



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA Y
METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



**“PETROGENESIS DE LOS GRANITOS DEL SEGMENTO
ARICOMA – LIMBANI (PERMO – TRIASICO), SUR DEL
BATOLITO DE LA CORDILLERA ORIENTAL E IMPLICANCIAS
EN LA OCURRENCIA DE MINERALES ESTRATEGICOS”**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. SANDRA MARIBEL TICA MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO – PERÚ

2020



DEDICATORIA

A mis queridos padres Elsa y Epifanio, por el inmenso amor, apoyo inagotable, por su comprensión, por ser las personas más importantes en mi vida y por haberme regalado la compañía de mi amado hermano.

A mi hermano Roy Denis, por ser mi compañero de travesuras y secretos, por ser mi amigo, por siempre estar ahí para mí y por ser la persona en la que siempre puedo confiar.

A mis queridos tíos Damiana y Hermenelgildo, por considerarlos como mis abuelos, por el apoyo y amor constante. A mis amados primos Nancy, Alex, Jhon, Fernando, Cesar y Zarela, por los hermosos momentos compartidos y por ser parte de mi familia.

Al M.s.c. Rildo Rodriguez y al Ing. Dante Soberón, por la confianza brindada, orientación y asesoramiento en la realización de esta investigación., por su amistad y sabios consejos en esta etapa de mi vida.

Sandra Tica



AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET, por darme la oportunidad de realizar la presente investigación. Asimismo un reconocimiento especial al Ing. Dante Soberón asesor externo, por la orientación y asesoramiento en la realización de cada etapa de esta tesis. Así mismo al Msc. Rildo Rodríguez por haberme impartido el apoyo y los conocimientos necesarios en campo y gabinete. A la Dr. Miriam Mamani por el apoyo y consejos brindados para la realización de la presente tesis de investigación.

Al Dr. Miguel Elías Calcina Benique, asesor académico en la presente tesis, por sus críticas y observaciones y el apoyo en todo momento que han servido de mucho. Por los conocimientos impartidos sobre petrología y petrografía durante mi formación universitaria

Al Ing. Walter Ccallo, Msc. Alan Santos y Msc. Sandra Choquehuanca por el apoyo en los trabajos de campo, por las discusiones, orientaciones brindadas y por su amistad.

A mis amigos y compañeros de trabajo del INGEMMET, Edid Iquiapaza, Rosmery Flores, Yngrid Orozco y Claudia Fabian, por el apoyo constante, sugerencias y su amistad.

Finalmente agradezco a la plana de docentes de la Escuela Profesional de Ing. Geológica UNA-PUNO, por haberme impartido los primeros conocimientos y las enseñanzas en mi formación universitaria, en especial al Dr. Rolando Apaza, Dra. Sofía Benavente, Msc. Jaime Rodrigo, por las correcciones y sugerencias realizadas en esta presente tesis de investigación.

Sandra Tica



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 16

ABSTRACT 17

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES 18

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 18

1.2.1 Pregunta general 20

1.2.2 Preguntas específicas 20

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA 21

1.4 HIPÓTESIS..... 21

1.4.1 Hipótesis general..... 21

1.4.2 Hipótesis específicas..... 22

1.5 OBJETIVOS 22

1.5.1 Objetivo general..... 22

1.5.2 Objetivos específicos 22

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 MAGMATISMO Y GEOQUÍMICA 24

2.2 GENERACIÓN DE MAGMA EN MÁRGENES CONVERGENTES 24

2.2.1 Magmatismo en arcos continentales 24

2.2.2 Magmatismo en tras arcos continentales 25

2.3 MAGMAS GRANÍTICOS TIPO I Y S Y METALES ESPECÍFICOS 26



2.4	CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS SEGÚN SU CONCENTRACIÓN	29
2.4.1	Elementos mayores	30
2.4.2	Elementos traza.....	30
2.5	PETROGRAFÍA Y CLASIFICACIÓN DE BIOTITAS	34
2.5.1	Textura poiquilitica.....	37
2.5.2	Textura pertítica.....	37
2.5.3	Textura rapakivi.....	38
2.6	IMPORTANCIA DE LA BIOTITA	39
2.7	FUGACIDAD DEL OXIGENO	39

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN	40
3.1.1	Etapas de pre campo.....	41
3.1.2	Etapas de Campo	42
3.1.3	Etapas de Gabinete	46
3.1.4	Etapas de Laboratorio.....	46
3.2	INSTRUMENTOS UTILIZADOS	55
3.2.1	Instrumentos geológicos de campo.....	55

CAPITULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1	UBICACION Y ACCESIBILIDAD DEL ÁREA DE ESTUDIO	56
4.2	MARCO GEOMORFOLÓGICO	57
4.2.1	Unidades geomorfológicas	57
4.3	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	62
4.3.1	Grupo San José	62
4.3.2	Formación Sandía	63
4.3.3	Formación Ananea.....	65
4.3.4	Grupo Ambo	66



4.3.5 Grupo Tarma.....	68
4.3.6 Grupo Copacabana.....	70
CAPITULO V	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
5.1 CARACTERIZACIÓN PETROLÓGICA Y PETROGRÁFICA.....	73
5.1.1 Rocas intrusivas	73
5.1.2 Unidad Aricoma (235-228 Ma)	73
5.2 CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS.....	108
5.2.1 Elementos Mayores.....	108
5.2.2 Elementos Traza	110
5.2.3 Discriminación del ambiente tectónico.....	112
5.3 RELACIÓN GENÉTICA CON LAS OCURRENCIAS DE ELEMENTOS METÁLICOS Y ESTRATÉGICOS	113
5.3.1 Relaciones magmaticas de la Unidad Aricoma con la Super Unidad Coasa y la Unidad Limbani.....	116
5.4 QUÍMICA MINERAL DE LAS BIOTITAS	118
5.4.1 Clasificación de biotitas en función del color.....	118
5.4.2 Clasificación química de biotitas.....	122
5.5 CONSIDERACIONES PETROGENÉTICAS	125
5.5.1 Modelo Petrogenético	128
VI. CONCLUSIONES.....	130
VII. RECOMENDACIONES	132
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	133
ANEXOS	139

Área : Geología Regional

Tema : Petrogénesis de rocas ígneas

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 15 ENERO DEL 2020



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de los resultados del análisis mineralógico por difracción de rayos X, del monzogranito de la Unidad Aricoma	107
Tabla 2. Resumen de los resultados del análisis mineralógico por difracción de rayos X, del sienogranito de la Unidad Aricoma.....	107
Tabla 3. Clasificación en base al color de los cristales de biotitas de la Unidad Aricoma. rut: rutilo, ap: apatito, zr: zircón, OPs: opacos, zwd: zinwaldita.	119



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sección modificada a partir de Stern (2002). Mostrando las dos principales formas de generación de magmas. Tomado de Santos (2011).....	26
Figura 2. Esquema generalizado que relaciona la composición de granito y estado de oxidación magmático a asociaciones de metales y tipos de yacimientos relacionados con la intrusión (modificado de Barton, 1996). Tomado de Robb (2005).....	28
Figura 3. Elementos traza por radio inonico versus carga ionica Modificado de Shannon (1976). Tomado de Santos (2011).	33
Figura 4. Clasificación y nomenclatura de rocas plutónicas de acuerdo al contenido modal de los minerales usando el diagrama de QAPF (basados en Streckeisen, 1973).....	36
Figura 5. Texturas principales de rocas ígneas intrusivas y volcánicas. Tomado de Castro Dorado, A. (1989).....	37
Figura 6. Textura rapakivi, donde se observa cristales de feldespatos potásicos (cristales rosados) con bordes recristalizados de plagioclasas (bordes de color gris blanquecino), tomado de (Ramo T. & Haapala I. 1996).....	38
Figura 7. Esquema de la metodología de investigación. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.	41
Figura 8. a. Toma de muestras de roca para análisis geoquímicos y sección delgada, b. Reconocimiento y control litológico del área de estudio. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.	43
Figura 9. a) Se aprecia cortadora automática, donde se realizó el corte inicial obteniendo un chip o galleta de 2x1x1 cm; Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.	47
Figura 10. a y b) Microscopio petrográfico de luz transmitida Leica modelo DM 750P. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.	48
Figura 11. Separador Magnético Isodinámico Frantz, Modelo LB-1. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.	49
Figura 12. Concentrado de cristales de biotita separados utilizando el estereomicroscopio OLYMPUS, Modelo SZ61. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.....	50



- Figura 13.** Difractometro de rayos X SHIMADZU, modelo XRD-600. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis..... 51
- Figura 14.** Procesos mecánicos que sufren las muestras de rocas. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis..... 52
- Figura 15.** a) Espectrómetro de emisión atómica ICP-OES, marca VARIAN, modelo 735-ES, donde realiza los análisis de elementos mayores y matrices fuertes, multielementos de rocas a nivel de ppm; b) Horno de Fusión eléctrica. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis..... 53
- Figura 16.** a) Espectrómetro de masas con fuente plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS), marca PERKIN ELMER, modelo NEXION 300D; b) Campana extractora. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 53
- Figura 17.** Equipo tensiómetro, marca SPECAC. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 55
- Figura 18.** Mapa de ubicación y accesibilidad al área de estudio. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis..... 57
- Figura 19.** Se observa vista de la Zona Cordillerana del Pluton de Aricoma, tomada al Noreste. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis..... 59
- Figura 20.** Vista donde se observa la Ladera Cordillerana, marcada por un Valle glaciar y lomas. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 60
- Figura 21.** Vista tomada al suroeste, se observa depósitos de erosión fluvio-glaciar. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 60
- Figura 22.** Mapa de unidades geomorfológicas del área de estudios. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis..... 61
- Figura 23.** a. afloramientos de pizarras grises oscuras foliadas, se halla en contacto con monzogranito en el Cerro Colorado; b. Se observan nódulos de pirita; c. Vista de pizarras con desarrollo de cristales de cloritoides como otrelita. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis..... 63
- Figura 24.** Afloramientos de la Formación Sandia en el Cerro Apacheta y Nevado Ipante. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 64
- Figura 25.** Se observa contacto entre la Formación Ananea con un intrusivo monzogranítico, alrededores de la Laguna Aricoma chico. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis..... 66
- Figura 26.** Afloramientos atribuidos al Grupo Ambo alrededores de la localidad de Pillcopampa. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. ... 68

- Figura 27.** a. Vista panorámica de afloramientos atribuidos al Grupo Tarma al este de Usicayos; b. Vista de detalle de afloramiento de areniscas laminadas de la figura a; c. Vista ampliada de muestra de areniscas laminadas del Grupo Tarma. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis..... 70
- Figura 28.** a. Calizas grises bandeadas por alrededores del Cerro Huayrurumi; b. Calizas parduscas con abundantes braquiópodos algunos con recristalización de calcita; c. Se observan calizas grises blanquecinas con braquiópodos en forma masiva. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis..... 71
- Figura 29.** Mapa geológico mostrando las unidades litoestratigraficas del área de estudio. Fuente: INGEMMET-DGR-GR39B: Inédita de esta tesis. 72
- Figura 30.** Vista panorámica del monzogranito de grano grueso en el Cerro Achaparqui al NW, se puede observar una fractura principal de 230/ 85 NW. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis..... 75
- Figura 31.** Muestras de roca de monzogranitos de grano grueso a medio y monzogranito de grano medio a fino. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 77
- Figura 32.** Vista del Nevado Aricoma Chico tomada con vista al noroeste, se aprecian afloramientos de areniscas grises de la Formación Sandia y monzogranitos del Plutón Aricoma. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 80
- Figura 33.** Vista del Cerro Apacheta con vista al noroeste, donde se aprecia afloramientos del monzogranito del Plutón Aricoma y las areniscas grises de la Formación Sandia. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 81
- Figura 34.** Vista de la zona de contacto del monzogranito y sienogranito en el Cerro Yurac Cancha. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 82
- Figura 35.** Vista panorámica del contacto entre las pizarras del Grupo San José y los monzogranitos de grano medio a fino del Plutón de Aricoma en el Cerro Colorado. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 84
- Figura 36.** Vista del afloramiento de sienogranitos del Cerro Uzumayu. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis..... 86
- Figura 37.** Afloramiento del sienogranito en el Cerro Uzumayu con vista al noroeste, en la Mina Sarita. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 87



- Figura 38.** Muestra GR39B-17-140 sienogranito de grano grueso a medio, compuesta por megacristales de feldespatos potásicos con textura rapakivi y poiquilitica. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 88
- Figura 39.** Vista panorámica del contacto entre las areniscas del Grupo Ambo y los sienogranitos del Plutón de Aricoma. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 90
- Figura 40.** Afloramiento del sienogranito en la Quebrada de Uscuruqui se observa diques de aplita de 3cm de espesor, se halla cortando a sienogranito y al enclave diorítico. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 91
- Figura 41.** Vista panorámica del Cerro Arapatico de sienogranito con megacristales de feldespatos. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 92
- Figura 42.** Vista panorámica del Cerro Parahuin Orjo donde aflora el sienogranito con megacristales de feldespatos potásicos con textura Rapakivi. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 94
- Figura 43.** Afloramiento del sienogranito en el Cerro Carhuapata con vista al noreste y suroeste. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 95
- Figura 44.** Vista al sur-este del afloramiento de la granodiorita en el Cerro Quillo. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 97
- Figura 45.** Fotomicrografías Nx: a, c y d. Se observa plagioclasas: PGLs, feldespatos potásicos: FPsK, cuarzo intergranular: cz, y biotita con inclusiones de zircón: bt Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 100
- Figura 46.** Fotomicrografías Nx: a - e; Plagioclasas: PGLs con alteración moderada de sericita y arcillas: PGLs(ser-ARCs), feldespatos potásicos: FPsK, biotita: bt y cuarzo intergranular: Cz. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 101
- Figura 47.** Fotomicrografías Nx: a - f; Plagioclasas alteradas a sericita y arcillas: PGLs(ser-ARCs), feldespatos potásicos: FPsK, biotitas alteradas a cloritas: bt(CLOs), cuarzo: Cz;. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 104
- Figura 48.** Fotomicrografías Nx: a - f; Plagioclasas con alteración de sericita: PGLs(ser), cuarzo: Cz, biotita: bt, moscovita: mos y cuarzo secundario: Cz II. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 105



- Figura 49.** Mapa de variación litológica de la Unidad Aricoma. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis..... 106
- Figura 50.** Diagrama de clasificación multicatiónica R1 Vs R2 (Modificado de la Roche et al. 1980). Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis... 109
- Figura 51.** Diagrama de Shand (1943) A/CNK vs A/NK discriminando rocas de composición metalumínico y peralumínico. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 110
- Figura 52.** Diagrama de Spider de la Unidad Aricoma normalizado al Manto primitivo de McDonough and Sun, 1995. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 111
- Figura 53.** Diagrama Th/Yb Vs Nb/Yb normalizado al valor del manto primitivo de McDonough and Sun, 1995. Para discriminar procesos mantelitos de fraccionación y contaminación de magmas. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 112
- Figura 54.** Identificación del contexto geodinámico de la Unidad Aricoma según el diagrama Nb vs Y (Pearce et al., 1984). Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 113
- Figura 55.** Diagrama de SiO₂ Vs Eu/Eu* para la discriminación de magmas secos y magmas con agua. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 114
- Figura 56.** Diagrama Spider de la Unidad Aricoma zona sur de la Cordillera Oriental normalizado al valor del manto primitivo de McDonough and Sun, 1995, contrastados con el valor de la Corteza continental (Wedepohl, 1995). Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis..... 115
- Figura 57.** Diagrama de Eu/Eu* Vs FeOtotal para determinar la mineralización asociada a monzogranitos, sienogranitos y granodioritas de la Unidad Aricoma. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 116
- Figura 58.** Diagrama de clasificación multicatiónica R1 Vs R2 (Modificado De la Roche et al. 1980) para las Unidades Triásicas del Batolito de la Cordillera Oriental. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis..... 117
- Figura 59.** Diagrama Spider de las unidades triásicas del Batolito de la Cordillera Oriental normalizado al valor del manto primitivo de McDonough and Sun, 1995,. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 118



- Figura 60.** Clasificación de biotita en función del color, según Stosch, H. 2003. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 119
- Figura 61. Fotomicrografías: Np: a - f;** Cristales de biotitas de monzogranitos. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 120
- Figura 62. Fotomicrografías: Np: a - f;** Cristales de biotitas de sienogranitos. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 121
- Figura 63.** Composición química de biotitas ploteadas en el diagrama de MgO Vs FeO_{total} . Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 122
- Figura 64.** Diagrama de SiO_2 (wt%) Vs Al_2O_3 (wt%) de Petrik, S. (2014) donde se aprecian contenidos de biotita de la serie Mg-Fe. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 123
- Figura 65.** Diagrama de SiO_2 (wt%) Vs MgO(wt%) de Petrik, S (2014) donde se aprecian contenidos de biotita de la serie Mg-Fe. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 124
- Figura 66.** Diagrama de SiO_2 (wt%) Vs FeO total (wt%) de Petrik, S. (2014) con contenidos de biotita de la serie Li-Fe. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 124
- Figura 67.** Diagramas discriminatorios para clasificación de series magmáticas a partir de la química de las biotitas de la Unidad Aricoma. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 126
- Figura 68.** Diagrama Spider de los cristales de biotita de la Unidad Aricoma, donde se aprecia anomalías negativas de Eu, Sr y Cu, contrastados con el valor de la Corteza continental (Wedepohl, 1995). Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 127
- Figura 69.** Diagrama Spider de los cristales de biotita de la Unidad Aricoma, donde se plasma anomalías positivas de Nd, Ta, Mo, Li, Cs y Th, contrastados con el valor de la Corteza continental (Wedepohl, 1995). Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis. 128
- Figura 70.** Esquema idealizado del emplazamiento magmático de la Unidad Aricoma. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Modelo Petrogenético Inédita de esta tesis. 129



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ap:	Apatito
ANFs:	Anfiboles
ARCs:	Arcillas
bt:	Biotita
Cz:	Cuarzo
Cz II:	Cuarzo secundario
CLOs:	Cloritas
efn:	Esfena
ep:	Epidota
FPs:	Feldespatos
FPsK:	Feldespatos potasicos
HFSE:	High Field Strength Elements
HREEs:	Heavy Rare Earth Elements
ICP-MS:	Inductibly Coupled Plasma Mass Spectrometric
ICP-OES:	Inductibly Coupled Plasma Emission Spectrometric
Kg:	Kilogramos
LFSE:	Low field strength elements
LILE:	Large Lithophile Elements
LREEs:	Light Rare Earth Elements
MASH:	Magma, asimilación, almacenamiento y homogenización
m:	Metros
mos:	Moscovita
msnm:	Metros sobre el nivel del mar
MREEs:	Middle Rare Earth Elements



OPs:	Minerales opacos
OXsFe :	Oxidos de hierro
PGLs :	Plagioclasas
POGs:	Puntos de Observacion Geológica
ppm:	Partes por millón
REEs:	Rare Earth Elements
rut :	Rutilo
ser:	Sericita
tur:	Turmalina
UTM	Universal transversal mercator
µm:	Micra
WGS 84:	Worl Geodetic System 1984
wt:	Peso
Zr:	Zircón
Zwd:	Zinnwaldita



RESUMEN

Los granitos del segmento Aricoma-Limbani, sur del Batolito de la Cordillera Oriental, fueron estudiados en términos petrogenéticos con el objetivo de (i) especificar propiedades ópticas de los constituyentes mineralógicos, (ii) establecer características geoquímicas de las rocas ígneas, (iii) interpretar las implicancias ópticas y características geoquímicas de los constituyentes mineralógicos con ocurrencias de minerales estratégicos. Los estudios se iniciaron con el registro de POG y muestreo de rocas ígneas de la Unidad Aricoma, localizada en la Región Puno entre los distritos de Crucero-Limbani-Usicayos, sur de Perú, específicamente en el cuadrángulo de Limbani (29x). El Plutón Aricoma en el mapa geológico del cuadrángulo de Limbani (29x) escala 1:100000-INGEMMET, se halla cartografiado como un cuerpo unicomposicional granodiorítico, en la actualidad se conoce que un cuerpo ígneo no es homogéneo. Los cuerpos ígneos están controlados por procesos generadores de magmas y procesos de consolidación en la corteza, estos procesos contribuyen la concentración de minerales económicos. Se colectaron 48 muestras entre monzogranitos, sienogranitos, granodioritas, metamonzogranitos, areniscas, pizarras y hornfels, los análisis geoquímicos fueron realizados por espectrómetros ICP-MS y ICP-OES de INGEMMET y SGS. Los estudios petrográficos fueron estudiados en el microscopio petrográfico Leica DM-750P en la Dirección de Geología Regional-INGEMMET. Los resultados permitieron inferir que la Unidad Aricoma presenta granitos peraluminosos tipo S, con variaciones litológica de monzogranitos, sienogranitos y granodioritas. Monzogranitos con feldespatos potásicos con textura poiquilitica y pertítica, biotitas con inclusiones de rutilo y zinnwaldita. Sienogranitos con feldespatos potásicos desarrollados con texturas rapakivi, pertítica y poiquilitica, plagioclasas con textura poiquilitica. Granodiorita con feldespatos potásicos con textura pertítica. El diagrama de spider indica anomalías negativas de Nb, Ta, Ba, Sr y Eu, Th/Yb Vs Nb/Yb, infiriendo una componente de subducción dominado por fraccionación de feldespatos, ligados a procesos de mezcla y desmezcla de magmas. Los cálculos de anomalía de Eu/Eu* Vs SiO₂, indican que las rocas presentan un carácter de magma con agua, el diagrama de Eu/Eu* Vs FeO_{total}, establece asociaciones mineralógicas de Mo-W-Sn-Zn-Pb y el perfil de concentración de elementos traza de biotita infieren anomalías positivas de Li, Ta, Mo, Nd, Cs y Th.

Palabras Clave: Petrogénesis, peraluminoso, minerales estratégicos y micas de litio.



ABSTRACT

The granites of the Aricoma-Limbani segment, south of the Batholith of the Eastern Cordillera, were studied in petrogenetic terms in order to (i) specify optical properties of the mineralogical constituents, (ii) establish geochemical characteristics of igneous rocks, (iii) interpret the optical implications and geochemical characteristics of mineralogical constituents with occurrences of strategic minerals. The studies began with the POG record and igneous rock sampling from the Aricoma Unit, located in the Puno Region between the Crucero-Limbani-Usicayos districts, southern Peru, specifically in the Limbani quadrangle (29x). Pluto Aricoma in the geological map of the Limbani quadrangle (29x) scale 1: 100000-INGEMMET, is mapped as a granodioritic unicompositional body, at present it is known that an igneous body is not homogeneous. Igneous bodies are controlled by magma-generating processes and consolidation processes in the crust, these processes contribute to the concentration of economic minerals. 48 samples were collected including monzogranites, sienogranites, granodiorites, metamonzogranites, sandstones, shales and hornfels, the geochemical analyzes were carried out by ICP-MS and ICP-OES spectrometers from INGEMMET and SGS. The petrographic studies were studied in the Leica DM-750P petrographic microscope at the Directorate of Regional Geology-INGEMMET. The results allowed us to infer that the Aricoma Unit has peraluminous granites type S, with lithological variations of monzogranites, sienogranites and granodiorites. Monzogranites with potassium feldspars with poikytic and perthitic texture, biotites with rutile and zinnwaldite inclusions. Sienogranites with potassium feldspars developed with rapakivi, perthitic and poikylic textures, plagioclase with poikylic texture. Granodiorite with potassium feldspars with a perthitic texture. The spider diagram indicates negative anomalies of Nb, Ta, Ba, Sr and Eu, Th / Yb Vs Nb / Yb, inferring a subduction component dominated by feldspars fractionation, linked to magma mixing and de-mixing processes. The anomaly calculations of $Eu / Eu * Vs SiO_2$, indicate that the rocks present a magma character with water, the diagram of $Eu / Eu * Vs FeO_{total}$, establishes mineralogical associations of Mo-W-Sn-Zn-Pb and the profile Biotite trace element concentration infer positive anomalies for Li, Ta, Mo, Nd, Cs and Th.

Keywords: *Petrogenesis, peraluminous, strategic minerals and lithium micas.*



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El área de estudio, se ubica al sureste del Perú, en región de Puno, en la provincia de Carabaya. En esta zona se encuentran aflorando los granitos del segmento Aricoma Limbani, zona sur del Batolito de la Cordillera Oriental, el cual es motivo de estudio en esta presente tesis específicamente el Plutón de Aricoma (Unidad Aricoma), este cuerpo granítico en el mapa geológico del cuadrángulo de Limbani (29x) a escala 1: 100 000 de INGEMMET, se halla cartografiado como un cuerpo ígneo unicomposicional con litología de granodiorita.

En la presente tesis se realizó la caracterización petrológica, petrográfica y geoquímica de estas rocas graníticas, para plantear un posible modelo petrogenético de la Unidad Aricoma, basado en los afloramientos de campo y características litológicas, texturales y anomalías geoquímicas que presentan estas rocas graníticas. También se determinó que las rocas de la Unidad Aricoma guardan una relación con la ocurrencia de minerales estratégicos como Li, Nb, Ta, Ba, U, Th, Cu, Mo, Wo y Sn. Así mismo definir un mapa geológico de variaciones litológicas de la Unidad Aricoma, cada litología con su contenido mineralógico y texturas características.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El avance continuo de la tecnología a nivel mundial, tiene una demanda cada vez más grande de minerales estratégicos como el Li, Sn, W, Eu, Nb y Ta, lo cual nos lleva a la búsqueda de nuevas reservas de estos elementos ya que son vitales en la industria.



En el Perú la búsqueda de reservas de minerales estratégicos no es frecuente, por no decir que es escasa, debido a que dan mayor prioridad al potencial minero en busca de minerales clásicos como Au, Ag, Cu y Mo, dando menor importancia a la búsqueda de elementos de tierras raras y elementos traza, que se proyectan como el futuro de la minería mundial.

Según (Barton, 1996), las ocurrencias de minerales estratégicos como Li, Sn, W, Ta, se asocian con granitos de composición peraluminosos. Los granitos Permo- triásicos de la Cordillera de Carabaya son granitos de trasarco de composiciones peraluminosos (Kontak, 1984). Actualmente el Batolito de la Cordillera Oriental viene siendo explorada por Li y U, sin embargo no se da a conocer la manera de ocurrencia de estos elementos.

Simons, Robin, Shail, Jens y Andersen (2016), Realizarón un estudio petrogenético del batolito de Cornubio de edad Pérmico Temprano el cual se generó durante un régimen extensional después de la convergencia de Variscan, ubicada al suroeste de Inglaterra, logrando diferenciar sus componentes graníticos en cinco tipos principales como granitos G1 (dos-mica), G2 (moscovita), G3 (biotita), G4 (turmalina) y G5 (topacio). Bajo criterios mineralógicos, texturales y relaciones geoquímicas. Concluyendo que estos granitos son peraluminosos, granitos tipo S y de trasarco, presentando contenidos altos de elementos de Ba, Sr y Rb. Como también la disminución de Zr, Th y REE debido a un fraccionamiento de un 15% a 30% de un ensamblaje de plagioclasas, feldespatos alcalinos y biotita para formar granitos G3 de grano grueso.

En el mapa geológico del cuadrángulo de Limbani (29x) a escala a 1: 100 000 de INGEMMET, el Plutón de Aricoma, se encuentra cartografiado como un cuerpo granodiorítico, dando a entender que es un cuerpo magmático unicomposicional (sin presencia de variación de facies magmáticas o litológicas). Kontak, et al. (1990a), indica



que el Plutón de Aricoma y Limbani corresponden a un mismo evento magmático que el Batolito de Coasa. Candiotti & Guerrero, 1983 señala las principales características geológicas y mineralógicas de un tipo de yacimiento tipo albita –greisen con mineralizaciones de Cu, W, Mo y Sn, genéticamente relacionado al Plutón de Aricoma. Pero no establece cuales son las características típicas.

Debido a los antecedentes la Unidad Aricoma (Plutón de Aricoma) no presenta un mapa litológico detallado en función de sus variaciones de facies magmáticas, ni un modelo petrogenético de sus emplazamientos magmáticos y relación que estos posiblemente guardan con la ocurrencia de minerales estratégicos antes mencionados. El estudio de la petrogénesis de los granitos del segmento Aricoma – Limbani nos permitirá resolver las siguientes interrogantes:

1.2.1 Pregunta general

- ¿Qué características petrogenéticas presentan los granitos del segmento Aricoma – Limbani, sur del Batolito de la Cordillera Oriental y cuál es la relación que guarda con la ocurrencia de minerales estratégicos?

1.2.2 Preguntas específicas

- ¿Cuáles son las características petrológicas y petrográficas de los granitos del segmento Aricoma – Limbani, y que variaciones litológicas presentan?
- ¿Qué relaciones geoquímicas presentan los granitos del segmento Aricoma – Limbani, sur del Batolito de la Cordillera Oriental?
- ¿Cuál es la relación genética de los granitos con la ocurrencia de minerales estratégicos?



- ¿Existe alguna relación entre la química mineral de biotitas de los granitos del segmento Aricoma – Limbani con la ocurrencia de minerales estratégicos?

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La presente tesis se realiza porque la Unidad Aricoma, no presentan un mapa litológico detallado, plasmando las posibles variaciones de facies litológicas, ni la relación que existe con la ocurrencia de minerales estratégicos y los yacimientos de Sn, Cu, W y Mo. Por lo tanto conocer las características petrológicas y petrográficas como texturas características y anomalías geoquímicas de las rocas ígneas del área de estudio, coadyuvará a la comprensión de la evolución magmática de este cuerpo ígneo.

Una vez concluido los objetivos propuestos, los resultados servirán para poder comprender e interpretar, el emplazamiento magmático y la relación que podría existir con la ocurrencia de minerales estratégicos de estos plutones graníticos en un contexto geológico de trasarco y determinar si existen o no reservas de interés económico. También el trabajo de investigación científica servirá como base para futuras investigaciones relacionadas con Petrogénesis de cuerpos ígneos, como también dará un impacto económico y social a la zona de estudio y alrededores en caso, se determine la presencia de minerales económicos explotables, generando trabajando mejorando la calidad de vida.

1.4 HIPÓTESIS

1.4.1 Hipótesis general

- La ocurrencia de minerales estratégicos en el segmento Aricoma - Limbani, estará relacionado a los granitos peraluminosos de la zona sur Batolito Cordillera Oriental, el cuál será caracterizado por la petrogénesis.



1.4.2 Hipótesis específicas

- La caracterización petrológica y petrográfica de los granitos del segmento Aricoma –Limbani diferenciará las variaciones litológicas de la Unidad Aricoma.
- El estudio geoquímico de los granitos del segmento Aricoma-Limbani relacionará la genética, la composición del magma y el ambiente tectónico.
- Los granitos del segmento Aricoma-Limbani, presentaran relaciones genéticas con la ocurrencia de elementos estratégicos.
- El estudio químico mineral de las biotitas de los granitos del segmento Aricoma – Limbani, permitirán determinar, la composición y relaciones genéticas con la ocurrencia de minerales estratégicos.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

- Determinar la petrogénesis de los granitos del segmento Aricoma – Limbani, sur del Batolito de la Cordillera Oriental y las implicancias con la ocurrencia de minerales estratégicos.

1.5.2 Objetivos específicos

- Caracterizar la petrología y petrografía de los granitos del segmento Aricoma – Limbani y establecer las variaciones litológicas de la Unidad Aricoma.
- Establecer las características geoquímicas de los granitos del segmento Aricoma – Limbani y la relación genética, la composición del magma y ambiente tectónico.



- Interpretar la relación genética y las implicancias en la ocurrencia de minerales estratégicos.
- Determinar la química mineral de las biotitas de los granitos del segmento Aricoma – Limbani y las relaciones genéticas con la ocurrencia de minerales estratégicos.



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 MAGMATISMO Y GEOQUÍMICA

Es bien difundido que las diferentes rocas ígneas albergan depósitos de minerales con diferentes asociaciones de metales y que de alguna manera están relacionados con los ambientes en los que se generan los magmas. La naturaleza de la fusión a la que se somete a la roca y la medida en que se funde son los factores principales que controlan la composición del magma generado. La composición del magma, a su vez dicta la naturaleza de las concentraciones de metales que son propensos a formarse en las rocas que se solidifican a partir de su magma (Robb, 2005).

2.2 GENERACIÓN DE MAGMA EN MÁRGENES CONVERGENTES

Después de las zonas de rift, las producciones más voluminosas de magmas se dan en zonas de subducción, debido a la destrucción de la corteza subductada (Continental u Oceánica) la cual es triturada, para luego ser asimilada por magmas ya existentes, causando la contaminación del magma inicial. (Figura 1).

2.2.1 Magmatismo en arcos continentales

Estas rocas representan la fusión parcial del manto y asimilación de corteza más evolucionada. El espesor de la corteza parece tener una fuerte influencia en el resultado final; en zonas de arco típicas andinas, donde la corteza es gruesa y evolucionada, la mayoría del producto ígneo es félsico y calcoalcalino representando ambientes evolucionados. Bajo condiciones normales el magmatismo de arco involucra 5 fases (Rabbia, 2008)



1. Deshidratación de corteza oceánica subductada que conlleva a la hidratación del manto astenosférico.
2. La fusión parcial del manto hidratado. - el material astenosférico interacciona y es enriquecido con fluidos (volátiles, azufre, sílice y elementos “LFSE”) provenientes de la deshidratación de la corteza oceánica subductada y baja la temperatura del “solidus” (~1200 °C) desencadenando la fusión parcial.
3. El magma basáltico hidratado (1-7% H₂O) intruyen el manto litosférico subcontinental.
4. Interacción de estos magmas con la litósfera o modelo “MASH” (Richards, 2003) siglas en inglés de Melting, Assimilation, Storage y Homogenization, que también involucra fusión parcial de corteza inferior, asimilación de magmas basálticos primarios, almacenaje de magma en la base de la corteza y homogenización de magma.
5. Ascenso de magmas híbridos a la corteza superior con plutonismo (fase de mayor compresión con 80%) y vulcanismo (fase menos compresiva con 20%).

El magmatismo de arco está caracterizado por un enriquecimiento de elementos de potencial iónico bajo (LFSE) comparados con los elementos de potencial iónico alto (HFSE) y empobrecimiento en Nb comparado con La. Esto resulta en anomalías negativas de Nb comparado con Ta y La en gráficas normalizadas contra el manto (Wood et al. 1979).

2.2.2 Magmatismo en tras arcos continentales

Se caracterizan por presentar rocas primitivas formadas en zonas de corteza delgada debido a un régimen tectónico extensivo (Figura 1.), evitando su interacción con corteza continental. Geoquímicamente se clasifican como rocas primitivas, los cuales normalizadas contra el manto primitivo, presentan un débil enriquecimiento a

empobrecimiento en la mayoría de los elementos incompatibles. Los magmas derivados de este tipo de ambiente presentan composiciones máficos a félsicos.

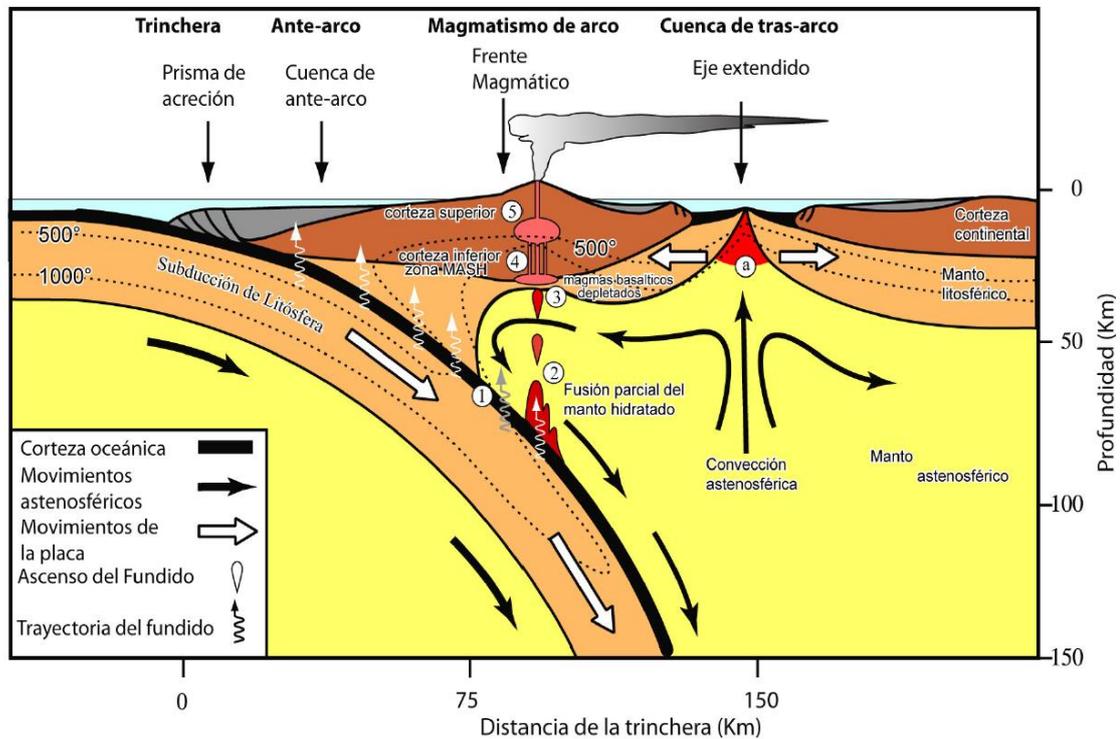


Figura.1. Sección modificada a partir de Stern (2002). Mostrando las dos principales formas de generación de magmas en zonas de convergencia (magmatismo de arco continental y magmatismo de tras-arco). Tomado de Santos (2011).

2.3 MAGMAS GRANÍTICOS TIPO I Y S Y METALES ESPECÍFICOS

Los diferentes tipos de granitos y más específicamente los orígenes de magma félsico, se pueden vincular a asociaciones de distintos metales. De los muchos sistemas de clasificación existentes para rocas graníticas uno de los más relevantes, con respecto a los estudios de yacimientos de mineral, son los granitos tipo I y S, originalmente ideado por Chappell & White (1974). En su forma más simple el esquema implica que los granitos orogénicos pueden subdividirse sobre la base de sus magmas parentales, si la fuente fue derivada por fusión parcial de una roca ígnea (granito tipo I) o sedimentaria (granito tipo S).



En general, los granitos de tipo I tienden a ser metalumínicos y tipificado con composiciones tonalíticas o granodioríticas, mientras que los tipos S son a menudo peralumínicos y tienen composición adamelítica (o cuarzomonzonítica) a composiciones graníticas. El hecho de que los granitos de tipo I tienden a ser más oxidado (es decir, tienen un fO_2 magmático más alto) que los granitos de tipo S, cuyos magmas fueron originalmente bastante reducidos debido a la presencia de grafito en su roca fuente es muy importante desde un punto de vista metalogénico.

Una indicación aproximada del estado de oxidación de magmas graníticos se puede obtener de la relación de roca total de Fe_2O_3 / FeO (que registra efectivamente la relación férrica / ferroso). Blevin y Chappell (1992) han demostrado que una relación de Fe_2O_3 / FeO de aproximadamente 0,3 proporciona un discriminante útil entre granitos tipo I (con $Fe_2O_3 / FeO > 0,3$) y de tipo S (con $Fe_2O_3 / FeO < 0,3$). Una clasificación de los granitos de acuerdo con su estado de oxidación fue, en realidad, hecha relativamente temprano por Ishihara (1977), quien distingue entre magmas graníticos reducidos (formando granitoides de la serie ilmenita) y equivalentes más oxidados (formando granitoides de la serie magnetita). La importancia metalogénica de este tipo de clasificación de granitoides también fue reconocido por Ishihara (1981), quien indicó que los depósitos de Sn-W se asociaron preferentemente con granitoides reducidos de la serie ilmenita, mientras que los minerales Cu-Mo-Au podrían estar vinculados genéticamente con granitoides oxidados de la serie magnetita. Los granitoides de la serie magnetita son equivalentes a la mayoría de los granitos tipo I, mientras que granitoides de la serie ilmenita abarcan todos los tipos S, así como los tipos I más reducidamente.

Una evaluación más precisa de la relación entre la composición del magma (incluido el estado de oxidación) y su asociación metalogénica está dada por Barton

(1996). La Figura 2, muestra el esquema de Barton, que considera los granitos como un tipo continuo de composición y sus asociaciones de metal en términos de diferentes tipos de yacimientos de mineral.

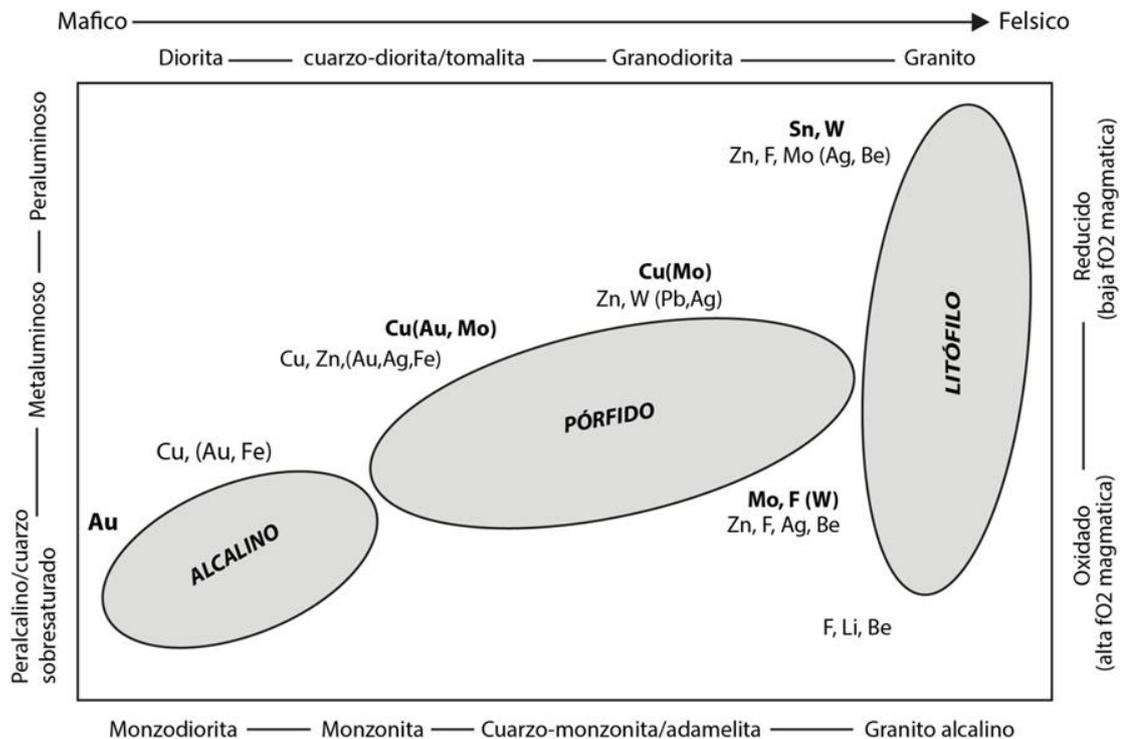


Figura 2. Esquema generalizado que relaciona la composición de granito y estado de oxidación magmático a asociaciones de metales y tipos de yacimientos relacionados con la intrusión (modificado de Barton, 1996). Se hace referencia que los tipos de yacimientos de mineral son "alcalinos", "pórfidos", y "litofilos". Tomado de Robb (2005).

Adyacente a las zonas de subducción tipo andina, existe un patrón espacial claramente definido con respecto a la distribución de las intrusiones de tipo I e intrusiones de granito de tipo S, así como su zonación metalogénica asociada (Sillitoe, 1976; Clark et al, 1990). El borde principal (es decir, el lado oceánico) de la zona de subducción tiende a correlacionarse con la producción de magmas graníticos de tipo I y se asocia con la formación de mineralización tipo pórfido Cu. Por el contrario, la parte continental de la zona de subducción contiene tipos de granito más diferenciados que a menudo son de tipo S y con el que se asocian estilos de mineralización Sn-W. Una vez más, aunque existen



excepciones y complicaciones, el reconocimiento y la delineación de estos patrones es claramente importante con respecto a la comprensión de la distribución espacial de los diferentes tipos de depósitos de mineral alojados en rocas graníticas.

Cuando se plotea la relación de $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{FeO}$ (una indicación de estado de oxidación magmático) frente al contenido de Rb (un indicador de grado de fraccionamiento) para granitos que son mineralizados ya sea en términos de Sn-W o Cu-Mo-Au, está claro que el contenido de metal no es simplemente una función de tipo magma solo. Es evidente que las intrusiones relacionadas Cu-Mo-Au típicamente tienen mayores proporciones de $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{FeO}$ que las asociadas con mineralización Sn-W, y son, por lo tanto, preferentemente asociado con granitos de tipo I.

Lo que quizás es más claramente evidente, sin embargo, es que la mineralización Sn y W se asocia con intrusiones que son más altamente fraccionadas que los que contienen Cu-Mo-Au (Blevin & Chappell, 1992). El contenido de metal es, por lo tanto, también una función de los procesos que suceden cuando el magma se enfría y se fracciona. De hecho, la mineralización en granitos también implica procesos hidrotermales que son bastante diferentes, ya sea por herencia geoquímica o fraccionamiento.

2.4 CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS SEGÚN SU CONCENTRACIÓN

Las rocas magmáticas poseen aparentemente una variedad infinita en su composición geoquímica y mineralógica. La composición geoquímica de rocas es esencial para interpretar modelos hipotéticos. Los elementos químicos dentro de la geología se clasifican en elementos mayores, trazas y elementos compatibles e incompatibles.



2.4.1 Elementos mayores

Los elementos mayores se concentran en todas las rocas ígneas, se expresa en porcentaje de peso total de óxidos (wt %), cada uno es mayor a 0.1%. Los elementos mayores están conformados por SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, FeO, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅ y H₂O, LOI. Los geoquímicos hacen uso de los elementos mayores para: Clasificación de rocas, construcción de diagramas variantes (óxidos vs óxidos) y para comprobar la composición de determinadas rocas experimentalmente. (Rollinson, 1993).

2.4.2 Elementos traza

Un elemento traza se define como un elemento que está presente en una roca en concentraciones inferiores a 0,1% en peso (o 1000 ppm), aunque este límite coloca una restricción bastante artificial en la definición (Robb, 2005). En general, los elementos traza sustituyen elementos principales en la roca formando minerales, pero en ciertos casos pueden y formar los componentes estequiométricos de fases de minerales accesorios (Rollinson, 1993).

Los elementos Li, Sc, V, Co, Ni, Cr, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Nb, Zr, Mo, Cs, Cd, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Pb, Th, U, están considerados como los más importantes para brindar información acerca del magmatismo, petrología y tectónica para la ubicación de yacimientos.

- **Elementos de Tierras Raras (REEs)**

Conforman un grupo de elementos coherentes que pueden ser provechosos y utilizados en análisis e hipótesis petrográficas. REEs conformado por números atómicos de 57 (La) a 71 (Lu).



Se tienen tres series de REEs:

1. Tierras raras con bajo número atómico, llamadas como **tierras raras livianas (LREEs)**, lo conforman la serie de Lantano (La = 57) hasta Promecio (Pm = 61), se comportan como compatibles en el fundido.

2. Tierras raras con números atómicos medios, conocidos como **tierras raras medias (MREEs)**, de Samario (Sm = 62) al Holmio (Ho = 67), son medianamente compatibles en el fundido.

3. Tierras raras con número atómico más alto, llamadas **tierras raras pesadas (HREEs)**, desde Erblio (Er = 68) hasta Lutecio (Lu = 71), se comportan como incompatibles en la mayoría de las fases del fundido.

La existencia del ión divalente de Eu en magmas tiene que tomarse en cuenta; también, Ce_{4+} que existe en algunos magmas oxidados. Dos propiedades de los REEs hacen que éstos sean usados como indicadores petrogenéticos:

1. Los REEs son generalmente insolubles en fluidos acuosos; por eso ellos son usados en alteraciones o en rocas erosionadas.

2. Los iones trivalentes de los REEs tienen decrecimiento del radio iónico con respecto a incremento del número atómico, de La (1.160 Å) a Lu (0.977 Å)

▪ **Coefficiente de partición y compatibilidad de elementos traza**

La generación de magma implica una fusión parcial del manto peridotítico, el magma resultante está formado por cristales de piroxeno y olivinos en equilibrio con una solución líquida de iones de O, Si, Al, Mg, Na, etc., llamado fundido. En este magma los iones de *los elementos traza incompatibles* se encuentran libres y dispersos, sin formar parte de las estructuras de cristalización. Por otro lado, los iones de los *elementos traza compatibles* son tolerados y en gran parte incluidos en las fases de cristalización. El



contraste entre estas dos categorías de elementos traza es formalizada por una ratio de concentración, llamado coeficiente de concentración (D).

$$D_{\text{(fundido cristalizado)}} = \frac{\text{Concentracion en el mineral}}{\text{Concentracion en el fundido}}$$

Por lo tanto, los elementos traza compatibles tienen D mayor a 1. Por ejemplo: El Sr, Ba y Eu son elementos compatibles de fuerte partición dentro de los feldespatos en magmas silíceos.

Los elementos traza incompatibles no pueden sustituirse fácilmente por elementos mayores en la fase cristalina, porque su carga y/o radio iónico es diferente (Figura 3).

Por lo tanto, Be^{2+} es típicamente incompatible, porque tiene un radio iónico pequeño (0.45 \AA) evitando ser sustituido por iones divalentes y su baja carga iónica evita la sustitución por tamaños similares como el Si^{4+} .

Otro típico elemento incompatible es el U^{4+} , este tiene carga y radio iónico grandes (1.0 \AA). Por lo tanto, la incompatibilidad depende de que existan minerales en el magma. Por eso, en un magma silíceo en el cual el zircón (ZrSiO_4) es cristalizable, el U^{4+} es compatible porque es sustituible por el Zr^{4+} , cuyo radio iónico es 0.85 \AA . (Esta sustitución, además hace posible la datación isotópica en el zircón).

No solo el coeficiente de partición en los magmas describe el comportamiento de un elemento traza. La composición del magma y de los minerales, también afectan el valor de D. los coeficientes para algunos elementos (en los minerales) generalmente incrementan con el tipo de magma, debido a la variación en el contenido de sílice.

El decrecimiento de la temperatura (T) del magma, produce el incremento de D, mientras T siga decreciendo y el fundido sea más silíceo, los minerales están más

fuertemente estructurados, causando que los elementos traza estén marginados y forzados a entrar a cristales coexistentes. El estado de oxidación del magma afecta el coeficiente de partición (D) del Europio (Eu). En magmas reducidos, el Eu está principalmente presente como Eu^{2+} , en vez de su usual estado (Eu^{3+}), como se da en otros elementos de tierras raras, y es un elemento incompatible en los cristales de plagioclasas, al igual que el Sr (Rollinson, 1993).

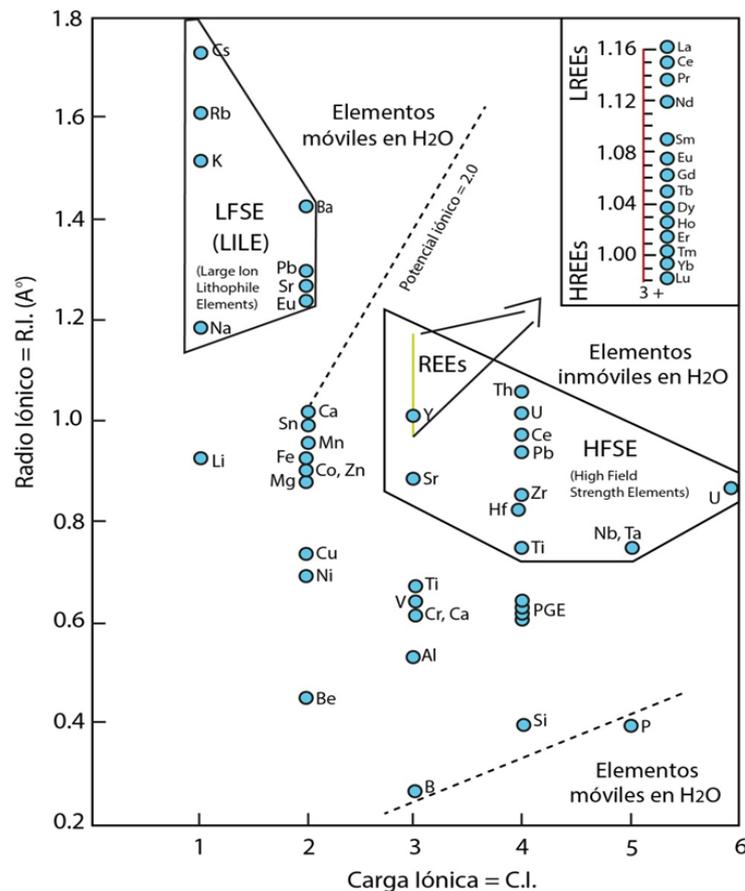


Figura 3. Elementos traza por radio iónico versus carga iónica Modificado de Shannon (1976). Tomado de Santos (2011).

En la Figura 3. Un potencial iónico de 2.0 subdivide los elementos incompatibles en elementos de campos de baja intensidad (LFSE), también conocidos como elementos litófilos de iones grandes (LILE) y elementos de campos de alta intensidad (HFSE). Los elementos compatibles están ubicados hacia la parte inferior. Los elementos de tierras



raras (REEs) en el centro del diagrama son ploteados en una escala expandida en la parte superior derecha.

El potencial iónico también sirve como un índice aproximado de la movilidad de cationes de los elementos, es decir, su solubilidad en soluciones acuosas; los elementos con potencial iónico bajo (<2) y alto (>2) tienden a ser más solubles y móviles que los elementos de potencial intermedio. Los elementos del grupo del platino (PGE) son: Ru, Rh, Os, Ir y Pt.

2.5 PETROGRAFÍA Y CLASIFICACIÓN DE BIOTITAS

La petrografía es una rama fundamental de la geología, el cual realiza la clasificación de rocas basándose en la descripción sistemática e interpretación de la mineralogía constituyente de una roca. Le Maitre, R. (2004).

Las principales características usadas para la clasificación de rocas ígneas plutónicas y volcánicas son los parámetros modales, texturales y composicionales.

La clasificación basada en parámetros modales, se realiza considerando que la composición modal de la mayoría de los cristales, se pueden determinar fácilmente a través de un estudio microscópico.

Para las rocas plutónicas y volcánicas en las que se pueden definir la composición modal, se estima los porcentajes de cuarzo (Q), feldespatos potásicos (A), plagioclasas (P), feldespatoides y minerales maficos (M), los cuales presentan una variedad de especies y son detallados a continuación:



Q= cuarzo, tridimita, cristobalita.

A= feldespatos potásicos, incluyendo ortoclasa, microclina, anortoclasa, sanidina, albita (An_0 a An_5).

P= plagioclasas (An_5 a An_{100}) y escapolita.

F= feldespatoides, incluyendo nefelina, leucita, kalsilita, sodalita, noseana, hãüyne, analcima, cancrinita, seudoleucita.

M= minerales máficos y relacionados, son todos los minerales no considerados en los parámetros del QAPF; estos incluyen todas las micas (incluyendo la muscovita), anfíboles, piroxenos, olivino, minerales opacos, minerales accesorios (zircón, apatito, titanita, etc.), epidota, allanita, granate, melilita, monticellita, carbonato primario, etc.

La suma de $Q+A+P+F+M$ debe ser el 100% y para luego ser recalculados los QAP ó APF al 100, % excluyendo a los minerales maficos, accesorios y secundarios, La clasificación se realiza empleando el diagrama de QAPF de Streckeisen 1973. (Figura 4).

Los criterios texturales generales se clasifican según el tamaño de grano, forma de los cristales y las relaciones mutuas u ordenaciones a nivel cristalino, bajo estos criterios tenemos las texturas equigranular, inequigranular, porfirítica, glomeroporfirítica y piroclásticas. (Figura 5). Otros términos texturales más específicos que ayudan a determinar aún más las relaciones intercristalinas son las texturas poiquilitica, pertítica, rapakivi y sagenítica.

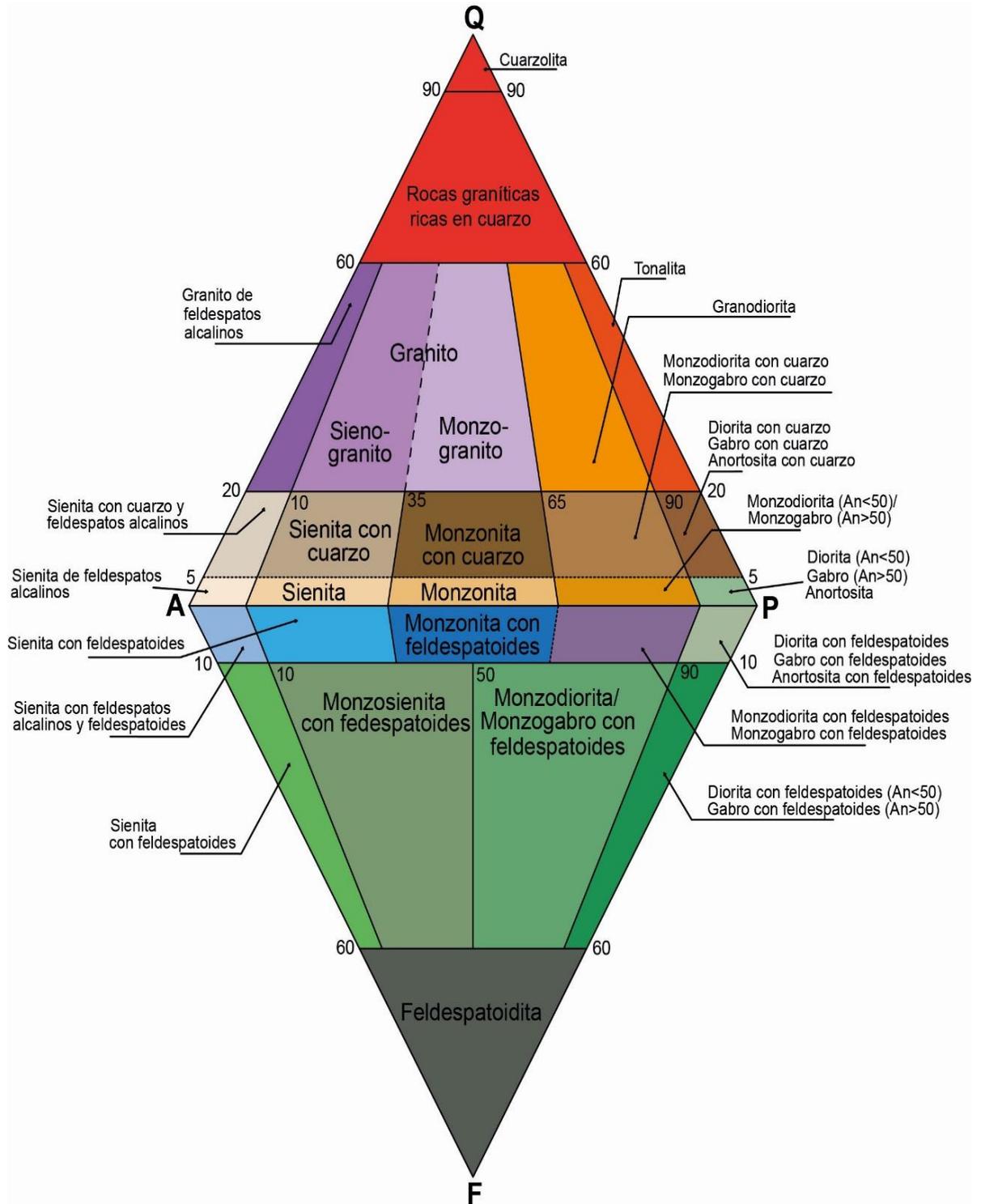


Figura 4. Clasificación y nomenclatura de rocas plutónicas de acuerdo al contenido modal de los minerales usando el diagrama de QAPF (basados en Streckeisen, 1973). El diagrama no debe ser usado para rocas en las cuales el contenido de minerales máficos, M, es mayor a 90%. Tomado de Le Maitre (2004).

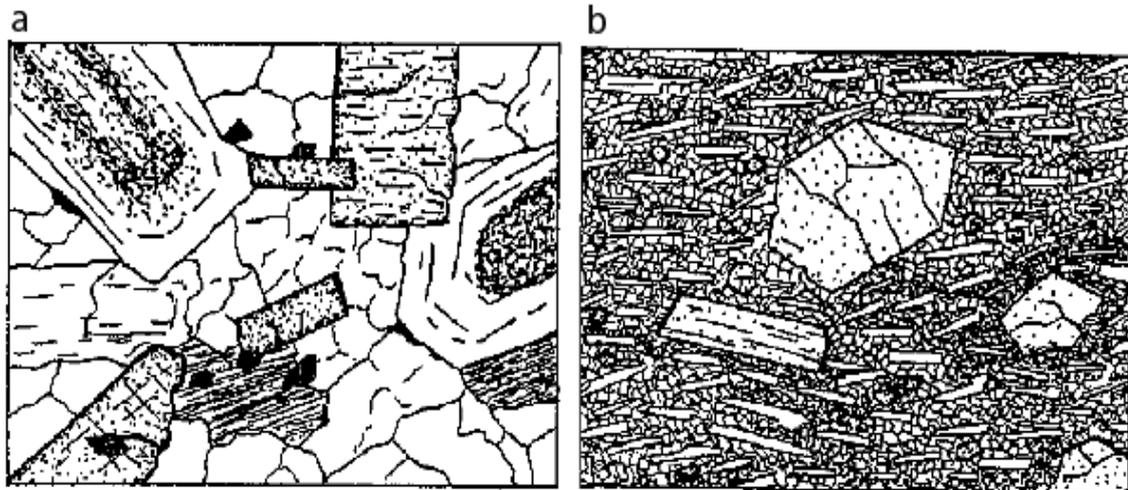


Figura 5. Texturas principales de rocas ígneas intrusivas y volcánicas; a) textura inequigranular correspondiente a roca intrusiva, b) textura porfirítica de una roca volcánica. Tomado de Castro Dorado, A. (1989).

2.5.1 Textura poiquilitica

Se refiere cuando cristales de mayor tamaño de una roca, engloban a cristales más pequeños con una orientación aleatoria, los cristales más grandes se forman a partir de los núcleos de los cristales pequeños. La textura poiquilitica se usa muy comúnmente para determinar el orden de cristalización con el argumento de que si una especie mineral es encerrada por otra, entonces, ésta debe ser la primera en cristalizar según Mackenzie & Guilford (1992) y Castro, A. (2015).

2.5.2 Textura pertítica

Se refiere a cristales de plagioclasas ácidas dentro de cristales de feldespatos potásicos, se origina por desmezcla en estado sólido de feldespato potásico y albita, al dejar de ser miscibles por descenso de la temperatura. La génesis de la pertitas se explica con el sistema albita – ortosa, las temperaturas de cristalización de las mezclas fundidas secas (1063 °C a 1150 °C), los feldespatos sódico y potásico forman una serie completa de solución sólida, con una temperatura mínima (1063 °C) para la composición aproximada $Ab_{65}Or_{35}$ (López, P & Bellos L. 2006, Castro, A. 2015).

2.5.3 Textura rapakivi

Conocida también como texturas manteadas en feldespatos, se refiere a cristales de feldespatos potásicos rodeados por plagioclasas generalmente cálcicas (Figura 6).

La textura rapakivi indica una mezcla de magmas de diferente composición, con la consecuente reabsorción y/o reacción de los feldespatos, que sufren el reequilibrio con el líquido híbrido. El feldespato derivado del enfriamiento de un magma más félsico es rodeado por una solución a mayor temperatura (mezcla con un magma más básico). (López, P & Bellos L. 2006).



Figura 6. Textura rapakivi, donde se observa cristales de feldespatos potásicos (cristales rosados) con bordes recrystalizados de plagioclasas (bordes de color gris blanquecino), tomado de (Ramo T. & Haapala I. 1996).

2.6 IMPORTANCIA DE LA BIOTITA

Es el mineral ferromagnesiano significativo y más común en la mayoría de las rocas ígneas intermedias y félsicas, y una de las fases minerales más estudiadas como indicadores petrogenéticos y tectonomagmáticos en granitos según Lalonde y Bernard, 1993; Solie y Su, 1987; Speer, 1984; Masoudi y Jamshidi-Badr, 2008. En cuanto a la composición de la biotita, esta depende en gran medida de la naturaleza de los magmas de los que se han cristalizado (Abdel-Rahman, 1994; Shabani et al., 2003).

2.7 FUGACIDAD DEL OXIGENO

Para tocar el tema de fugacidad, lo haremos desde una perspectiva termodinámica, la fugacidad de un gas debe satisfacer dos condiciones importantes: La primera concierne a la fugacidad y el potencial químico de un componente dado. La segunda involucra la fugacidad y la presión. De estas dos condiciones es posible establecer la siguiente relación entre fugacidad (f), presión (P), temperatura (T) y volumen molar de un gas (V):

$$n \left(\frac{f}{p} \right) = \int \left(\frac{RT}{P} - V \right) dP$$

En donde R es la constante de los gases ideales. El cociente f/P es conocido como coeficiente de fugacidad y generalmente se denota por la letra griega γ . El integrando de esta ecuación corresponde a la diferencia entre el volumen real de 1 mol de cualquier gas a ciertas condiciones de P , T y el volumen que ese gas tendría si se comporta como un gas ideal. En líneas generales la fugacidad está relacionada con las desviaciones en el comportamiento de un gas respecto al caso ideal (Nordstom y Muñoz, 1986). En un contexto petrogenético, la fugacidad de oxígeno es necesario para expresar cualitativamente el potencial de oxidación de un sistema magmático.



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente tesis de investigación presenta un enfoque cuantitativo, experimental, deductivo y un alcance científico, explorativo, descriptivo y explicativo, en función de revisiones bibliográficas (estudios anteriores realizados en el área de estudio). La recolección de muestras de roca se realizó tomando en consideración la variación de facies litológicas, tamaño de grano, grado de deformación, puntos de control geológico, controles estructurales e interpretación de resultados.

La metodología comprendió una serie de etapas bien marcadas, las cuales hemos denominados como Pre campo, campo, gabinete y laboratorio. (Figura 7).

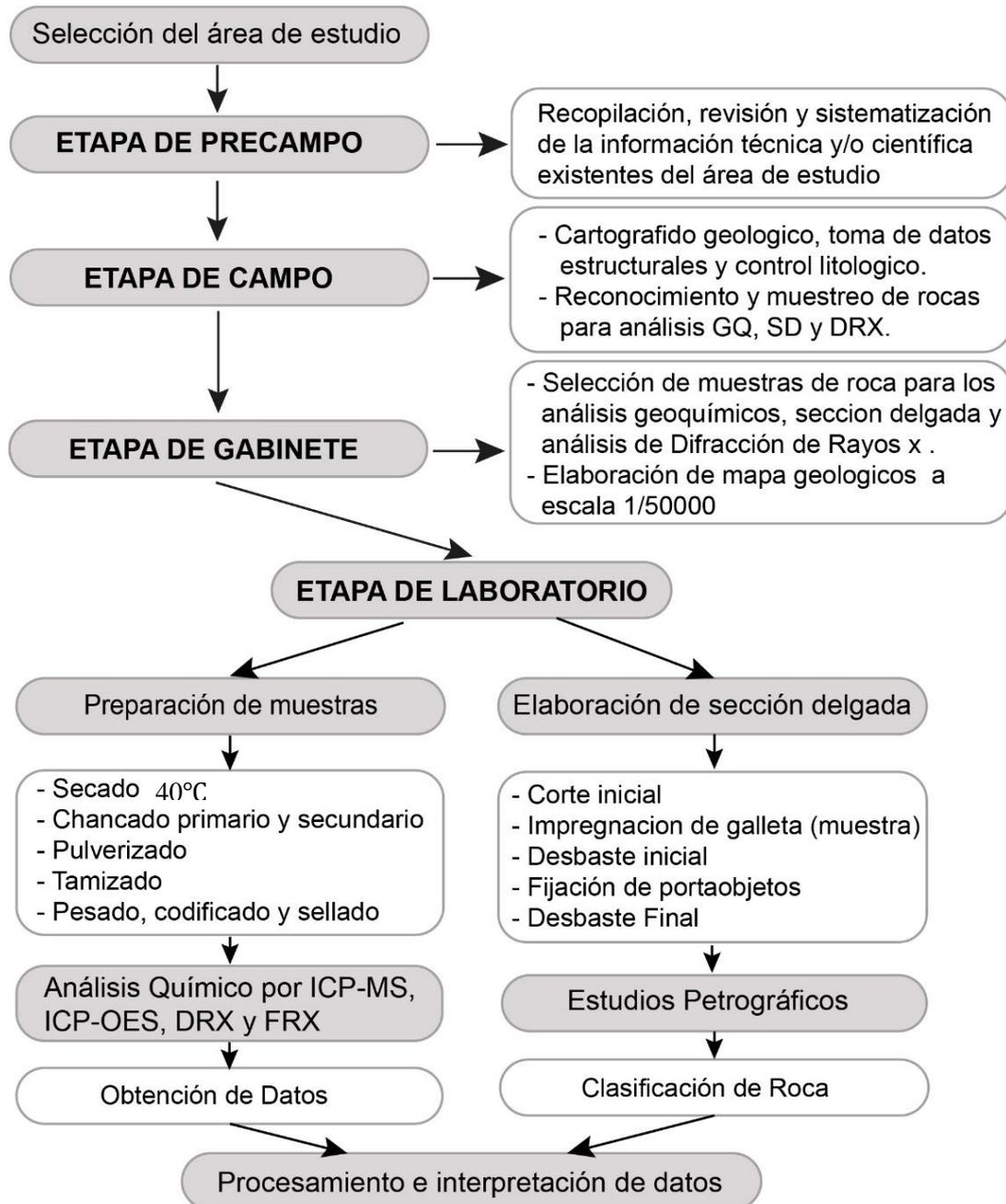


Figura 7. Esquema de la metodología de investigación. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

3.1.1 Etapa de pre campo

Esta etapa inició con la recopilación, revisión y sistematización de la información técnica y/o científica realizados en el área de estudio y estudios relacionados al tema de investigación, en cuanto a la geología regional, geoquímica y geocronología disponibles en tesis de grado, maestrías, doctorados, revistas científicas, informes, boletines del



INGEMMET y journals especializados, de donde se obtuvo una síntesis de la información, la elaboración del mapa preliminar y la programación del trabajo de campo.

3.1.2 Etapa de Campo

El presente estudio de investigación contempló diversas campañas de campo entre los meses de abril y noviembre del 2016, y en los meses de septiembre y octubre del 2017. Esto en el marco del proyecto GR39B “*Geología de la Cordillera Oriental entre 12° al 15° S*”, del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET, donde se realizó el cartografiado geológico, toma de datos estructurales y puntos de observación geológico, recolección de muestras de roca, para estudios petrográficos, análisis geoquímicos de roca total, geoquímica mineral y descripción macroscópica. Esta etapa consistió en:

a) Cartografiado geológico y toma de datos estructurales

Se inició con un reconocimiento geológico, geomorfológico y estructural de la zona de estudio, y selección de la zona de interés efectuándose un cartografiado geológico detallado a escala 1/50000, tomando en cuenta principalmente las características de las unidades magmáticas (Figura 8a).

- Representación gráfica de contactos de las unidades litológicas en el plano topográfico.
- Toma de datos estructurales.
- Toma de fotografías en la zona de interés.



Figura 8. a. Toma de muestras de roca para análisis geoquímicos y sección delgada, b. Reconocimiento y control litológico del área de estudio. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

b) Muestreo y descripción macroscópica de rocas

El muestreo de rocas ígneas se realizó, de acuerdo al tipo de estudio, los cuales fueron cuidadosamente colectados. (Figura 8b). Para ello se emplearon los siguientes métodos:

Método de muestreo para análisis geoquímico

- **Determinación del punto de muestreo**

Se determinó el punto de muestreo a través de la observación in situ, considerando si el afloramiento representa en su totalidad a cada unidad magmática cartografiada y si se encuentra sin alteración y/o meteorización.



- **Extracción de muestra y empaque**

Las muestras tomadas fueron extraídas utilizando el martillo de geólogo, en fragmentos menores a 10 cm, luego fueron envueltas en bolsas plásticas y codificadas para evitar su contaminación.

- **Toma de coordenadas de la muestra**

Se tomó el punto GPS en coordenadas UTM (WGS-84) del lugar de muestreo.

- **Toma de fotografías**

Se tomaron como mínimo dos fotografías una panorámica y otra al detalle (con escala referencial).

- **Descripción de muestra**

La descripción consistió en detallar las principales características de la muestra cómo, tipo de roca, color, textura, minerales formadores y grado de alteración que presentan.

- **Cantidad de muestra**

La cantidad a muestras ha dependido principalmente de la textura que presenta la roca. Si la roca presenta textura de grano grueso (granito), fue necesario tomar aproximadamente diez veces el volumen que ocupa el mineral de mayor tamaño, debido a que la muestra presenta una heterogeneidad en el tamaño de sus cristales, siendo necesario muestrear una mayor cantidad, lo cual permitirá realizar un mejor cuarteo, pudiendo llegar a ser una muestra representativa de la unidad magmática.



- **Calidad de material**

Las muestras seleccionadas para su envío al laboratorio deben estar completamente limpias, sin patinas de meteorización, sin la presencia de vetillas, xenolitos y otras características que podrían alterar sus características del magma.

Método de muestreo para estudios petrográficos y análisis de difracción de Rayos X

- **Determinación del punto de muestreo**

Se determinó el punto de muestreo, por la existencia de dudas en la caracterización de roca al momento de cartografiar y por las observaciones tomadas en el campo.

- **Toma de coordenadas de la muestra**

Se tomó las mismas consideraciones descritas para los análisis geoquímicos.

- **Extracción de la muestra y empaque**

Se tomó las mismas consideraciones descritas para los análisis geoquímicos.

- **Cantidad de muestra**

Se tomó únicamente una muestra de mano.

- **Descripción de muestra**

Se tomó las mismas consideraciones descritas para el análisis geoquímico.

- **Toma de fotografías**

Se tomó las mismas consideraciones descritas para el análisis geoquímico.



3.1.3 Etapa de Gabinete

Esta etapa comprendió el procesamiento de la información de campo el cual ha sido analizado y contrastado sistemáticamente tomando en consideración los antecedentes bibliográficos.

- Descripción macroscópica de muestras de rocas.
- Selección de rocas, para la elaboración de secciones delgadas, separación de biotitas y análisis geoquímicos, los cuales serán realizados en los laboratorios.
- Ingreso de datos de campo a una base de datos geo-referenciado.
- Elaboración del mapa geológico; se elaboró el mapa geológico a escala 1/50,000, a partir del cartografiado geológico en campo y la fotointerpretación a escala 1/25,000.
- Recepción de análisis e interpretación de resultados emitidos por los laboratorios.

Los estudios geoquímicos permitirán tipificar las anomalías geoquímicas de las unidades magmáticas. Los resultados de los análisis serán procesados estadísticamente con el software Excel, para obtener valores representativos de toda la muestra y relacionarlos con la ocurrencia de minerales estratégicos.

3.1.4 Etapa de Laboratorio

3.1.4.1 Elaboración de sección delgada

Se realizaron secciones delgadas de 42 muestras de roca los cuales, se elaboraron en el laboratorio de INGEMMET en el área de petrotomía, para la elaboración se utilizaron los siguientes equipos y adimentos (Figura 9).



Figura 9. a) Se aprecia cortadora automática, donde se realizó el corte inicial obteniendo un chip o galleta de 2x1x1 cm; b) desbaste de la galleta o chip con el Carburo de Silíceo Nro. 120, 400 y 600 (b1); c) galleta o chip impregnados y con porta objetos; y d) sección delgada a 30 micras. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

Posteriormente se realizó los estudios petrográficos en la Dirección de Geología Regional, basado en técnicas clásicas, utilizando el microscopio petrográfico LEICA DM 750P, para realizar observaciones bajo luz transmitida plano polarizada, equipados con accesorios para la realización de la imagen digital.

3.1.4.2 Estudios petrográficos

Se realizó los estudios petrográficos por medio de muestras macroscópicas y secciones delgadas (microscópicas), los estudios microscópicos permitieron, realizar una mejor caracterización de las diferentes facies magmáticas y mineralógicas que presenta el Plutón Aricoma. Así mismo se realizó análisis microscópicos y poblacionales de

minerales ferromagnesianos (biotita), en función de sus propiedades ópticas y distribución espacial.

Los estudios fueron realizados con el microscopio petrográfico LEICA DM 750P y (Figura 10), basado en técnicas y propiedades de minerales bajo luz plano polarizada o transmitida, realizando la identificación de minerales esenciales, secundarios y accesorios, los cuales fueron registrados en fichas para descripciones petrográficas de rocas ígneas. Para luego realizar la clasificación y nomenclatura de rocas plutónicas de acuerdo a su contenido modal de minerales, empleando el diagrama QAPF (Streckeisen, 1973).

Posteriormente se realizó la toma de fotomicrografías, de las muestras estudiadas, tomando en consideración texturas más resaltantes y representativas de la sección delgada (roca).

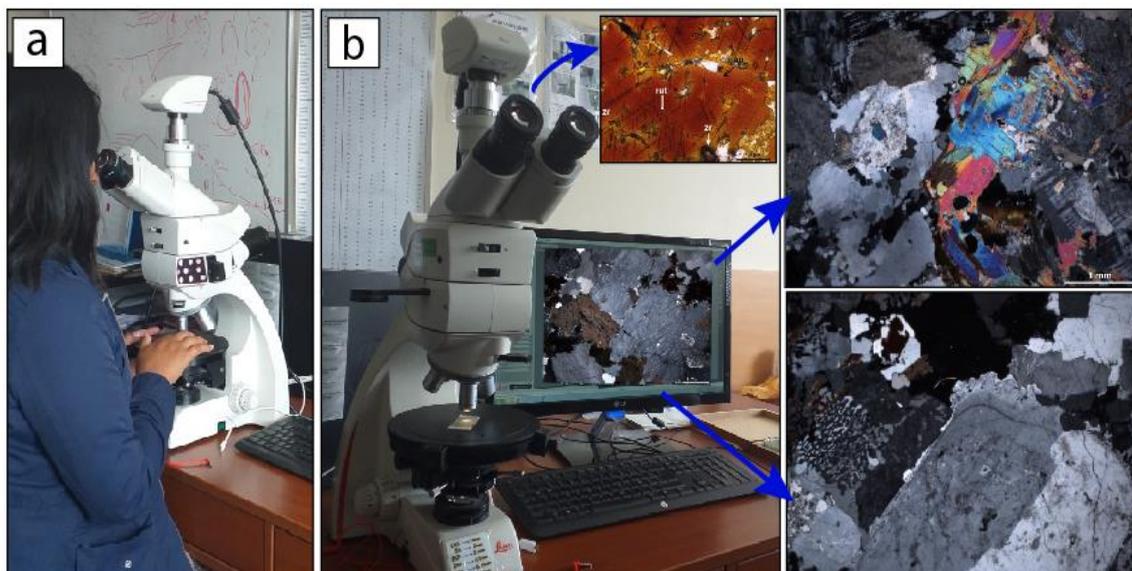


Figura 10. a y b) Microscopio petrográfico de luz transmitida Leica modelo DM 750P; donde se realizó los estudios petrográficos. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

3.1.4.3 Separación de cristales de biotita

Se llevó a cabo la separación de cristales de biotita de 24 muestras de roca (monzogranitos, sienogranitos y granodioritas) para el análisis de geoquímica mineral en biotita (concentrado de cristales de biotita), donde se realizó los siguientes pasos.

Se realizó la selección de rocas graníticas aproximadamente de 1 a 2kg, para luego ser sometidas a trituración (primaria y secundaria) y su posterior tamizado (malla +60), con el propósito de separar los minerales ferromagnesianos, principalmente los cristales de biotita, con el separador magnético Isodinámico (tipo Frantz) (Figura 11), basándose en su propiedad magnética (Amperaje) que presenta todo mineral, el cual se halla especificado en el Anexo A. Tabla A1.

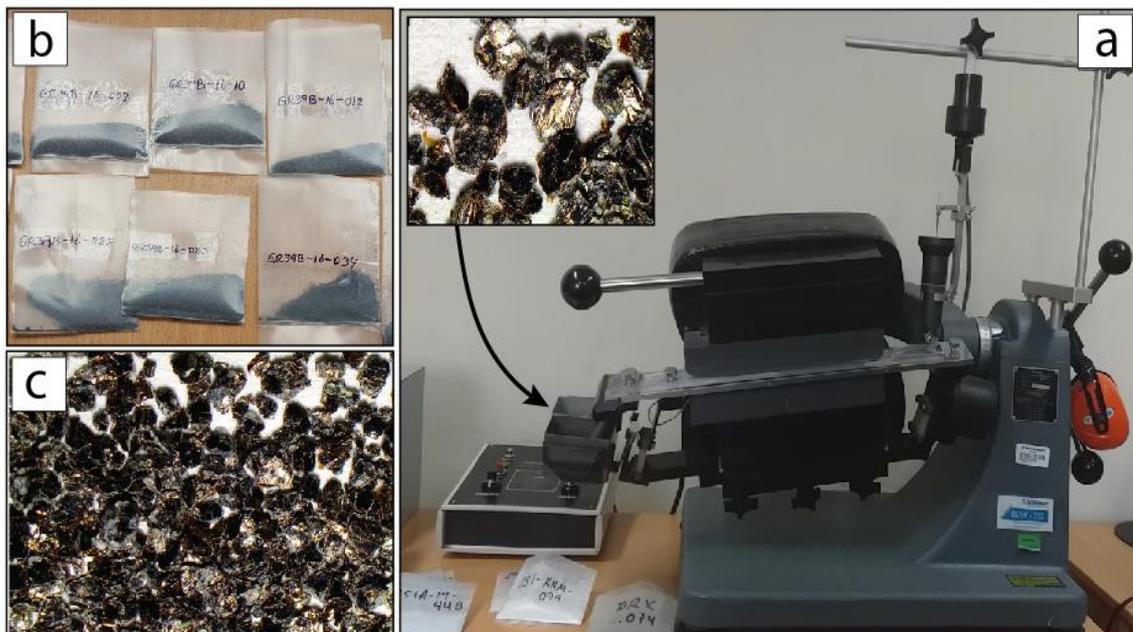


Figura 11. a) Separador Magnético Isodinámico Frantz, Modelo LB-1, serie Nro. 690, b) Concentrado de cristales de biotita con 2 a 3 gr. c) cristales de biotita de malla +60 separados por el Separador Magnético Frantz en función de su amperaje. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

Después se completó esta tarea bajo separaciones manuales con el uso del estereomicroscopio (Olympus), hasta obtener 1 a 2 gr de cristales de biotita por muestra (Figura 12), los cuales serán enviados al laboratorio de Química – INGEMMET, para los análisis químicos de elementos mayores, menores y trazas.

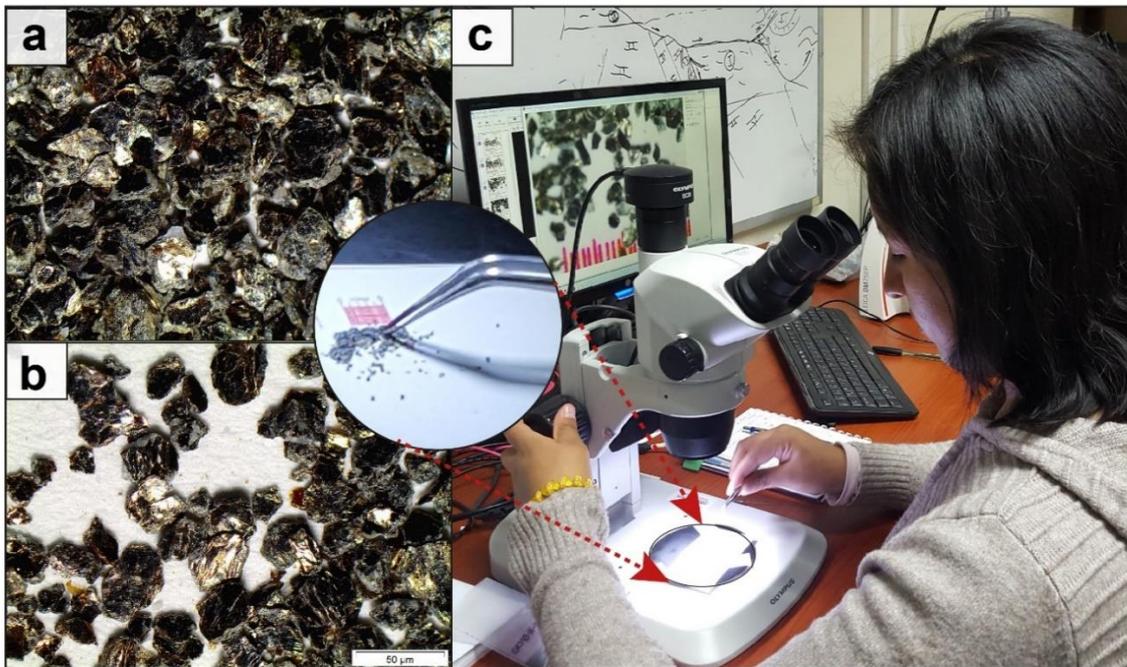


Figura 12. a) y b) Concentrado de cristales de biotita con granulometría malla +60; c) se observa el proceso de separación de cristales de biotita, utilizando el estereomicroscopio OLYMPUS, Modelo SZ61. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

3.1.4.4 Análisis de difracción de rayos X

Se ejecutó los análisis de difracción de rayos X, de 20 muestras donde realizó la trituración de la muestra de roca a malla +120, en morteros de ágata para luego ser montadas y finalmente ser analizadas por el difractómetro de rayos x SHIMADZU modelo XRD-600 (Figura 13).



Figura 13. Difractometro de rayos X SHIMADZU, modelo XRD-600. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

3.1.4.5 Análisis geoquímico de roca total

Se realizó la selección de 34 muestras de roca, para los análisis de geoquímica de roca total, las cuales, se enviaron a los laboratorios de INGEMMET (14 muestras de concentrados de cristales de biotita), SGS (22 muestras de roca) y ALS (12 muestras de roca).

En el laboratorio de geoquímica de INGEMMET, se realizó los análisis geoquímicos de 18 muestras, las muestras pasan por una etapa de preparación mecánica de rocas (Figura 14), obteniendo la muestras pulverizadas a malla-140, para posteriormente ser sometidas a proceso de digestión (proceso químico) acondicionando las muestras para los análisis de elementos mayores, menores y traza.



Figura 14. Procesos mecánicos que sufren las muestras de roca; a) Trituración primaria que arroja una granulometría de $1/4''$; a1) Trituración secundaria que arroja una granulometría malla -10; b) secado de la muestra a $50-60^{\circ}\text{C}$, en la estufa eléctrica; c) Pulverización de la muestra con los morteros o molinos de ágata aproximadamente 2 minutos; en el pulverizador de anillos, marca SIEBTECNICK modelo JURGENS; c1) obteniendo granulometría de malla -140; d) Muestras embolsadas con 200 y 150gr, codificadas y posteriormente enviadas al laboratorio de química. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

Determinación de elementos mayores.- Se empleó el equipo de espectroscopia de emisión óptica de plasma acopiado inductivamente (ICP-OES), para la determinación y cuantificación de la concentración de los 18 elementos mayores y traza. Previo al análisis las muestras fueron sometidas a fusión con metaborato de litio, el cual es fundido en el horno de fusión eléctrica (Figura 15).

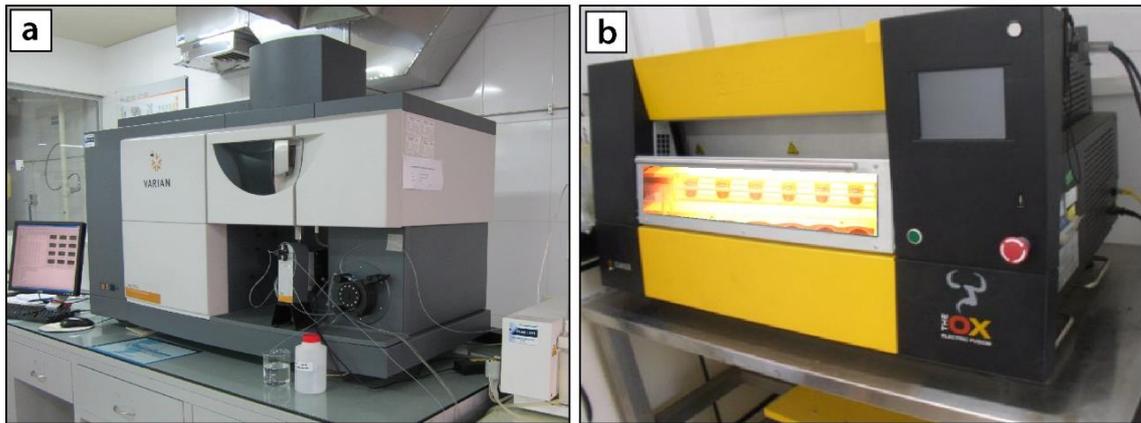


Figura 15. a) Espectrómetro de emisión atómica ICP-OES, marca VARIAN, modelo 735-ES, donde realiza los análisis de elementos mayores y matrices fuertes, multielementos de rocas a nivel de ppm; b) Horno de Fusión eléctrica. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

Determinación de elementos menores.- se utilizó el equipo de espectrometría de masas con fuente de plasma acopiada inductivamente (ICP-MS), para el análisis y cuantificación de la concentración de 32 elementos menores y traza. La preparación previa de muestras, se realiza por digestión en cuatro ácidos tales: ácido nítrico (HNO_3), ácido clorhídrico (HCl), ácido perclórico (HClO_4) y ácido fluorhídrico (HF), ejecutado dentro de la campana extractora (Figura 16).

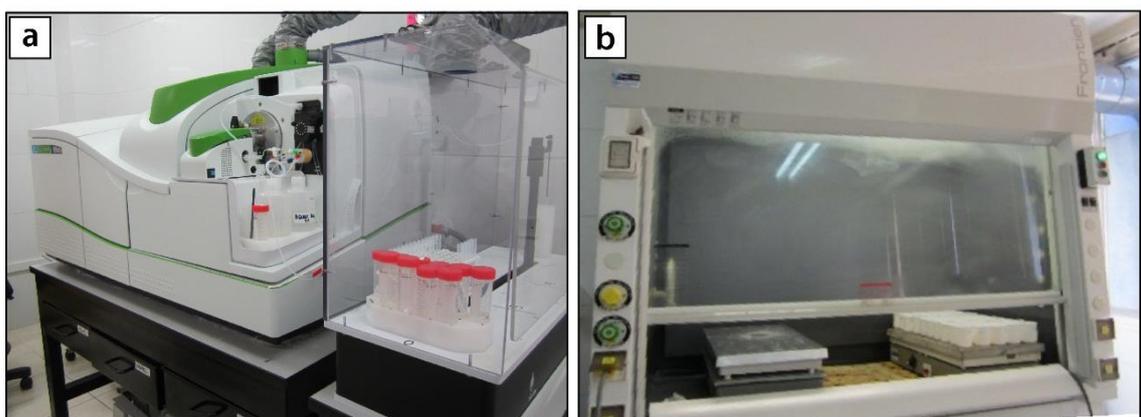


Figura 16. a) Espectrómetro de masas con fuente plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS), marca PERKIN ELMER, modelo NEXION 300D; b) Campana extractora. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.



3.1.4.6 Análisis de geoquímica mineral (biotita)

Los concentrados de biotita (1-2gr), fueron sometidos a una pulverización con granulometría malla -140 en los morteros de ágata. Posteriormente fueron pesadas 0,5gr para análisis de elementos menores y siendo depositados en vasos de teflón para su digestión y analizadas en el espectrómetro de masas (ICP-MS); de igual manera se pesó 0,2 gr para los análisis de elementos mayores, para luego ser depositados en vasos de teflón cerrado para su digestión y analizadas en el espectrómetro de emisión atómica (ICP-OES).

3.1.4.7 Análisis de fluorescencia de rayos X

Se realizó el análisis de 10 muestras de concentrados de biotita (1 a 2 gr), los cuales fueron pulverizadas a malla -120 y -140, para la elaboración de pastillas con 2.5 cm diámetro, utilizando el tensiómetro con presiones de 20 toneladas por unos 20 minutos, elaborando 15 pastillas incluyendo muestras duplicadas para un control interno.

Luego estas fueron debivamente rotuladas, después de la elaboración de las pastillas, estas son puestas en el porta muestras para luego ser analizadas con el espectrómetro de fluorescencia de rayos x (Figura 17).

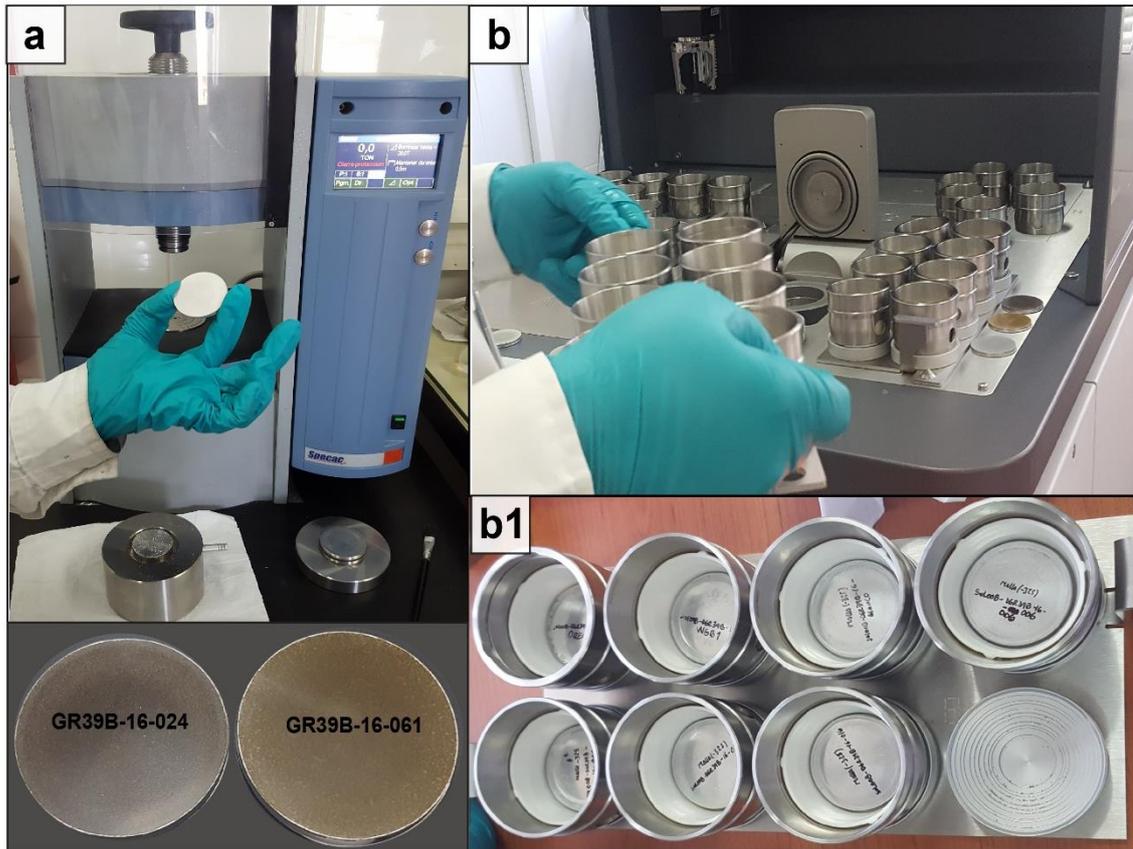


Figura 17. a) Equipo tensiómetro, marca SPECAC, donde se realiza la elaboración de pastillas de las muestras de roca; b1) montaje de las muestras (pastillas); b) Espectrómetro de Fluorescencia de rayos X, ZETIUM, marca PANALYTICAL, donde se realizaron los análisis de Sn. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

3.2 INSTRUMENTOS UTILIZADOS

3.2.1 Instrumentos geológicos de campo

- GPS
- Brújula
- Cámara digital
- Libreta de campo
- Lápiz, lapiceros, plumones y colores
- Picota
- Lupa 20x y 50x
- Lápiz de dureza
- Protactor
- Ácido clorhídrico



CAPITULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1 UBICACION Y ACCESIBILIDAD DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio, se encuentra al sureste de Perú, entre los meridianos 70°03' y 70°20' oeste y los paralelos 14°00' y 14°30' sur. Políticamente, se encuentra en la Región Puno, abarcando la provincia de Carabaya. El area de estudio específicamente está ubicada en el cuadrángulo de Limbani (29x) (rectángulo amarillo en la Figura 18).

El acceso a la zona de estudio, desde Juliaca-Puno, es por la carretera transoceánica, de donde, se pueden seguir diversos desvíos que llevan a las ciudades principales del área de estudio. Así tenemos a la altura de Ajoyani se sigue la carretera afirmada con dirección a Coasa (en el cuadrángulo de Esquena 28-x).

Igualmente se puede seguir la carretera afirmada con destino a los pueblos de Carlos Gutiérrez y Crucero, de donde se puede seguir cuatro rutas afirmadas con dirección a los distritos de Usicayos, Limbani, Patambuco y Cuyo cuyo en el cuadrángulo de Limbani. Existen otras rutas de menor rango conformadas por trochas carrozables y caminos de herradura.

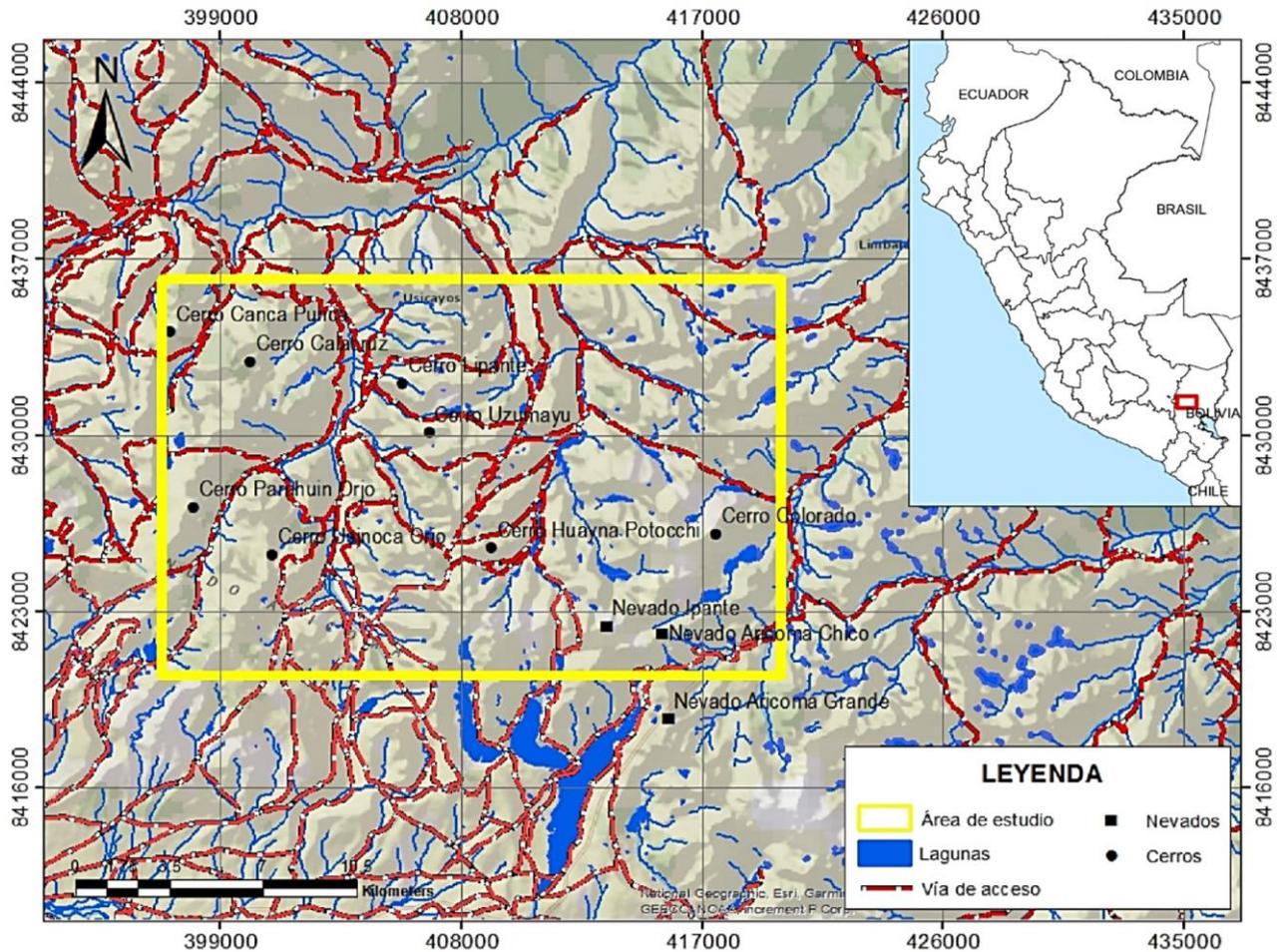


Figura 18. Mapa de ubicación y accesibilidad al área de estudio. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis

4.2 MARCO GEOMORFOLÓGICO

4.2.1 Unidades geomorfológicas

En el área de estudio, morfológicamente, presenta en su mayor parte un relieve accidentado, conformado por una cadena de nevados y montañas, mientras que en las áreas aledañas se encuentran conformadas por colinas.

La unidad morfoestructural principal, existente en el área de estudio, es la Cordillera Oriental donde se reconocen diversas geformas que modelan el área, marcando principalmente dos etapas de modelamiento, el primero debido a movimientos



orogénicos andinos eocénicos, el segundo la acción glacial y fluvial, formando relieves glaciares, valles fluviales y fluvioglaciares (Figura 22).

4.2.1.1 Cordillera Oriental

La Cordillera Oriental abarca el 95% del área de estudio, ocupa el sector este, sureste, y norcentral del cuadrángulo de Limbani (29-x), limita con la Precordillera de Carabaya al suroeste. Está compuesta principalmente por rocas del paleozoico superior e inferior e intrusivos del triásico medio.

Zonas Cordilleranas

Se halla ubicada en el sector central del área de estudio, comprendido entre los 4000-5200 msnm, está conformada morfológicamente por nevados y montañas con pendiente pronunciada y terminaciones afiladas debido al modelado glacial (Figura 19), donde se hallan aflorando, areniscas grises, caliza y lutitas del Carbonífero – Pérmico, (Grupos San José, Ananea, Tarma, Copacabana) y cuerpos intrusivos Triásicos de como el Plutón de Aricoma, Limbani y Coasa.

Ladera Cordillerana

Está ubicada en el sector Noreste del área de estudio, está interrumpida por una serie de valles cañón (Figura 20) y valles fluvioglaciares que separan de las zonas cordilleranas. Presenta relieves abruptos, de pendientes fuertes. Está comprendida entre los 2000-3500 msnm.

Las unidades litológicas que se encuentran en estos sectores están conformadas principalmente por lutitas, filitas, pizarras y cuarcitas del Grupo San José (Ordovícico) y de las formaciones Sandia (Ordovícico superior) y Ananea (Silúrico Devónico) y están

controlados por una serie de fallas inversas de orientación preferente NO-SE con vergencia al SE.

Valle glaciar

Se presentan por los fenómenos de erosión glaciar y fluvio-glaciar (Figura 21), los principales valles se encuentran en la quebrada de Aricoma. Se hallan, parcialmente rellenos por depósitos fluvio-glaciares y glacial de fragmentos de rocas, guijarros de pizarras, areniscas grises, filitas y rocas graníticas. Se ubican en las faldas de los Nevados de Aricoma y Aricoma Chico, constituyendo el material morrenico (Figura 20)



Figura 19. Se observa vista de la Zona Cordillerana del Pluton de Aricoma, tomada al Noreste.
Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

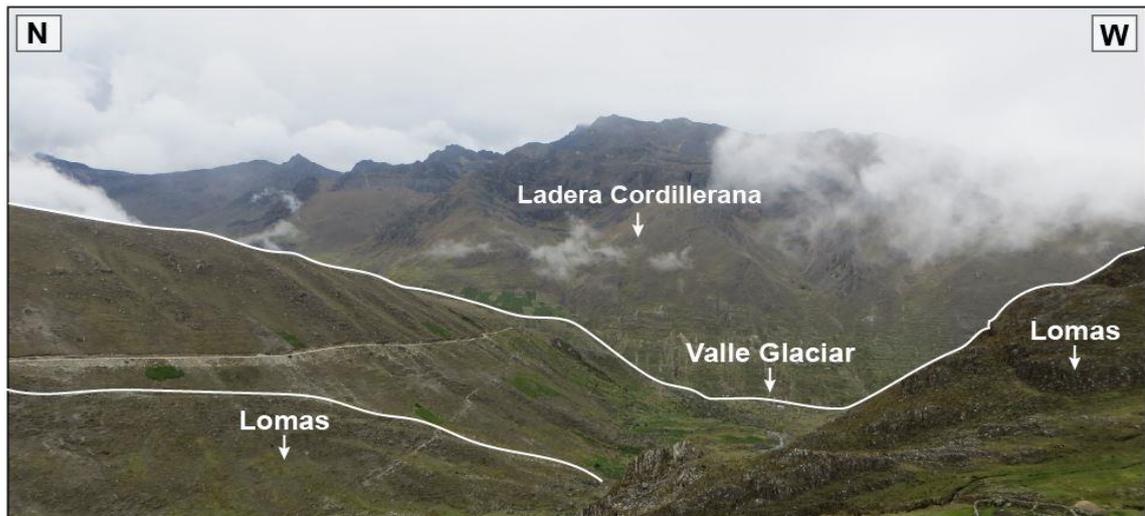


Figura 20. Vista donde se observa la Ladera Cordillerana de pendiente pronunciada, marcada por un Valle glaciar y lomas, tomada con vista al noroeste. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.



Figura 21. Vista tomada al suroeste, se observa depósitos de erosión fluvio-glaciar. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

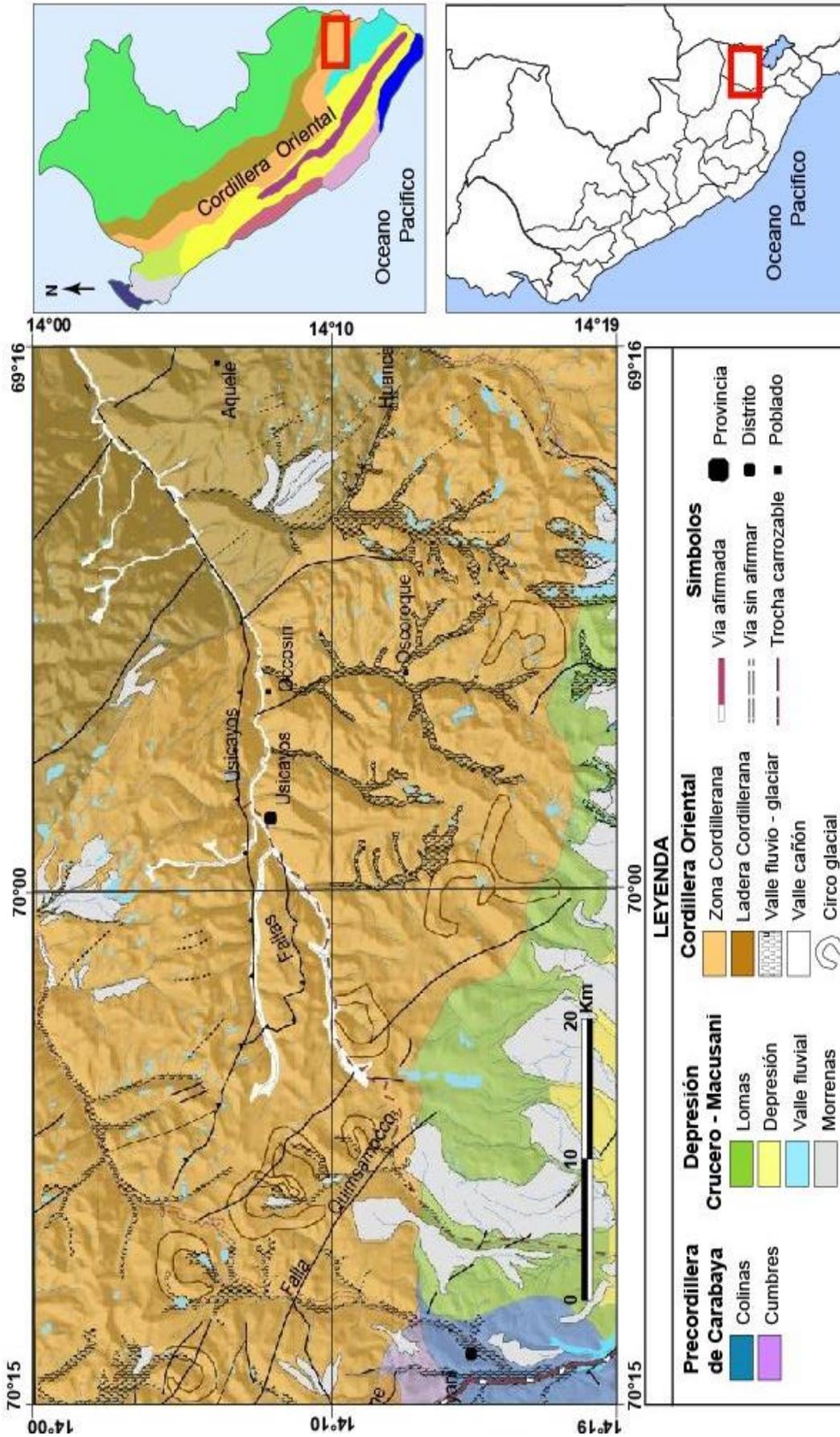


Figura 22. Mapa de unidades geomorfológicas del área de estudios. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

4.3 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

Regionalmente en el área de estudio afloran rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas, con edades que oscilan entre el Paleozoico y el Mioceno, siendo las rocas con mayor extensión las de edad Paleozoica. En este capítulo se hará una breve descripción de las unidades litoestratigráficas de los grupos San José, Ambo, Tarma y Copacabana. Como también de las formaciones Sandía y Ananea (Figura 29).

Paleozoico Inferior

4.3.1 Grupo San José

Definición y relaciones estratigráficas: Definido por Laubacher (1974), en el valle de Sandía (Alto Inambari), como una secuencia monótona principalmente de pizarras negras graptolíticas, las cuales son la base para establecer la edad del Ordovícico inferior. Posteriormente De la Cruz & Carpio (1996) la eleva a la categoría de Grupo quien examinó la sección de los valles de Sandía, Huari Hauari y Tambopata, describiendo preliminarmente las Formaciones Iparo y Purumpata en base a las diferencias litológicas y al contenido fosilífero.

Litología: En el área de estudio el Grupo San José, se halla aflorando en el Cerro Colorado (Figura 23a), el cual presenta un grado de metamorfismo bajo; con litologías de pizarras grises oscuras de grano medio a fino con intercalación de areniscas grises, en estratos de 50cm a 1m y secuencias de pizarras con esquistosidad moderada. Así mismo se observan nódulos de pirita de 5 a 6 cm de diámetro (Figura 23b), y pizarras grises de grano medio con desarrollo de cristales de otreilita (Figura 23c).

Edad y correlación: Laubacher (1977), De la Cruz & Carpio (1996), asignan una edad Ordovícico inferior – medio. Presentan graptolites de los géneros *Expansograptus*

pertencientes a la Formación Iparo. El Grupo San José se correlaciona en la parte central del Perú con la Formación Contaya.

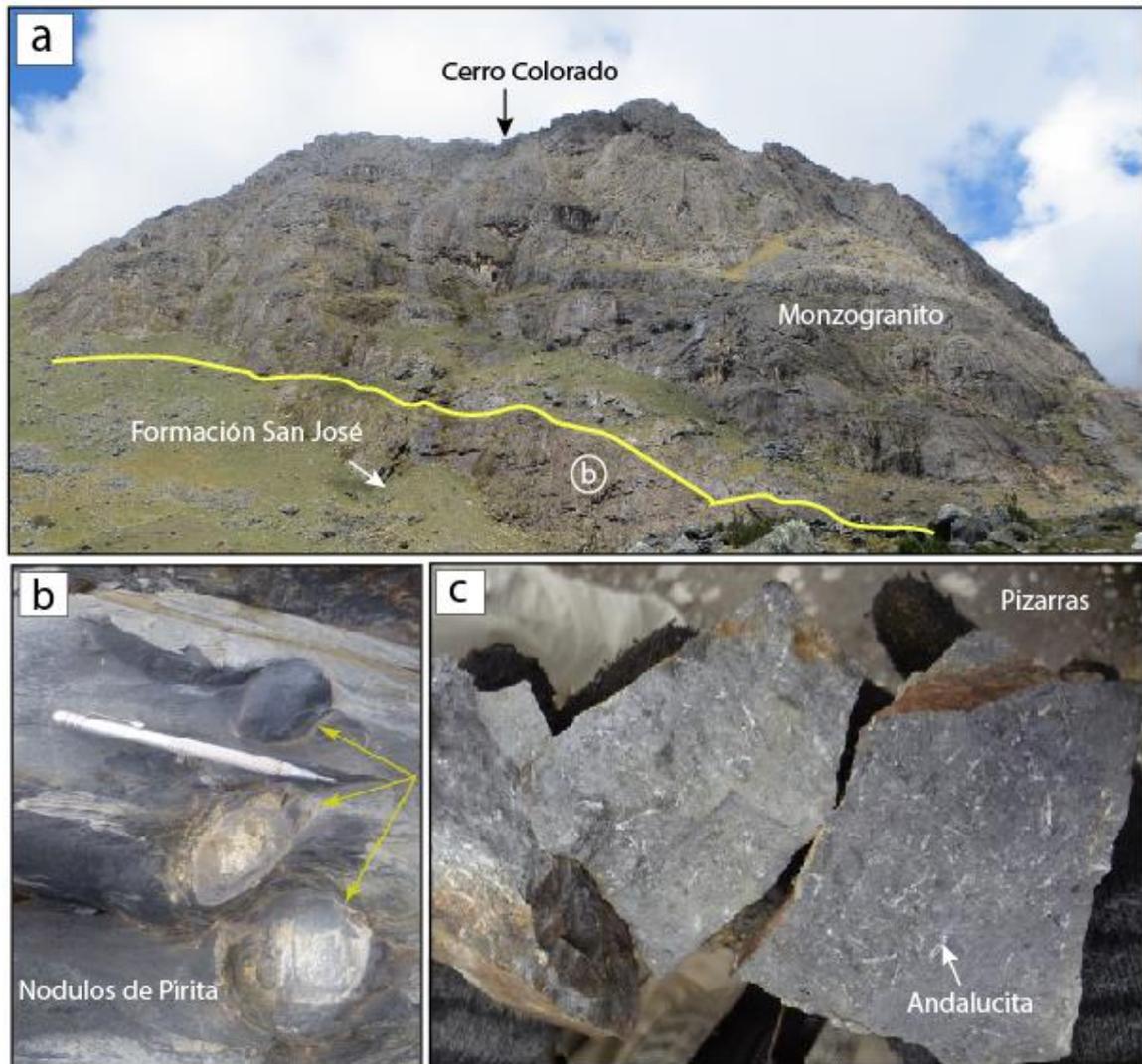


Figura 23. a. afloramientos de pizarras grises oscuras foliadas, se halla en contacto con monzogranito en el Cerro Colorado; b. Se observan nódulos de pirita; c. Vista de pizarras con desarrollo de cristales de cloritoides como otreilita. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

4.3.2 Formación Sandia

Definición y relaciones estratigráficas: Definido por Laubacher (1974) como secuencias detríticas tipo flysch, concordante al Grupo San José. La columna tipo fue medida entre las localidades de Cuyo Cuyo y Huancaluque, con un espesor de 3000m. En

el área de estudio se halla aflorando en los cerros Pinquyumi Orco, Taypicunca, Apacheta y en el Nevado Ipante (Figura 24a).

Litología: La Formación Sandia aflora con una amplia extensión, abarcando gran parte en el área de estudio. Su litología consiste principalmente de areniscas y cuarcitas grises a negras de grano medio a fino; en la base de esta unidad se puede encontrar las areniscas antes descritas, intercaladas con eventuales niveles delgados de lutitas pizarrosas. En muchos afloramientos se pueden encontrar estructuras sedimentarias como laminaciones oblicuas y paralelas (Figura 24b), canales y grietas de desecación (Figura 24c).

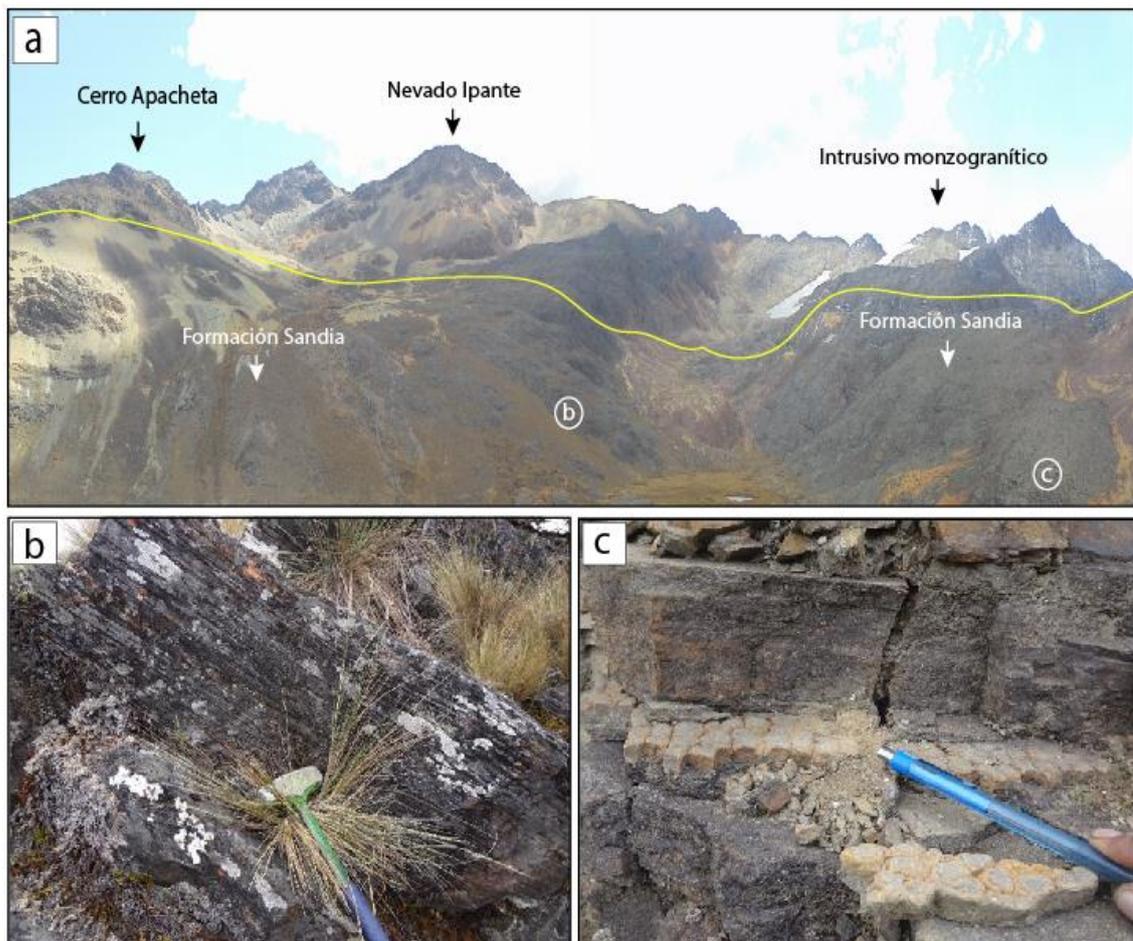


Figura 24. a. Afloramientos de la Formación Sandia en el Cerro Apacheta y Nevado Ipante, se hallan en contacto con monzogranitos; b. Vista de detalle de afloramientos de la Formación Sandia con laminación paralela; c. Vista ampliada de grietas de desecación en la Formación Sandia. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

4.3.3 Formación Ananea

Definición y relaciones estratigráficas: Definido por Laubacher (1978), en la carretera entre Ananea –Cuyo Cuyo como secuencias de pizarras negras principalmente y cuarcitas, conteniendo fósiles indeterminados, por su posición estratigráfica le asignó una edad del Silúrico medio a Devónico.

Litología: En el área de estudio la Formación Ananea presenta un grado de metamorfismo bajo; al norte de la localidad de Usicayos los afloramientos están verdosas en algunos sectores. La mayor parte de los afloramientos de la Formación Ananea presentes en la zona de estudio se encuentran en los Cerros, Japu Japu, Yana Orjo, Tenajillani y Taypicunca donde se componen principalmente por una intercalación de pizarras y filitas grises, en estratos centimétricos (0.1- 0.3 mm) y secuencias de pizarras gris oscuras con leve esquistosidad (Figura 25c).

Los afloramientos que se encuentran en los alrededores de la Laguna Aricoma Chico, se hallan en contacto con cuerpos intrusivos monzograníticos litología que constituyen los Nevados de Ipante y Aricoma Chico (Figura 25a). En la laguna de Aricoma Chico, se encuentra compuesto litológicamente de filitas grises que contiene lentes de cuarzo lechoso (Figura 25b).

Edad y correlación: De la Cruz et al. (1996) reportó braquiópodos como el *Microspirifer* cf. *M. mucronatus* y el *Protoleptostrophia* cf. *Blainvilli*, también Monge & Zedano (1996) reportó el coral *Heterophrentis* sp, los cuales indican una edad del Devónico; por otra parte, Vavrdová & Svobodavá (2010) estudiaron muestras de pizarras gris claras, recolectadas por Díaz-Martínez en el río Inambari (17 km de San Gabán - Puno), describen micro-floras de acritachs, prasinophytes y chitinozoans, de la que

destaca el nuevo género de acritachs *Amphitheca isaacsonii* gen. et sp., que corresponden a la transición Silúrico – Devónico.

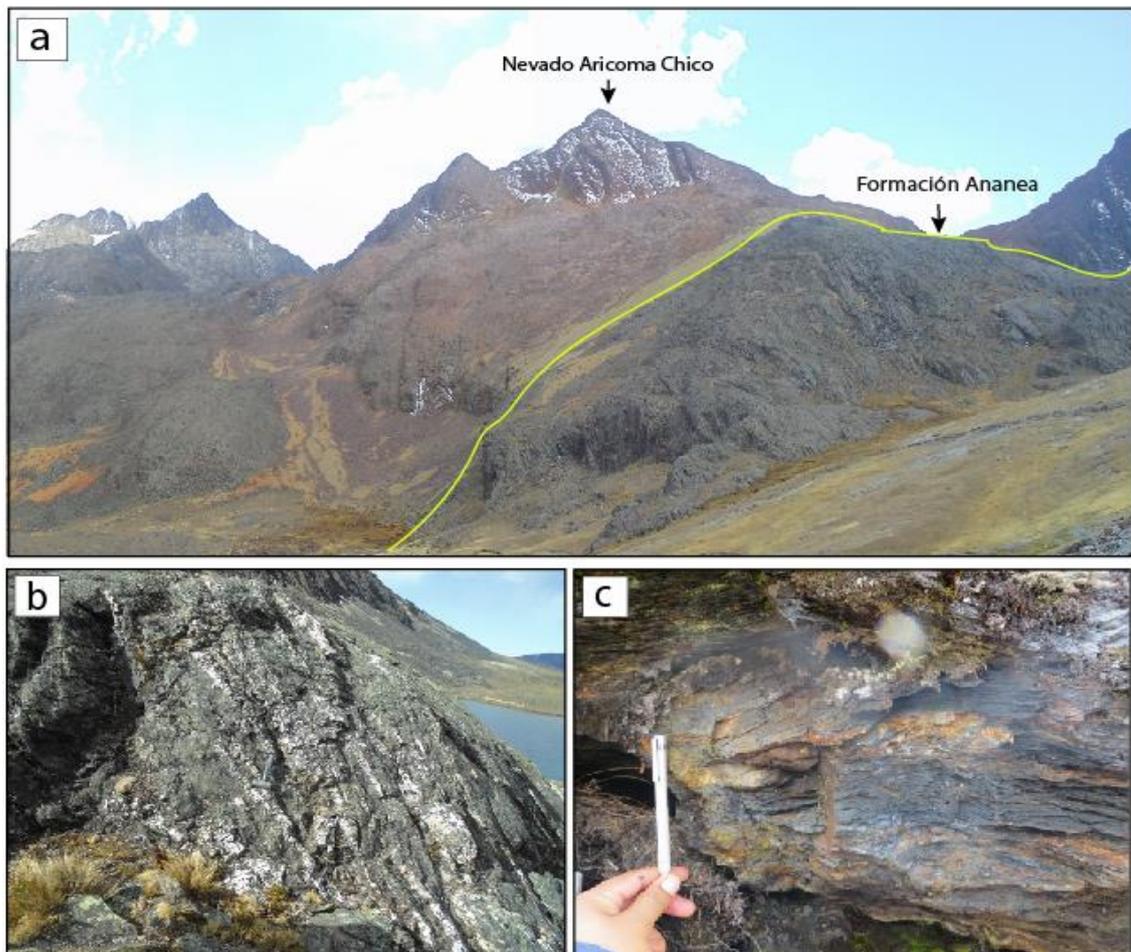


Figura 25. a. Se observa contacto entre la Formación Ananea con un intrusivo monzogranítico, alrededores de la Laguna Aricoma chico; b. Afloramientos de la Formación Ananea de filitas grises con lentes de cuarzo lechoso, alrededores del nevado Aricoma Chico; c. Pizarras grises esquistosas, con niveles de areniscas grises oscuras. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

Paleozoico Superior

4.3.4 Grupo Ambo

Definición y relaciones estratigráficas: Definida por Newell et al., (1949) como una secuencia silicoclástica de areniscas y lutitas con capas delgadas de carbón cuya localidad tipo es Ambo en el departamento Huánuco.



Litología: En el área de estudio se halla aflorando al norte y al sur de la localidad de Usicayos y al noreste y sureste de la Laguna Aricoma Grande. En estos sectores el Grupo Ambo está constituido por areniscas cuarzosas grises en estratos que pueden variar entre 0.2 y 1 m de espesor, las cuales se intercalan con lutitas negras o gris oscuras. Cabe destacar que al noroeste de Usicayos (Montepata), los afloramientos de esta unidad se encuentran fracturados y presentan mineralización de sulfuros (pirita, calcopirita) diseminados en las cuarcitas.

En la localidad de Pillcopampa, desde Ocoroque hasta Apatico, en el cerro Chicuro y Soporuni. Se constituye de limolitas gris oscuras a negras, areniscas gris oscuras de grano fino a medio con alteración débil de óxidos de hierro (Figura 26a y 26b), en algunos sectores se observa limolitas grises laminadas con niveles centimétricos de carbón (Figura 26c).

Edad y correlación: Chávez *et al.* 1997 dentro del área ha reportado flora fósil del Mississipiano como la especie *Hemiplethorhynchus cf. Hallani*, por lo que se le atribuye una edad mississipiana. A esta unidad se le correlaciona con el Grupo Ambo en la Cordillera Oriental Boliviana y con el mismo del centro del Perú.

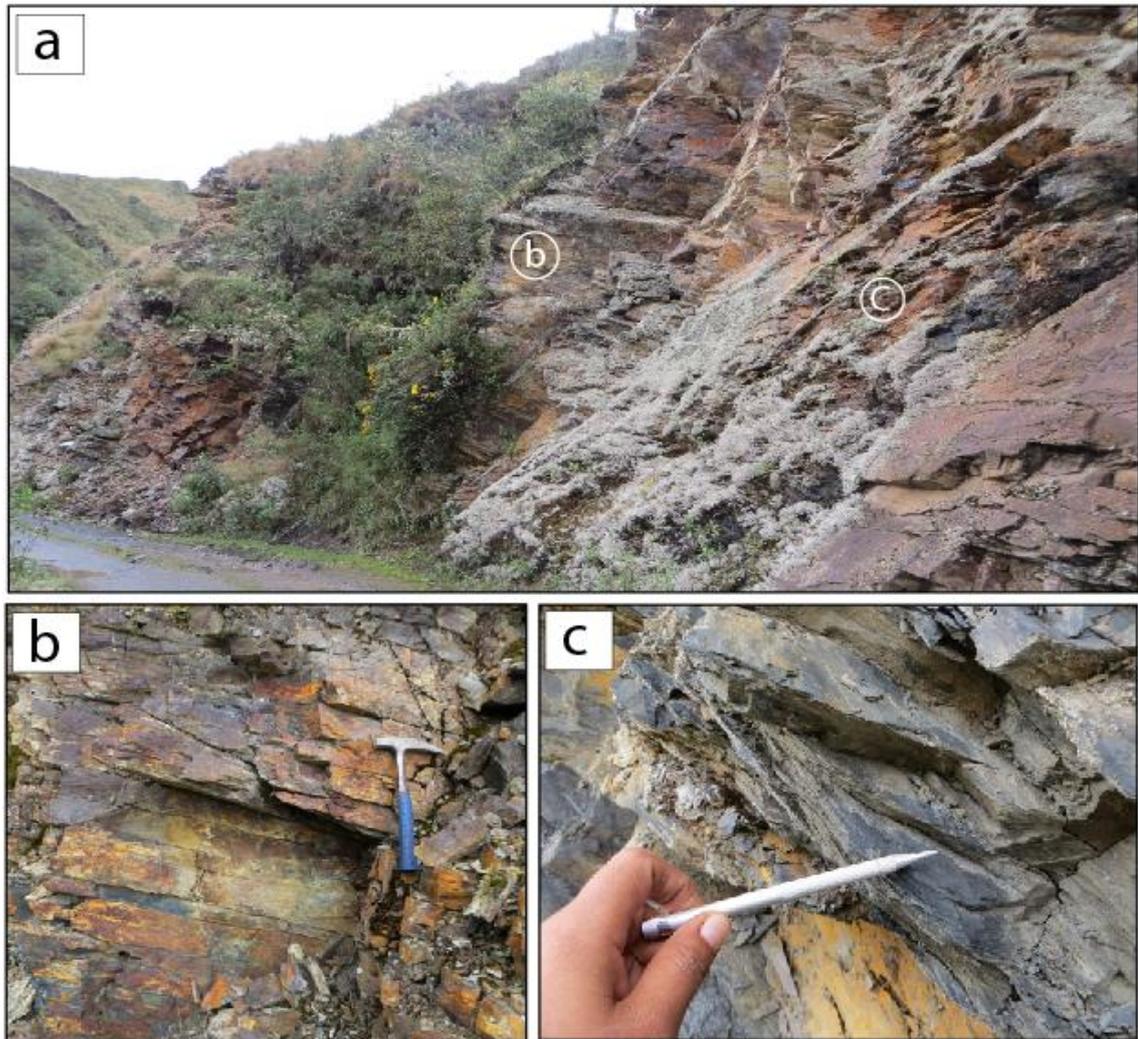


Figura 26. a. Afloramientos atribuidos al Grupo Ambo alrededores de la localidad de Pillcopampa; b. Vista ampliada de los afloramientos mostrados en la Figura a donde se observa areniscas grises laminadas con alteración débil de óxidos de hierro; c. Limolitas grises oscuras con laminación paralela a la estratificación. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B; Inédita de esta tesis.

4.3.5 Grupo Tarma

Definición y relaciones estratigráficas: Denominado así por Dumbar & Newell (1946), describiéndola como secuencias silicocalcáreas en el Perú central. Se observa afloramientos en el sector oeste del área de estudio (cuadrángulo de Limbani hoja 29x); siendo el contacto inferior con el Grupo Ambo progresivo y guardando la misma relación de contacto con el Grupo Copacabana.



Litología: Se han observado afloramientos entre las localidades de Usicayos y Tuntuchi donde está conformada por areniscas finas verdes, en estratos de 0.3 a 1.0 m, que pueden ser de textura masiva.

Cerca al contacto en el Grupo Copacabana las areniscas contienen matriz calcárea. Por otra parte, en los alrededores de la localidad de Occosiri (al este de Usicayos), está compuesto por secuencias de areniscas verdes o gris verdosas que se intercalan con estratos centimétricos de lutitas negras, las cuales por sectores pueden estar silicificadas y contener pirita diseminada.

Esta unidad litoestratigráfica también ha sido observada entre los cerros Chuntajatahui, Yana Orjo, Sonbreruni, Tacone, Botarrica. En los cerros mencionados, se encuentran suprayaciendo a una secuencia de areniscas grises con niveles centimétricos de carbón (Grupo Ambo), afloran areniscas cuarzosas grises de grano fino a medio. Se observan con estratificación tabular de hasta 30 cm. Cortando a ambas unidades se tienen vetas de Ag – Pb de dirección aproximada N170 (Figura 27a, 27b y 27c).

Edad y correlación: En trabajos realizados por Champion (en Harrinson, 1961), De la Cruz et al. (1996); se han reportado braquiópodos de los géneros *Linoproductus*, *Rhipidomella*, *Stereostylus*, *Kochiproductus* y flora fósil del género *Polypora*, que indican una edad que va desde el Carbonífero superior – Pérmico inferior. Monge & Zedano (1996) reportan en el Cerro Cocaña Orjo, Cuadrángulo de Limbani, calizas y areniscas calcáreas bastante fosilíferas que corresponde al Carbonífero Superior – Permiano, la paleoforma colectada son braquiópodos y moluscos como, *Linoproductus*, *Neospirifer* sp. *Neospirifer cameratus*, *Kochiproductus* cf. *Composita* sp. *Crurithyris* sp. *Lophophyllidium* sp. *Spiriferella* sp, y *Kochiproductus* cf. *K. peruvianus* (LEA).



Figura 27. a. Vista panorámica de afloramientos atribuidos al Grupo Tarma al este de Usicayos; b. Vista de detalle de afloramiento de areniscas laminadas de la figura a; c. Vista ampliada de muestra de areniscas laminadas del Grupo Tarma. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

4.3.6 Grupo Copacabana

Definición y relaciones estratigráficas: Descrita por Douglas (1920), como una secuencia calcárea pelítica en la localidad de Copacabana; el nombre Copacabana es sugerido por Cabrera & Petersen (1936); posteriormente Newell (1949) propone el empleo de Grupo Copacabana para estas secuencias.

Litología: Aflora al suroeste del área de estudio, en los cerros Soropata y Huayruruni con litología de calizas grises claras, con braquiópodos (Figura 28a, 28b y 28c), y eventualmente contienen venillas de calcita de 0,5 mm, con intercalación de calizas silicificadas en capas de 10 a 50 cm. Sobreyacen en aparente concordancia a una

potente secuencia de areniscas laminadas del Grupo Tarma. Además en algunos sectores sobreyace directamente en los afloramientos del Grupo Ambo en discordancia angular.

Edad y Correlación: Los estudios de flora y fauna fósil, De la Cruz *et al.* (1996), Chávez *et al.* (1997) reportan una edad Carbonífero superior (Pennsylvaniano)- Pérmico inferior; además en recientes trabajos realizados por Chacaltana *et al.* (2011) en la parte superior de la sección del Grupo Copacabana en la quebrada Quiteni (Pongo de Paquizapango) destaca la presencia de la especie *Composita subtilita peruviana* CHRONIC, que tiene un rango de edad del Sakmario (Pérmico inferior); tomando en cuenta estos datos paleontológicos y de posición estratigráfica se considera que el Grupo Copacabana tiene un rango de edad de Pennsylvaniano – Pérmico inferior.

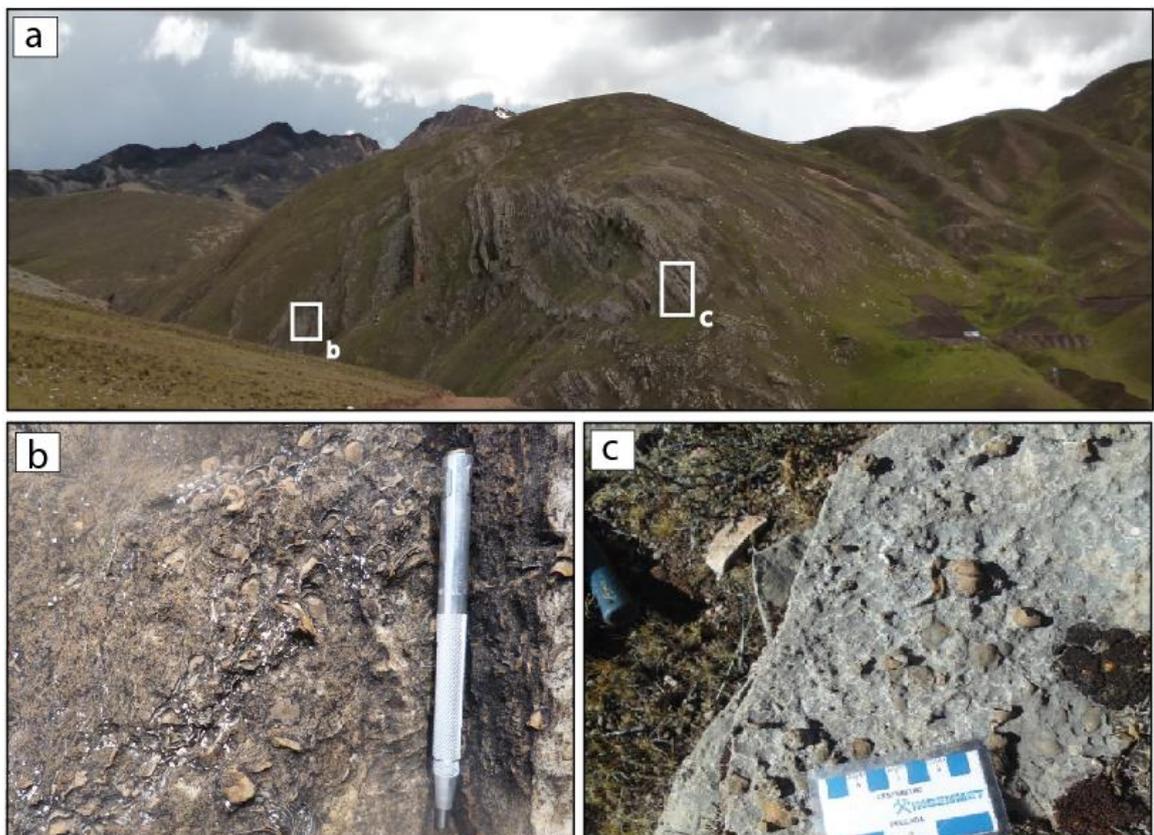


Figura 28. a. Calizas grises bandeadas por alrededores del Cerro Huayrurumi; b. Calizas parduscas con abundantes braquiópodos algunos con recristalización de calcita; c. Se observan calizas grises blanquecinas con braquiópodos en forma masiva. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

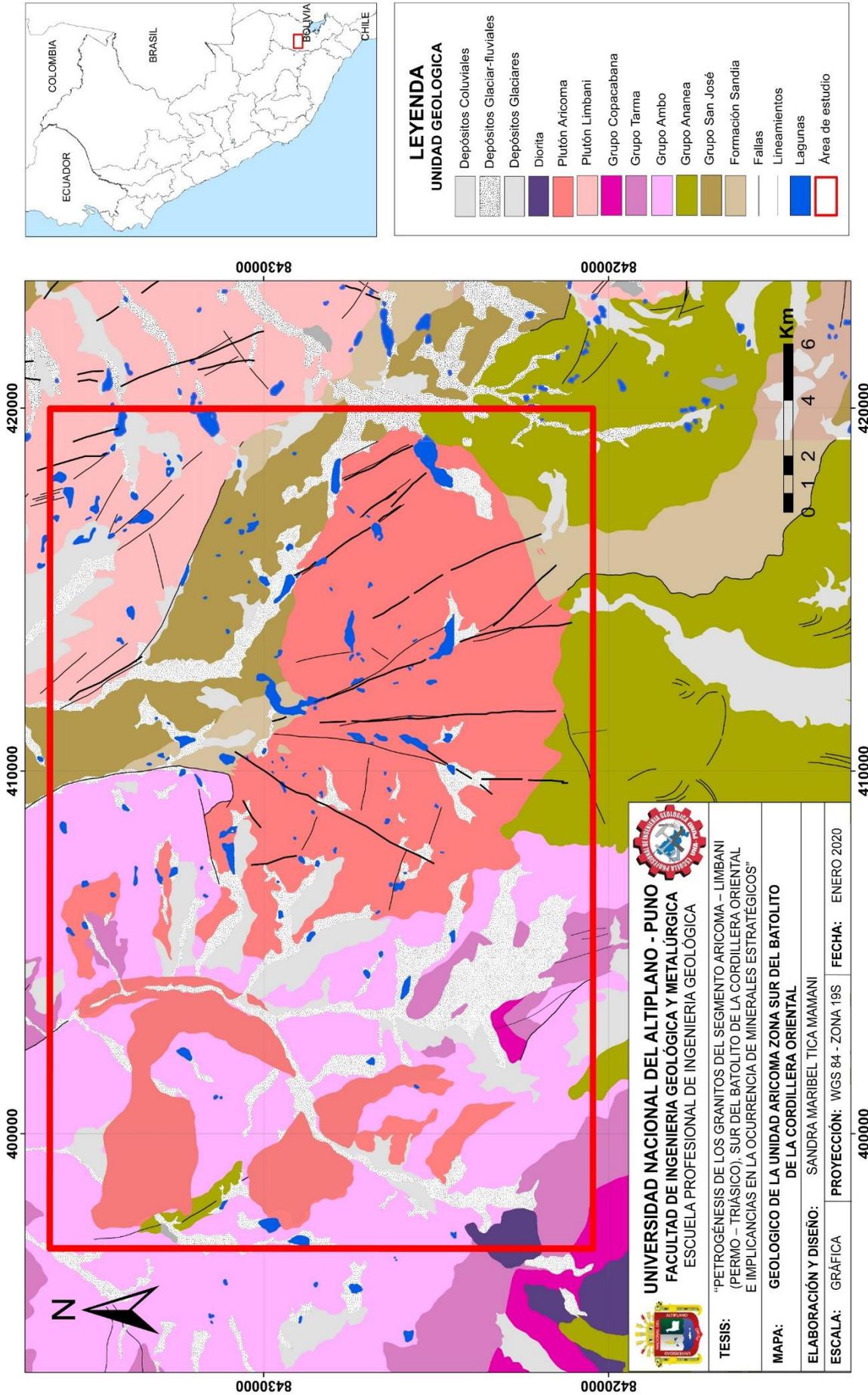


Figura 29. Mapa geológico mostrando las unidades litoestratigráficas del área de estudio. Fuente: INGEMMET-DGR-GR39B; Inédita de esta tesis.



CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 CARACTERIZACIÓN PETROLÓGICA Y PETROGRÁFICA

En este capítulo, se realiza la caracterización petrológica y petrográfica de la Unidad Aricoma (cuadrángulo de Limbani 29-x), en base al cartografiado geológico, tomando en consideración la variación de facies magmáticas, zonas de contacto, puntos de observación geológica (POGs), controles estructurales locales y regionales.

Se ha integrado los estudios petrográficos y la afinidad de firma geoquímica de roca total y química mineral, de 48 muestras de rocas, colectadas de las salidas de campo durante las tres campañas realizadas entre los años 2016-2017.

5.1.1 Rocas intrusivas

Las rocas intrusivas que afloran en el área de estudio (cuadrángulo de Limbani 29X), abarcan grandes extensiones, de forma elongada y con orientación andina (NW-SE). Kontak et al. (1985), determino que los plutones de Aricoma , Limbani y Coasa, pertenecen mismo sistema magmático, los cuales forman la parte sur del Batolito de la Cordillera Oriental, denominado anteriormente como Batolito de Carabaya. Luego Soberón, et al. (2017), al Plutón de Aricoma lo asciende a categoría de Unidad Aricoma, categoría que será empleada en la presente tesis.

5.1.2 Unidad Aricoma (235-228 Ma)

Inicialmente definido como Batolito de Aricoma por Laubacher, G. (1977), este cuerpo granítico presentan una extensión de 150 km², con una orientación noroeste – sureste con forma ovalada, el cual se halla emplazado en rocas sedimentarias y metamórficas paleozoicas.



Los trabajos realizados, han permitido determinar, una variación de facies litológicas como monzogranito, sienogranito y granodiorita (Figura 49). Así mismo se apreció dioritas los cuales se hallan como pequeños cuerpos aislados y colgados. También se observó metamonzogranitos en las zonas de contacto con rocas paleozoicas.

5.1.2.1 Petrología

5.1.2.1.1 Monzogranito

Esta litología se halla aflorando en los Nevados de Aricoma Chico, Ipante, Ancayoc Cucho, y en los cerros Colorado, Soropata Orjo, Achaparqui, Uyacha Pata, Corazón Loma, Tinajalane y Ascapunta. Los afloramientos se hallan formas ovaladas con una dirección preferente de noreste – sureste.

En la presente tesis de investigación se logró diferenciar dos tipos de monzogranitos en base a su granulometría. En el primer caso tenemos monzogranitos de grano grueso a medio que afloran en los sectores de Achaparqui (Figura 30a y 30c), Jarjachonta, Canhuancani, Huayna Potocchi, Chooñacota y Jarapata Cunca.

En el segundo caso tenemos monzogranitos de grano medio a fino que afloran en el flanco noreste de plutón en los sectores de Soropata Orjo, Corazon Loma, Uyacha Pata, Colorado (Figura 30b y 30d), Tenajillani y en los nevados de Ipante y Aricoma Chico.

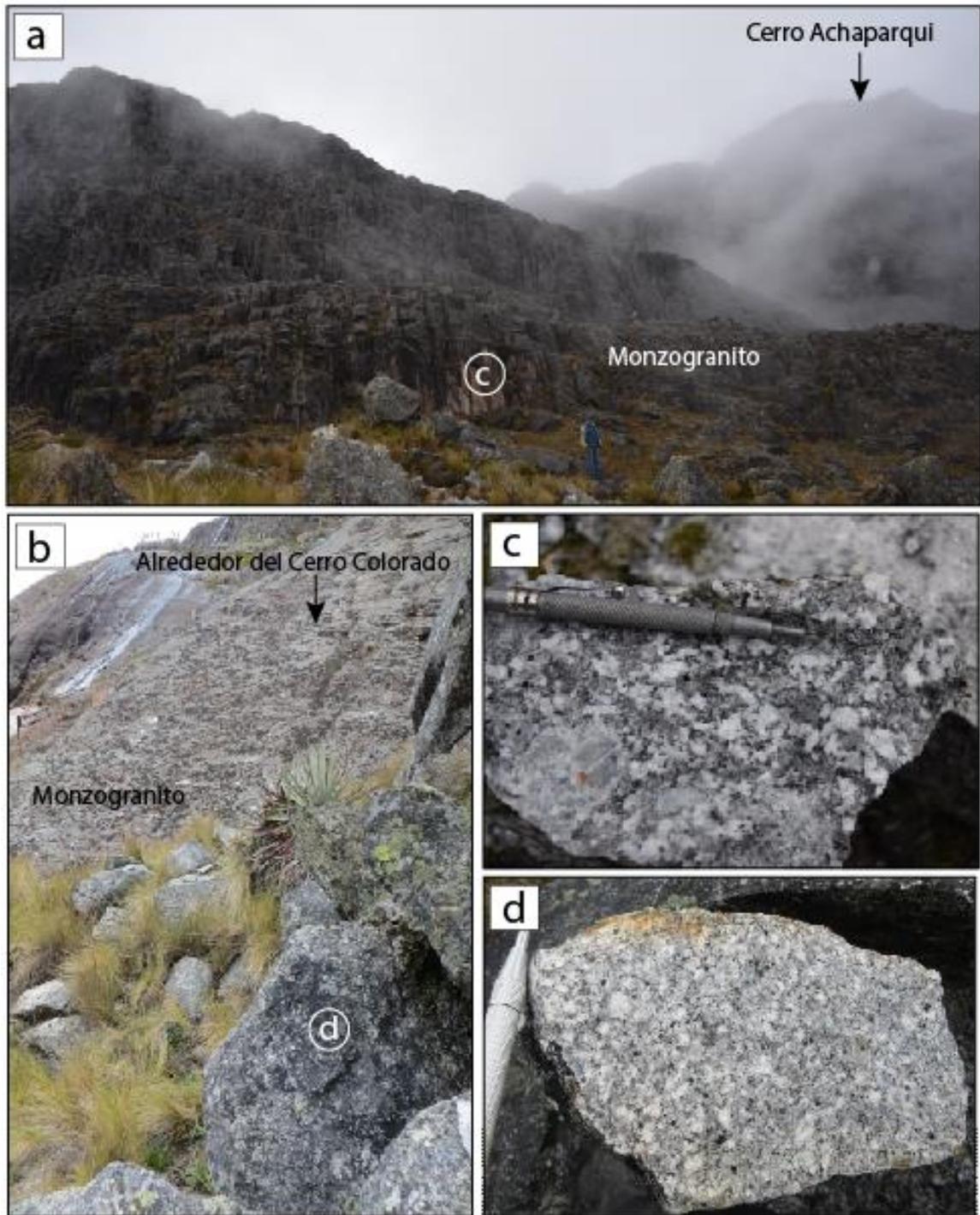


Figura 30. a) Vista panorámica del monzogranito de grano grueso en el Cerro Achaparqui al NW, se puede observar una fractura principal de 230/ 85 NW; b) Afloramiento de monzogranito de grano medio a fino alrededores del Cerro Colorado; c) Muestra de roca de monzogranito de grano grueso con cristales de plagioclasas de 1 cm, cuarzo de 1,5 cm, y feldespatos potásicos de 3 cm; d) Muestra de roca de monzogranito de grano medio a fino se observa cristales de plagioclasas menores a 1cm, cuarzo, feldespatos potásicos y biotita de 0,5 cm. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.



- **Monzogranito de grano grueso a medio**

Litología.- Presentan color gris blanquecino (mesocráta) de estructura isótropa, textura granular hipidiomórfica, compuesto por cristales de *plagioclasas* de 15 a 5 mm de formas subhedrales prismáticos de color blanco, algunos con macla polisintética; *feldespatos potásicos* de 24 a 4 mm, de formas subhedrales prismáticos de color blanco grisáceo, en algunos cristales se observa la macla Carlsbad, con inclusiones de cristales de biotita (Textura poiquilítica) (Figura 30a); *cuarzo* de 6 a 1,5 mm, de formas anhedrales a subredondeados de color hialino; *biotita* de 2 a 1 mm, subhedrales, tabulares, se hallan en forma de escamas, algunos ocurren agrupados por sectores en forma de cúmulos (Figura 31a y 31c).

- **Monzogranito de grano medio a fino**

Litología.- Son de color gris blanquecino (mesocráta) de estructura isótropa, textura granular hipidiomórfica, se halla constituido por cristales de *cuarzo* de 4 a 1 mm, anhedrales, algunos subredondeados (Figura 30d); *plagioclasas* de 6 a 2 mm, subhedrales prismáticos de color blanco algunos maclados; *feldespatos potásicos* de 16 a 4 mm, subhedrales prismáticos de color blanco grisáceo; *biotita* 1,5 a 0,5 mm, subhedrales tabulares de color negro a marrón, se hallan agrupados en forma de libros (Figura 31b y 31d).

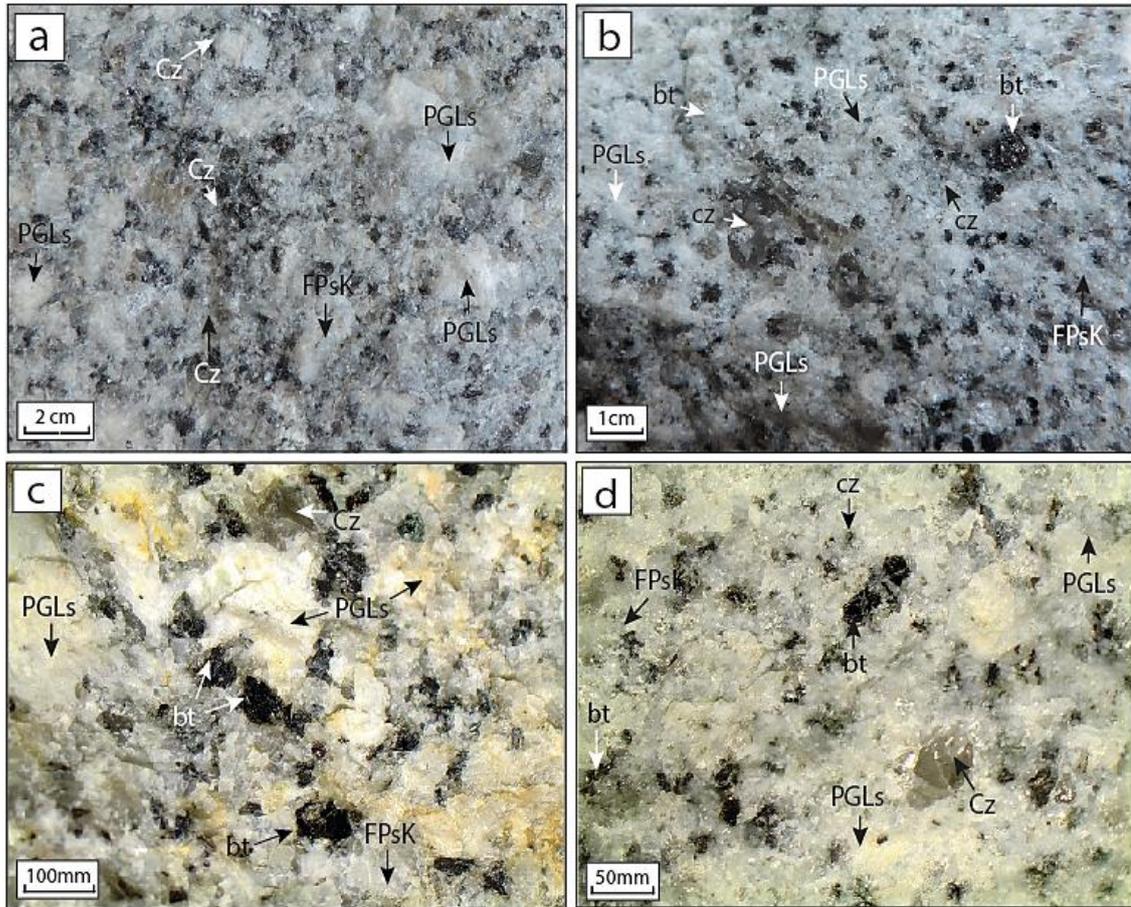


Figura 31. Muestras de roca de monzogranitos de grano grueso a medio y monzogranito de grano medio a fino. a) muestra GR39B-16-024 monzogranito de grano grueso a medio, se observan cristales de feldespatos potásicos con textura poiquilitica, plagioclasas prismáticas con macla polisintética, cuarzo anhedral y cristales de biotita inmersos entre los cristales; b) Muestra GR39B-16-006, monzogranito de grano medio a fino, presenta cristales de plagioclasas algunas con macla polisintética, feldespatos potásicos con inclusiones de biotita, cuarzo anhedral y cristales de biotita; c) muestra GR39B-16-027 monzogranito de grano grueso a medio, con cristales de plagioclasas subhedrales prismáticos, feldespatos potásicos prismáticos con macla Carlsbad, cuarzo anhedrales y cristales de biotita; d) muestra GR39B-17-119, monzogranito de grano medio a fino, fotomicrografía tomada con estereomicroscopio con aproximación de 10x, se aprecia cristales de cuarzo subredondeados, plagioclasas prismáticos, feldespatos potásicos y cristales de biotita. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

5.1.2.1.2 Relaciones de contacto del monzogranito

La prioridad de esta parte de la tesis es determinar la variación de facies magmáticas y las relaciones de contacto de las rocas intrusivas con sus rocas



encajonantes, por lo que a continuación, se plasman los mejores afloramientos donde se puede observar la forma, dirección e inclinación de los contactos.

- Sector Nevado de Aricoma Chico

En este sector se cartografió la relación de contacto entre las areniscas grises de grano medio a fino y pizarras grises oscuras de la Formación Sandia con los monzogranitos del Plutón de Aricoma (Figura 32a y 32a1).

El contacto tiene una dirección preferente N 27°, con un buzamiento de 45° E, donde se observó areniscas grises de grano medio a fino con granos de cuarzo < 0,5 mm, con alteración de óxidos de hierro por zonas (Figura 32b). Así mismo se determinó metamorfismo de contacto, debido a que los monzogranitos próximos a la zona de contacto presentan una textura bandeada con porfidobláastos de plagioclasas 10 a 2mm, feldespatos potásicos 8 a 2mm, cuarzo < 1.5 mm y biotita < 0.7 mm (Figura 32c).

- Sector Cerro Apacheta

Se observó la relación de contacto entre las areniscas grises de la Formación Sandia con los monzogranitos de la Unidad Aricoma (Figura 33a y 33a1), donde se observó zona de contacto con una dirección preferente N 312° con un buzamiento de 10°SW (Figura 33b), en el sector se observa metamorfismo de contacto, con halos de Silicificación las areniscas grises presentan recristalización de cuarzo con contacto suturado, en contacto con el monzogranito de grano fino (Figura 33c), donde se observa un grado de deformación de porfidobláastos de feldespatos potásicos 3 a 0,5 mm, plagioclasas de 2 a 0,7mm, cuarzo 1mm y biotita de $\leq 0,2$ mm de tamaño.



- **Sector Yurac Cancha**

Se observó la relación de contacto entre el monzogranito de grano grueso a medio (Figura 34b) con el sienogranito porfídico, en el cual resalta un sistema de diaclasamiento principal de N 20° con un buzamiento de 78° E (Figura 34a). Por alrededor de la Laguna de Cayrano se observó una veta pirita y calcopirita con una dirección N175° con un buzamiento 80° W el cual corta al sienogranito porfídico, en cual a su vez se aprecia diques de aplita de 1 m de espesor. Estos sienogranitos presentan megacristales de feldespatos potásicos de 7 a 3 cm, plagioclasas de 5 a 1 cm, cuarzo de 2 a 1 cm, biotita \leq 0,5 cm con diseminaciones de pirita (Figura 34c).

- **Sector Cerro Ascapunta**

En este sector y alrededor de la Laguna de Verdecocha, se observó zona de contacto entre el monzogranito de grano grueso a medio y el sienogranito de megacristales de feldespatos potásicos y plagioclasas con una dirección preferente de N 310° con buzamiento de 30°SW (Figura 34d, 34e y 34f). Así mismo el sienogranito se halla conformado por cristales de turmalina constituyendo la roca y en fracturas asociados con cuarzo II con alteración de óxidos de hierro como ilmenita.

También se observó areniscas grises verdosas con intercalación de pizarras grises oscuras de la Formación Sandia en contacto con el monzogranito donde se aprecia un ligero grado metamórfico con cristales de feldespatos potásicos, plagioclasas, cuarzo y biotita alineados.

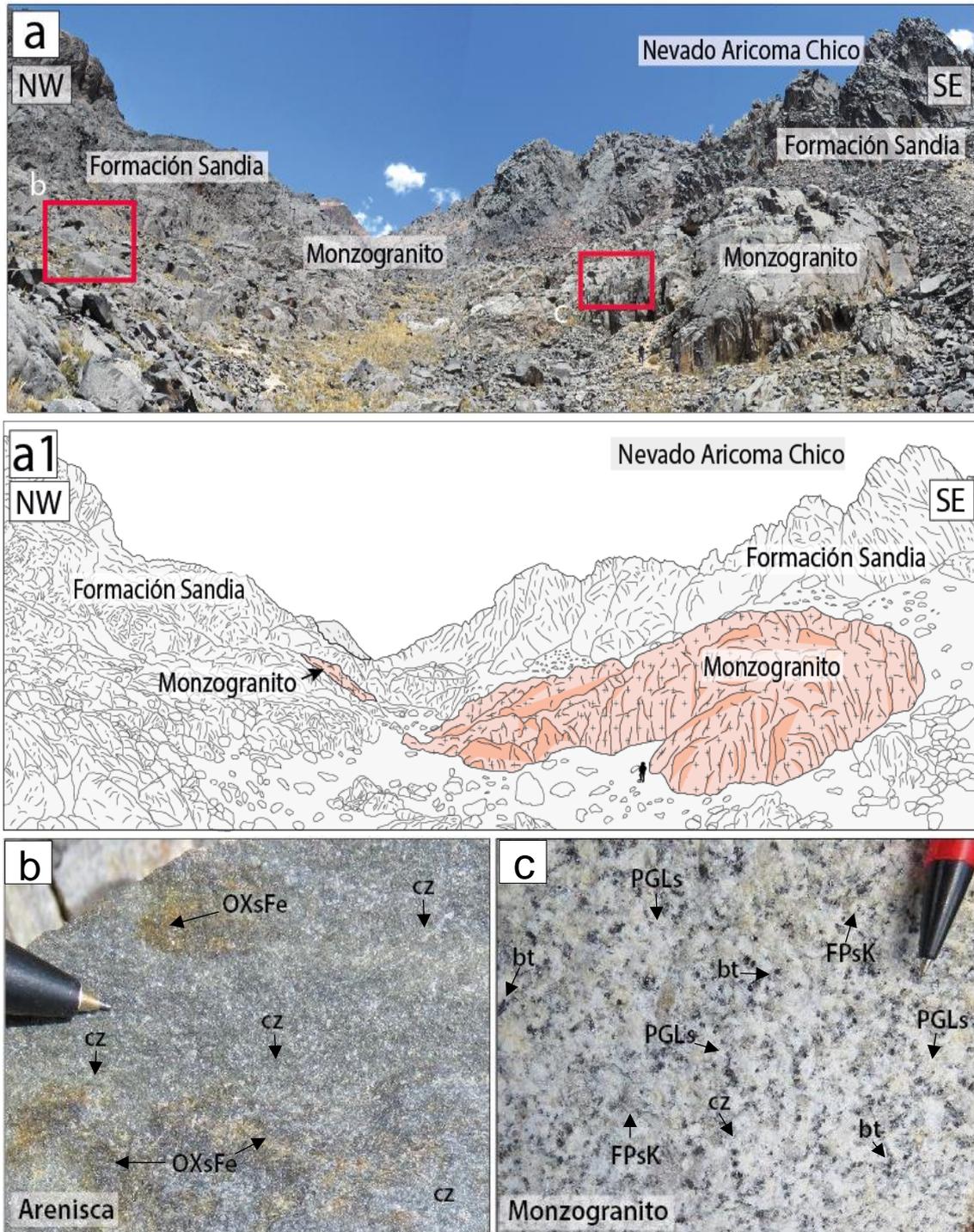


Figura 32. a) Fotografía del Nevado Aricoma Chico tomada con vista al noroeste, se aprecian afloramientos de areniscas grises de la Formación Sandía y monzogranitos del Plutón Aricoma. a1) Esquema litológico de la Figura 4.4a, se observa stock monzogranitos y la zona de contacto con la Formación Sandía; b) Se observa vista ampliada del afloramiento de areniscas grises constituida por cuarzo e impregnaciones de óxidos de hierro; c) Vista ampliada de los afloramientos monzograníticos leucócratas de grano medio, compuesto por plagioclasas, feldspatos potásicos, cuarzo y biotita. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

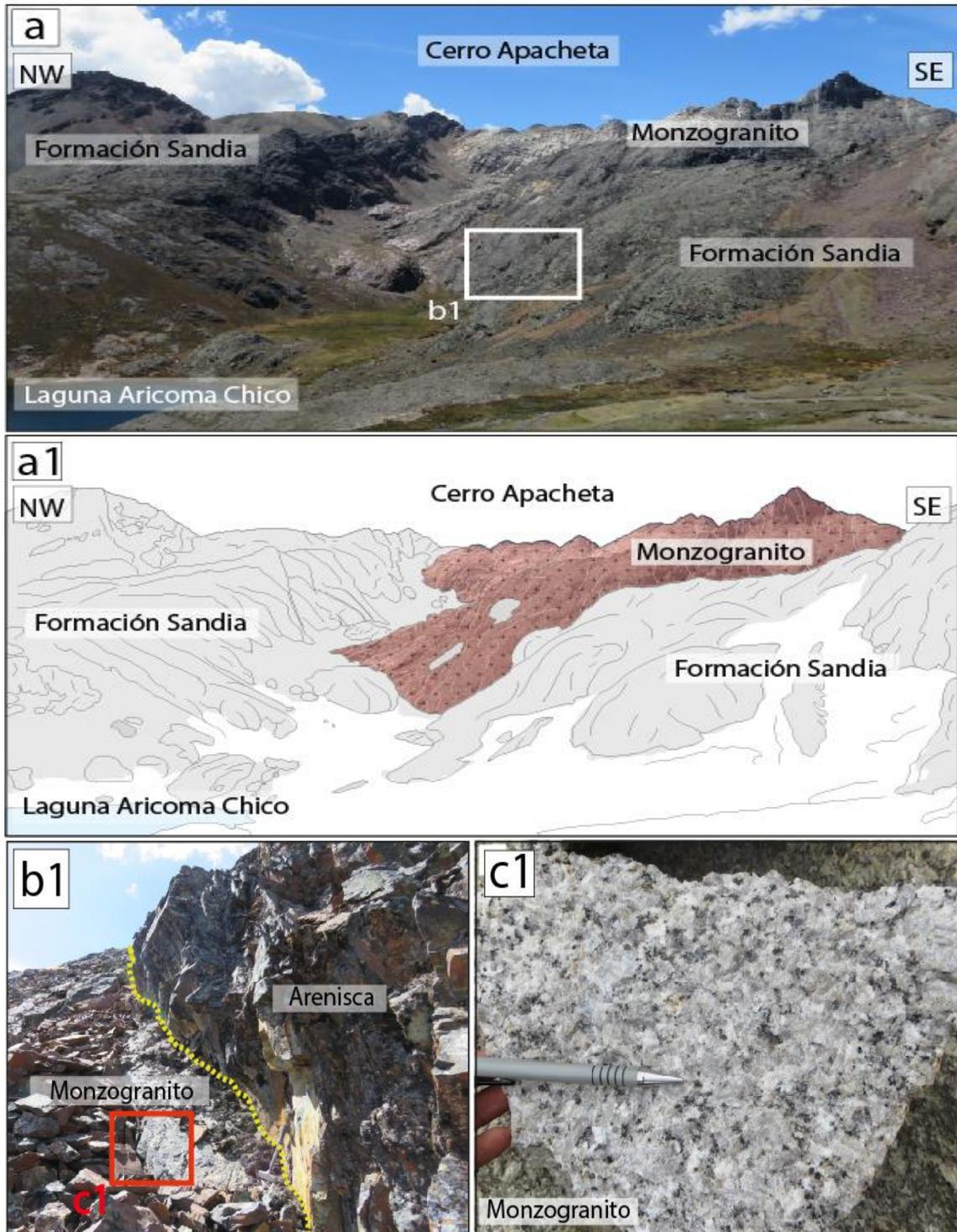


Figura 33. a) Vista del Cerro Apacheta con vista al noroeste, donde se aprecia afloramientos del monzogranito del Plutón Aricoma y las areniscas grises de la Formación Sandia; a1) Esquema litológico de la fotografía A, donde se aprecia, zonas de contacto entre el monzogranito y las areniscas grises de la Formación Sandia; b) Se observa zona de contacto entre monzogranito y areniscas grises de la Formación Sandia; c) Monzogranito leucocrata de grano medio, compuesto por plagioclasas, feldespatos potásicos, cuarzo y biotita. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

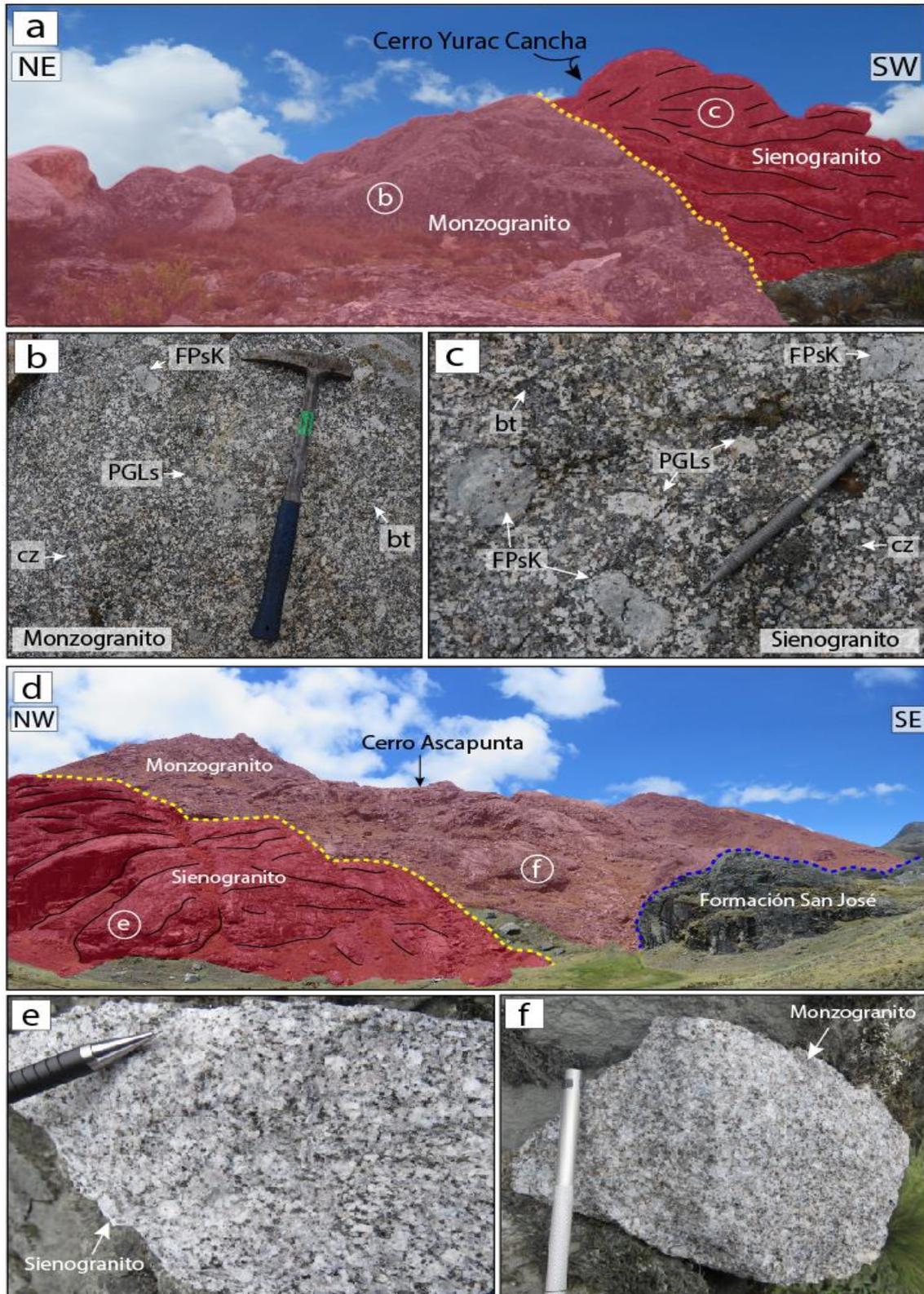


Figura 34. a) Vista de la zona de contacto del monzogranito y sienogranito en el Cerro Yurac Cancha; b) Muestra de roca de monzogranito con textura equigranular; c) Muestra de roca de sienogranito con megacrismas de feldespatos; d) Se observa zona de contacto del sienogranito (e) y monzogranito (f), por alrededores del Cerro Ascapunta. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.



- Sector Cerro Colorado

En este sector se cartografió la relación de contacto entre las pizarras gris oscuras del Grupo San José y los monzogranitos del Plutón de Aricoma. El contacto tiene una dirección preferente N 10° (Figura 35a), con buzamiento de 53° E (Figura 35b) y se considera contacto fallado en base a la presencia de milonitas a lo largo del contacto.

En cuanto al metamorfismo de contacto, las pizarras se encuentran fuertemente crenuladas, esquistosas N 25° /70° S y presentan venillas de cuarzo N 25°; mientras que los monzogranitos (Figura 35c) en la zona de contacto presentan textura bandeada, granoblástica; los cristales de feldespatos potásicos, son el principal constituyente de las bandas.

Los cristales de cuarzos se presentan de manera individual <1.5 mm y se encuentran en forma de porfidoblóstos (Figura 35b1) y los cristales de biotita se aprecian en forma aislada.

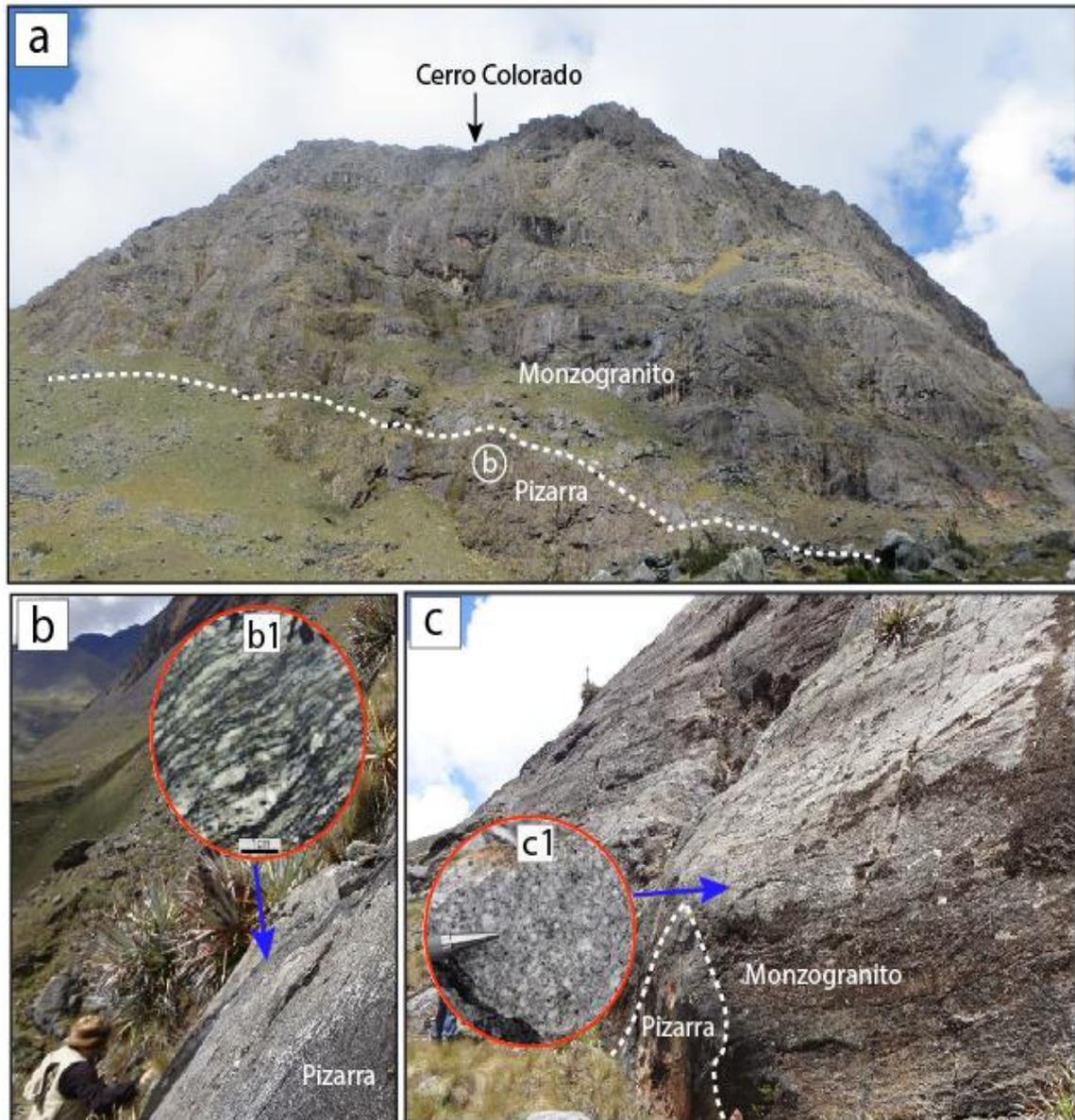


Figura 35. a) Vista panorámica del contacto entre las pizarras del Grupo San José y los monzogranitos de grano medio a fino del Plutón de Aricoma en el Cerro Colorado; b) Zona de contacto del monzogranito de grano medio a fino con las pizarras grises, donde se aprecian milonitas (b1) con blástos de feldespatos potásicos, plagioclasas y cuarzo englobados por cristales de biotita; c) Afloramiento de monzogranitos compuestos de cristales de feldespatos potásicos, plagioclasas, cuarzo y biotita. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

5.1.2.1.3 Sienogranito

Se encuentra aflorando en los cerros Mojinete, Tambillo, Uzumayu (Figura 36a y 36b), Uscuruqui, Silicucho, Carrizal, Pilcopampa, Mojinete, Saco, Luichio Cancha,



Pacchapata, Calacruz, Jaico, Canaca Punca, Tarpata Orjo y alrededores de los cerros Uchuy Canchapata, Arapatico, Sororumi, Pahuilune (Figura 36d y 36d1), Yurac Cancha y Catchela. Se hallan aflorando en formas ovaladas con dirección preferentemente noreste – sureste, con un sistema de diaclazamiento de N 110° /60° SE. Se hallan en contacto con monzogranito de grano grueso a medio.

En el Cerro Pahuilune se observó y cartografió el contacto entre los monzogranitos del Plutón de Aricoma y las areniscas de la Formación Sandia, el contacto se encuentra a lo largo de una falla inversa de dirección N 75° y buzamiento 22° NO (Figura 36d y 36c).

Estos sienogranitos presentan texturas rapakivi y perítica los cuales se hallan mejor expuestos en el Cerro Uzumayu por los alrededores de la Mina Sarita (Figura 37a, 37b, 37c, 37d y 37e).

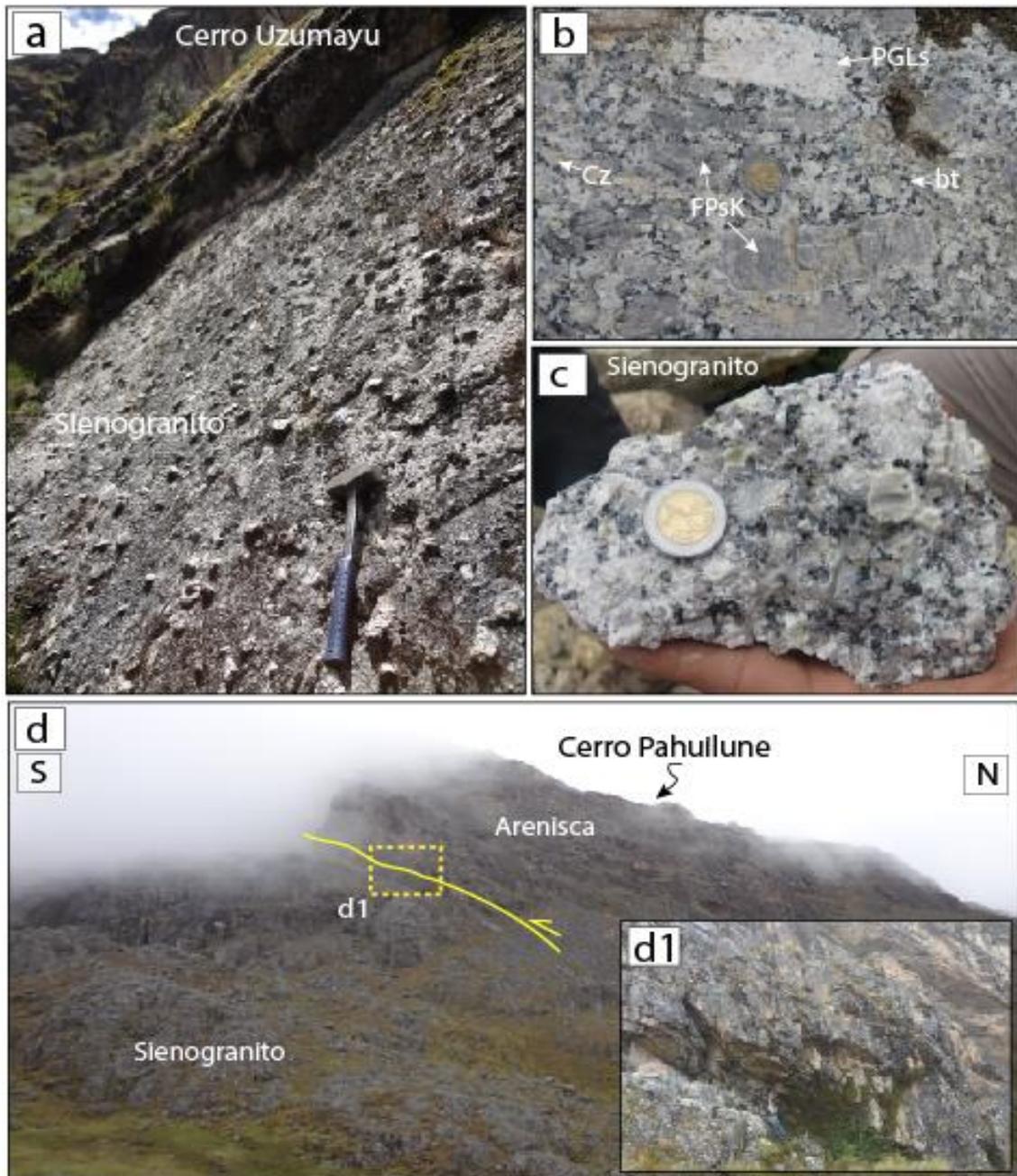


Figura 36. a) Vista del afloramiento de sienogranitos del Cerro Uzumayu, con una erosión esférica; b) Fenocristales de feldespato potásico de 8-10 cm, plagioclasas de 7 a 9 cm, cuarzo de 1 a 0,5 cm y biotita 0,5cm; c) muestra de mano de sienogranito del Plutón de Aricoma; d) Vista panorámica del Cerro Pahullune se plasma contacto entre los sienogranitos del Plutón de Aricoma y las areniscas grises de la Formación Sandia, el contacto se encuentra a lo largo de una falla inversa de dirección N 75° y buzamiento 22° NO; d1) Vista ampliada del contacto fallado entre la Formación Sandia y el sienogranito. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

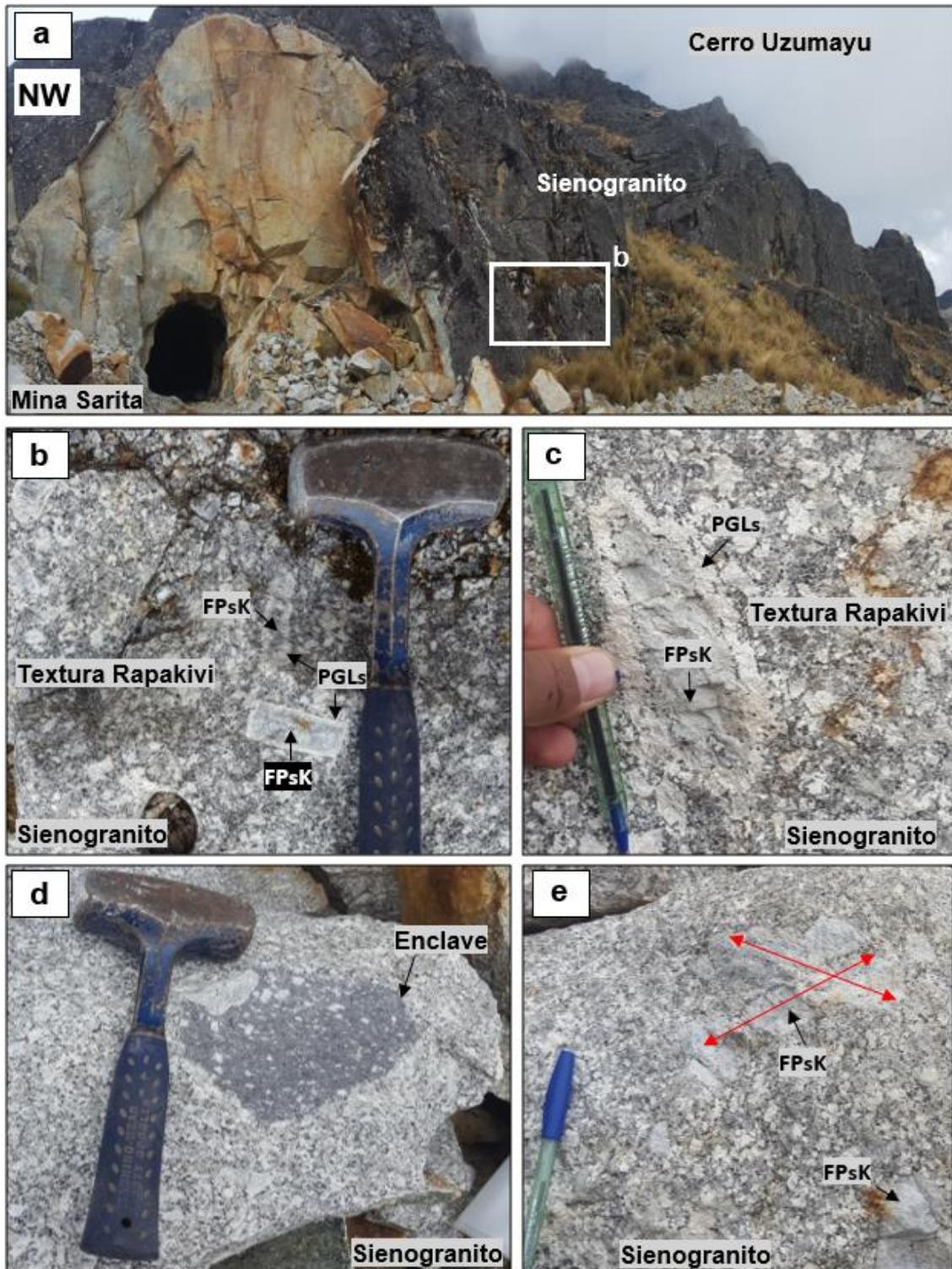


Figura 37. a) Afloramiento del sienogranito en el Cerro Uzumayu con vista al noroeste, en la Mina Sarita, donde afloran sienogranitos con megacrystales de feldespatos potásicos; b y c) Sienogranito con megacrystales de feldespatos potásicos, con tamaños de 3 a 9 cm, con textura rapakivi, cuarzo, plagioclasas y biotitas; d) Sienogranito leucocrata con enclaves de composición diorítica; e) Sienogranito con megacrystales de feldespatos potásicos, con tamaños de 3 a 8cm, con macla de cruz. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

Litología.- se hallan constituido principalmente por megacrystalos de feldespato potásico con tamaños de 12 a 2 cm, con textura rapakivi (Figura 38a), otros con textura poiquilitica (Figura 38b); plagioclasas con tamaños de 6,6 a 0,7 mm, prismáticos con macla polisintética; cuarzo con tamaños de 2,9 a 0,06 mm, algunos subredondeados; cristales de biotita de tamaños de 2,8 a 0,2 mm, se hallan agrupados por sectores (Figura 38c y 38d). Presenta eventualmente anfíboles con tamaños de 0,6 a 0,24 mm y moscovita con tamaños $\leq 0,3$ mm. Así mismo se observa diseminación de piritita de manera débil.

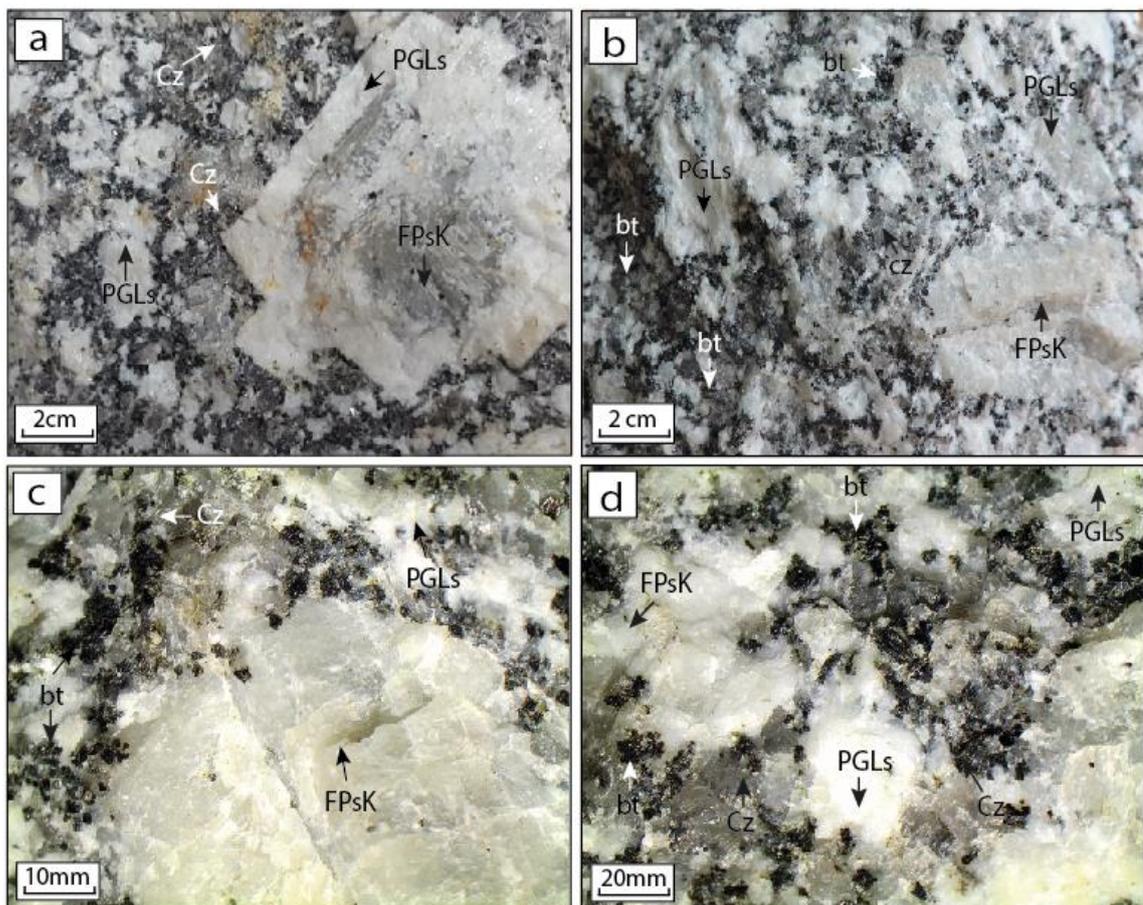


Figura 38. a) muestra GR39B-17-140 sienogranito de grano grueso a medio, compuesta por megacrystalos de feldespato potásico con textura rapakivi y poiquilitica, plagioclasas, cuarzo intergranular y biotitas agrupadas por sectores; b) Muestra GR39B-16-050 se observan megacrystalos de feldespato potásico con inclusiones de biotita con textura poiquilitica, plagioclasas, cuarzo y biotita; c) muestra GR39B-16-057 megacrystalos de feldespato potásico con macla de Carlsbad, cristales de biotita, plagioclasas y cuarzo; d) muestra GR39B-17-133, plagioclasas, feldespato potásico con macla de Carlsbad, cuarzo intergranular y biotita. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

5.1.2.1.4 Relaciones de contacto del sienogranito

Los sectores mejores expuestos de sienogranito se hallan en los centros poblados cerros de Tarpata Orjo, Uscuruqui Huayjo, Arapatico, Pacchapata, Carhuapata, Mojinete, Parahuin Orjo y Pillcopampa donde se puede observar la forma, dirección e inclinación de los contactos y serán descritas a continuación.

- Sector Tarpata Orjo

En este trayecto se observó la relación de contacto entre las areniscas grises del Grupo Ambo y los sienogranitos del Plutón de Aricoma. En el cerro Tarpata Orjo (Figura 39a), las areniscas se encuentran como techos colgantes (roof pendants), mientras que en la Quebrada Uscuruqui Huayjo (Figura 39b), se encuentran los mejores afloramientos de rocas intrusivas; Los intrusivos son de textura porfídica y de color gris claro, compuestos principalmente por cristales de cuarzo redondeado, cristales desarrollados de feldespatos de hasta 5.5 cm de forma alargada y tabular en algunos casos con textura rapakivi, cristales de turmalina de forma aislada, las plagioclasas presentan una forma tabular, los cristales de biotita se encuentran de forma dispersa y en algunos casos alterados a clorita. Se pueden observar diques de aplitas de textura granular de color gris blanquecina y enclaves diorítico (Figura 40), cristales de turmalina en vetillas. Figura 39b (a1), así como también cristales de sulfuros (Pirita).

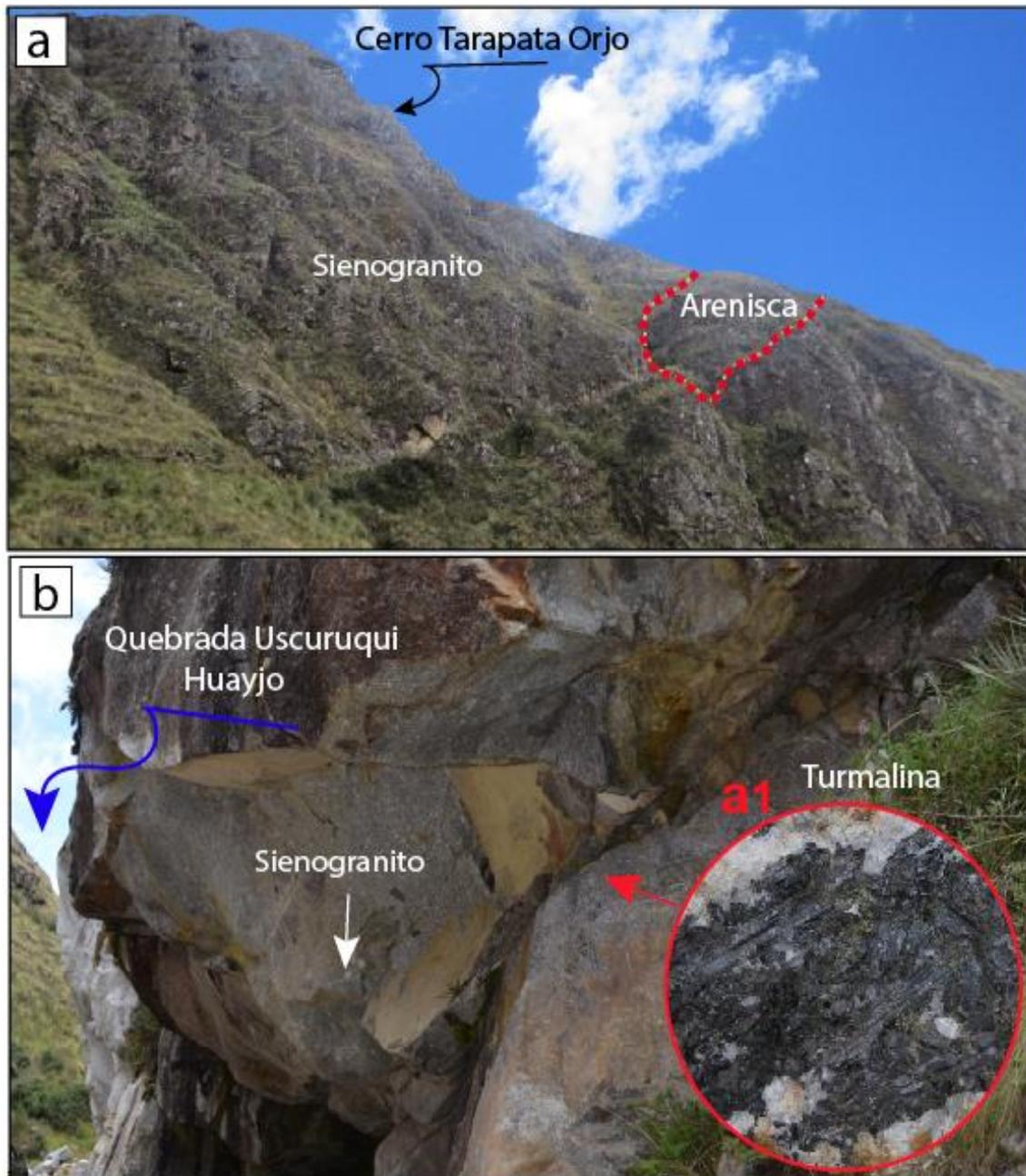


Figura 39. a) Vista panorámica del contacto entre las areniscas del Grupo Ambo y los sienogranitos del Plutón de Aricoma; b) Afloramiento de sienogranito en la Quebrada Usquiriqui Huayjo, donde se observan cristales de turmalina (a1). Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.



Figura 40. Afloramiento del sienogranito en la Quebrada de Uscuruqui se observa diques de aplita de 3cm de espesor, se halla cortando a sienogranito y al enclave diorítico. Así mismo se observa megacristales de feldespatos potásicos con textura rapakivi de 4 cm. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

- Sector Cerro Arapatico

En esta zona el sienogranito porfídico, se halla en contacto con limolitas grises oscuras a negras y areniscas grises oscuras de grano fino a medio del Grupo Ambo con una dirección principal de N 41° con buzamiento 43° NE.

El sienogranito mesocráta presenta cristales de feldespatos potásicos de 5 a 2,5 cm con inclusiones de biotita, plagioclasas con macla polisintética de 3,5 cm cristales de biotita 0,4 cm de habito hexagonal dispersos y formando cúmulos. Cristales de cuarzo subredondeados a redondeados, fracturados ocurren de manera intergranular y turmalina con hábitos prismáticos, aciculares de ≤ 2 cm, se hallan constituyendo la roca y en venillas de 0,2 cm junto con cuarzo. (Figura 41a, 41b y 41c).



Figura 41. a) Vista panorámica del Cerro Arapatico de sienogranito con megacristales de feldespatos; b) Afloramiento de sienogranito alrededores de Arapatico; c) Muestra de roca de sienogranito con megacristales de feldespatos potásicos, plagioclasas, cuarzo intergranular y cúmulos de biotita muestra GR39B-16-054. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

- Sector Mojinete – Parahuin Orjo – Pillcopampa

En los alrededores de Cerro Parahuin Orjo (Figura 42a, 42b y 42c), el sienogranito porfirítico, ocurren con megacristales feldespatos potásicos de 5 a 3 cm, con textura Pertítica y Rapakivi (Figura 42a1), plagioclasas de 4 a 2 cm con textura Poiquilítica (Figura 42e), cuarzo de 0,5 cm de forma redondeados a subredondeados, cristales de biotita de 0,3 cm en forma de libros y agrupados por sectores (Figura 42d y 42e). Alrededores de Mojinete el sienogranito, se halla con una fractura principal de N 160°



con un buzamiento de 72° W, de cuarzo y turmalina con impregnaciones de óxidos de hierro.

Alrededores del centro poblado de Pillcopampa, el sienogranito presenta cristales de feldespatos potásicos, plagioclasas, cuarzo, turmalina y cristales de biotita cloritizadas. La roca presenta una alteración débil de arcillas y óxidos de hierro. Así mismo se hallan venillas de cuarzo y turmalina con una orientación de N 108° con buzamiento 45° N y N 104° con buzamiento 82° S.

- **Sector Pacchapata – Carhuapata - Uscuruqui**

En los alrededores de Majares, Pacchapata, Uscuruqui y en el Cerro Carhuapata (Figura 43a), el sienogranito mesocráta se halla constituido por cristales subredondeados a redondeados de cuarzo, cúmulos de cristales de biotita en forma de libros, megacristales de feldespatos potásicos de 3 a 0,5 cm con habito prismático con eventuales inclusiones de biotita (Figura 43b y 43c). Alrededores de Uscuruqui el intrusivo sienogranítico, presenta una fractura principal con una dirección de N 104° con un buzamiento de 82° S, rellenas de cuarzo y turmalina recristalizados.

En el cerro Pacchapata se observa sienogranito de grano fino con abundante turmalina primaria propio del intrusivo y en venillas paralelos a una fractura principal con orientación N 125° con un buzamiento de 66° N. En el centro poblado de Saco se observa sienogranito de grano medio a fino mesocráta rico en turmalina con alteración moderada de arcillas y óxidos de hierro. Así mismo se observó fracturas de turmalina, cuarzo, casiterita y piritita con una dirección preferencial de N 50° con un buzamiento 80° S. Así mismo en el intrusivo presenta venillas de turmalina con una orientación de N 105° con buzamiento 82° S y N 125° con 76° N.

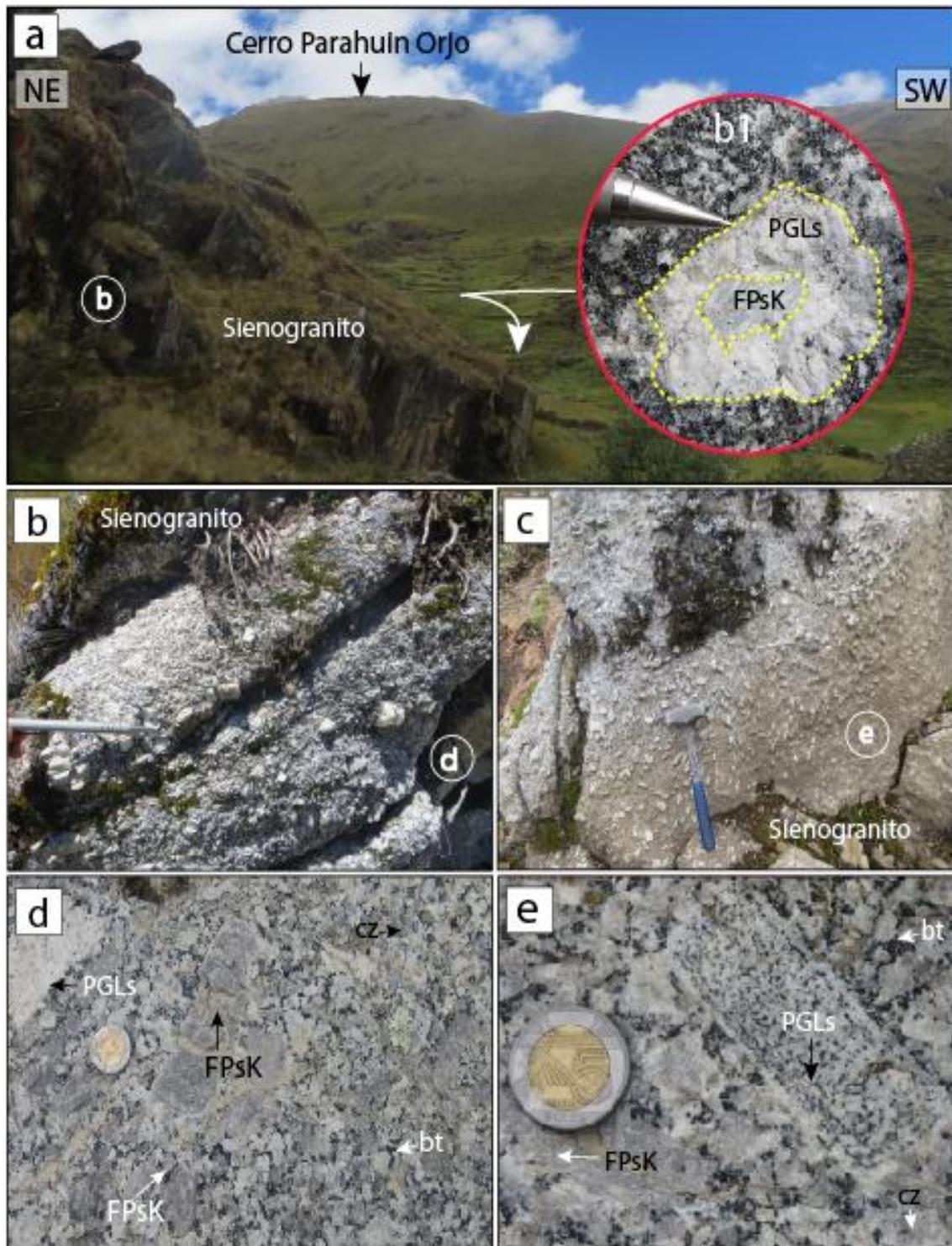


Figura 42. a) Vista panorámica del Cerro Parahuin Orjo donde aflora el sienogranito con megacristales de feldespatos potásicos con textura Rapakivi (b1); b y c) Afloramiento de sienogranito con megacristales de feldespatos potásicos de 4 a 2 cm, plagioclasas de 6 a 3 cm con inclusiones de biotita con textura Poiquilítica; d y e) Muestra de roca de sienogranito con megacristales de feldespatos potásicos perfitico, plagioclasas con textura poiquilítica, cuarzo intergranular y cúmulos de biotita muestra GR39B-16-061 y GR39B-16-062 y GR39B-16-063. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

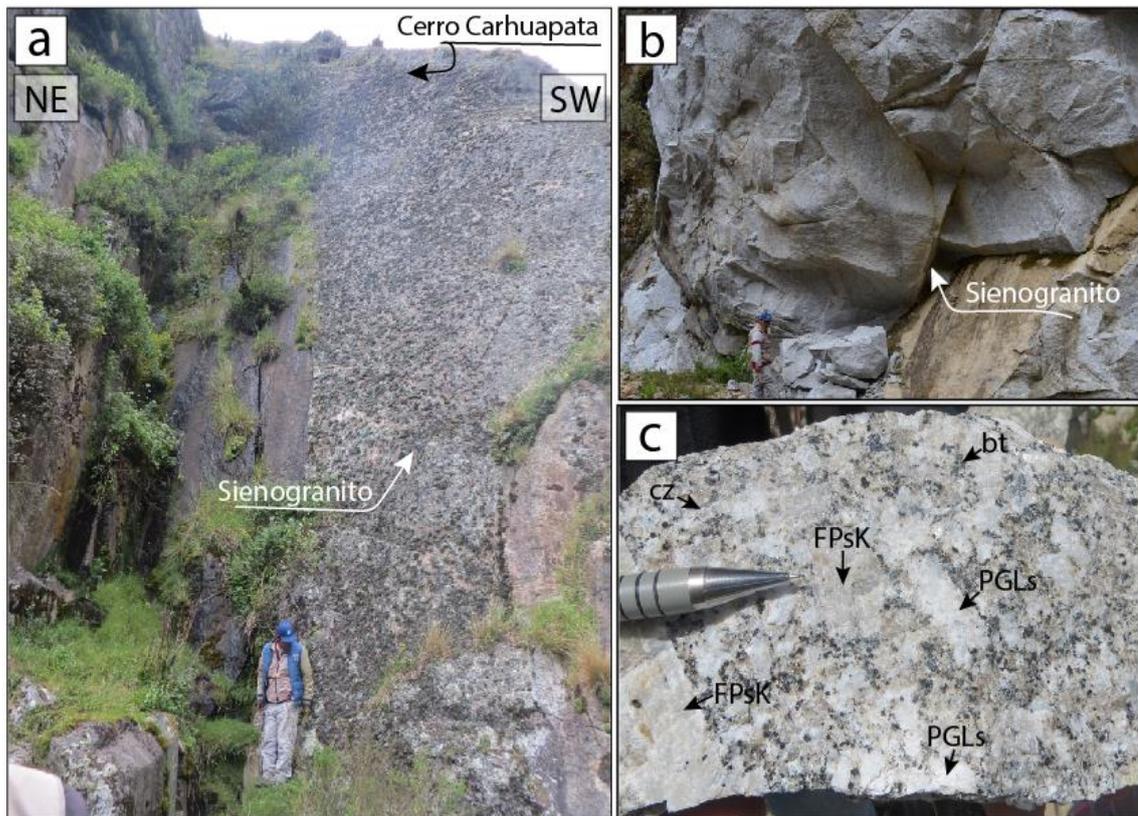


Figura 43. a) Afloramiento del sienogranito en el Cerro Carhuapata con vista al noreste y suroeste; b) Afloramiento de sienogranito de grano medio a fino en la Quebrada de Carhuapata; c) Muestra de roca con megacristales de feldspatos potásicos de 3 a 2 cm, plagioclasas con 5 a 2 cm algunos con inclusiones de biotita, cuarzo intergranular y cúmulos de biotita de 0,5 cm por sectores. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

5.1.2.1.5 Granodiorita

La granodiorita es un cuerpo aislado se halla aflorando en los cerros Quillo (Figura 44a), Silicucho, Jachauerina y alrededores de Uscuruqui, es un cuerpo de forma subredondeado con dirección preferentemente noreste – sureste con fractura principal de $220^{\circ}/73^{\circ}$ NW presenta intrusiones de monzogranito y sienogranito.

La roca presenta una alteración incipiente a débil de arcillas e impregnaciones de óxidos de hierro por zonas. También se aprecian venillas de cuarzo con una dirección principal de $N 45^{\circ}$ con buzamiento de 72° SE. En este lugar se aprecia una zona de transición de granodiorita con el sienogranito donde se observa megacristales de



feldespatos potásicos, cristales de cuarzo subredondeado. La diferencia entre ambos tipo de roca en el afloramiento es el grado de fracturamiento, la granodiorita se hallan muy fracturadas y intruidas por el sienogranito el cual presentan un ligero diaclazamiento.

Litología. - Constituido por cristales de *plagioclasas* con tamaños de 20 a 0,5 mm, prismáticos, con macla polisintéticas, algunos zonados; *cuarzo* con tamaños de 6,0 a 0,2 mm, con bordes irregulares, redondeados a subredondeados, algunos fracturados; *feldespatos potásicos* con tamaños de 4,2 a 0,24 mm, prismáticos, con macla de Carlsbad y *biotita* con tamaños de 2,0 a 0,2 mm, escamosos, hexagonales y tabulares, algunos presentan alteración de cloritas, se hallan agrupados por sectores.

También se observa disseminación de cristales de *pirita* con tamaños de 0,1 mm por zonas (Figura 44b y 44c). La roca presenta enclaves de diorita de forma subredondeados a subangulosos.

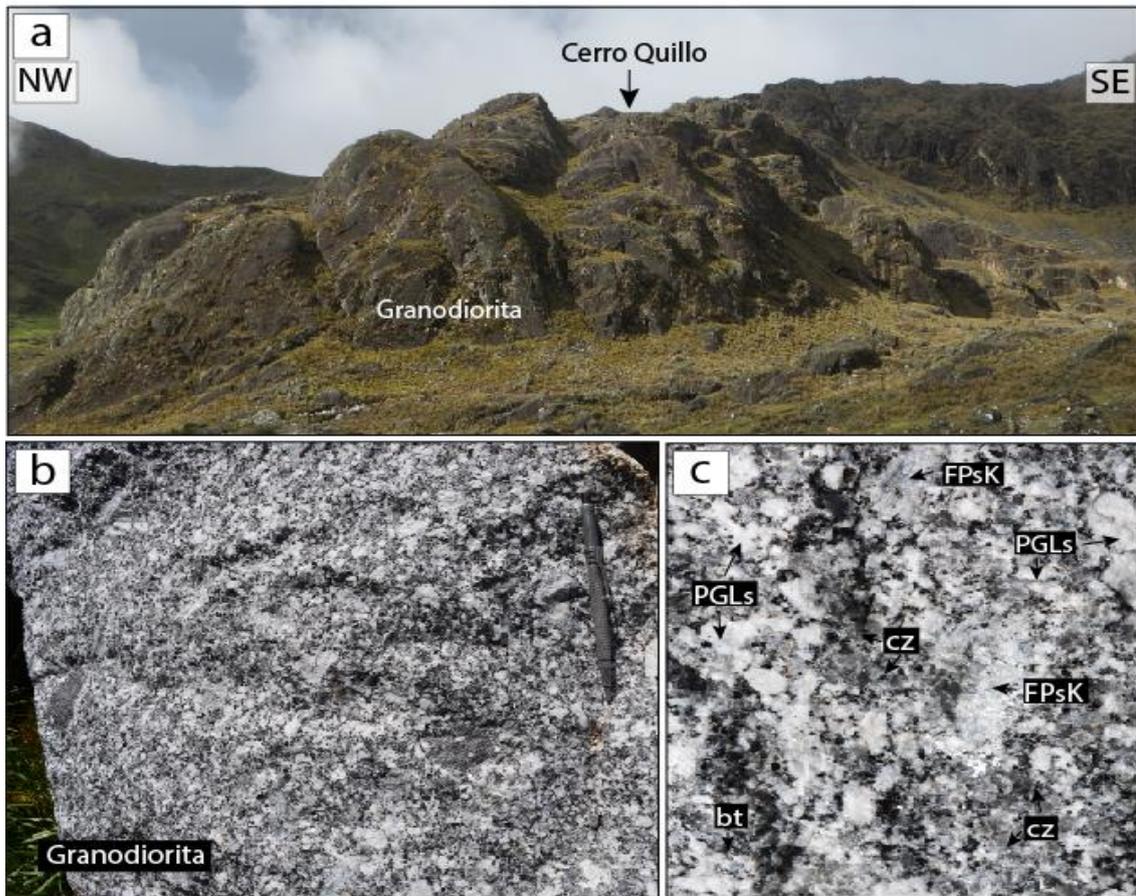


Figura 44. a) Vista al sur-este del afloramiento de la granodiorita en el Cerro Quillo; b) Muestra GR39B-16-017, se observan cristales de plagioclasas de habito prismáticos con macla polisintética; cuarzo intergranular, feldespatos potásicos con macla de Carlsbad y cristales de biotita; c) muestra GR39B-16-019 presentan cristales de plagioclasas prismáticos con macla polisintética, cuarzo intergranular, feldespatos potásicos con macla de Carlsbad y cúmulos de biotita por zonas. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

5.1.2.1.6 Metamonzogranito

Estas rocas afloran en las zonas de contacto con la roca caja con la formaciones Sandia, San José y Ananea hacia al NE y SE del área de estudio. Se trata del monzogranito deformado y bandeado con una dirección de N 60° con un buzamiento de 30° E, el cual presenta una granulometría media a fina con recrystalización de cuarzo, en algunos casos presentan lineamientos de porfidobláastos de plagioclasas, feldespatos potásicos, cuarzo y biotita. También se observa vetas de 30 cm de espesor compuesta de sulfuros como bornita, pirita, pirrotina y calcopirita.



5.1.2.2 Petrografía

Los estudios petrográficos, permitieron clasificar rocas ígneas con litologías de monzogranito, sienogranito, granodiorita y metamonzogranitos en las zonas de contacto por alrededores de la laguna Aricoma. Las variaciones litológicas presentan estudios petrográficos detallados los cuales se encuentran en el Anexo B: (B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7 y B8). Las variaciones litológicas mencionadas líneas arriba serán descritas a continuación:

- Monzogranito

Roca ígnea plutónica de textura granular hipidiomórfica, se encuentra constituida por cristales de *Plagioclasas* 32% con tamaños de 8 a 2mm, de formas subhedrales, prismáticos con macla polisintética, algunos zonados, presentan con alteración débil de arcillas y sericita. *Feldespatos potásicos* 29 % con tamaños de 7 a 1,6 mm, de formas subhedrales y anhedrales con bordes irregulares, con macla de Carlsbad, se hallan con inclusiones de biotita, cuarzo y plagioclasas con textura poiquilitica, con exoluciones de plagioclasas en forma de venas con textura pertítica, Se hallan con alteración de débil de arcillas. *Cuarzo* 25% con tamaños de 4 a 1,2 mm, de formas anhedrales con bordes irregulares, microfracturados con extinción recta a ondulante, algunos con inclusiones de apatito. *Biotita* 12% con tamaños de 3,0 a 0,6 mm, de formas subhedrales, tabulares con inclusiones de zircón, apatito, rutilo y eventuales microcristales de zinwaldita, presentan alteración de cloritas. *Minerales opacos* 1% con tamaños $\leq 0,4$, de formas subhedrales y anhedrales, se encuentran diseminados en la roca. *Zircón* 0,5% con tamaños de $\leq 0,06$ mm, subhedrales, prismáticos con bordes subangulosos, ocurren como inclusiones en cristales de biotita. *Apatito* 0,5% con tamaños $\leq 0,05$, subhedrales prismáticos con bordes subredondeados, se hallan incluidos en cuarzo y biotita (Figura 45).



Alteración: Presenta argilización y sericitización de débil y cloritización incipiente.

- **Sienogranito**

Roca ígnea plutónica de textura granular hipidiomórfica, compuesta por cristales de *Feldespatos potásicos* 38 % con tamaños de 80 a 3 mm, de formas subhedrales, prismáticos con macla de Carlsbad, se hallan con inclusiones de plagioclasas, cuarzo y biotita con textura poiquilitica, otros presentan exoluciones de plagioclasas en forma de venas con textura pertítica, se encuentran con alteración débil de arcillas. *Cuarzo* 28% con tamaños de 4,0 a 1,0 mm, de formas anhedrales, con extinción ondulante a recta, microfracturados, se hallan con inclusiones de cristales de biotita. *Plagioclasas* 20% con tamaños de 8,4 a 1,2 mm, de formas subhedrales prismáticos, con macla polisintética, zonados, con inclusiones de biotita, se hallan con alteración de arcillas y sericita en los bordes del cristal. *Biotita* 12 % con tamaños de 3,0 a 0,4 mm, de formas subhedrales y anhedrales, tabulares con bordes irregulares con inclusiones de zircón y apatito, presentan alteración incipiente de cloritas. *Zircón* 1 % con tamaños $\leq 0,32$ mm, de formas subhedrales, prismáticos con bordes subangulosos a subredondeados, algunos presentan halo metamítico, ocurren como inclusiones cristales de biotita. *Apatito* 0,7% con tamaños $\leq 0,2$ mm, subhedrales, prismáticos con bordes subredondeados, se encuentran como inclusiones en cuarzo y biotita. *Minerales opacos* 0,3% con tamaños de $\leq 0,02$ mm, se hallan como inclusiones cristales de biotita (Figura 46).

Alteración: La muestra presenta sericitización de débil a incipiente, argilización y cloritización incipiente.

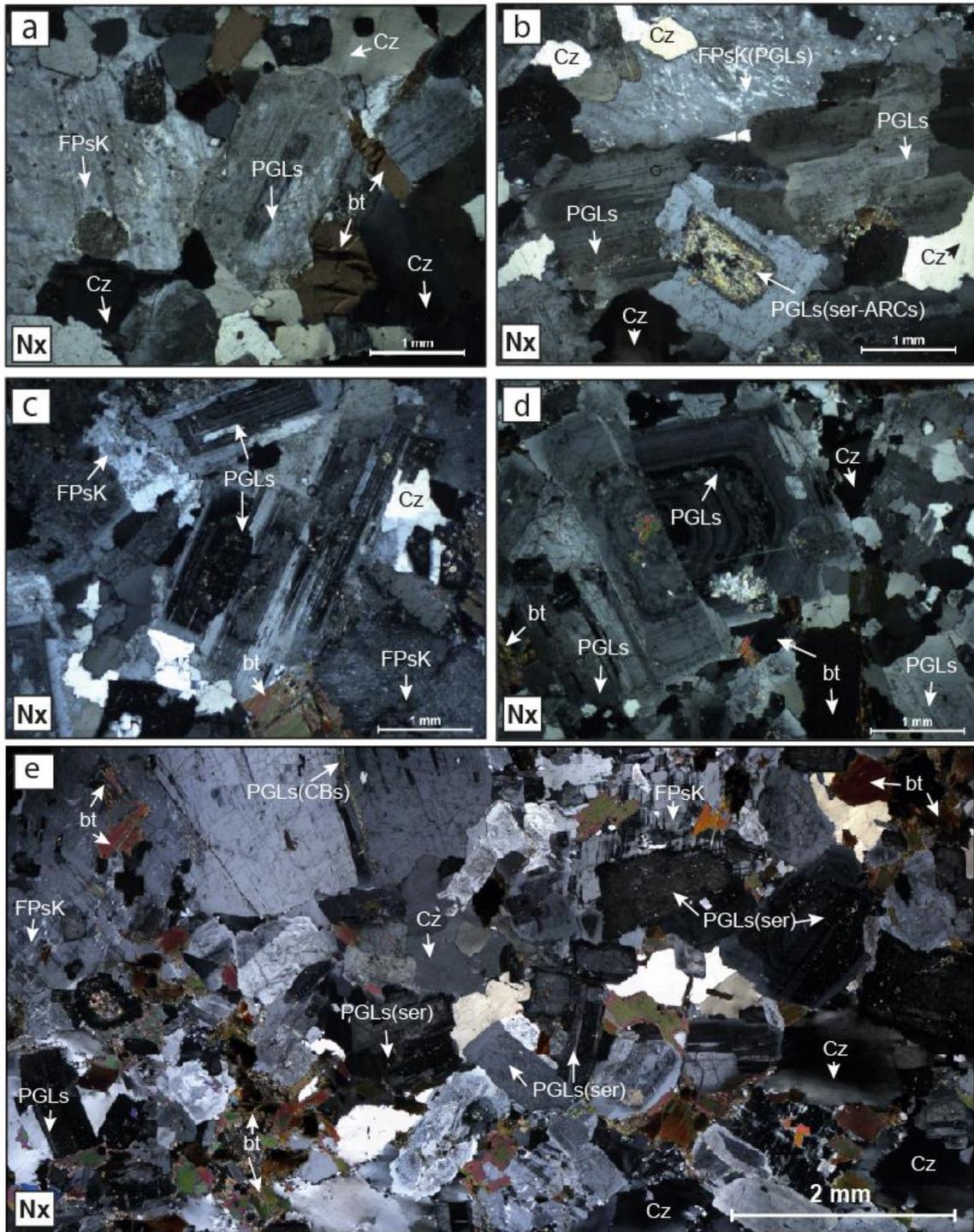


Figura 45. Fotomicrografías Nx: a - e; a, c y d. Se observa cristales de plagioclasas con macla polisintéticas, zonadas: PGLs, feldespatos potásicos con textura perítica: FPsK, cuarzo intergranular: cz, y biotita con inclusiones de zircón: bt; b. Cristales de plagioclasas con macla polisintética: PGLs, plagioclasas con alteración de sericita y arcillas: PGLs(ser-ARCs), cuarzo intergranular: Cz, feldespatos potásicos con exoluciones de plagioclasas: FPsK(PGLs); e. Plagioclasas con macla polisintética: PGLs, plagioclasas con alteración incipiente de sericita: PGLs(ser), plagioclasas con microfracturas rellenas de carbonatos: PGLs(CBs), Feldespatos potásicos periticos con inclusiones de biotita, plagioclasas y cuarzo con textura poiquilítica: FPsK, cuarzo intergranular con extinción recta a ondulada: cz y cristales de biotita agrupados por sectores: bt. Fuente: INGEMMET-DGR-GR39B: Inédita de esta tesis.

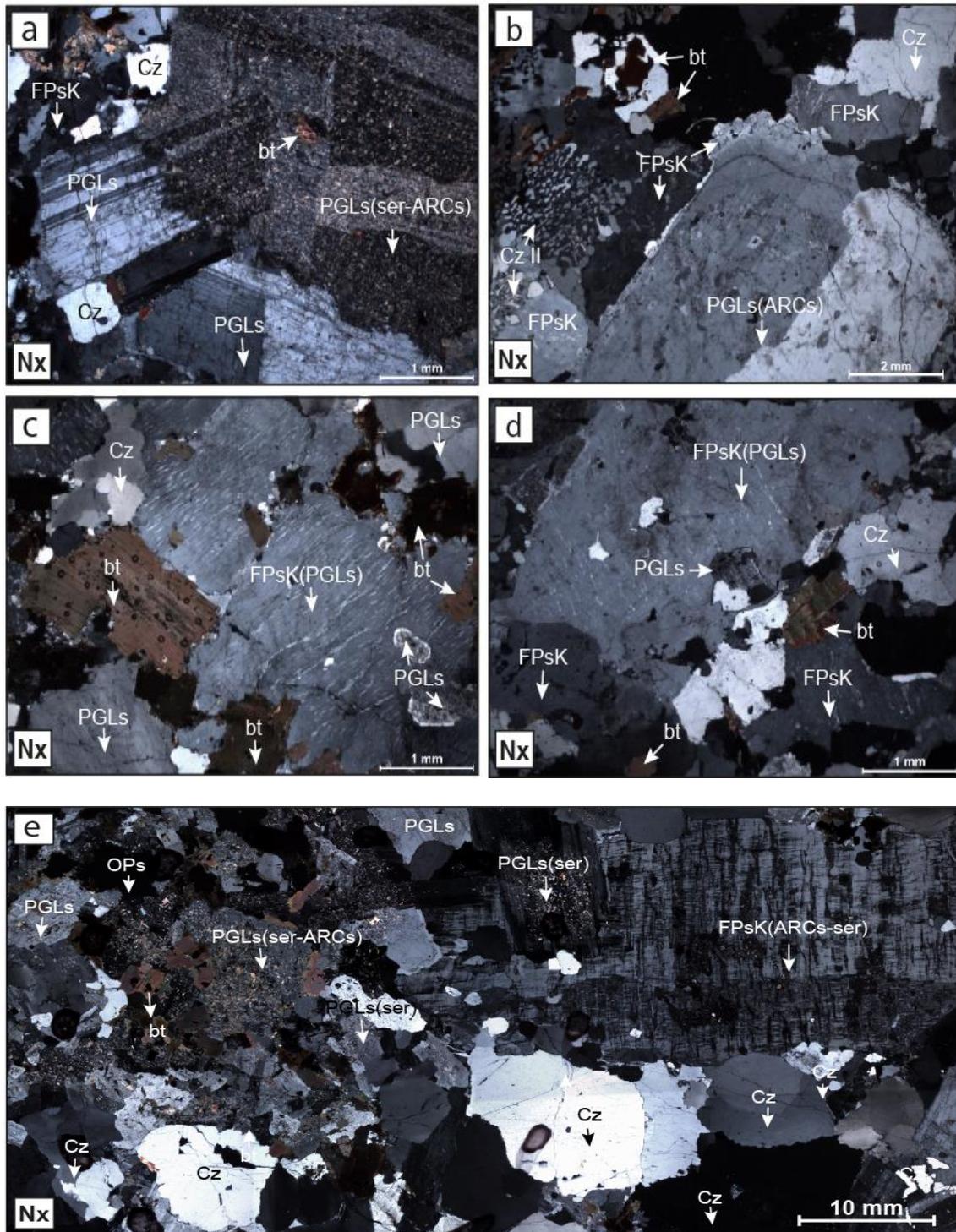


Figura 46. Fotomicrografías Nx: a - e; a. Plagioclasas: PGLs con alteración moderada de sericita y arcillas: PGLs(ser-ARCs), feldspatos potásicos: FPsk, biotita: bt y cuarzo intergranular: Cz; b. Plagioclasas con alteración incipiente de arcillas: PGLs(ARCs), feldspatos potásicos peritéticos: FPsk, cuarzo intergranular: Cz, biotita: bt y exoluciones de cuarzo secundario: Cz II; c y d. Feldspatos potásicos: FPsk, con exoluciones plagioclasas: FPsk(PGLs), plagioclasas con macla polisintética: PGLs, cuarzo intergranular: Cz y cristales de biotita: bt; e. Plagioclasas con alteración moderada de sericita y arcillas: PGLs(ser-ARCs), plagioclasas: PGLs, con alteración de débil de sericita: PGLs(ser), feldspatos potásicos peritéticos con alteración de arcillas y sericita: FPsk(ARCs-ser), cuarzo intergranular: Cz y minerales opacos diseminados: OPs. Fuente: INGEMMET-DGR-GR39B; Inédita de esta tesis.

- **Granodiorita**

Roca ígnea plutónica de textura granular hipidiomórfica, conformada por cristales de *Plagioclasas* 44% con tamaños de 7,2 a 0,8 mm, de formas subhedrales, habito prismáticos, con macla polisintética, zonados, con alteración débil a moderada de sericita y arcillas. *Cuarzo* 25% con tamaños de 6,3 a 0,3, de formas anhedrales, microfracturados, ocurren de manera intergranular, se hallan con inclusiones de apatito. *Feldespatos potásicos* 17% con tamaños de 2,3 a 0,4 mm, de formas subhedrales y anhedrales, habito prismáticos con bordes irregulares, con macla de Carlsbad, presentan exoluciones de plagioclasas con textura peritética. *Biotita* 12% con tamaños de 3,4 a 0,3 mm, de formas subhedrales y anhedrales, tabulares con bordes irregulares, con inclusiones de zircón y apatito, algunas biotitas se encuentran con inclusiones de esfena y alteración de cloritas criptocristalina.

Zircón 0,5% con tamaños $\leq 0,2$ mm de formas subhedrales, prismáticos con bordes subangulosos, ocurren como inclusiones en cristales de biotita. *Esfena* 0,5% con tamaños $\leq 0,1$ mm, agregados microcristalinos de formas anhedrales, se hallan como inclusiones en biotita asociado a cloritas. *Apatito* 0,5% con tamaños $\leq 0,06$ mm, microcristales de formas subhedrales, prismáticos con bordes subredondeados, ocurren con inclusiones en cuarzo y biotita. *Minerales opacos* 0,5% con tamaños $\leq 0,08$ mm, de formas anhedrales se hallan como disseminaciones en la muestra (Figura 47).

Alteración: Presenta sericitización de débil a incipiente, argilización y cloritización incipiente.



- **Metamonzogranito**

Roca metaígneá de textura granoblástica, presentan blastos de: *Plagioclasas* 29% con tamaños 4,8 a 0,7 mm, de formas subhedrales, prismáticos con macla polisintética, ocurren con alteración moderada de sericita y arcillas. *Feldespatos potasicos* 24 % con tamaños de 15 a 0,8 mm, de formas subhedrales, ocurren con inclusiones de plagioclasas, cuarzo y apatito con textura poiquilitica, algunos se hallan microfracturados, flexionados. *Cuarzo* 22 % con tamaños de 6 a 0,4 mm, de formas anhedrales, con extinción ondulante, microfracturados, flexionados, con inclusiones de apatito. *Moscovita* 6% con tamaños de 1,4 a 0,3 mm, de formas subhedrales, tabulares, presentan inclusiones de apatito. *Biotita* 2% con tamaños de 2,4 a 0,3 mm, de formas subhedrales, tabulares se hallan con alteración de cloritas e impregnaciones de óxidos de hierro. *Cuarzo II* 16% con tamaños $\leq 0,06$ mm, microcristales de formas euhedrales, con punto triple, se presentan por recristalización en fracturas e intersticios.

Zircón 0,7 % con tamaños $\leq 0,32$ mm, de formas subhedrales, prismáticos con bordes subangulosos a subredondeados, algunos presentan halo metamictico, ocurren como inclusiones cristales de biotita. *Apatito* 0,2% con tamaños $\leq 0,2$ mm, de formas subhedrales, prismáticos con bordes subredondeados, se encuentran como inclusiones en cuarzo y biotita. *Minerales opacos* 0,1% con tamaños de $\leq 0,02$ mm de formas subhedrales y anhedrales se hallan como inclusiones cristales de biotita (Figura 48).

Alteración: Presenta sericitización y argilización moderada, cloritización y oxidación incipiente.

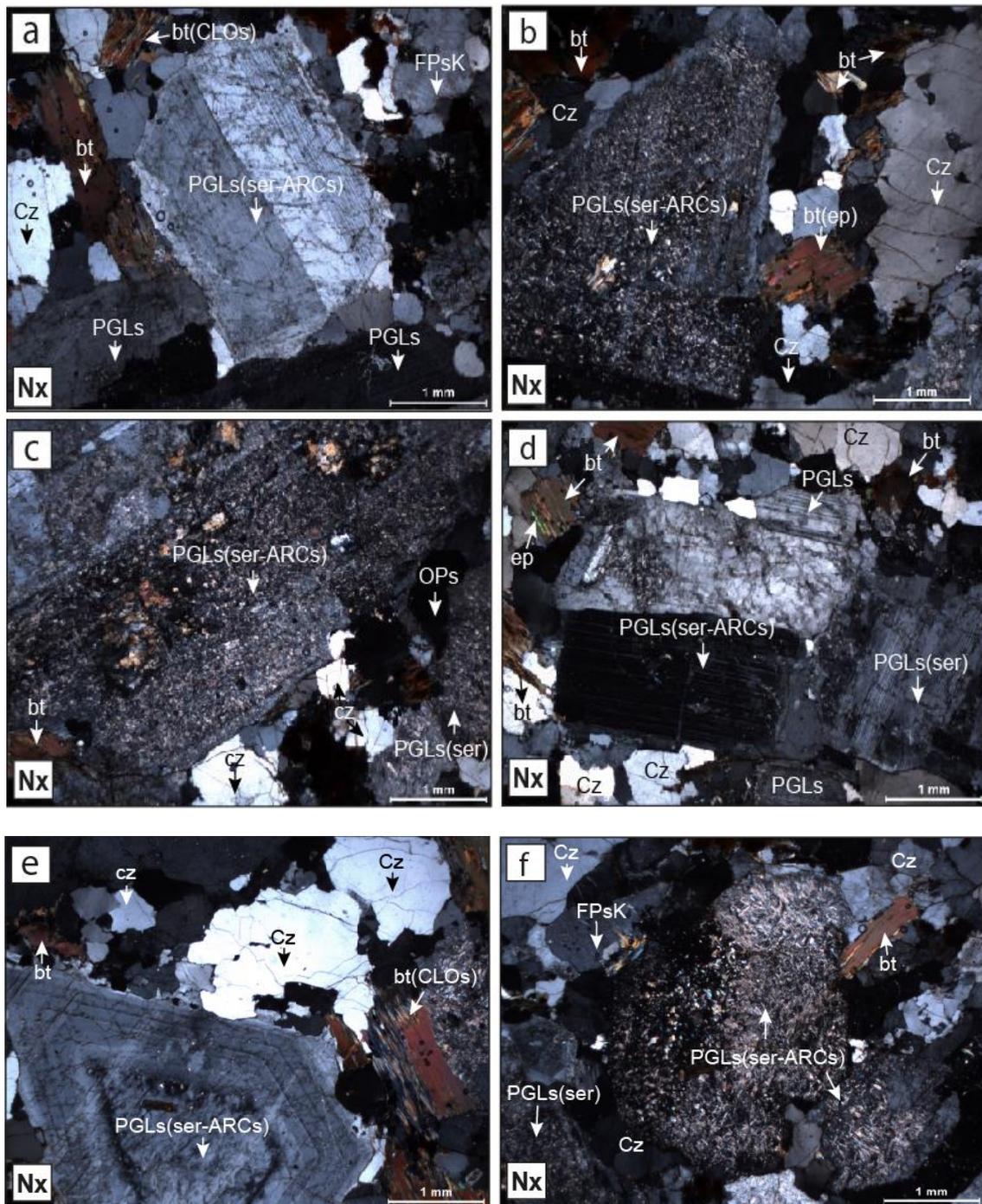


Figura 47. Fotomicrografías Nx: a - f; a. Plagioclasas: PGLs, con alteraciones de sericita y arcillas: PGLs(ser-ARCs), feldespatos potásicos: FPsK, biotita: bt, con alteración de cloritas: bt(CLOs), cuarzo: Cz; b y d. Plagioclasas: PGLs, con alteración de sericita: PGLs(ser), otras con alteración moderada de sericita y arcillas: PGLs(ser-ARCs), cuarzo intergranular: Cz, cristales de biotita: bt con inclusiones de epidota: ep; c. Plagioclasas con alteración débil de sericita: PGLs(ser), algunas con alteración moderada de sericita y arcillas: PGLs(ser-ARCs), cuarzo intergranular: Cz, cristales de biotita: bt, y minerales opacos diseminados: OPs; e. Plagioclasas con alteración de sericita y arcillas: PGLs(ser-ARCs), cuarzo intergranular: Cz, cristales de biotita: bt, con alteración de cloritas: bt(CLOs); f. Plagioclasas con alteración moderada de sericita: PGLs(ser), otras con alteración de sericita y arcillas: PGLs(ser-ARCs), feldespatos potásicos: FPsK, y cuarzo intergranular: Cz. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

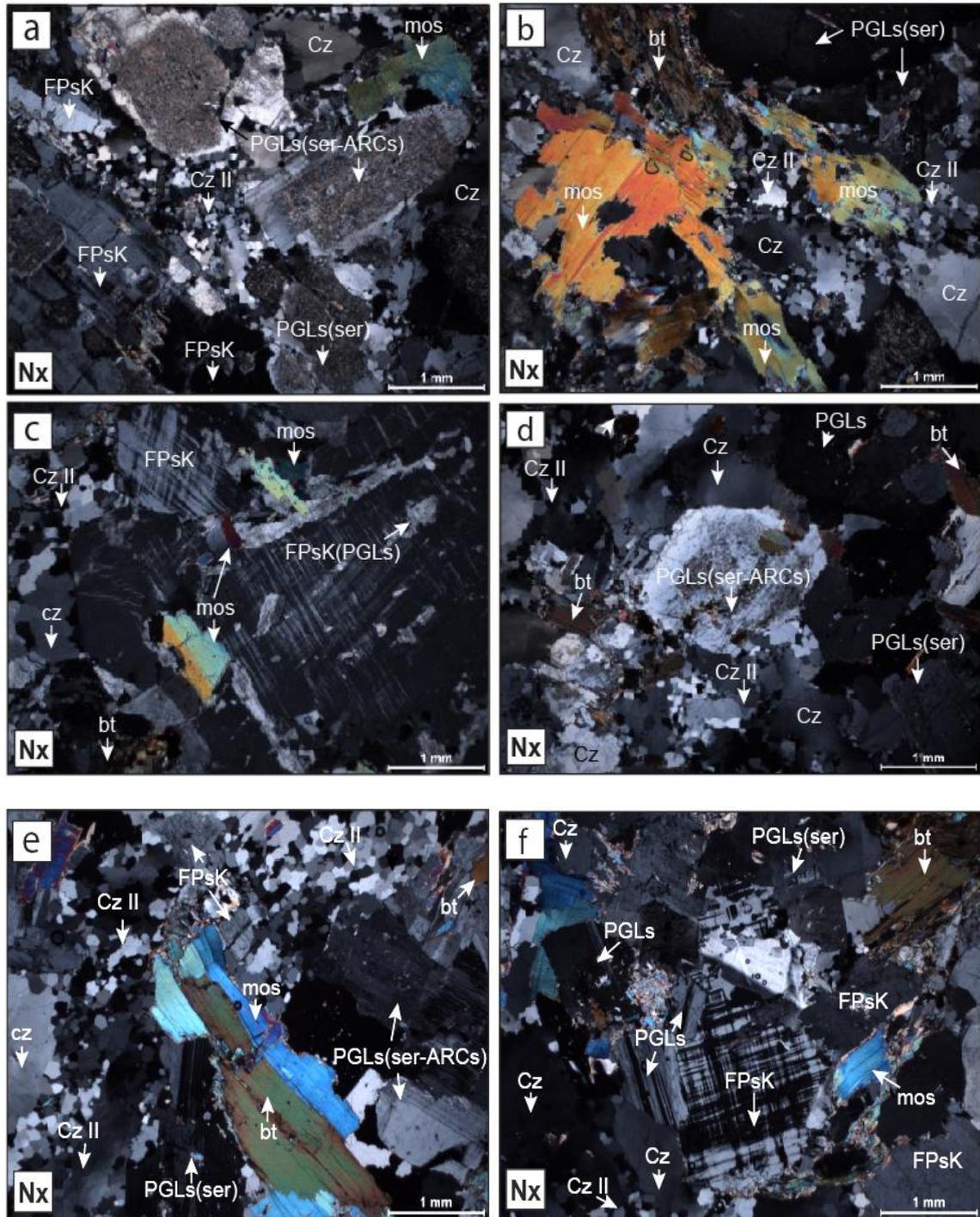


Figura 48. Fotomicrografías Nx: a - f; a y e. Plagioclasas con alteración de sericita: PGLs(ser) algunas con alteración incipiente de sericita y arcillas: PGLs(ser-ARCs), cuarzo intergranular: Cz, cristales de biotita: bt, moscovita: mos y recrystalización de cuarzo secundario: Cz II; b. Plagioclasas con alteración de sericita: PGLs(ser), moscovita: mos, biotita: bt, cuarzo microfracturados: Cz y cuarzo secundario: Cz II; c. Feldespatos potásicos: FPsK, algunos con exoluciones de plagioclasas: FPsK(PGLs), cuarzo: Cz, biotita: bt, moscovita: mos y recrystalización de cuarzo secundario: Cz II; d. Plagioclasas con alteración débil de sericita: PGLs(ser), algunas con alteración moderada de sericita y arcillas: PGLs(ser-ARCs), cuarzo intergranular: Cz, cristales de biotita: bt y cuarzo secundario: Cz II; f. Plagioclasas: PGLs, con alteración de sericita: PGLs(ser), feldespatos potásicos con especie mineral de microclina: FPsK, cuarzo: Cz, biotita: bt, moscovita flexionadas: mos y recrystalización de cuarzo secundario en fracturas: Cz II. Fuente: INGEMMET-DGR-GR39B: Inédita de esta tesis.

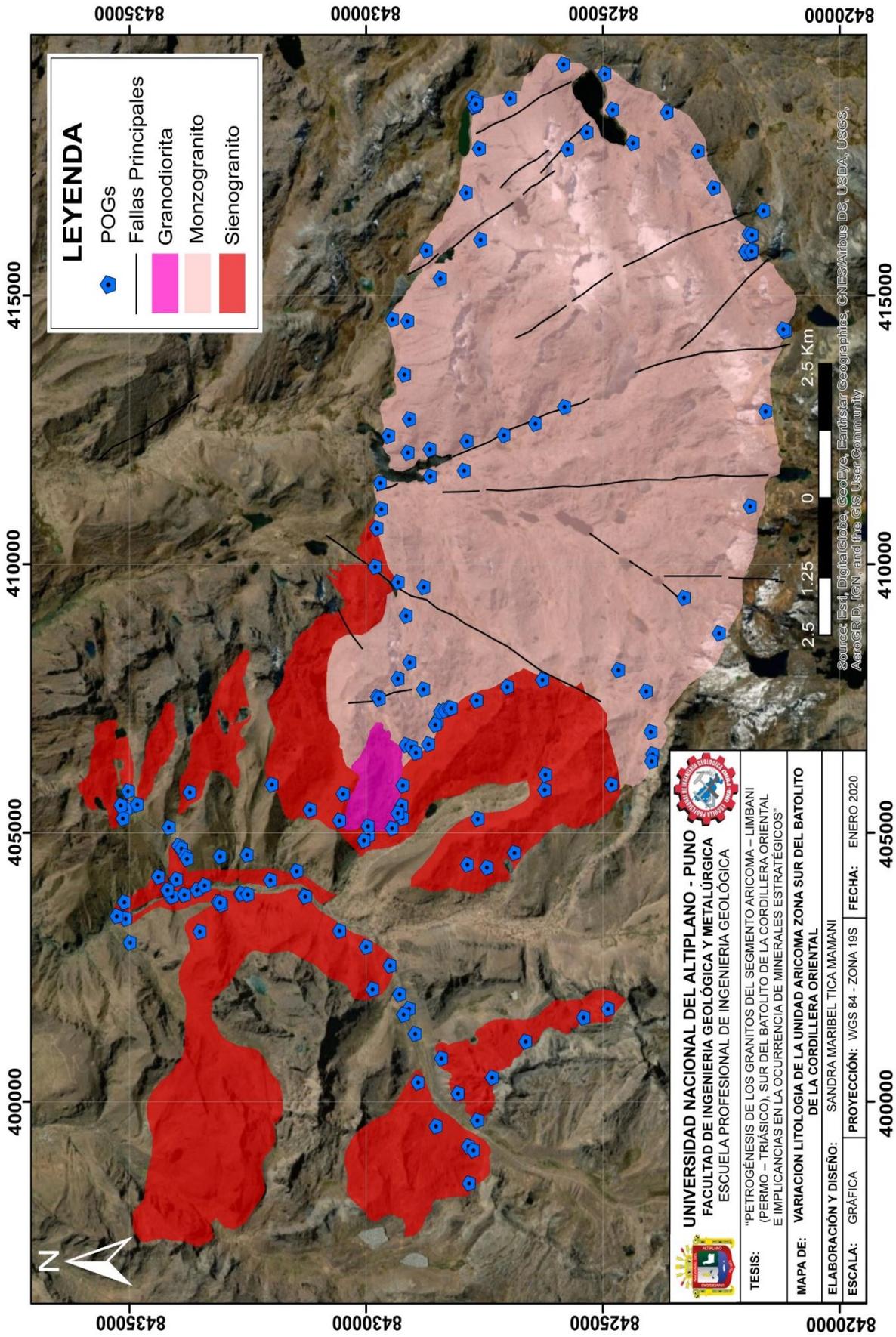


Figura 49. Mapa de variación litológica de la Unidad Aricoma, zona sur del Batolito de la Cordillera Oriental. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

5.1.2.3 Análisis por difracción de rayos x

Para los monzogranitos y sienogranitos de la Unidad Aricoma se analizaron 25 muestras por difracción de rayos X, los cuales fueron sintetizados y corroborados con los estudios petrográficos. A continuación, se presenta dos tablas con el resumen del análisis mineralógico obtenido en estas dos litologías, los cuales se hallan abarcando extensas áreas. (Tabla 1 y 2).

Tabla 1. Resumen de los resultados del análisis mineralógico por difracción de rayos X, del monzogranito de la Unidad Aricoma

MINERAL	FÓRMULA	MINERAL	FÓRMULA
Albita	(Na,Ca)Al(Si,Al) ₃ O ₈	Hidroilapatita	Ca ₁₀ (PO ₄) ₃ (CO ₃) ₃ (OH) ₂
Microclina	KAlSi ₃ O ₈	Siderita	FeCO ₃
Augita	Ca(Mg,Fe,Al)(Si,Al) ₂ O ₆	Ilmenita	Fe+2TiO ₃
Cuarzo	SiO ₂	Muscovita	K(Al,V)2(Si,Al)4O10(OH)2
Biotita	K(Mg,Fe) ₃ (Al,Fe)Si ₃ O ₁₀ (OH,F) ₂	Ortoclase	(K,Ba,Na)(Si,Al)4O8
Calcita	CaCO ₃	Pirita	FeS ₂
Calcocita	Cu ₂ S	Rodocrosita	MnCO ₃
Calcopirita	CuFeS ₂	Fluorapatita	Ca ₅ (PO ₄) ₃ F
Clorita	(Mg,Fe) ₆ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	Pirofilita	Al ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂

Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

Tabla 2. Resumen de los resultados del análisis mineralógico por difracción de rayos X, del sienogranito de la Unidad Aricoma

MINERAL	FÓRMULA	MINERAL	FÓRMULA
Albita	(Na,Ca)Al(Si,Al) ₃ O ₈	Hematita	Fe ₂ O ₃
Ortoclase	(K,Ba,Na)(Si,Al)4O8	Cuarzo	SiO ₂
Augita	Ca(Mg,Fe,Al)(Si,Al) ₂ O ₆	Ilmenita	Fe+2TiO ₃
Beidellita	Na _{0.3} Al ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ .2H ₂ O	Microclina	KAlSi ₃ O ₈
Biotita	K(Mg,Fe) ₃ (Al,Fe)Si ₃ O ₁₀ (OH,F) ₂	Molisita	Fe ⁺³ Cl ₃
Calcita	CaCO ₃	Muscovita	K(Al,V)2(Si,Al)4O10(OH)2
Calcopirita	CuFeS ₂	Pirita	FeS ₂
Clorita	(Mg,Fe) ₆ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	Pirofilita	Al ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂
Calcocita	Cu ₂ S	Rodocrosita	MnCO ₃
Fluorapatita	Ca ₅ (PO ₄) ₃ F	Tirodita	(Na,Ca) ₂ (Mg,Mn,Fe) ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂
Foitita	Fe ⁺² (Al,Fe ⁺³)Al ₆ Si ₆ O ₁₈ (BO ₃) ₃ (OH) ₄	Uvita	CaMg ₃ (Al,Mg) ₆ (BO ₃) ₃ Si ₆ O ₁₈ (OH) ₄

Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.



5.2 CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS

Durante los trabajos de campo, se recolectaron muestras de las diferentes facies litológicas de la Unidad Aricoma, como también de las unidades que actúan como rocas encajonantes. En total se recolectaron 48 muestras, de las cuales 42 muestras corresponden a rocas intrusivas. Se realizó los análisis geoquímicos de 34 (muestras de roca) para análisis de roca total y 14 (muestras de concentrado de biotitas) para análisis de química mineral.

Los análisis han sido realizados en los laboratorios de INGEMMET, SGS del Perú y ALS, mediante el espectrómetro de masas ICP-MS, y espectrómetro de emisión atómica ICP-OES a través de la fusión con peróxido de sodio y metaborato de litio. También se realizó análisis de fluorescencia de rayos x de los concentrados de cristales de biotita para tener un control geoquímico.

Los resultados de los análisis geoquímicos de roca total son expresados en % (wt) para el caso de los elementos mayores (óxidos), mientras que los elementos traza son expresados en ppm, los cuales se encuentran en el Anexo C: Anexos C1, C2, C3, C4 y C5. Así mismo, se realiza una comparación geoquímica con los plutones de Limbani y Coasa los cuales se hallan aflorando en el cuadrángulo de Limbani (29X).

5.2.1 Elementos Mayores

Los resultados de los análisis por elementos mayores muestran que las rocas intrusivas presentan concentraciones de SiO_2 entre 60 y 75 (% wt). La serie magmática ha sido determinada haciendo uso del diagrama modificado de multicationes (Figura 50) R1 Vs R2 (De la Roche et al. 1980).

Permitiendo determinar la composición litológica de la Unidad Aricoma, con una litología preferente de monzogranito, seguido de sienogranitos y en menor proporción granodiorita.

El índice de saturación de alúmina (Figura 51) ha sido determinado empleando el uso del diagrama $Al/(Ca+Na+K)$ Vs $Al/(Na+K)$ (Shand, 1943). Los sienogranitos y monzogranitos muestran un comportamiento transicional entre los campos metalumínico y peralumínico, la mayoría de las muestras caen en campo peralumínico. Las muestras de granodiorita presentan un comportamiento peralumínico lo que indicaría que su fuente inicial se contaminó probablemente con rocas sedimentarias de la corteza.

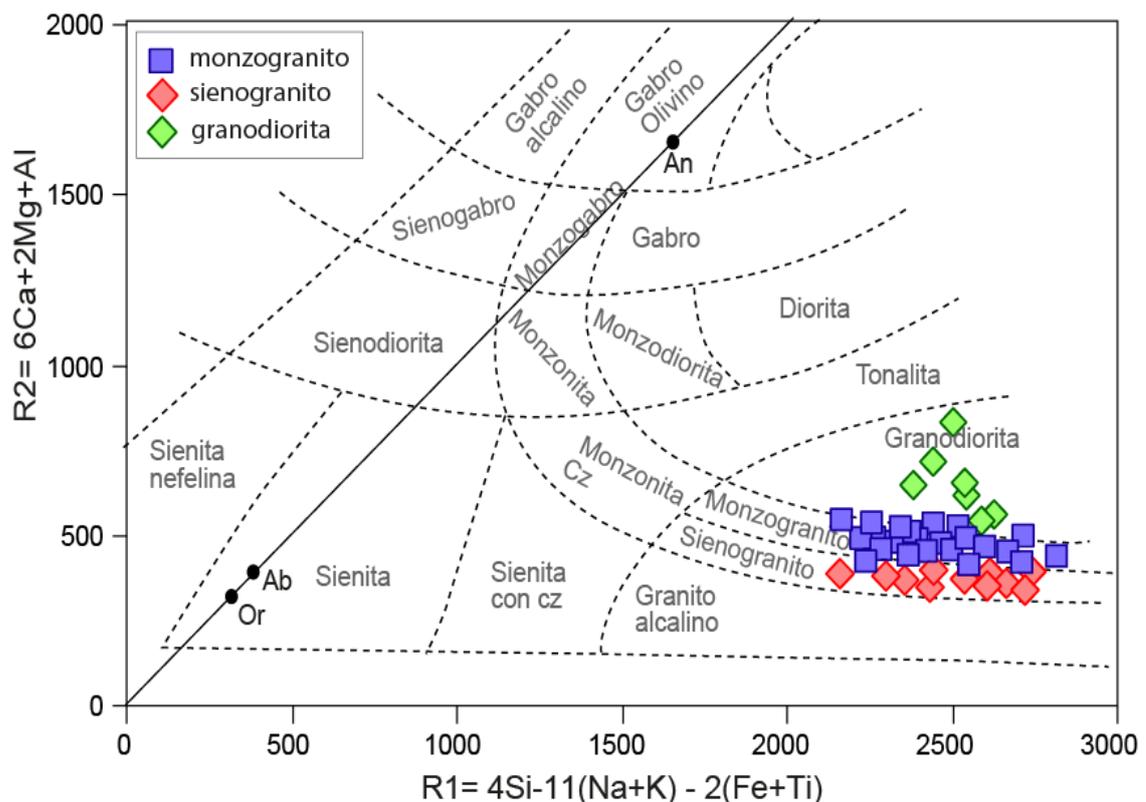


Figura 50. Diagrama de clasificación multicatiónica R1 Vs R2 (Modificado de la Roche et al. 1980). Determinando la clasificación de rocas ígneas con litologías de monzogranito, sienogranito y granodiorita. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

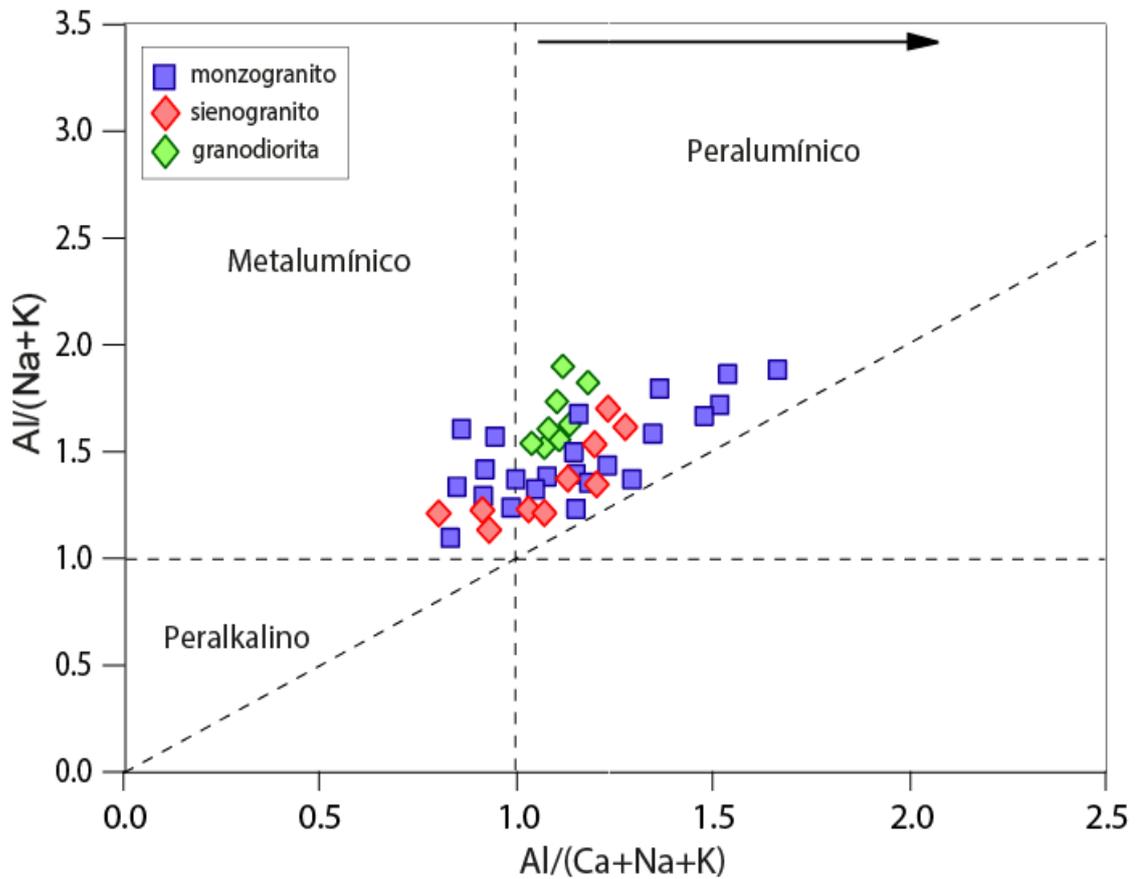


Figura 51. Diagrama de Shand (1943) A/CNK vs A/NK discriminando rocas de composición metalumínico y peralumínico. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

5.2.2 Elementos Traza

El diagrama de spider o perfil de concentración de elementos traza y elementos de tierras raras, fue utilizado para identificar los procesos petrogenéticos, los que se pueden inferir el enriquecimiento y empobrecimiento de algunos elementos traza, así como también la fraccionación de los elementos de tierras raras livianas, pesadas y la presencia o ausencia de anomalías de Hf, Nb, Ta y Eu. Para la elaboración del diagrama Spider se realizó la normalización de los elementos al valor del manto primitivo (McDonough & Sun, 1995).

En el diagrama de spider (Figura 52), se muestra anomalías negativas en los elementos de Nb y Ta, lo que sugiere que una componente de subducción generó esta

rocas, siendo corroborado con el diagrama de índice de saturación de alúmina (Figura 51), sugiere que esta componente de subducción derivó de la fusión de la corteza continental. Las leves anomalías negativas de Eu, Sr y Ba, sugieren fraccionación de feldespatos potásicos y plagioclasas, mientras que el decaimiento y tendencia negativa de tierras raras pesadas sugieren que las rocas tuvieron una fuerte componente de contaminación cortical.

Otra importante anomalía es la del U, la que expresa de manera positiva, alcanzando valores muy por encima del valor normal de la Corteza Continental.

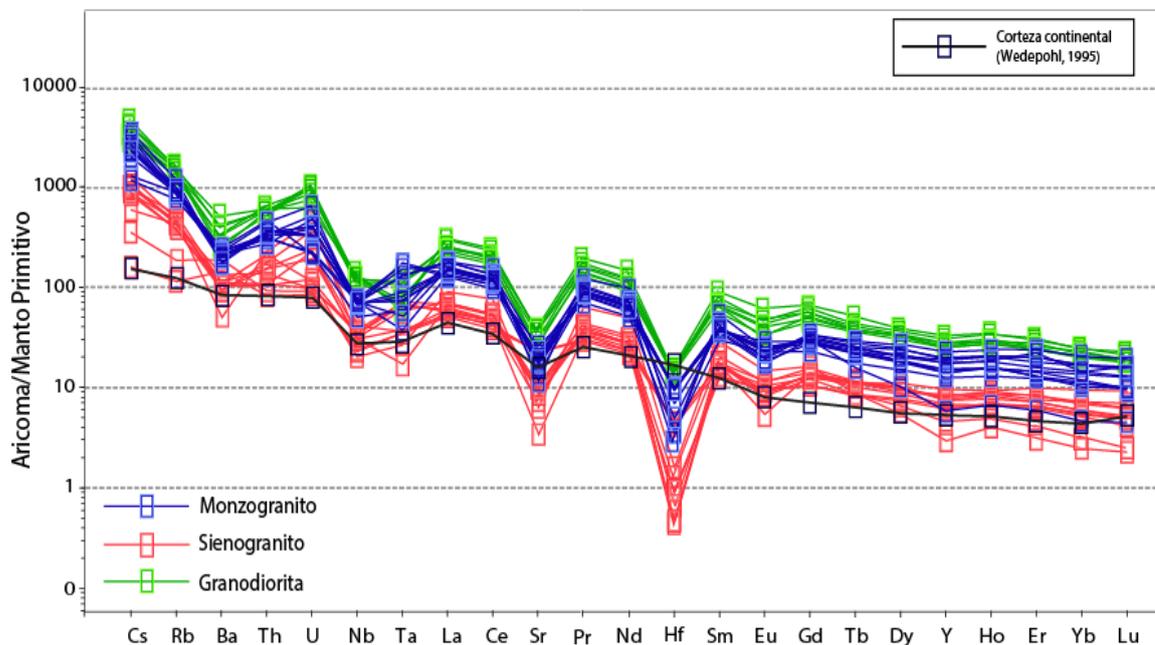


Figura 52. Diagrama de Spider de la Unidad Aricoma normalizado al Manto primitivo de McDonough and Sun, 1995. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

Los procesos de contaminación, cristalización y fuente han sido determinados haciendo uso del diagrama de cocientes Th/Yb Vs Nb/Yb (Figura 53) de los valores normalizados al valor del manto primitivo de McDonough and Sun, 1995. Las rocas de la Unidad Aricoma, muestran una ligera tendencia positiva, lo que nos sugiere que provienen de procesos continuos de fraccionación.

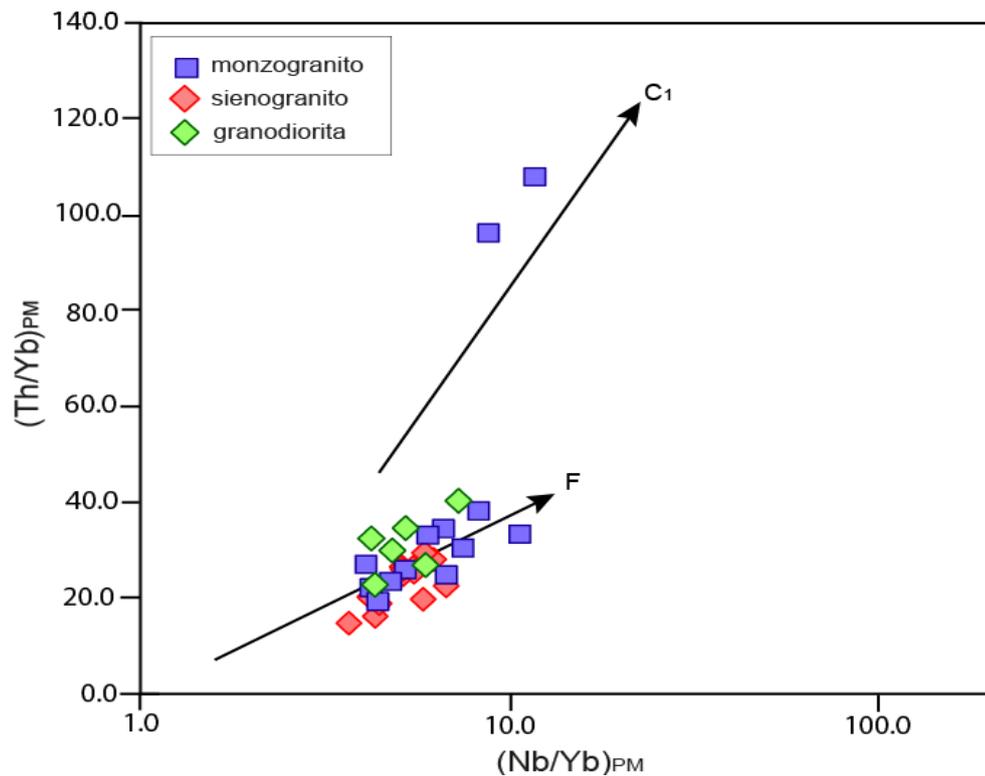


Figura 53. Diagrama Th/Yb Vs Nb/Yb normalizado al valor del manto primitivo de McDonough and Sun, 1995. Para discriminar procesos mantelitos de fraccionación y contaminación de magmas. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

5.2.3 Discriminación del ambiente tectónico

La discriminación del contexto tectónico de la Unidad Aricoma, se ha realizado, haciendo uso del diagrama Nb Vs Y (Pearce et al., 1984) (Figura 54). En este diagrama, se define que las rocas como monzogranitos, sienogranitos y granodioritas, se ubican en el límite entre granitos de arco volcánico y granitos de intraplaca, como nos indica el diagrama de spider normalizado al manto primitivo.

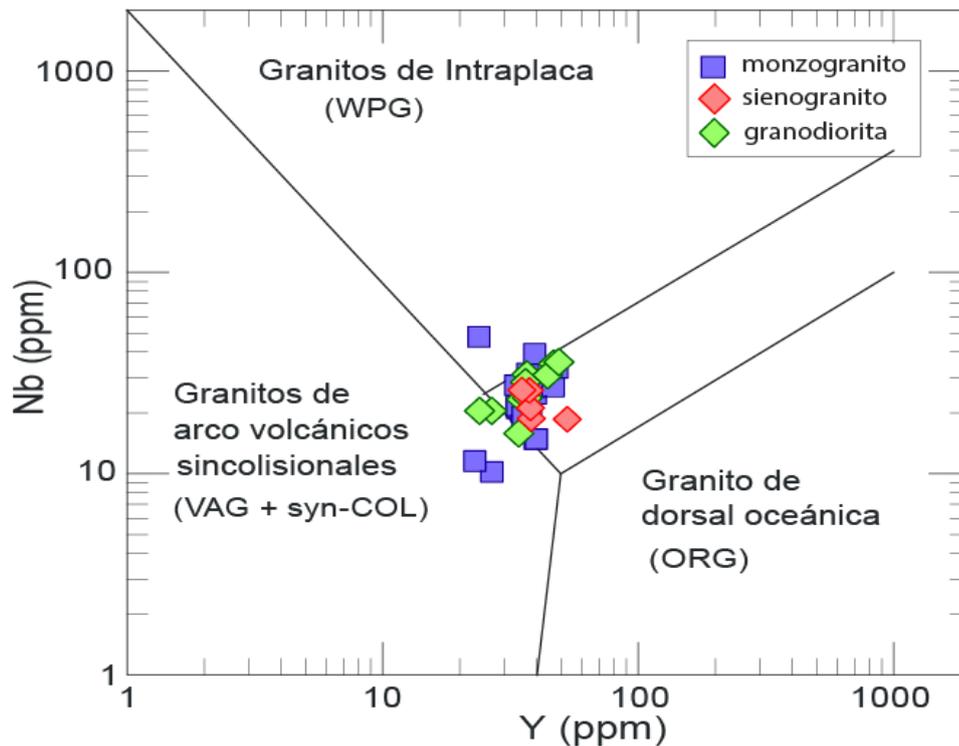


Figura 54. Identificación del contexto geodinámico de la Unidad Aricoma según el diagrama Nb vs Y (Pearce et al., 1984). Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

5.3 RELACIÓN GENÉTICA CON LAS OCURRENCIAS DE ELEMENTOS METÁLICOS Y ESTRATÉGICOS

Para determinar las asociaciones minerales de los granitos del segmento Aricoma – Limbani (Unidad Aricoma) es necesario en primer lugar saber si estas rocas tienen la misma firma geoquímica del magma “fértil” o “estéril” los diferentes elementos se mueven, siempre y cuando estén dentro de un magma hidratado.

El agua comagmática, puede ser calculada haciendo el uso de la fugacidad de oxígeno, la que a su vez se relaciona con la anomalía de Eu/Eu^* , de esta manera podremos diferenciar magmas secos ($Eu/Eu^* > 1$) y magmas con agua ($Eu/Eu^* < 1$). El cálculo de la anomalía nos ayudara como un criterio geoquímico en la evaluación y selección de blancos de exploración.

El líneas generales, las diferentes rocas ígneas de la Unidad Aricoma como monzogranitos, sienogranitos y granodioritas presentan valores de $Eu/Eu^* < 1$, lo que nos indica que los diferentes elementos metálicos y estratégicos pueden estar asociados a los diferentes estadios de la intrusión de la masa batolítica (Plutón de Aricoma) (Figura 55).

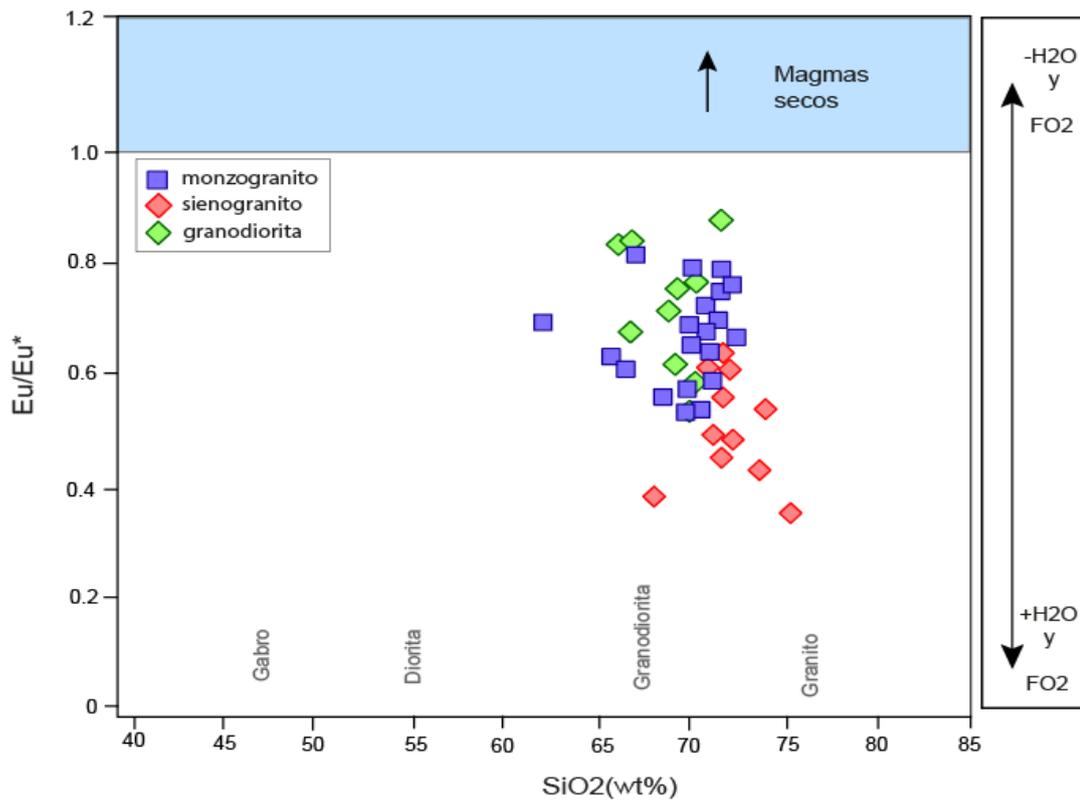


Figura 55. Diagrama de SiO₂ Vs Eu/Eu^* para la discriminación de magmas secos y magmas con agua. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

En el diagrama Spider (Figura 56) se muestra el patrón de concentración de las diferentes rocas que constituyen la Unidad Aricoma, se observa valores superiores al promedio de la Corteza Continental (Wedepohl, 1995) en algunos elementos. Li, Mo, Pb, Sn, W, Cs, Th, U y LREE, presentan concentraciones anómalas, los valores de Pb se hallan muy cerca del valor promedio, mientras que los elementos de Cu, Zn y Ba muestran valores menores al de la corteza.

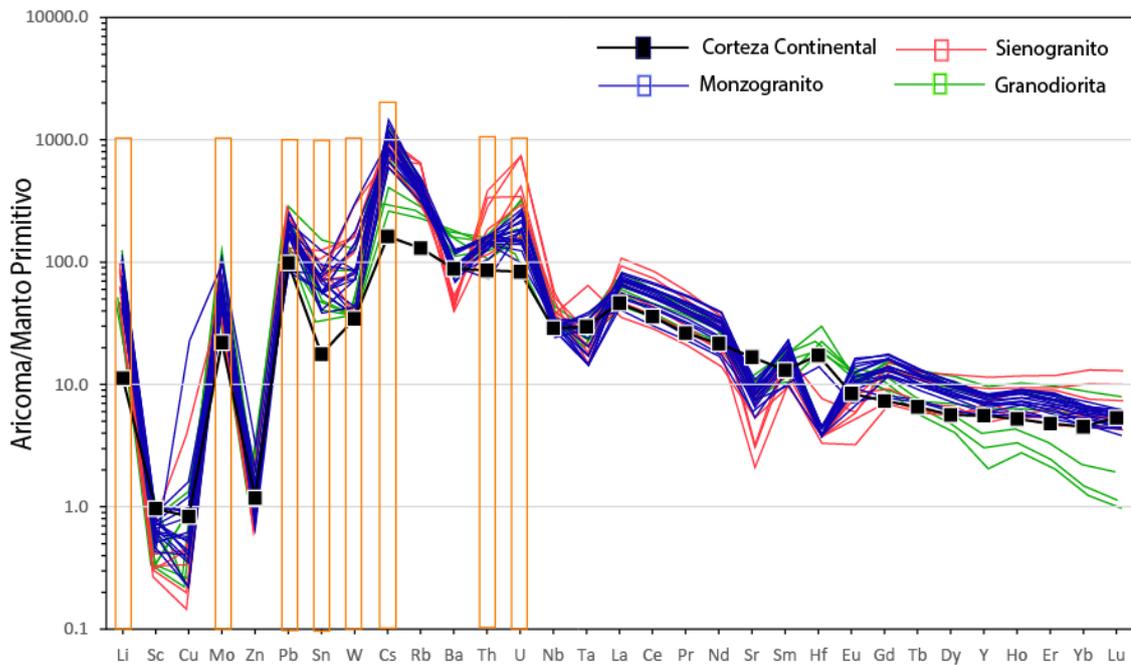


Figura 56. Diagrama Spider de la Unidad Aricoma zona sur de la Cordillera Oriental normalizado al valor del manto primitivo de McDonough and Sun, 1995, contrastados con el valor de la Corteza continental (Wedepohl, 1995). Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

Las afinidades mineralógicas de las diferentes rocas ígneas de la Unidad Aricoma, han sido determinadas empleando el diagrama de Eu/Eu^* Vs FeO total (Figura 57). Este diagrama, sugiere que los sienogranitos, muestran afinidad por mineralizaciones de Sn y Mo, los monzogranitos presentan cierta afinidad al Sn y W, mientras que la granodiorita presenta afinidad a mineralizaciones polimetálicas de Mo-Zn-Pb.

Los procesos de fraccionación y contaminación, resultan muy influyentes cuando se aborda el tema de mineralización, los fluidos hidrotermales, al atravesar la corteza pueden, asimilar y adherir a ellos concentraciones de elementos económicos, los mismos que serán posteriormente depositados en zonas favorables. Desde este punto de vista, conocer las rocas encajonantes, nos ayuda a interpretar los elementos asociados a estas rocas graníticas, para luego poder determinar zonas de exploración por ciertos elementos.

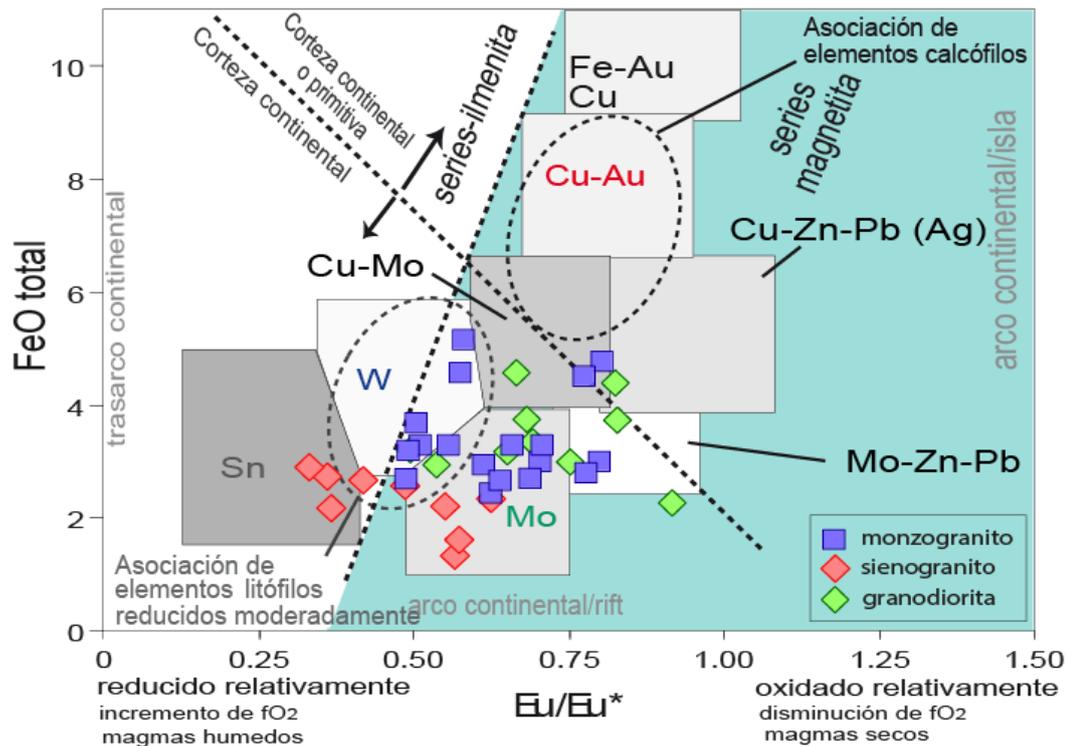


Figura 57. Diagrama de Eu/Eu^* Vs FeO_{total} para determinar la mineralización asociada a monzogranitos, sienogranitos y granodioritas de la Unidad Aricoma. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

5.3.1 Relaciones magmáticas de la Unidad Aricoma con la Super Unidad Coasa y la Unidad Limbani

Para determinar las relaciones minerales y geoquímicas de la Unidad Aricoma con la Super Unidad Coasa y Unidad Limbani, es necesario determinar la serie magmática y si estas rocas presentan la misma firma geoquímica que la Unidad Aricoma. Para lo cual se realizó el diagrama de clasificación de rocas ígneas utilizando el diagrama modificado de multiplicaciones (Figura 58) $R1$ Vs $R2$ (De la Roche et al, 1980). De este diagrama se puede determinar que la composición litológica de las Unidades Triásicas es principalmente de monzogranito, granodiorita y sienogranito.

Algunas muestras de la Super Unidad Coasa, se han localizado en los campos del granito alcalino y en los límites del sienogranito y el granito alcalino.

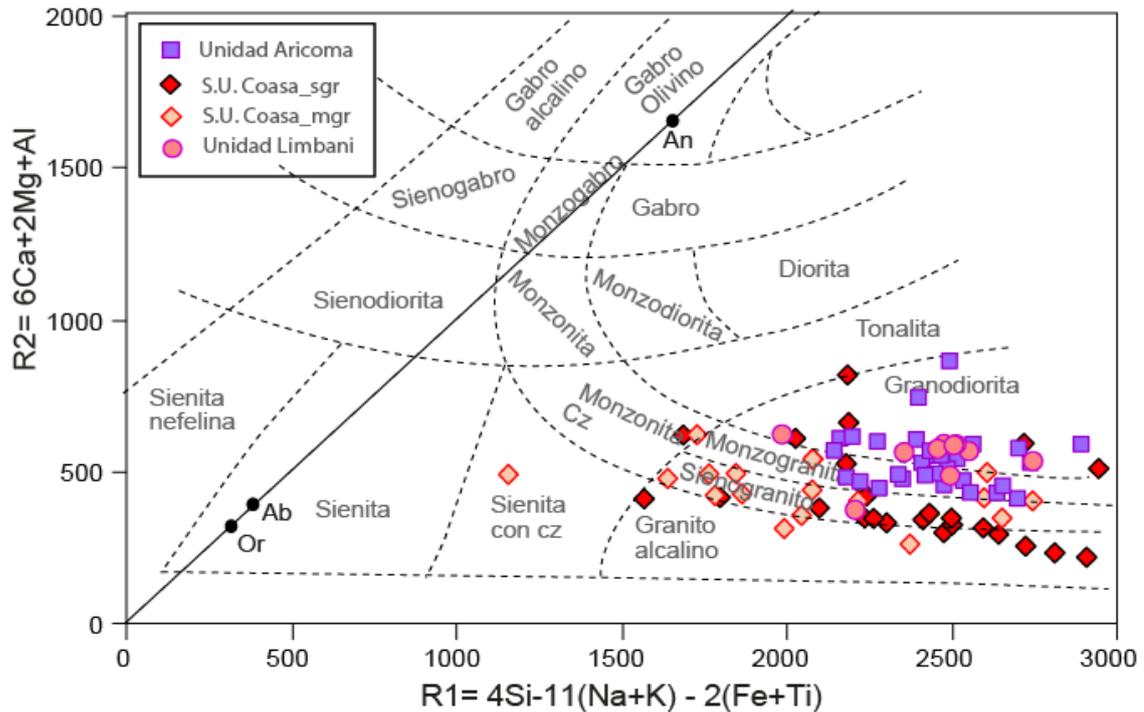


Figura 58. Diagrama de clasificación multicacionica R1 Vs R2 (Modificado De la Roche et al. 1980) para las Unidades Triásicas del Batolito de la Cordillera Oriental. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

En la Figura 59, se muestra el patrón de concentración (diagrama Spider) de las unidades magmáticas triásicas de las Unidades Aricoma y Limbani y la Super Unidad Coasa, donde muestran valores Li, Mo, Pb, W, Th, U y LREE los cuales son superiores al promedio de la Corteza Continental (Wedepohl, 1995). En el diagrama Spider de las unidades Triásicas (Figura 59), las Unidades Aricoma y Limbani y la Super Unidad Coasa presentan anomalías negativas de en los elementos de Nb y Ta, indicando un componente de subducción en la génesis de estas rocas. Las anomalías negativas bastante pronunciadas en los elementos de Eu, Sr y Ba sugieren un amplio componente de fraccionación de feldespatos. Las tierras raras pesadas muestran una tendencia horizontal muy cerca al valor 10, lo que nos sugiere un bajo grado de contaminación de del magma con la Corteza Continental.

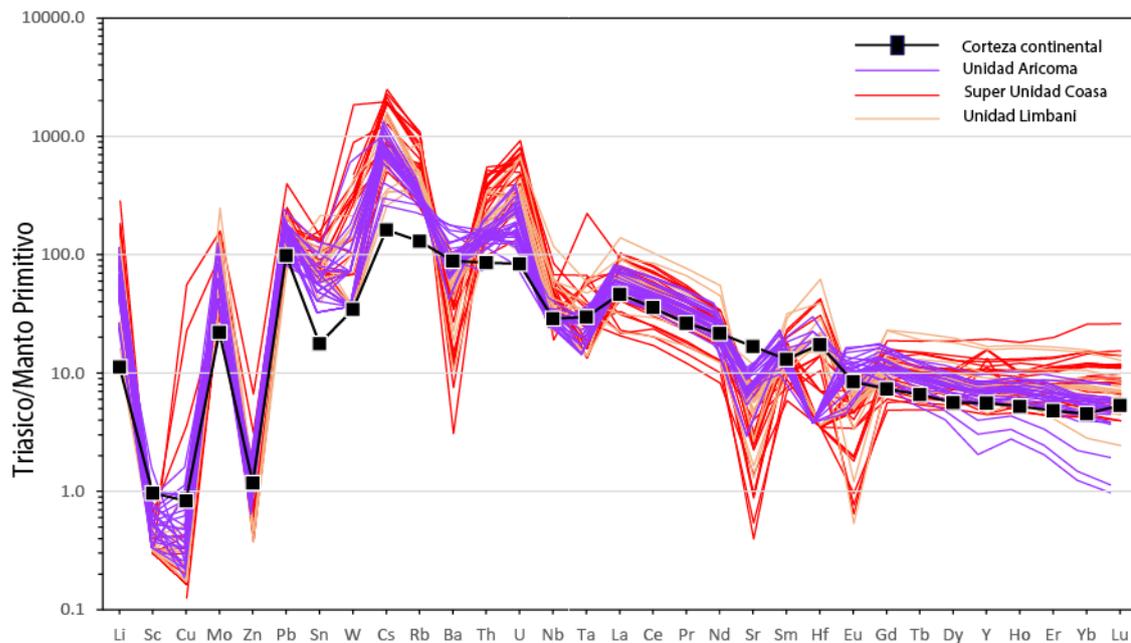


Figura 59. Diagrama Spider de las unidades triásicas del Batolito de la Cordillera Oriental normalizado al valor del manto primitivo de McDonough and Sun, 1995, contrastados con el valor de la Corteza continental (Wedepohl, 1995). Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

5.4 QUÍMICA MINERAL DE LAS BIOTITAS

Los análisis químicos de los cristales de biotitas, se hallan en el Anexo D: Anexo D1 y D2, con los cuales se realizaron diagramas binarios y ternarios para elementos mayores y menores. También se realizó diagramas de perfiles de concentración de elementos traza y elementos de tierras.

5.4.1 Clasificación de biotitas en función del color

La Unidad Aricoma presenta una variación en el color de los cristales de biotita, que van de marrón a rojo, con hábitos tabulares largos con borde irregulares, para lo cual se empleó el diagrama de clasificación de cristales de biotita por su color según Stosch, 2003 (Figura 60). En algunos casos hexagonales, con alteraciones incipientes de cloritas e impregnación de óxidos de hierro. Presenta inclusiones de zircón, apatito, rutilo y zinwaldita (mineral de Litio) (Figura 61 y 62).

En la tabla 3, se realiza una estimación del contenido de los cristales de biotita a nivel de la roca, representando un contenido de 12% en lo monzogranitos, sienogranitos y granodioritas, de los cuales 6% son biotitas de color rojo-marrón, 4 % biotitas rojas y 2% biotitas marrones.

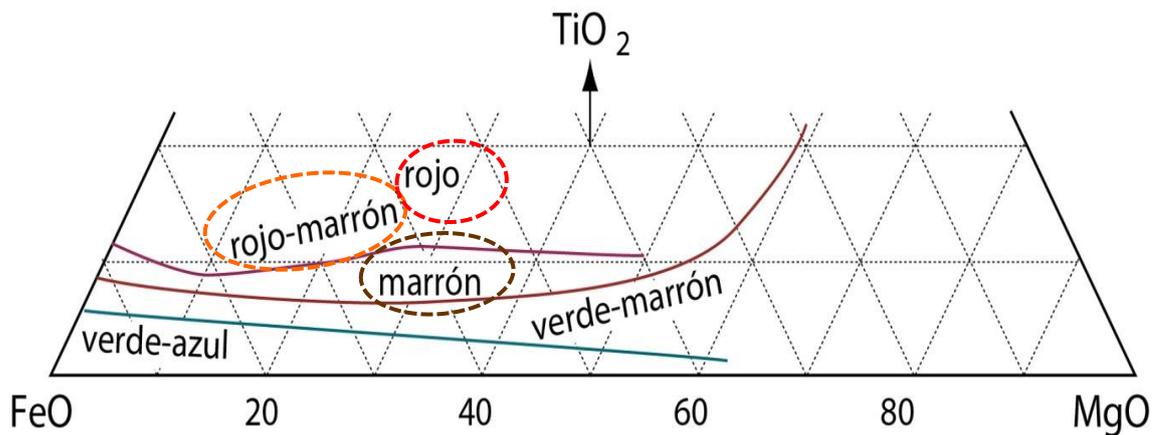


Figura 60. Clasificación de biotita en función del color, según Stosch, H. 2003. Los cristales de biotita de color rojo-marrón, indican contenidos de FeO (60-90%); MgO (10-60%) y TiO₂(8-12%). Los cristales de biotita de color rojo presentan contenidos de FeO (60-90%); MgO (20-50%) y TiO₂ (9-20%). Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

Tabla 3. Clasificación en base al color de los cristales de biotitas de la Unidad Aricoma. rut: rutilo, ap: apatito, zr: zircón, OPs: opacos, zwd: zinwaldita.

Biotita K(Mg;Fe ₂₊) ₃ (Al;Fe ₃₊) ₃ Si ₃ O ₁₀ (OH;F) ₂	Habito y Forma	Alteración	Inclusiones	%
Verde - azul	-	-	-	-
Verde - marrón	-	-	-	-
Marrón	Tabular con bordes irregulares	Cloritización debil mayormente en los planos de exfoliación	zr, ap, Ops y zwd	2
Rojo - marrón	Hexagonal, tabular con bordes irregulares	Cloritización debil e impregnaciones de óxidos de hierro incipiente	rut, ap y zwd	6
Rojo	Hexagonal, tabular	-	rut y ap	4

Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

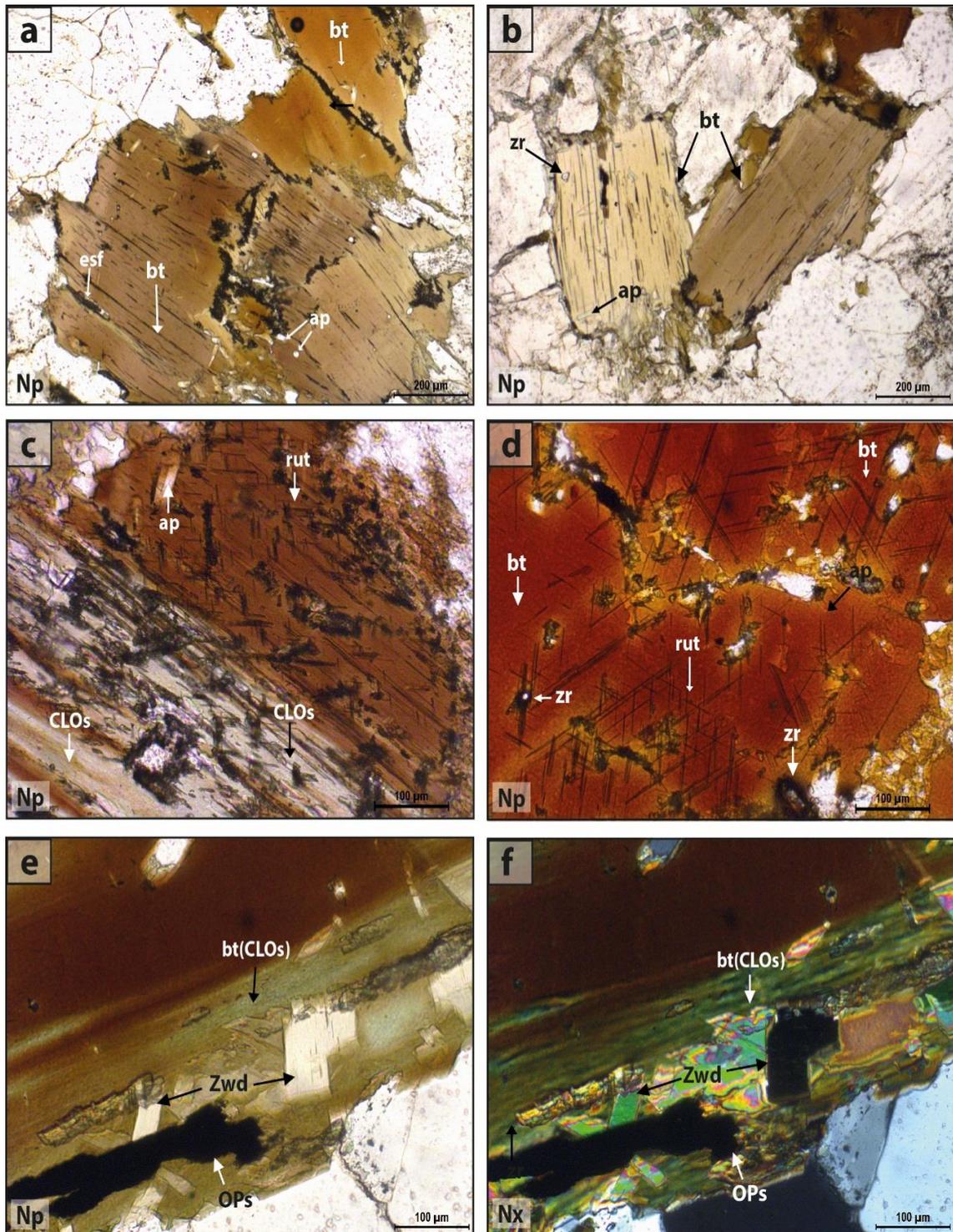


Figura 61. Fotomicrografías: Np: a - f; Cristales de biotitas de monzogranitos: a y b. Cristales de biotitas de color marrón, presentan inclusiones de microcristales de esfena, apatito y zircones; c y d. Cristales de biotitas de color marrón rojizo, presentan inclusiones de rutilo en forma reticulada (textura sagenítica) y las inclusiones de zircones presentan halo metamórfico; e. Cristal de biotita de color marrón, se encuentra alterado a clorita y se encuentra asociada a cristales de zinwaldita y minerales opacos; f. Imagen en Nx, del cristal de biotita y zinwaldita en (e). Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

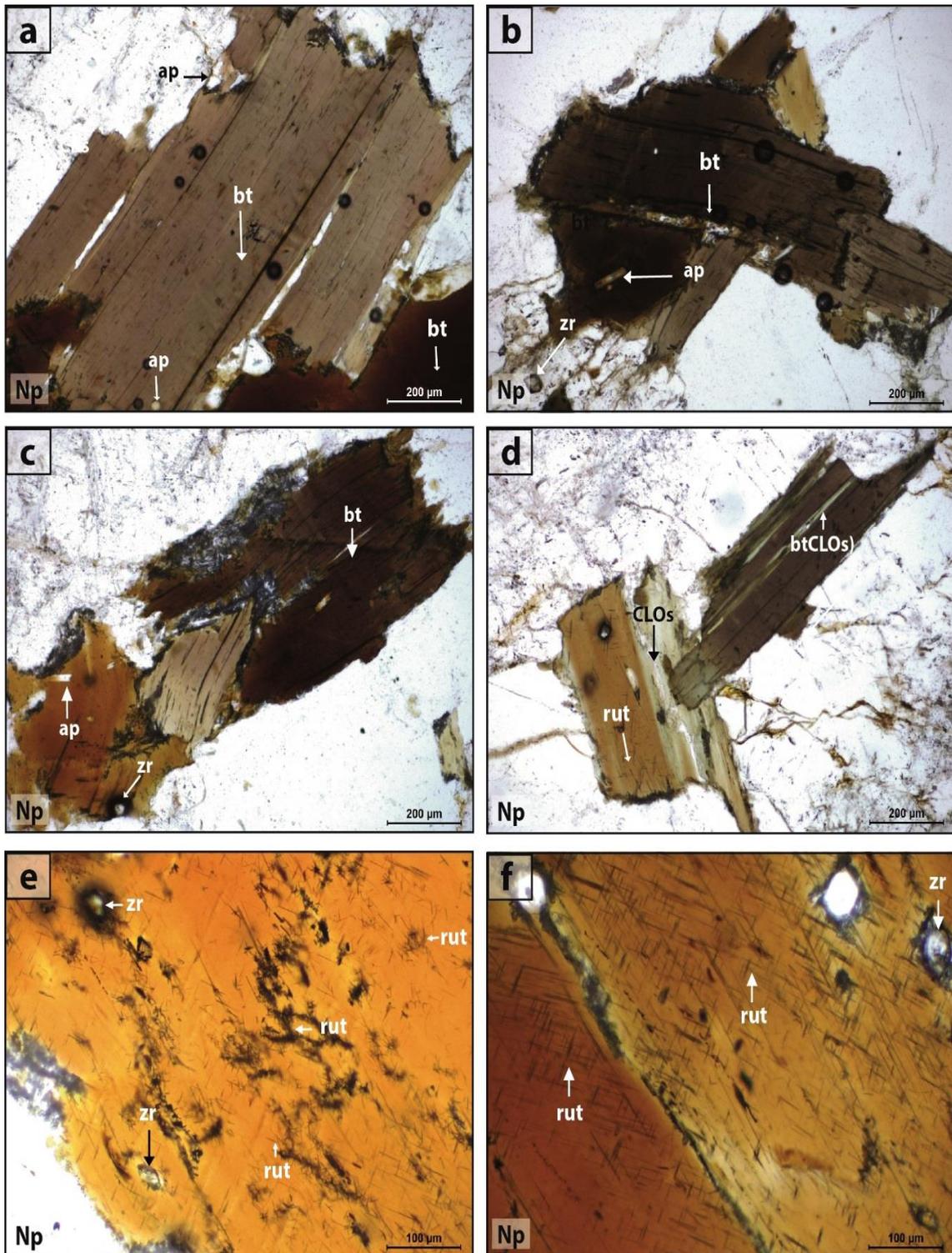


Figura 62. Fotomicrografías: Np: a - f; Cristales de biotitas de sienogranitos: a y b. cristales de biotitas (bt) de color marrón con inclusiones de apatito (ap); c. Cristal de biotita de color marrón con inclusiones de zircon; d y e. cristales de biotitas de color marrón con inclusiones de rutilo (rut) y zircons (zr); f. cristales de biotitas de color marrón rojizo con inclusiones de rutilo, estas se presentan en forma reticulada (textura sagenítica). Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

5.4.2 Clasificación química de biotitas

En el diagrama de MgO Vs FeO total (Figura 63), muestra la composición química de los cristales de biotita, los cuales presentan mayor contenido de MgO (wt%) y valores de FeO total (wt%) relativamente altos. Siendo corroborados con los diagramas de SiO₂ (wt%) Vs Al₂O₃ (wt%), SiO₂ (wt%) Vs MgO (wt%) según Petrik, S (2014). Donde se muestran biotitas de la serie Mg – Fe (Figura 64 y 65). Sin embargo en el diagrama de SiO₂ (wt%) Vs FeO total (wt%) plasma contenidos de biotita de la serie Li –Fe (Figura 66).

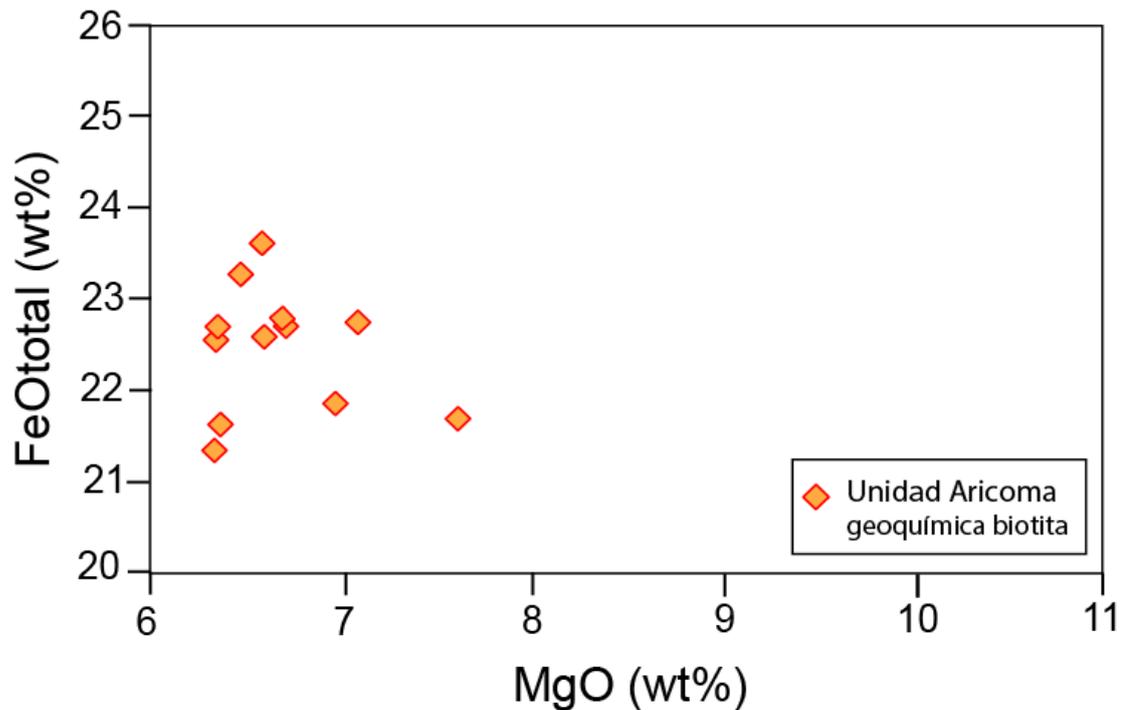


Figura 63. Composición química de biotitas plotadas en el diagrama de MgO Vs FeO_{total}. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

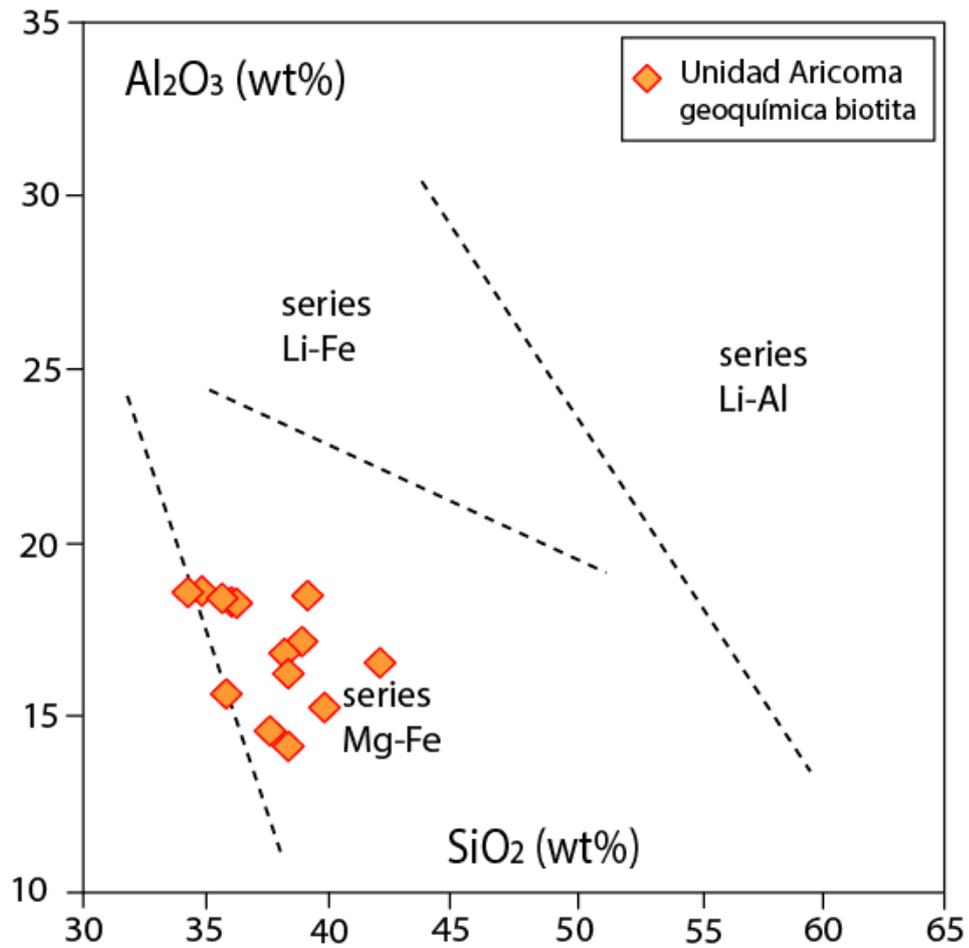


Figura 64. Diagrama de SiO₂ (wt%) Vs Al₂O₃ (wt%) de Petrik, S. (2014) donde se aprecian contenidos de biotita de la serie Mg-Fe. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

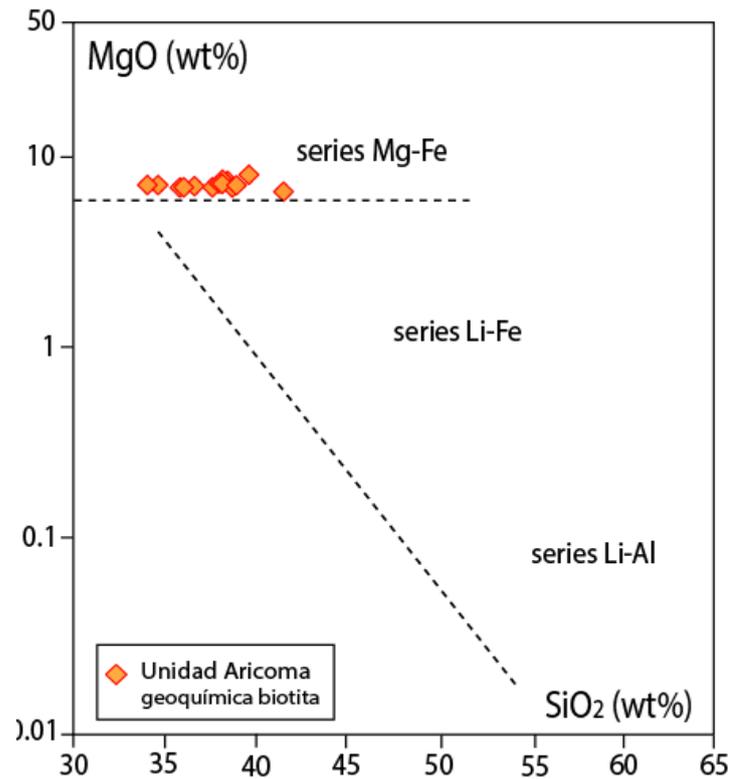


Figura 65. Diagrama de SiO₂ (wt%) Vs MgO(wt%) de Petrik, S (2014) donde se aprecian contenidos de biotita de la serie Mg-Fe. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

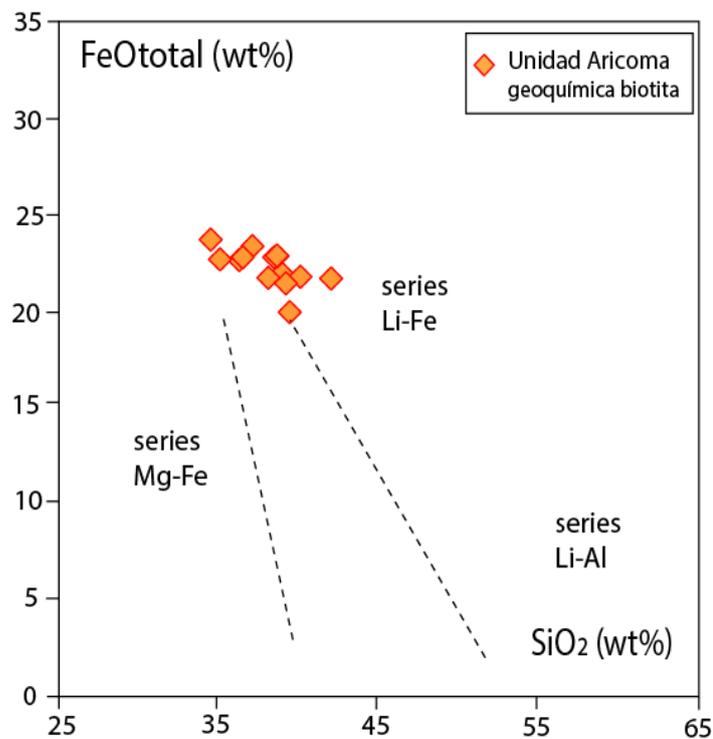


Figura 66. Diagrama de SiO₂ (wt%) Vs FeO total (wt%) de Petrik, S. (2014) con contenidos de biotita de la serie Li-Fe. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.



5.5 CONSIDERACIONES PETROGENÉTICAS

Mediante los resultados de los análisis geoquímicos de los cristales de biotita, se realizó varios modelos de diagramas de discriminación de Abdel Rahman (1994). Estimando contenidos de MgO, FeO* y Al₂O₃ de biotita, realizados en toda la variedad de rocas ígneas de la Unidad Aricoma, con estos diagramas es posible demostrar la naturaleza del magma y sus diversas fuentes.

La composición química de las biotitas de la Unidad Aricoma en el diagrama de discriminación ternario FeO total – Al₂O₃- MgO (Figura 67a), caen en el campo de granitos orogénicos peraluminosos, tipo S y son correlacionados con los diagramas binarios de Al₂O₃ Vs FeOtotal, Al₂O₃ Vs MgO y MgO Vs FeO total de Abdel Rahman (1994), (Figura 67b, 67c y 67d).

En el diagrama de Al total Vs Mg de Nachit el al (1985), las muestras analizadas fueron ploteadas en el campo relativo de los granitos calcoalcalinos (Figura 67e).

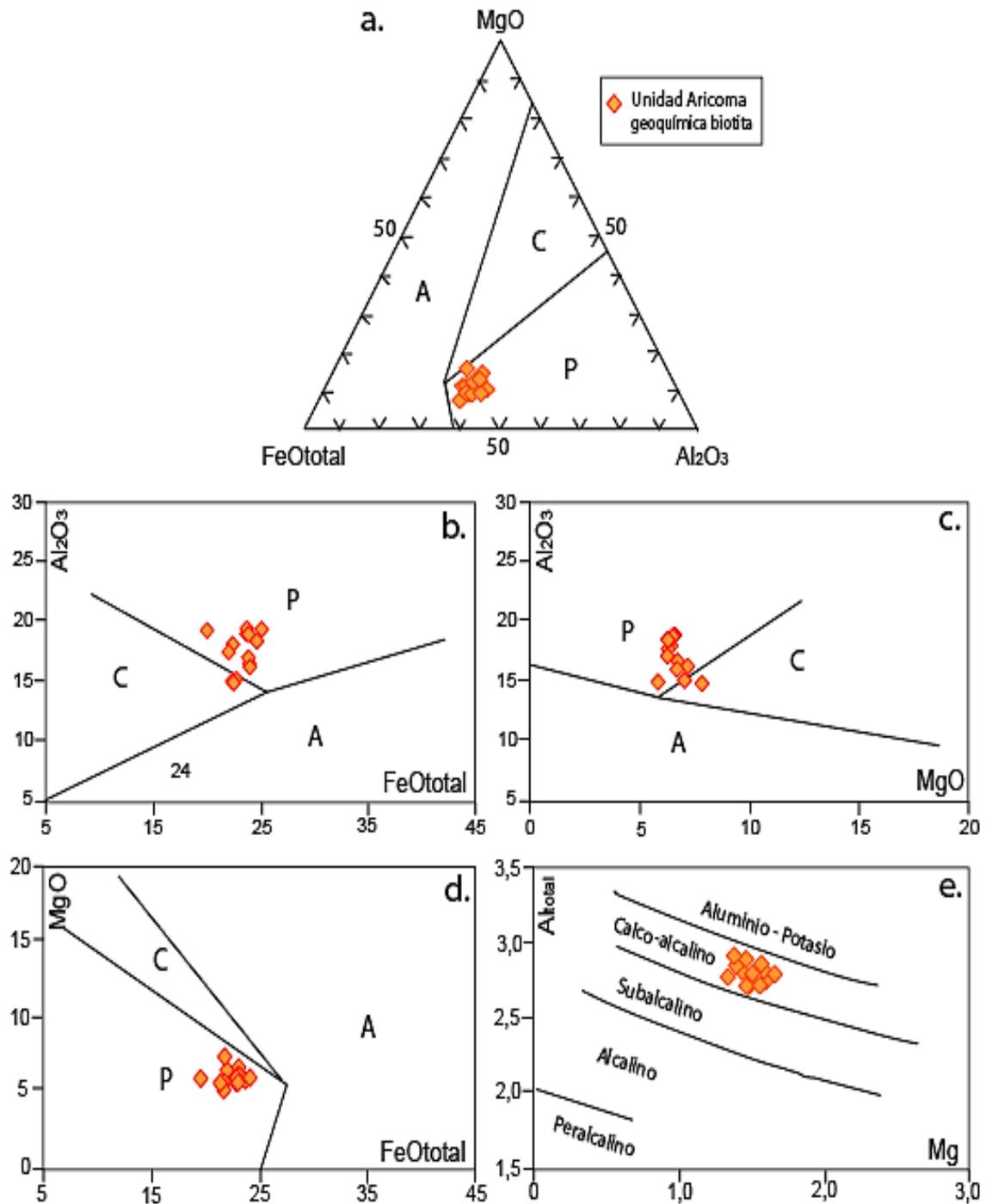


Figura 67. Diagramas discriminatorios para clasificación de series magmáticas a partir de la química de las biotitas de la Unidad Aricoma; a-d. Diagramas de relación FeO - MgO - Al₂O₃, Al₂O₃ vs FeO total, Al₂O₃ vs MgO y MgO vs FeO total de Abdel-Rahman (1994); e. Diagrama Al total-Mg para para clasificación de series magmáticas a partir de la química de las biotitas de Nachit *et al.* (1985). Simbología en diagramas: A= Serie alcalina asociada a granitos alcalinos anorogénicos; P= Granitos orogénicos peraluminosos y tipo-S; C=Serie Calco-alkalina asociada a granitos orogénicos tipo-I. Fuente: INGEMMET-DGR-GR39B; Inédita de esta tesis.

En el diagrama de spider manto de los análisis de biotita, presenta anomalías negativas de Eu, Sr y Cu, lo que sugiere un amplio componente de fraccionación (Figura 68). Así mismo se aprecian valores superiores al promedio de la corteza continental de Cs, Th, Li, Ta, Nd, Mo y LREE permitiendo inferir una asimilación y contaminación del magma inicial (Figura 69).

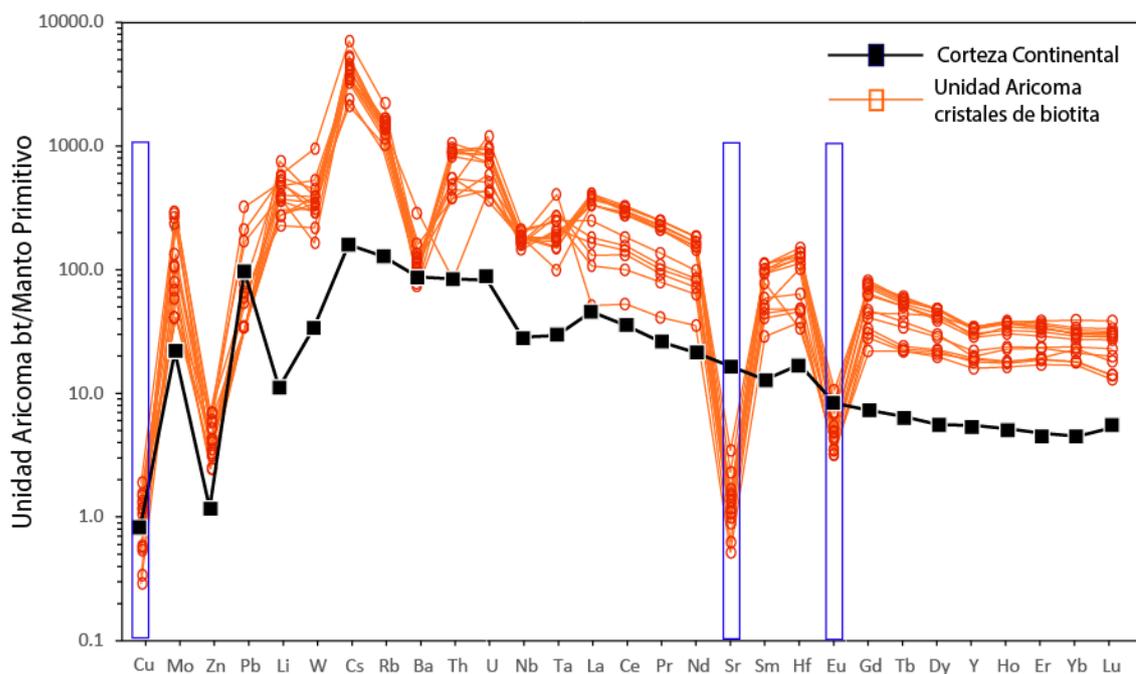


Figura 68. Diagrama Spider de los cristales de biotita de la Unidad Aricoma, donde se aprecia anomalías negativas de Eu, Sr y Cu, contrastados con el valor de la Corteza continental (Wedepohl, 1995). Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

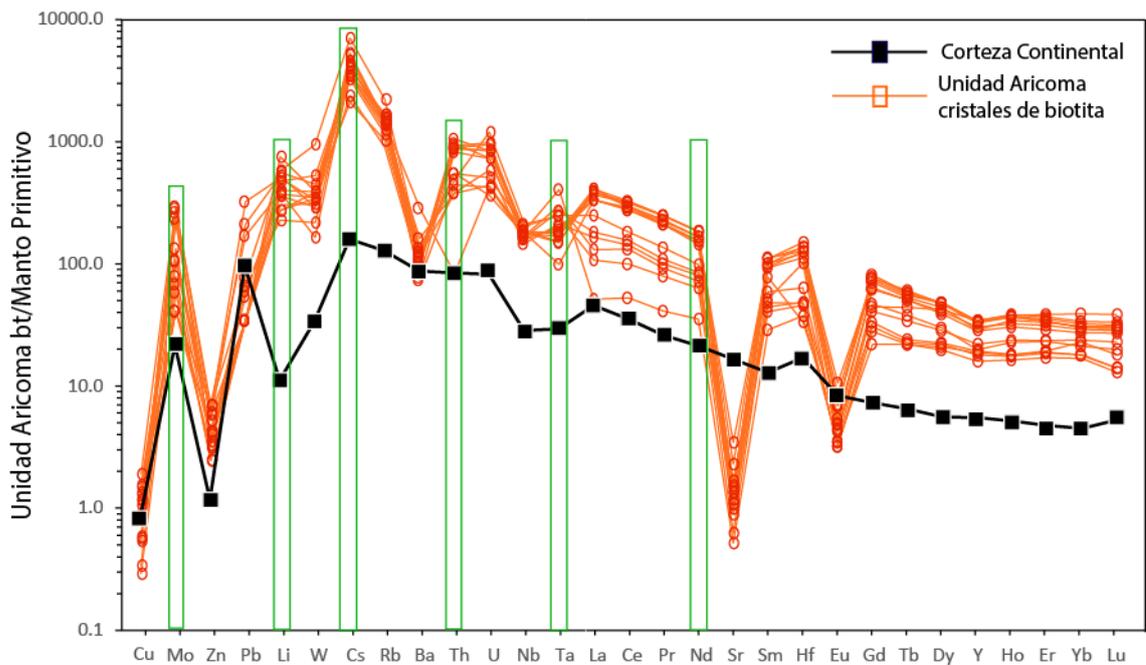


Figura 69. Diagrama Spider de los cristales de biotita de la Unidad Aricoma, donde se plasma anomalías positivas de Nd, Ta, Mo, Li, Cs y Th, contrastados con el valor de la Corteza continental (Wedepohl, 1995). Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

5.5.1 Modelo Petrogenético

Se generó un modelo petrogenético (Figura 70) en base a la interpretación de observaciones en campo, estudios petrográficos con énfasis en las texturas y microtexturas de las rocas graníticas y de especie mineral (feldespatos potásicos, plagioclasas, micas, cuarzo). Los diagramas geoquímicos de elementos mayores, menores, trazas y tierras raras dan a entender que estas rocas pertenecieron a un mismo sistema magmático.

En función de todo lo mencionado, se realiza el esquema petrogenético, mostrando los fenómenos más relevantes que se produjeron durante el enfriamiento de la Unidad Aricoma, estos son: (1) asimilación de la roca caja por la diorita, con una posterior, (2) intrusión de la granodiorita el cual asimilo parte de diorita, (3)

Emplazamiento de Monzogranito cortando y asimilando bloques de diorita y granodiorita.

Luego se dio la recarga por un nuevo magma e hidratación con el magma residente, generando una mezcla de magmas, y dándose el (4) emplazamiento del sienogranito, de estos procesos existe constancia registrada en las rocas por sus estructuras, texturas y composición, siendo uno de los indicadores la textura rapakivi. El cual nos permite inferir que durante los últimos estadios de cristalización del monzogranito, este se vio interrumpido por las inyecciones o mezcla de un magma mucho más ácido, asociado a una disminución de la presión, el cual no dio tiempo a que los cristales generen un núcleo, causando a que tomaran cristales del monzogranito, como núcleos para poder desarrollarse y cristalizar.

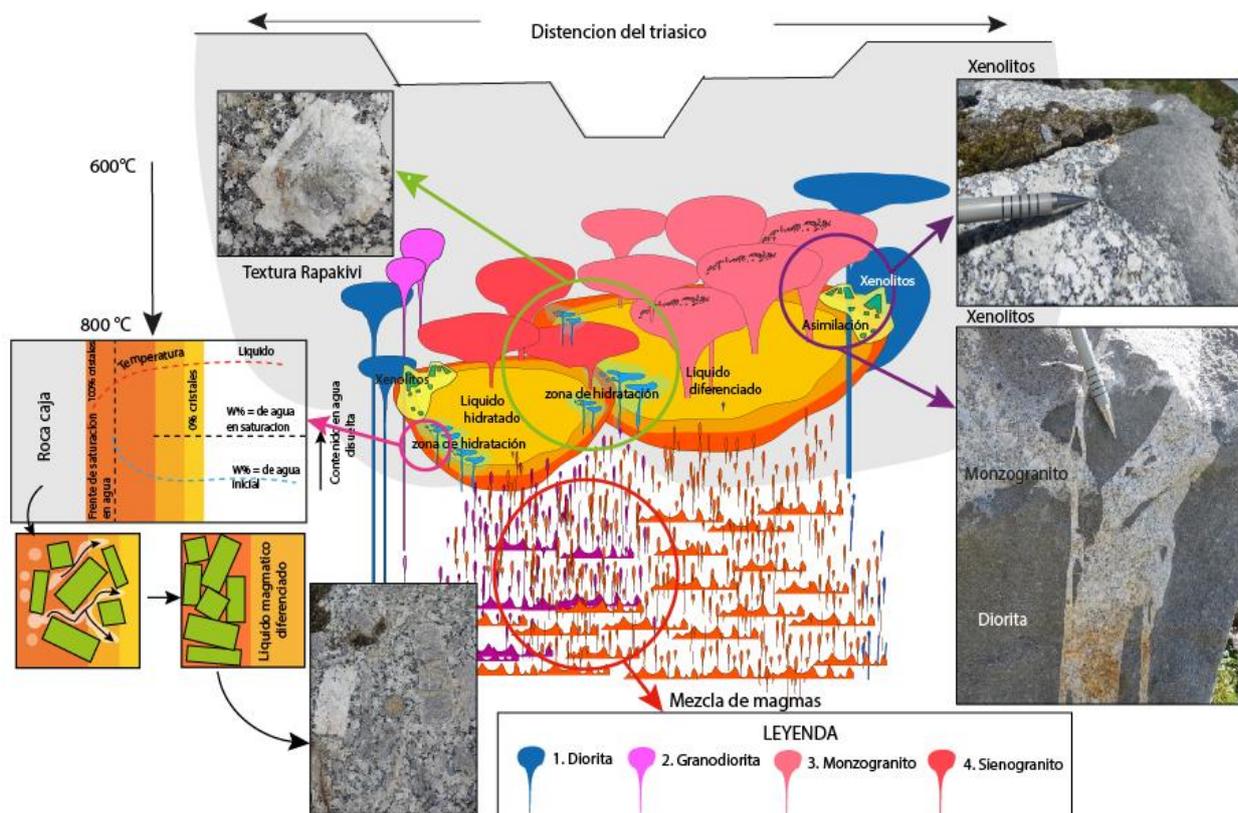


Figura 70. Esquema idealizado del emplazamiento magmático de la Unidad Aricoma. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Modelo Petrogenético Inédita de esta tesis.



VI. CONCLUSIONES

En relación con los afloramientos de campo, características petrológicas, petrográficas, geoquímicas y química mineral se concluye lo siguiente:

1. Según el enfoque petrogenético, la Unidad Aricoma, proviene de un magma inicial muy contaminado, el cual se fue diferenciando y asimilando roca caja sedimentaria y metamórfica, conforme este ascendía a la superficie. Cristalizando rocas ígneas con litologías de granodiorita, monzogranito y sienogranito. Durante la cristalización del sienogranito, la fuente magmática, presento un segundo fluido magmático de composición mucho más acida, causando una mezcla e hidratación de magmas, las cuales fueron acondicionadas por la presión y temperatura adecuadas para el desarrollo de los megacristales de feldespatos potásicos.
2. La Unidad Aricoma presenta variaciones litológicas de monzogranitos, sienogranitos, granodioritas. Estas tres litologías se hallan compuestas principalmente por plagioclasas, feldespatos potásicos, cuarzo, biotita y eventuales cristales de anfíboles. Siendo los cristales de biotita el ferromagnesiano predominante en estas rocas. Rescatando características petrográficas únicas, los monzogranitos presentan feldespatos potásicos con textura poiquilitica y pertítica, los cristales de biotita se caracterizan por presentar inclusiones de rutilo en forma reticulado con Textura Sagenítica y microcristales de zinnwaldita, los sienogranitos se halla con feldespato potásicos desarrollados con textura rapakivi, pertítica y poiquilitica, plagioclasas desarrolladas con textura poiquilitica.
3. Según la geoquímica, el análisis de los elementos mayores muestran altas concentraciones de SiO₂ entre 60 a 75 (% wt), con una variación composicional de granodiorita, monzogranito y sienogranito. Según el índice de saturación de



alúmina las rocas son peraluminosas y metaluminosas, lo que puede estar relacionado a que provienen de la fusión de diferentes materiales. Los perfiles de concentración de elementos traza, muestran anomalías negativas de Nb y Ta, lo cual sugiere que una componente de subducción fue ligada a esta Unidad. Así mismo se observa anomalías negativas de Ba, Sr y Eu, lo que nos permite inferir que el sistema estuvo dominado por fraccionación de feldespatos potásicos y plagioclasas.

4. La Unidad Aricoma presentan una relación genética con minerales estratégicos como Li, Ta, Nd, Th, Cs, Nb, Ta, Mo-W-Sn- Zn-Pb. según el perfil de concentración de elementos traza y tierras raras de roca total y de cristales de biotita y el diagrama de Eu/Eu^* Vs FeO total.
5. Los granitos de la Unidad Aricoma, presentan biotitas de composiciones de la serie Mg – Fe y Li – Fe, pertenecientes a granitos orogénicos peraluminosos de tipo-S, con anomalías positivas de Li, Cs, Th, Ta, Nd y Mo; y anomalías negativas de Cu, Sr y Eu.



VII. RECOMENDACIONES

- Generar un sistema de muestreo más esquemático generando mallas de muestreo en caso, se requiera realizar estudios de prospección geoquímica o determinar zonas de minerales económicos explotables
- Se debe realizar estudios de isotopos de $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$, para diferenciar la fuente del magma y determinar el grado de fraccionación y contaminación del magma inicial.
- Realizar dataciones radiométricas en cada litología de la Unidad Aricoma para tener un modelo petrogenético más detallado. Se recomienda realizarlo por el método U/Pb debido a que el zircón es un cristal que no se altera fácilmente, ya que su temperatura de cierre 700 a 900°C y lo caracterizan como un trazador petrogenético.
- Se debe realizar análisis estructurales y microestructurales en la Unidad Aricoma, ya que las fallas y microfracturas, se hallan netamente relacionados con el emplazamiento de un sistema magmático como lo es el Batolito de la Cordillera Oriental



VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel-Rahman, A.M. (1994). Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline, and peraluminous magmas. *Journal of Petrology*, 35(2), 525-541. doi: 10.1093/petrology/35.2.525.
- Barton, M. (1996) Granitic magmatism and metallogeny of southwestern North America. *Transactions of the Royal Society Edinburgh: Earth Sciences*, 87, 261–280.
- Blevin, P. y Chappell, B. (1992). The role of magma sources, oxidation states, and fractionation in determining the granite metallogeny of Eastern Australia: *Transactions of the Royal Society of Edimburgh: Earth Sciences*, V. 83, 305-316.
- Candiotti, H. and Guerrero, T. (1983). Ocurrencia de un yacimiento tipo albita-greisen de Cu, W, Sn y Mo, Carabaya, Puno. *Sociedad Geológica del Perú, Boletín*, n. 30, 69-78.
- Cabrera, A. and Petersen, G. (1936). Reconocimiento geológico de los yacimientos petrolíferos del departamento de Puno. *Bol. Cuerpo Ing Min y Petr. del Perú*, Nro 11p.
- Castro Dorado, A. (1989). *Petrografía Basica, textura, clasificación y nomenclatura de rocas* 143p.
- Castro, A. (2015). *Petrografía de rocas ígneas y Metamórficas*, 246p
- Chacaltana, C., Carlotto, V., Valdivia, W., Acosta, H., Peña, D., Rodríguez, R. (2011). Estudio Geológico de la Cuenca Ene, Sectores centro y sur: INGEMMET. *Boletín, serie D: Estudios Regionales*; nro 29.
- Chappell, B. and White, A. (1974) Two contrasting granite types. *Pacific Geology*, 8, 173–4.
- Chávez, A., Salas, G., Gutiérrez, E., Cuadros, J. (1997). Geología de los cuadrángulos de Corani y Ayapata (Hojas 28-u y 28-v). INGEMMET. *Boletín. Serie A- Carta Geológica Nacional*, n. 90, 128p.



- Clark, A. (1990) Geologic and geochronologic constraints on the metallogenic evolution of the Andes of southeastern Peru. *Economic Geology*, 85, 1520–83.
- De la Cruz, N. and Carpio, M. (1996). Geología de los cuadrángulos de Sandia y San Ignacio (hojas 29-y, 29-z). INGEMMET. Boletín. Serie Carta Geológica Nacional, n.66, 170p.
- De la Roche, H., Leterrier, J., Grande P., Marchal, M., (1980). A classification of volcanic and plutonic rock using R1-R2 diagrams and mayor element analyses-its crelationship and current nomenclature. *Chem. Geol.*, 29, 183-210p.
- Dumbar, C., Newell, N., (1946). Marine early Permian of the Central Andes and it is Fusuline Fauna. *Amer. Jour of scien.* Vol. 244p.
- Douglas, J.A. (1920). Geological section through the Andes of Perú and Bolivia: II-From the Port of Mollendo to the Inambari River. *Quaterly Journal of the Geological Society of London*, 76, 1-61.
- Harrison, J.V. 1961. Geología de los Andes Orientales del Perú. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, v. 21, p. 3-97
- Ishihara, S. (1981). The granitoid series and mineralization. *Economic Geology 75th Anniversary Volumme*. 458 – 484.
- Kontak, D., Clark, A., Farrar, E. (1984). The Magmatic Evolution of the Cordillera Oriental, Southeastern Peru. . 203-214.
- Kontak, D., Clark, A., Farrar, E., and Strong, D. (1985). The rift-associated Permo-Triassic magmatism of the Eastern Cordillera: A precursor to the Andean orogeny. In *Magmatism at a plate Egde: The Peruvian Ande* (W.S. Picther, M.P. Atherton, E.J. Cobbing and R.D. Beckindale, eds.), Blackie and Song, Glasgow, 36-44p.
- Kontak, D., Clark, A., Farrar, E., Archibald, D., Baasgaard, H. (1990a). Late Paleozoic Magmatism in the Cordillera de Carabaya, Puno, Southeastern Peru: Geochronology and petrochemistry. *Journal of South American Earth Sciences* Vol. 3 N° 4, 213-230.
- Lalonde, A. and Bernard, P. (1993). Composition and color of biotite from granites: two useful properties in the characterization of plutonic suites from the Hepburn internal



- zone of Wopmay orogen, Northwest Territories. *Canadian Mineralogist*, 31(1), 203-217.
- Laubacher, G., (1974).- Le Paléozoïque inférieur de la Cordillère orientale du sud-est du Pérou. *Cahiers ORSTOM, série Géologique*, 6(1), 29-40.
- Laubacher, G (1977) *Géologie des Andes Péruviennes; géologie del' Altiplano de la Cordillere Orientale au nord-ouest du Lac Titicaca (Pérou)*. Docteur de at - [Ph.D. these]:Montpellier, Université des sciences et techniques du Languedoc, 116 p.
- Laubacher, G (1978) *Géologie des Andes Péruviennes; Géologie de la Cordillère orientale et del Altiplano au nord-ouest du Lac Titicaca*. O.R.S.T.O.M, Paris. 217p.
- Le Maitre, R.W., ed. (2004).- *A classification of igneous rocks and glossary of terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks*. 2a. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 236 p.
- Lopez, P and Bellos L. (2006). *Texturas y estructuras de las rocas ígneas, significado petrológico e implicancias en las condiciones de formación de rocas*. 62p.
- Mackenzie W. and Guilford C. (1992). *Minerales formadores de rocas en láminas delgadas*. Atlas de Petrografía, 1-60.
- McDonough, W. and Sun, S. (1995). *The composition of the Earth*, *Chem. Geol.*, 120, 223-253p.
- Masoudi, F., and Jamshidi-Badr, M. (2008). *Biotite and hornblende composition used to investigate the nature and thermobarometry of Pichagchi pluton, northwest Sanandaj-Sirjan metamorphic Belt, Iran*. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 19(4), 329-338.
- Monge, R., Zedano. J. C. (1996). *Geología del cuadrángulo de Limbani (hoja: 29-x)*. INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional, n. 84, 183 .
- Nachit, H., Razafimahefa, N., Stussi, J.M., and Carron, J.P. (1985). *Composition chimique des biotites et typologie magmatique des granitoides*. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 301(11), 813- 818pp.



- Newell, N., Chronic, J., Roberts, T. (1949). Upper Paleozoic of Peru. S.L.s.e., 1949. 241p.
- Nordstrom, D. and Muñoz, J. (1986). Geochemical thermodynamics. Blackwell Scientific Publications, Palo Alto, 477pp.
- Pearce, J., Harris, N., and Tindle, A. (1984). Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrology* 25: 956-983.
- Petrik, S. (2014). Alpine oxidation of lithium micas in Permian S-type granites (Gemic unit, Western Carpathians, Slovakia), 42p.
- Rabia, O. (2008). Curso de Metalogénesis. Programa Internacional de Perfeccionamiento en Metalogénesis, BS Grupo, Lima, 262 p.
- Ramo, T. and Haapala, I. (1996). Rapakivi granites magmatism: A global review with emphasis on petrogénesis: Petrology and geochemistry of magmatic suites of rocks in the continental and oceanic crusts. A volume dedicated to Professor Jean Michot. Université Libre de Bruxelles, Royal Museum for Central Africa. 177-200p.
- Richards, J. 2003. Tectono-magmatic precursor for Porphyry Cu-(Mo-Au) deposits formation. *Economic Geology*. 98:1515-1533.
- Robb, Laurence. (2005). Introduction to ore-forming processes. Blackwell publishing. 386p.
- Rollinson, H. (1993). Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, and Interpretation. Longman Scientific & Technical, New York, 352 p.
- Santos, Alan. (2011). Magmatismo, geoquímica y su aplicación a la exploración de yacimientos en la cuenca Lancones – Perú. Tesis profesional. Universidad Nacional de Cajamarca. 130p.
- Shannon, R. D. (1976).- Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides. *Acta Cryst. A*. 32. 751–767.
- Shand, H. (1943). Eruptive Rocks: Their Genesis, Composition, Classification, and their relation to Ore-Deposits:125p.



- Sillitoe, R. (1976) Andean mineralization: a model for the metallogeny of unconvergent plate margins. In D.F. Strong (ed.) *Metallogeny and Plate Tectonics*. Geological Association of Canada, Special Paper, 14, 59–100.
- Simons B., Shail Robin K., Andersen Jens C. (2016). The petrogenesis of the Early Permian Variscan granites of the Cornubian Batholith: Lower plate post-collisional peraluminous magmatism in the Rhenohercynian Zone of SW England. *Lithos*, 1-19.
- Soberón, D., Ccallo, W., Tica, S. Rodríguez, R., Mamani, M. (2017). Ocurrencias de mineralización polimetálica y de elementos estratégicos (Sn, W, Cu, Mo, Sb, Zn, Pb – Li, LREE, U, Th-Au) asociados al batolito de la Cordillera Oriental del Peru: INGEMMET; PROEXPLO: 2017, 115-117p.
- Solie, D., and Su, S. (1987). An occurrence of Ba-rich micas from the Alaska Range. *American Mineralogist*, 72(9-10), 995-999.
- Shabani, A.A.T., Lalonde, A.E., and Whalen, J.B. (2003). Composition of biotite from granitic rocks of the Canadian Appalachian Orogen: A potential tectonomagmatic indicator?. *The Canadian Mineralogist*, 41(6), 1381-1396.
- Speer, J.A. (1984). Micas in igneous rocks. In: S.W. Bailey (ed.). *Micas* (pp. 299-356). Mineralogical Society of America, *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, Madison, Wisconsin, USA.
- Stern, R. (2002). Subduction zones. Geosciences Department University of Texas at Dallas. 42 p.
- Stosch, H. (2003). Skript zur Kristalloptik II-Mineral mikroskopie: Institut für mineralogy und Geochemie der Universität Karlsruhe. 157p.
- Streckeisen, A. (1973). Plutonic Rocks: Classification and nomenclature recommended by the IUGS Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks: *Geotimes*, 18(10), 26-30.
- Vavrdová, M. and Svobodová, M. 2010. *Amphitheca isaacsonii* gen. et sp. nov. (Acritarcha) from the Ananea Formation (Siluria/Devonian transition), southern



Peru. Journal of the National Museum (Prague), Natural History Series, 179, 189-196.

Wedepohl, K. (1995). The composition of the continental crust: *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59, 1217-1232p.

Wood, D., Joron, J. and Treuil, M. (1979). A re-appraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic settings: *Earth and Planetary Science Letters*, 45. 326-336.



ANEXOS



Anexo A.

Tabla A1. Rangos de Suceptibilidad Magnéticas.

Mineral	Rango de Extracción (amps)	Mejor Rango de extracción (amps)
Alanita	0.25 - 0.95	0.40 - 0.50
Apatito	1.4 - 1.7+	1.7+
Arsenopirita	1.35 -1.7+	
Barita	1.7+	
Biotita	0.25 - 0.50	0.32 - 0.40
Bornita	0.60 - 0.75	
Casiterita	0.15 - 1.7+	1.7+
Calcocita	1.1 - 1.7+	
Calcopirita	0.90 - 1.7+	1.7+
Clorita	0.20 - 0.40	
Cromita	0.25 - 0.40	0.30 - 0.35
Columbita	0.20 - 0.55	0.30 - 0.40
Covelita	1.0 - 1.2	
Cuarzo	1.7+	
Enargita	1.3 - 1.7+	
Epidota	0.40 - 0.55	
Esfalerita	0.35 - 1.7+	
Estaurolita	1.0 - 1.7+	
Euxanita	0.24 - 0.50	0.40 - 0.45
Feldespató	1.0 - 1.7+	1.7+
Fluorita	1.7+	
Ganita	0.40 - 0.80	0.50 - 0.65
Galena	1.7+	
Granate	0.15 - 0.70	0.20 -0.35
Hematita	0.60 - 0.70	
Hornblenda	0.30 - 0.50	
Ilmenita	0.10 - 0.40	0.18 - 0.21
Kianita	1.0 - 1.7+	
Magnetita	0 - 0.05	0.02
Microlita	0.8 - 1.7+	1.7+
Molibdenita	1.7+	
Monazita	0.30 - 1.0	0.55 - 0.65
Muscovita	0.40 - 1.5	
Perovskita	0.30 - 0.50	0.40 - 0.45
Pirita	1.4 - 1.7+	1.7+
Pirocloro	0.80 - 1.0	
Piroxeno	0.20 - 0.60	0.35 - 0.50
Pirrotita	0 - 0.25	0.02 - 0.04
Rutilo	0.25 - 1.7+	
Scheelita	1.4 - 1.7+	1.7+
Sillimanita	1.0 - 1.7+	
Tetrahedrita	0.65 - 1.3	
Torianita	0.20 - 1.7+	1.7+
Torita	0.30 - 1.7	0.75 - 0.90
Turmalina	0.30 - 1.7	0.35 - 0.55
Uraninita	0.60 - 0.95	
Xenotimo	0.30 - 0.90	0.45 - 0.50
Zircón	0.40 - 1.7+	1.7+

Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

Anexo B.
Estudios petrográficos
Anexo B1: Muestra GR39B-16-006



CORDILLERA ORIENTAL		CODIGO DE MUESTRA	COORDENADAS		Zona
Unidad Aricoma			Norte	Este	
Localidad y/o Paraje	Limbaní-Huancasayani-Norte del C° Colorado	GR39B-16-006	8427729	418523	19

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA	METAMONZOGRANITO
--------------------------	------------------

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Roca metaígneas de textura granoblástica. Se encuentra compuesta principalmente por cristales de cuarzo, feldspatos potásicos y plagioclasas I alterados a sericita y arcilla, como minerales accesorios presenta cristales de biotita alterados a cloritas e inclusiones de zircón, apatito y esfena. Asimismo presenta cuarzo II, rellenado microfracturas e intersticios de los cristales.

DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA

		Tamaño (mm)	%	
CRISTALES	Esenciales	Cuarzo , blastos de formas anhedrales, microfracturados, algunos con contacto suturado. ocurren de manera intersticial, algunos presentan inclusiones de biotita, apatito y zircón	4,00 a 0,4	35
		Plagioclasas , presentan dos granulometrías. Plagioclasas I , cristales de formas subhedrales, prismáticos, con macla polisintética y zonados, presentan alteración de sericita, algunos con alteración de cloritas, arcillas e inclusiones de zircón, apatito y biotita. Plagioclasas II , cristales con formas subhedrales, prismáticos, con macla polisintética, algunos zonados. Ocurren alterados a sericita y arcilla y otros en los intersticios de los cristales.	4,4 a 1,7	28
		Feldespato potásico , cristales de formas anhedrales, algunos maclados, microfracturados, se encuentran alterados a arcillas y sericita, algunos con textura peritética. Se reconoce la especie mineral de microclina por sectores.	1,46 a 0,7	20
		Biotita , cristales de formas anhedrales y subhedrales, tabulares cortos, algunos flexionados, microfracturados; con inclusiones de apatito y zircón. Se muestran en intersticios y como inclusiones en plagioclasas y en los blastos de cuarzo I. Presentan alteración de cloritas y sericita, algunas presentan impregnaciones de óxidos de hierro e inclusiones de rutilo reticulado en forma de agujillas (textura sagenita).	1,7 a 0,24	4
	Accesorios	Apatito , cristales de formas subhedrales con bordes subredondeados, se encuentran como inclusiones en los cristales de plagioclasas y biotita	0,3 a 0,03	2
		Rutilo , cristales aciculares en forma de agujillas que se cruzan regularmente, se encuentran como inclusiones en biotita.	≤ 0,03	1
		Zircón , cristales de formas subhedrales con bordes subredondeados, se encuentran como inclusiones de biotita y plagioclasas.	≤ 0,11	1

Secundarios	Esfena , cristales de formas anhedrales, se encuentran como inclusiones en los planos de exfoliación de los cristales de biotita.	≤ 0,05	Traza
	Zinnwaldita , cristales de formas subhedrales de hábito tabular, se encuentran como inclusiones en los cristales de biotita.	≤ 0,1	Traza
	Cuarzo , blastos de formas anhedrales, con contacto suturado, puntos triples, se encuentran rellenando microfracturas e intersticios de los cristales. Se originan producto de un recrystalizamiento.	0,12 a 0,04	4
	Sericita , agregados microfibrosos, se hallan por la alteración de los cristales de plagioclasas y feldespatos potásicos.	≤ 0,05	3
	Cloritas , agregados microfibrosos, se presentan por la alteración de los cristales de biotita, plagioclasas y feldespatos potásicos y rellenado intersticios entre los cristales.	≤ 0,5	2
	Oxidos de hierro , se hallan como impregnaciones en biotitas y feldespatos	≤ 0,005	Traza
MATRIZ	No presenta		
LITICOS	No presenta		

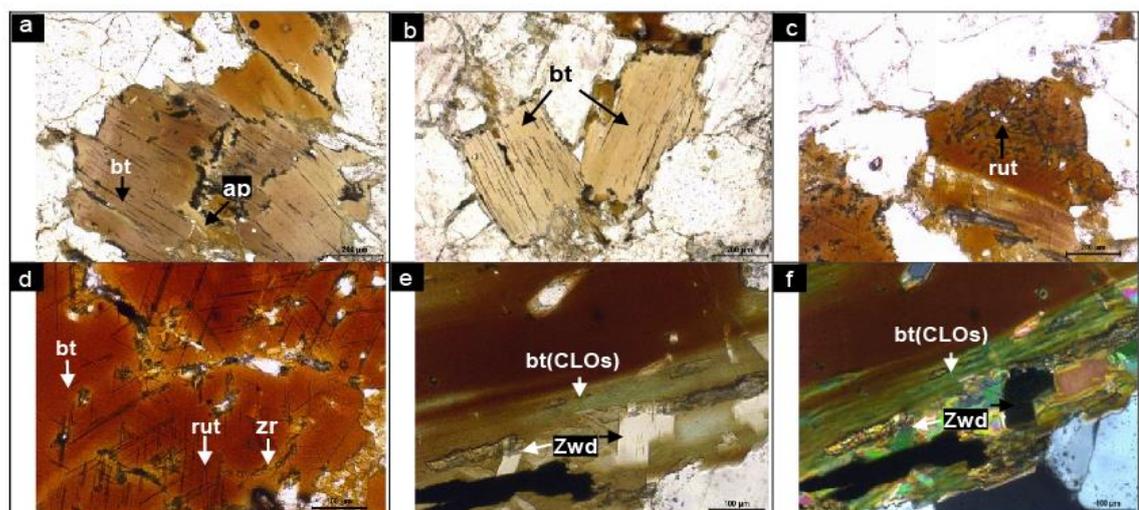
GRUPO COMPOSICIONAL	Cuarzo-feldespato
---------------------	-------------------

METAMORFISMO	Contacto
--------------	----------

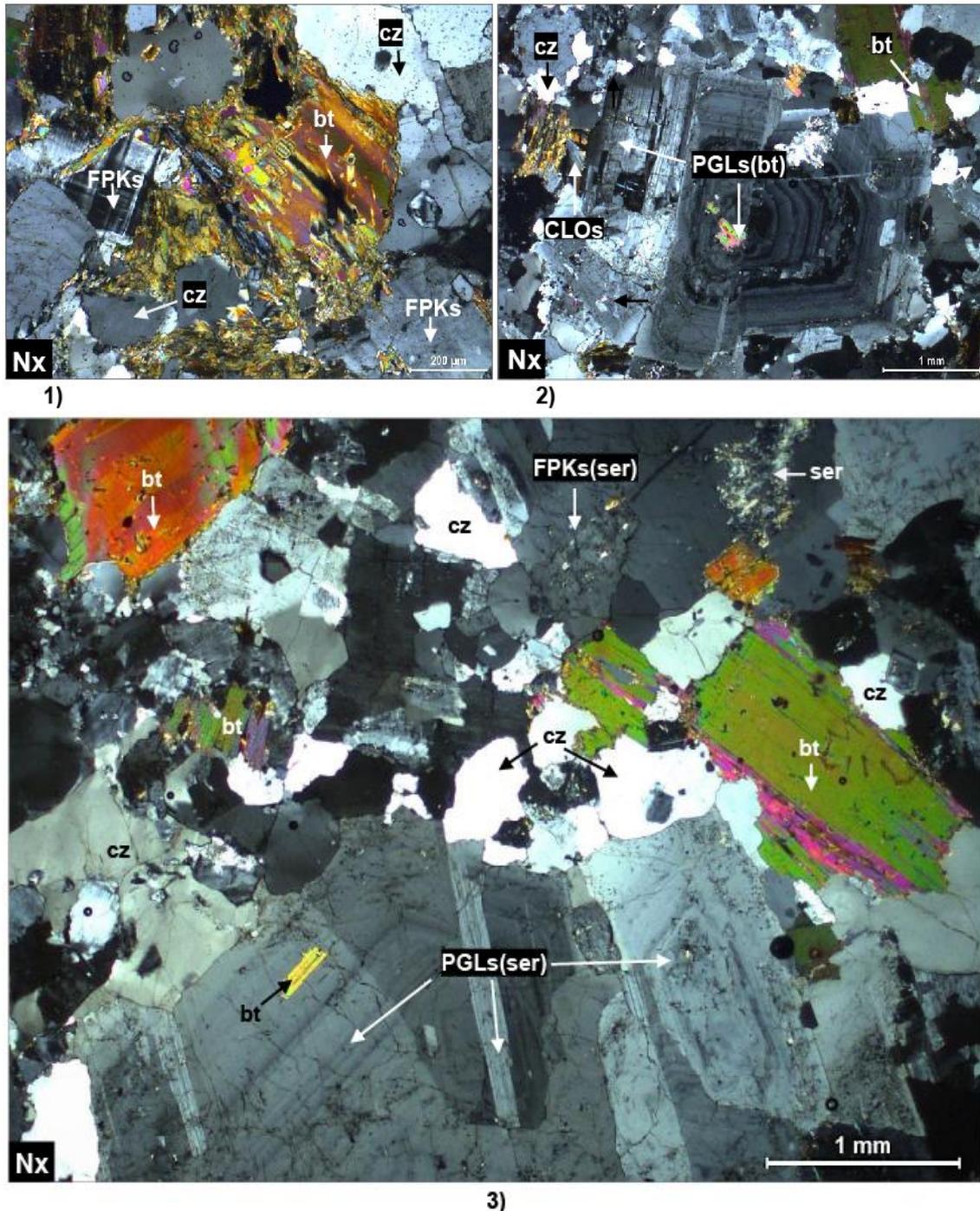
TEXTURAS	Granoblástica
----------	---------------

Alteración	Incipiente (Traza)	Débil (1-11%)	Moderada (12 - 49%)	Intensa (>50%)
Sericitización y cloritización		X		
Oxidación	X			

Observaciones: cristales de biotita de color rojo, a rojo marrón, presentan inclusiones de rutilo reticulado en forma de agujillas textura sagenita (Fotomicrografías c y d), Así mismos se observa inclusiones de cristales de hábito tabular de extinción recta de bajo relieve, posible **Zinnwaldita** (Fotomicrografías e y f). Verificar análisis químicos.



Fotomicrografías; Np: a-e; **Nx:** f; **a y b)** cristales de biotita marrones, con inclusiones de zircon y apatito; **c y d)** cristales de biotita rojo marrón con impregnaciones de óxidos de hierro, presentan inclusiones de rutilo, zircon con halo metamítico; **e y f)** cristales de formas subhedrales de hábito tabular, de bajo relieve, pleocroico, extinción recta, se hallan como inclusiones en cristales de biotita con tamaño de 0.24 mm, posible **Zinnwaldita**. Fuente: INGEMMET-DGR-GR39B: Inédita de esta tesis.



Fotomicrografías Nx: 1-3; 1. Cristales de cuarzo (cz); feldspatos potásicos (FPKs) y biotita alteradas a sericita y cloritas; **2.** Cristales de plagioclasas zonada con inclusiones de biotita: PGLs(bt); cuarzo (cz) relleno de intersticios; biotita (bt) y agregados microfibrosos de cloritas como producto de la alteración de las biotita; **3.** Cristales de plagioclasas, maclados, zonados con inclusiones de biotita: PGLs(ser); feldspatos potásicos con alteración de sericita: FPKs(ser); cuarzo con extinción ondulatoria (cz) y cristales de biotita con inclusiones de apatito (bt). Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

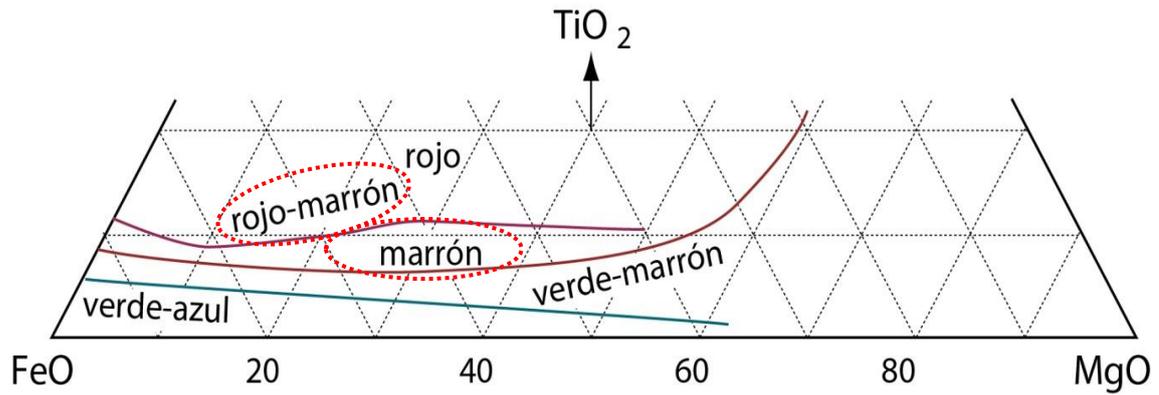


Figura: 1; Diagrama de clasificación de biotita en función del color, según Stosch., H. 2003. Se observan cristales de biotita de color marrón, los cuales indican contenidos de FeO (60-80%), MgO (20-50%) y TiO₂(7-10%), los cristales de biotita de color rojo-marrón inferen contenidos de FeO (60-90%), MgO (10-40%) y TiO₂(10-20%) y los cristales de biotita de color rojo, indican contenidos de FeO (50-80%); MgO (20-50%) y TiO₂ (10-20%). Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

Cuadro 1: Clasificación en base al color de los cristales de biotitas con inclusiones de cristales de: zr: zircón, ap: apatito, OPs: opacos rut: rutilo, , zwd: zinwaldita.

Biotita $K(Mg;Fe^{2+})_3(Al;Fe^{3+})Si_3O_{10}(OH;F)_2$	Habito y Forma	Alteración	Inclusiones	%
Verde-azul	-	-	-	-
Verde - marrón	-	-	-	-
Marrón	Tabular con bordes irregulares	Cloritización debil, mayormente en los planos de exfoliación.	zr,ap, OPs y Zwd.	1
Rojo-marrón	Hexagonal, tabular con bordes irregulares.	Cloritización e impregnaciones de óxidos de hierro incipiente.	rut, ap y Zwd.	2
Rojo	Hexagonal, tabular	-	rut y ap	1

Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

Anexo B2: Muestra GR39B-16-016



CORDILLERA ORIENTAL		CODIGO DE MUESTRA	COORDENADAS		Zona
Plutón Aricoma			Norte	Este	
Localidad y/o Paraje	Ticyacorral-Silicucho-Mina Zarita	GR39B-16-016	8430053	404859	19

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA	MONZOGRANITO
--------------------------	--------------

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Roca ígnea plutónica de textura granular hipidimórfica, se encuentra constituida principalmente por cristales de plagioclasas, feldespatos potásicos y cuarzo. Las plagioclasas presentan alteración de arcillas, sericita e impregnaciones de óxidos de hierro. Asimismo se observa moscovita y biotita alteradas a cloritas y diseminaciones de minerales opacos.

DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA

		Tamaño (mm)	%	
CRISTALES	Esenciales	Plagioclasas , cristales de formas subhedrales, maclados, zonados, se encuentran alterados por sericita y arcillas. Algunas presentan impregnaciones de óxidos de hierro.	6,00 a 1,26	37
		Feldespatos potásicos , cristales de formas subhedrales y anhedrales, presentan intercrecimientos de plagioclasas, cuarzo y biotita. Así mismo presentan una alteración incipiente de clorita.	3,6 a 0,92	26
		Cuarzo , cristales de formas anhedrales con bordes irregulares, presentan inclusiones de apatito. En algunas zonas el cuarzo presenta textura granofírica.	4,2 a 0,26	23
	Accesorios	Biotita , cristales de formas subhedrales de hábito tabular corto, algunas flexionados; presentan alteración de cloritas, en dirección de los planos de exfoliación. Así mismo se observa inclusiones de apatito, zircón, esfena y diseminación de minerales opacos.	1,8 a 0,13	3
		Moscovita , cristales de formas subhedrales, tabulares cortos, presentan alteración de cloritas. Asimismo ocurren en intersticios y como inclusiones en algunos feldespatos potásicos.	0,35 a 0,05	1
		Zircón , cristales subhedrales de hábito prismáticos con bordes subangulosos, se hallan como inclusiones en plagioclasas y biotita.	≤ 0,05	1
		Anfíboles , cristales de formas subhedrales, tabulares, se presentan alterados a cloritas.	≤ 0,11	Traza
		Apatito , cristales de formas subhedrales, prismáticos con bordes subredondeados, se encuentran como inclusiones encuarzo, plagioclasas, feldespato potásico y biotita.	≤ 0,15	Traza
		Minerales Opacos , cristales de formas subhedrales y anhedrales, se hallan reemplazando a biotita y algunos feldespatos.	≤ 0,13	Traza

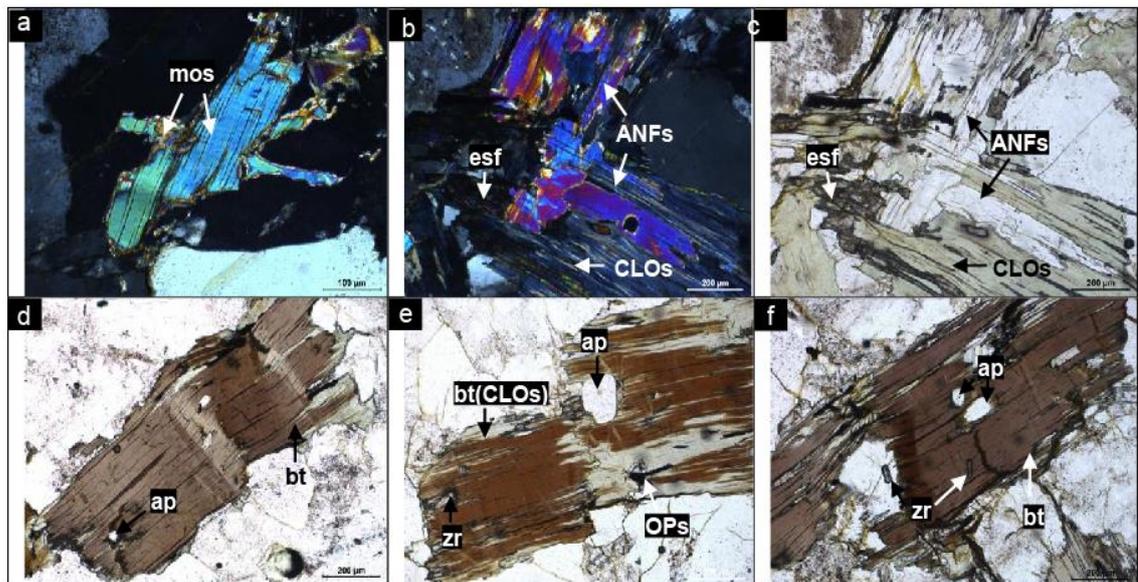
	Esfena , cristales de formas subhedrales y anhedrales, algunas con formas rómbicas, se presenta alterando a los cristales de biotita.	≤ 0,16	Traza
Secundarios	Sericita , cristales microfibrosos, se encuentran por la alteración de plagioclasas y biotita.	≤ 0,06	4
	Cloritas , agregados criptocristalinos, encuentran alterando a cristales de biotita, rellenando microfracturas.	-	3
	Arcillas , agregados criptocristalinos, se presentan alterando a plagioclasas.	-	2
	Oxidos de hierro , se encuentran por la alteración de minerales opacos, como impregnaciones en plagioclasas y rellenando microfracturas.	-	traza
MATRIZ	No presenta		
LITICOS	No presenta		

TEXTURAS	Granular hipidiomórfica
----------	-------------------------

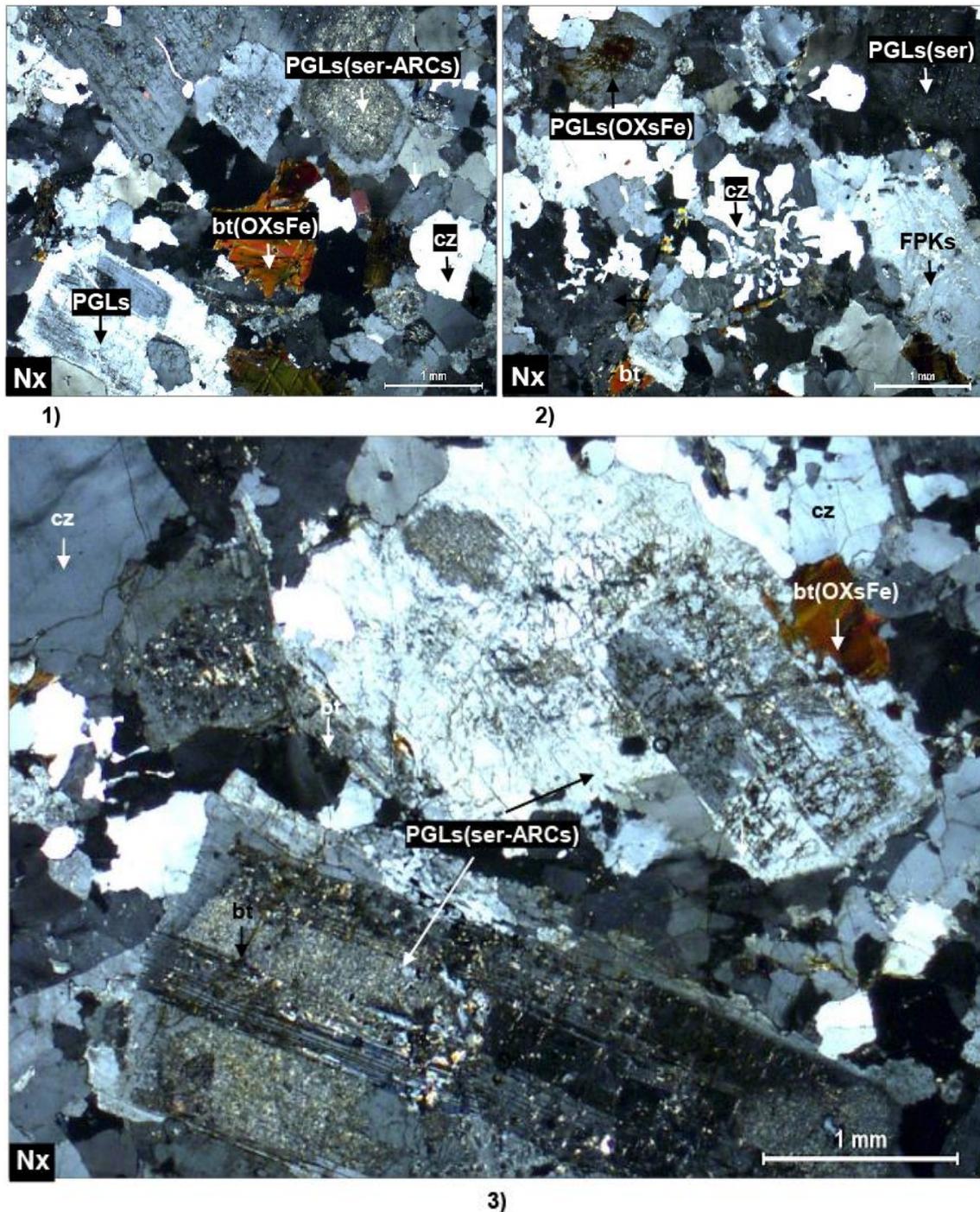
Alteración	Incipiente (Traza)	Débil (1-11%)	Moderada (12 - 49%)	Intensa (>50%)
Cloritización, sericitización y argilización		X		
Oxidación	X			

Observaciones: Sin observaciones

FERROMAGNESIANOS:



Fotomicrografías; Nx: a-b; **Np:** c-f; **a)** cristales subhedrales, tabulares de moscovita; **b y d)** anfíboles con alteración de cloritas; agregados microcristalinos de esfena; **d, e y f)** cristales de biotita, presentan alteración de cloritas e inclusiones de apatito, zircón y minerales opacos. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.



Fotomicrografías Nx: 1-3; 1. cristales de plagioclasas con alteración de sericita y arcillas: PGLs(ser-ARCs); biotita alteradas por óxidos de hierro: bt(OXsFe), **2.** Plagioclasas con impregnaciones de óxidos de hierro: PGLs(OXsFe), plagioclasas alteradas a sericita: PGLs(ser) feldspatos potasicos: FPKs, cuarzo intercrecidos de cuarzo (textura granofírica); **3.** Plagioclasas con alteración de sericita y arcillas:PGLs(ser-ARCs), cristales de cuarzo (cz), biotita con impregnaciones de óxidos de hierro: bt(OXsFe). Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

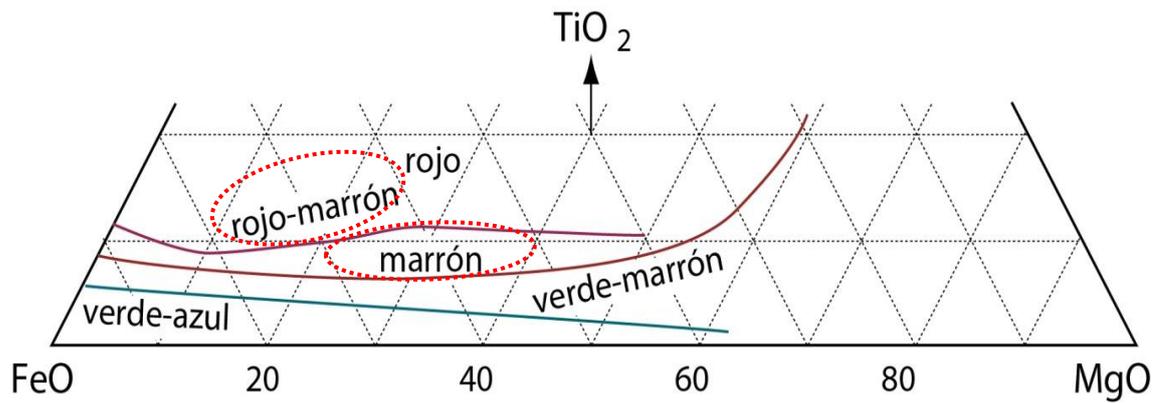


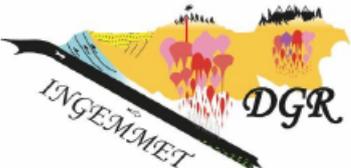
Figura: 1; Diagrama de clasificación de biotita en función del color, según Stosch, H. 2003. Los cristales de biotita presentan colores rojo-marrón, lo cual indican la presencia de FeO (60-90%); MgO (20-40%) y TiO₂ (9-20%). Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

Cuadro 1: Clasificación en base al color de los cristales de biotitas con inclusiones de cristales de: zr: zircón y ap: apatito.

Biotita $K(Mg;Fe^{2+})_3(Al;Fe^{3+})Si_3O_{10}(OH;F)_2$	Habito y Forma	Alteración	Inclusiones	%
Verde-azul	-	-	-	-
Verde –marrón	-	-	-	-
Marrón	-	-	-	-
Rojo-marrón	tabular con bordes irregulares	parcialmente cloritizadas	ap y zr	3
Rojo	-	-	-	-

Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

Anexo B3: Muestra GR39B-16-017

						
<p style="text-align: center;">PROYECTO GR39B Geología del Batolito de la Cordillera Oriental entre los 12° y 15° Sur</p>						
CORDILLERA ORIENTAL		CODIGO DE MUESTRA	COORDENADAS		Zona	
Plutón Aricoma			Norte	Este		
Localidad y/o Paraje	Ticyacorral-Silicucho-Mina Zarita	GR39B-16-017	8429969	405125	19	
CLASIFICACIÓN DE LA ROCA		GRANODIORITA				
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA						
<p>Roca ígnea plutónica de textura granular hipidiomórfica, se encuentra constituida por cristales de plagioclasas, cuarzo, feldespatos potásicos y biotita. Los feldespatos presentan alteración de sericita, algunas presentan inclusiones de apatito y zircón. Asimismo, se observa cloritas y minerales opacos alterando a cristales de biotita.</p>						
DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA					Tamaño (mm)	%
CRISTALES	Esenciales	Plagioclasas , cristales de formas subhedrales, zonados, maclados, algunas presentan alteración de sericita, arcillas, cloritas y epidota con impregnaciones de óxidos de hierro. Otras presentan una alteración incipiente de sericita.	5,8 a 1,0	44		
		Cuarzo , cristales de formas anhedrales, con bordes irregulares, algunos presentan microfracturas rellenos con impregnaciones de óxidos de hierro e inclusiones de biotita y apatito.	6,0 a 0,36	25		
		Feldespatos potásicos , cristales de formas subhedrales y anhedrales presentan alteración incipiente de sericita, algunos presentan inclusiones de biotita y otras inclusiones de apatito y zircón	4,2 a 0,73	20		
	Accesorios	Biotita , cristales de formas subhedrales de habito tabular corto, presentan alteración de cloritas, esfena y epidota en dirección de sus planos de exfoliación.	1,8 a 0,2	4		
		Zircón , cristales de formas subhedrales con bordes subredondeados y subredondeados, presentan alteración de sericita,	≤ 0,08	Traza		
		Apatito , cristales de formas subhedrales con bordes subredondeados, se hallan como inclusiones en cuarzo, biotita y feldespato potásico.	≤ 0,1	Traza		
		Esfena , agregados criptocristalinos, se hallan como inclusiones en biotita.	≤ 0,11	Traza		
		Minerales opacos , cristales de formas subhedrales y anhedrales, se hallan reemplazando a algunos cristales de biotita.	0,4	Traza		
	Secundarios	Sericita , agregados microfibrosos, se presentan alterando a plagioclasas. En algunos casos moderadamente y en otros incipientemente.	≤ 0,1	2		
		Cloritas , agregado criptocristalinos, se presentan alterando a cristales de biotita y plagioclasas.	≤ 1,3	2		
Arcillas , agregados criptocristalinos, se encuentran alterando a algunas plagioclasas.		≤ 0,05	2			

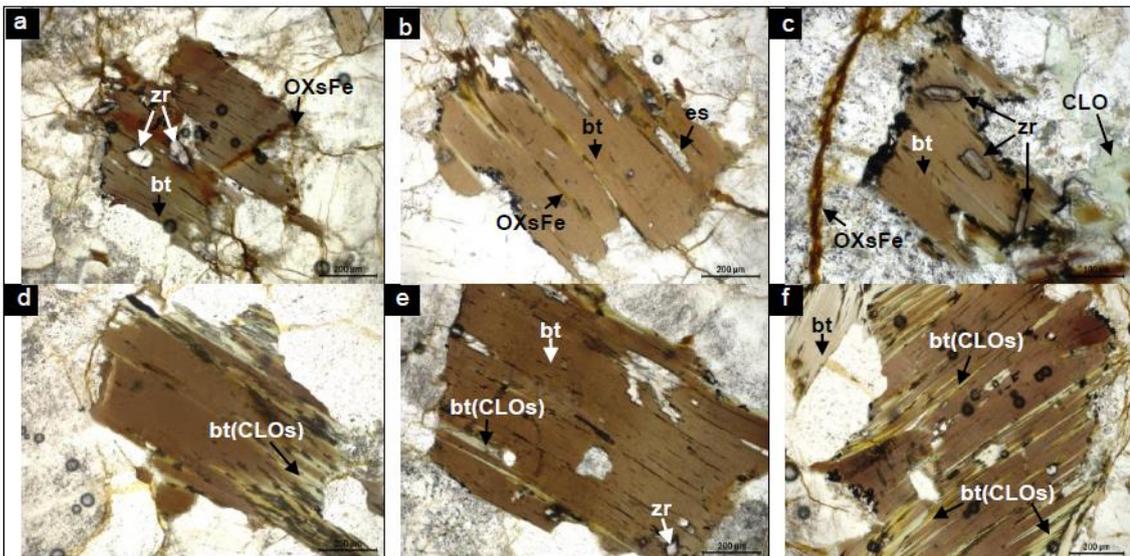
		Óxidos de Hierro, se presentan como impregnaciones en plagioclasas y rellenando microfracturas.	-	1
		Epidota, se presenta alterando a la botita en sus planos de exfoliación.	≤ 0,1	Traza
MATRIZ	No presenta			
LITICOS	No presenta			

TEXTURAS	Granular hipidiomórfica
----------	-------------------------

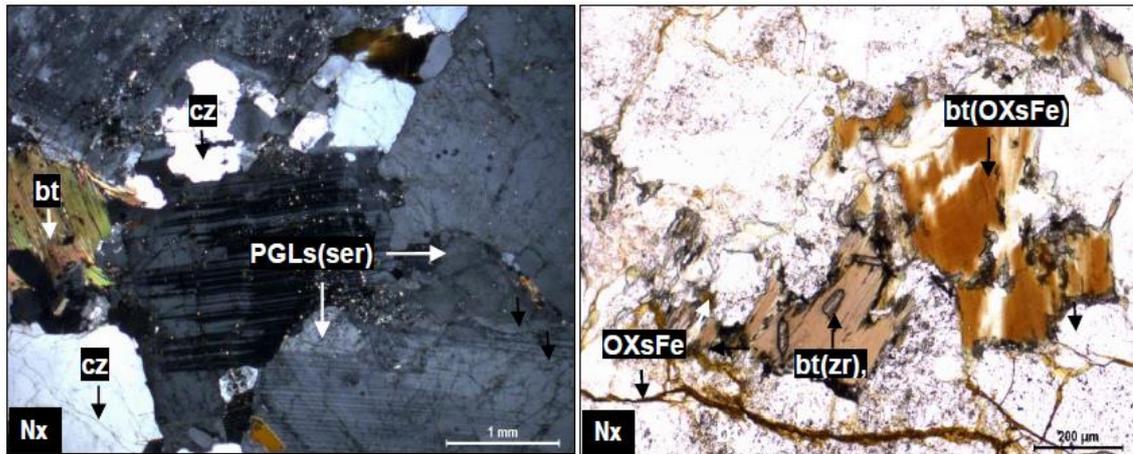
Alteración	Incipiente (Traza)	Débil (1-11%)	Moderada (12-49%)	Intensa (>50%)
Sericitización, cloritización, argilización y oxidación.		X		
Epidotización.	X			

Observaciones: Sin observación.

FERROMAGNESIANOS:

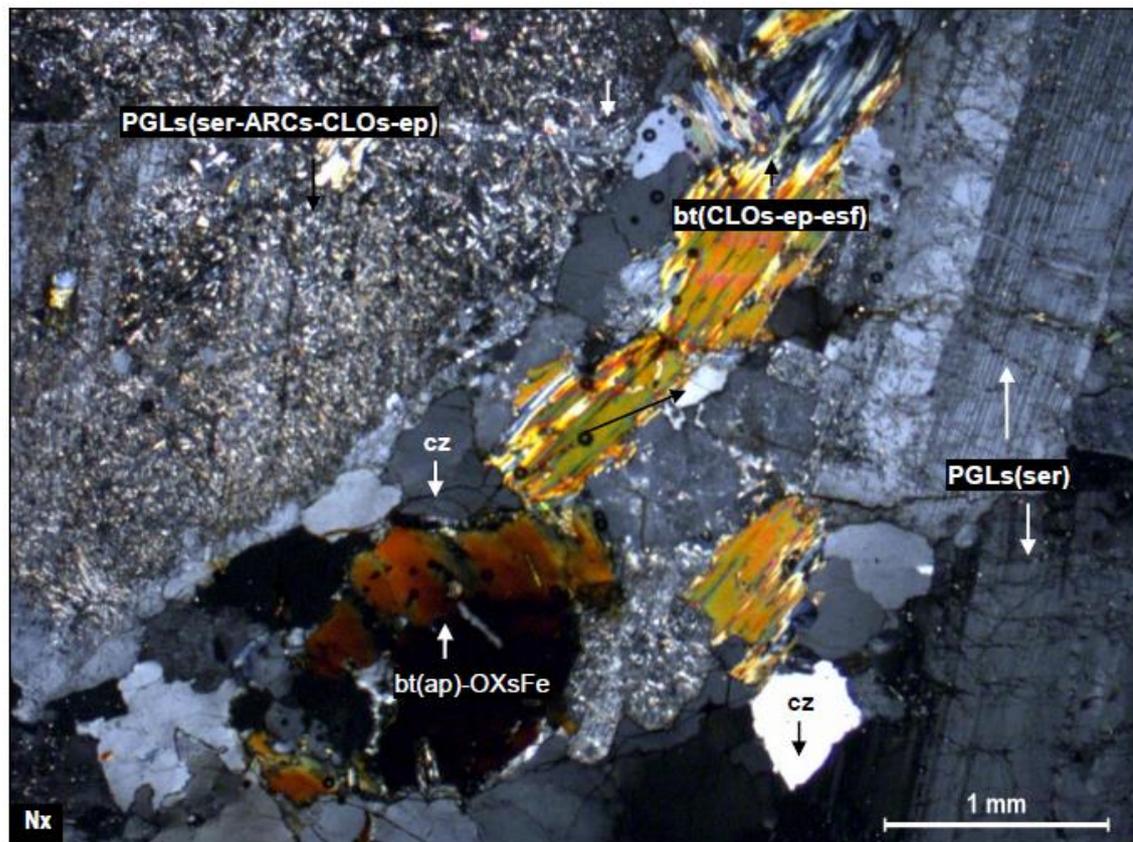


Fotomicrografías; Np: a-f; **a y c)** cristales de biotita de color rojo- marrón, presenta inclusiones de zircón, apatito e impregnaciones de óxidos de hierro; **b, d, e y f)** cristales de biotita de color rojo-marrón, se hallan alterados a sericita, algunos presentan inclusiones de zircón, otras impregnaciones de óxidos de hierro. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.



1)

2)



3)

Fotomicrografías Nx: 1y3; Np: 2; 1. Cristales de plagioclasas con alteración incipiente de sericita: PGLs(ser);biotita (bt) y cuarzo (cz); **2.** Biotita con inclusiones de zircón: bt(zr), biotita con impregnaciones de óxidos de hierro: bt(OXsFe); microfracturas rellenas con óxidos de hierro: OXsFe; **3.** Cristal de plagioclase con alteración de sericita, arcillas, cloritas y epidota: PGLs(ser-ARCs-CLOs-ep), biotita con alteración de cloritas, epidota y esfena: bt(CLOs-ep-esf), biotita con inclusiones de apatito e impregnaciones de óxidos de hierro: bt(ap)-OXsFe; plagioclasas con alteración incipiente de sericita: PGLs(ser); y cuarzo (cz). Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

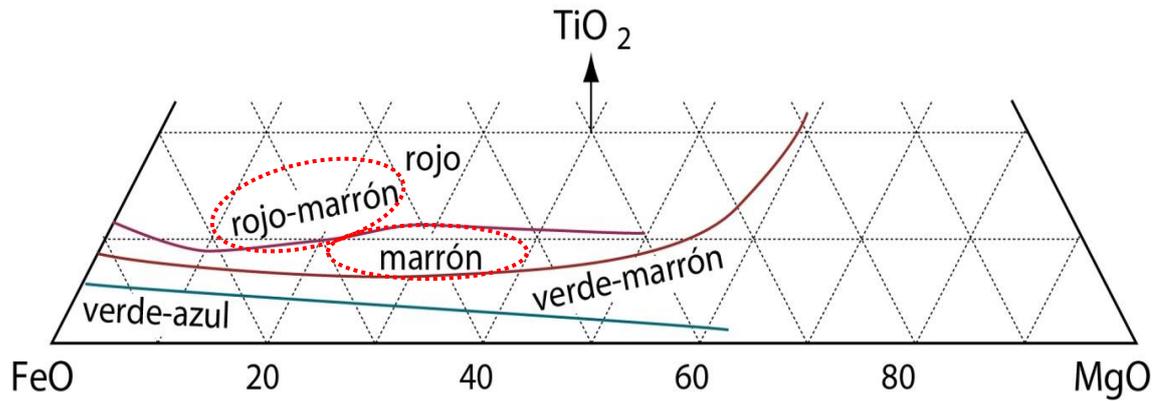


Figura: 1; Diagrama de clasificación de biotita en función del color, según Stosch, H. 2003. Los cristales de biotita presentan colores rojo-marrón, lo cual indican la presencia de FeO (60-90%); MgO (20-40%) y TiO₂ (9-20%). Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

Cuadro 1: Clasificación en base al color de los cristales de biotitas con inclusiones de cristales de: zr: zircón, OPs: Minerales opacos y ap: apatito.

Biotita $K(Mg;Fe^{2+})_3(Al;Fe^{3+})Si_3O_{10}(OH; F)_2$	Habito y Forma	Alteración	Inclusiones	%
Verde-azúl	-	-	-	-
Verde-marrón	-	-	-	-
Marrón	-	-	-	-
Rojo-marrón	tabular con bordes irregulares	Parcialmente cloritizadas	Zr, OPs y ap	4
Rojo	-	-	-	-

Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

Anexo B4: Muestra GR39B-16-018

CORDILLERA ORIENTAL		CODIGO DE MUESTRA	COORDENADAS		Zona	
Plutón Aricoma			Norte	Este		
Localidad y/o Paraje	Ticyacorral-Silicucho-Mina Zarita	GR39B-16-018	8429459	405086	19	
CLASIFICACIÓN DE LA ROCA		GRANODIORITA				
<u>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</u>						
Roca ígnea plutónica de textura granular hipidiomórfica, se encuentra constituida por cristales de plagioclasas alteradas a sericita, cloritas e impregnaciones de óxidos de hierro, cuarzo y feldespato potásico. Asimismo se observa cristales de biotita con inclusiones de apatito y zircón.						
<u>DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA</u>					Tamaño (mm)	%
CRISTALES	Esenciales	Plagioclasas , cristales de formas subhedrales, zonados, maclados, presentan alteración de sericita, cloritas e impregnaciones de óxidos de hierro. Algunos presentan microfracturas rellenos por cloritas.	7,2 a 0,27	40		
		Cuarzo , cristales de formas anhedrales con bordes irregulares, microfracturados, algunos presentan inclusiones de apatito.	2,16 a 0,18	23		
		Feldespatos potásicos , cristales de formas anhedrales, microfracturados, ocurren de manera intersticial, presentan alteración de sericita.	2,0 a 0,5	20		
	Accesorios	Biotita , cristales de formas subhedrales y anhedrales, de habito tabular corto, presentan inclusiones de apatitos prismáticos, hexagonales y zircones. En mayor proporción los cristales de biotita se encuentran alterados a cloritas y impregnaciones de óxidos de hierro y en menor proporción a esfena y epidota asociadas a cloritas e impregnaciones de óxidos de hierro.	2,0 a 1,46	5		
		Apatito , cristales de formas euhedrales y subhedrales, de habito hexagonal y prismáticos con bordes subredondeados, se hallan como inclusiones en biotitas.	0,33 a 0,03	3		
		Zircón , cristales de formas subhedrales con bordes subredondeados, se encuentran como inclusiones en plagioclasas.	0,15 a 0,05	1		
		Esfena , cristales de formas subhedrales, se hallan como inclusiones en los cristales de biotita.	≤ 0,18	1		
		Minerales opacos , cristales de formas anhedrales, se presentan como inclusiones en cristales de biotita.	≤ 0,4	Traza		
		Secundarios	Sericita , agregados fibrosos, aciculares, se presentan como producto de la alteración de plagioclasas y feldespatos potásicos.	≤ 0,08	3	
	Clorita , agregados criptocristalinos, se encuentran alterando a los cristales de biotita, plagioclasas y relleno microfracturas e intersticios de los cristales.		≤ 0,28	2		

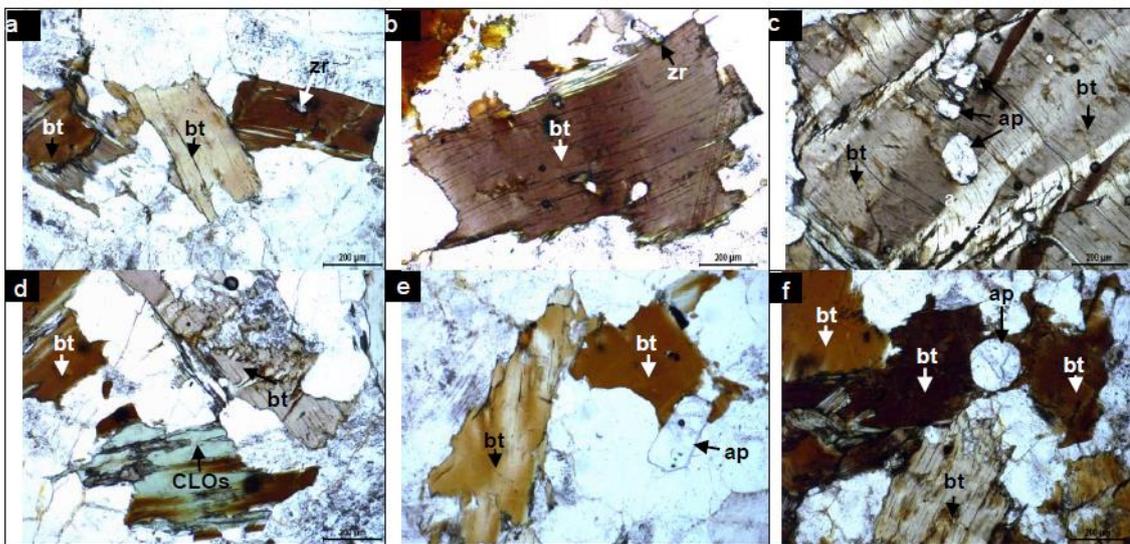
	Arcillas , agregados criptocristalinos, se presenta por la alteración de plagioclasas.	-	Traza
MATRIZ	No presenta		
LITICOS	No presenta		

TEXTURAS	Granular hipidiomórfica
----------	-------------------------

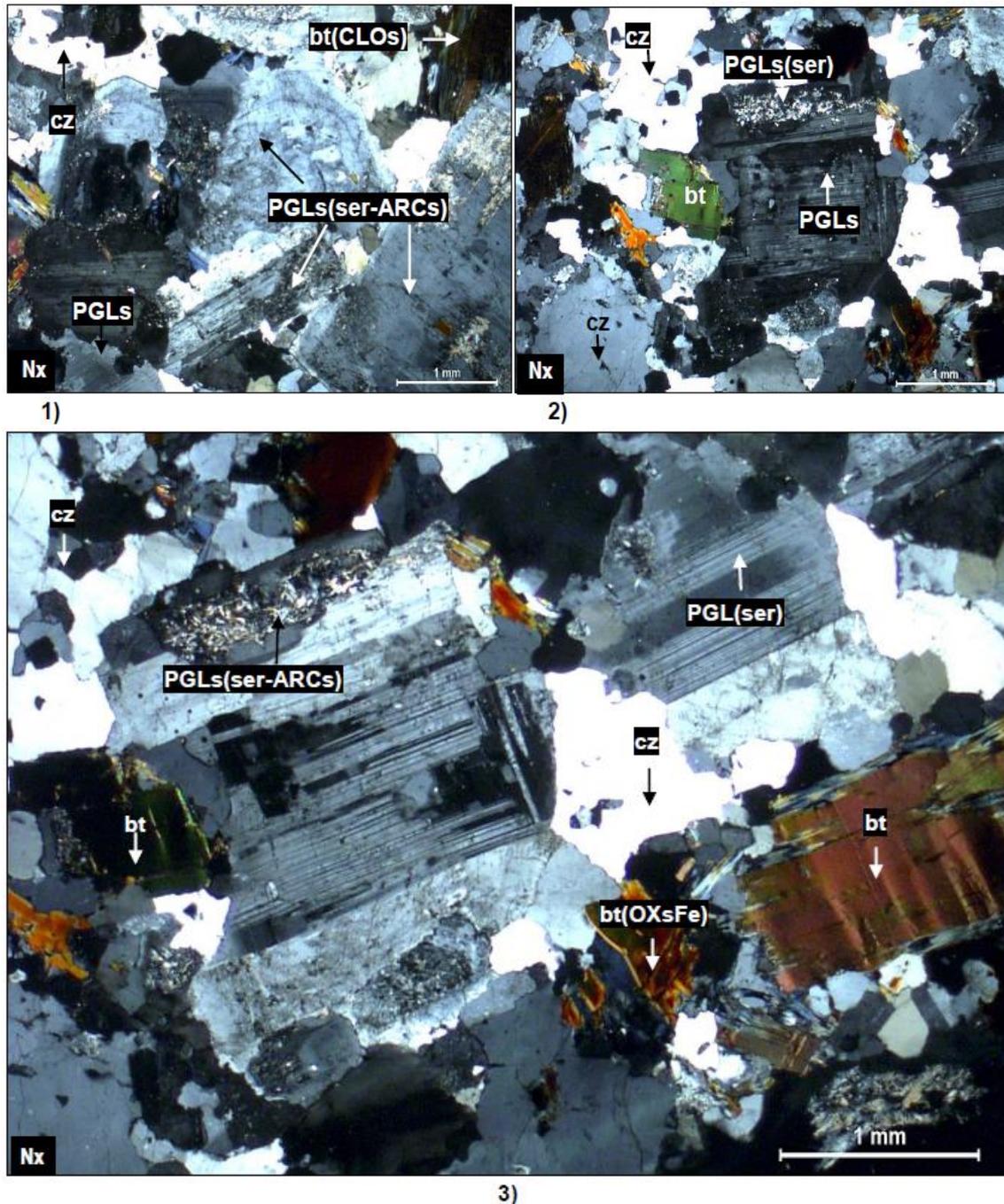
Alteración	Incipiente (Traza)	Débil (1-11%)	Moderada (12-49%)	Intensa (>50%)
Sericitización y cloritización		X		
Argilización	X			

Observaciones: Sin observaciones.

FERROMAGNESIANOS:



Fotomicrografías; Np: a-i; **a, e y g)** biotitas alteradas a cloritas, algunas presenta inclusiones de zircón; **b)** biotita de habito tabular corto con inclusiones de apatito y zircón; **c)** biotita flexionada o deformada con inclusiones de apatito de habito prismático hexagonal; **d)** biotita alterada totalmente por clorita y esfena de habito rómbica; **f, h y i)** biotita con impregnaciones de óxidos de hierro e inclusiones de apatito. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.



Fotomicrografías Nx: 1-3; 1 y 2. Cristales de plagioclasas zonadas con alteración de sericita y arcillas: PGLs(ser-ARCs), biotita alterada a clorita: bt(CLOs) y cristales de cuarzo (cz); **3.** Cristales de plagioclasas con alteración de sericita y arcillas: PGLs(ser-ARCs), plagioclasas con alteración de sericita: PGLs(ser), cuarzo (cz), biotita flexionado con inclusiones de apatito: bt(ap), biotita con impregnaciones de óxidos de hierro: bt(OXsFe). Fuente: INGEMMET-DGR-GR39B: Inédita de esta tesis.

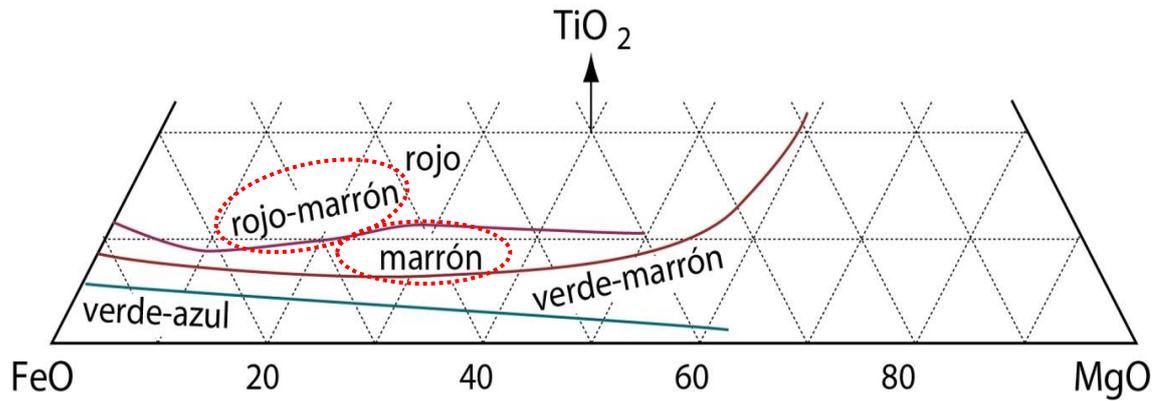


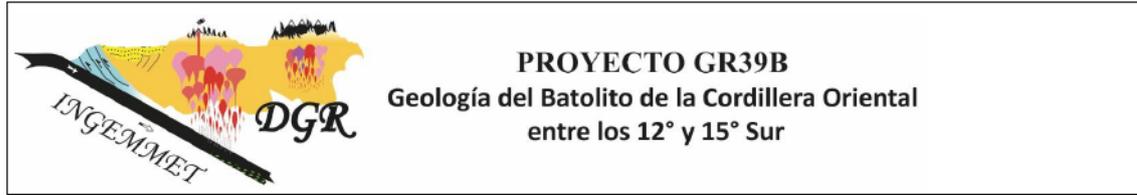
Figura: 1; Diagrama de clasificación de biotita en función del color, según Stosch, H. 2003. Los cristales de biotita presentan colores marrones, lo cual indican la presencia de FeO (60-80%) y MgO (20-40%). los cristales de biotita de color rojo-marrón presentan contenidos de FeO (60-80%) y MgO (10-30%) y TiO (10-20%). Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

Cuadro 1: Clasificación en base al color de los cristales de biotitas con inclusiones de cristales de: zr: zircón y ap: apatito.

Biotita $K(Mg;Fe^{2+})_3(Al;Fe^{3+})Si_3O_{10}(OH;F)_2$	Habito y Forma	Alteración	Inclusiones	%
Verde-azul	-	-	-	-
Verde –marrón	-	-	-	-
Marrón	tabular con bordes irregulares	-	zr y ap	1
Rojo-marrón	tabular con bordes irregulares	parcialmente cloritizadas	zr y ap	4
Rojo	-	-	-	-

Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

Anexo B5: Muestra GR39B-16-024



PROYECTO GR39B
Geología del Batolito de la Cordillera Oriental
entre los 12° y 15° Sur

CORDILLERA ORIENTAL		CODIGO DE MUESTRA	COORDENADAS		Zona
Plutón Aricoma			Norte	Este	
Localidad y/o Paraje	Mina Zarita-Jechapata-Cusquibamba	GR39B-16-024	8429815	409952	19

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA	MONZOGRANITO
--------------------------	--------------

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Roca ígnea plutónica de textura granular hipidiomórfica, se encuentra compuesta por cristales de plagioclasas, feldespatos potásicos y cuarzo, asimismo presenta cristales de biotita, con inclusiones de apatito y zircón algunas presentan alteración de cloritas y otras presentan alteraciones de óxidos de hierro.

DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA

			Tamaño (mm)	%
CRISTALES	Esenciales	Plagioclasas , cristales de formas subhedrales, zonados, maclados, presentan inclusiones de biotita, plagioclasas y zircon, asimismo presentan una alteración incipiente de sericita.	10,96 a 0,48	37
		Feldespatos potásicos , cristales de formas anhedrales con bordes irregulares presentan exoluciones de plagioclasas en forma de venillas paralelas generando perfitas. Asimismo algunos presentan inclusiones de cristales de biotita, plagioclasas y cuarzo.	4,96 a 0,88	30
		Cuarzo , cristales de formas anhedrales con bordes irregulares, presentan extinción ondulante, algunos presentan inclusiones de zircón. Otros se hallan como inclusiones en feldespatos potásicos.	2,4 a 0,36	22
	Accesorios	Biotita , cristales de formas subhedrales, tabulares cortos, presentan inclusiones de apatito y zircón, algunos presentan alteración de clorita, otras presentan alteración de óxidos de hierro, minerales opacos con inclusiones de zircón con halo metamictico.	1,78 a 0,18	4
		Apatito , cristales de formas euhedrales y subhedrales, algunos hexagonales, prismáticos, se presentan como inclusiones en los cristales de biotita.	0,54 a 0,02	2
		Zircón , cristales de formas subhedrales, con bordes subredondeados, se hallan como inclusiones en plagioclasas, cuarzo y feldespatos potásicos.	0,48 a 0,12	Traza
		Minerales opacos , cristales de formas anhedrales, con bordes irregulares, se presentan como inclusiones en los cristales de biotita.	≤ 0,22	Traza
		Esfena , agregados microcristalinos, ocurren como inclusiones en los cristales de biotita.	≤ 0,43	Traza
	Se cu	Oxidos de hierro , se encuentran alterando a plagioclasas y biotita.	-	2

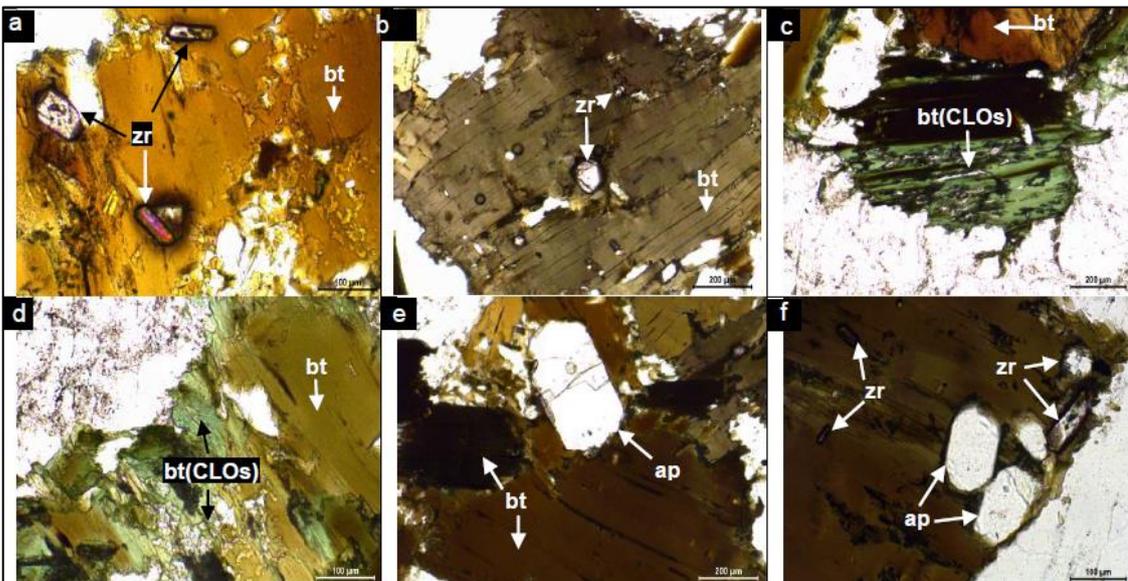
	Sericita , agregados microfibrosos, se presentan alterando a plagioclasas.	≤ 0,06	2
	Cloritas , agregados criptocristalinos, se hallan por la alteración de cristales de biotita.		1
	Arcillas , agregados criptocristalinos, se encuentran alterando a algunos cristales de plagioclasas.		Traza
MATRIZ	No presenta		
LITICOS	No presenta		

TEXTURAS	Granular hipidiomórfica
----------	-------------------------

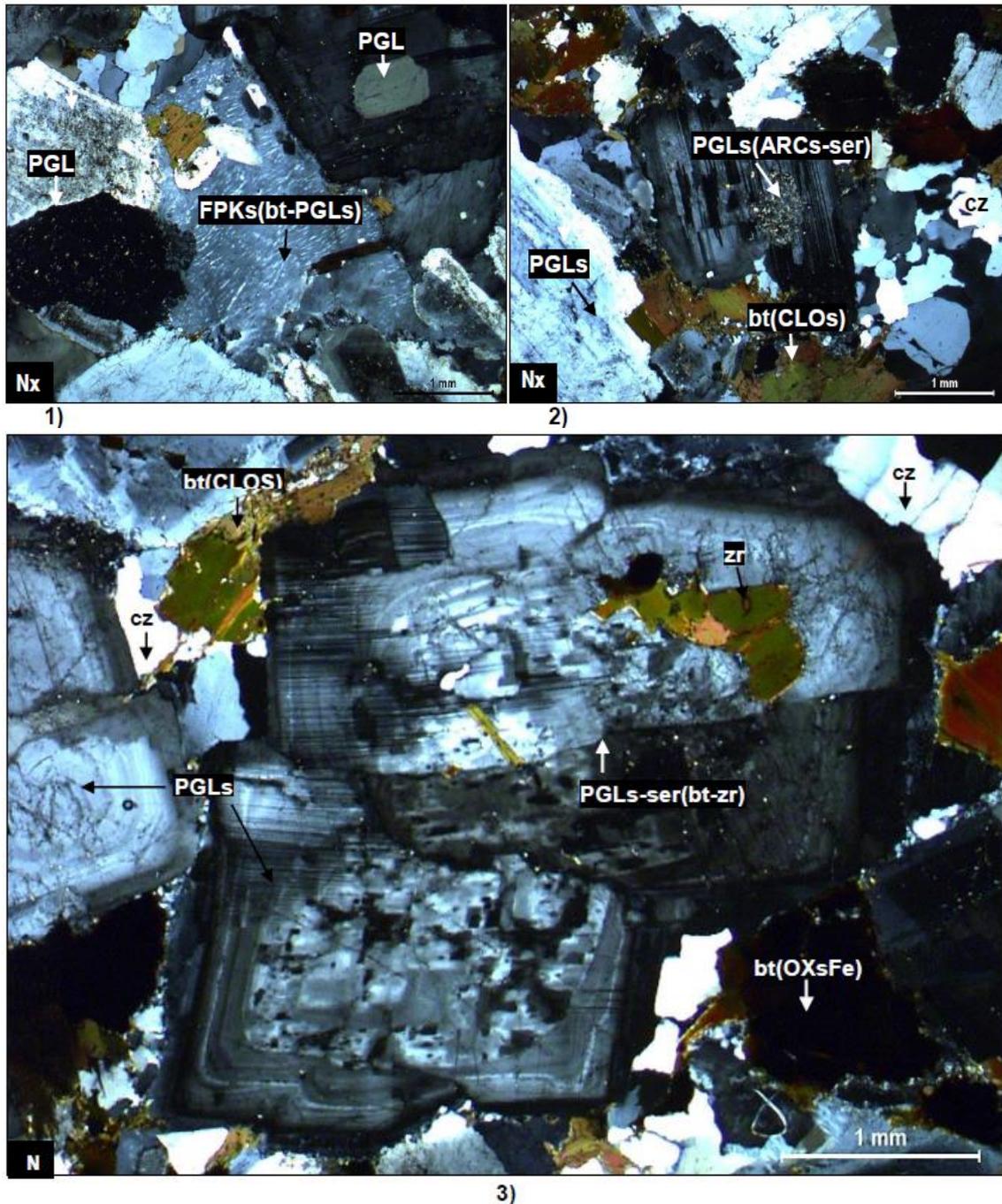
Alteración	Incipiente (Traza)	Débil (1-11%)	Moderada (12-49%)	Intensa (>50%)
Oxidación, sericitización, cloritización y argilización.	X	X		

Observaciones: Sin observaciones.

FERROMAGNESIANOS:



Fotomicrografías: Np; **a y b)** cristales de biotita con inclusiones de zircón, con bordes angulosos y subangulosos; **c y d)** cristales de biotita con alteración de cloritas, esfena e impregnaciones de óxidos de hierro; **e y f)** cristales de biotita con impregnaciones de óxidos de hierro, presentan inclusiones de apatitos hexagonales. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.



Fotomicrografías Nx: 1-3; 1. cristales de plagioclasas (PGLs) y feldespato potásico con exolución de plagioclasas generando perrita, presenta inclusiones de biotita y plagioclasas: FPKs(bt-PGLs); **2.** Plagioclasas alteradas a arcillas y sericita: PGLs(ARCs-ser), plagioclasas zonadas (PGLs), biotita con alteración de clorita: bt(CLOs) y cuarzo (cz); **3.** Plagioclasas zonadas y macladas, con alteración incipiente de sericita e inclusiones de biotita y zircon: PGLs-ser(bt-zr), plagioclasas zonadas (PGLs), cuarzo (cz), biotita con alteración de clorita: bt(CLOs) y biotita con alteración de óxidos de hierro: bt(OXsFe). Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

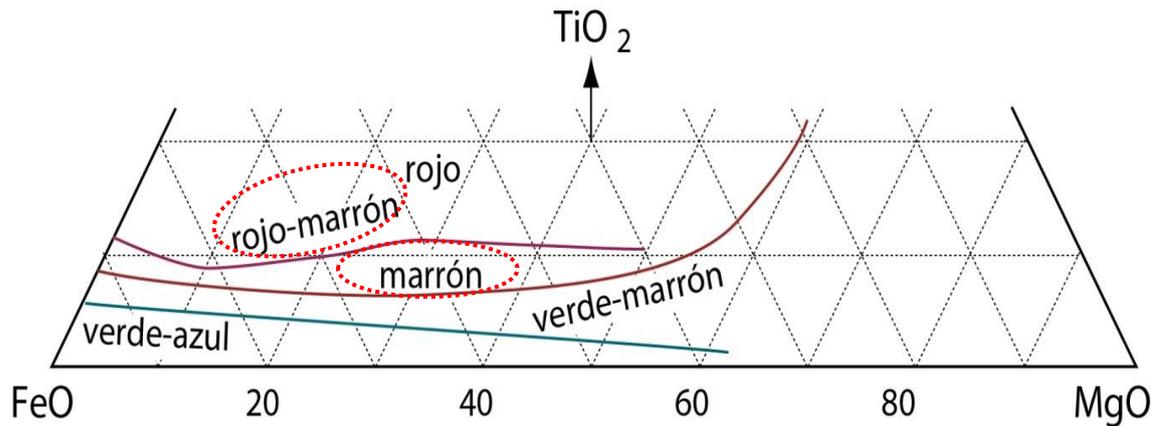


Figura: 1; Diagrama de clasificación de biotita en función del color, según Stosch, H. 2003. Los cristales de biotita presentan colores marrones lo cual indican la presencia de FeO (60-80%) y MgO (20-40%). los cristales de biotita de color rojo-marrón presentan contenidos de FeO (60-80%) y MgO (10-30%) y TiO₂ (10-20%). Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

Cuadro 1: Clasificación en base al color de los cristales de biotitas con inclusiones de cristales de: zr: zircón y ap: apatito.

Biotita $K(Mg;Fe^{2+})_3(Al;Fe^{3+})Si_3O_{10}(OH; F)_2$	Habito y Forma	Alteración	Inclusiones	%
Verde-azúl	-	-	-	-
Verde-marrón	-	-	-	-
Marrón	tabular con bordes irregulares	Cloritización incipiente	zr y ap	3
Rojo-marrón	tabular con bordes irregulares	Impregnaciones de óxidos de hierro y cloritización incipiente	ap y zr	1
Rojo	-	-	-	-

Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

Anexo B6: Muestra GR39B-16-025

	PROYECTO GR39B Geología del Batolito de la Cordillera Oriental entre los 12° y 15° Sur
--	---

CORDILLERA ORIENTAL		CODIGO DE MUESTRA	COORDENADAS		Zona
Plutón Aricoma			Norte	Este	
Localidad y/o Paraje	Mina Zarita-Jechapata-Cusquibamba	GR39B-16-025	8429168	409042	19

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA	MONZOGRANITO
--------------------------	--------------

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Roca ígnea plutónica de textura granular, se encuentra compuesta por cristales de plagioclasas, feldespatos potásicos, y cuarzo. Las plagioclasas presentan alteración de sericita y cloritas, los feldespatos potásicos son periticos. También se observa cristales de biotita con inclusiones de apatito y zircón.

DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA

			Tamaño (mm)	%
CRISTALES	Esenciales	Cuarzo , cristales de formas anhedrales con bordes irregulares; presentan extinción ondulante. Algunos presentan inclusiones de biotita y zircón.	2,4 a 0,6	32
		Plagioclasas , cristales de formas subhedrales, maclados y zonados, se observa plagioclasas que presentan alteración moderada de sericita y cloritas. Otras presentan alteración incipiente de sericita, arcillas e impregnaciones de óxidos de hierro. Asimismo algunas presentan inclusiones de biotita.	5,9 a 1,32	30
		Feldespatos potásicos , cristales de formas subhedrales y anhedrales, con bordes irregulares, presentan exoluciones de plagioclasas en forma de venillas (peritita). Algunos presenta inclusiones de biotita y plagioclasas y otros presentan alteración incipiente de sericita y arcillas.	4,3 a 1,2	23
	Accesorios	Biotita , cristales de formas subhedrales y anhedrales, de hábito tabular, presentan inclusiones de zircón y apatito. Algunos se encuentran deformados, se observa alteración de cloritas. Otros presentan alteración de óxidos de hierro.	1,64 a 0,34	5
		Apatito , cristales de formas euhedrales y subhedrales, hexagonales, prismáticos con bordes subangulosos, de hábito prismáticos, se presentan como inclusiones en cristales de biotita y cuarzo.	0,34 a 0,09	2
		Zircón , cristales de formas subhedrales y anhedrales, con bordes subredondeados y redondeados, se hallan como inclusiones en cristales de biotita y plagioclasas.	≤ 0,04	1
		Minerales opacos , cristales de formas anhedrales, con bordes irregulares, se encuentran incluidos dentro de los cristales de biotita.	≤ 0,26	Traza
		Esfena , agregados cristalinos, se presentan en cristales de biotita alteradas a clorita.	≤ 0,2	1
	Se cu	Sericita , agregados microfibrosos, se presentan por la alteración de plagioclasas en forma moderada e incipiente.	≤ 0,25	3

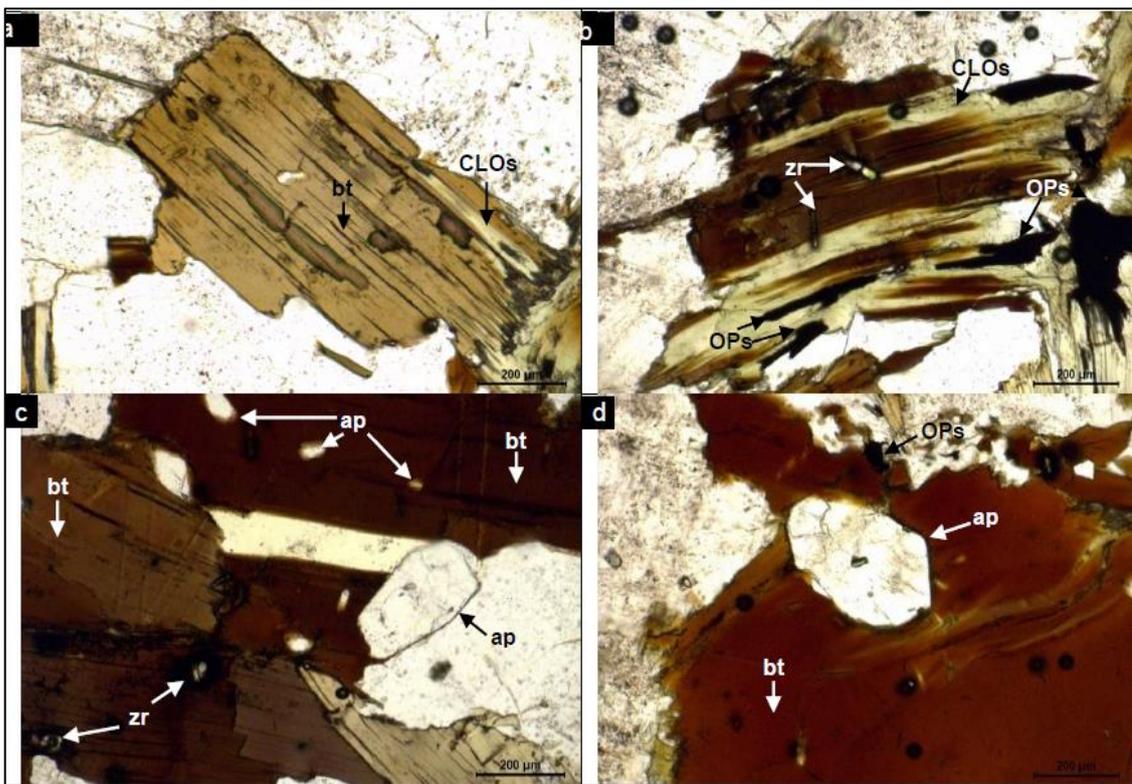
	Oxidos de hierro, se presentan como impregnaciones en plagioclasas, biotita y cuarzo	-	2
	Arcillas, agregados criptocristalinos, se presentan por la alteración de plagioclasas.	-	1
	Cloritas, agregados criptocristalinos, se presenta por la alteración de los cristales de biotita y plagioclasas. También se presentan relleno microfracturas.	-	Traza
MATRIZ	No presenta		
LITICOS	No presenta		

TEXTURAS	Granular hipidiomórfica
----------	-------------------------

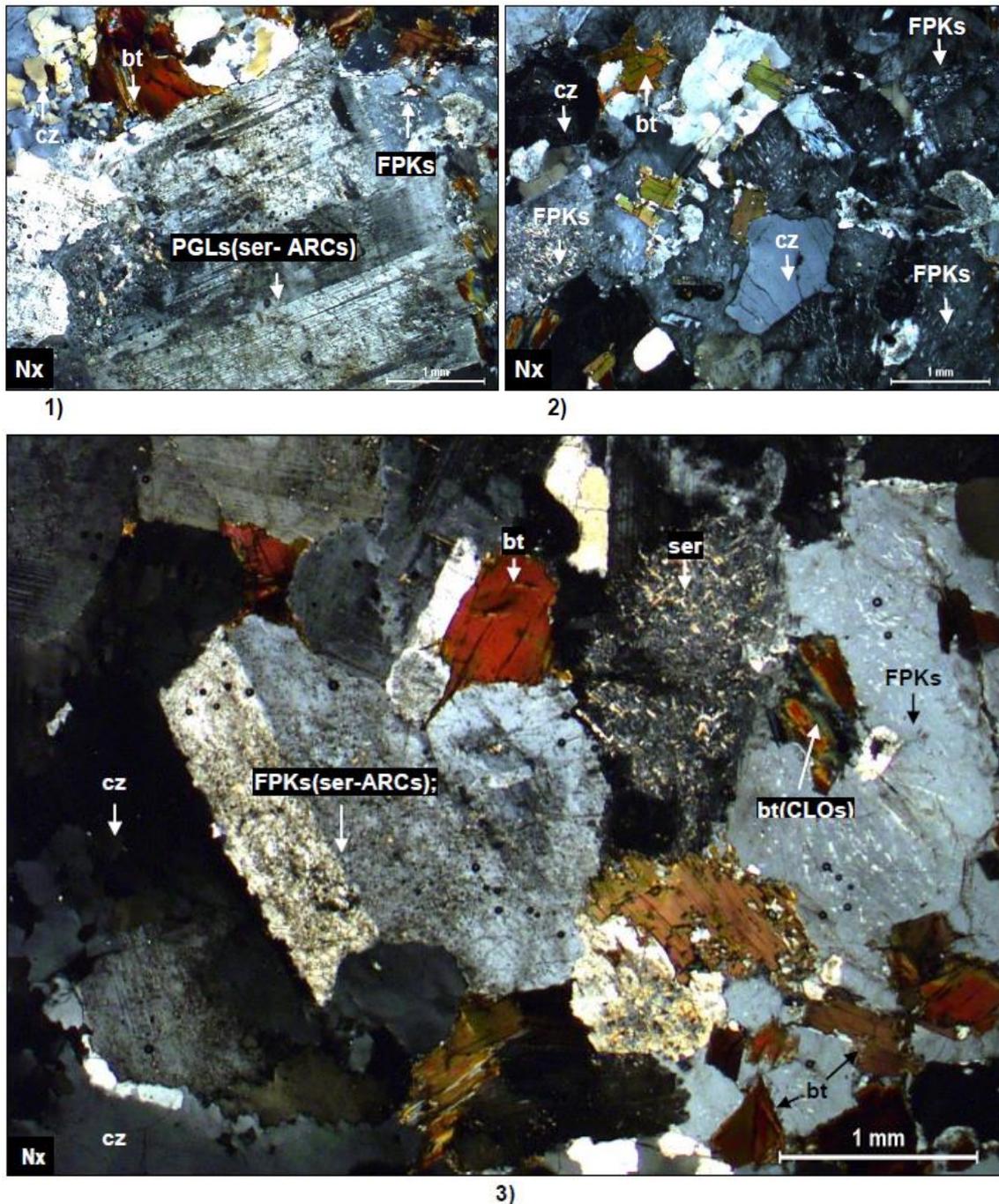
Alteración	Incipiente (Traza)	Débil (1-11%)	Moderada (12-49%)	Intensa (>50%)
Sericitización, oxidación y argilización		X		
Cloritización.	X			

Observaciones: Sin observaciones.

FERROMAGNESIANOS:



Fotomicrografías; Np: a) biotita subhedral de habito tabular con alteración incipiente de clorita; b) biotita con alteración moderada de clorita, presenta inclusiones de apatito, zircón y minerales opacos; c) cristales de biotita de habito tabular, presentan inclusiones de apatito y zircón con halo metamórfico; d) biotita con impregnaciones de óxidos de hierro, presenta inclusiones de apatito y zircón con halo metamórfico. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.



Fotomicrografías Nx: 1-3; 1. Plagioclasas con alteración de sericita y arcillas: PGLs(ser-ARCs); cuarzo anhedral con bordes irregulares (cz) y biotitas con impregnaciones de óxidos de hierro: bt(OXsFe); **2.** Feldespatos potásicos con exolución de plagioclasas: FPKs(PGLs); plagioclase con alteración de sericita: PGLs(ser); cristales de biotita (bt); y cuarzo (cz); **3.** Feldespato potásico con alteración de sericita y arcillas: FPKs(ser-ARCs); feldespato potásico con exolución de plagioclasas: FPKs(PGLs); plagioclasas macladas (PGLs); plagioclase con alteración moderada de sericita: PGLs(ser); cristales de biotita con alteración de cloritas: bt(CLOs); y cuarzo con extinción ondulante (cz). Fuente: INGEMMET-DGR-GR39B: Inédita de esta tesis.

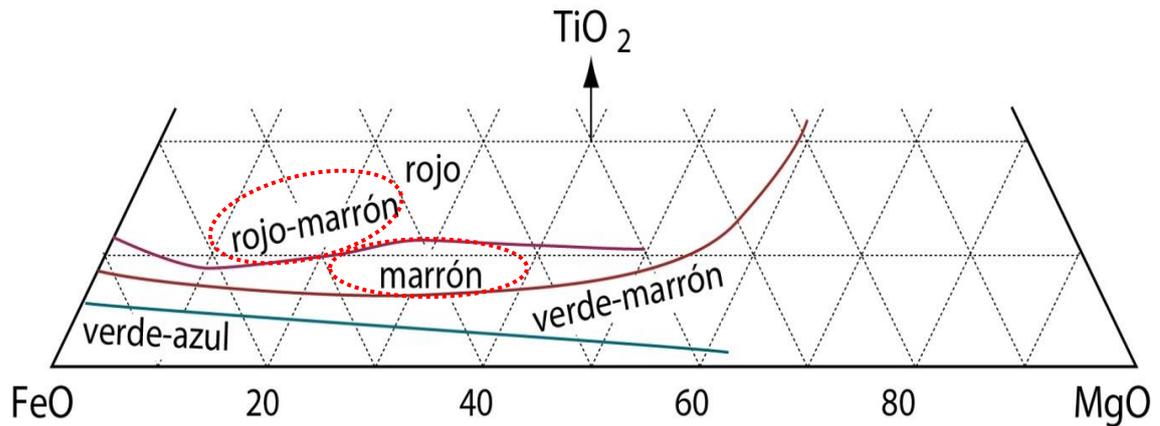


Figura: 1; Diagrama de clasificación de biotita en función del color, según Stosch, H. 2003. Los cristales de biotita presentan colores marrones lo cual indican la presencia de FeO (60-80%) y MgO (20-40%). Los cristales de biotita de color rojo-marrón presentan contenidos de FeO (60-80%) y MgO (10-30%) y TiO₂ (10-20%).

Cuadro 1: Clasificación en base al color de los cristales de biotitas con inclusiones de cristales de: zr: zircón y ap: apatito.

Biotita $K(Mg;Fe^{2+})_3(Al;Fe^{3+})Si_3O_{10}(OH; F)_2$	Habito y Forma	Alteración	Inclusiones	%
Verde-azúl	-	-	-	-
Verde-marrón	-	-	-	-
Marrón	tabular con bordes irregulares	Cloritización incipiente	-	1
Rojo-marrón	tabular con bordes irregulares	Impregnacion es de óxidos de hierro y cloritización incipiente	Zr, Ops, ap y rut	4
Rojo	-	-	-	-

Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

Anexo B7: Muestra GR39B-16-055

						
PROYECTO GR39B Geología del Batolito de la Cordillera Oriental entre los 12° y 15° Sur						
CORDILLERA ORIENTAL		CODIGO DE MUESTRA	COORDENADAS		Zona	
Plutón Aricoma			Norte	Este		
Localidad y/o Paraje	Crucero-Oscoroque-Garapatica	GR39B-16-055	8435150	405273	19	
CLASIFICACIÓN DE LA ROCA		SIENOGRANITO				
<u>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</u>						
Roca ígnea plutónica de textura granular hipidiomórfica, se encuentra constituida por cristales de feldspatos potásico con exoluciones de plagioclasas e inclusiones de biotita, plagioclasas y cuarzo; plagioclasas alteradas a sericita, arcillas y cloritas; cuarzo de extinción ondulante. Asimismo se observa cristales de biotita alteradas a cloritas.						
<u>DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA</u>					Tamaño (mm)	%
CRISTALES	Esenciales	Feldspatos potásicos , cristales de formas anhedrales, microfracturados, presentan exoluciones de plagioclasas en forma de venillas y cordones. También presenta inclusiones de biotita, cuarzo y plagioclasas. Se observa microfracturas rellenas con cloritas	15,2 a	43		
		Plagioclasas , cristales de formas subhedrales, prismáticos, maclados, algunos zonados, algunos presentan alteración incipiente de sericita; otras muestran alteración de sericita, arcillas y cloritas	6,6 a 0,7	20		
		Cuarzo , cristales de formas anhedrales con bordes irregulares, algunos presentan bordes de reabsorción, algunos presentan inclusiones de biotita.	2,9 a 0,06	18		
	Accesorios	Biotita , cristales de formas subhedrales, prismáticos, tabulares cortos, presenta inclusiones de zircón, apatito. Se encuentran alterados a cloritas. Algunos presentan impregnaciones de óxidos de hierro inclusiones de rutilo reticulado y zircón.	2,8 a 0,2	4		
		Anfíboles , cristales de formas subhedrales prismáticos, aciculares fibrosos y anhedrales, tabulares, se presentan alteración a sericita y cloritas.	0,58 a 0,24	3		
		Moscovita , cristales de formas subhedrales, tabulares, se encuentran agrupados por sectores y algunos entre los intersticios de los cristales.	≤ 0,3	2		
		Apatito , cristales de formas subhedrales, con bordes subredondeados, se presentan como inclusiones en biotita.	0,24 a 0,01	1		
		Zircón , cristales de formas subhedrales, con bordes subangulosos, se hallan como inclusiones en plagioclasas, feldspatos potásico y biotita. Algunos presentan halos metamicticos.	0,08	1		
		Esfena , cristales de formas anhedrales, se encuentran asociado a cristales de anfíboles y biotita.	≤ 0,35	Traza		
		Minerales opacos , cristales de formas subhedrales y anhedrales, se presentan como inclusiones en algunas plagioclasas y biotita.	≤ 0,2	Traza		

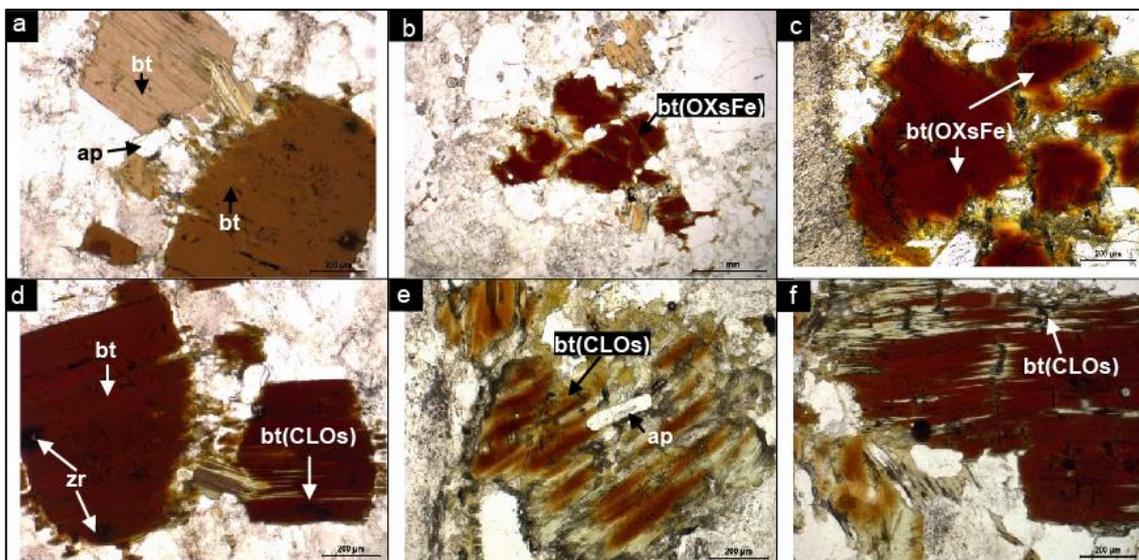
Secundarios	Sericita , agregados microfibrosos, ocurren por la alteración de plagioclasas.	≤ 0,1	3
	Cloritas , agregados criptocristalinos, ocurre por la alteración de la biotita y rellenando microfracturas, asociadas a impregnaciones de óxidos de hierro.	-	2
	Óxidos de hierro , se presentan como impregnaciones en los cristales de biotita y microfracturas.	-	2
	Arcillas , agregados criptocristalinos, se presentan por la alteración de las plagioclasas.	-	1
	Prehnita , agregados en forma de lazo se hallan entre los granos de los cristales.		
	Epidota , agregados cristalinos anhedrales, ocurren como alteración de biotita y anfíboles	≤ 0,07	Traza
MATRIZ	No presenta		
LITICOS	No presenta		

TEXTURAS	Granular hipidiomórfica
----------	-------------------------

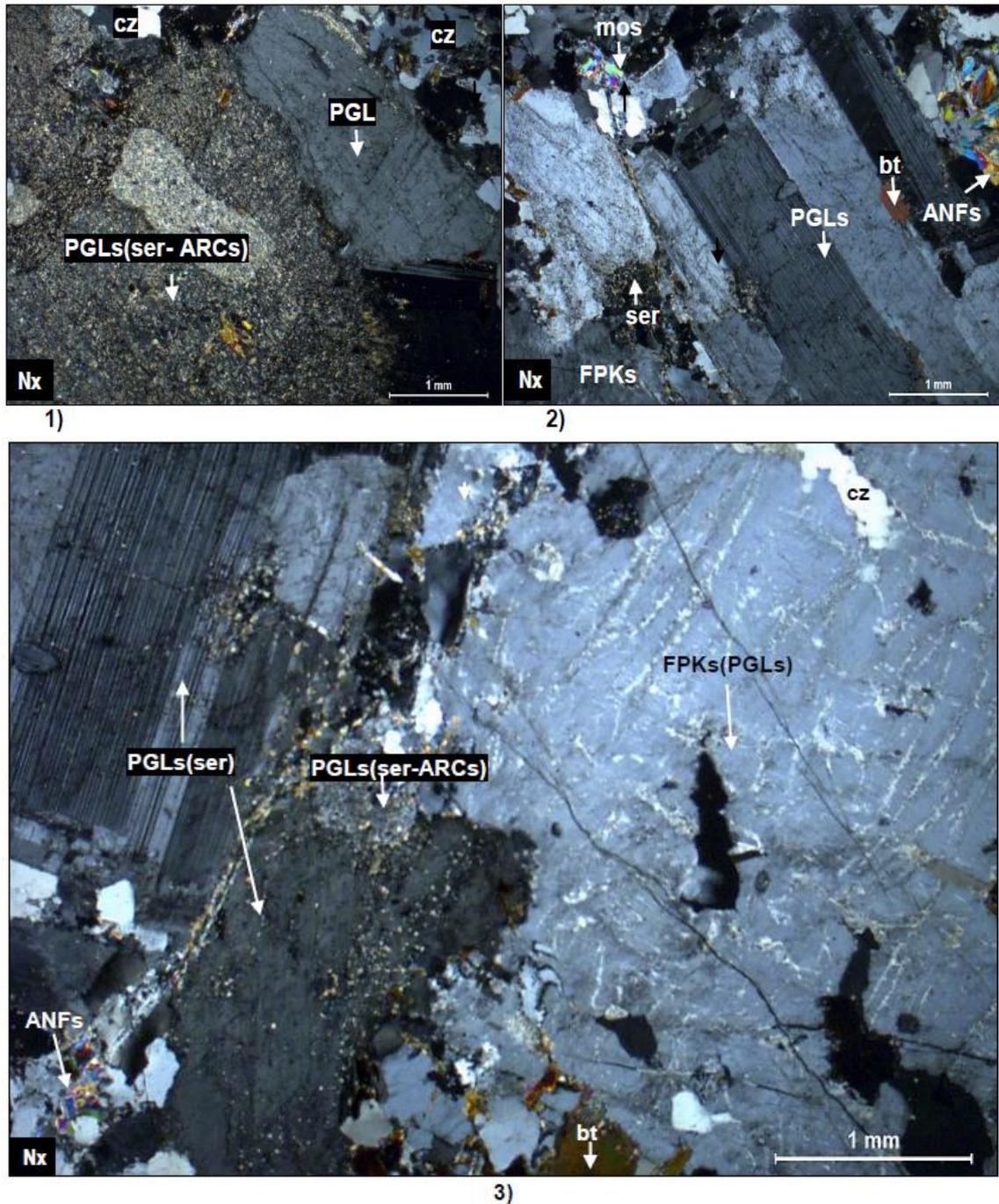
Alteración	Incipiente (Traza)	Débil (1-11%)	Moderada (12-49%)	Intensa (>50%)
Sericitización, argilización, cloritización, oxidación y		X		
Epidotización	X			

Observaciones:

FERROMAGNESIANOS:



Fotomicrografías; Np: a-f; a y d) cristales de biotita, con inclusiones de zircón con halo metamictico; b y c) cristales de biotita con impregnaciones de óxidos de hierro; e y f) cristales de biotita alteradas a cloritas. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.



Fotomicrografías Nx: 1-3; 1. Plagioclasas alteradas a arcillas y sericita: PGLs(ARCs-ser), plagioclasas (PGLs), cuarzo (cz); **2.** Plagioclasas (PGLs); feldespatos potásicos (FPKs), moscovita (mos); anfíboles (ANFs) y biotita (bt); **3.** Feldespatos potásicos con inclusiones de plagioclasas: FPKs(PGLs); plagioclasas alteradas a sericita: PGLs(ser),anfíboles (ANFs); cuarzo (cz). Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

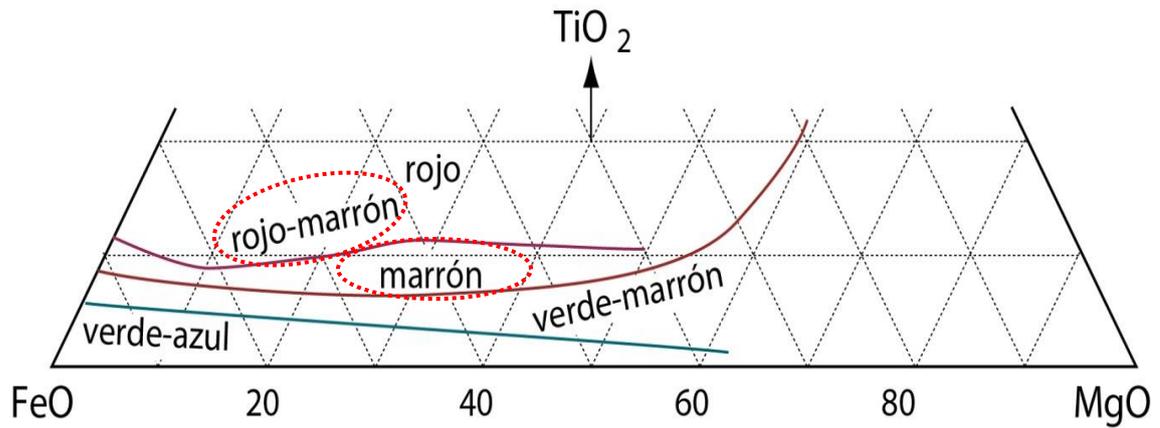


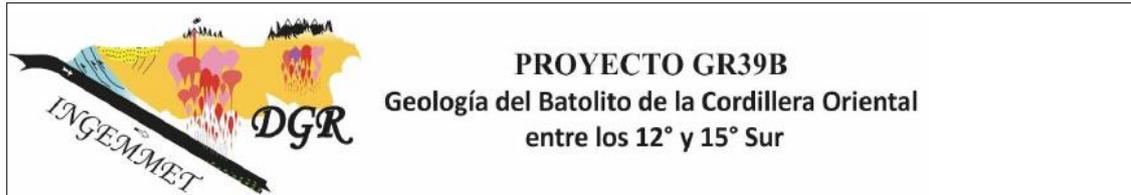
Figura 1; Diagrama de clasificación de biotita en función del color, según Stosch, H. 2003. Los cristales de biotita presentan colores rojo-marrón, lo cual indican la presencia de FeO (60-90%); MgO (20-40%) y TiO₂ (9-20%). Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

Cuadro 1: Clasificación en base al color de los cristales de biotitas con inclusiones de cristales de: zr: zircón, OPs: Minerales opacos, ap: apatito y rut: rutilo.

Biotita K(Mg;Fe₂₊)₃(Al;Fe₃₊)₃Si₃O₁₀(OH; F)₂	Habito y Forma	Alteración	Inclusiones	%
Verde-azúl	-	-	-	-
Verde-marrón	-	-	-	-
Marrón	-	-	-	-
Rojo-marrón	tabular con bordes irregulares	parcialmente cloritizadas	Zr, Ops, ap y rut	4
Rojo	-	-	-	-

Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

Anexo B8: Muestra GR39B-16-058



CORDILLERA ORIENTAL		CODIGO DE MUESTRA	COORDENADAS		Zona
Unidad Aricoma			Norte	Este	
Localidad y/o Paraje	Crucero-Osoroque-P.C camino Ocosiri	GR39B-16-058	8434151	403832	19

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA	SIENOGRANITO
--------------------------	--------------

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Roca ígnea intrusiva de textura granular hipidiomorfa, se encuentra constituida principalmente por cristales de feldspatos potásicos, con inclusiones de biotita, cuarzo y plagioclasas, plagioclasas alteradas a sericita y arcillas, cuarzo, cristales de biotita con inclusiones de zircón, apatito, minerales opacos y alteradas a cloritas. Así mismo se observa cristales de moscovita en los intersticios.

DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA

		Tamaño (mm)	%	
CRISTALES	Esenciales	Feldspatos potásicos , cristales de formas anhedrales, microfracturados, con inclusiones de biotita, cuarzo, moscovita y plagioclasas con textura poiquilitica. Así mismo presentan exolución de plagioclasas de manera de cordones generando textura peritica. Presentan alteración de sericita.	≤ 45.5	48
		Plagioclasas , cristales de formas subhedrales, prismáticos, algunos microfracturados, con macla polisintética y zonados. Algunos presentan inclusiones de biotita; se hallan alterados a sericita y arcillas.	3,86 a 0,8	20
		Cuarzo , cristales de formas anhedrales, microfracturados, algunos con extinción ondulante. Así mismo algunos se hallan como inclusiones en los cristales de feldspatos potásicos.	4,46 a 0,4	20
	Accesorios	Biotita , cristales de formas subhedrales tabulares, con inclusiones de apatito y zircón algunos presentan inclusiones de minerales opacos. Se observan agrupados por sectores. Otros se hallan incluidos en feldspatos potásicos y plagioclasas. Presentan alteración de cloritas. Así mismo algunos presentan inclusiones de rutilo a manera agujas.	1,66 a 0,1	5
		Apatito , cristales de formas euhedrales y subhedrales, prismáticos, algunos con bordes subredondeados, se presentan incluidos en los cristales de biotita, feldspatos y en intersticios.	≤ 0,10	1
		Zircón , cristales de formas subhedrales y anhedrales, se encuentran como inclusiones en los cristales de biotita.	≤ 0,13	1
	Minerales opacos , cristales de formas anhedrales, se hallan como inclusiones en los cristales de biotita.	≤ 0,26	Traz a	

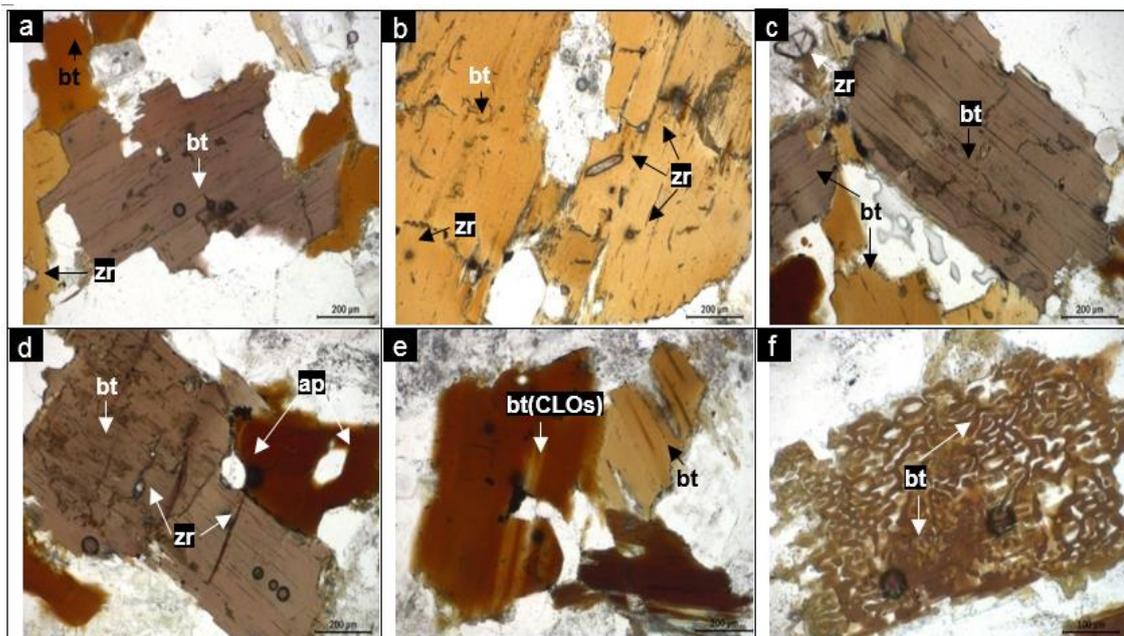
Secundarios	Moscovita , cristales de formas subhedrales y anhedrales, se presentan entre los intersticios y como inclusiones en los feldespatos potásicos.	$\leq 0,55$	Traz a
	Sericita , agregados microfibrosos, se presentan como producto de la alteración de plagioclasas y feldespatos potásicos.	$\leq 0,10$	3
	Cloritas , agregados microfibrosos, se presentan por la alteración de los cristales de biotita.	$\leq 0,12$	2
	Arcillas , agregados criptocristalinos, ocurren como producto de la alteración de plagioclasas y feldespatos potásicos.	$\leq 0,005$	Traz a
MATRIZ	No presenta		
LITICOS	No presenta		

TEXTURAS	Granular hipidiomórfica
----------	-------------------------

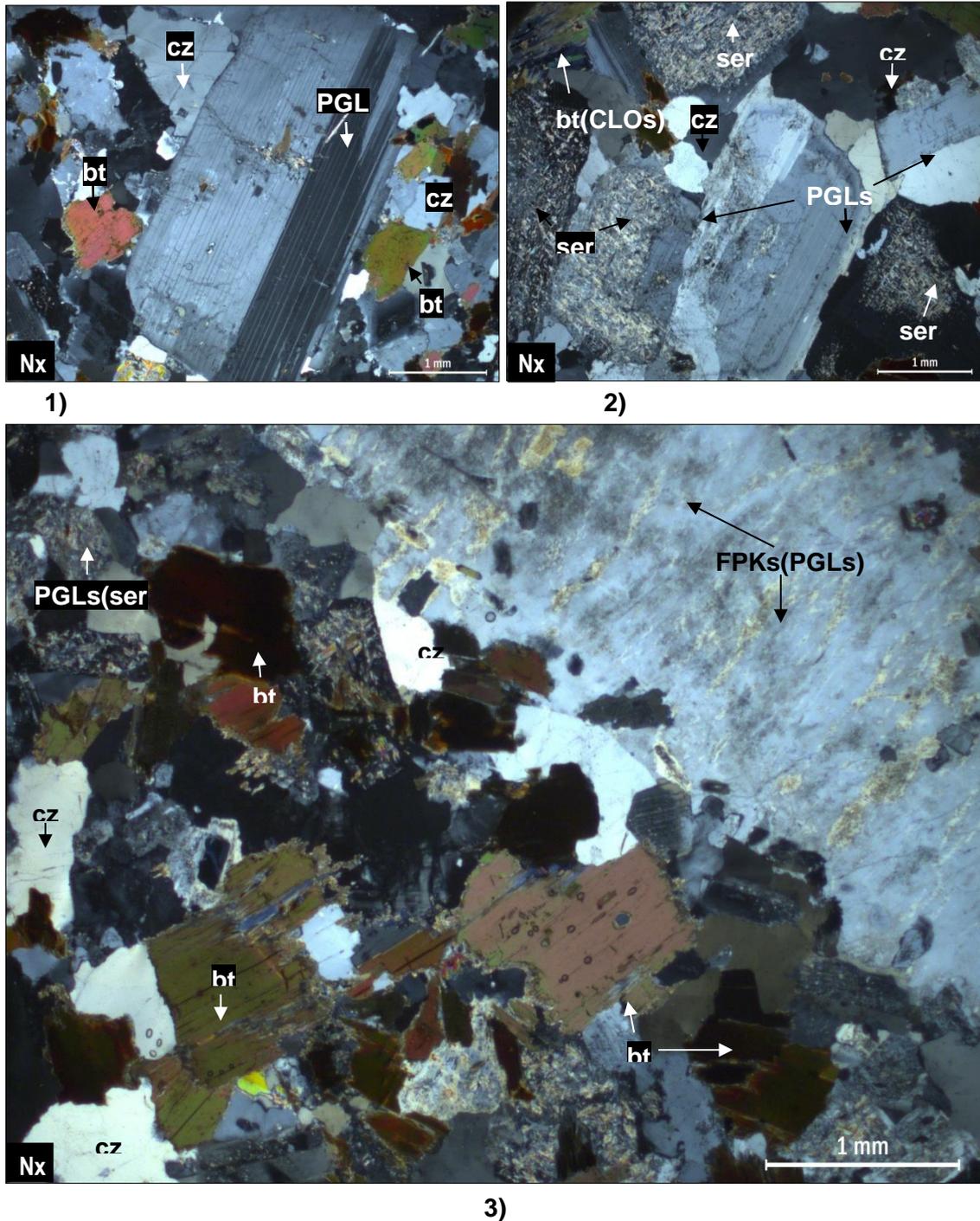
Alteración	Incipiente (Traza)	Débil (1-11%)	Moderada (12-49%)	Intensa (>50%)
Sericitización y cloritización		X		
Argilización	X			

Observaciones: Sin observaciones.

FERROMAGNESIANOS:



Fotomicrografías; Np: a-f; **a y b)** cristales de biotita de color rojo-marrón con inclusiones de de zircon;c y d) cristales de biotita, con inclusiones de apatito y zircon; e) cristales de biotita alterados a cloritas; y f) cristales de biotita con textura esquelética. Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.



Fotomicrografías Nx: 1-3; 1. Plagioclasas con macla polisintética (PGLs); cuarzo (cz), biotita (bt); **2.** Cristales de plagioclasas (PGLs) alteradas a sericita(ser); cuarzo (cz); cristales de biotita alteradas a cloritas: bt(CLOs); **3.** Feldespatos potásicos con exoluciones de plagioclasas: FPKs(PGLs); plagioclasas alteradas a sericita: PGLs(ser), cuarzo (cz), cristales de biotita (bt). Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

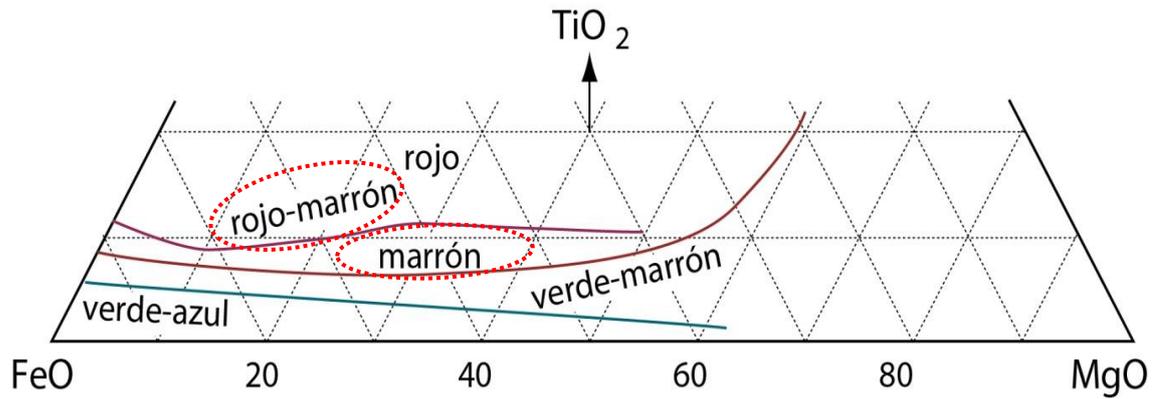


Figura: 1; Diagrama de clasificación de biotita en función del color, según Stosch, H. 2003. Se observa cristales de biotita de color rojo-marrón, los cuales infieren contenidos de FeO (60-90%); MgO (10-60%) y TiO₂ (8-15%). Los cristales de biotita de color rojo, indican la presencia de FeO (50-80%); MgO (20-40%) y TiO₂ (10-20%). Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.

Cuadro 1: Clasificación en base al color de los cristales de biotitas con inclusiones de cristales de: zr: zircón, ap: apatito y OPs: Minerales opacos.

Biotita K(Mg;Fe ₂₊ +3(Al;Fe ₃₊))Si ₃ O ₁₀ (OH; F) ₂	Habito y Forma	Alteración	Inclusiones	%
Verde-azúl	-	-	-	-
Verde-marrón	-	-	-	-
Marrón	-	-	-	-
Rojo-marrón	tabular con bordes irregulares	parcialmente cloritizadas	Zr, ap y OPs	4
Rojo	tabular con bordes irregulares	-	-	1

Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Inédita de esta tesis.



Anexo C

Anexo C1: Geoquímica de elementos mayores y trazas de la Unidad Aricoma zona sur del Batolito de la Cordillera Oriental

Muestra	GR39B-16-016	GR39B-16-020	GR39B-16-024	GR39B-16-025	GR39B-16-026	GR39B-17-119
Este	404859	407538	409952	409042	408172	414334
Norte	8430053	8429772	8429815	8429168	8429089	8421157
Roca	monzogranito	monzogranito	monzogranito	monzogranito	monzogranito	monzogranito
SiO ₂	73.12	74.32	70.29	70.52	70.13	70.63
TiO ₂	0.37	0.28	0.45	0.44	0.41	0.42
Al ₂ O ₃	12.27	11.77	13.30	13.21	13.35	14.94
Fe ₂ O ₃	2.89	2.32	3.24	3.21	3.10	3.40
MnO	0.04	0.04	0.06	0.06	0.06	0.06
MgO	0.64	0.48	0.90	0.79	0.76	1.09
CaO	1.19	1.06	2.23	1.86	1.78	2.60
Na ₂ O	3.09	3.28	3.70	3.60	3.85	3.41
K ₂ O	4.54	4.59	3.56	3.84	4.08	3.54
P ₂ O ₅	0.14	0.07	0.15	0.15	0.14	0.14
LOI	0.75	0.45	0.53	0.50	0.52	0.35
Total	98.29	98.21	97.88	97.68	97.66	100.23
Cr	25.0	25.0	35.0	28.0	28.0	19.0
V	31.0	21.0	37.0	33.0	33.0	42.0
Sc	7.6	5.6	7.8	8.0	8.0	8.2
Co	4.8	3.5	6.6	5.9	5.9	7.0
Sn	5.0	4.0	8.0	6.0	6.0	5.4
Cs	27.5	14.7	14.0	18.3	18.4	17.5
Li	89.0	36.0	67.0	97.0	94.0	84.4
Ni	5.0	5.0	9.0	7.0	7.0	8.2
Cu	17.0	9.0	8.0	13.0	13.0	18.7
Mo	2.0	3.0	2.0	2.0	2.0	11.8
Zn	37.0	38.0	55.0	50.0	52.0	54.0
Pb	30.0	23.0	21.0	25.0	27.0	22.1
W	2.0	1.0	3.0	2.0	2.0	14.7
Rb	260.2	225.9	186.0	202.5	209.1	186.5
Ba	431.0	268.0	501.0	472.0	494.0	550.0
Th	13.2	18.1	12.0	11.8	13.0	11.9
U	2.4	7.2	3.1	2.4	2.5	3.8
Nb	17.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.2
Ta	0.5	1.1	0.5	1.2	1.1	2.3
La	30.9	26.8	34.5	34.5	36.3	31.6
Ce	64.6	58.0	69.4	70.5	76.5	63.6
Pr	7.4	6.7	8.0	7.9	8.2	7.4
Nd	25.9	23.1	27.4	28.9	31.4	26.7
Sr	98.9	53.4	134.0	113.4	118.5	149.5
Sm	5.1	5.4	5.6	5.5	5.7	5.2
Hf	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.7
Zr	140.2	145.4	152.6	147.4	146.0	14.9
Eu	1.0	0.7	1.4	1.3	1.4	1.0
Gd	5.9	5.8	6.1	5.4	5.6	5.4
Tb	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	0.8
Dy	5.0	4.8	5.1	4.3	4.5	4.5
Y	28.9	29.0	27.7	21.1	22.0	23.2
Ho	1.1	1.0	1.1	0.8	0.9	0.8
Er	2.8	2.6	2.8	2.0	2.0	2.3
Yb	2.6	2.5	2.5	1.6	1.8	2.1
Lu	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.3
Cd	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.0
Tm	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3

Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Geocatmin.



Anexo C2: Geoquímica de elementos mayores y trazas de la Unidad Aricoma zona sur del Batolito de la Cordillera Oriental

Muestra	GR39B-17-122	GR39B-17-124	GR39B-17-125	GR39B-17-126	GR39B-17-130	GR39B-17-134
Este	414361	415810	415822	416574	482875	404380
Norte	8421096	8421991	8421865	8421615	8424558	8427496
Roca	monzogranito	monzogranito	monzogranito	monzogranito	monzogranito	monzogranito
SiO ₂	70.12	72.38	60.07	64.14	70.46	70.55
TiO ₂	0.45	0.33	0.98	1.00	0.40	0.47
Al ₂ O ₃	14.94	15.26	22.84	20.42	14.88	14.85
Fe ₂ O ₃	3.70	2.62	5.61	5.08	3.23	3.57
MnO	0.07	0.06	0.05	0.04	0.06	0.04
MgO	0.95	0.68	1.68	1.61	0.75	1.04
CaO	2.28	2.65	0.19	0.14	1.60	2.49
Na ₂ O	3.16	4.03	0.90	0.74	2.84	3.30
K ₂ O	3.98	2.61	3.88	3.99	4.22	4.11
P ₂ O ₅	0.19	0.13	0.13	0.13	0.23	0.15
LOI	0.40	0.34	3.68	3.27	0.71	0.48
Total	99.84	100.75	96.33	97.29	98.67	100.57
Cr	18.0	11.0	76.0	69.0	16.0	19.0
V	39.0	26.0	132.0	116.0	33.0	40.0
Sc	8.5	5.6	18.6	16.4	8.0	8.7
Co	6.7	4.8	6.9	3.0	5.7	5.5
Sn	8.2	9.2	4.5	5.8	10.3	5.5
Cs	16.7	17.9	16.0	9.0	17.7	15.8
Li	80.9	90.3	141.5	68.9	134.5	61.9
Ni	7.0	5.8	16.4	17.0	7.1	7.7
Cu	4.9	1.7	17.5	3.2	2.8	8.1
Mo	0.2	0.3	0.5	0.3	0.1	0.7
Zn	68.0	54.0	65.0	36.0	69.0	31.0
Pb	27.6	22.5	16.8	14.2	29.0	17.4
W	1.2	0.9	1.9	2.7	1.3	1.1
Rb	195.0	184.5	186.0	176.5	231.0	194.0
Ba	630.0	460.0	520.0	540.0	560.0	600.0
Th	9.5	9.6	15.4	14.6	8.5	12.5
U	1.4	1.5	1.6	1.4	2.0	3.9
Nb	17.2	15.8	9.2	10.4	18.1	16.7
Ta	1.8	1.9	0.7	0.7	2.1	1.8
La	31.3	26.1	40.7	37.6	30.7	36.9
Ce	63.3	50.9	90.4	82.4	63.4	75.8
Pr	7.6	5.6	11.2	9.7	7.6	8.6
Nd	28.7	19.9	43.2	38.0	27.8	31.3
Sr	144.0	160.5	85.7	70.0	123.0	161.0
Sm	5.7	3.6	7.9	6.6	5.5	5.9
Hf	0.1	0.3	0.3	0.3	0.1	0.3
Zr	1.4	8.2	10.7	10.6	0.9	6.8
Eu	1.2	1.1	1.5	1.2	1.0	1.1
Gd	5.7	3.9	6.0	5.0	5.3	6.0
Tb	0.8	0.5	0.6	0.5	0.7	0.9
Dy	4.7	3.0	2.5	2.0	3.6	5.4
Y	21.8	16.3	8.3	7.4	15.9	27.8
Ho	0.8	0.6	0.4	0.3	0.6	1.0
Er	2.1	1.6	0.9	0.8	1.5	2.9
Yb	1.7	1.4	0.7	0.6	1.2	2.5
Lu	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.3
Cd	0.1	0.0	<0.02	0.0	<0.02	0.1
Tm	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.4

Fuente: INGEMMET-DGR-GR39B: Geocatmin.



Anexo C3: Geoquímica de elementos mayores y trazas de la Unidad Aricoma zona sur del Batolito de la Cordillera Oriental

Muestra	GR39B-17-136	GR39B-16-054	GR39B-16-055	GR39B-16-056	GR39B-16-057	GR39B-16-058
Este	407323	405445	405273	404138	403405	403832
Norte	8428215	8435081	8435150	8434016	8435088	8434151
Roca	monzogranito	sienogranito	sienogranito	sienogranito	sienogranito	sienogranito
SiO ₂	70.88	68.50	65.89	68.43	68.87	69.86
TiO ₂	0.48	0.54	0.67	0.43	0.53	0.45
Al ₂ O ₃	14.53	14.29	15.96	14.49	14.01	14.24
Fe ₂ O ₃	3.57	4.25	4.69	3.30	4.25	3.36
MnO	0.07	0.05	0.06	0.07	0.07	0.05
MgO	1.03	1.24	1.33	1.13	1.10	0.79
CaO	2.32	2.66	2.34	2.40	2.18	1.87
Na ₂ O	3.23	3.33	3.42	3.62	3.20	3.61
K ₂ O	4.04	4.14	3.71	4.34	4.03	4.00
P ₂ O ₅	0.15	0.20	0.21	0.21	0.20	0.17
LOI	0.44	0.76	1.24	0.49	0.70	0.63
Total	100.74	99.96	99.52	98.91	99.14	99.03
Cr	18.0	23.0	31.0	23.0	25.0	27.0
V	40.0	45.0	56.0	37.0	41.0	36.0
Sc	8.9	10.1	12.3	7.8	10.4	9.0
Co	7.3	6.1	9.5	6.5	5.0	7.1
Sn	7.5	9.0	7.0	12.0	16.0	9.0
Cs	16.0	16.6	15.5	21.0	21.3	23.8
Li	79.1	64.0	95.0	128.0	132.0	176.0
Ni	7.2	8.0	14.0	11.0	8.0	7.0
Cu	58.8	10.0	11.0	9.0	31.0	6.0
Mo	0.6	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0
Zn	63.0	43.0	38.0	58.0	52.0	36.0
Pb	21.9	25.0	24.0	28.0	35.0	28.0
W	4.4	1.0	2.0	17.0	3.0	2.0
Rb	202.0	207.4	193.1	235.3	226.5	239.5
Ba	560.0	527.0	553.0	496.0	390.8	440.0
Th	16.0	13.9	15.7	14.2	13.6	12.5
U	4.9	4.3	4.7	6.1	5.3	5.0
Nb	17.0	20.0	21.0	22.0	21.0	18.0
Ta	1.8	1.0	0.6	1.1	0.7	1.0
La	42.7	40.9	47.3	32.5	37.6	34.3
Ce	83.0	79.5	94.7	64.1	76.0	71.5
Pr	9.6	9.0	10.9	7.0	8.8	8.2
Nd	34.0	31.7	39.1	25.5	31.4	28.7
Sr	138.0	171.7	182.6	140.1	124.9	139.5
Sm	6.2	6.6	8.1	5.2	6.7	5.8
Hf	0.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Zr	7.5	196.5	225.9	185.8	248.4	165.3
Eu	1.1	1.6	1.8	1.3	1.3	1.3
Gd	6.8	6.7	8.4	5.6	6.8	6.1
Tb	1.0	0.9	1.1	0.9	0.9	0.9
Dy	6.1	5.6	6.2	6.0	5.7	5.2
Y	30.7	29.9	33.7	34.3	27.2	27.2
Ho	1.1	1.1	1.3	1.1	1.0	1.0
Er	3.3	3.1	3.5	3.6	2.8	2.6
Yb	2.7	2.4	2.7	3.4	2.2	2.3
Lu	0.4	0.3	0.4	0.5	0.3	0.3
Cd	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Tm	0.5	0.5	0.5	0.6	0.4	0.4

Fuente: INGEMMET-DGR-GR39B: Geocatmin.



Anexo C4: Geoquímica de elementos mayores y trazas de la Unidad Aricoma zona sur del Batolito de la Cordillera Oriental

Muestra	GR39B-16-060	GR39B-16-061	GR39B-16-062	GR39B-17-127	GR39B-17-128	GR39B-17-129
Este	404022	403821	402535	405282	400348	399656
Norte	8433423	8431291	8429506	8427592	842890	8427658
Roca	sienogranito	sienogranito	sienogranito	sienogranito	sienogranito	sienogranito
SiO₂	64.66	68.36	69.49	72.30	71.99	66.71
TiO₂	0.93	0.56	0.49	0.34	0.33	0.63
Al₂O₃	15.64	14.27	13.65	14.90	14.91	16.46
Fe₂O₃	5.17	3.33	3.57	2.83	2.76	4.36
MnO	0.10	0.04	0.05	0.06	0.04	0.08
MgO	1.47	0.94	0.81	0.64	0.62	1.59
CaO	1.29	1.78	1.88	1.54	1.37	3.25
Na₂O	2.65	3.62	3.80	3.07	3.11	3.85
K₂O	4.03	4.27	4.09	4.33	4.05	2.34
P₂O₅	0.18	0.19	0.16	0.23	0.24	0.14
LOI	1.94	1.01	0.83	0.66	0.91	1.78
Total	98.06	98.37	98.82	100.90	100.33	101.19
Cr	62.0	32.0	31.0	15.0	14.0	21.0
V	83.0	43.0	33.0	27.0	26.0	72.0
Sc	13.2	9.6	8.9	7.5	7.9	10.2
Co	11.6	6.1	6.8	4.5	4.2	9.1
Sn	10.0	10.0	13.0	10.8	11.2	23.8
Cs	17.7	14.2	20.8	15.8	9.6	5.6
Li	150.0	75.0	78.0	59.5	48.9	61.4
Ni	21.0	10.0	8.0	5.0	4.5	6.5
Cu	44.0	10.0	23.0	2.9	1.7	7.9
Mo	2.0	2.0	3.0	0.1	0.2	1.1
Zn	75.0	37.0	38.0	80.0	41.0	104.0
Pb	12.0	23.0	26.0	32.8	31.4	13.0
W	5.0	2.0	2.0	1.2	1.6	0.7
Rb	215.4	202.9	234.4	244.0	197.5	86.5
Ba	804.0	644.0	622.0	560.0	580.0	950.0
Th	13.9	13.1	13.0	8.1	8.1	6.9
U	2.9	3.5	4.5	1.5	3.5	1.4
Nb	21.0	18.0	18.0	17.3	17.2	11.5
Ta	0.5	1.0	0.6	1.9	1.9	1.0
La	44.7	37.7	36.5	28.1	29.1	27.0
Ce	95.1	79.6	78.8	58.6	59.0	52.1
Pr	11.3	9.4	9.3	6.9	7.1	5.8
Nd	41.4	34.5	32.2	26.4	26.5	21.9
Sr	173.3	173.1	132.2	144.0	158.0	344.0
Sm	8.2	6.5	6.2	5.2	5.3	3.9
Hf	1.0	1.0	1.0	0.1	0.1	0.2
Zr	204.6	190.3	199.6	2.9	2.2	4.6
Eu	2.2	1.7	1.5	1.1	1.1	1.1
Gd	8.3	7.0	6.9	5.2	5.4	4.2
Tb	1.2	0.9	0.9	0.7	0.8	0.6
Dy	6.0	5.3	5.0	4.5	5.0	3.8
Y	31.7	27.5	25.8	21.9	24.3	20.6
Ho	1.2	1.0	1.0	0.8	0.9	0.7
Er	3.0	2.6	2.4	2.0	2.3	2.1
Yb	2.5	2.3	2.0	1.7	1.9	1.7
Lu	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3
Cd	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.5
Tm	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3

Fuente: INGEMMET-DGR-GR39B: Geocatmin.



Anexo C5: Geoquímica de elementos mayores y trazas de la Unidad Aricoma zona sur del Batolito de la Cordillera Oriental

Muestra	GR39B-17-132	GR39B-17-140	GR39B-17-141	GR39B-16-017	GR39B-16-018	GR39B-16-019
Este	399177	406879	406467	405125	405086	405885
Norte	8427846	8423994	8423956	8429969	8429459	8429236
Roca	sienogranito	sienogranito	sienogranito	granodiorita	granodiorita	granodiorita
SiO₂	65.27	68.84	69.65	69.52	69.97	69.37
TiO₂	0.64	0.48	0.47	0.50	0.47	0.53
Al₂O₃	16.30	15.17	14.60	14.03	13.48	14.01
Fe₂O₃	4.51	3.58	3.58	3.32	3.42	3.72
MnO	0.08	0.08	0.06	0.07	0.06	0.07
MgO	1.62	1.10	1.11	0.96	0.85	1.13
CaO	4.13	2.62	2.29	2.15	2.09	2.36
Na₂O	3.72	3.44	3.31	3.42	3.57	3.58
K₂O	1.89	3.71	3.95	3.70	3.78	3.44
P₂O₅	0.13	0.16	0.16	0.14	0.15	0.16
LOI	1.96	0.71	0.40	0.65	0.57	0.72
Total	100.25	99.89	99.58	98.46	98.41	99.09
Cr	23.0	18.0	18.0	42.6	35.0	43.0
V	75.0	43.0	41.0	40.6	39.0	44.0
Sc	11.0	8.9	8.9	8.6	8.4	9.5
Co	9.4	7.3	7.3	7.4	6.9	7.1
Sn	1.2	7.5	7.3	5.6	7.0	4.0
Cs	2.7	9.0	20.4	23.6	18.0	25.4
Li	57.3	34.2	93.9	77.5	88.0	75.0
Ni	7.2	7.3	7.8	8.6	7.0	10.0
Cu	14.0	11.2	55.3	26.6	19.0	28.0
Mo	0.5	0.4	0.3	2.0	2.0	2.0
Zn	90.0	72.0	60.0	78.5	87.0	52.0
Pb	11.6	20.4	18.8	23.7	24.0	20.0
W	0.8	16.3	0.7	1.0	1.0	1.0
Rb	55.3	166.0	211.0	199.7	198.7	214.6
Ba	780.0	550.0	520.0	505.4	427.0	515.0
Th	6.6	11.7	9.8	12.7	13.1	11.4
U	1.4	2.8	3.5	3.0	3.0	1.6
Nb	12.7	16.9	17.8	17.1	17.0	17.0
Ta	1.0	1.7	2.1	1.0	0.7	1.0
La	26.1	41.5	37.7	35.6	36.3	33.9
Ce	51.4	80.6	74.1	70.7	72.9	70.2
Pr	5.9	8.9	8.5	8.2	8.3	8.2
Nd	21.5	32.2	29.5	29.3	28.5	29.5
Sr	363.0	168.5	140.5	126.5	132.6	128.3
Sm	4.0	5.7	5.9	5.5	5.6	5.5
Hf	0.2	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0
Zr	4.0	13.8	27.1	156.7	151.5	159.6
Eu	1.2	1.2	1.1	1.6	1.3	1.4
Gd	4.5	6.3	6.6	5.7	6.1	5.8
Tb	0.7	0.9	1.0	0.8	0.9	0.8
Dy	4.0	5.7	6.4	5.2	5.0	4.5
Y	20.6	30.1	35.1	26.9	27.6	23.6
Ho	0.8	1.1	1.3	1.0	1.0	0.9
Er	2.2	3.2	3.7	3.5	2.6	2.3
Yb	2.0	2.7	3.3	2.3	2.3	1.9
Lu	0.3	0.4	0.5	0.4	0.3	0.2
Cd	0.1	0.0	0.2	0.2	0.2	0.2
Tm	0.3	0.4	0.5	0.4	0.4	0.3

Fuente: INGEMMET-DGR-GR39B: Geocatmin.



Anexo D

Anexo D1: Química de elementos mayores y trazas de biotitas de la Unidad Aricoma.

Muestra	GR39B-16-006	GR39B-16-016	GR39B-16-018	GR39B-16-019	GR39B-16-020	GR39B-16-024	GR39B-16-025
Este	418523	404859	405086	405885	407538	409952	409042
Norte	8427729	8430053	8429459	8429236	8429772	8429815	8429168
Cristal	biotita						
SiO₂	37.55	35.68	37.00	35.33	40.21	37.72	35.38
TiO₂	3.27	3.32	3.24	3.21	3.09	3.08	2.88
Al₂O₃	15.05	17.30	15.87	16.49	14.81	14.46	15.61
Fe₂O₃	23.59	25.05	24.36	22.44	23.12	22.82	21.56
MnO	0.57	0.29	0.53	0.34	0.40	0.39	0.34
MgO	6.80	6.28	6.86	5.96	5.77	7.25	5.77
CaO	1.43	0.74	0.95	1.83	1.14	0.80	1.21
Na₂O	0.30	0.33	0.33	0.21	0.50	0.29	0.57
K₂O	8.12	7.72	7.12	7.10	6.88	7.72	7.17
P₂O₅	0.52	0.21	0.19	0.55	0.49	0.24	0.50
LOI	1.68	2.30	2.13	2.72	1.87	1.49	1.73
Total	98.89	99.23	98.57	96.19	98.29	96.27	92.71
Cr	151.4	169.6	204.0	156.8	131.1	161.3	131.4
V	292.7	306.0	290.8	264.5	251.9	301.8	233.5
Co	46.6	56.2	48.8	28.9	42.6	52.9	45.0
Cs	75.6	144.6	105.3	71.2	93.7	82.5	86.1
Li	603.4	903.5	783.6	737.8	426.9	561.3	624.8
Ni	39.0	42.2	44.4	33.5	29.2	49.0	37.4
Cu	26.4	33.6	55.4	45.0	9.8	34.3	43.1
Mo	13.8	2.0	14.3	5.1	5.3	2.0	2.0
Zn	374.6	167.4	325.7	223.6	312.1	368.8	228.2
Pb	24.8	11.2	47.3	5.0	5.0	8.7	7.9
W	4.7	26.9	9.4	15.0	9.7	8.3	11.0
Rb	848.5	1297.7	840.5	801.7	927.5	978.4	814.1
Ba	1845.8	865.2	752.5	668.4	808.0	787.5	498.0
Th	8.0	52.9	36.5	89.8	46.9	53.2	79.5
U	8.3	10.1	8.7	19.4	23.8	7.2	14.5
Nb	119.3	130.0	108.5	115.3	135.8	111.5	101.8
Ta	14.7	9.0	10.8	5.4	8.8	6.1	7.2
La	32.5	157.1	82.8	258.6	67.9	247.3	211.1
Ce	86.0	296.8	214.7	533.7	162.2	479.4	448.4
Pr	10.2	33.5	22.8	61.6	19.6	52.1	51.2
Nd	43.1	120.4	87.7	224.4	76.9	176.2	187.3
Sr	10.0	20.9	19.2	26.2	12.1	21.1	25.9
Sm	11.4	23.4	16.1	44.3	20.3	30.6	36.8
Hf	10.3	17.5	12.6	34.9	28.0	9.2	31.0
Zr	381.2	710.1	464.8	1436.1	1094.7	343.3	1300.6
Eu	0.5	0.6	0.5	1.1	0.5	0.7	0.7
Gd	11.7	21.6	14.8	40.2	23.6	24.9	32.7
Tb	2.1	3.3	2.1	5.8	4.2	3.7	4.9
Dy	13.7	18.6	12.9	31.0	27.6	19.6	25.5
Y	78.5	92.3	66.7	141.0	143.3	83.1	118.3
Ho	2.6	3.4	2.4	5.4	5.5	3.3	4.4
Er	8.3	10.1	7.3	15.1	16.4	9.8	12.4
Yb	9.8	10.2	7.2	13.9	16.8	9.1	11.7
Lu	1.2	1.5	0.9	2.1	2.5	1.3	1.8
Cd	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tm	1.3	1.5	1.0	2.1	2.5	1.4	1.7

Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Geocatmin.



Anexo D2: Química de elementos mayores y trazas de biotitas de la Unidad Aricoma.

Muestra	GR39B-16-026	GR39B-16-054	GR39B-16-055	GR39B-16-057	GR39B-16-058	GR39B-16-061	GR39B-16-062
Este	408164	405445	405273	403405	403832	403821	402535
Norte	8429089	8435081	8435150	8435088	8434151	8431291	8429506
Cristal	biotita						
SiO₂	36.67	37.11	33.47	32.96	31.59	37.43	35.04
TiO₂	3.26	3.18	3.61	3.46	3.43	3.57	3.54
Al₂O₃	16.17	15.72	17.02	17.64	17.15	17.70	17.68
Fe₂O₃	24.23	24.50	23.29	23.76	24.21	21.08	24.39
MnO	0.51	0.33	0.21	0.37	0.29	0.19	0.31
MgO	6.46	6.49	5.90	6.26	6.09	6.27	6.15
CaO	0.90	1.50	2.61	1.87	1.47	2.17	2.13
Na₂O	0.44	0.36	0.27	0.25	0.21	0.48	0.29
K₂O	7.27	7.37	6.06	7.68	7.32	6.15	6.61
P₂O₅	0.18	0.25	0.54	0.49	0.56	0.64	0.62
LOI	2.27	1.63	0.31	2.57	1.53	2.90	5.00
Total	98.37	98.44	93.30	97.31	93.86	98.57	101.76
Cr	163.5	173.0	177.0	176.9	148.4	161.3	143.7
V	269.2	270.6	315.2	299.4	281.2	272.2	253.0
Co	45.2	32.1	45.0	28.5	48.5	40.2	42.7
Cs	108.7	71.3	43.4	71.7	84.8	48.8	67.0
Li	819.3	355.9	424.3	877.0	1175.9	473.3	581.5
Ni	40.4	39.9	65.4	37.4	40.0	49.5	36.9
Cu	30.8	15.6	16.4	39.3	17.0	8.4	37.5
Mo	10.5	12.9	3.3	6.5	11.5	2.8	3.9
Zn	278.4	175.9	130.6	213.7	174.7	132.7	189.1
Pb	30.9	9.7	5.0	5.0	5.0	5.1	5.0
W	8.2	6.1	11.0	12.7	11.1	8.8	9.8
Rb	867.3	735.8	599.3	967.4	901.2	528.1	675.7
Ba	474.4	1036.7	668.8	741.2	710.8	596.0	715.9
Th	42.8	36.9	85.6	83.9	86.0	93.6	101.5
U	8.4	11.5	16.6	17.0	18.8	14.5	16.8
Nb	104.4	93.7	115.7	117.5	118.2	109.4	120.4
Ta	9.8	7.7	3.6	6.5	6.3	6.8	5.5
La	115.0	103.9	210.1	260.8	212.7	232.2	241.8
Ce	252.9	232.9	471.9	484.0	453.1	513.3	524.9
Pr	26.9	24.8	55.3	56.6	52.5	61.0	61.4
Nd	103.4	97.8	202.0	203.1	189.3	224.5	226.2
Sr	17.2	32.3	66.5	29.6	22.7	44.2	28.3
Sm	19.0	17.5	39.3	39.8	37.3	43.8	43.6
Hf	13.2	13.3	38.0	33.5	34.5	37.4	41.3
Zr	522.0	507.7	1456.9	1390.3	1456.0	1603.3	1770.6
Eu	0.5	0.7	1.6	1.0	0.8	1.3	1.0
Gd	17.6	16.2	37.3	39.2	33.7	41.2	43.0
Tb	2.3	2.2	5.1	5.3	4.9	5.5	5.6
Dy	14.7	14.3	28.9	31.5	26.8	30.7	31.6
Y	80.8	75.2	120.2	143.4	127.0	137.1	140.0
Ho	2.6	2.5	5.0	5.6	4.7	5.3	5.4
Er	8.1	7.9	14.1	15.6	13.4	14.4	14.5
Yb	7.6	7.8	13.2	14.5	12.4	12.9	12.9
Lu	0.9	0.9	2.0	2.2	1.9	1.9	1.9
Cd	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tm	1.1	1.1	1.9	2.1	1.8	1.9	2.0

Fuente: INGEMMET–DGR–GR39B: Geocatmin.