo, biotita y anfíbola. Tanto las biotitas como las plagioclasas presentan dos familias de tamaños, estas últimas están generalmente zonadas con su centro argilizado. Los cristales de biotita presentan una excelente foliación y no están alterados. Los cristales de anfíbolos están muy fracturados aunque presentan su clivaje característico de 60°-120°. A diferencia del corte anterior, esta muestra presenta un pequeño porcentaje de fenocristales de cuarzo, lo que hace que la roca pueda ser clasificada como dacita (Fig. A.2.2).

**ROCA:** Dacita de biotita y anfíbola.

**TEXTURAS:** La roca presenta textura vitrofírica, en donde fenocristales de plagioclasa, biotita y anfíbola se encuentran inmersos en una matriz vítrea color café (un poco argilizada).

**MINERALOGIA PRIMARIA:** Corresponde a un 40% de la roca, el restante 60% corresponde a la masa fundamental.

MINERAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Plagioclasa	25	Cristales euhedrales. Normalmente tabulares.	Menor a 0,1 hasta 2,4	Ocasionalmente zonadas, estando su centro alterado a arcillas. Dos poblaciones de tamaño. Textura glomeroporfídica.
Biotita	8	Cristales tabulares.	1,4	Excelente foliación y en general cristales bastante grandes.
Cuarzo	3	Cristales anhedrales, subredondeados.	1,6	Presenta gran cantidad de inclusiones fluidas.
Anfíbola	3	Cristales euhedrales, hexagonales	0,3	Presenta buen clivaje. Cristales muy fracturados.
Esfeno	1	Cristales hexagonales		Presenta su forma y relieve característicos.

**MINERALOGIA DE ALTERACIÓN:** Roca bastante fresca, en los centros de algunas plagioclasas se observan minerales de arcilla.

**MINERALES OPACOS:** 1% de la roca. Principalmente euhedrales, de forma cuadrada – rectangular.

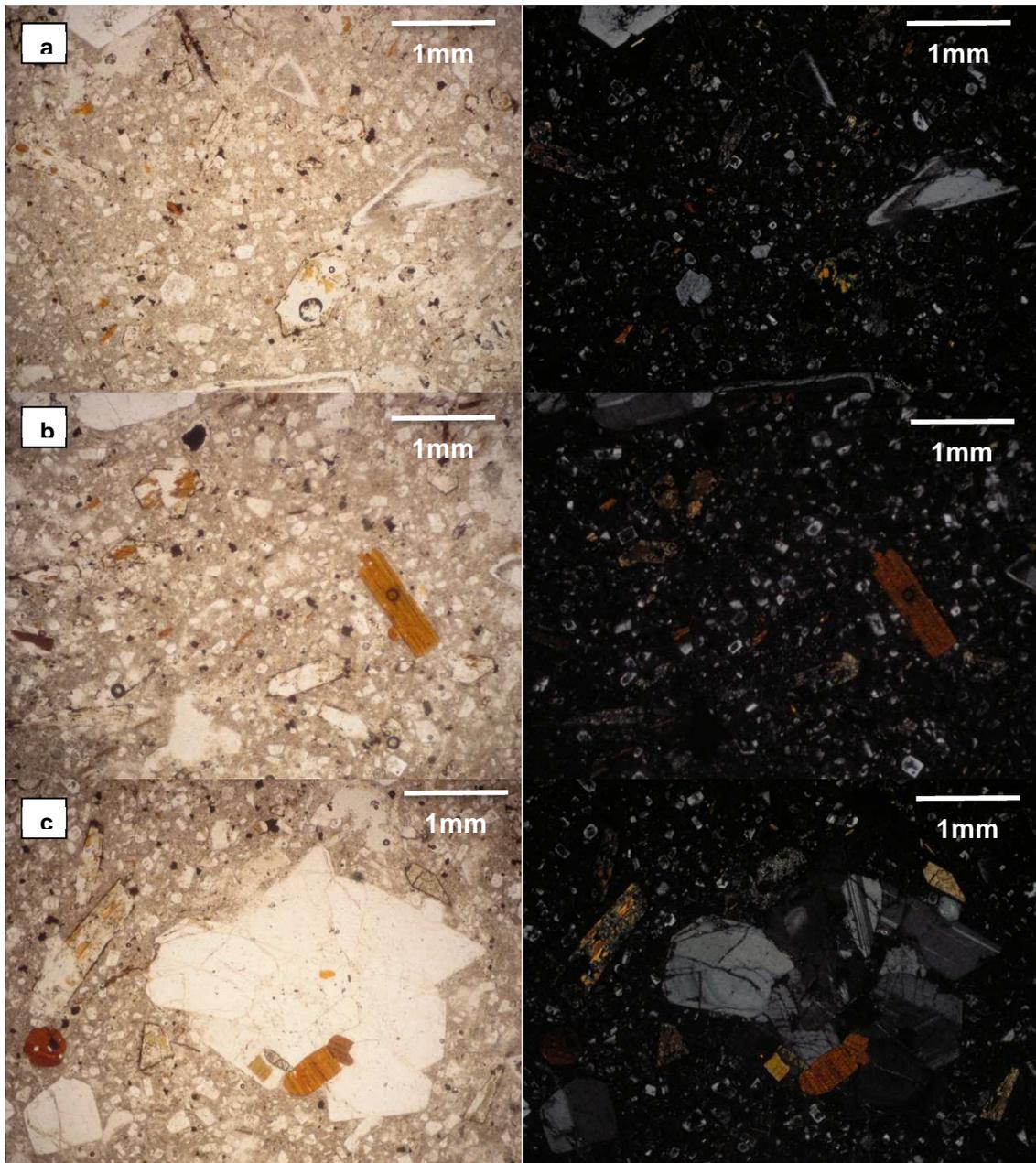


Figura A2.2. a. Vista general del corte donde es posible apreciar la mineralogía primaria de la muestra y la textura vitrofirica que caracteriza al corte. Notar las dos poblaciones de tamaño de cristales en las plagioclasas. b. Mineralogía primaria de la muestra: plagioclasas, anfíbolos y biotita. Observar la presencia de minerales opacos. c. Textura glomeroporfídica en cristales de plagioclasa y biotita. Presencia de esfeno.

### Muestra: 459463; Toba de lapilli (TOMdlc6)

**RESUMEN:** La roca corresponde a una toba lítica con una gran cantidad de fragmentos angulosos a redondeados dentro de una masa fundamental rica en óxidos de Fe. Los fragmentos líticos corresponden a rocas sedimentarias e ígneas con diferente grado de alteración. Los fragmentos de cristales corresponden a cuarzo, biotita y plagioclasa (Fig. A2.3).

**ROCA:** Toba de lapilli cristalina.

**TEXTURAS:** La textura que predomina es la fragmental, que consiste en la presencia de fragmentos líticos y de cristales.

**FRAGMENTOS Y MASA FUNDAMENTAL:** La masa fundamental corresponde al 50% de la roca, principalmente formada por vidrio de color rojizo (presencia de óxidos de Fe). Los fragmentos son principalmente líticos y de cristales.

**FRAGMENTOS LÍTICOS:** Corresponden al 20% de la roca.

FRAGMENTO DE ROCA	% RESPECTO A FRAGMENTOS	MINERAL / VIDRIO	% RESPECTO AL FRAGMENTO	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Riolita	15	Qz-Fd	100	Anhedrales	<1	Textura aplítica.
Sedimentarios	5	Qz	70	Redondeados	1	
		Ser	30	Tabulares	<1	

**FRAGMENTOS DE CRISTALES:** Corresponde a un 30% de la roca

MINERAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Cuarzo	20	Cristales subredondeados	0,8	
Biotita	7	Cristales tabulares	0,7	Cristales con excelente foliación.
Plagioclasa	3	Cristales euhedrales, tabulares.	1,8	Cristales bastante fracturados y muy alterados.

**MASA FUNDAMENTAL:** Es de color rojizo con una alta proporción de óxidos de Fe.

**MINERALES OPACOS:** No presenta minerales opacos.

**OTROS:** Gran cantidad de inclusiones fluidas. Presencia de alunita en fragmentos de riolita.

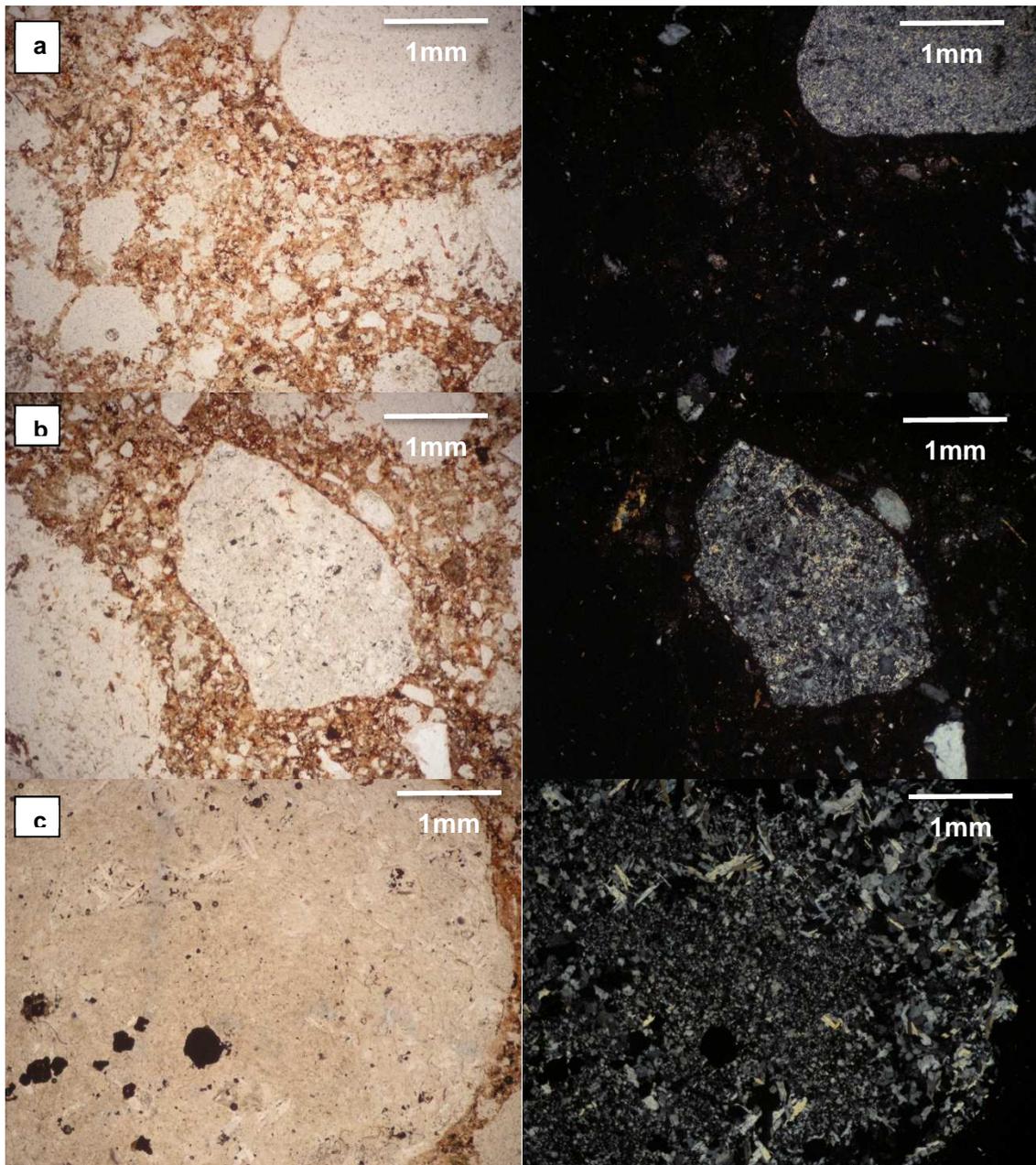


Figura A2.3. a. Vista general del corte, donde predomina la textura fragmental con líticos angulosos a redondeados. La masa fundamental es de color rojizo (hematitzada). El fragmento observable en la esquina derecha corresponde a un lítico obliterado alterado a sericita. b. Fragmento lítico comúnmente encontrado en este corte. Corresponde a un fragmento angular sedimentario con cuarzo y feldespato dentro de una matriz rica en sericita. También es posible observar fragmentos de cristales, principalmente de cuarzo angular y biotita. c. Fragmento riolítico (textura felsítica) subredondeado con alteración de alunita.

### Muestra: 459464; Domo andesítico (TOMdlc3)

**RESUMEN:** La roca corresponde a un dacita de biotita y anfíbola. La muestra presenta textura aplítica con fenocristales de plagioclasa, cuarzo, biotita y anfíbola. Escasa alteración, siendo los únicos minerales de alteración reconocibles las arcillas en anfíbolos y carbonatos diseminados (Fig. A2.4).

**ROCA:** Dacita de biotita y anfíbola.

**TEXTURAS:** Las texturas porfídica y aplítica son las más importantes, observándose fenocristales de plagioclasa, cuarzo, biotita y anfíbola dentro de una masa de feldespato y cuarzo. Cristales de plagioclasa y biotita conforman en algunos sectores textura glomeroporfídica. La mayoría de las plagioclasas presenta textura de zonación.

**MINERALOGÍA PRIMARIA:** La masa fundamental corresponde a una mezcla de feldespato + cuarzo, presente en un 60%. Los fenocristales corresponden al 35%. La mineralogía de alteración corresponde a 5%.

MINERAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Plagioclasa	25	Cristales tabulares	1,1	Generalmente maclados y poco alterados. Normalmente zonados, alterados a carbonatos (cc) en los bordes.
Biotita	6	Cristales tabulares	0,9	Cristales con excelente clivaje, en general muy poco alterados.
Cuarzo	3	Cristales anhedrales	0,9	Cristales normalmente redondeados y muchas veces con embahiamientos.
Anfíbola	1	Cristales euhedrales	0,4	Normalmente muy fracturados y remplazados por biotita.

**MINERALOGIA DE ALTERACIÓN:** Corresponde principalmente a calcita y arcillas. La calcita se encuentra diseminada en la roca, mientras que las arcillas se encuentran alterando a anfíbolos y los bordes de las plagioclasas.

**MINERALES OPACOS:** Cercano al 1%, principalmente regulares de forma cuadrada a rectangular.

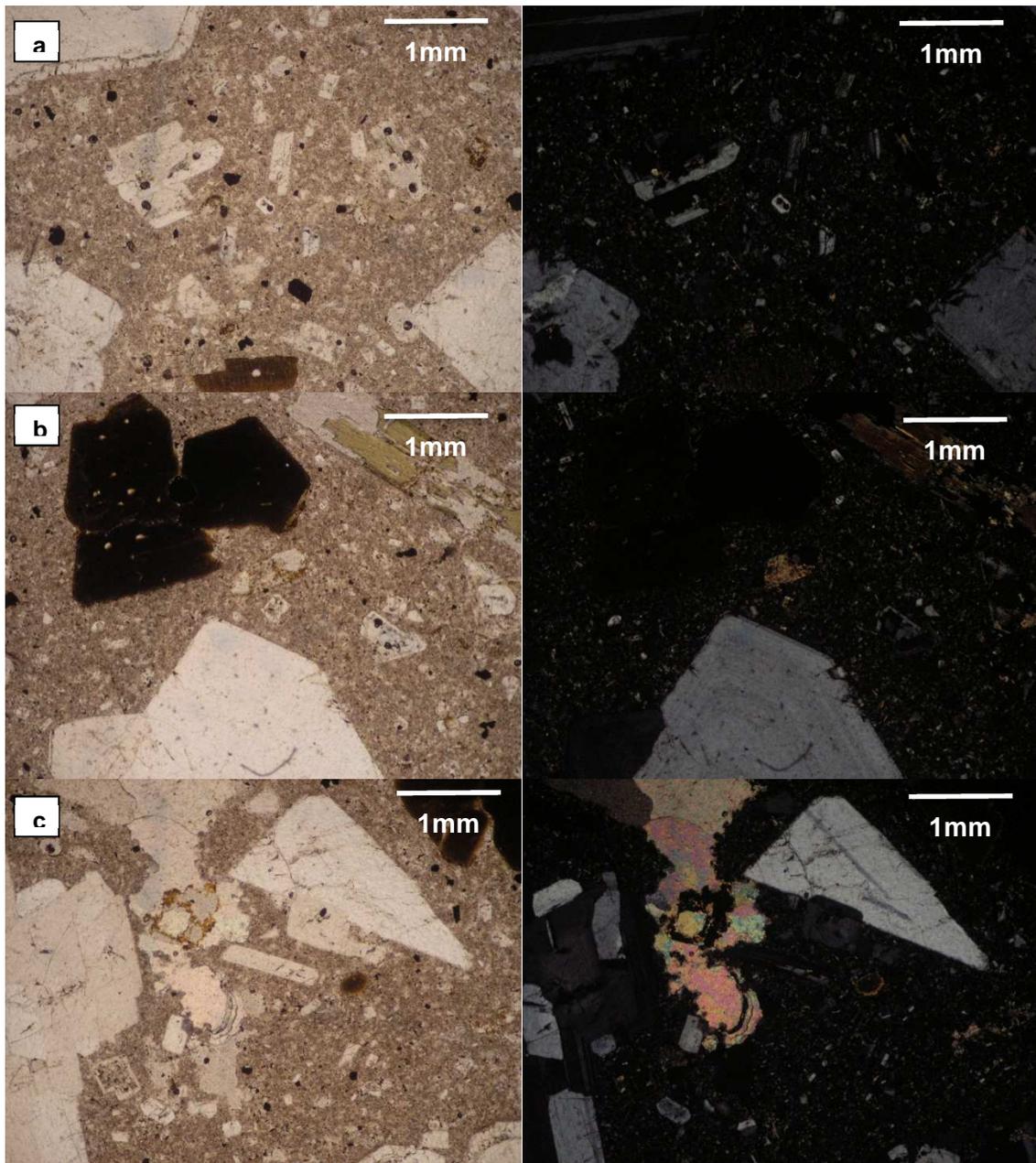


Figura A2.4. a. Imagen general de la muestra donde se observa la textura felsítica de fondo y los fenocristales de plagioclasa y biotita. b. Mineralogía primaria de la roca: fenocristales de biotita, anfíbola y plagioclasa (zonada) dentro de la masa fundamental. Importante notar la presencia de opacos y la masa fundamental un tanto argilizada. c. Alteración abundante de carbonatos (cc).

### Muestra: 459465; Pórfido dacítico (TPpd)

**RESUMEN:** Corresponde a una dacita de biotita, donde la masa fundamental presenta textura felsítica y en donde los fenocristales de plagioclasa y biotita presentan textura pilotaxítica (de flujo). Los cristales se encuentran bien conservados estando las plagioclasas alteradas y las biotitas frescas. La masa fundamental se encuentra bastante argilizada y con opacos diseminados (Fig. A2.5).

**ROCA:** Dacita de biotita.

**TEXTURAS:** Las texturas más relevantes son la porfídica, felsítica y pilotaxítica.

**MINERALOGÍA PRIMARIA:** Compuesta principalmente por la masa fundamental (feldespato y cuarzo) y los fenocristales (plagioclasa y biotita). La masa fundamental corresponde al 70% de la muestra, el restante 30% corresponde a los fenocristales que se detallaran en la siguiente tabla.

MINERAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Plagioclasa	27	Cristales tabulares	Variable, <0,1 hasta 1,4	Cristales generalmente maclados con macla polisintética y/o Carlsbad. En general poco fracturados.
Biotita	3	Cristales tabulares	Desde <0,1 hasta 0,8. La mayoría 0,2	Cristales poco fracturados, los de mayor tamaño presentan una excelente foliación.

**MINERALOGIA DE ALTERACIÓN:** La alteración consiste principalmente de arcilla en la matriz y sericita en las plagioclasas. Las biotitas se encuentran prácticamente inalteradas.

**MINERALES OPACOS:** Menor al 1% de la roca, principalmente de forma regular.

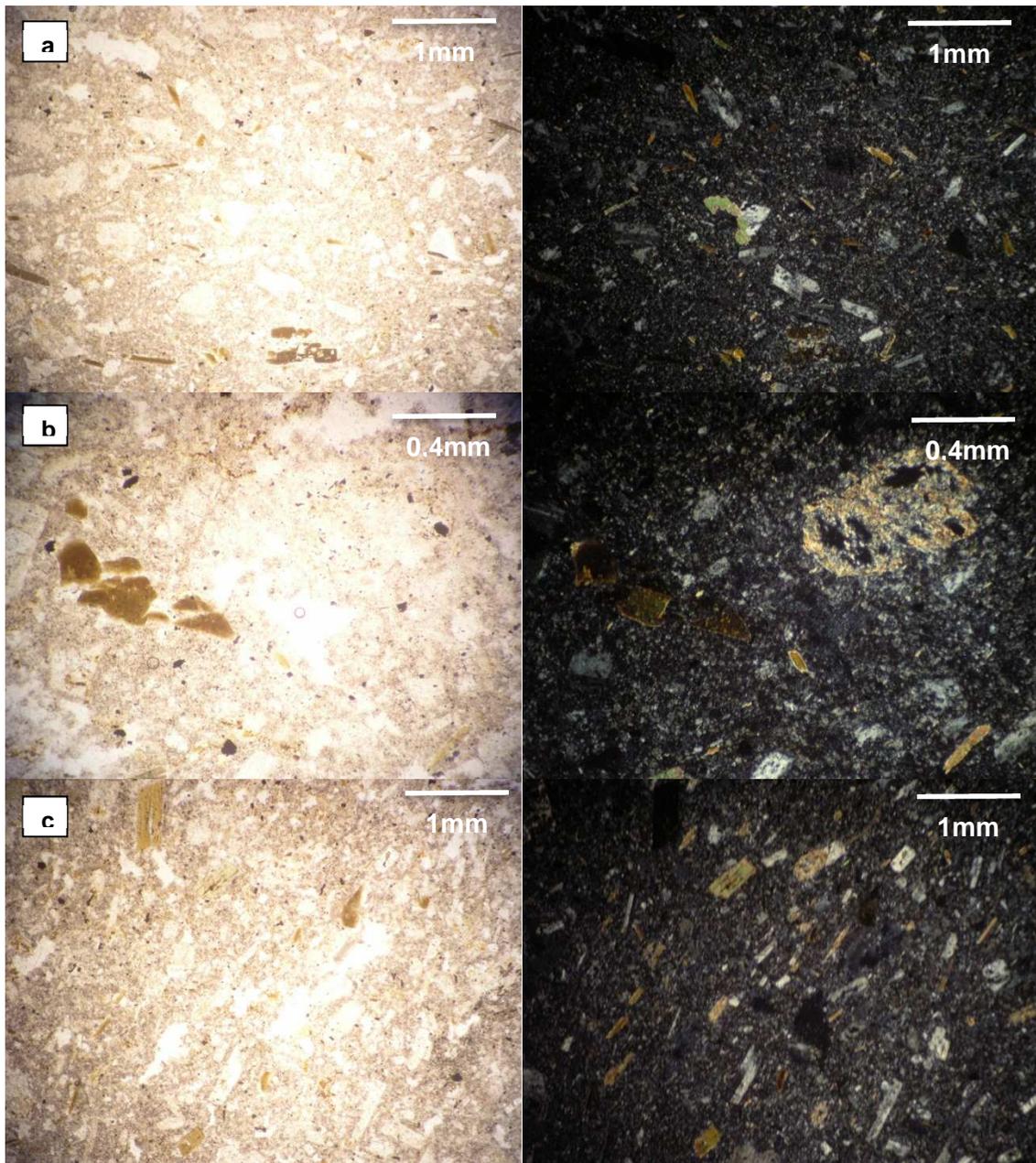


Figura A2.5. a. Vista general del corte donde se observa la textura felsítica de fondo y los fenocristales de plagioclasa y biotita. b. Aumento 10x. Notar la presencia de los fenocristales de plagioclasa completamente reemplazados y los de biotita frescos aunque muy fracturados. c. Clara orientación preferencial de los minerales con textura de flujo. Presencia de plagioclasas con embahiamientos.

**Muestra: 459470; Toba riolítica (TOMdlc4)**

**RESUMEN:** La roca corresponde a una toba cristalina de biotita. La textura predominante es la fragmental, incluyendo fragmentos de biotita, plagioclasa y cuarzo junto con fragmentos líticos (Fig. A2.6).

**ROCA:** Toba cristalina de biotita.

**TEXTURAS:** La textura que predomina es la fragmental, consistente en una mezcla de fragmentos de cristales y rocas. A su vez en los fragmentos pueden observarse otros tipos de texturas, tales como: vesicular en los fragmentos riolíticos y zonación en los cristales de plagioclasas.

**FRAGMENTOS Y MASA FUNDAMENTAL:** La masa fundamental representa el 60% de la roca, correspondiendo principalmente a vidrio de color café. El restante 40% de la roca corresponde a fragmentos de cristales y líticos.

**FRAGMENTOS LITICOS:** Corresponden al 10% de la roca. Se aprecian dos tipos de fragmentos, los más abundantes corresponden a fragmentos subredondeados riolíticos de tamaño muy variable, formados principalmente por una mezcla entre cristales de cuarzo y feldespato (textura felsítica). El segundo tipo corresponde a fragmentos subredondeados de tobas conformadas por vidrio incoloro a café con fragmentos de plagioclasa y hornblenda.

FRAGMENTO DE ROCA	% RESPECTO A FRAGMENTOS	MINERAL / VIDRIO	% RESPECTO AL FRAGMENTO	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Riolita	70			Subredondeado	Desde 0,6 Hasta 7	Corresponden a fragmentos con textura felsítica sin fenocristales.
Toba de cristales	30	Masa fundamental	70			Generalmente cristales redondeados. El tamaño de los fragmentos es variable, con promedio de 2 mm.
		Plagioclasa	20	Cristales tabulares	0,8	
		Hornblenda	10	Cristales tabulares - hexagonales	0,3	

**FRAGMENTOS DE CRISTALES:** Corresponden al 30% de la roca. Los cristales de plagioclasa y cuarzo tienden a estar muy fracturados, por lo cual se puede deducir que provienen de rocas preexistentes (xenocristales), mientras que los cristales de biotita y anfíbola posiblemente tienen un origen juvenil debido al poco fracturamiento que presentan. El porcentaje en la tabla es respecto a la roca total.

MINERAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Plagioclasa	20	Tabulares (muy fracturados)	Menor a 0,1 hasta 1,6. Promedio de 0,6	Tamaño de cristales muy variable.
Biotita	5	Tabulares	0,6	Cristales poco fracturados, con aspecto moteado.
Cuarzo	4	Anhedrales (muy fracturados)	1	
Anfíbola	1	Cristales hexagonales	0,3	En general cristales bien formados, con clivaje en dos direcciones (60° y 120°) y poco fracturados.

La roca está prácticamente inalterada, los minerales opacos conforman el 1% de la roca y en general están bien formados.

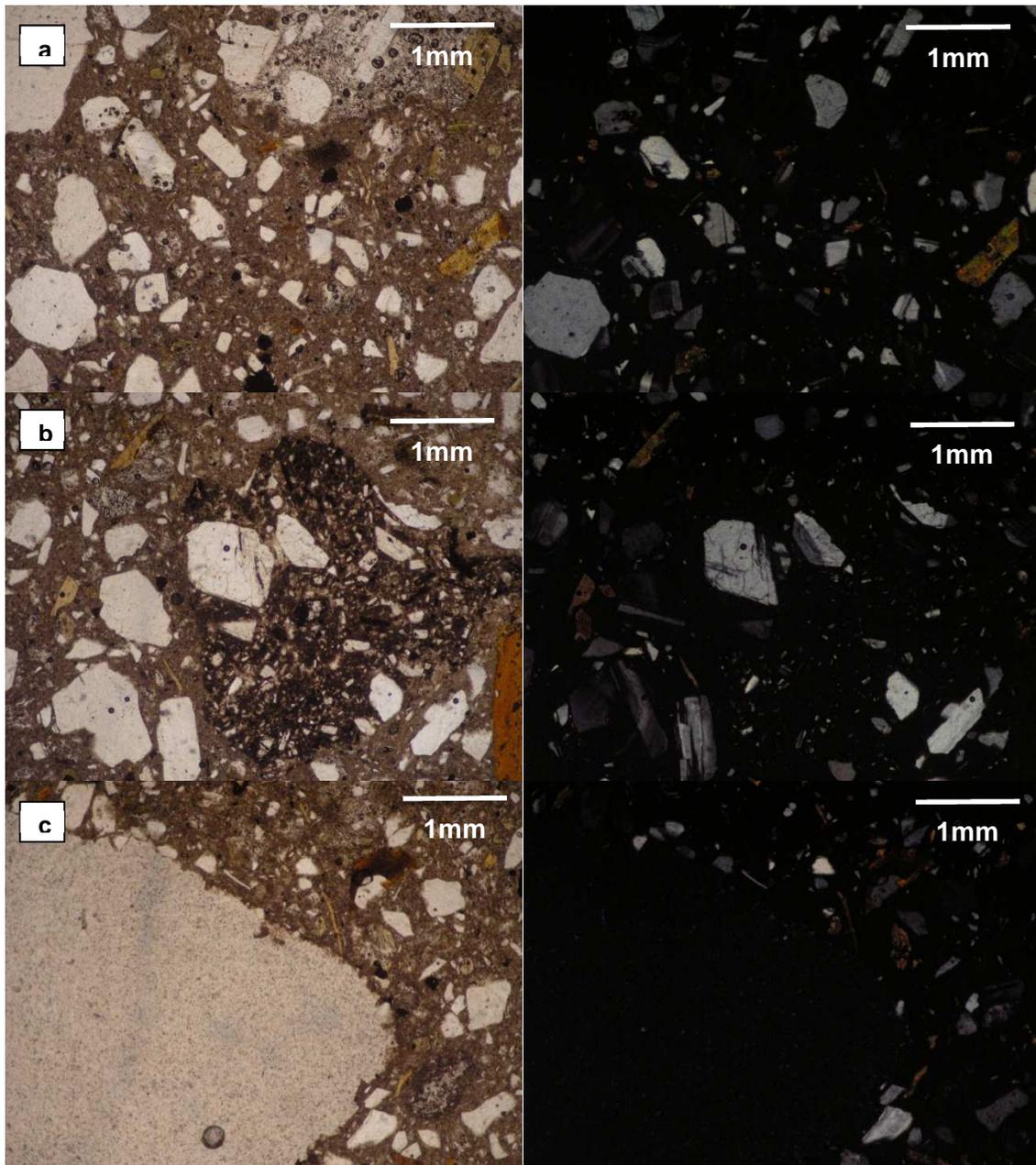


Figura A2.6. a. Vista general del corte donde se observa la textura fragmental en la que predominan cristales fracturados. Es posible observar fragmentos de plagioclasa, biotita y cuarzo dentro de una masa fundamental color café (argilizada). b. Fragmento lítico tobáceo, en el cual se observan principalmente cristales fracturados de plagioclasa y cuarzo dentro de una masa fundamental vítrea. c. Otro tipo común de fragmentos líticos correspondientes a riolitas (?).

### Muestra: 459477; Pórfido y diques riódacíticos (TEpr)

**RESUMEN:** La roca corresponde a una riolita con textura felsítica-porfídica. La masa fundamental está conformada por cuarzo y feldespato microcristalino y los fenocristales son de plagioclasa y cuarzo. La muestra presenta una alteración moderada de sericita y jarosita. Los fenocristales de plagioclasa se encuentran alterados a arcillas (Fig. A2.7).

**ROCA:** Riolita.

**TEXTURAS:** La muestra presenta textura felsítica, es decir, un intercrecimiento microscópico de cuarzo y feldespato alcalino. También presenta textura porfídica con fenocristales de plagioclasa y cuarzo inmersos dentro de la masa fundamental.

**MINERALOGÍA PRIMARIA:** Es el 85% de la roca. Consiste en la masa fundamental (cuarzo + feldespato; 75%) y fenocristales de plagioclasa y cuarzo (10%). La proporción y características de los fenocristales, respecto a la roca total, se detalla en la tabla siguiente.

MINERAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Plagioclasa	8	Cristales tabulares, euhedrales	0,7	Cristales muy alterados a arcillas, prácticamente sin zonación, revelando solo una etapa de crecimiento.
Cuarzo	2	Cristales anhedrales, subredondeados	0,4	Cristales con embahiamientos, indicando texturas de reabsorción

**MINERALOGIA DE ALTERACIÓN:** La mineralogía secundaria consiste en el 15% de la muestra, consistiendo principalmente en dos minerales de alteración: sericita (6%) y jarosita (8%). Las arcillas (1%) son un mineral de alteración importante en los fenocristales de plagioclasa.

**MINERALES OPACOS:** Son de forma regular (cuadrada; <1%).

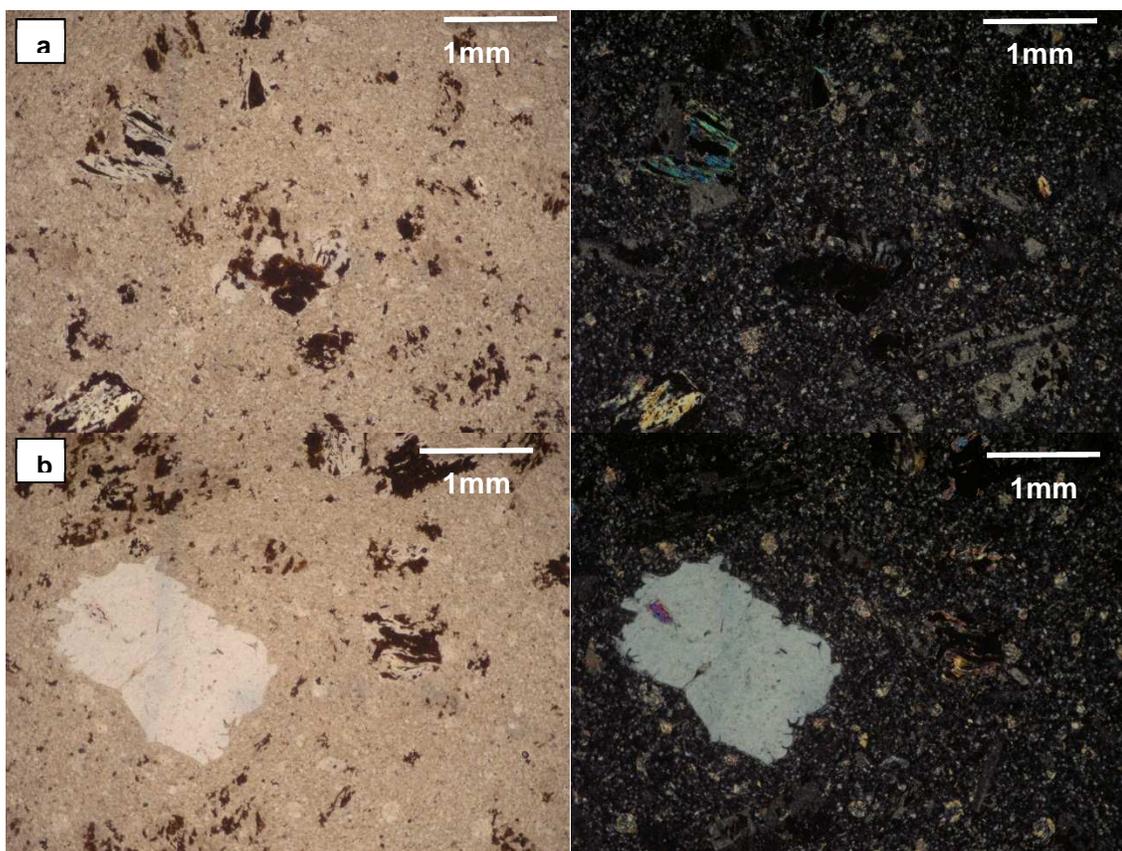


Figura A2.7. a. Vista general del corte. Se observa textura felsítica con fenocristales de plagioclasa (argilizados) junto con restos de jarosita y sericita (moscovita). b. Similar a la imagen anterior, donde además se logran apreciar fenocristales de cuarzo y la alteración sericita – jarosita.

### Muestra: 459487; Brecha freática (TOMdlc7)

**RESUMEN:** Por observaciones de terreno la muestra corresponde a una brecha freática, aunque en secciones delgadas se asimila a una toba lítica. Presenta fragmentos de cuarzo y plagioclasa fracturados inmersos en una matriz de cuarzo fino con epidota y jarosita. Además presenta vetillas sinuosas de 0,05 mm de espesor rellenas con cuarzo (Fig. A2.8).

**ROCA:** Brecha freática.

**TEXTURAS:** La única textura reconocible corresponde a fragmenta.

**FRAGMENTOS DE CRISTALES:** Corresponden al 30% de la muestra, conformados principalmente por cuarzo.

MINERAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Cuarzo	27	Angulosos	0,2	Cristales muy fracturados.
Plagioclasa	3	Cristales tabulares un poco fracturados	1,2	Cristales poco comunes aunque bastante grandes. Presentan macla polisintética y Carlsbad.

**MINERALOGIA DE ALTERACIÓN:** La mineralogía que es posterior a la brecha consiste principalmente de epidota (<1%) que aparece en forma diseminada y jarosita la cual se encuentra como parches en forma continua en el corte, la proporción de este mineral es bastante alta (10%). Escasa presencia de vetillas sinuosas de cuarzo (0,05 mm de espesor).

**MINERALES OPACOS:** Cercano al 1%, principalmente de forma regular.

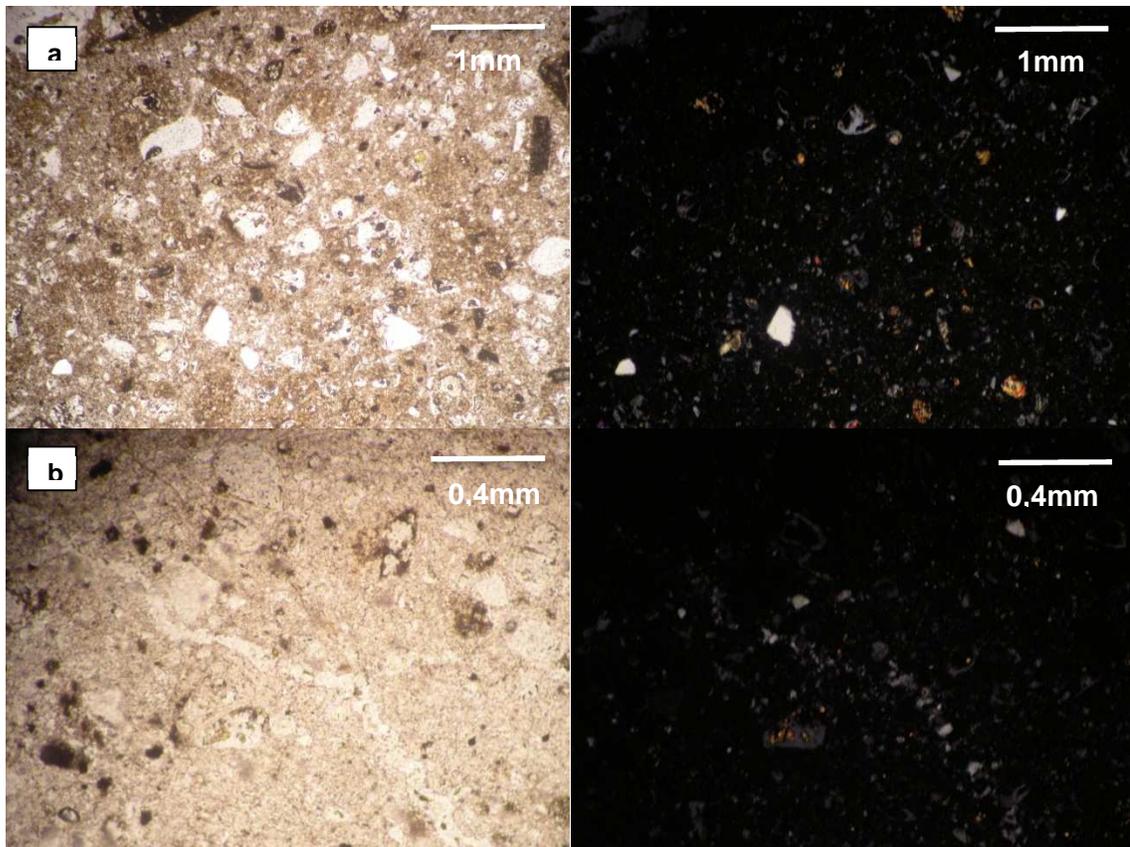


Figura A2.8. a. Vista general del corte donde se puede ver que la textura fragmental es la que predomina en la roca junto con fragmentos de cuarzo y epidota (alteración). b. Vetilla sinuosa de cuarzo.

**Muestra: 459488; Brecha freática (TOMdlc7)**

**RESUMEN:** Al igual que el caso anterior, la muestra corresponde a una brecha freática, esto principalmente por observaciones de terreno y muestras de mano. En corte transparente fácilmente se puede confundir con una toba lítica. Los fragmentos que presenta la muestra corresponden a fragmentos líticos (riolíticos y sedimentarios) y de cristales (principalmente cuarzo + plagioclasa + biotita, también relictos de anfíbola). La masa fundamental corresponde a cuarzo microcristalino (Fig. A2.9).

**ROCA:** Brecha freática.

**TEXTURAS:** La textura predominante es la fragmental, consistente en una mezcla de fragmentos de cristales y líticos.

**FRAGMENTOS Y MASA FUNDAMENTAL:** La masa fundamental representa el 40% de la roca, corresponde principalmente a vidrio de color café (argilizado). El restante 60% de la roca corresponde a fragmentos líticos y de cristales.

**FRAGMENTOS LÍTICOS:** Corresponden al 30% de la roca. Se observan diferentes tipos de fragmentos: fragmentos sedimentarios compuestos principalmente por cuarzo, plagioclasa y sericita en la masa fundamental; fragmentos de cuarzo microcristalino cortados por vetillas de cuarzo y hematita; fragmentos riolíticos con textura felsítica y fenocristales de plagioclasa y anfíbola.

FRAGMENTO DE ROCA	% RESPECTO A FRAGMENTOS	MINERAL / VIDRIO	% RESPECTO AL FRAGMENTO	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Cuarzo microcristalino	5			Fragmento subredondeado	2,8	Presenta vetillas rectas de cuarzo y hematita.
Riolita	55	Cuarzo	75	Subredondeado	<0,1	Fragmentos de tamaño promedio 2,6 mm. El porcentaje de cuarzo se calculó tomando la masa fundamental como 100% cuarzo.
		Plagioclasa	20	Tabular	0,1 – 0,2	
		Anfíbola	5	Hexagonal	0,2	
Sedimentario	40	Cuarzo	80	Redondeada	1,9	La matriz de los fragmentos y los cristales de plagioclasa presentan gran cantidad de sericita.
		Plagioclasa	20	Tabular	0,1	

**FRAGMENTOS DE CRISTALES:** Corresponden al 30% de la roca. Principalmente se presentan fragmentos de cuarzo, plagioclasa y biotita. El porcentaje en la siguiente tabla se considera tomando a la roca como 100%.

MINERAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Cuarzo	25	Cristales redondeados y fracturados.	0,4	Cristales muy abundantes, de muy pequeño tamaño y muy fracturados.
Plagioclasa	4	Cristales tabulares y fracturados.	0,4	Cristales generalmente maclados.
Biotita	1	Cristales tabulares	0,2	Cristales con buena foliación y poca alteración.

**MINERALOGIA DE ALTERACIÓN:** Matriz argilizada con presencia de hematita, principalmente relleno de fracturas (<1%). En los fragmentos sedimentarios existe una alta proporción de sericita, principalmente en la matriz y en los cristales de plagioclasa.

**MINERALES OPACOS:** Baja proporción de opacos en la muestra, generalmente como residuo en torno a minerales máficos alterados.

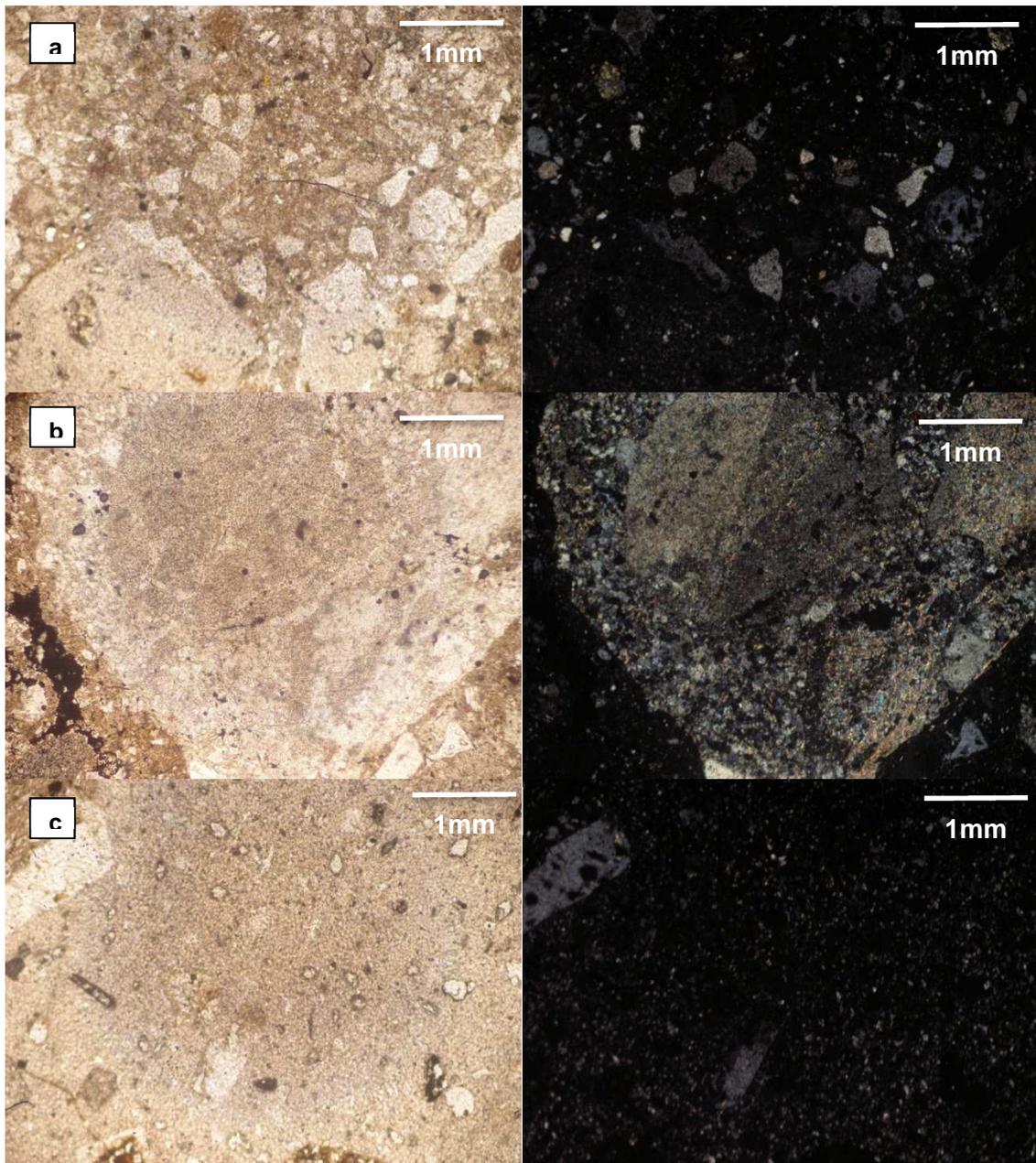


Figura A2.9. a. Vista general del corte donde se observa la textura fragmental que caracteriza a la muestra, la masa fundamental de color café (con presencia de arcillas) y fragmentos angulosos de cuarzo. b. Fragmento sedimentario con cristales tabulares de plagioclasas en una matriz de cuarzo redondeado y sericita. c. Fragmento subredondeado riolítico con textura felsítica y fenocristales de plagioclasa.

### Muestra: 459490; Domo andesítico (TOMdlc3)

**RESUMEN:** La roca corresponde a una dacita. Principalmente se observa una masa fundamental con textura felsítica (cuarzo + feldespato) y fenocristales de plagioclasa + biotita y en menor cantidad de cuarzo y anfíbola, muchos de los cuales se encuentran muy fracturados. Respecto a las anfíbolas, solo se logran reconocer relictos, mientras que las plagioclasas y biotitas están prácticamente inalteradas (Fig. A2.10).

**ROCA:** Dacita de biotita y anfíbola.

**TEXTURAS:** Las texturas principales de la roca son porfídica y felsítica. También es posible reconocer en cristales de plagioclasas textura glomeroporfídica y zonación.

**MINERALOGÍA PRIMARIA:** La mineralogía primaria se divide en lo que es masa fundamental y lo que son los fenocristales. La masa fundamental corresponde al 70% de la roca y es una mezcla microscópica entre cristales de feldespato y cuarzo. El restante 30% corresponde a fenocristales de plagioclasa, biotita, anfíbola y cuarzo. Respecto al total de la roca, la proporción de fenocristales se detalla en la tabla siguiente:

MINERAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Plagioclasa	22	Cristales euhedrales, tabulares	Desde 0,25 hasta 3,75. En promedio 0,75.	Algunos cristales se observan bastante fracturados. Poca alteración, salvo los bordes donde se concentran arcillas y por fracturas donde se concentran óxidos de Fe. Dos poblaciones de tamaños.
Biotita	5	Cristales tabulares	1	Excelente clivaje. En general los cristales están poco alterados. En los bordes se acumulan minerales opacos.
Anfíbola	2	Cristales hexagonales	1	Solo se observan relictos. Cristales bien formados, pero completamente remplazados.
Cuarzo	1	Cristales anhedrales	0,6	Cristales redondeados, bastante fracturados.

**MINERALOGIA DE ALTERACIÓN:** Se observan óxidos de Fe como minerales de alteración (principalmente hematita), junto con una argilización de la masa fundamental y de algunas bordes de plagioclasas. La alteración es cercana al 5% de la roca.

**MINERALES OPACOS:** De forma regular y menor a 1%.

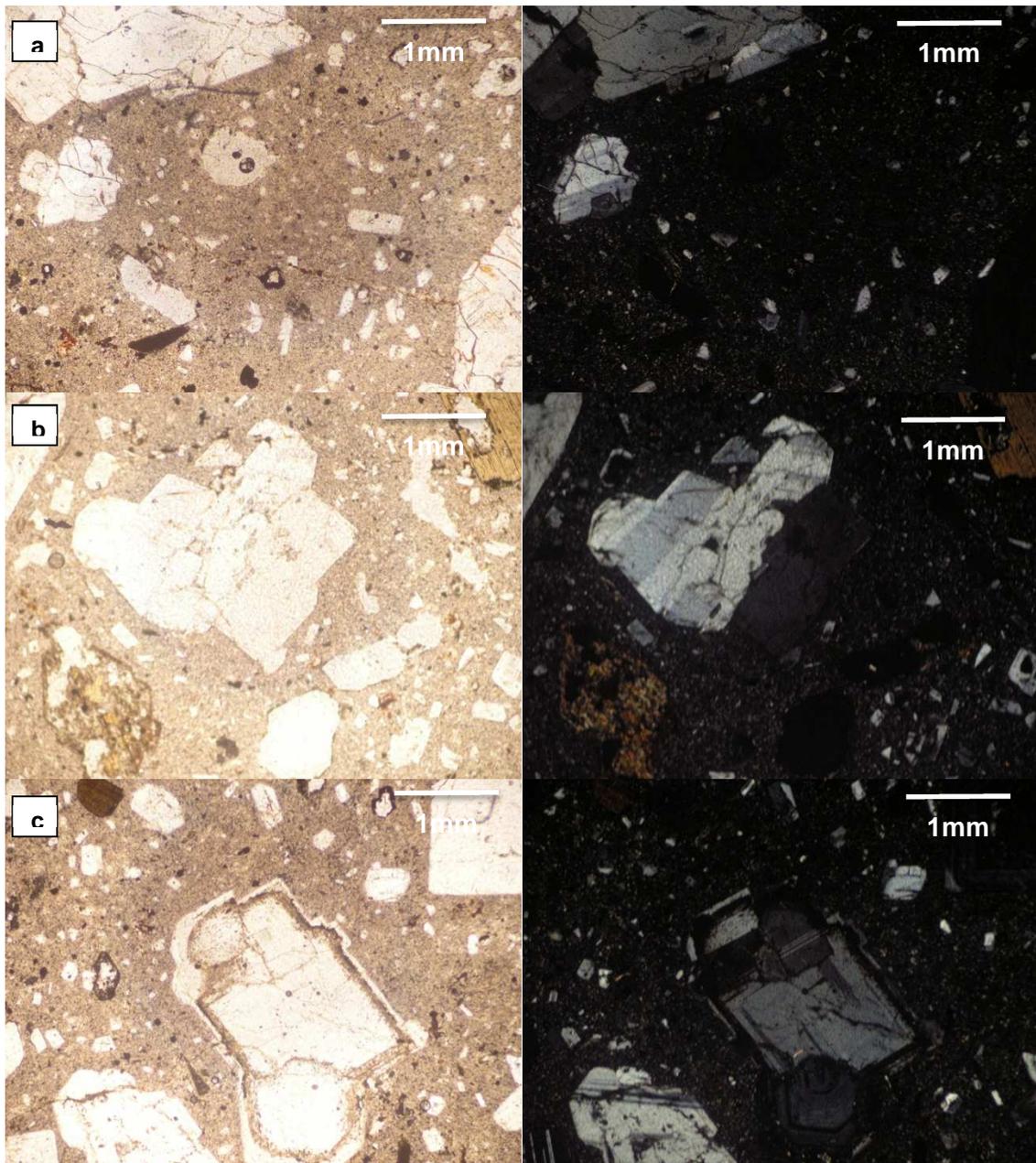


Figura A2.10. a. Vista general del corte donde se aprecia la textura felsítica que caracteriza a la muestra y los fenocristales de plagioclasa fracturados. b. Imagen similar a la anterior donde se puede observar la masa fundamental con textura felsítica y fenocristales de plagioclasa, biotita y anfíbola. Los cristales de biotita en general se encuentran poco alterados, mientras que los de anfíbola están completamente remplazados y con bordes de óxidos de Fe. Las plagioclasas presentan dos poblaciones de tamaños, las de mayor tamaño se encuentran en general fracturadas, zonadas y con cierto grado de argilización, mientras que las de menor tamaño en general están frescas. c. Textura glomeroporfídica en plagioclasas, junto con la zonación y alteración de los cristales de plagioclasa.

### Muestra: 459491; Pórfido dacítico (TPpd)

**RESUMEN:** La roca corresponde a una andesita de biotita con fenocristales de plagioclasa y biotita inmersos en una matriz vítrea incolora-cafesosa (debido a la alteración). En torno a los minerales máficos existe titanita como residuo de la alteración. Es importante notar que las biotitas se encuentran prácticamente inalteradas, mientras que las plagioclasas se encuentran completamente obliteradas (Fig. A2.11).

**ROCA:** Andesita de biotita.

**TEXTURAS:** La textura más importante en la muestra es la vitrofírica con fenocristales de plagioclasa y biotita dentro de la masa vítrea. También es posible observar texturas de flujo (pilotaxítica) en la muestra.

**MINERALOGÍA PRIMARIA:** Corresponde al 30% de la roca y se compone de plagioclasa y biotita.

MINERAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Plagioclasa	20	Cristales tabulares	Desde 0,1 hasta 1	Cristales completamente remplazados.
Biotita	10	Cristales tabulares	0,15	Presencia de titanita en los bordes de los cristales.

**MINERALOGIA DE ALTERACIÓN:** Corresponde principalmente a titanita en los bordes de los minerales.

**MINERALES OPACOS:** <<1%. Corresponden a cristales con forma regular (cuadrada-rectangular).

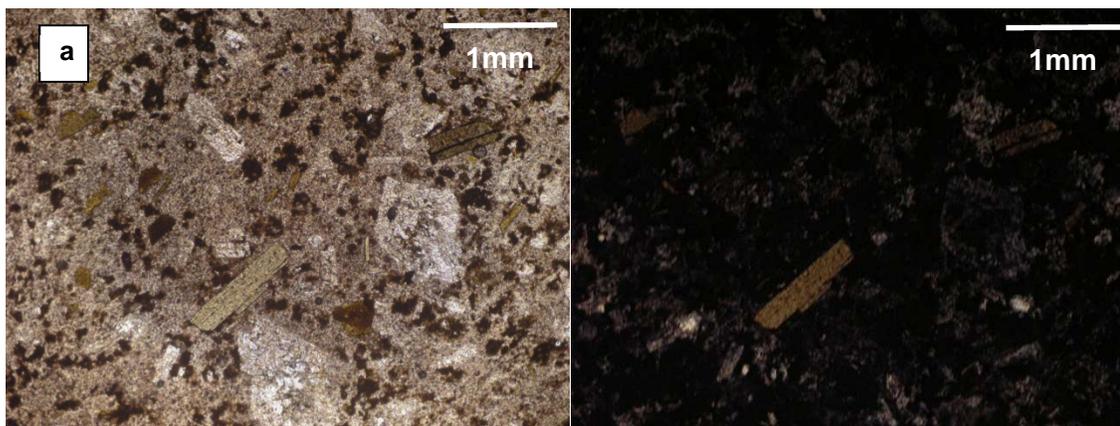


Figura A2.11. a. Imagen general del corte donde se aprecia la textura porfídica con fenocristales de plagioclasa y biotita. Los cristales de plagioclasa están completamente remplazados. La masa fundamental (vítrea) es incolora a cafesosa.

### Muestra: 459496; Toba dacítica (TOMdlc5)

**RESUMEN:** La muestra corresponde a una toba de cristales. Los fragmentos principales corresponden a cristales fracturados de cuarzo, biotita y plagioclasa. Los fragmentos líticos corresponden solo al 5% de la roca y son "acumulaciones de cuarzo" (Fig. A2.12).

**ROCA:** Toba cristalina.

**TEXTURAS:** La textura predominante es la fragmental, consistente en una mezcla de fragmentos de cristales y líticos.

**FRAGMENTOS Y MASA FUNDAMENTAL:** La masa fundamental representa el 60% de la roca, siendo vidrio de color café (argilizado). El restante 40% de la roca corresponden a cristales y líticos.

**FRAGMENTOS LÍTICOS:** Corresponden al 5% de la roca y son acumulaciones de cristales de cuarzo posiblemente de origen hidrotermal, dado la forma tabular y alargada de los cristales, con tamaño promedio 1,9 mm.

**FRAGMENTOS DE CRISTALES:** Son el 35% de la roca. Corresponden a fragmentos de cuarzo, plagioclasa, biotita y anfíbola. El porcentaje respecto al total de cristales se presenta en la siguiente tabla.

MINERAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Cuarzo	45	Cristales redondeados y fracturados.	Variable desde 0,1 hasta 0,9	
Plagioclasa	45	Cristales tabulares y fracturados.	Variable desde 0,1 hasta 0,8	Algunas plagioclasas presentan circones de tamaño considerable.
Anfíbola	3	Cristales hexagonales y tabulares	0,3	Cristales muy alterados.
Biotita	2	Cristales tabulares	0,1	

**MINERALOGIA DE ALTERACIÓN:** Matriz argilizada. Los fragmentos de cristales máficos se presentan cloritizados y argilizados.

**MINERALES OPACOS:** Relativamente baja proporción de minerales opacos en la muestra (<1%) generalmente de forma regular y oxidados (hematizados).

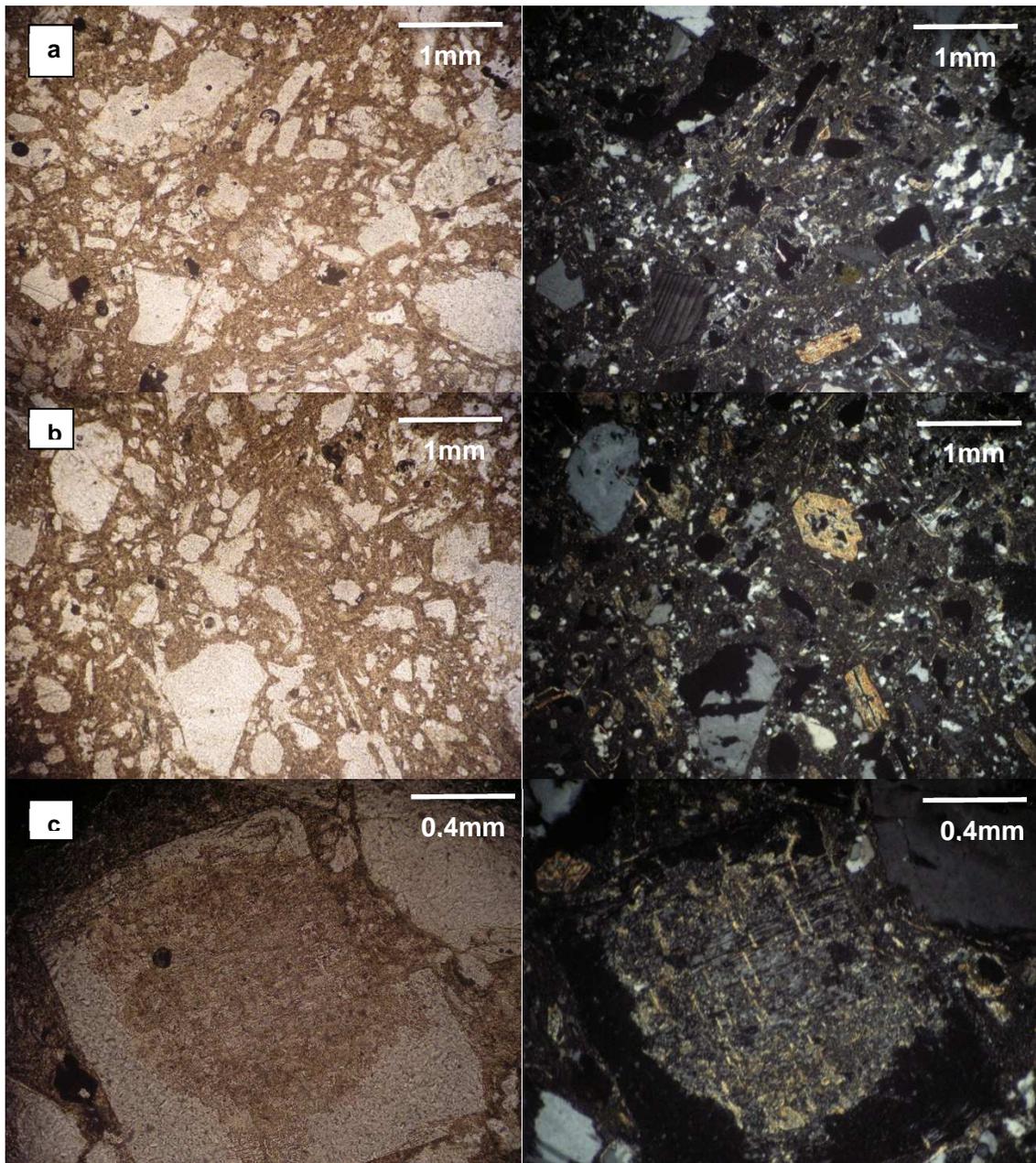


Figura A2.12. a. Vista general del corte. Se puede observar la textura fragmental, en donde predominan los fragmentos de cristales sobre los líticos. Notar los fragmentos de cuarzo junto con los de plagioclasa y anfíbola. También es posible observar las “acumulaciones” de cristales de cuarzo y la masa fundamental vítrea de color café (argilizada) rica en cuarzo. b. Similar a la imagen anterior donde es posible observar cristales de cuarzo y anfíbola dentro de la masa fundamental. c. Cristal de microclina ( $\mu$ ) con macla de tartán, el cual presenta alteración de sericita siguiendo la dirección de la macla.

### Muestra: 459497; Toba de lapilli (TOMdlc6)

**RESUMEN:** La muestra corresponde a una toba de lapilli. Es posible observar dos tipos de fragmentos, los de cuarzo y los líticos. Los fragmentos líticos pueden subdividirse en tres grupos, los más abundantes que no tienen un origen claro, los fragmentos sedimentarios y los fragmento riolíticos (Fig. A2.13).

**ROCA:** Toba de lapilli.

**TEXTURAS:** Al igual que las otras muestras de tobas, la textura predominante es la fragmental, que se caracteriza por fragmentos líticos y de cristales, en este caso, de cuarzo.

**FRAGMENTOS Y MASA FUNDAMENTAL:** Los fragmentos tienden a ser bastante angulosos y a no estar en contacto entre ellos. La razón fragmentos/masa fundamental es de 40/60. La masa fundamental presenta una cantidad considerable de arcillas.

**FRAGMENTOS LÍTICOS:** Los fragmentos corresponden al 40% de la roca, de este porcentaje el 80% corresponde a fragmentos líticos, es decir, el 32% de la roca. Tres tipos de fragmentos distintos son reconocibles: de origen sedimentario, riolíticos e indeterminados. Las características de los fragmentos se resumen en la siguiente tabla, el porcentaje es respecto al total de fragmentos líticos.

FRAGMENTO DE ROCA	% RESPECTO A FRAGMENTOS	MINERAL / VIDRIO	% RESPECTO AL FRAGMENTO	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Irreconocibles	80			Alargados y redondeados	Tamaño variable desde 0,2 hasta 3	Son incoloros (np) y totalmente extintos a nx. Presentan gran cantidad de minerales tabulares de 0,02 mm
Fragmentos sedimentarios	10	Cuarzo	20	Cristales angulosos y alargados	0,2	Es posible observar fragmentos sedimentarios dentro de los fragmentos (retrabajo).
		Arcillas	80			
Riolita	10			Sin forma, alargados	Diámetro mínimo: 0,6; máximo: 3	Fragmentos con textura felsítica, ricos en hematita.

**FRAGMENTOS DE CRISTALES:** Corresponde al 8% de la roca. Son cristales de cuarzo angulosos y alargados de tamaño promedio 0,4 mm.

**MINERALOGIA DE ALTERACIÓN:** Alta presencia de hematita (1%), principalmente de forma diseminada.

**MINERALES OPACOS:** Menor al 1%, principalmente de forma regular, con bordes oxidados.

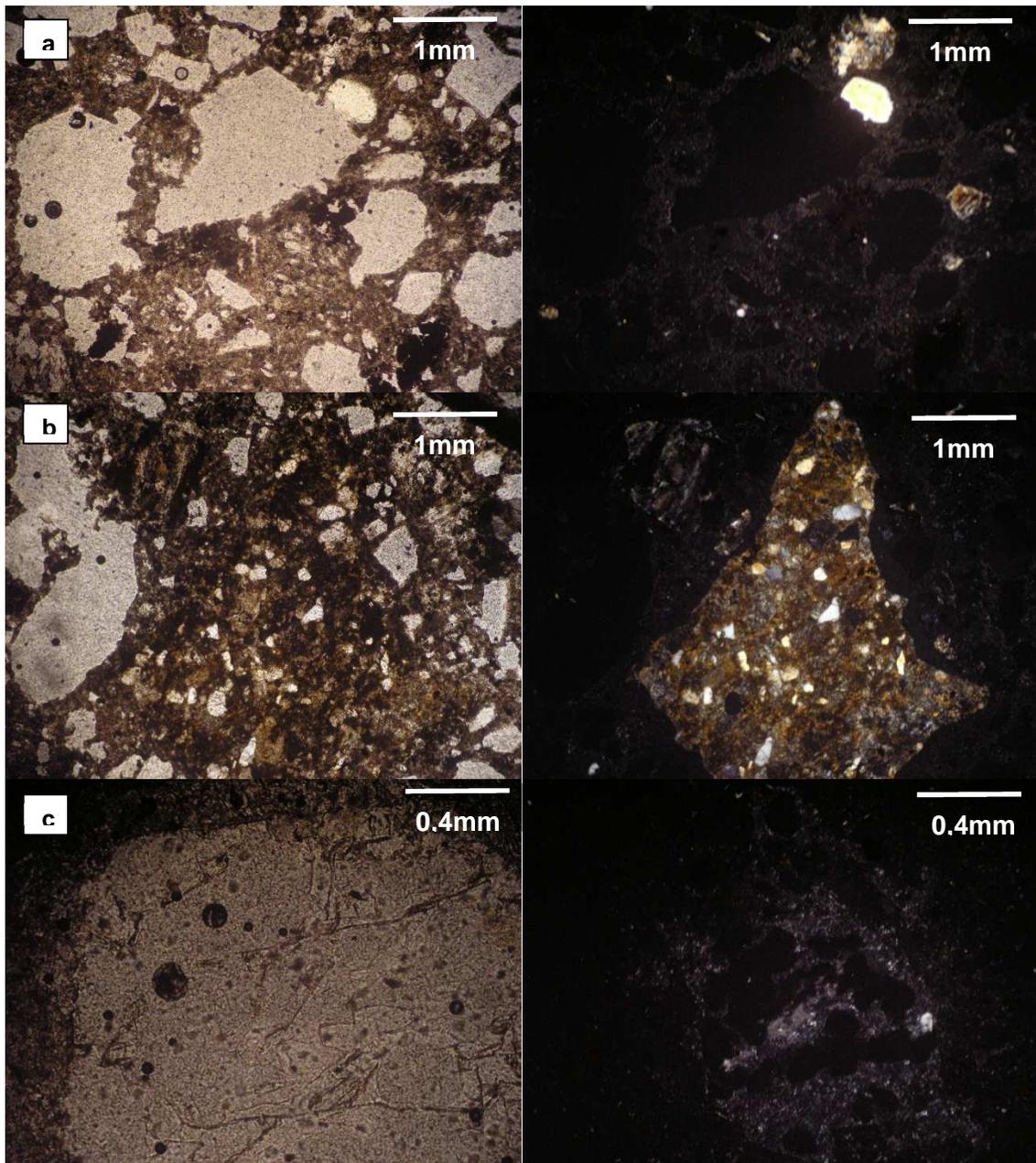


Figura A2.13. a. Vista general de la roca donde es posible observar dos tipos de fragmentos, cristales de cuarzo y los “fragmentos irreconocibles” los cuales son incoloros y extintos a nx. b. Fragmento lítico de origen sedimentario. Es anguloso de 2,5 x 4 mm conformado principalmente por cristales de cuarzo angulosos a subredondeados dentro de una matriz arcillosa de color café-amarillento. c. Tercer tipo de fragmento correspondiente a una riolita. Es redondeado y presenta textura felsítica.

### Muestra: 459498; Domo dacítico (TOMdlc2)

**RESUMEN:** La roca corresponde a una dacita de biotita y anfíbola. Se observa una masa felsítica con fenocristales de cuarzo, plagioclasa, biotita y anfíbola. Comparada con otras muestras de dacita, acá la proporción de fenocristales de cuarzo es mayor y la de minerales máficos es menor. El grado de alteración es bastante alto, distinguiéndose la asociación de arcillas en la masa fundamental y carbonatos (calcita) en la masa fundamental y alterando a los fenocristales (Fig. A2.14).

**ROCA:** Dacita de biotita y anfíbola.

**TEXTURAS:** Al igual que las otras muestras de domos de la unidad Domos La Coipa (TOMdlc) destacan las texturas felsítica y porfídica.

**MINERALOGÍA PRIMARIA:** La masa fundamental corresponde al 55% de la roca. Los fenocristales de plagioclasa, cuarzo, anfíbola y biotita representan el 35% de la muestra. El restante 10% corresponde a minerales de alteración y opacos.

MINERAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Plagioclasa	27	Cristales tabulares	1,3	Cristales muy alterados a calcita, principalmente en fracturas y por la dirección del clivaje.
Cuarzo	4	Cristales anhedrales, subredondeados	1,6	Algunos cristales fracturados y rellenos por calcita. Gran cantidad de inclusiones fluidas.
Biotita	3	Cristales tabulares	0,9	Cristales tabulares, con excelente clivaje, muy poco alterados y minerales opacos en los bordes. Presenta bordes de reacción.
Anfíbola	1	Cristales hexagonales y tabulares	0,6	Cristales completamente remplazados por carbonatos y clorita. Los bordes presentan gran cantidad de óxidos de Fe.

**MINERALOGIA DE ALTERACIÓN:** Corresponden principalmente a calcita (6% de la roca) y también a arcillas (3%). La calcita aparece diseminada, alterando a plagioclasas y minerales máficos. Las arcillas se encuentran principalmente alterando a los minerales en la masa fundamental.

**MINERALES OPACOS:** Cercano al 1%, son minerales principalmente alargados y con bordes oxidados (hematizados).

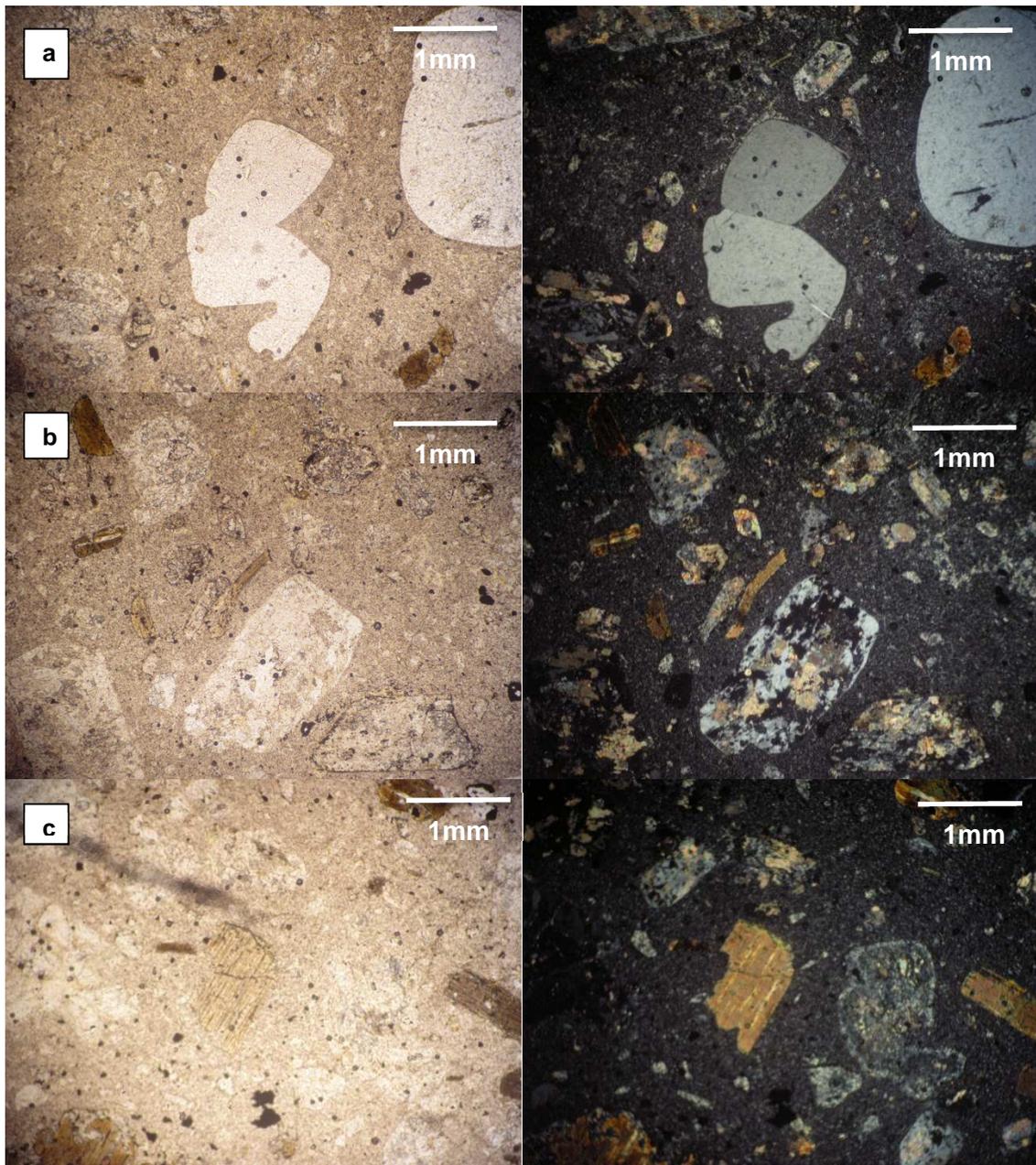


Figura A2.14. a. Vista general del corte donde se aprecian los fenocristales de cuarzo subredondeados inmersos en una masa fundamental felsítica. Se observan cristales de plagioclasa de menor tamaño completamente obliterados (reemplazados por calcita) y zonados. Notar el grado de alteración que presenta la muestra. b. Similar al corte anterior, donde la alteración de las plagioclasas es más evidente. Los cristales de biotita están prácticamente inalterados, solo presentando bordes con minerales opacos. c. Cristales de biotita (mineral máfico más abundante) inalteradas con bordes de minerales opacos.

### Muestra: 459500; Toba de lapilli (TOMdlc6)

**RESUMEN:** La muestra corresponde a una toba de cristales, principalmente de cuarzo y plagioclasa. La proporción de líticos es considerable, distinguiendo fragmentos de tobas y riolitas (Fig. A2.15).

**ROCA:** Toba de cristales.

**TEXTURAS:** La textura fragmental predomina en la muestra, y está formada por fragmentos de cristales y líticos. También pueden observarse texturas en los minerales como las clásicas texturas de zonación en los cristales fracturados de plagioclasas (xenocristales) como también textura felsítica y porfídica en los fragmentos riolíticos. En fragmentos tobáceos es posible identificar textura eutaxítica, formadas por fragmentos de vidrio aplastados (fiammes).

**FRAGMENTOS Y MASA FUNDAMENTAL:** Los fragmentos líticos tienden a ser redondeados y alargados, mientras que los de cristales son angulosos y alargados. La razón fragmentos/masa fundamental es de 70/30.

**FRAGMENTOS LÍTICOS:** Los fragmentos corresponden al 70% de la muestra, dividiéndose en fragmentos líticos y de cristales, casi en un 50% cada uno. La siguiente tabla resume las características de los fragmentos.

FRAGMENTO DE ROCA	% RESPECTO A FRAGMENTOS	MINERAL / VIDRIO	% RESPECTO AL FRAGMENTO	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Toba de cristales	30	Plagioclasas	20	Cristales alargados-fragmentados	Hasta 1,3	El restante 70% corresponde a la masa fundamental.
		Cuarzo	5	Cristales alargados	<0,1	
		Anfíbola	5	Hexagonal (cristales relictos)	0,6	
Dacita-riolita	60	Plagioclasa	5	Cristales tabulares	0,8	Corresponden a una masa felsítica con fenocristales de plagioclasa.
Dacita	10	Plagioclasa	20	Cristales tabulares	Variable, hasta 1,6	El restante 75% corresponde a vidrio café.
		Cuarzo	5	Cristales alargados	Variable, hasta 0,6	

**FRAGMENTOS DE CRISTALES:** Corresponden al 50% de la muestra. Se logran apreciar de tres tipos. Fragmentos de cristales de cuarzo, plagioclasa y biotita. El porcentaje respecto al total de cristales y otras características se presentan en la siguiente tabla.

MINERAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Plagioclasa	70	Cristales tabulares fragmentados	1,2	La mayoría de los cristales están maclados y zonados.
Cuarzo	28	Cristales angulosos	0,4	

Biotita	2	Cristales tabulares	0,9	Excelente foliación y poca alteración.
---------	---	---------------------	-----	--

**MINERALOGIA DE ALTERACIÓN:** Principalmente hematita y arcilla diseminada en la matriz. Los fragmentos de cristales y líticos se encuentran poco alterados.

**MINERALES OPACOS:** <<1% de forma regular.

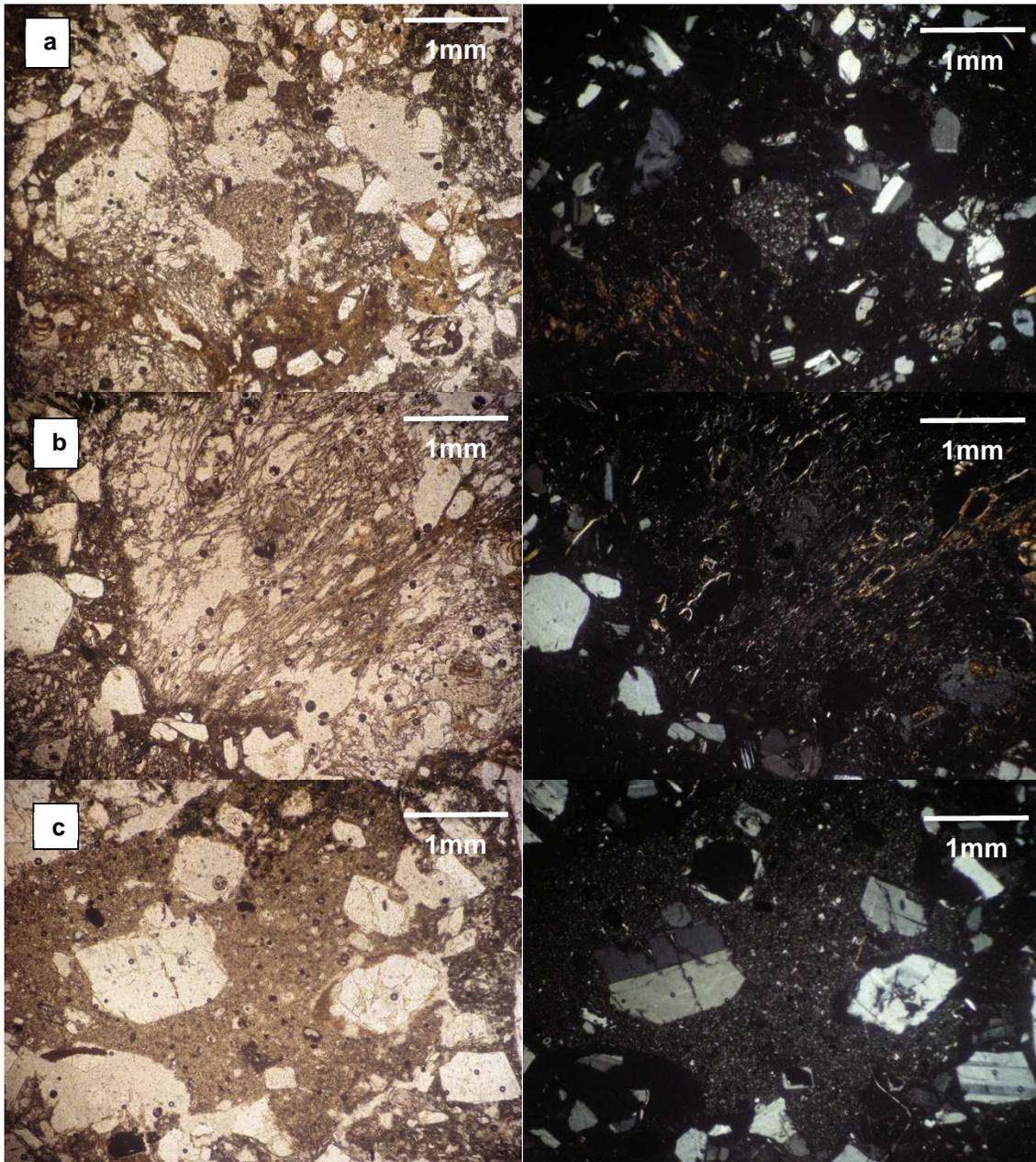


Figura A2.15. a. Vista general del corte donde se observa la textura fragmental que caracteriza a la muestra y en donde predominan fragmentos de cristales sobre los líticos. Puede observarse fragmentos de plagioclasa y cuarzo. b. Textura eutaxítica (fiamme) en un fragmento de pómez. Lo que se observa en el borde son fragmentos de cuarzo. c. Fragmento de dacita con textura felsítica y fenocristales de cuarzo y plagioclasa en el interior.

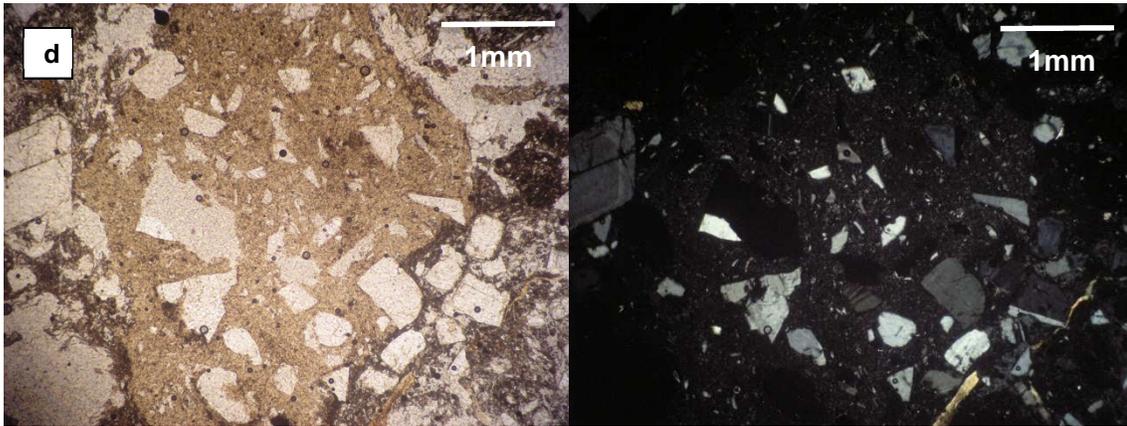


Figura A2.15 (continuación) d. Fragmento piroclástico, posiblemente correspondiendo a una toba riolítica-dacítica con cristales de cuarzo anguloso.

**Muestra: 459757; Domo riolítico (TEdr)**

**RESUMEN:** La muestra corresponde a una riolita con textura porfídica y con alteración penetrativa cuarzo-sericita. Por observaciones de terreno, la roca correspondería a un domo riolítico (Fig. A2.16).

**ROCA:** Riolita.

**TEXTURAS:** La textura más importante corresponde a la porfídica con fenocristales de plagioclasa y cuarzo. También es posible observar textura glomeroporfídica en fenocristales de plagioclasa y de reabsorción en cristales de cuarzo.

**MINERALOGÍA PRIMARIA:** Es difícil poder distinguir la mineralogía primaria de la secundaria. En general la masa fundamental tiene una alta proporción de cuarzo, el cual se encuentra en gran parte recristalizado. El porcentaje de alteración corresponde al 40% de la roca, 20% de cuarzo (cristales microcristalinos) y 20% sericita. El restante 60% corresponde a mineralogía primaria, que se resume en la siguiente tabla:

MINERAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)
Plagioclasa	15	Tabulares	2
Cuarzo	45	Cristales redondeados	Desde 0,1 hasta 4

**MINERALOGIA DE ALTERACIÓN:** Corresponde a la asociación cuarzo-sericita. Representa el 40% de la roca.

**MINERALES OPACOS:** Muy bajo porcentaje, <<1%. De forma regular y tamaño 0,01 mm.

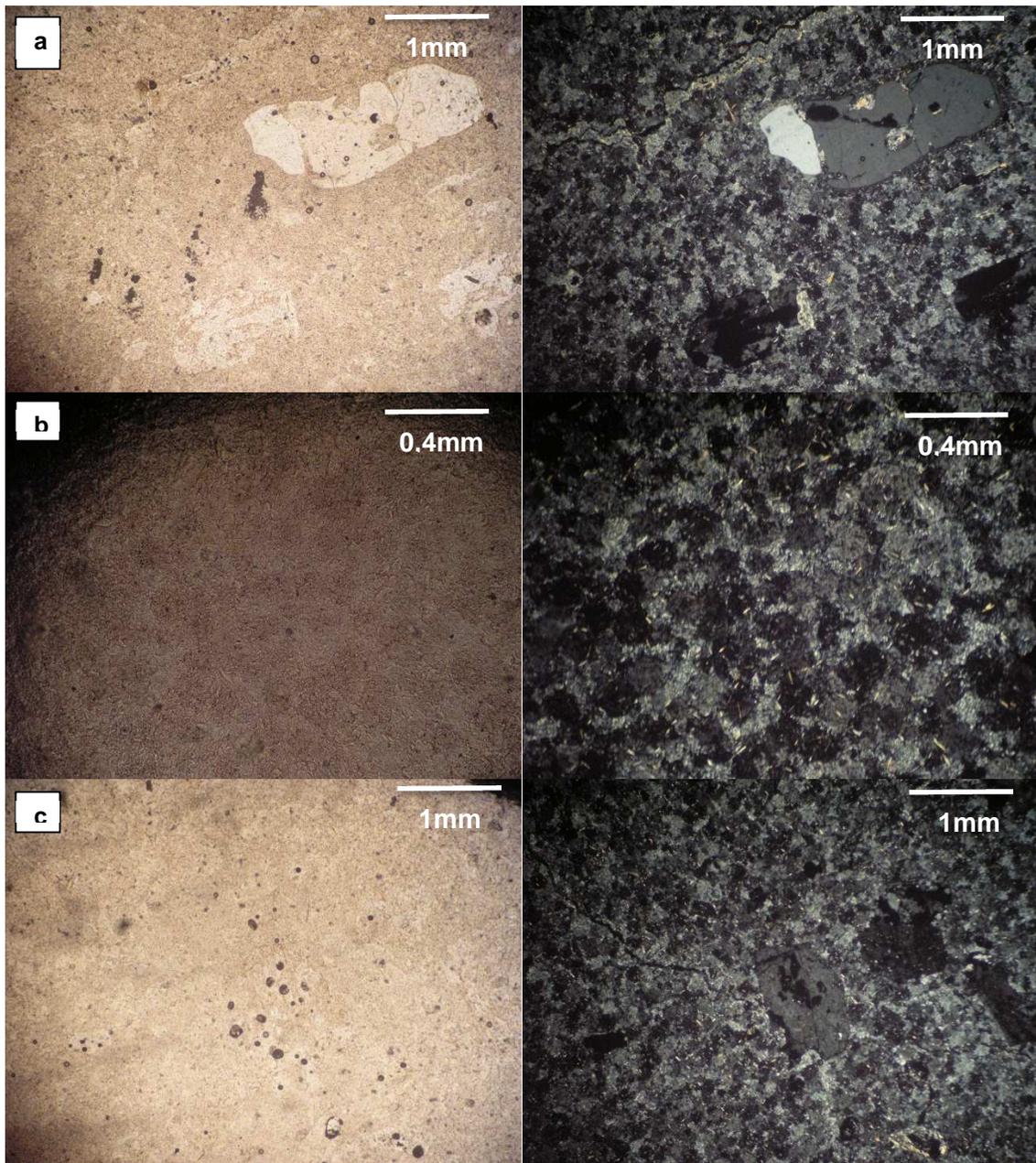


Figura A2.16. a. Vista general del domo riolítico. Se puede apreciar textura porfídica con fenocristales de cuarzo y plagioclasa, estas últimas con bastante alteración. En general los fenocristales están inmersos dentro de una masa fundamental rica en cuarzo. Alta presencia de oquerosidades y además algunas fracturas y vetillas. Presencia de alunita ( $\lambda$ ) como mineral de alteración. La masa fundamental también presenta un grado de alteración variable destacando la presencia de arcillas. b. Similar a la imagen anterior donde se aprecia de mejor manera la masa fundamental rica en cuarzo y arcillas. Presencia de alunita ( $\lambda$ ) como mineral de alteración. c. Fenocristales de plagioclasa completamente alterados, se conserva la macla.

### Muestra: 459760; Diatrema

**RESUMEN:** La muestra corresponde a una toba de cristales donde predominan los fragmentos de cuarzo, biotita y plagioclasa. Los fragmentos líticos son principalmente riolíticos y sedimentarios. La masa fundamental es vítrea color café (Fig. A2.17).

**ROCA:** Toba lítica.

**TEXTURAS:** La textura más importante es la fragmental, que consiste en fragmentos líticos, en este caso sedimentarios e ígneos, junto con fragmentos de cristales (principalmente de cuarzo, plagioclasa y biotita).

**FRAGMENTOS Y MASA FUNDAMENTAL:** La relación masa fundamental/fragmentos es de 60/40.

**FRAGMENTOS LÍTICOS:** Corresponden al 15% de la roca. Se pueden distinguir tres tipos de fragmentos: riolita, sedimentarios y completamente obliterados.

FRAGMENTO DE ROCA	% RESPECTO A FRAGMENTOS	MINERAL / VIDRIO	% RESPECTO AL FRAGMENTO	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Obliterado	3			Redondeado	5	
Sedimentario	7	Cuarzo	80	Angulosos	0,4	Fragmentos angulosos
		Sericita	20	Tabulares	<0,1	
Riolita	5			Redondeado	2	Fragmentos redondeados con textura felsítica y "fenocristales" de plagioclasa

**FRAGMENTOS DE CRISTALES:** Corresponden al 25% de la roca.

MINERAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Cuarzo	18	Cristales muy fracturados	0,4	Cristales angulosos y muy fracturados.
Plagioclasa	5	Cristales muy fracturados	Muy variable, desde 0,2 hasta 1,6	Cristales de diferente tamaño, algunos zonados y/o con macla polisintética.
Biotita	2	Cristales tabulares	0,4	

**MASA FUNDAMENTAL:** Es vidrio de color café argilizado y con jarosita diseminada.

**MINERALES OPACOS:** Gran cantidad de minerales opacos principalmente tabulares (1%).

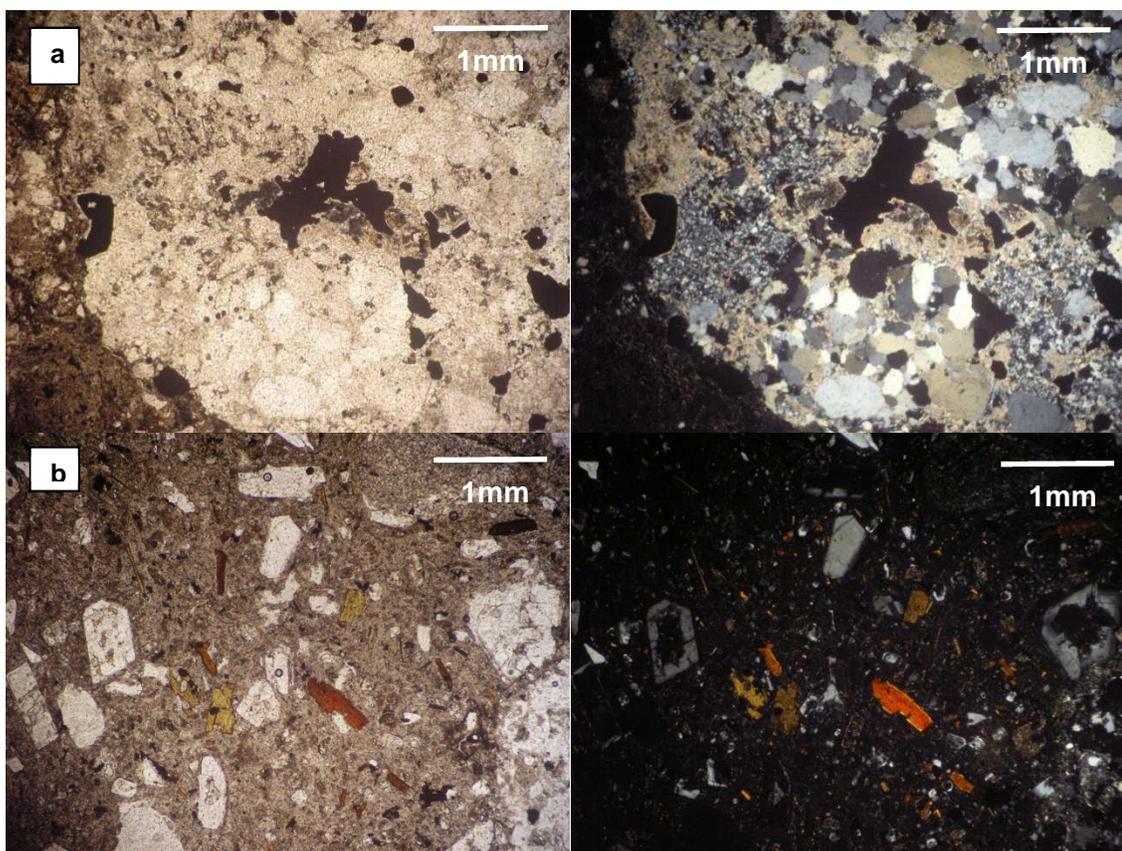


Figura A2.17. a. Fragmento lítico sedimentario con cristales de cuarzo alargados dentro de una matriz rica en carbonatos. El fragmento es irregular y tiende a ser alargado. b. Fragmento lítico de origen volcánico (ígneo) en el cual destacan fenocristales de plagioclasa y biotita dentro de una masa vítrea argilizada.

### Muestra: 459763; Pórfido andesítico de anfíbola

**RESUMEN:** La roca corresponde a un pórfido andesítico ( $\lambda$ ) de anfíbola completamente obliterado. Se logran reconocer fenocristales de plagioclasa y anfíbola completamente alterados en una masa fundamental recristalizada (solo cuarzo) (Fig. A2.18).

**ROCA:** Pórfido de anfíbola.

**TEXTURAS:** La muestra se encuentra muy alterada, solo se observan texturas de remplazo.

**MINERALOGÍA PRIMARIA:** Solo es posible reconocer fenocristales de plagioclasa y anfíbola completamente remplazados por cuarzo. Representan el 30% de la roca, respecto a este porcentaje es la siguiente tabla:

MINERAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Plagioclasa	28	Cristales tabulares	1,4	Cristales completamente remplazados por cuarzo.
Anfíbola	2	Cristales hexagonales	0,6	Presentan bordes de minerales opacos.

**MINERALOGIA DE ALTERACIÓN:** La mineralogía de alteración corresponde principalmente a cuarzo (60%) y alunita ( $\lambda$ ) (10%).

**MINERALES OPACOS:** Alta proporción de minerales opacos (2%) de forma regular y de tamaño aproximado 0,2 mm.

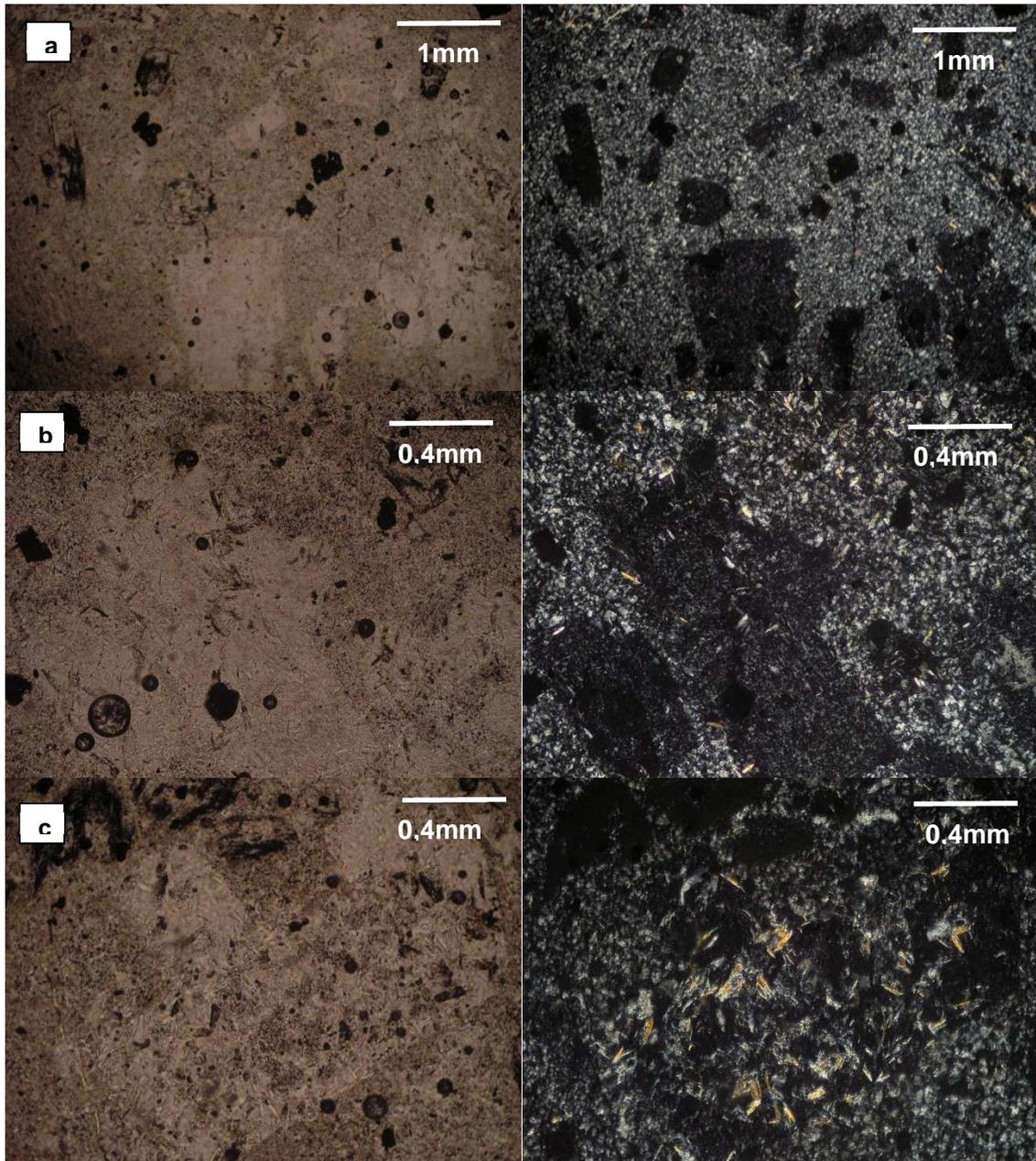


Figura A2.18. a. Imagen general del corte. Se puede apreciar que tanto la masa fundamental como los fenocristales de plagioclasa (tabulares) completamente reemplazados por cuarzo microcristalino. Los cristales tabulares alargados de bajo color de interferencia corresponden a cristales de alunita. b. Mayor aumento a la imagen anterior, donde se puede observar de mejor manera los cristales tabulares de plagioclasa completamente reemplazados por cuarzo microcristalino (lo mismo sucede en la masa fundamental). Presencia de cristales de alunita y biotita. c. Cristal de plagioclasa completamente reemplazado por cuarzo microcristalino y alunita.

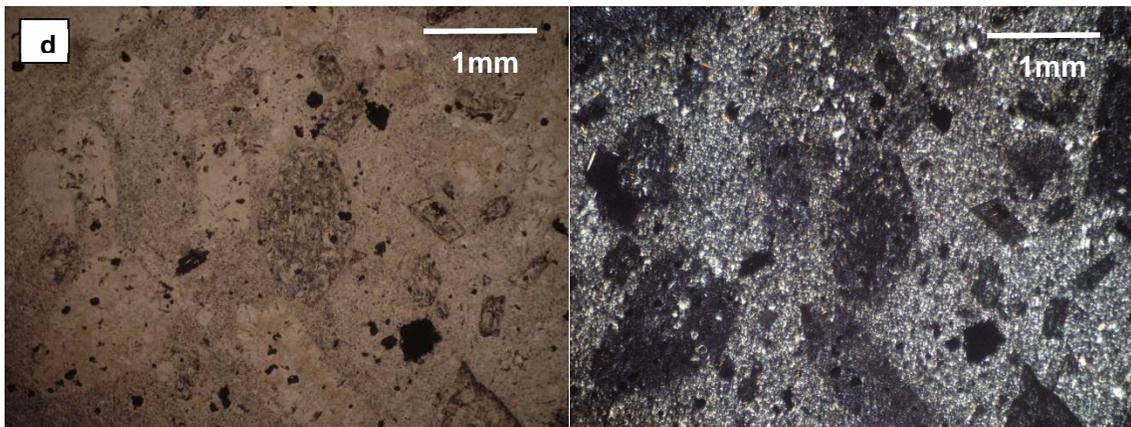


Figura A2.18 (continuación) d. Similar a la imagen “a”. Notar los fenocristales de plagioclasas remplazados. En el centro es posible observar un fenocristal de forma hexagonal que posiblemente correspondió a un fenocristal de anfíbola. El protolito de la muestra pudo haber correspondido a algún miembro de los domos La Coipa (TOMdlc), por el tipo de textura y la mineralogía primaria.

**Muestra: 459768; Pórfido andesítico de anfíbola**

**RESUMEN:** Misma litología que la anterior (pórfido andesítico de anfíbola) completamente obliterado. Solo se reconocen los vuggy de fenocristales de plagioclasa (Fig. A2.19).

**ROCA:** Pórfido de anfíbola.

**TEXTURAS:** Texturas de remplazo, principalmente cuarzo recristalizado.

**MINERALOGÍA PRIMARIA:** Solo se logran reconocer vuggy que correspondieron a fenocristales de plagioclasa. Representan el 20% de la roca.

**MINERALOGIA DE ALTERACIÓN:** La mineralogía de alteración corresponde principalmente a cuarzo (70%) y alunita (¿) (10%).

**MINERALES OPACOS:** 1% de forma regular y de tamaño 0,1 mm, presentan bordes de oxidación (hematita).

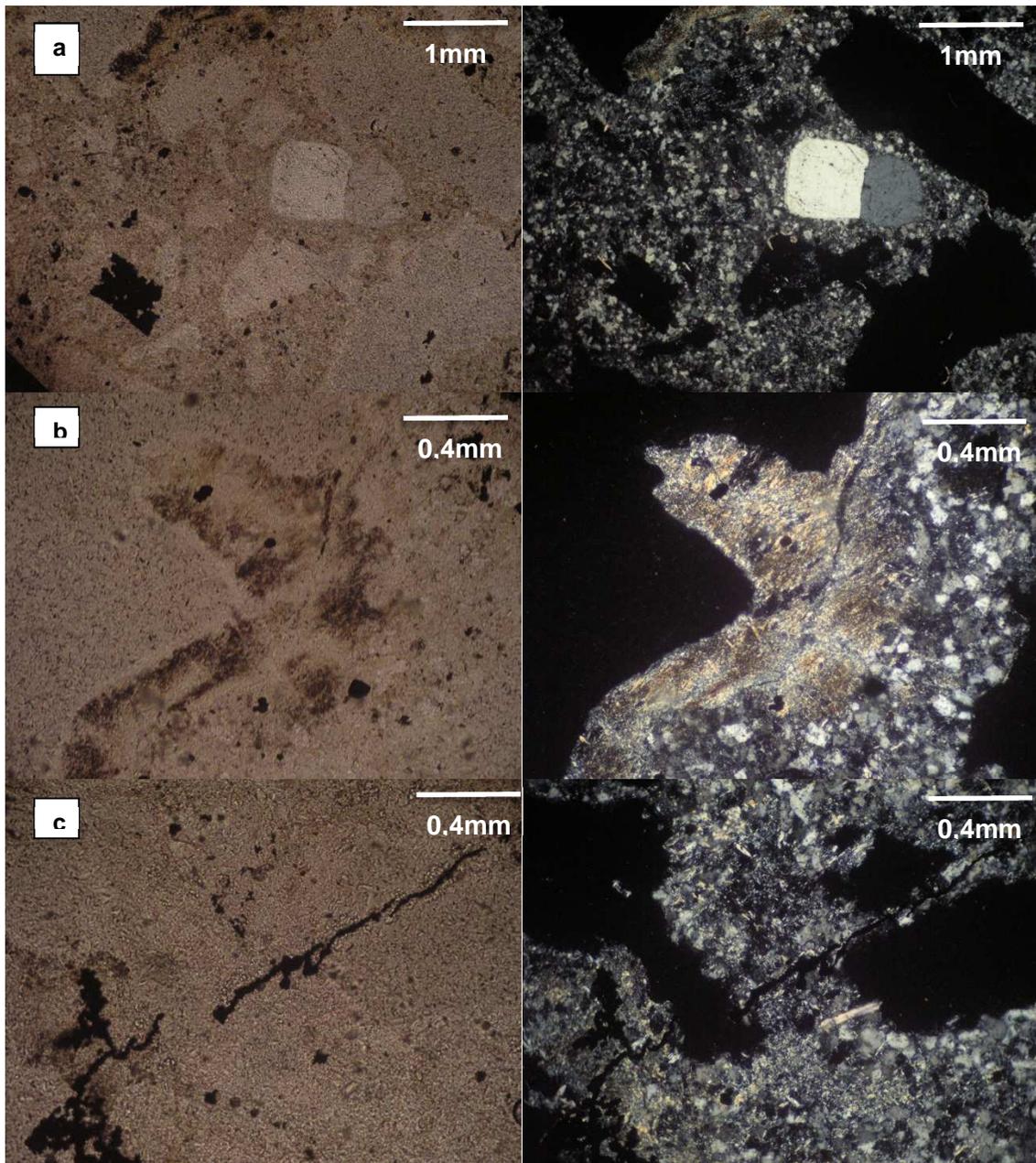


Figura A2.19. a. Vista general del corte. Se puede notar la textura porfídica original de la roca. Comparada con la muestra 459763 está menos alterada, la principal alteración consiste en cuarzo recristalizado, alunita y minerales de arcilla en torno a los relictos de plagioclasa. A diferencia de la muestra anterior, acá solo se observan los vuggy de los fenocristales y no el cuarzo recristalizado. b. Borde superior de la imagen anterior, con mayor aumento. Se observa un vuggy con forma de cristal de plagioclasa (tabular) cuyo borde es rico en minerales de arcilla y alunita. También es posible observar cuarzo recristalizado en el borde. c. Similar a la anterior. Se puede observar la presencia de los vuggy, el cuarzo recristalizado (uniones triples) y la presencia de cristales tabulares de alunita.

### Muestra: 459776; Domos dacíticos centrales (Mmddc)

**RESUMEN:** Microscópicamente corresponde a una andesita de anfíbola y biotita. Predomina la textura vitrofírica con fenocristales de plagioclasa, biotita y anfíbola. La alteración es escasa, estando presente solo como arcillas diseminadas en la masa fundamental (Fig. A2.20).

**ROCA:** Andesita de biotita y anfíbola.

**TEXTURAS:** La textura principal es vitrofírica, donde se tiene cristales de plagioclasa y anfíbola inmersos en una masa fundamental vítrea. También se observa textura cumulo porfídica en cristales de plagioclasas (bastante fracturados debido al flujo asociado a la formación de los domos). Las plagioclasas a su vez presentan las clásicas texturas de zonación.

**MINERALOGIA PRIMARIA:** Los fenocristales representan el 30% de la roca, el restante 70% corresponde a vidrio. Los porcentajes respecto a toda la roca se presentan en la siguiente tabla.

MINERAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Plagioclasa	15	Cristales tabulares	Tamaño variable. Promedio de 1,2	Cristales zonados, algunos en cúmulos y bastante fracturamiento.
Anfíbola (hornblenda)	10	Cristales hexagonales y tabulares.	Tamaño variable. Promedio de 0,4	Cristales presentan un fuerte pleocroísmo de incoloro a rojo.
Biotita	5	Cristales tabulares	0,4	

**MINERALOGIA DE ALTERACIÓN:** Roca inalterada. La masa fundamental se encuentra un tanto argilizada debido probablemente a un proceso de desvitrificación.

**MINERALES OPACOS:** No son muy comunes (<1%) de forma regular y con los bordes oxidados (hematita).

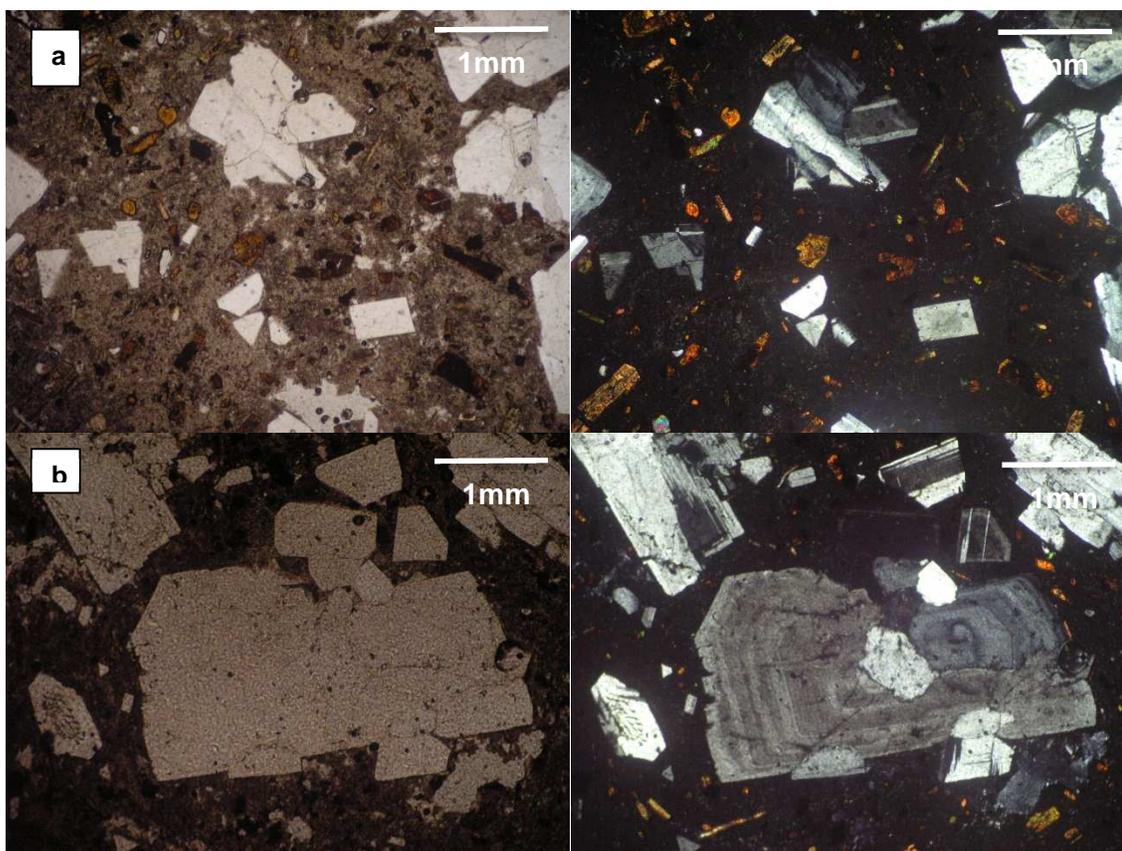


Figura A2.20. a. Vista general del corte. Es posible apreciar los fenocristales fracturados (algunos) de plagioclasa, biotita y anfíbola inmersos en vidrio café. b. Textura de zonación en cristales de plagioclasa. Notar la escasa alteración que presenta la muestra, solo algunas arcillas diseminadas o alterando a cristales de plagioclasa.

### Muestra: 459785; Andesita (Pzmz)

**RESUMEN:** La roca corresponde a una andesita de anfíbola. Posiblemente se trata de una roca volcánica o subvolcánica por las texturas presentes. Se caracteriza por presentar fenocristales de plagioclasa (de forma tabular) y cuarzo, este último como mineral de alteración. Dentro de la masa fundamental es posible observar fenocristales de anfíbola (y pseudomorfos) (Fig. A2.21).

**ROCA:** Andesita de anfíbola.

**TEXTURAS:** La textura más relevante es la porfídica con fenocristales de plagioclasa y anfíbola inmersos en la masa fundamental conformada por microlitos de plagioclasa, cuarzo y anfíbola. También es posible observar textura pilotaxítica en cristales de plagioclasa asociado a un flujo.

**MINERALOGIA PRIMARIA:** Corresponde al 90% de la roca, se compone de los fenocristales y masa fundamental. Los fenocristales corresponden al 75% de la roca y consisten en cristales de plagioclasa y anfíbola. El restante 15% corresponde a la masa fundamental que está compuesta por plagioclasa, cuarzo y anfíbola.

MINERAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Plagioclasa	70% de los fenocristales y 10% de los microlitos	Cristales tabulares con macla polisintética (fenocristales)	Variable. Los fenocristales de 1 hasta 1,5 mm. Los cristales de la masa fundamental tienen tamaño promedio 0,01 mm.	Tanto como fenocristal como microlitos en la masa fundamental. Los fenocristales presentan una excelente macla polisintética y están levemente alterados (a minerales de arcilla). Los microlitos se presentan inalterados y sin maclas.
Anfíbola	5% de los fenocristales y 3% de los microlitos	Cristales tabulares o romboédricos	Variable. Menor a 0,1 mm	Tanto como fenocristal como microlitos en la masa fundamental. Cristales fuertemente reemplazados.
Cuarzo	2% en la masa fundamental	Cristales anhedrales	0,01 mm	Generalmente se observa recrystalizado en la masa fundamental o dentro de los fenocristales.

**MINERALOGIA DE ALTERACIÓN:** La mineralogía de alteración corresponde principalmente a cuarzo (recrystalizado?) en la masa fundamental y alterando a fenocristales de anfíbola. Las arcillas son un componente importante como mineral de alteración de las plagioclasas (se puede observar en la zonación de las plagioclasas).

**MINERALES OPACOS:** 5%. Están de manera diseminada en la roca y en general son de forma anhedral.

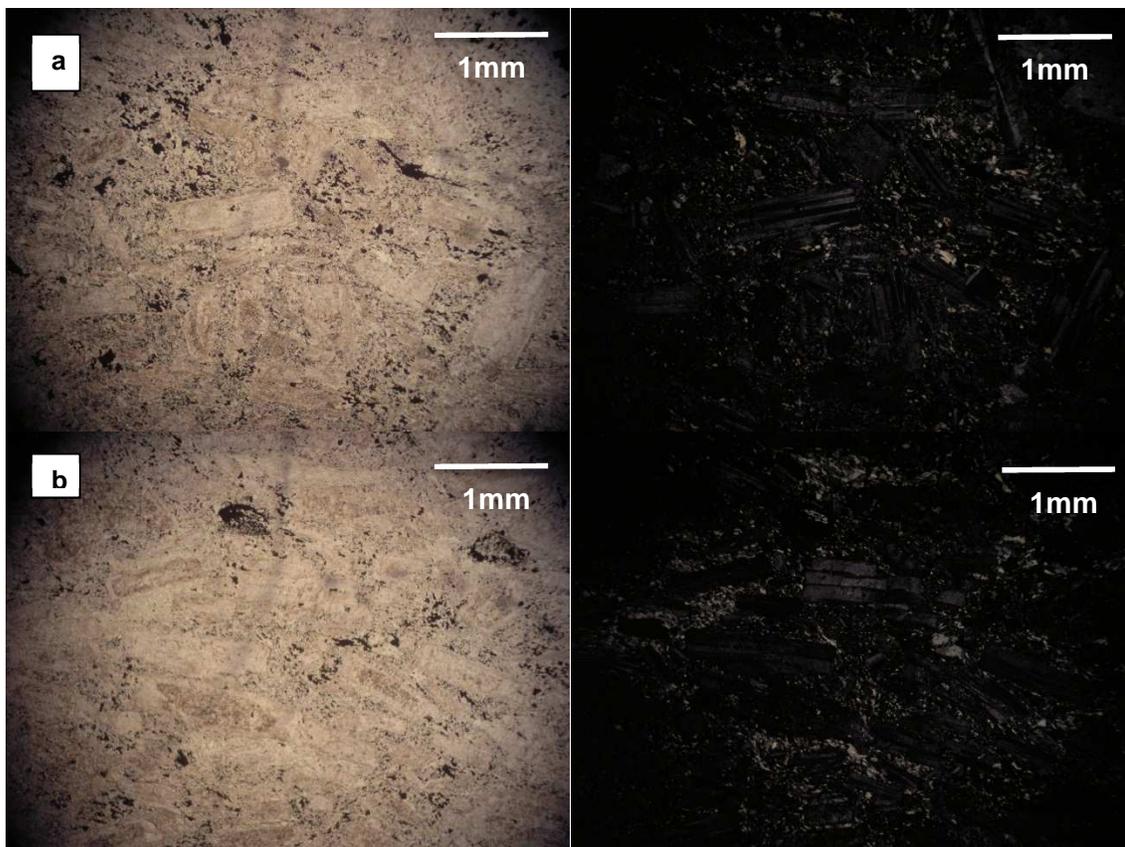


Figura A2.21. a. Vista general del corte donde es posible notar la textura porfídica que caracteriza a la muestra con fenocristales de plagioclasa dentro de la masa fundamental cristalina conformada por cuarzo, plagioclasa y anfíbola. b. Notar la textura pilotaxítica (de flujo) en los fenocristales de plagioclasa, lo que confirma el carácter volcánico o subvolcánico de la muestra.

### Muestra: 459786; Pórfido monzodiorítico (KTzmd)

**RESUMEN:** La roca corresponde a un pórfido diorítico con fenocristales de plagioclasa, máficos y cuarzo dentro de una masa fundamental microcristalina conformada principalmente por plagioclasa (y con clorita, epidota y carbonatos como minerales de alteración) (Fig. A2.22).

**ROCA:** Pórfido diorítico.

**TEXTURAS:** La textura principal es la porfídica donde destacan los fenocristales de plagioclasa, máficos y cuarzo dentro de la masa fundamental microcristalina.

**MINERALOGIA PRIMARIA:** Corresponde al 70% de la roca y comprende los fenocristales y los minerales de la masa fundamental. El 60% de la roca corresponde a fenocristales (plagioclasa, cuarzo y ferromagnesianos) y el 10% corresponde a los minerales en la masa fundamental. Los minerales de la masa fundamental primarios corresponden a cristales de plagioclasa (10%) tabulares y con tamaño menor o igual a 0,01 mm. En la tabla siguiente se resumen las características de los fenocristales.

MINERAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Plagioclasa	55	Cristales tabulares	Variable entre 0,1 y 2,5 mm.	Se conservan maclas polisintéticas. En general muy argilizadas (de forma pervasiva) y parches de clorita y carbonatos. Sericita altera de forma diseminada.
Anfíbola	3	Cristales tabulares y romboédricos	De tamaño variable. Desde 0,3 mm	Cristales en general de tamaño pequeño, completamente reemplazados por clorita
Cuarzo	2	Cristales anhedrales a subredondeados	0,1	

**MINERALOGIA DE ALTERACIÓN:** La mineralogía de alteración es abundante (30%) predominando la clorita, arcillas, sericita, carbonatos y epidota. La clorita se encuentra alterando a los minerales máficos (reemplazo completo) o como pequeños parches en la roca. Las arcillas y sericita se encuentran alterando a las plagioclasas. Los carbonatos se encuentran como parches en la roca o alterando a minerales máficos. La epidota se encuentra en baja proporción alterando a minerales máficos o diseminada en la muestra.

**MINERALES OPACOS:** Muy baja proporción de minerales opacos (<<1%) principalmente de forma diseminada.

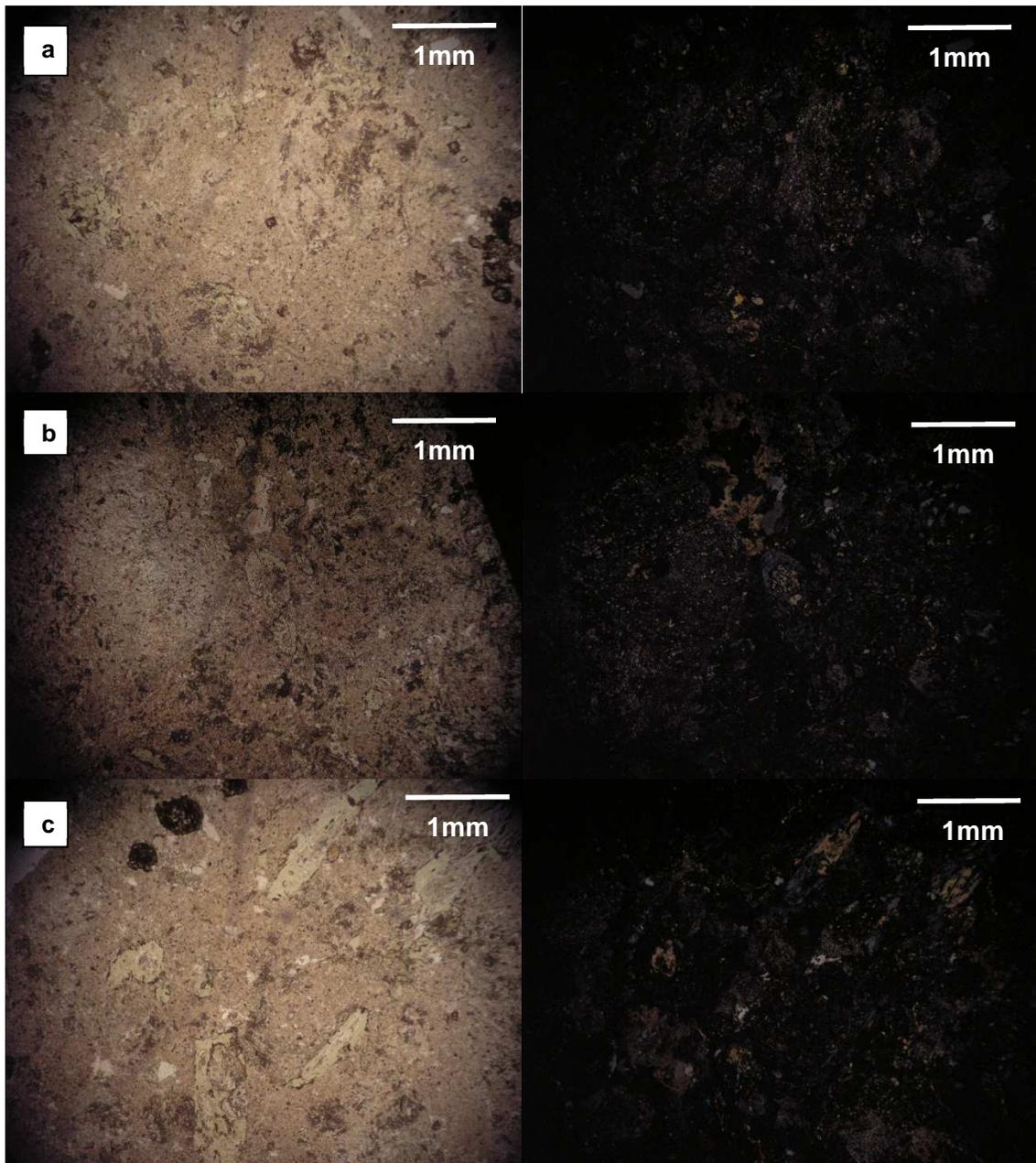


Figura A2.22. a. Textura general del corte donde es posible apreciar los fenocristales de plagioclasa (muy argilizados y sericitizados) dentro de la masa fundamental. b. Fenocristal de anfíbola completamente remplazado por clorita. Notar el grado de alteración que presenta la roca, con presencia de clorita alterando a minerales máficos, parches de carbonatos y los fenocristales de plagioclasa argilizados y sericitizados. c. Imagen similar a la anterior donde es posible notar los fenocristales de anfíbola (tabulares) completamente remplazados por clorita y parches de carbonatos.

### Muestra: 459792; Brecha hidrotermal de Purén

**RESUMEN:** Definida en sondajes como Brecha hidrotermal. Se caracteriza por presentar una textura porfídica con cristales de cuarzo fracturados y oquerosidades de cristales lixiviados (plagioclasas) (Fig. A2.23).

**ROCA:** No es posible distinguir la roca. Posiblemente se trate de una toba o un domo con alteración argílica avanzada.

**TEXTURAS:** La textura principal de la muestra corresponde a porfídica con fenocristales de cuarzo y oquerosidades (plagioclasa) dentro de una masa fundamental recrystalizada con cuarzo microcristalino.

**MINERALOGIA PRIMARIA:** Corresponde principalmente a cuarzo. Algunos cristales se encuentran muy fracturados.

MINERAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Cuarzo	5	Cristales anhedrales, subredondeados. Generalmente fracturados.	Variable. Desde 0,1 hasta 2,5 mm.	Algunos cristales se observan fracturados.

**MINERALOGIA DE ALTERACIÓN:** La mineralogía de alteración (95%) corresponde principalmente a una asociación argílica avanzada. Está representada por cuarzo microcristalino (90%), alunita y azufre (¿).

**MINERALES OPACOS:** Bajo porcentaje (cercano al 1%). Principalmente son cristales anhedrales y aparecen de forma diseminada en la muestra.

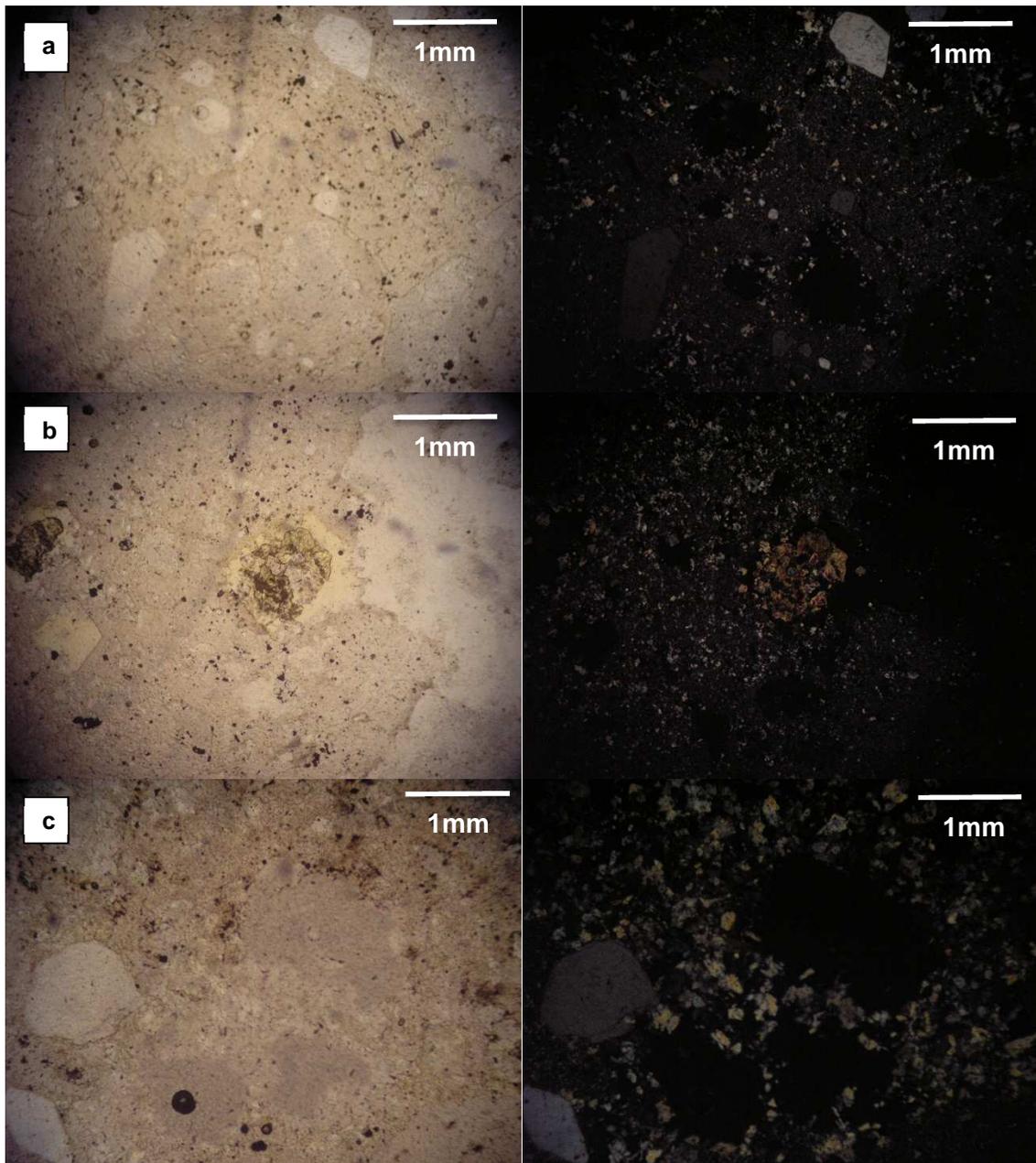


Figura A2.23. a. Textura general del corte donde es posible apreciar los cristales de cuarzo anhedrales inmersos en la masa fundamental recrystalizada consistente en cuarzo microcristalino. Notar las oquerosidades. b. En esta imagen se resalta la alteración que sufre la roca consistente en arcillas y azufre. c. Fuerte presencia de alunita en torno a las oquerosidades.

**Muestra: 459793; Domo dacítico de Purén**

**RESUMEN:** La muestra corresponde a una dacita con textura porfídica con fenocristales de cuarzo y plagioclasa ( $\delta$ ) dentro de una masa fundamental microcristalina. La alteración que presenta la muestra corresponde a una asociación argílica avanzada caracterizada por cuarzo, alunita y arcillas (Fig. A2.24).

**ROCA:** La muestra posiblemente corresponde a una dacita.

**TEXTURAS:** La textura principal corresponde a porfídica con fenocristales de cuarzo y oquerosidades que posiblemente correspondieron a plagioclasa.

**MINERALOGIA PRIMARIA:** La mineralogía primaria observable corresponde a cuarzo.

MINERAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Cuarzo	5	Cristales anhedrales, subredondeados	0,7	

**MINERALOGIA DE ALTERACIÓN:** La alteración corresponde principalmente a cuarzo, arcillas y alunita. El cuarzo (70%) es microcristalino (anhedral) y está en la masa fundamental o como remplazo. Las arcillas (5%) ocurren principalmente diseminadas en la masa fundamental. La alunita (17%) ocurre como cristales anhedrales o euhedrales-tabulares en forma diseminada o formando cúmulos. Se observan vetillas rellenas con arcillas y cuarzo microcristalino.

**MINERALES OPACOS:** La proporción de minerales opacos es alta (3%), normalmente de forma regular y en forma diseminada en la muestra.

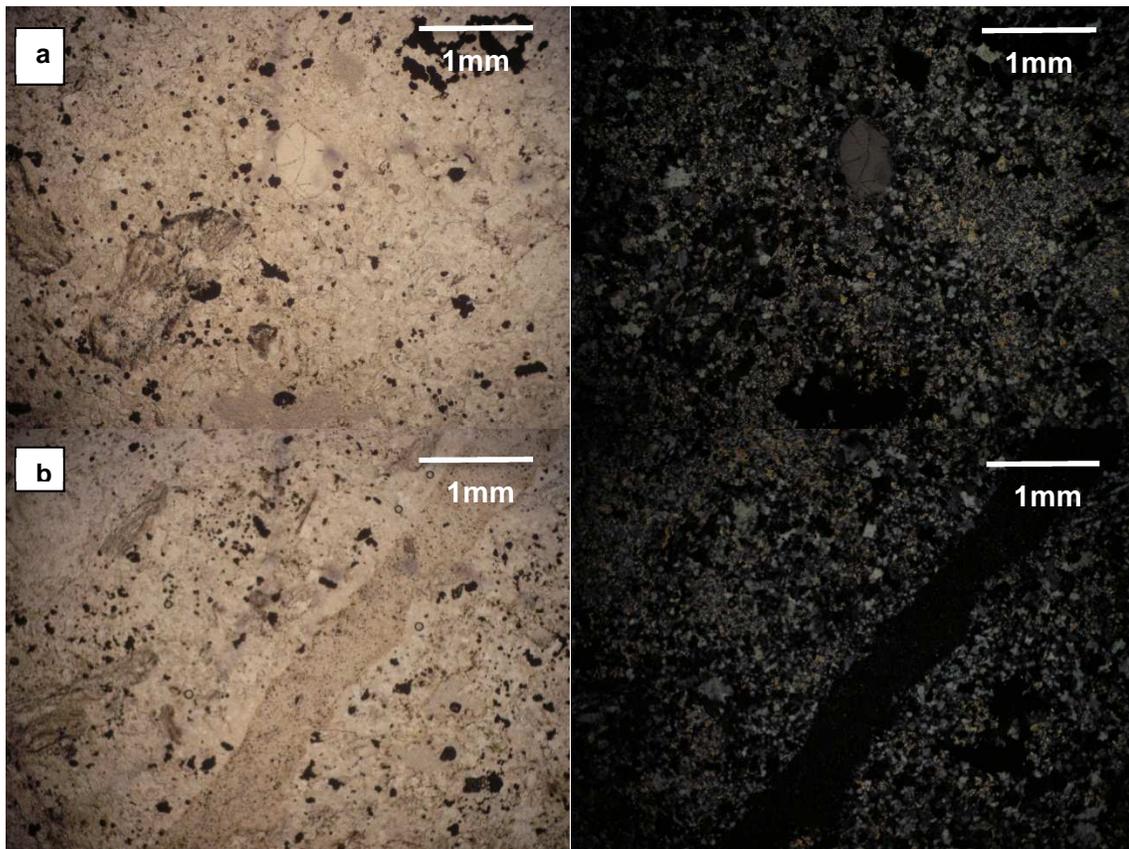


Figura A2.24. a. Vista general del corte. Notar la textura porfídica de la roca con fenocristales de cuarzo (primarios) dentro de una masa fundamental completamente remplazada por cuarzo microcristalino, alunita y arcillas. Se puede observar la gran cantidad de minerales opacos de forma regular y diseminados en el corte. b. Vetilla rellena con arcillas y cuarzo microcristalino.

### Muestra: 459799; Domo dacítico de Purén

**RESUMEN:** La muestra corresponde a una dacita. Se caracteriza por presentar fenocristales de plagioclasa (y pseudomorfos) y cuarzo en una masa fundamental microcristalina. La masa fundamental se encuentra recristalizada y presenta cuarzo y arcillas (Fig. A2.25).

**ROCA:** Dacita.

**TEXTURAS:** La textura principal es porfídica con fenocristales de cuarzo y plagioclasa.

**MINERALOGIA PRIMARIA:** Corresponde solamente a los fenocristales de cuarzo. Los “fenocristales” de plagioclasa que pueden ser observados están completamente remplazados.

MINERAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Cuarzo	5	Cristales anhedrales	Variable entre 0,1 y 2,5 mm.	Cristales anhedrales

**MINERALOGIA DE ALTERACIÓN:** La mineralogía de alteración se caracteriza por ser cuarzo microcristalino (70%) y arcillas (25%). El cuarzo microcristalino está presente en toda la masa fundamental y rellenando algunas oquerosidades de plagioclasa. Las arcillas se encuentran distribuidas homogéneamente en la masa fundamental, alterando a las plagioclasas y rellenando vetillas.

**MINERALES OPACOS:** Los minerales opacos se encuentran en una muy baja proporción (<1%) y aparecen de forma diseminada. Son de forma regular (rectangular o cuadrada).

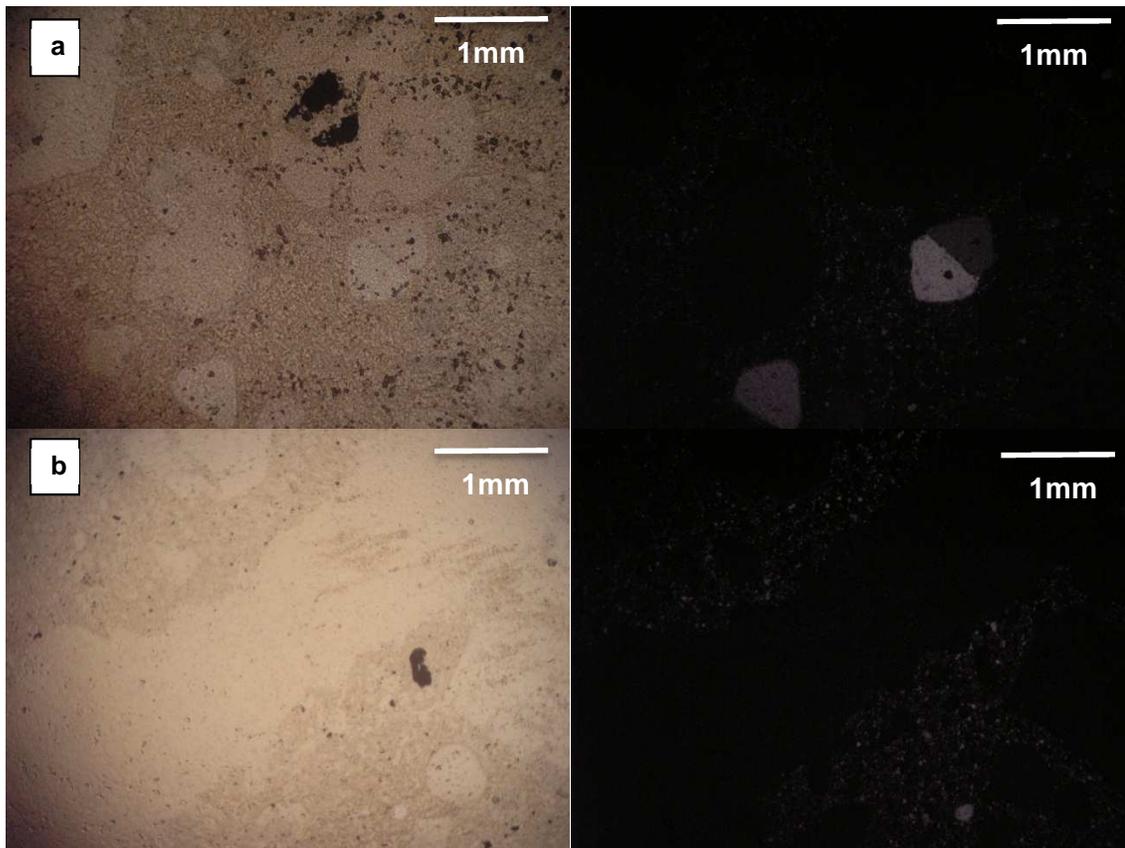


Figura A2.25. a. Vista general del corte donde se observan los fenocristales de cuarzo y las oquerosidades tabulares que posiblemente correspondieron a cristales de plagioclasa. b. Vetilla rellena con arcillas y cuarzo microcristalino.

### Muestra: 459801; Domo dacítico de Purén

**RESUMEN:** Muestra con características similares a la 459799. Corresponde una dacita con fenocristales anhedrales de cuarzo (algunos con textura de embahiamiento) y pseudomorfos de plagioclasa remplazados por cuarzo y/o arcillas. La masa fundamental se encuentra recristalizada presentando cuarzo y minerales de arcilla (Fig. A2.26).

**ROCA:** Dacita.

**TEXTURAS:** La textura principal es porfídica con fenocristales de cuarzo y plagioclasa.

**MINERALOGIA PRIMARIA:** Corresponde solamente a los fenocristales de cuarzo. Los “fenocristales” de plagioclasa que pueden ser observados están completamente remplazados.

MINERAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Cuarzo	15	Cristales anhedrales	Variable entre 0,1 y 2,5 mm.	Cristales anhedrales y en algunos casos con texturas de embahiamiento. Mayor proporción que el corte anterior.

**MINERALOGIA DE ALTERACIÓN:** La mineralogía de alteración se caracteriza por ser cuarzo microcristalino (60%) y arcillas (25%). El cuarzo microcristalino está presente en toda la masa fundamental y rellenando algunas oquerosidades de plagioclasa. Las arcillas se encuentran alterando pervasivamente a las plagioclasas y diseminadas en la masa fundamental.

**MINERALES OPACOS:** Los minerales opacos se encuentran en una muy baja proporción (<1%) y aparecen de forma diseminada. Son de forma regular (rectangular o cuadrada).

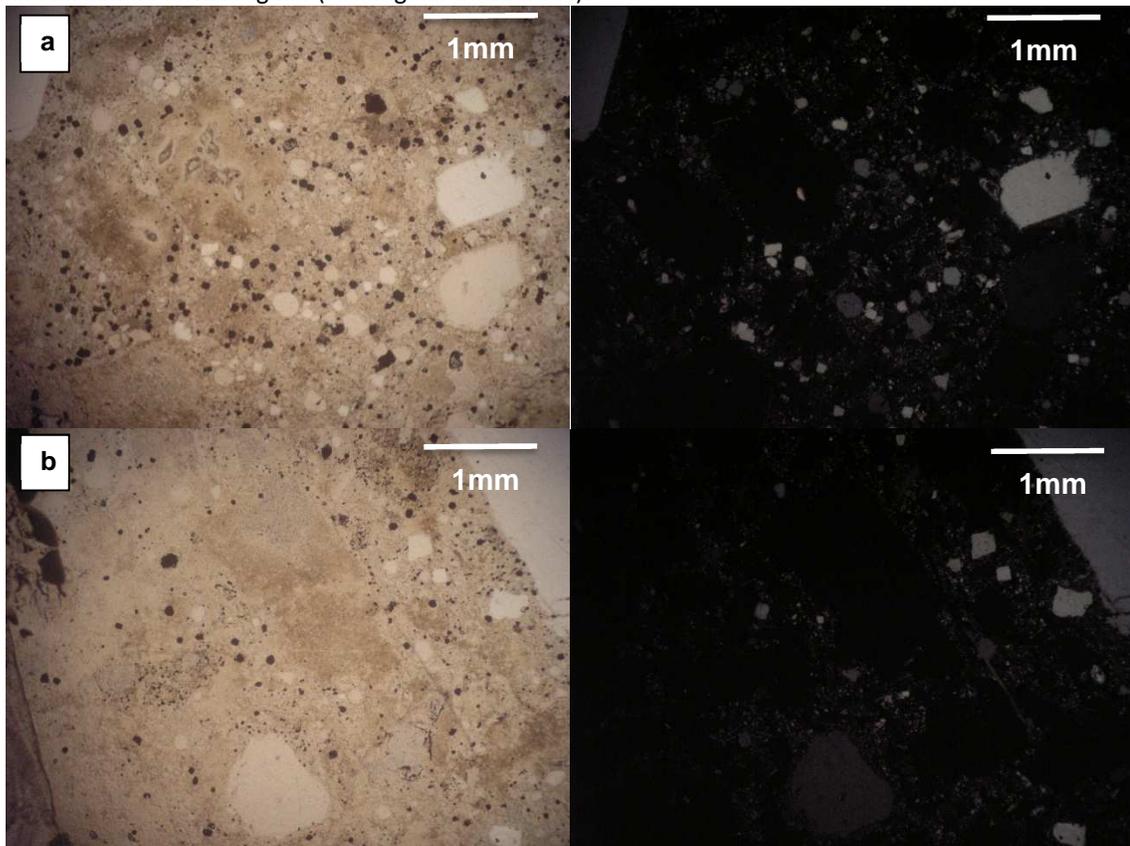


Figura A2.26. a. Vista general del corte donde se observan los fenocristales de cuarzo (en mayor proporción que el corte anterior) en una masa fundamental que corresponde principalmente a cuarzo microcristalino. b. Notar la presencia de cristales de plagioclasa (tabulares) completamente remplazados.

### Muestra: 459805; Domo riolítico (TOMdlc1)

**RESUMEN:** La muestra corresponde a una dacita. Presenta las mismas características texturales y mineralógicas que las muestras que representan a los Domos dacíticos centrales (Mmddc). Muestra con textura vitrofírica con fenocristales de plagioclasa, anfíbola y biotita dentro de una masa fundamental vítrea. La masa fundamental no corresponde solo a vidrio sino que también a microlitos de plagioclasa, anfíbola, biotita, cuarzo y feldespatos potásico. Los fenocristales de plagioclasa en general presentan macla polisintética y están zonados (Fig. A2.27).

**ROCA:** Dacita.

**TEXTURAS:** La textura más relevante corresponde a la vitrofírica con fenocristales de plagioclasa, anfíbola y biotita dentro de una masa fundamental vítrea. También es posible observar texturas de flujo (pilotaxítica) principalmente en los microlitos de plagioclasa y minerales máficos.

**MINERALOGIA PRIMARIA:** Corresponde a prácticamente el 100% de la roca. Principalmente se trata de plagioclasa, biotita y anfíbola. Estos tres minerales se presentan como fenocristales y como microlitos en la masa fundamental.

MINERAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Plagioclasa	80	Cristales tabulares	Tamaño variable. Microlitos: 0,1 mm. Fenocristales hasta 5 mm.	Los fenocristales normalmente maclados y zonados. Muy fracturados. A veces presentando textura glomeroporfídica.
Biotita	13	Cristales tabulares		
Anfíbola	7	Cristales tabulares y romboédricos		

**MINERALOGIA DE ALTERACIÓN:** La alteración es solo incipiente, destacando los minerales de arcilla alterando a las plagioclasas.

**MINERALES OPACOS:** Muy baja proporción (menor al 1%). Aparecen de forma diseminada y con un hábito regular (cuadrado a rectangular).

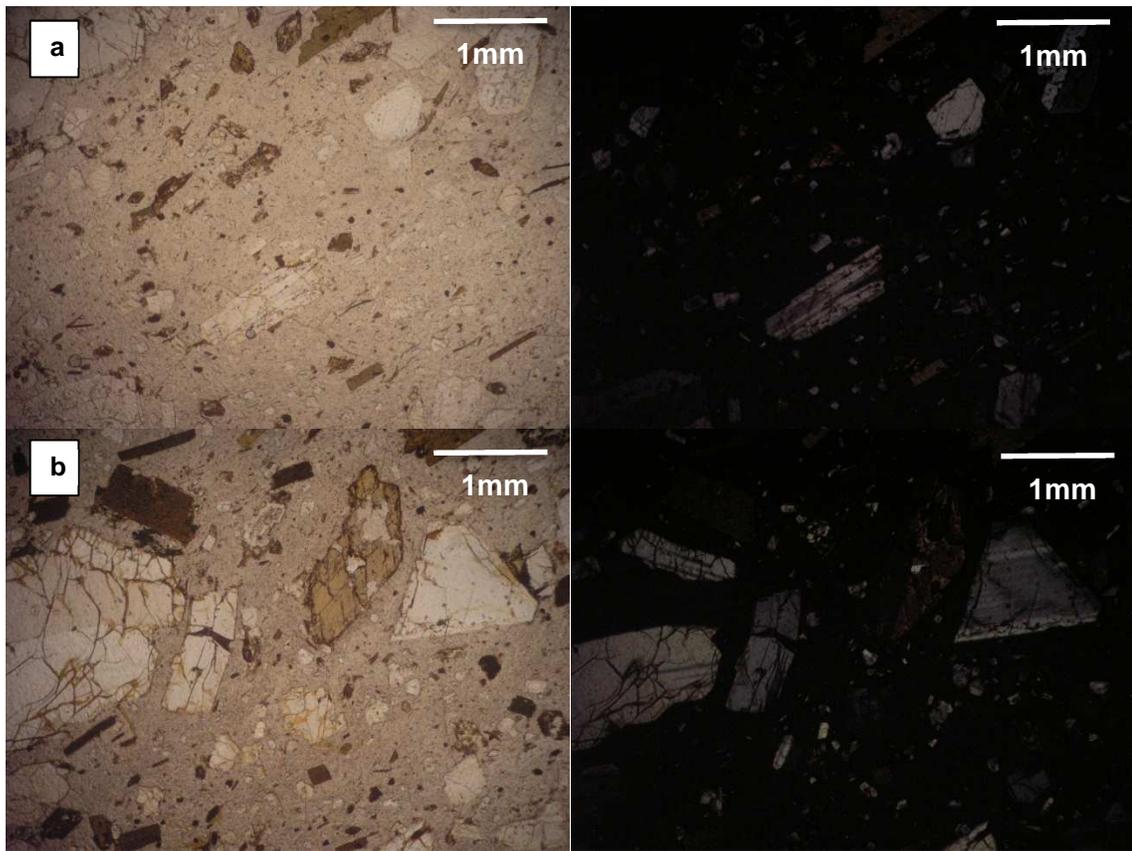


Figura A2.27. a. Vista general del corte donde es posible observar los microlitos de plagioclasa y biotita inmersos en vidrio. Notar la textura pilotaxítica. b. Textura general de la muestra (vitrofírica) con fenocristales de plagioclasa, anfíbola y biotita dentro de la masa fundamental (microlitos de los mismos minerales más vidrio). Normalmente los fenocristales se encuentran fracturados debido al flujo asociado a la formación de los domos.

### Muestra: 459809; Domo dacítico de Brecha Norte

**RESUMEN:** La muestra corresponde a una dacita. Presenta fenocristales de plagioclasa y cuarzo en una masa fundamental microcristalina compuesta de cuarzo y arcillas. Las plagioclasas son tabulares de hasta 5 mm, normalmente argilizadas y sericitizadas. El cuarzo es anhedral con cristales hasta de 4 mm, se pueden observar texturas de embahiamiento. La biotita es tabular con tamaño variable entre 0,1 y 3 mm (Fig. A2.28).

**ROCA:** Dacita.

**TEXTURAS:** La roca se caracteriza por presentar textura porfídica con fenocristales de plagioclasa y cuarzo dentro de una masa fundamental de cuarzo microcristalino y arcillas.

**MINERALOGIA PRIMARIA:** Consiste en el 20% de la roca. Se compone de los fenocristales de cuarzo, plagioclasa y biotita.

MINERAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Plagioclasa	12	Cristales tabulares, normalmente fracturados	Variable, hasta 5 mm.	Cristales con macla polisintética y a veces zonados. Algunos cristales se presentan muy argilizados.
Cuarzo	5	Anhedrales, subredondeados	Tamaño variable, hasta 4 mm.	Los cristales son anhedrales, generalmente redondeados. A veces presentan texturas de embahiamiento.
Biotita	3	Cristales tabulares	Variable. Desde 0,1 hasta 3 mm.	Cristales con excelente clivaje. Al parecer alterados a sericita.

**MINERALOGIA DE ALTERACIÓN:** La mineralogía de alteración es abundante (80%). Corresponde principalmente a cuarzo (60%), arcillas (10%) y sericita (10%). El cuarzo se encuentra microcristalino en la masa fundamental, las arcillas se presentan alterando a las plagioclasas y como diseminaciones en la masa fundamental, finalmente la sericita se encuentra alterando a los máficos.

**MINERALES OPACOS:** Muy baja proporción (<1) en forma diseminada y con forma regular (cuadrada y rectangular).

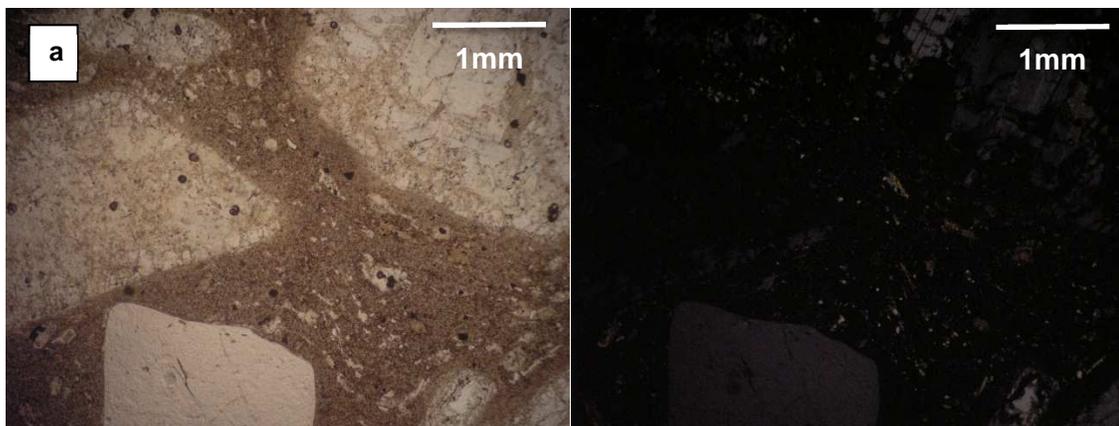


Figura A2.28. a. Imagen general del corte. Notar los fenocristales de plagioclasa, cuarzo y máficos dentro de la masa fundamental recrystalizada (cuarzo microcristalino + arcillas). Los fenocristales de plagioclasa se encuentran muy fracturados y argilizados (de forma incipiente).

### Muestra: 459812; Granito de Brecha Norte

**RESUMEN:** La roca corresponde a una granodiorita. A diferencia de todas las otras muestras presentes en el estudio esta roca presenta minerales de grano grueso y se infiere un carácter claramente intrusivo. Presenta textura granular con cristales de cuarzo, feldespato, plagioclasa y moscovita. El cuarzo se presenta intercrecido con cristales de plagioclasa, lo mismo sucede con los cristales de feldespato que presentan textura perfitica. Los cristales de moscovita son tabulares y a veces están remplazados por clorita. Las plagioclasas son tabulares aunque fuertemente sericitizadas (Fig. A2.29).

**ROCA:** Granodiorita.

**TEXTURAS:** La textura principal de la roca es la fanerítica con cristales de cuarzo, plagioclasa, moscovita y feldespato potásico.

**MINERALOGIA PRIMARIA:** Corresponde al 80% de la roca.

MINERAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Cuarzo	35	Cristales anhedrales, subredondeados	Variable. Desde 0,2 hasta 5 mm.	Son cristales anhedrales, generalmente con texturas de embahiamiento.
Plagioclasa	30	Cristales tabulares	Tamaño variable entre 0,2 y 5 mm	Cristales muy alterados, completamente argilizados.
Moscovita	10	Cristales tabulares	0,2 mm	Excelente clivaje.
Feldespato potásico	5	Cristales tabulares	0,4 mm	Se observa como un intercrecimiento con plagioclasa.

**MINERALOGIA DE ALTERACIÓN:** Corresponde al 20% de la roca conformado principalmente por sericita, arcillas, carbonatos y cuarzo. Los carbonatos y el cuarzo se encuentran principalmente rellenando vetillas mientras que la sericita y arcillas se encuentran alterando a las plagioclasas.

**MINERALES OPACOS:** Proporción muy baja, principalmente cristales diseminados de forma regular.



Figura A2.29. a. Imagen general del corte. Notar la textura fanerítica y la mineralogía primaria. Es posible observar claramente cristales de feldespato con textura perítica (intercrecimiento entre feldespato potásico y plagioclasa) y cristales de moscovita. b. Vetilla de cuarzo (espesor: 0,8 mm) rellena con cuarzo. c. Vetilla rellena con carbonatos.

### Muestra: 459814; Toba riolítica (Brecha Norte)

**RESUMEN:** La roca corresponde a una toba de cristales. Presenta fragmentos de cristales y líticos, los primeros corresponden a cristales de cuarzo fracturado y otros tabulares que han sido lixiviados y rellenados por alunita. Los fragmentos líticos se encuentran completamente silicificados. La masa fundamental se asemeja a una textura felsítica (cuarzo y feldespato microcristalino) producto de desvitrificación. También presentan minerales de arcilla (Fig. A2.30).

**ROCA:** Toba de cristales.

**TEXTURAS:** La textura primordial es la fragmental con cristales fracturados de cuarzo y plagioclasas ( $\delta$ ), estas últimas completamente lixiviadas y las oquerosidades rellenas con alunita. También es posible distinguir fragmentos líticos.

**MINERALOGIA PRIMARIA:** Lo que se puede considerar mineralogía primaria consiste en los fragmentos de cuarzo y plagioclasa. Los cristales de feldespato + cuarzo en la masa fundamental es producto de un proceso posterior sufrido por la roca. La mineralogía primaria (cristales de cuarzo + plagioclasa) es aproximadamente 25%.

MINERAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Plagioclasa ( $\delta$ )	20	Tabular, cristales fracturados	Variable. Desde 0,1 hasta 2,5 mm	Los cristales están completamente lixiviados, solo se observa la forma "tabular" siendo rellenada por alunita.
Cuarzo	5	Anhedrales, fracturados	0,3	

Es posible observar tres tipos de fragmentos líticos (5%). Agregados de cuarzo microcristalino, otros de origen sedimentario (conformados principalmente por cuarzo) y los últimos que se encuentran completamente alterados (argilizados + alunita diseminada).

La masa fundamental (30%) se compone de cuarzo y feldespato microcristalino producto de desvitrificación de vidrio volcánico.

**MINERALOGIA DE ALTERACIÓN:** La mineralogía de alteración (40%) corresponde principalmente a alunita y arcillas. La alunita (35%) se encuentra diseminada y relleno de las oquerosidades y las arcillas se encuentran diseminadas en la masa fundamental.

**MINERALES OPACOS:** Principalmente diseminados en la masa fundamental (1%).

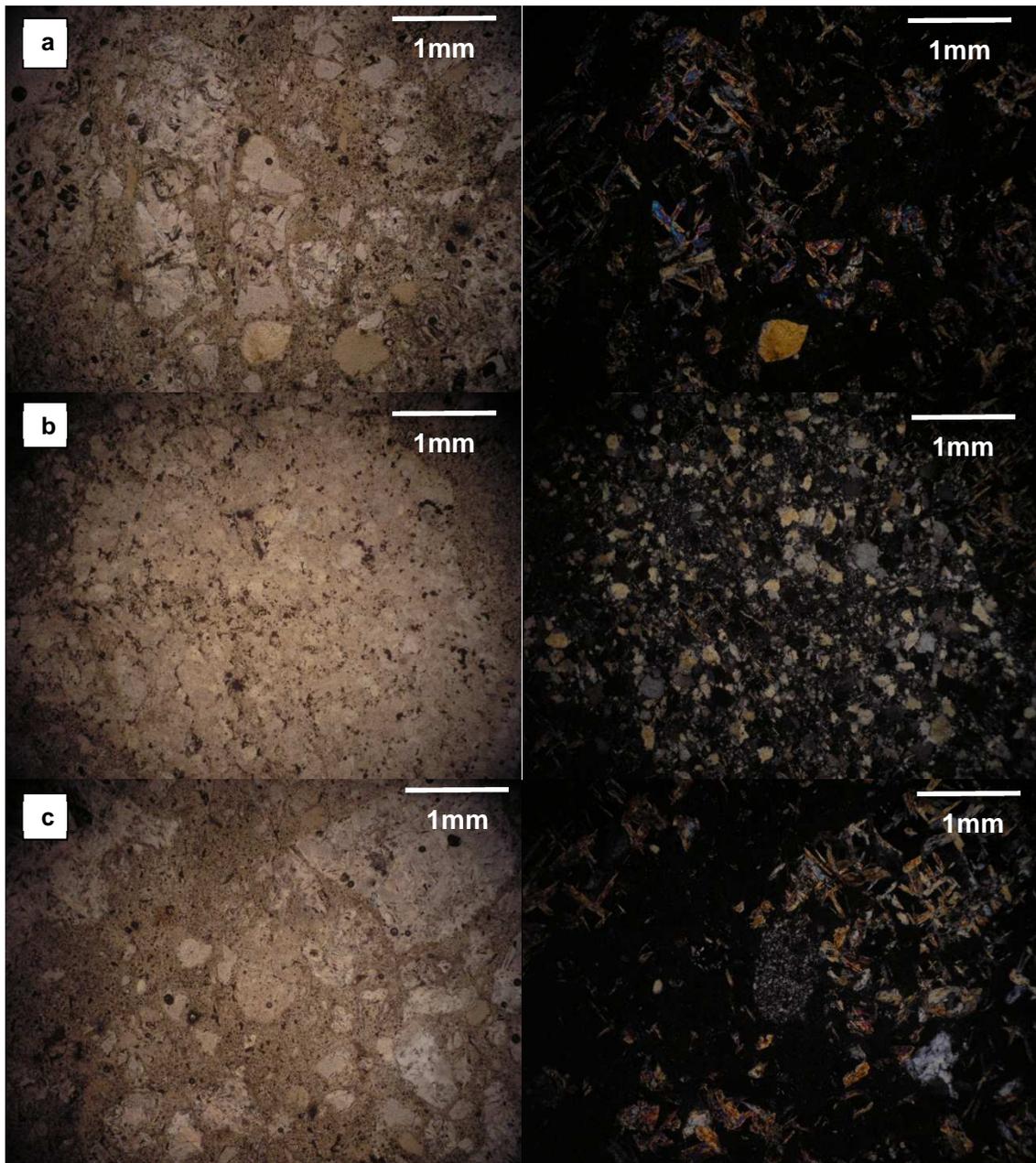


Figura A2.30. a. Imagen general del corte. Notar los cristales tabulares lixiviados (posiblemente plagioclasas) y rellenos con alunita. También es posible observar cristales de cuarzo (mineralogía primaria) completamente fracturados. Observar la masa fundamental conformada por cuarzo, feldespato y arcillas. b. Clasto de posible origen sedimentario. c. Fragmento lítico de cuarzo microcristalino.

### Muestra: 459817; Granito de Brecha Norte

**RESUMEN:** La roca corresponde a un granodiorita. Presenta textura fanerítica con cristales anhedrales de cuarzo, pseudomorfo de plagioclasa y moscovita. La alteración es variable, en general las plagioclasas se encuentran completamente remplazadas por sericita y la moscovita está levemente cloritizada y sericitizada. Presencia de vetillas sinuosas de cuarzo (Fig. A2.31).

**ROCA:** Granodiorita.

**TEXTURAS:** La textura principal es fanerítica con cristales de cuarzo, plagioclasa y moscovita.

**MINERALOGIA PRIMARIA:** Corresponde al 25% de la roca. Cuarzo es el mineral más abundante.

MINERAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Cuarzo	20	Cristales anhedrales	Variable. Entre 0,1 y 2,5 mm	Muchos cristales aparecen fracturados. Cristales presentan extinción ondulosa.
Plagioclasa	X			Solo se distinguen fantasmas de plagioclasa. Son cristales tabulares completamente remplazados por sericita.
Moscovita	5	Cristales tabulares, fibrosos.	Entre 0,1 y 1 mm	

Como las plagioclasas están completamente remplazadas por sericita el porcentaje fue asignado a este último mineral.

**MINERALOGIA DE ALTERACIÓN:** La mineralogía de alteración corresponde al 75% de la roca. Se compone de sericita (50%), cuarzo (20%), arcillas (3%) y clorita (2%). La sericita está alterando principalmente a plagioclasas y moscovita, el cuarzo aparece relleno de vetillas y diseminado en la muestra (cuarzo microcristalino). Arcillas ocurren alterando a plagioclasas y en la masa fundamental. Clorita alterando a cristales de moscovita.

**MINERALES OPACOS:** Corresponde aproximadamente al 1% de la roca. Aparecen de forma diseminada y con forma regular.

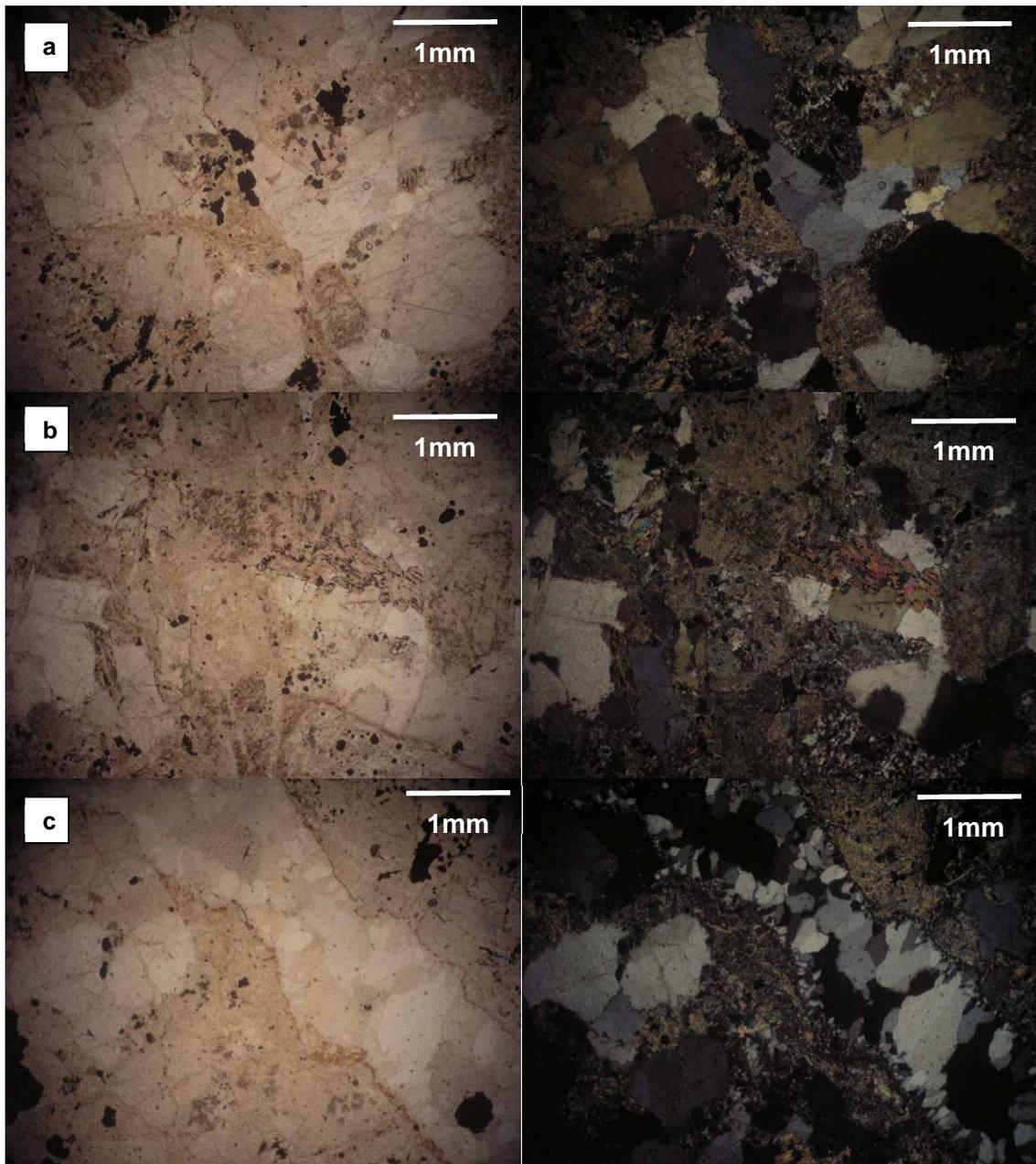


Figura A2.31. a. Textura general de la roca donde es posible apreciar la mineralogía primaria (cuarzo anhedral y plagioclasa completamente sericitizada). b. Similar a la imagen anterior. Notar la presencia de cristales de moscovita. c. Vetilla de 0,8 mm de espesor rellena con cuarzo.

### Muestra: 459825; Granito de Brecha Norte

**RESUMEN:** La roca corresponde a una granodiorita. Presenta cristales de plagioclasa, cuarzo, feldespato potásico y moscovita. Las plagioclasas son tabulares y generalmente macladas, la alteración es variable pero normalmente presentan arcillas y sericita. El cuarzo se presenta como cristales anhedrales. El feldespato potásico se encuentra intercrecido con plagioclasa formando una textura del tipo perítica. La moscovita se presenta anhedral-tabular (Fig. A2.32).

**ROCA:** Granodiorita

**TEXTURAS:** La textura principal corresponde a la fanerítica con cristales de cuarzo, plagioclasa, feldespato, máficos y moscovita.

**MINERALOGIA PRIMARIA:** Corresponde al 70% de la roca.

MINERAL	%	FORMA	TAMAÑO (mm)	OBSERVACIONES
Plagioclasa	50	Tabular	Variable. Hasta 2,5 mm	Presentan macla polisintética. Se encuentran argilizados y sericitizados.
Cuarzo	20	Anhedral	0,2 mm	
Feldespato potásico	<1			Intercrecimiento con cristales de plagioclasa.
Moscovita	<1			Cristales muy mal conservados. Origen primario (?).

**MINERALOGIA DE ALTERACIÓN:** La mineralogía de alteración (30%) se compone de sericita, cuarzo, arcillas y carbonatos. La sericita aparece fibrosa alterando a plagioclasas. El cuarzo aparece como relleno en las vetillas. Las arcillas aparecen alterando a las plagioclasas y diseminadas. Los carbonatos aparecen sobre las plagioclasas (parches) y rellenando fracturas. La clorita también es un mineral de alteración importante sobre cristales de plagioclasa (parches) y remplazando a moscovita.

**MINERALES OPACOS:** Como minerales anhedrales (1%). De forma diseminada.

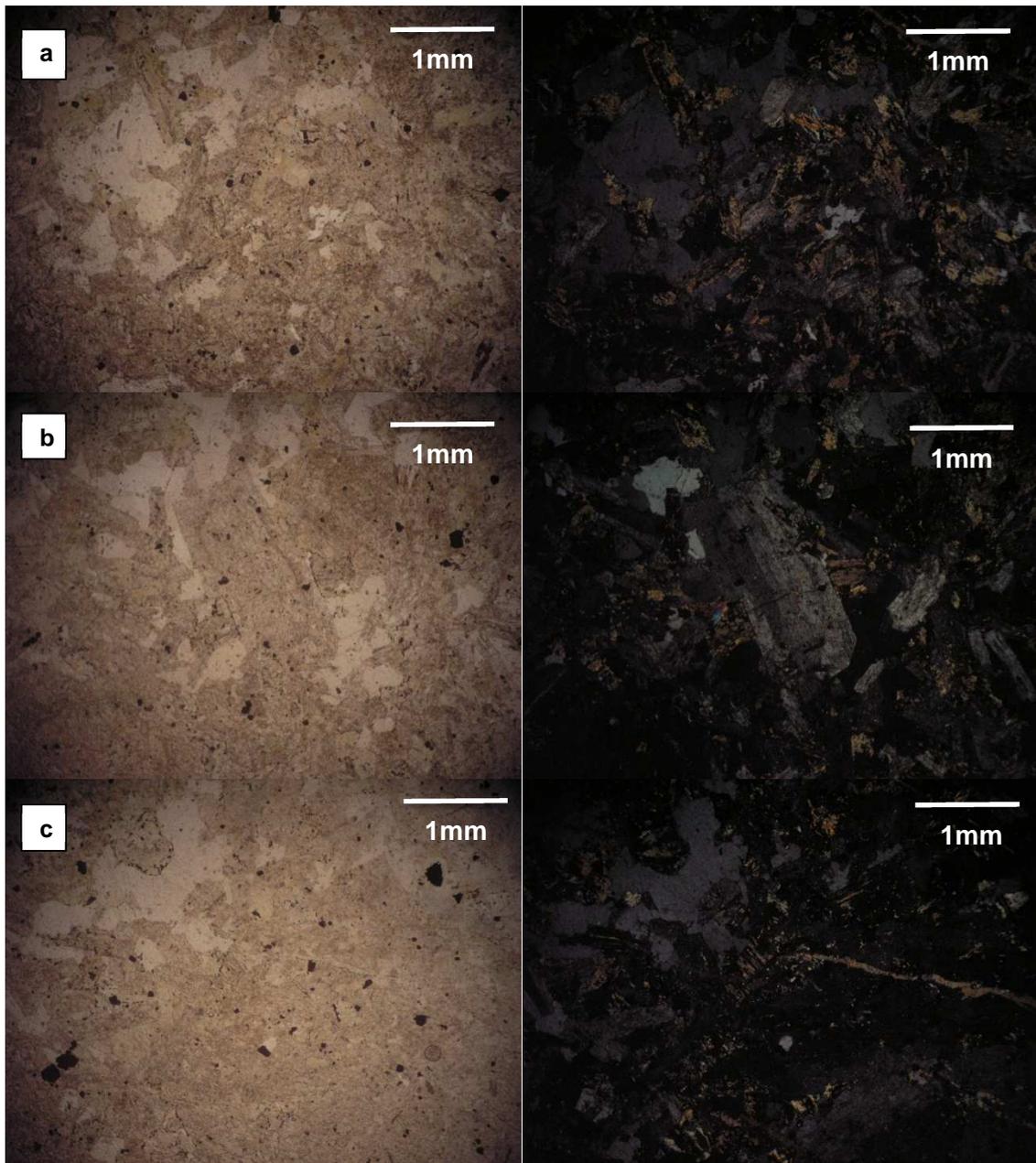


Figura A2.32. a. Textura general de la roca. Cristales anhedrales de cuarzo junto a cristales tabulares de plagioclasa. Presencia de cristales de moscovita alterados a clorita. b. Parte de la mineralogía primaria, notar los cristales de plagioclasa con macla polisintética medianamente argilizados y los cristales de moscovita. c. Relleno de fracturas con carbonatos.

### ANEXO 3. Tabla de resultados geoquímicos para muestras en superficie.

Tabla resumen de las muestras, indicando el número de la muestra, posición (norte, este y elevación), unidad muestreada, índice de alteración y los resultados geoquímicos.

IA<sup>1</sup>: índice de alteración. Para mayor detalle ver la subsección "índice de alteración" en la sección de geoquímica. Para el cálculo se utilizó la siguiente razón Na/(Al-2Ca-K), rocas muy alteradas tienen valores cercanos a cero, mientras que rocas inalteradas tienen valores cercanos a uno. Posteriormente se normalizó esta razón, tal que la roca con menor valor tuviese un IA<sup>1</sup> de 100 y la roca con el mayor valor de Na/(Al-2Ca-K) tuviese un valor de 0.

IA<sup>2</sup>: índice de alteración. Tiene el mismo fondo que el IA<sup>1</sup> pero toma como mínimo el IA<sup>1</sup>=65, es decir, IA<sup>2</sup>=0 cuando IA<sup>1</sup>=65. Todo esto por que las rocas con el IA<sup>1</sup><65 muestran un comportamiento geoquímico comparable con el de una roca inalterada.

Muestra	UTM_Norte	UTM_Este	Elevación	Unidad	IA (1)	IA (2)	Ag	Ba	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Mo	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	Rb
459451	7033113	477502	4400	Mmddc	41,8	0	<1	828	37,5	7,6	10	3,8	17	1,18	0,56	0,77	22,7	2,01	3,9	0,22	18,3	0,08	<2	6	17,8	5	13	4,53	79,2
459452	7033966	476988	4735	Mmddc	42,4	0	<1	782	37	5,6	10	3,53	23	1,18	0,55	0,77	23,6	1,91	3,4	0,23	18	0,08	<2	6,2	16,2	<5	17	4,09	72,7
459453	7035611	475564	4267	Mmddc	44,6	0	<1	932	42	6,7	10	5,56	20	1,21	0,5	0,89	25,2	2,19	3,7	0,21	20,6	0,07	<2	5,5	18,9	<5	16	4,63	87,2
459454	7035567	475429	4267	Mmddc	43,8	0	<1	848	42,1	5,3	10	6,06	15	1,15	0,5	0,88	25	2,05	3,6	0,21	20,7	0,07	<2	5,5	19	<5	16	4,66	86
459455	7035328	475340	4216	Mmddc	48,7	0	<1	767	39	5,7	10	37	69	1,17	0,53	0,8	23,4	1,89	3,7	0,22	19,5	0,07	<2	6	16,9	<5	15	4,28	97,7
459456	7035225	475562	4147	Mmddc	0,0	0	<1	782	41,1	7,1	20	11,8	10	1,38	0,65	0,95	23,2	2,42	4,1	0,26	20,2	0,08	<2	6,1	18,7	5	17	4,65	102
459457	7031836	474857	4016	TOMdlc3	36,7	0	3	753	36,9	6,1	10	8,79	11	1,41	0,72	0,81	21,4	2,18	3,4	0,27	18,1	0,1	<2	9	16,4	<5	37	4,13	81,4
459458	7031697	474882	4093	TOMdlc3	35,1	0	<1	667	37,5	6	10	17,2	8	1,56	0,72	0,88	21,4	2,33	3,3	0,29	18,6	0,11	<2	8,8	16,9	<5	15	4,2	92,3
459459	7031691	474883	4112	TOMdlc3	94,1	78	<1	1190	23,5	<0,5	10	27,6	10	0,63	0,32	0,46	23	0,95	3,9	0,12	12,6	0,06	<2	10,1	8,7	<5	30	2,37	246
459460	7034201	479268	4429	s.u	75,7	23	<1	194,5	44,6	4	20	3,82	7	3,62	2,23	0,89	14,9	3,4	3,5	0,79	21,3	0,35	<2	7,3	18,3	6	9	4,79	125
459461	7033952	479054	4383	s.u	58,5	0	<1	570	40,1	8,5	20	2,44	9	5,01	3,94	0,73	26,6	3,87	16,5	1,18	17,2	0,95	10	6,9	17,9	9	141	4,38	109
459462	7033849	479083	4377	s.u	58,7	0	<1	1215	72,5	1,1	10	4	21	5,37	3,64	1,68	17,3	5,37	9,1	1,26	29,3	0,62	<2	17,7	28,8	<5	25	7,18	148,5
459463	7035639	476296	4284	TOMdlc6	85,3	49	<1	681	38,9	1,7	10	21,9	132	1,14	0,52	0,79	23,9	1,99	3,9	0,21	19,2	0,08	<2	7,1	17,9	<5	19	4,45	104
459464	7031022	471955	3580	TOMdlc3	37,1	0	<1	749	40	5,8	20	3,02	9	1,44	0,68	0,89	22,4	2,24	3,7	0,27	20	0,1	<2	8,8	17,5	6	14	4,4	86,5
459465	7030541	471958	3738	s.u	72,8	16,2	<1	695	47,3	17,9	10	43,8	22	1,34	0,85	0,69	17,5	1,85	3,1	0,3	25,7	0,16	2	2,7	17,3	18	19	4,7	132,5
459466	7030538	471927	3763	s.u	72,6	15,8	<1	960	50,1	4,8	10	53,4	30	0,75	0,31	0,69	19,7	1,55	3,3	0,14	27,6	0,04	<2	2,8	17,7	5	16	4,99	150,5
459467	7030513	472416	3777	TOMdlc3	26,3	0	<1	691	39,9	5,6	20	3,65	8	1,44	0,66	0,88	22,2	2,29	3,7	0,27	19,8	0,1	<2	8,8	17,5	5	18	4,39	74,7
459468	7029875	472603	3835	TOMdlc3	50,3	0	<1	748	39,8	3,4	20	11,45	7	1,35	0,66	0,87	22,4	2,24	3,6	0,26	19,6	0,09	<2	8,7	17,5	<5	21	4,39	93,2
459469	7033848	478672	4392	s.u	66,8	3,4	<1	903	36,6	10,2	20	4,31	15	2,83	1,84	0,78	14,1	2,9	3,2	0,64	15,5	0,29	<2	6,8	15,2	7	573	3,73	213
459470	7033304	479839	4309	TOMdlc4	51,2	0	<1	542	42,3	7,5	10	3,15	264	1,63	0,75	1,05	23,4	2,59	3,9	0,31	19,9	0,11	<2	7,3	18,8	7	16	4,6	55,9
459471	7032732	478853	4229	TOMdlc6	96,5	86,8	<1	574	35,7	2,7	60	7,82	95	1,57	0,88	1,17	17,6	3,01	5,6	0,3	18,4	0,17	<2	10,5	18,1	7	23	4,25	31,1
459472	7032781	478893	4228	TOMdlc6	99,4	97,9	<1	523	46,6	0,9	50	8,29	34	1,12	0,72	0,97	23,6	2,25	5,7	0,23	23,2	0,16	2	10,8	21,5	<5	51	5,4	26,6
459473	7031294	478000	4017	TOMdlc6	74,5	20,2	<1	694	38,4	0,7	10	13,25	7	0,75	0,36	1,02	22,6	1,31	4	0,14	20,2	0,06	2	7,7	15,4	<5	125	3,96	88,5
459474	7031668	473077	3618	TOMdlc2	43,5	0	1	661	39	6,4	10	8,58	5	1,54	0,75	0,84	21,3	2,28	3,5	0,3	19,1	0,11	<2	8,5	17,3	<5	33	4,28	82,4
459475	7031433	473042	3627	TOMdlc4	35,4	0	<1	732	39,8	6,2	10	9,96	8	1,6	0,71	0,93	22	2,43	3,6	0,3	19,7	0,1	<2	8,9	17,9	5	25	4,51	79
459476	7031864	473560	3624	TOMdlc2	40,5	0	<1	885	38,1	3,8	10	9,83	<5	1,47	0,69	0,9	20,3	2,34	3,4	0,28	18,7	0,1	<2	8,7	17,2	<5	44	4,23	130
459478	7025797	474808	3604	TEpr	41,2	0	<1	878	52	4,3	10	2,82	16	0,77	0,32	0,75	20,6	1,62	3,7	0,13	28,8	0,04	<2	3,2	18,4	5	26	5,14	95,6
459479	7025733	474268	3592	TEpr	65,4	0,7	<1	355	52,2	3,9	10	2,03	40	0,73	0,3	0,71	20,6	1,55	3,7	0,13	28,6	0,04	2	3,1	18,2	5	24	5,17	51,3
459480	7031297	475761	4271	TOMdlc6	91,3	68,6	<1	460	23,7	0,8	10	40,8	11	0,47	0,26	0,43	18,3	0,75	3	0,09	12	0,05	<2	6	9,6	<5	16	2,53	67,5
459481	7031446	475957	4283	TOMdlc3	56,3	0	<1	962	38,9	3,6	10	23,9	20	1,08	0,55	0,76	23,4	1,48	3,7	0,21	20,1	0,09	<2	9,7	14,3	<5	20	3,99	108,5

459482	7031476	475947	4283	TOMdlc4	83,4	44,0	<1	539	46,7	1,3	10	60,6	20	1,5	0,46	1,91	23	4,52	3,7	0,22	20,5	0,06	<2	7,1	32,3	<5	24	6,32	79,8
459483	7032046	475295	3933	TOMdlc6	52,0	0	<1	439	40,7	4,7	10	230	7	1,58	0,78	0,91	21,4	2,36	3,5	0,31	20,2	0,11	<2	8,7	17,8	<5	20	4,52	193,5
459484	7031949	475213	3972	TOMdlc9	54,3	0	<1	720	41,7	5,6	10	16,75	6	1,38	0,67	0,87	22,9	2,29	3,6	0,25	20,6	0,09	<2	9,5	18,1	<5	34	4,61	123
459485	7035271	476124	4207	TOMdlc7	100,0	100	1	555	37,1	2,2	10	11,1	82	0,8	0,34	0,77	21,8	1,66	3,5	0,14	18,8	0,06	3	5,9	15,8	<5	95	3,99	22,4
459486	7035398	476124	4209	TOMdlc6	99,6	98,3	2	846	27,3	1,2	20	9,47	24	0,76	0,36	0,53	17,7	1,31	3,8	0,14	14,1	0,05	2	6,5	11,6	<5	140	2,93	16,7
459487	7029805	473908	4063	TOMdlc7	82,8	54,1	<1	969	32	3,5	20	8,99	<5	1,23	0,5	0,84	14,4	2,05	3,2	0,22	16,1	0,07	<2	7,6	15,2	<5	13	3,91	372
459488	7029798	473892	4074	TOMdlc7	86,9	42,5	<1	1030	33,4	2,3	20	9,71	11	1,64	0,78	0,82	16,1	2,06	3,4	0,32	17	0,12	<2	8	15	<5	15	3,94	347
459489	7029206	473307	4091	TOMdlc6	69,5	8,9	<1	597	30,9	1,9	10	54,4	19	0,64	0,33	0,7	21,7	1,16	3,7	0,13	15,2	0,05	<2	5,7	14,9	<5	11	3,76	86,3
459492	7029470	472273	3882	TPpd	63,3	0	<1	760	46,1	3,5	10	39,1	23	0,86	0,36	0,75	19,2	1,7	3,5	0,15	26,2	0,05	<2	2,8	17,5	<5	15	4,98	167
459493	7029540	472273	3893	TPpd	82,0	39,7	<1	821	48	3,1	10	21,5	14	0,77	0,31	0,62	20,2	1,5	3,8	0,13	26,9	0,04	<2	2,9	18	<5	14	5,17	123
459494	7028449	468988	3545	TEpr	56,5	0	<1	879	59	4	10	1,8	39	0,83	0,32	0,78	19,8	1,74	4,6	0,14	33,1	0,04	<2	2,9	21,6	<5	20	6,33	122,5
459495	7030865	474710	4193	TOMdlc5	75,2	21,8	<1	635	30	0,7	10	10	<5	1,21	0,59	0,66	21,5	1,67	4	0,22	15,5	0,09	<2	9,7	13,2	<5	23	3,51	113
459496	7031009	474840	4183	TOMdlc5	80,9	36,6	1	536	38,3	0,7	10	15,7	5	0,85	0,47	0,54	22,5	1,16	3,8	0,18	19,6	0,09	<2	9,9	16,6	<5	20	4,44	130,5
459497	7037788	477712	4392	TOMdlc6	97,1	89,2	<1	483	56,3	1,5	10	3,21	68	2,09	0,74	1,78	22,1	4,12	4,4	0,32	27,9	0,11	2	7,7	26,8	<5	27	6,88	62,1
459752	7030881	474715	4197	s.u	98,1	92,9	40	168,5	28,1	0,7	10	13,95	14	1,02	0,51	0,63	17,9	1,46	3,1	0,19	14,6	0,08	<2	7,6	12,5	<5	6690	3,34	53
459753	7039852	469304	3892	TEdr	82,6	41,6	<1	829	34,2	0,5	<10	14,8	5	1,22	0,58	0,49	15,4	1,53	2,6	0,24	19,4	0,1	<2	11,2	12,1	<5	27	3,63	110
459754	7039551	469992	4048	TEdr	71,9	14,2	<1	939	31,6	0,8	<10	15,65	5	1,28	0,62	0,48	15,1	1,43	2,4	0,22	17,6	0,1	<2	10,9	11,2	<5	31	3,35	134,5
459755	7039554	470018	4046	TEdr	71,8	14,1	<1	1050	31,8	1	<10	12,3	9	1,29	0,64	0,5	14,7	1,54	2,5	0,24	18,6	0,1	2	10,9	11,7	<5	13	3,47	133,5
459756	7039552	470039	4041	s.u	48,9	0	<1	659	37,6	8,4	10	27,7	24	1,77	0,92	0,82	16,8	2,22	3,5	0,35	20,8	0,15	<2	8,5	15,9	5	21	4,28	106,5
459757	7039852	469304	3892	TEdr	81,1	37,3	<1	618	32,8	0,5	<10	12,5	7	1,1	0,56	0,49	14,8	1,49	2,3	0,21	18,7	0,09	<2	10,9	11,6	<5	26	3,49	112
459758	7035860	469679	3835	TPpd	50,2	0	<1	1020	45,5	3,5	10	6,2	10	1,7	0,94	0,8	15,9	2,15	3,6	0,34	26,4	0,16	<2	9,9	17,3	<5	24	4,9	148,5
459770	7032643	476025	4131	TOMdlc3	44,3	0	<1	723	38,5	4,4	10	8,28	8	1,33	0,58	0,85	22,3	2,07	4	0,24	20	0,08	<2	7,6	18,1	<5	16	4,63	91,6
459771	7031489	475325	4144	TOMdlc3	57,9	0	<1	541	36,3	4,2	10	332	6	1,59	0,7	0,83	20,1	2,3	3,5	0,29	18,4	0,09	<2	8,8	17,1	<5	19	4,48	178,5
459772	7031566	475249	4113	TOMdlc3	60,6	0	<1	671	35,9	3	10	145	7	1,47	0,66	0,8	19,9	2,12	3,9	0,26	17,9	0,1	<2	9	17,1	<5	20	4,36	166,5
459773	7031623	474859	4158	TOMdlc3	58,8	0	<1	706	37	4,9	10	16,75	9	1,6	0,7	0,87	21,9	2,22	3,7	0,28	18,9	0,1	2	9,7	17,9	<5	13	4,56	104
459774	7037616	471209	4232	TOMdlc3	42,1	0	<1	809	42,8	5,7	10	2,33	6	1,25	0,51	0,95	24	2,15	4,2	0,2	21,7	0,07	<2	6,8	20,9	<5	12	5,32	54,7
459775	7037260	471785	4425	TOMdlc2	37,2	0	<1	742	43,3	7,3	10	1,66	11	1,19	0,46	1,06	24,5	2,24	4,1	0,21	21,2	0,06	<2	6,9	21,1	<5	11	5,31	48,2
459776	7037572	471785	4468	TOMdlc2	29,0	0	<1	724	42	7	10	1,9	10	1,17	0,48	1,05	23,7	2,31	4,1	0,21	20,9	0,06	<2	6,8	20,9	<5	11	5,31	49,4
459777	7037878	471962	4543	TOMdlc2	32,1	0	<1	772	42,6	6	10	2,24	9	1,2	0,5	0,98	23,8	2,26	4,1	0,21	21,3	0,07	<2	6,6	20,7	<5	11	5,25	54,3
459778	7037921	471921	4542	TOMdlc2	32,4	0	<1	794	43,4	6	10	2,38	9	1,23	0,52	1	23,7	2,18	4,4	0,21	21,5	0,06	<2	6,8	21,3	<5	12	5,36	58,2
459781	7038342	480512	4674	TOMdlc2	31,0	0	<1	777	42,8	7,3	10	2,43	15	1,68	0,82	0,9	23,5	2,55	4,5	0,26	21,5	0,1	<2	7,7	20,8	5	11	5,07	64,7
459782	7038027	480631	4677	TOMdlc2	33,4	0	<1	738	41,6	6,8	10	1,34	13	1,69	0,8	0,86	24,1	2,48	4,4	0,27	20,8	0,1	<2	7,9	20,3	<5	10	4,82	61,7
459783	7034277	476318	4282	TOMdlc2	41,2	0	<1	852	34,8	5,1	10	4,96	14	1,22	0,63	0,73	24,5	2	4,1	0,2	17,3	0,08	<2	6,5	17,7	<5	14	4,25	82,4
459784	7034316	476350	4306	TOMdlc4	44,3	0	<1	804	34,3	5,1	10	3,12	14	1,31	0,58	0,72	25,3	2,04	4,2	0,2	16,9	0,08	<2	6,5	17,3	<5	14	4,18	81,3
459785	7031147	481969	4501	Pznmz	0,0	0	<1	554	29,3	36,6	50	1,95	29	3,96	2,27	1,23	20,5	4,36	2,8	0,69	14,3	0,28	<2	5,4	18,2	35	<5	3,79	47
459786	7033888	482735	4103	KTzmd	40,0	0	<1	1095	42,8	11,7	10	2,69	15	3,06	1,81	0,98	18,8	3,34	3,8	0,54	23,6	0,28	<2	8,5	20,1	<5	9	4,75	85,5
459787	7033037	482090	4152	KTzmd	38,0	0	<1	1145	44,7	11,3	10	3,71	17	2,97	1,84	1,01	18,9	3,38	3,9	0,53	24,9	0,28	<2	8,7	20,2	<5	13	5,03	78,8
459788	7032964	482116	4177	KTzmd	35,7	0	<1	1170	45,3	11,8	10	2,39	28	3,21	1,91	1,05	19,3	3,58	3,9	0,6	25,1	0,29	<2	8,7	21,2	<5	9	5,05	80,5
459789	7030766	481729	4539	Pznmz	0,0	0	<1	431	29,1	38,2	70	1,73	30	4,72	2,82	1,44	20,4	4,88	2,9	0,83	13,3	0,36	<2	6,1	20	30	<5	3,96	52,4
459790	7030887	481920	4560	Pznmz	0,0	0	<1	203	64,8	34,5	30	0,69	9	4,25	2,5	1,11	21	4,7	2,7	0,73	30,7	0,33	<2	5,2	28,2	19	<5	7,1	48,9
459791	7030775	481732	4544	s.u	29,1	0	<1	932	20,8	3,3	10	1,01	35	3,24	2,17	0,8	16,9	3,14	9,5	0,62	11,4	0,38	<2	13,7	12,2	<5	10	2,6	123,5
459803	7034804	476712	4521	TOMdlc4	47,3	0	<1	856	36,9	5,2	10	2,94	15	1,23	0,57	0,74	25	2	4,1	0,2	18,4	0,08	<2	6,6	17,9	<5	14	4,38	85,3
459804	7034881	476683	4507	TOMdlc1	46,4	0	<1	798	32,3	3,5	10	2,27	14	1,09	0,57	0,68	21,9	1,83	3,7	0,18	15,8	0,07	<2	5,8	15,8	<5	13	3,84	63,2

459805	7034972	476651	4495	TOMdlcl	48,0	0	<1	827	33,9	6,1	10	4,12	542	1,4	0,65	0,71	24,1	2,13	4	0,22	16,7	0,09	<2	6,2	16,8	<5	13	4,06	91,3
459806	7035038	476629	4486	TOMdlcl	37,9	0	<1	808	37	5,4	10	3,85	17	1,28	0,6	0,78	24,4	2	4,1	0,19	18,7	0,08	<2	6,3	18	<5	14	4,33	80,9

Continuación de los resultados geoquímicos para muestras en superficie.

Muestra	Sm	ppm	Sn	ppm	Sr	ppm	Ta	ppm	Tb	ppm	Th	ppm	Ti	ppm	Tm	ppm	U	ppm	V	ppm	W	ppm	Y	ppm	Zn	ppm	Zr	ppm	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	Na2O	K2O	Cr2O3	TiO2	MnO	P2O5	SrO	BaO	LOI	Total			
	ppm		ppm		ppm		ppm		ppm		ppm		ppm		ppm		ppm		ppm		ppm		ppm		ppm		ppm		pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct
459451	3,04	1	639	0,3	0,25	5,23	0,6	0,08	1,48	63	1	6,1	0,56	69	125	66,8	16,15	3,58	3,76	1,12	4,14	2,73	<0,01	0,48	0,06	0,16	0,08	0,09	1,59	100,5																
459452	2,82	1	705	0,4	0,23	3,73	<0,5	0,07	1,41	60	<1	6,5	0,53	93	120	67,9	15,75	3,67	3,28	1	4,59	2,47	<0,01	0,44	0,05	0,16	0,08	0,09	1,78	101,5																
459453	3,29	1	752	0,3	0,24	3,78	<0,5	0,07	1,25	57	<1	6,2	0,46	104	132	68	15,8	3,37	3,29	0,91	4,32	2,64	<0,01	0,44	0,07	0,15	0,08	0,1	2,2	101,5																
459454	3,16	1	743	0,3	0,24	3,81	<0,5	0,07	1,19	57	<1	6	0,46	93	132	68,3	16	3,42	3,44	0,9	4,35	2,62	<0,01	0,45	0,06	0,17	0,08	0,1	1,3	101																
459455	2,78	1	664	0,4	0,23	4,07	<0,5	0,07	1,16	49	<1	6,2	0,49	117	135	68,6	15,9	3,63	3,07	0,64	4,32	2,6	<0,01	0,45	0,05	0,18	0,07	0,09	2,1	101,5																
459456	3,27	1	667	0,4	0,28	3,83	<0,5	0,08	1,09	75	<1	7,2	0,53	115	151	64,7	15,95	4,18	5,12	0,94	4,05	2,76	<0,01	0,56	0,07	0,18	0,07	0,09	2,47	101																
459457	3,01	1	605	0,7	0,28	4,05	<0,5	0,1	1,39	58	1	7,7	0,64	174	125	65,9	14,8	3,88	4,07	0,89	3,48	2,29	<0,01	0,45	0,07	0,16	0,07	0,09	3,39	99,5																
459458	3,15	1	518	0,7	0,3	4,1	0,5	0,11	1,32	61	<1	8,4	0,68	167	120	63,8	15,65	3,82	4,76	0,93	3,17	2,42	<0,01	0,45	0,1	0,19	0,06	0,08	4,65	100																
459459	1,46	1	126,5	0,8	0,12	4,42	3,4	0,05	1,44	63	3	3,5	0,4	38	143	69,8	15,45	2,16	0,46	0,44	0,68	5,6	<0,01	0,5	0,02	0,07	0,01	0,14	4,89	100																
459460	3,61	2	60,1	0,6	0,55	8,35	0,6	0,33	1,69	74	4	21,9	2,32	32	120	69,2	14,15	5,11	0,22	0,32	3,14	2,36	<0,01	0,56	0,02	0,03	0,01	0,02	3,89	99																
459461	4	2	135	0,6	0,73	8,91	0,7	0,74	2,23	73	2	69,8	6,18	144	687	69,4	13,9	5,67	0,85	1,4	4,11	3,32	<0,01	0,63	0,11	0,1	0,02	0,08	1,8	101,5																
459462	5,95	2	154,5	1,2	0,87	11,35	0,5	0,54	2,3	9	1	35,1	3,9	97	379	72,7	13,9	3,21	0,5	0,35	4,24	3,61	<0,01	0,37	0,05	0,09	0,02	0,14	1,19	100,5																
459463	3,18	1	538	0,5	0,24	4,6	0,6	0,07	1,58	61	1	5,5	0,57	65	138	66,2	16,75	3,88	1,11	0,36	2,17	2,21	<0,01	0,49	0,03	0,08	0,06	0,08	7,81	101																
459464	3,07	1	740	0,7	0,28	4,61	<0,5	0,09	1,51	57	<1	8	0,67	64	135	67,3	15,9	3,65	3,84	1,08	4,29	2,6	<0,01	0,44	0,06	0,21	0,08	0,09	1,3	101																
459465	2,76	1	156,5	0,2	0,23	9,57	1,3	0,13	1,77	54	<1	8,6	0,98	543	120	63,1	11,95	12,1	0,47	0,46	2,44	3,03	<0,01	0,24	0,71	0,1	0,02	0,08	4,69	99,4																
459466	2,62	1	216	0,2	0,16	10,6	1,5	0,04	1,55	34	<1	7,9	0,28	85	126	73,1	13,05	2,61	0,47	0,53	2,73	3,24	<0,01	0,27	0,08	0,09	0,02	0,11	3,08	99,4																
459467	3,19	1	708	0,7	0,28	4,53	<0,5	0,09	1,27	57	<1	8,8	0,62	68	131	66,6	15,85	3,43	4,6	0,63	4,14	2,26	<0,01	0,43	0,05	0,16	0,08	0,08	2,59	101,5																
459468	3,1	1	704	0,7	0,28	4,36	0,6	0,09	1,25	52	1	7,6	0,62	219	129	69,1	16,25	2,96	3,21	0,58	4,27	2,56	<0,01	0,45	0,03	0,17	0,08	0,09	1,59	101,5																
459469	3,15	2	95,7	0,6	0,47	7,28	1,4	0,26	1,54	73	4	16,6	1,86	1440	116	70,5	11,6	4,87	0,35	1,47	2,09	5,02	<0,01	0,52	0,2	0,08	0,01	0,1	2,2	99																
459470	3,35	1	918	0,5	0,32	3,48	<0,5	0,11	1,02	61	<1	8,7	0,73	169	144	62,6	17,4	4,4	4,32	1,24	4,42	1,38	<0,01	0,54	0,08	0,25	0,1	0,06	2,7	99,5																
459471	4,25	2	692	0,7	0,32	5,08	<0,5	0,13	1,3	115	1	7,7	0,99	71	211	63,1	15,3	8,35	0,28	0,32	0,73	0,94	0,01	1,04	0,03	0,1	0,08	0,07	10,85	101																
459472	3,65	2	827	0,7	0,25	5,69	<0,5	0,11	1,2	84	1	6,3	0,86	46	230	66,8	18	2,31	0,2	0,22	0,35	0,62	0,01	0,96	0,02	0,15	0,09	0,06	9,8	99,6																
459473	2,5	1	1020	0,5	0,15	3,42	16,5	0,05	1,41	51	<1	3,3	0,42	117	155	65,4	17,75	3,34	2,26	0,09	3,3	2,22	<0,01	0,51	0,01	0,12	0,11	0,08	5,25	100,5																
459474	3,19	1	738	0,7	0,31	4,26	0,5	0,1	1,43	63	<1	8,3	0,68	191	124	64,5	15,6	3,87	3,74	1,1	3,9	2,44	<0,01	0,46	0,11	0,18	0,08	0,08	4,28	100,5																
459475	3,27	1	758	0,7	0,3	4,35	0,6	0,1	1,44	60	<1	8,4	0,73	173	131	66,1	16	3,83	4,16	1,06	4,32	2,26	<0,01	0,45	0,11	0,16	0,08	0,09	2,28	101																
459476	3,19	1	197	0,7	0,29	4,3	0,9	0,09	1,42	49	1	7,9	0,65	168	120	66,2	14,85	3,97	3,31	0,46	3,15	3,79	<0,01	0,4	0,34	0,14	0,02	0,1	4,2	101																
459478	2,66	1	301	0,2	0,18	10,2	<0,5	0,04	2,32	32	<1	3,8	0,28	62	128	70,9	13,9	2,62	2,91	0,26	3,83	2,58	<0,01	0,28	0,03	0,08	0,03	0,11	3,39	101																
459479	2,72	1	597	0,2	0,16	10,45	<0,5	0,04	1,85	29	<1	3,4	0,27	42	135	71,8	14,3	2,69	1,23	0,78	4,26	1,14	<0,01	0,29	0,03	0,11	0,06	0,04	3,8	100,5																
459480	1,44	1	680	0,4	0,09	2,98	1,2	0,04	1,21	61	<1	2,6	0,3	92	117	53,2	19,65	2,79	1,21	0,07	1,52	3,35	<0,01	0,44	0,02	0,14	0,07	0,06	15,9	98,4																
459481	2,19	1	824	0,8	0,21	4,81	1,8	0,08	1,69	47	<1	6,4	0,57	542	136	68,6	16	3,03	3,13	0,51	3,85	2,3	<0,01	0,43	0,04	0,1	0,08	0,12	2,19	100,5																
459482	7,98	1	940	0,5	0,4	3,78	2,8	0,06	2,4	84	14	4,7	0,43	681	143	63,8	19,05	2,54	2,61	0,19	2,49	1,47	<0,01	0,57	0,03	0,16	0,09	0,07	7,18	100,5																
459483	3,13	1	656	0,7	0,3	4,7	0,9	0,11	1,3	53	1	8,9	0,72	199	128	66,2	15,05	4,08	3,69	0,79	2,87	2,79	<0,01	0,43	0,1	0,17	0,06	0,06	5,06	101,5																
459484	3,22	1	677	0,8	0,27	4,75	0,8	0,09	1,6	51	1	7,4	0,62	247	131	69,1	15,75	3,62	2,92	0,52	3,65	3,09	<0,01	0,42	0,32	0,18	0,07	0,08	1,2	101																

459485	2.54	1	956	0.4	0.18	3.76	0.5	0.05	0.95	59	2	3.5	0.34	42	128	69.2	15	1.94	0.15	0.13	0.2	0.93	<0.01	0.46	0.01	0.15	0.1	0.07	10.7	99
459486	2.05	1	456	0.4	0.15	3.21	<0.5	0.05	1.21	47	1	3.6	0.35	67	141	76.7	10.35	2.85	0.13	0.1	0.18	0.78	<0.01	0.48	0.01	0.12	0.05	0.1	7.98	99.8
459487	2.82	1	426	0.5	0.25	3.56	9.5	0.07	1.23	45	46	5.2	0.47	71	119	67.7	13	2.82	0.22	0.04	0.36	10	<0.01	0.39	0.01	0.15	0.05	0.12	3.29	98.2
459488	2.91	1	391	0.6	0.29	4.51	8.3	0.13	1.45	51	29	8.8	0.83	96	123	70.1	12.95	2.9	0.18	0.07	0.44	9.08	<0.01	0.39	0.01	0.12	0.05	0.12	2.79	99.2
459489	2.51	1	1010	0.3	0.13	3.24	1	0.05	0.99	56	<1	3.4	0.32	375	144	60.7	18.2	3.03	2.59	0.18	3.77	2.47	<0.01	0.45	0.03	0.08	0.12	0.07	7.97	99.7
459492	2.82	1	216	0.2	0.19	10.55	1	0.05	1.84	53	1	4	0.3	42	136	72.9	13.45	2.41	0.88	0.43	2.88	4.56	<0.01	0.28	0.02	0.2	0.03	0.09	2.69	101
459493	2.7	1	269	0.2	0.19	10.8	0.8	0.04	1.44	30	1	3.6	0.29	44	144	73.9	14.7	2.27	0.35	0.43	2.26	3.15	<0.01	0.3	0.02	0.15	0.03	0.1	3.38	101
459494	3.29	1	350	0.2	0.19	14.7	0.5	0.04	2.08	37	<1	3.6	0.27	48	175	68.8	14.1	2.28	1.5	0.72	3.73	3.49	<0.01	0.37	0.02	0.1	0.04	0.1	3.5	98.8
459495	2.33	1	500	0.7	0.23	4.62	1.1	0.09	1.66	45	1	6.6	0.59	456	146	70	15.65	1.61	1.38	0.18	2.89	2.82	<0.01	0.44	0.01	0.11	0.06	0.08	3.78	99
459496	2.35	1	404	0.7	0.15	4.42	1.2	0.07	1.24	51	1	5.2	0.49	492	142	68.6	15.65	1.64	1.32	0.3	2.2	3.17	<0.01	0.42	0.01	0.09	0.05	0.06	4.8	98.3
459497	5.33	1	981	0.5	0.47	4.02	<0.5	0.11	0.97	69	1	6.9	0.7	109	170	60.4	19	2.61	0.42	0.3	0.75	1.72	<0.01	0.57	0.03	0.23	0.11	0.06	13	99.2
459752	2.31	1	609	0.6	0.18	3.76	1.6	0.08	1.29	43	1	5.4	0.49	193	112	63.6	11.85	6.05	1.23	0.12	0.29	1.2	<0.01	0.33	0.01	0.2	0.07	0.02	11.85	96.8
459753	2.08	1	224	1	0.21	6.96	0.9	0.09	1.96	<5	1	6.6	0.65	164	81	76.7	14.05	1.26	0.27	0.25	2.14	2.87	<0.01	0.13	0.02	0.17	0.03	0.1	2.4	100.5
459754	1.94	1	433	0.9	0.21	6.65	0.6	0.09	1.77	<5	1	7.1	0.62	47	77	72.4	13.65	1.56	2.09	0.26	1.92	3.59	<0.01	0.12	0.08	0.18	0.05	0.11	3.67	99.7
459755	2.09	1	219	0.9	0.23	6.88	0.8	0.1	2.09	5	1	7.4	0.68	29	76	71.8	13.75	1.52	2.29	0.27	1.71	3.96	<0.01	0.13	0.08	0.13	0.03	0.13	4.28	100
459756	2.97	1	409	0.7	0.31	6.42	0.6	0.15	2	79	1	9.8	0.97	62	127	60.6	15.15	4.14	3.7	1.38	3.16	2.69	<0.01	0.5	0.07	0.24	0.05	0.08	4	95.8
459757	2.03	1	188.5	0.9	0.21	6.91	0.8	0.09	2	5	<1	6.3	0.58	189	73	73.9	13.55	1.09	0.24	0.2	2.2	2.93	<0.01	0.12	0.03	0.02	0.03	0.07	2.29	96.7
459758	3.03	1	488	0.8	0.3	8.66	0.5	0.15	2.14	28	1	10	1.03	52	134	67.4	14	2.61	2.62	0.61	3.12	3.38	<0.01	0.27	0.07	0.14	0.06	0.11	2.79	97.2
459770	3.21	1	633	0.5	0.26	4.59	<0.5	0.08	1.42	54	<1	7.2	0.54	180	151	63.8	15.2	2.98	3.91	0.4	3.45	2.37	<0.01	0.45	0.09	0.19	0.07	0.08	4.4	97.4
459771	3.21	1	575	0.7	0.3	4.34	0.8	0.11	1.43	45	<1	8.9	0.7	492	130	68.2	14.8	3.27	3.01	0.67	2.68	3.41	<0.01	0.4	0.12	0.2	0.07	0.06	3.28	100
459772	3.21	1	576	0.7	0.27	4.36	1.7	0.09	1.43	43	1	7.6	0.63	188	141	66.3	14.4	2.94	2.74	0.62	2.59	3.33	<0.01	0.4	0.04	0.15	0.07	0.08	3.79	97.5
459773	3.23	1	555	0.7	0.28	4.42	0.7	0.1	1.41	59	<1	8.1	0.67	163	139	64.8	15.6	2.94	3.26	0.66	3.18	2.63	<0.01	0.47	0.09	0.21	0.06	0.08	3.7	97.7
459774	3.59	1	853	0.4	0.24	3.56	<0.5	0.07	0.79	65	<1	5.9	0.44	71	164	67.4	16.75	3.47	3.98	1.1	4.69	2.1	<0.01	0.57	0.05	0.2	0.1	0.09	0.5	101
459775	3.79	1	900	0.4	0.26	3.09	<0.5	0.07	0.65	55	<1	5.6	0.43	74	159	66	17.5	3.91	4.63	1.19	4.9	1.94	<0.01	0.71	0.05	0.32	0.11	0.09	0.5	102
459776	3.71	1	854	0.4	0.26	3.15	<0.5	0.07	0.69	67	<1	5.7	0.48	80	156	64.7	16.9	3.8	4.56	1.34	5.1	2	<0.01	0.71	0.05	0.28	0.1	0.09	1.3	101
459777	3.54	1	863	0.4	0.24	3.4	<0.5	0.07	0.78	56	<1	5.9	0.46	71	157	66.3	16.7	3.63	4.21	1.2	5.15	2.08	<0.01	0.6	0.05	0.14	0.1	0.09	0.8	101
459778	3.67	1	829	0.4	0.25	3.55	<0.5	0.07	0.83	52	<1	5.9	0.46	73	172	67.3	16.6	3.46	4.03	1.16	5.21	2.19	<0.01	0.62	0.05	0.23	0.09	0.1	0.39	101.5
459781	3.68	1	799	0.5	0.27	4.23	<0.5	0.1	1.16	73	<1	7.5	0.65	61	163	62.7	16.4	3.78	4.49	1.48	4.63	2.05	<0.01	0.55	0.06	0.22	0.09	0.09	1.7	98.24
459782	3.42	1	833	0.5	0.28	4.18	<0.5	0.1	1.16	71	<1	7.5	0.7	57	157	63.7	16.75	3.44	4.36	1.18	4.93	2.02	<0.01	0.52	0.06	0.21	0.1	0.08	0.4	97.75
459783	2.98	1	677	0.4	0.21	3.63	<0.5	0.07	1.31	61	<1	5.6	0.53	57	129	66.6	16.05	3.03	3.55	1	4.47	2.59	<0.01	0.46	0.05	0.14	0.08	0.1	2.3	100.42
459784	3.12	1	689	0.4	0.21	3.61	<0.5	0.07	1.46	56	<1	5.6	0.52	60	132	67.5	16.35	2.81	3.55	0.86	4.46	2.54	<0.01	0.46	0.03	0.16	0.08	0.09	2.3	101.19
459785	4.47	1	804	0.3	0.57	2.33	<0.5	0.29	0.56	333	<1	18.4	1.89	60	97	48.5	16.9	10.7	9.49	5.09	2.99	1.66	<0.01	1.06	0.16	0.33	0.09	0.06	1.09	98.12
459786	4.03	1	645	0.6	0.45	8.14	<0.5	0.23	1.7	100	1	15.1	1.79	64	137	60.7	16.4	6.01	4.77	2.19	3.47	2.36	<0.01	0.55	0.15	0.25	0.07	0.13	3.79	100.84
459787	4.05	1	709	0.6	0.45	8.39	<0.5	0.25	1.78	96	1	15.6	1.76	39	137	62.2	16.8	5.91	4.7	2	4.07	2.2	<0.01	0.56	0.08	0.23	0.08	0.13	1.6	100.56
459788	3.88	1	692	0.6	0.47	8.51	<0.5	0.25	1.82	99	1	16	1.84	36	141	62.2	16.7	5.79	4.21	1.94	4.77	2.22	<0.01	0.56	0.07	0.25	0.08	0.13	2.6	101.52
459789	4.96	1	661	0.3	0.68	3.67	<0.5	0.34	0.67	331	<1	22.6	2.41	88	101	47.8	17.15	11.55	9.12	5.9	3.03	1.46	0.01	1.32	0.18	0.3	0.08	0.05	1.2	99.15
459790	5.25	1	749	0.3	0.64	2.68	<0.5	0.31	0.64	330	<1	19.9	2.06	26	92	47.6	18.1	11.8	9.64	5.46	3.96	1.36	<0.01	1.29	0.11	0.37	0.09	0.02	1.3	101.1
459791	3.08	1	387	1.1	0.44	17.25	<0.5	0.3	1.56	56	<1	17.7	2.34	31	334	67.3	15.9	2.63	2.79	0.84	3.67	5.71	<0.01	0.47	0.04	0.16	0.05	0.11	1.4	101.07
459803	3.15	1	670	0.4	0.22	3.8	<0.5	0.07	1.25	56	<1	5.7	0.5	56	136	67.5	16.3	2.92	3.4	1.06	4.29	2.64	<0.01	0.44	0.04	0.14	0.08	0.09	1.8	100.7
459804	2.85	1	666	0.3	0.2	3.37	<0.5	0.08	1.24	56	<1	5	0.49	52	118	66.8	14.55	2.79	3	0.72	3.96	2.32	<0.01	0.39	0.03	0.11	0.07	0.09	2.99	97.82
459805	3.01	1	680	0.3	0.24	3.58	<0.5	0.08	1.56	57	<1	6.8	0.57	126	129	65.6	15.65	2.73	3.17	0.71	4.11	2.63	<0.01	0.44	0.04	0.1	0.08	0.09	3.3	98.65
459806	3.22	1	692	0.4	0.22	3.56	<0.5	0.08	1.35	64	<1	5.8	0.54	69	136	66.4	16.2	3.06	3.68	1.1	4.6	2.66	<0.01	0.47	0.05	0.15	0.08	0.09	2.2	100.74

### ANEXO 4. Tabla de resultados geoquímicos para muestras en sondajes

Tabla resumen de las muestras, indicando el número de la muestra, posición (norte, este y elevación), unidad muestreada, índice de alteración y los resultados geoquímicos. IA<sup>1</sup> se calculó de la misma manera que para las muestras de superficie.

<sup>1</sup>: Sondaje de Pompeya (DMP-19; Norte:7035860, Este: 476100; PSAD56). <sup>2</sup>: Sondaje de Púren Sur (DPU-242; Norte:7037141, Este: 478546; PSAD56).

<sup>3</sup>: Sondaje de Púren Sur (DPU-244; Norte:7037141, Este: 478546; PSAD56). <sup>4</sup>: Sondaje de Brecha Norte (BND-004; Norte:7037998, Este: 477808; PSAD56).

<sup>5</sup>: Sondaje de Brecha Norte (BND-005; Norte:7037196, Este: 473611; PSAD56). <sup>6</sup>: Sondaje de Brecha Norte (BND-010; Norte:7037286, Este: 474001; PSAD56).

Muestra	Desde	Hasta	Unidad	IA	Ag	Ba	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Mo	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	Rb	Sm
459759 <sup>1</sup>	96,46	96,64	Dique	0,0	<1	786	37,3	4	10	23,2	<5	1,02	0,4	0,77	23,2	1,76	3,8	0,19	18,8	0,07	<2	5,2	17,1	<5	15	4,42	235	2,93
459760 <sup>1</sup>	106,58	106,83	Diatrema	67,5	2	398	37,3	5,7	10	36	350	1,7	0,86	0,82	20,2	2,28	3,9	0,34	18,7	0,13	20	6,7	16,9	5	91	4,47	137	3,17
459761 <sup>1</sup>	140,52	140,68	Diatrema	95,1	2	753	35,1	5,5	10	31,1	401	1,43	0,78	0,7	19,5	1,84	3,7	0,28	18,2	0,11	21	6,3	15,6	<5	105	4,11	244	2,8
459762 <sup>1</sup>	150,19	150,38	Diatrema	100,0	30	2070	22,9	5,4	10	4,57	941	0,89	0,61	0,66	13,4	1,54	3,8	0,19	11	0,11	18	7,1	13,2	5	230	3,04	8,2	2,69
459763 <sup>1</sup>	188,7	188,92	Pórfido	98,3	3	769	47,1	4,1	10	1,08	140	1,64	0,67	1,18	28,8	2,6	4,5	0,28	23,3	0,11	4	6,9	23,2	<5	586	5,83	2,6	3,97
459764 <sup>1</sup>	211,34	211,37	Pórfido	99,9	10	383	49,8	8,8	10	0,78	149	1,52	0,51	1,3	31,4	2,81	4,7	0,23	25,8	0,09	3	7,1	23,4	<5	832	6,08	1,6	4,11
459765 <sup>1</sup>	247,81	248,04	Pórfido	94,2	1	500	36,2	6,9	10	0,35	29	1,22	0,47	0,91	36,1	2,38	3,5	0,2	17,7	0,08	<2	5,4	18,1	<5	509	4,53	2,1	3,54
459766 <sup>1</sup>	364,75	364,94	Pórfido	96,9	2	340	37,6	8,4	10	0,61	1470	0,79	0,35	0,79	22,1	1,69	3,6	0,14	18,7	0,07	12	5,9	18,2	<5	365	4,58	2,1	3,09
459767 <sup>1</sup>	402,69	402,91	Pórfido	98,9	1	199,5	41,4	2,8	10	0,48	1420	1,06	0,36	1,01	28,4	2,1	4,1	0,16	20,6	0,06	2	6,4	20	<5	403	5,1	4,1	3,5
459768 <sup>1</sup>	450,62	450,8	Pórfido	97,0	2	421	43,4	8,3	10	9,27	336	1,35	0,52	1,04	25	2,46	4,6	0,23	21,2	0,08	10	7,5	22,3	<5	158	5,5	85,1	3,92
459769 <sup>1</sup>	500,54	500,71	Pórfido	98,5	3	389	42,5	8	10	6,16	1640	0,94	0,45	0,95	24	1,94	4,4	0,16	20,7	0,08	3	6,6	21,6	<5	316	5,41	98	3,53
459779 <sup>1</sup>	550,95	551,1	Pórfido	93,7	1	460	32,8	5,5	10	12,7	1050	0,61	0,33	0,79	32,5	1,64	4,1	0,11	16,3	0,08	5	6,1	16,7	<5	443	4,19	142	2,96
459780 <sup>1</sup>	595,26	595,41	Pórfido	94,1	1	497	40,7	6,4	10	9,63	125	1,51	0,99	0,93	26,3	2,51	4,1	0,32	20,1	0,15	2	6,8	21,3	8	235	5,17	97,7	4,1
459792 <sup>2</sup>	426,25	426,46	Diatrema	86,9	<1	394	19,8	15,4	10	0,39	24	0,26	0,19	0,17	21,8	0,47	3,3	0,04	11,7	0,04	<2	7,6	6,3	6	152	2,07	2,1	0,75
459793 <sup>2</sup>	460,66	460,88	TOMdlc2	91,5	1	158,5	20,4	9,9	20	0,54	32	0,49	0,31	0,23	14,4	0,75	2,5	0,08	9,9	0,06	<2	5,3	8,7	7	112	2,46	2,9	1,15
459794 <sup>2</sup>	501,02	501,25	TOMdlc2	90,9	1	732	53,7	15,1	20	6,06	11	1,35	0,74	0,92	30	2,21	4,4	0,25	24,8	0,11	2	9,5	29,2	10	84	6,75	105	4,73
459795 <sup>2</sup>	567,25	567,5	TOMdlc2	85,7	<1	203	45,4	3,8	20	0,64	8	1,08	0,54	1,19	15,2	2,36	3,5	0,18	21,8	0,11	<2	7,4	22,3	<5	178	5,81	2,5	3,75
459796 <sup>2</sup>	607,7	607,82	TOMdlc2	77,7	1	208	19,5	1,6	20	0,23	40	0,27	0,17	0,18	3,7	0,5	3,1	0,04	10,1	0,04	<2	6,3	7,2	<5	122	2,19	1,5	0,88
459797 <sup>2</sup>	649,65	649,85	TOMdlc2	86,0	<1	74	26,3	12,8	30	0,44	39	0,28	0,19	0,38	8,3	0,71	2,6	0,06	13,1	0,05	2	5,3	11,7	10	268	3,32	2,6	1,81
459798 <sup>2</sup>	698,05	698,24	TOMdlc2	83,1	<1	67,7	27,1	20	30	0,37	38	0,28	0,22	0,37	8,3	0,69	3,1	0,07	15,2	0,04	<2	6,4	10,1	16	115	3,02	2	1,51
459799 <sup>3</sup>	277,25	277,42	TOMdlc2	99,4	<1	514	80,2	20,1	10	4,14	73	0,54	0,35	0,68	25,3	1,16	4,5	0,1	38,7	0,06	<2	9,3	26,1	7	63	7,99	4,5	2,97
459800 <sup>3</sup>	300,22	300,42	TOMdlc2	99,7	1	95,5	46,7	6,4	10	5,81	73	1,11	0,53	1,08	31,5	2,79	3,4	0,18	20,8	0,09	2	7,7	29,7	5	187	6,27	4,2	5,54
459801 <sup>3</sup>	329,31	329,43	TOMdlc2	99,5	1	216	32,5	15	10	1,1	40	0,75	0,41	0,77	26,6	1,82	3,8	0,13	15,7	0,06	<2	8,7	18	9	206	4,12	2,8	3,38
459802 <sup>3</sup>	369,16	369,31	TOMdlc2	98,8	<1	112,5	41,3	6,5	10	24,9	6	1,56	0,95	0,78	30,8	2,21	4,7	0,31	21,6	0,13	<2	10,2	19,2	<5	30	4,74	154	3,31
459807 <sup>4</sup>	11,78	12,03	TOMdlc2	60,3	<1	656	24,2	2,6	10	19	5	0,54	0,3	0,37	24,2	0,99	3,7	0,09	13,5	0,04	<2	5,4	10,6	<5	19	2,76	171	1,84
459808 <sup>4</sup>	49,38	49,6	TOMdlc2	51,4	<1	685	23,8	4,9	<10	24,7	5	0,62	0,28	0,42	23,7	1,08	3,7	0,11	13,1	0,04	<2	5,2	10,3	<5	23	2,64	223	1,74
459809 <sup>4</sup>	98,57	98,83	TOMdlc2	47,6	<1	710	25	4,1	10	14,5	6	0,59	0,27	0,42	24,7	1,17	3,7	0,1	14,3	0,04	<2	5,4	11,2	<5	16	2,82	259	1,86
459810 <sup>4</sup>	153,25	153,52	TOMdlc2	57,8	<1	612	25,1	4,2	10	12,55	6	0,62	0,29	0,39	25,3	1,12	3,8	0,11	13,7	0,04	<2	5,3	10,7	<5	16	2,8	170,5	1,8
459811 <sup>4</sup>	195,72	195,99	Granito	99,6	2	858	72,9	7,3	10	9,17	56	6,9	4,46	1,18	38,1	6,52	7,7	1,37	36,2	0,61	2	15,9	33,5	6	290	8,43	235	7,15
459812 <sup>4</sup>	246,42	246,85	Granito	32,7	1	573	76,9	4,2	20	11,85	6	5,28	3,31	1,24	20,1	5,78	6,7	1,03	37,9	0,42	<2	14,4	35,8	<5	40	8,79	180,5	7,11
459813 <sup>4</sup>	276,76	277,16	Granito	54,3	1	564	83,2	6	20	8,25	5	5,73	3,66	1,38	21,2	6,41	7,3	1,12	41,5	0,47	<2	15,8	39,2	6	95	9,71	180	8,12
459814 <sup>5</sup>	22,71	23	Toba	94,9	7	1145	20,7	<0,5	10	0,32	6	0,89	0,62	0,35	56,1	1,17	4,2	0,2	8,9	0,12	<2	6,1	14,8	<5	397	3,14	4,3	2,37

459815 <sup>5</sup>	54,97	55,27	Toba	91,5	6	477	54,3	<0,5	20	0,23	<5	1,56	1,25	0,92	29,6	2,76	4,5	0,34	26,3	0,26	<2	8,9	25,7	<5	363	7,01	3	4,48	
459816 <sup>5</sup>	91,38	91,64	Granito	99,1	1	710	67,8	0,5	20	10,8	8	5,12	3,11	1,12	21,3	5,98	7,6	0,95	31,3	0,43	<2	15	32,4	<5	320	7,86	181,5	6,95	
459817 <sup>5</sup>	197,45	197,7	Granito	99,7	28	692	64,8	10,1	10	7,36	3470	5,62	2,86	1,6	42,9	7,54	5,4	1	32,4	0,35	<2	10,1	30,4	5	1615	7,9	114,5	7,1	
459818 <sup>5</sup>	297,53	297,83	Granito	90,3	<1	720	86,7	8,9	20	10,5	30	6,97	4,45	1,44	18,9	7,35	7,4	1,28	42,7	0,6	<2	14,6	41	6	402	10,15	204	8,09	
459819 <sup>6</sup>	11,3	11,57	Granito	98,2	9	552	61,8	5,7	20	2,16	1670	1,81	1	0,69	38,1	3,43	6	0,3	30,8	0,19	<2	11,1	29,5	6	537	7,2	70,7	5,36	
459820 <sup>6</sup>	50,74	50,97	Granito	99,4	1	1225	56,5	6,7	20	13,25	33	5,54	3,18	1,07	20,1	5,52	8,2	0,97	27,5	0,41	<2	14,9	28,7	5	466	6,71	222	5,97	
459821 <sup>6</sup>	102,4	102,82	Granito	99,3	2	927	70,4	11,9	10	9,33	85	7,18	4,32	1,22	18,3	6,93	6,6	1,31	34,9	0,62	<2	13,2	34	7	4610	8,23	193,5	7,15	
459822 <sup>6</sup>	150	150,29	Granito	86,6	<1	531	67,2	8,7	20	10,45	16	5,22	2,8	1,34	20,6	5,84	6,9	0,85	31,9	0,36	<2	12,3	32,3	11	106	7,88	158	6,67	
459823 <sup>6</sup>	195,38	195,63	Granito	40,9	<1	646	65,3	6,3	20	4,94	24	5,7	3,2	1,07	20,2	5,78	7,4	1,01	30,8	0,42	<2	13,1	31,5	5	56	7,63	150,5	6,39	
459824 <sup>6</sup>	241,37	241,68	Granito	38,9	<1	661	59,8	4,9	10	6,67	11	6,11	3,45	1,26	19,6	6,17	7,4	1,11	29	0,44	<2	13	30,3	5	46	7,09	154	6,38	
459825 <sup>6</sup>	288,78	289,02	Granito	22,9	1	571	52,4	7,5	30	8,8	39	4,39	2,66	1,03	20,4	4,54	6,8	0,78	24,2	0,34	<2	7	14,4	27,1	7	133	6,41	136,5	5,21

Continuación de los resultados geoquímicos para muestras de sondaje.

Muestra	ppm	Sr	Ta	Tb	Th	Tl	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	Na2O	K2O	Cr2O3	TiO2	MnO	P2O5	SrO	BaO	LOI	Total}
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct
459759 <sup>1</sup>	1	464	0,3	0,2	3,79	<0,5	0,06	1,14	45	<1	5,1	0,39	67	136	68,1	15,2	1,85	1,84	0,31	3,59	5,32	<0,01	0,4	1,01	0,13	0,05	0,1	1,89	99,8
459760 <sup>1</sup>	3	593	0,4	0,29	4,53	0,8	0,13	1,22	54	6	9,7	0,88	98	143	68,6	13,9	3,41	1,25	0,59	1,67	2,7	<0,01	0,45	0,17	0,17	0,07	0,05	6,38	99,4
459761 <sup>1</sup>	3	613	0,4	0,24	4,35	0,9	0,12	1,22	49	7	8,6	0,78	103	138	71,5	13,3	3,11	0,26	0,39	0,22	4,9	<0,01	0,43	0,5	0,13	0,07	0,09	5,19	100
459762 <sup>1</sup>	11	687	0,3	0,17	2,74	35,6	0,1	1,77	29	47	4,9	0,73	37	151	77	8,42	6,2	0,04	0,08	<0,01	0,14	<0,01	0,67	0,01	0,08	0,08	0,26	7,47	100,5
459763 <sup>1</sup>	2	1125	0,3	0,32	2,99	1,7	0,11	0,92	90	6	7,7	0,73	57	187	64,9	17,65	2,57	0,09	0,05	0,18	0,53	<0,01	0,7	0,01	0,23	0,12	0,09	11,4	98,5
459764 <sup>1</sup>	4	1425	0,3	0,35	3,06	1,7	0,07	2,12	90	11	6	0,49	58	189	68,3	16,35	3,09	0,11	0,06	0,02	0,15	<0,01	0,73	<0,01	0,3	0,16	0,05	9,1	98,4
459765 <sup>1</sup>	3	683	0,3	0,27	2,38	4,2	0,07	1,36	79	4	5,4	0,49	41	146	54,4	15,05	7,15	0,11	0,01	0,44	1,93	<0,01	0,56	0,01	0,24	0,08	0,07	18,15	98,2
459766 <sup>1</sup>	10	435	0,3	0,18	2,88	1,2	0,06	1,8	75	9	3,6	0,43	108	149	55,5	15,55	7,24	0,13	0,09	0,24	2,21	<0,01	0,55	0,01	0,24	0,05	0,05	17,05	98,9
459767 <sup>1</sup>	5	239	0,3	0,23	2,88	0,5	0,06	3,48	65	26	4,2	0,42	1070	166	60,4	15,8	2,9	0,17	0,07	0,09	2,46	<0,01	0,57	0,01	0,26	0,02	0,02	16,3	99,1
459768 <sup>1</sup>	3	336	0,4	0,29	2,6	2	0,07	1,64	79	17	4,9	0,5	1770	165	60,7	18,05	5,1	0,24	0,18	0,28	1,95	<0,01	0,58	0,01	0,26	0,04	0,05	9,28	96,7
459769 <sup>1</sup>	4	448	0,3	0,21	2,55	1,7	0,07	2,19	75	8	3,7	0,5	824	155	62,4	17,55	5,96	0,22	0,26	0,14	1,85	<0,01	0,62	0,02	0,21	0,06	0,04	8,19	97,5
459779 <sup>1</sup>	7	473	0,4	0,15	3,75	2,2	0,06	1,75	64	7	2,8	0,43	140	145	66,6	16,45	3,6	0,07	0,21	0,49	3,12	<0,01	0,46	0,01	0,07	0,05	0,05	6,99	98,2
459780 <sup>1</sup>	4	109,5	0,4	0,29	4,64	1,9	0,15	1,6	65	4	8,1	0,98	44	141	62,1	16,4	6,32	0,09	0,14	0,49	2,16	<0,01	0,48	0,01	0,08	0,01	0,05	9,17	97,5
459792 <sup>2</sup>	1	610	0,5	0,04	2,6	6,2	0,03	0,85	61	1	1,4	0,2	20	134	51,2	13,45	4,17	0,04	0,02	0,8	2,85	<0,01	0,41	0,01	0,15	0,07	0,04	21,7	94,91
459793 <sup>2</sup>	1	889	0,3	0,08	2,59	<0,5	0,06	2,24	55	<1	2,9	0,3	10	95	53,8	12,25	6,3	0,07	0,03	0,45	2,94	<0,01	0,34	0,01	0,16	0,11	0,02	19,5	95,98
459794 <sup>2</sup>	2	1195	0,6	0,23	3,8	1,2	0,1	1,56	87	1	7,1	0,82	103	169	67,5	16,8	4,54	0,08	0,59	0,75	2,62	<0,01	0,51	0,01	0,17	0,13	0,08	5,46	99,24
459795 <sup>2</sup>	1	1095	0,5	0,24	3,29	<0,5	0,08	1,48	72	1	5,8	0,6	24	130	57,9	15,2	1,5	0,09	0,02	1,09	2,04	<0,01	0,46	<0,01	0,23	0,13	0,02	19,5	98,18
459796 <sup>2</sup>	1	1180	0,4	0,04	2,51	2,5	0,03	1,08	30	<1	1,5	0,23	39	123	55,2	12,65	4,22	0,08	0,06	1,44	1,46	<0,01	0,41	0,01	0,19	0,14	0,02	19,95	95,83
459797 <sup>2</sup>	1	612	0,3	0,06	2,47	1,3	0,04	0,81	31	<1	2	0,27	16	103	55,4	11,55	9	0,06	<0,01	0,75	2,2	<0,01	0,33	0,02	0,14	0,07	0,01	18,85	98,38
459798 <sup>2</sup>	1	1070	0,4	0,08	2,7	23,2	0,05	1,02	49	1	1,8	0,23	20	123	54	11,65	9,57	0,05	<0,01	0,95	1,9	<0,01	0,37	<0,01	0,12	0,12	0,01	20,6	99,34
459799 <sup>3</sup>	1	1025	0,6	0,11	4,56	1,3	0,05	2	53	6	2,5	0,41	31	164	67,7	19,4	1,8	0,06	0,02	0,08	0,14	<0,01	0,49	<0,01	0,13	0,11	0,06	9,19	99,18
459800 <sup>3</sup>	1	1490	0,5	0,24	3,56	1	0,07	1,48	52	1	4,5	0,51	364	127	74,3	13,5	4,55	0,07	0,02	0,03	0,08	<0,01	0,33	0,01	0,2	0,16	0,01	7,88	101,14
459801 <sup>3</sup>	1	1045	0,5	0,16	3,35	4,5	0,06	1,07	51	1	3,7	0,43	110	141	65,5	13,7	9,57	0,05	0,05	0,05	0,09	<0,01	0,31	<0,01	0,12	0,11	0,02	10,6	100,17
459802 <sup>3</sup>	1	140	0,6	0,28	4,14	<0,5	0,12	1,59	71	3	8,5	0,92	592	173	70,1	17,6	2,45	0,16	0,44	0,1	3,98	<0,01	0,5	0,02	0,06	0,02	0,01	4,4	99,84

4598074	1	291	0,2	0,1	4,49	0,8	0,04	1,64	33	1	2,7	0,28	144	121	69,3	15,85	2,07	0,74	0,43	2,36	4,1	<0,01	0,25	0,06	0,07	0,04	0,07	4,4	99,74
4598084	1	329	0,2	0,12	4,47	1,8	0,04	1,51	31	1	3	0,29	1410	113	68,5	15,2	2,66	0,78	0,39	2,49	4,7	<0,01	0,24	0,45	0,08	0,04	0,08	3,57	99,18
4598094	1	261	0,2	0,13	4,86	1,6	0,04	1,68	30	1	3	0,28	241	114	69,6	15,85	2,4	0,59	0,23	2,73	5,48	<0,01	0,24	0,19	0,1	0,03	0,08	3,01	100,53
4598104	1	260	0,2	0,11	4,26	1	0,04	1,44	34	1	3	0,3	741	118	68,5	16,1	3,33	0,61	0,37	2,66	3,97	<0,01	0,27	0,2	0,08	0,03	0,07	4,18	100,37
4598114	3	251	1	0,98	12	2,1	0,59	4,44	51	6	39,2	4,26	127	273	70	14,7	5,38	0,09	0,59	0,03	4,07	<0,01	0,43	0,03	0,1	0,03	0,09	5	100,54
4598124	2	75,1	0,9	0,84	10,5	1,1	0,42	1,89	43	1	28,5	3,14	104	237	68,5	14,45	3,53	2,92	1,4	1,86	4,11	<0,01	0,41	0,2	0,1	0,01	0,06	3,59	101,14
4598134	3	49	1	0,88	11,15	1,3	0,46	1,41	43	1	31,4	3,51	742	256	67,2	14,35	5,74	0,35	1,3	2,46	4,24	<0,01	0,42	0,65	0,11	0,01	0,06	2,98	99,87
4598145	2	277	0,4	0,12	3,37	<0,5	0,11	1,67	80	4	4,6	0,69	15	159	55,9	15,3	4,09	0,04	0,01	0,34	3,85	<0,01	0,46	0,01	0,1	0,03	0,13	19	99,26
4598155	4	240	0,6	0,28	6,39	<0,5	0,19	2,62	62	4	10,6	1,28	12	171	69	11,45	1,2	0,05	<0,01	0,43	2,63	<0,01	0,53	0,01	0,08	0,03	0,05	14,95	100,41
4598165	5	361	1	0,8	7,82	1,8	0,41	1,14	44	3	31,2	2,88	39	289	70,3	13,9	1,72	0,08	0,34	0,06	3,11	<0,01	0,37	0,04	0,13	0,04	0,07	8,57	98,73
4598175	9	1370	0,7	1,1	8,38	1,4	0,4	3,25	48	1	28,2	2,21	490	203	67,4	11,2	8,23	0,15	0,22	0,02	2,64	<0,01	0,34	0,01	0,3	0,17	0,08	7,4	98,16
4598185	3	30,2	1	1,01	12,95	1,7	0,57	2,54	39	2	34,6	4,08	913	240	68,6	15,65	2,84	0,09	0,36	0,59	4,81	<0,01	0,44	0,02	0,11	<0,01	0,08	4,5	98,09
4598196	2	150,5	0,7	0,33	10,1	1	0,14	1,81	53	8	8	1,05	142	196	63,1	12,5	4,98	0,05	0,12	0,1	3,07	<0,01	0,33	0,02	0,04	0,02	0,06	12,85	97,24
4598206	2	71,4	0,9	0,78	9,31	3,2	0,41	2,28	59	3	26,2	2,82	118	271	67,7	15	4,99	0,13	0,8	0,04	4,3	<0,01	0,45	0,04	0,12	0,01	0,13	5,85	99,56
4598216	2	65,6	0,8	0,98	6,45	2,7	0,57	2,09	53	4	35,3	4,02	>10000	222	67	13,5	5,52	0,05	0,58	0,04	4,33	<0,01	0,43	0,06	0,07	0,01	0,1	6,79	98,48
4598226	2	17,3	0,7	0,75	8,07	1,4	0,34	1,61	50	2	24,6	2,35	2030	235	56,6	12,55	12,35	0,37	2,26	0,62	3,79	<0,01	0,42	1,98	0,1	<0,01	0,06	7,78	98,88
4598236	3	84,8	0,8	0,82	9,68	1	0,41	1,32	42	2	27,6	2,9	332	253	69,4	14,4	4,21	0,31	0,72	3,37	3,84	<0,01	0,43	0,26	0,09	0,01	0,07	2,89	100
4598246	2	62,7	0,8	0,88	9,44	1,5	0,45	2,29	40	2	29,6	2,97	222	256	66	13,7	5,61	0,35	0,95	3,14	4,01	<0,01	0,43	0,88	0,1	0,01	0,08	3,48	98,74
4598256	3	92	0,9	0,64	9,8	0,7	0,32	2,6	66	2	22,1	2,25	221	226	64,8	14,65	5,27	1,65	1,44	3,73	3,18	<0,01	0,56	0,25	0,12	0,01	0,06	3,49	99,21



