



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

**“Estudio petromineragráfico del batolito de la costa y
batolito de la Cordillera Blanca en las regiones de la
Libertad, Áncash y su importancia metalogenética.”**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo

AUTOR

Luz María MONTES VILLALOBOS

ASESOR

Pedro Miguel GAGLIUFFI ESPINOZA

Lima, Perú

2019



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Montes, L. (2019). *Estudio petromineragráfico del batolito de la costa y batolito de la Cordillera Blanca en las regiones de la Libertad, Áncash y su importancia metalogenética*. Tesis para optar el título de Ingeniero Geólogo. Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

HOJA DE METADATOS COMPLEMENTARIOS

Código ORCID del autor	“—”
DNI o pasaporte del autor	46426916
Código ORCID del asesor	0000-0002-9118-6677
DNI o pasaporte del asesor	07197393
Grupo de investigación	“—”
Agencia financiadora	Lima, Perú Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
Ubicación geográfica donde se desarrolló la investigación	Sector I: Departamento de La Libertad provincias de Trujillo, Otuzco, Ascope y San Pedro de Lloc. Sector II y III Departamento de Ancash provincias de Recuay y Corongo. Coordenadas geográficas (obligatorio). Sector I: 9051382N y 176794E Sector II: 8927964N y 253357E Sector III: 8927964N y 253357E
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2017 - 2019
Disciplinas OCDE	Geología http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.06 Mineralogía http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.02 Geoquímica, Geofísica http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.04



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO

En el Salón de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, el día martes 5 de noviembre del año 2019, siendo las 18:00 horas, en presencia de los señores docentes designados como miembros del Jurado Calificador:

Dr. CIRO SERGIO BEDIA GUILLEN	(Presidente de Jurado)
Dr. TOMAS EZEQUIEL GALLARDAY BOCANEGRA	(Miembro de Jurado)
Ing. LOURDES JANET QUIÑONES LAVADO	(Miembro de Jurado)

Reunidos para el acto académico público de colación de la Tesis de la Bach. **LUZ MARÍA MONTES VILLALOBOS**, quien sustentará la Tesis titulada: **"ESTUDIO PETROMINERAGRÁFICO DEL BATOLITO DE LA COSTA Y BATOLITO DE LA CORDILLERA BLANCA EN LAS REGIONES DE LA LIBERTAD, ANCASH Y SU IMPORTANCIA METALOGENÉTICA"**, para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Geólogo.

Los miembros del Jurado, escuchada la sustentación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas:

A SATISFACCION DEL JURADO

El Jurado procedió a la calificación, cuyo resultado fue:

APROBADO POR UNANIMIDAD CON NOTA (16) Dieciséis.

Habiendo sido aprobada la Sustentación de Tesis por el Jurado Calificador, el Presidente recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, proponga se le otorgue el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO** a la Bach. **LUZ MARÍA MONTES VILLALOBOS**.

Siendo las 19:00 horas se dio por concluido el acto académico, expidiéndose dos (02) Actas Originales de la Sustentación de la Tesis.

Ciudad Universitaria, 5 de noviembre del 2019

DR. CIRO SERGIO BEDIA GUILLEN
PRESIDENTE DE JURADO

DR. TOMAS EZEQUIEL GALLARDAY BOCANEGRA
MIEMBRO DE JURADO

ING. LOURDES JANET QUIÑONES LAVADO
MIEMBRO DE JURADO

DEDICATORIA:

A Dios todopoderoso por sus bendiciones.

A mis amados padres Isaías y María por su apoyo incondicional.

A mis hermanas Elena y Romina, mis compañeras y amigas.

A Michell por su apoyo y amor durante todos estos años.

A mi querido Simba.

AGRADECIMIENTOS

Quiero empezar agradeciendo al Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), quien a través de la Dirección de Recursos Minerales y Energéticos y en el marco de los trabajos que se realizaron en el proyecto GE39-2: “Depósitos Minerales del Perú”, me brindaron la información que permitió el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Al ingeniero Jorge Chira por permitirme la oportunidad de proponer el tema de investigación, el mismo que posteriormente fue aprobado; a los ingenieros Jorge Acosta y Pedro Gagliuffi por el asesoramiento constante en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A Dios todopoderoso por la oportunidad de estar aquí, a mis queridos padres Isaías y María por su amor y apoyo incondicional a lo largo de mi vida; a mis hermanas Elena y Romina por su cariño; a mi compañero de vida, colega, amigo y amor Michell, gracias por ser parte importante de este sueño.

A mis compañeras de trabajo y amigas Ingeniera María Manrique e Ingeniera Mónica Vera, aprecio su disponibilidad a apoyarme y sus buenos consejos. Una mención especial también a la Dra. Juli Sucapuca por las sugerencias.

A mis amigos y compañeros de trabajo, gracias por su apoyo, sus consejos y sus buenos deseos. Del mismo modo espero que tengan muchos éxitos en su vida personal y profesional.

Por último y no menos importante a mis queridas amigas Jessica y María del Carmen, gracias por su amistad, apoyo y cariño a lo largo de estos años.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
ÍNDICE.....	iii
INDICE DE FIGURAS.....	viii
INDICE DE TABLAS.....	xvi
LISTADO DE FIGURAS.....	xvii
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	xx

CAPÍTULO I – INTRODUCCION

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA	1
Problema general	1
Problemas específicos	1
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	2
Justificacion teórica.....	2
Justificación práctica	2
1.4 OBJETIVOS.....	2
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	2
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES	2
1.6 VIABILIDAD DEL ESTUDIO.....	3

CAPITULO II – MARCO TEORICO

2.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD	4
2.2 GEOMORFOLOGÍA.....	4
2.1.1 Llanura Preandina.....	4
2.1.2 Cordillera Occidental	5
2.1.3 Valles Interandinos	5
2.3 GEOLOGÍA REGIONAL.....	6
2.3.1 REGION LA LIBERTAD	6
2.3.2 REGION ANCASH	7
2.4 ROCAS INTRUSIVAS.....	8

2.4.1 BATOLITO DE LA COSTA.....	9
2.4.2 BATOLITO DE LA CORDILLERA BLANCA	13
2.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	15
2.5.1 ESTRUCTURAS DEL BATOLITO DE LA COSTA.....	15
5.4.2 ESTRUCTURAS DEL BATOLITO DE LA CORDILLERA BLANCA	16
2.6 CONTEXTO METALOGENÉTICO REGIONAL.....	18
2.7 BASES TEORICAS.....	19
2.7.1 PROCESOS MAGMÁTICOS: PLUTONISMO	19
2.7.1.1 PROPIEDADES DE LOS MAGMAS	19
2.7.1.2 CONSOLIDACION MAGMÁTICA	19
2.7.1.3 AMBIENTES DE GENERACION DE LOS MAGMAS	21
2.7.2 CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS DE LAS ROCAS IGNEAS PLUTÓNICAS.....	22
2.7.2.1 PATRON TEXTURAL	22
2.7.2.2 TEXTURAS ESPECIALES	23
2.7.3 CLASIFICACION Y NOMENCLATURA	25
2.7.4 CLASIFICACION DE GRANITOS	28
2.7.4.1 CLASIFICACIÓN DE LA SERIE DEL GRANITO SEGÚN ISHIHARA	28
2.7.4.1.1 Serie Magnetita	28
2.7.4.1.2 Serie Ilmenita.....	28
2.7.4.2 CLASIFICACION DE LA SERIE DEL GRANITO SEGÚN CHAPPELL AND WHITE	29
2.7.4.2.1 Granitos Tipo I	29
2.7.4.2.2 Granitos Tipo S.....	30
2.7.5 GEOQUÍMICA.....	31
2.7.5.1 ELEMENTOS MAYORES.....	31
2.7.5.2 ELEMENTOS TRAZA.....	34
2.7.6 METALOGENIA DE ROCAS GRANÍTICAS	35
2.7.6.1 Diagramas Metalogenéticos	35
2.8 MARCO CONCEPTUAL O GLOSARIO	37
2.9 HIPÓTESIS.....	41
2.9.1 Hipótesis General.....	41
2.9.2 Hipótesis Específicas	41

2.10 IDENTIFICACION DE VARIABLES.....	41
Variable Independiente	41
Variable Dependiente.....	41
2.11 OPERACIÓN DE VARIABLES.....	41

CAPITULO III – METODOLOGÍA

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN, NIVEL, MÉTODO Y DISEÑO	42
3.1.1 Tipo de Investigación	42
3.1.2 Nivel de Investigación	42
3.1.3 Métodos de Investigación.....	42
3.1.4 Diseño de Investigación	43
3.2 POBLACIÓN Y MUESTREO	43
3.2.1 Muestra	43
3.3 CRITERIOS DE INCLUSION Y EXCLUSION	44
3.3.1 Criterio de Inclusión	44
3.2.2 Criterio de Exclusión	44
3.4 TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	44
3.4.1 Descripción de los Instrumentos	44
A. Material Bibliográfico	44
B. Microscopio Óptico	44
C. Equipo Informático.....	45
3.5 TÉCNICAS PARA PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS.....	45
3.5.1 GABINETE 1	45
3.5.2 TRATAMIENTO DE MUESTRAS	46
3.5.3 GABINETE 2.....	46
A. Trabajo petromineragráfico	46
B. Trabajo Geoquímico	46
C. Conclusiones	47

CAPÍTULO IV – CARACTERIZACIÓN PETROMINERAGRÁFICA

4.1 INTRODUCCION	48
4.1.1 Estudios petromineragráficos de las muestras del batolito de la costa.	48
– Muestra GE39-17f-R-001	49
– Muestra GE39-17f-R-003	51

– Muestra GE39-17f-R-004	54
– Muestra GE39-17f-R-005	56
– Muestra GE39-17f-R-006	59
– Muestra GE39-17f-R-007	62
– Muestra GE39-17f-R-008	64
– Muestra GE39-17f-R-009	67
– Muestra GE39-17f-R-010	69
– Muestra GE39-17f-R-011	72
– Muestra GE39-16e-R-002	75
– Muestra GE39-16e-R-004	77
– Muestra GE39-16e-R-005	80
4.1.2 Estudios petromineralográficos de las muestras del batolito de la cordillera Blanca.....	83
– Muestra GE39-18h-R-001	83
– Muestra GE39-18h-R-002	85
– Muestra GE39-18h-R-003	88
– Muestra GE39-18h-R-004	91
– Muestra GE39-20i-R-001.....	93
– Muestra GE39-20i-R-002.....	96
– Muestra GE39-20i-R-003.....	99
– Muestra GE39-20i-R-015.....	102

CAPÍTULO V – CARACTERIZACIÓN LITOGEOQUÍMICA Y POTENCIAL METALOGÉNÉTICO

5.1 CLASIFICACIÓN LITOGEOQUÍMICA DE LAS ROCAS.....	105
5.1.1 ELEMENTOS MAYORES	105
5.1.1.1 Diagrama TAS	105
5.1.1.2 Diagrama R1-R2.....	106
5.1.1.3 Diagrama de Índice de Saturación de Alúmina	108
5.1.1.4 Diagrama de determinación de contenido de Fe total	109
5.1.2 TIERRAS RARAS	110
5.1.2.1 Diagrama de origen de los granitos Y vs Nb.....	110
5.1.3 METALOGENIA DE ROCAS GRANÍTICAS	111
5.1.3.1 Estado de Oxidación	111
5.1.3.2 Relación $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$	113

5.1.3.3 Zonación de Metales y Provincias Metalogenéticas.....	114
---	-----

CAPITULO VI – INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Resultados petrominerográficos.....	116
6.2 Resultado de los análisis geoquímicos de las muestras.....	118
6.3 Propuesta metalogenética	119

CONCLUSIONES	121
---------------------------	-----

RECOMENDACIONES	121
------------------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA	122
---------------------------	-----

ANEXOS	132
---------------------	-----

A. MAPAS GEOLÓGICOS.....	132
--------------------------	-----

B. PANEL FOTOGRÁFICO	136
----------------------------	-----

C. ANÁLISI QUÍMICOS	139
---------------------------	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 La cordillera Occidental.....	5
Figura N°2: Afloramiento del batolito de la costa, localidad cerro Culebra.....	9
Figura N°3: Afloramiento del batolito de la costa.....	10
Figura N°4: Afloramiento del batolito de la costa. Se observa dique de composición microdiorítica.....	10
Figura N°5: (A) Plagioclasas (PGLs) + Máficos (MFs) + opacos (OPs) como constituyentes de la matriz criptocristalina.....	11
Figura N°5: (B) Venillas constituidas por cristales de cuarzo (cz) + plagioclasa (PGLs) + opacos (OPs) cortando a la matriz criptocristalina.....	11
Figura N°6: (A) Cristales de plagioclasas (PGLs) con alteraciones a arcillas; anfíboles (ANFs) con alteración a cloritas (CLOs) e inclusiones de minerales opacos (OPs).....	12
Figura N°6: (B) Cristal de biotita (bt) con alteración a cloritas (CLOs).....	12
Figura N°7: (A) Fenocristales de plagioclasas (PGLs) y piroxenos (PXs) en una matriz de cristales de plagioclasa (PGLs) + anfíboles (ANFs) + opacos (OPs).....	12
Figura N°7: (B) Fenocristal de piroxeno (PXs), cristal de mineral opaco (OPs) y plagioclasa (PGLs) en una matriz criptocristalina.....	12
Figura N°8: Afloramiento del batolito de la costa. Se observa la composición de la roca es tipo granito.....	13
Figura N°9: Afloramiento del batolito de la cordillera Blanca, en la región Ancash....	14
Figura N°10: Afloramiento del batolito de la cordillera Blanca, en la región Ancash. Se observa la composición de la roca es tipo Granodiorita.....	15
Figura N°11: Afloramiento del batolito de la costa. En líneas rojas, anaranjadas y verdes se pueden observar los diversos sistemas de diaclasamiento NW-SE, NE-SW.....	16
Figura N°12: Afloramiento del batolito de la cordillera Blanca. En líneas rojas se pueden observar los diversos sistemas de diaclasamiento NW-SE, NE-SW.....	17
Figura N°13: Serie de cristalización de Bowen.....	20
Figura N°14: Diferenciación magmática.....	20
Figura N°15: Patrones texturales de las rocas ígneas plutónicas.....	23
Figura N°16: Texturas especiales de las rocas ígneas plutónicas.....	24
Figura N°17: Texturas especiales de las rocas ígneas plutónicas.....	25
Figura N°18: Triángulo de Streckeisen (QAPF).....	27

Figura N°19: La clasificación química y la nomenclatura de rocas plutónicas usando el diagrama TAS Cox et al.	32
Figura N°20: Diagrama índice de saturación de alúmina.	33
Figura N°21: Diagrama de origen de los granitos Y vs Nb.	34
Figura N°22: Microscopio Nikon Eclipse E2000	45
Figura N°23: Flujograma de trabajo	47
Figura N°24: (A) Fenocristales de plagioclasas (PGLs), alteradas por sericita fina. Cuarzo (cz) y feldespato potásico (FPKs) intersticial... ..	50
Figura N°24: (B) Fenocristal de anfíbol (ANFs) con inclusiones de minerales opacos (OPs).....	50
Figura N°24: (C) Textura poiquilítica los cristales de anfíboles (ANFs) y opacos (OPs) incluidos en feldespato potásico (FPKs) formando.. ..	51
Figura N°24: (D) Magnetita (mt) como inclusión en piroxenos (PXs) y anfíboles (ANFs).	51
Figura N°24: (E) Cristal subhedral de magnetita (mt) intercrecida con hematita (hm) e ilmenita (ilm)... ..	51
Figura N°25: (A) Zona de microfracturamiento (resaltado en líneas rojas) de cuarzo (cz), plagioclasa (PGLs) y feldespato potásico (FPKs).. ..	53
Figura N°25: (B) Zona de trituración donde se observan pequeños cristales de cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa.	53
Figura N°25: (C) Agregados de cristales de epidota (ep) rellenando intersticios.	53
Figura N°25: (D) Cristales de minerales opacos (OPs) diseminados entre cristales de plagioclasas.	54
Figura N°25: (E) Relleno de molde de cristal a hematita (hm) y goethita (goe) en los bordes.. ..	54
Figura N°26: (A) Las líneas punteadas señalan cristales de cuarzo triturado (cz-t) por acción mecánica.. ..	55
Figura N°26: (B) Las líneas punteadas señalan cristales de cuarzo triturado (cz-t) en contacto con cristal de feldespato potásico (FPKs) con textura peritítica.	55
Figura N°26: (C) Cristales de feldespato potásico (FPKs) formando textura peritítica con las plagioclasas (PGLs).	56
Figura N°26: (D) Cristal de epidota (ep) en su variedad alanita, en contacto con un mineral opaco.....	56
Figura N°26: (E) Cristal de magnetita (mt) alterándose a hematita (hm), el intercrecimiento de ambos es reticular.....	56
Figura N°27: (A) Cristales de piroxenos (PXs) alterándose a anfíboles (ANFs) y	

clorita (CLOs).....	58
Figura N°27: (B) Cristal de feldespato potásico (FPKs) formando textura poiquilítica con la plagioclasa (PGLs).	58
Figura N°27: (C) Cristales de plagioclasa (PGLs) alterándose a sericita (ser), cuarzo (cz) intersticial y pequeños cristales de anfíboles (ANFs) alterándose a cloritas (CLOs).....	58
Figura N°27: (D) Cristal de magnetita como inclusión en minerales máficos: anfíboles (ANFs) y piroxenos (PXs).	59
Figura N°27: (E) Cristal de magnetita (mt) reemplazada por ilmenita (ilm), la cual está alterándose a rutilo (rt) y hematita (hm).....	59
Figura N°28: (A) Zona de trituramiento de minerales, dando el aspecto de textura “tipo mortár”	61
Figura N°28: (B) molde de de biotita sustituido a clorita (CLOs), y epidota (ep).....	61
Figura N°28: (C) Cristales de plagioclasa con inclusiones de cristales de cuarzo y por sectores siendo reemplazadas por feldespato potásico.	61
Figura N°28: (D) Cristal de magnetita en contacto con feldespato potásico (FPKs) plagioclasa (PGLs) y máficos: biotita (bt).	61
Figura N°28: (E) Cristal de magnetita (mt) alterándose a hematita (hm) e ilmenita (ilm). El rutilo (rt) reemplazando a la ilmenita.	61
Figura N°29: (A) Cristales de piroxenos (PXs) siendo reemplazados por anfíbol (ANFs) y biotita (bt).....	63
Figura N°29: (B) Fenocristal de plagioclasa (PGLs) alterándose a epidota (ep) y sericita (ser), y con inclusiones de opacos (OPs).....	63
Figura N°29: (C) Cristal de biotita (bt) reemplazando parcialmente a los anfíboles (ANFs), a la izquierda cristal de piroxeno (PXs) alterándose a anfíbol.....	64
Figura N°29: (D) Cristales de magnetita como inclusiones en los minerales máficos: Anfíboles (ANFs) y biotitas (bt).	64
Figura N°29: (E) Cristal de magnetita (mt) alterándose a hematita (hm), formando intercrecimiento reticular.	64
Figura N°30: (A) Cristales de actinolita-tremolita (act-tre) alterándose a biotita (bt) y estas a su vez alterándose a cloritas (CLOs).	66
Figura N°30: (B) Cristales de plagioclasa (PGLs) con inclusiones de piroxenos – anfíboles (PXs-ANFs) y zircón (zir).	66
Figura N°30 (C) Cristales de plagioclasas (PGLs), anfíboles (ANFs) y biotita (bt) inmersos en el cristal de feldespato potásico (FPKs) formando una textura poiquilítica.....	66

Figura N°30: (D) Cristal de magnetita (mt) alterándose a hematita (hm) e ilmenita (ilm).	66
Figura N°31: (A) Cristal de biotita (bt); acompañada de cristales subhedrales de feldespatos (FPs) y cuarzo (cz).	68
Figura N°31: (B) Cristales de plagioclasa (PGLs), algunos alterándose a sericita (ser), cuarzo (cz) y pequeños cristales tabulares de biotita (bt).....	68
Figura N°31: (C) Cristal de cuarzo (cz) con fracturas, rodeado por cristales de plagioclasas (PGLs) y feldespato potásico (FPKs).....	69
Figura N°31: (D) Mineral opaco (OPs) como inclusiones en el feldespato potásico (FPKs).	69
Figura N°31: (E) Cristal de hematita (hm) formando intercrecimientos tipo reticular con la magnetita.	69
Figura N°32: (A) Fenocristal de plagioclasa (PGLs) alterándose a sericita (ser) en contacto con matriz granular.	71
Figura N°32: (B) Fenocristal de biotita (bt) con alteración a muscovita (mus).	71
Figura N°32: (C) Aglomeración de cristales de biotita (bt) alterándose a muscovita (mus) y con inclusiones de minerales opacos	71
Figura N°32: (D) Cristales de minerales opacos que se presentan como inclusiones en los cristales de anfíboles-biotita-cloritas	72
Figura N°32: (E) Hematita (hm) formando intercrecimiento tipo reticular con la magnetita (mt).....	72
Figura N°33: (A) Cristales de muscovita (mus) producto de alteración de los feldespatos (FPs), e inclusiones de minerales opacos (OPs).	74
Figura N°33: (B) Cristal de biotita (bt) con inclusiones de minerales opacos (OPs)	74
Figura N°33: (C) Cristal de biotita (bt) con inclusiones de minerales opacos se observa también cristales de cuarzo (cz), plagioclasa (PGLs), feldespato potásico (FPKs) y muscovita (mus) como relleno de intersticios	74
Figura N°33: (D) Minerales opacos (OPs) reemplazando a las biotitas (bt) las cuales están alterándose a cloritas (CLOs).....	74
Figura N°33: (E) Cristal de hematita (hm) formando intercrecimientos tipo reticular con la magnetita (mt).	74
Figura N°34: (A) Feldespato potásico (FPKs) en su variedad microclina (mcl), formando también textura pertítica con la plagioclasa (PGLs).	76
Figura N°34: (B) Textura tipo mortero, disgregación de cristales de feldespato potásico. Además, se observa epidota (ep) como alteración de los últimos.....	76

Figura N°34: (C) Cristales de biotita (bt) relleno de fracturas en el cuarzo (cz), presentan inclusiones de muscovita (mus). Se observa feldespato potásico con aparente textura peritítica.	77
Figura N°34: (D) Cristales de minerales opacos (OPs) como inclusiones en plagioclasas (PGLs).....	77
Figura N°34: (E) Cristal de hematita (hm) acompañada de rutilo (rt).....	77
Figura N°35: (A) Cristales de piroxenos en proceso de alteración a anfíboles (ANFs), los mismos que se encuentran alterándose a cloritas (CLOs).....	79
Figura N°35: (B) Cristal tabular de plagioclasa con inclusiones de piroxeno (PXs) anfíbol (ANFs) y además minerales opacos (OPs).	79
Figura N°35: (C) Cristales tabulares de plagioclasa (PGLs) y cuarzo (cz) el cual presenta superficie fracturada.....	79
Figura N°35: (D) Minerales opacos diseminados y asociados junto con los minerales máficos (ANFs-bt).....	80
Figura N°35: (E) Cristal de magnetita con exsolución lamelar de hematita (mt-hm).	80
Figura N°36: (A) Cristal de anfíbol (ANFs) alterándose a epidota (ep), además presencia de actinolita-tremolita (act-tre) y opacos (OPs) como inclusiones en los máficos... ..	82
Figura N°36: (B) Fenocristal de plagioclasa (PGLs) con inclusiones de epidota (ep) y opacos (OPs).....	82
Figura N°36: (C) Cristal de anfíbol (ANFs) alterándose a epidota (ep) y cloritas (CLOs). Los minerales opacos (OPs) se encuentran como inclusiones en máficos y feldespatos.	82
Figura N°36: (D) Minerales opacos asociados con moldes de máficos alterados a cloritas y epidota (CLOs-ep).	82
Figura N°36: (E) Cristal de hematita en exsolución lamelar en magnetita (hm-mt), junto con ilmenita (ilm).	82
Figura N°37: (A) Cristal de hornblenda (hrn) alterándose a biotita (bt), siendo englobados por feldespato potásico (FPKs).....	84
Figura N°37: (B) Textura mirmequítica (en círculo rojo), además feldespato potásico englobando a biotita, óxidos y opacos.	84
Figura N°37: (C) Cristales de plagioclasas (PGLs) de presentan de formas tabulares y maclas combinadas.	85
Figura N°37: (D) Cristales de plagioclasa (PGLs) y anfíbol (ANFs) con inclusiones de minerales opacos (OPs).....	85

Figura N°37: (E) Cristal anhedral de ilmenita (ilm), reemplazada por hematita (hm) formando intercrecimiento del tipo lamelar.....	85
Figura N°38: (A) Cristal de hornblenda (hrn) alterándose a cloritas (CLOs).....	87
Figura N°38: (B) Cristal euhedral de esfena (efn) con inclusiones de apatito (ap) y cristales anhedrales de anfíbol (ANFs) con inclusiones de opacos (OPs).....	87
Figura N°38: (C) Cristales de plagioclasa (PGLs) formando aparente textura mirmequítica con microclina (mcl).....	87
Figura N°38: (D) Cristal de magnetita la cual se presenta como relleno de espacios entre plagioclasas y como inclusiones en anfíboles	88
Figura N°38: (E) Cristal subhedral de magnetita (mt).....	88
Figura N°39: (A) Cristal de plagioclasa (PGLs) con inclusiones de opacos (OPs); en la margen izquierda, granoblastos de cuarzo (cz) en bandas.	90
Figura N°39: (B) Cristales de biotita (bt) formando nidos, presentan además inclusiones de opacos.....	90
Figura N°39: (C) Textura mirmequítica (en círculo rojo) formada entre plagioclasa (PGLs), cuarzo (cz) y feldespato potásico (FPKs).....	90
Figura N°39: (D) Minerales opacos (OPs) como relleno de espacios, asociado a esfena (efn).	90
Figura N°39: (E) Cristal de magnetita (mt) formando intercrecimiento del tipo reticular con la hematita (hm).....	90
Figura N°40: (A) Blastos de plagioclasa (PGLs) siendo reemplazados por cuarzo (cz)... ..	92
Figura N°40: (B) Blastos de biotita (bt) formando aglomeraciones o “nidos” con inclusiones de opacos (OPs).	92
Figura N°40: (C) Textura simplectítica (en rojo y amarillo) formada entre feldespato potásico (FPKs) y cuarzo (cz) y plagiocasa (PGLs).... ..	92
Figura N°40: (D) Mineral opaco (OPs) como relleno de espacios, asociado a biotita (bt).....	92
Figura N°40: (E) Cristal de magnetita (mt) con intercrecimiento de tipo lamelar con hematita (hm).....	92
Figura N°41: (A) Cristales de biotita (bt) alterándose a epidota (ep) y cloritas (CLOs).....	95
Figura N°41: (B) Matriz granular compuesta por cuarzo (cz) – plagioclasa (PGLs) y feldespato potásico (FPKs).	95
Figura N°41: (C) Cristales de feldespato potásico en su variedad microclina (mcl) con inclusiones de plagioclasa (PGLs) y biotita (bt).	95

Figura N°41: (D) Mineral opaco (OPs) la cual se presenta como inclusión en el cristal de biotita.....	96
Figura N°41: (E) Cristal anhedral de magnetita.....	96
Figura N°42: (A) Cristales de plagioclase (PGLs), cuarzo (cz), feldespato potásico (FPKs) y biotita (bt) en contacto con xenolito.....	98
Figura N°42: (B) Xenolito pórfido microdiorítico compuesto por plagioclase con matriz de biotita y anfíboles....	98
Figura N°42: (C) Cristal de plagioclase (PGLs) con leve flexura producto de metamorfismo (en círculo rojo), acompañando por cristales de cuarzo (cz) y biotita (bt).....	98
Figura N°42: (D) Cristal de mineral opaco (OPs) como inclusión en plagioclase (PGLs).....	99
Figura N°42: (E) Cristales euhedrales de magnetita, formando intercrecimiento lamelar con hematita (hm).	99
Figura N°43: (A) Cristales de plagioclase (PGLs), cuarzo (cz) y feldespato potásico (FPKs) acompañados por cristales de biotita (bt).....	101
Figura N°43: (B) Cristales de biotita (bt) intercrecidos con cristales de plagioclase (PGLs) algo orientados	101
Figura N°43: (C) Cristales de biotita (bt), fracturados y levemente orientados... ..	101
Figura N°43: (D) Cristal de biotita (bt) con inclusiones de minerales opacos (OPs).	101
Figura N°43: (E) Cristal anhedral de ilmenita, se presenta como inclusión en cristal de biotita (bt).....	101
Figura N°44: (A) Cristales de plagioclase (PGLs) con zonación concéntrica con inclusiones de anfíboles (ANFs)	103
Figura N°44: (B) Cristales de cuarzo (cz), plagioclase (PGLs) y feldespato potásico (FPKs) en contacto con xenolito.	103
Figura N°44: (C) Xenolito pórfido diorítico, compuesto por cristales de plagioclase (PGLs), cuarzo (cz), feldespato potásico (FPKS), anfíboles (ANFs) y piroxenos (PXs).	104
Figura N°44: (D) Mineral opaco (OPs) como inclusión en plagioclase (PGLs).	104
Figura N°44: (E) Cristales subhedrales de magnetita (mt), como inclusiones en cristales de plagioclases (PGLs).....	104
Figura N°45: Diagrama TAS, Álcalis Total vs Sílice Le Maitre et. Al (2002), aplicada al batolito de la costa y el batolito de la cordillera Blanca.....	106
Figura N°46: Diagrama R1 vs R2, De la Roche et al. (1980), aplicado al batolito	

de la costa y al batolito de la cordillera Blanca.....	107
Figura N°47: Diagrama del índice de Saturación de Alúmina (Shand, 1968), aplicado al batolito de la costa y al batolito de la cordillera Blanca.....	108
Figura N°48: Diagrama de determinación del contenido de Fe total, aplicado al batolito de la costa y al batolito de la cordillera Blanca	109
Figura N°49: Diagrama del origen de los Granitos Y vs Nb, aplicado al batolito de la costa y al batolito de la cordillera Blanca.....	110
Figura N°50: Diagrama del Estado de Oxidación de Granitos aplicado al batolito de la costa y al batolito de la cordillera Blanca.....	112
Figura N°51: Diagrama Fe_2O_3/FeO vs SiO_2 . La línea en color rojo divide la serie magnetita de la serie ilmenita	114
Figura N°52: Diagrama Fe_2O_3/SiO_2 . Vs Rb/Sr. Permite reconocer las principales zonaciones metálicas y provincias metalogenéticas	115
Figura N°53: Mapa de ubicación y accesibilidad de la zona de estudio..	127
Figura N°54: Mapa en Google Earth de ubicación de las muestras de estudio sector I – batolito de la Costa.....	128
Figura N°55: Mapa en Google Earth de ubicación de las muestras de estudio sector II – batolito de la cordillera Blanca.....	129
Figura N°56: Mapa en Google Earth de ubicación de las muestras de estudio sector III – batolito de la cordillera Blanca.....	130
Figura N°57: Mapa geológico - estructural del sector I – muestras del batolito de la costa... ..	131
Figura N°58: Mapa geológico - estructural del sector II – muestras del batolito de la cordillera Blanca.....	132
Figura N°59: Mapa geológico - estructural del sector III – muestras del batolito de la cordillera Blanca.....	133
Figura N°60: Perfil geológico del sector I – muestras del batolito de la costa.....	134
Figura N°61: Perfil geológico del sector II – muestras del batolito de la cordillera Blanca.....	134
Figura N°62: Perfil geológico del sector III – muestras del batolito de la cordillera Blanca.....	134
Figura N°63: Mapa metalogenético de la zona de estudio.....	135
Figura N°64: Intrusivos del batolito de la costa en la localidad de Trujillo. Foto tomada el día 02-08-2015.....	137
Figura N°65: Intrusivos del batolito de la costa en la localidad de Trujillo. Foto tomada el día 03-08-2015.....	137

Figura N°66: Intrusivos del batolito de la cordillera Blanca en la localidad de Ancash. Fotot tomada el día 16-08-2015.....	138
Figura N°67: Intrusivos del batolito de la cordillera Blanca en la localidad de Ancash. Foto tomada el día 18-08-2015.....	138
Figura N°68: Resultados de los análisis químicos para elementos trazas obtenidas del laboratorio SGS.....	140
Figura N°69: Resultados de los análisis químicos para óxidos obtenidas del laboratorio SGS.....	140

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Operación de variables dependientes e independientes.....	41
Tabla N° 2: Petrografía de los batolitos de la costa y de la cordillera Blanca.....	116
Tabla N° 3: Resultados del estudio mineragráfico de las muestras del batolito de la costa y batolito de la cordillera Blanca	118
Tabla N° 4: Cuadro comparativo entre los resultados petrográficos y geoquímicos	119

LISTADO DE ABREVIATURAS

PGLs: Plagioclasa

cz: Cuarzo

FPKs: Feldespato potásico

mcl: Microclina

ANFs: Anfíbol

hrn: Hornblenda

PXs: Piroxeno

bt: Biotita

OPs: Minerales opacos

OXsFe: Óxidos de hierro

Ser: Sericita

ep: Epidota

CLOs: Cloritas

zir: Zircón

ap: Apatito

efn: Esfena

mus: Muscovita

GGs: Gangas

mt: Magnetita

ilm: Ilmenita

hm: Hematita

rt: Rutilo

Fig: Figura

Km: Kilómetros

NX: Nícoles cruzados

NP: Nícoles paralelos

RESUMEN

El área de estudio se localiza en los departamentos de La Libertad y Ancash, estos presentan un relieve accidentado el cual está afectado por la cordillera de los Andes.

El contexto geológico regional del departamento de La Libertad estratigráficamente está conformado por la formación Chicama, el grupo Goyllarisquizga, el grupo Casma y las rocas volcánicas del grupo Calipuy. En el departamento de Ancash tenemos la continuación de las secuencias antes mencionadas, como la formación Chicama. En el caso del grupo Goyllarisquizga específicamente aflora la formación Oyón, la formación Chimú y la formación Santa-Carhuaz. Todas estas secuencias están cubiertas por depósitos cuaternarios fluviales, aluviales y glaciares.

El objetivo del presente trabajo de investigación consiste en mostrar las características de los tipos de serie del granito, en base a los trabajos realizados por Ishihara (1977) quién propone la existencia de dos tipos de series de granitos; la primera es el tipo M o también llamada serie Magnetita, caracterizada por la presencia del mineral magnetita el cual está asociado a magmas oxidados los mismos que son precursores de depósitos tipo pórfidos con asociación de metales como Au-Cu-W. La segunda serie es el tipo I o también llamada serie Ilmenita, caracterizada por la presencia del mineral ilmenita y que está asociada a magmas reducidos, los mismos que son precursores de depósitos polimetálicos y de vetas con presencia de minerales como W y Sn.

Para ello se han seleccionado dos batolitos que por sus características petrológicas y geoquímicas nos permiten obtener un patrón de comparación de ambas series. El batolito de la costa el cual representa a la serie M y el batolito de la cordillera blanca que representa a la serie I.

Para poder establecer patrones de comparación entre ambos batolitos, se seleccionaron 21 muestras de roca fresca; 13 de las cuales corresponden al batolito de la costa y 08 al batolito de la cordillera blanca. Se realizaron los estudios petrográficos y minerográficos de las 21 muestras; obteniéndose el tipo de roca y las características texturales y composicionales. Los resultados

obtenidos mostraron que para el batolito de la costa se tienen rocas de naturaleza félsica – intermedia y máfica; mientras que para el batolito de la cordillera Blanca, las rocas son de naturaleza intermedia – máfica. En cuanto a los análisis minerográficos, se obtuvo que para el batolito de la costa todas las muestras presentaron magnetita; mientras que para el caso del batolito de la cordillera Blanca se tiene que 07 muestras contienen magnetita y 01 contiene ilmenita. Se obtuvo también información geoquímica que permitió identificar que ambos batolitos son de naturaleza calcoalcalina y que su origen está relacionado a zonas de arco volcánico sincolisionales.

Se elaboraron diagramas metalogenéticos (Ishihara Symposium) en base a la relación $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ permitieron elaborar diagramas para la determinación de estados de oxidación del magma, provincias Metalogenéticas y zonación de metales. Obteniéndose que el batolito de la costa presenta muestras moderadamente oxidadas con zonación de metales como el Cu – Au, Cu – Mo y W – Mo; mientras que las del batolito de la cordillera Blanca tienen tendencia a ser moderadamente reducidas asociadas con metales como Cu – Au y Cu – Mo.

ABSTRACT

The study area is located in the departments of La Libertad and Ancash. Both departments have a rugged relief, affected by the Andes.

The regional geologic context of La Libertad, stratigraphically is made up by the Chicama Formation, the Goyllarisquizga Group, the Casma group and the volcanic rocks of the Calipuy Group. In Ancash we have the continuation of the sequences mentioned above, such as the Chicama formation. In the case of the Goyllarisquizga group, specifically outcropping the Oyón, the Chimú and the Santa-Carhuaz formations. All these sequences are covered by fluvial, alluvial and glacial quaternary deposits.

The objective of this research is to show the characteristics of the granite series types, based on the work done by Ishihara (1979), who proposes the existence of two granite series, the first is the M type or Magnetite series characterized by the presence of the magnetite, which is related with oxidized magmas that are the precursors of porphyry deposits and have an association with metals like Au-Cu-Mo-W. The second is the I type or Ilmenite series, characterized by the presence of Ilmenite which is related with reduced magmas, that are precursors of polymetallic deposits associated with metals like W and Sn.

For this purpose, two batholiths have been selected, due to their petrological and geochemical characteristics; it allow us to obtain a comparison pattern of both series. The Coastal batholith which represents the M series and the Cordillera Blanca batholith that represents the series I.

In order to establish comparison patterns between both batholiths, 21 samples of fresh rock were selected; 13 of which correspond to the Coastal batholith and 08 to the Cordillera Blanca batholith. The petrographic studies of the 21 samples were carried out; obtaining the type of rock and the textural and compositional characteristics (identifying rock-forming, mafic and accessory minerals). The results obtained showed that for the Coastal batholith, exist rocks of felsic - intermediate and mafic composition; while for the Cordillera Blanca batholith, the rocks has an intermediate – mafic nature. In the mineralogical analysis, the results showed that for the Coastal Batholith all the samples contain magnetite;

while for the case of the Cordillera Blanca Batholith, we have that 07 samples contain magnetite and 01 contain ilmenite. Geochemical information allowed to identify that both batholiths are calcoalkaline and that their origin is related to zones of syncolysional volcanic arc.

Metallogenetic diagrams (Ishihara Symposium) were elaborated based on the $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{FeO}$ ratio, allowing the elaboration of diagrams for the determination of magma oxidation states, metallogenetic provinces and metal zonation. Obtaining that the Coastal batholith presents moderately oxidized samples with zonation of metals like Cu - Au, Cu - Mo and W - Mo; while those of the Cordillera Blanca batholith have a tendency to be moderately reduced associated with metals such as Cu - Au - Mo and W.

CAPÍTULO I

INTRODUCCION

El magmatismo granítico representa una contribución al crecimiento de la corteza y provee valiosa información acerca de la diferenciación geoquímica de la misma. Desde los años 50 existieron diversas opiniones acerca del origen de los granitos; muchas de estas están relacionadas a los grandes volúmenes de los batolitos, su espacio, la diversidad del material, las composiciones y estructuras. Algunas de estas opiniones sobre las clasificaciones del granito, envuelven diversas variables como la mineralogía, geoquímica y la tectónica. Dentro de estas clasificaciones tenemos las planteadas por Chappell & White (1974), quienes clasifican a los granitos en: tipo I (ígneo), tipo S (sedimentario) esto según sus características químicas y mineralógicas. Otros investigadores como Ishihara (1977) plantearon la existencia de dos series según el tipo de óxidos que estos contienen, dividiendolos en tipo M (magnetita) y tipo I (ilmenita). El presente estudio toma esta última clasificación de granitos y la aplica a dos de nuestros batolitos mas importantes: el batolito de la costa y el batolito de la cordillera Blanca, con la finalidad de determinar la relación que estos poseen con elementos metálicos de importancia económica.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La presencia del batolito de la costa y el batolito de la cordillera Blanca y su influencia en la mineralización de elementos metálicos aún no está determinada.

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

Problema general:

- ¿Cuáles son las principales características que diferencian el tipo de serie del batolito de la costa y el batolito de la cordillera Blanca y cuáles son sus principales implicancias metalogenéticas?

Problemas específicos:

- ¿Cuales son la diferencias petrológicas entre el batolito de la costa y el batolito de la cordillera Blanca?

- ¿Cuáles son las diferencias geoquímicas entre el batolito de la costa y el batolito de la cordillera Blanca?
- ¿Cómo influyen los batolitos en la mineralización de elementos metálicos?

1.3. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION

Justificacion práctica

- El estudio de los dos batolitos va a permitir a los geólogos exploradores tener una fuente de mayor información para determinar la presencia de minerales metálicos.

Justificacion teórica

- Aún no hay estudios de los dos batolitos y su influencia en la mineralización de elementos metálicos.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Realizar la caracterización petrográfica, geoquímica y metalogenética de los intrusivos, con la finalidad de comparar y evaluar semejanzas y diferencias entre cada batolito y su potencial como generador de yacimientos.

1.4.2. Objetivos específicos

- Realizar el estudio petrominerográfico de los intrusivos de la zona de estudio.
- Elaborar el estudio geoquímico de los intrusivos de la zona de estudio.
- Desarrollar el estudio metalogenético comparativo de los intrusivos de la zona de estudio.
- Obtener el título profesional de Ingeniero Geólogo.

1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES

Los alcances del presente trabajo de investigación están relacionados a profundizar en los tipos de serie de las rocas graníticas y su relación con la generación de depósitos minerales, lo que es importante para aquellos que realizan trabajos de exploración e investigación.

Las limitaciones del estudio están relacionadas básicamente al tiempo, puesto el trabajo estuvo ligado a los objetivos del plan operativo institucional del INGEMMET para el proyecto GE39: Depósitos Minerales en el Perú.

1.6. VIABILIDAD DEL ESTUDIO

El tema de investigación cuenta con información primaria obtenida de libros, revistas y artículos bibliográficos tanto peruanos como extranjeros. Además, se dispone de los recursos humanos y económicos necesarios para la obtención de las muestras de campo, la preparación de las secciones delgadas, la realización de análisis geoquímicos y el procesamiento de la información en los softwares especializados, esto debido a que el estudio formó parte de uno de los proyectos de investigación desarrollados por INGEMMET.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

El área de estudio se ha dividido en dos sectores: el primer sector de donde se obtuvieron las muestras del batolito de la costa y el segundo sector de donde se obtuvieron las muestras correspondientes al batolito de la cordillera Blanca.

Primer Sector:

Se ubica al noroeste del departamento de La Libertad, específicamente las provincias de Trujillo, Otuzco, Ascope y San Pedro de Lloc. Estas abarcan la hoja 16-e de cuadrángulo de Chocope y la hoja 17-f del cuadrángulo de Salaverry.

Para poder acceder a la zona de estudio se sigue la ruta de la carretera Panamericana Norte, llegando hasta Trujillo desde donde se accede hasta cada una de las provincias donde se tomaron los puntos de las muestras.

Segundo Sector:

Se ubican en la parte noroccidental del departamento de Ancash, específicamente en las provincias de Recuay y Corongo. Estas abarcan las hojas 18-h del cuadrángulo de Corongo y 20-i del cuadrángulo de Recuay.

Para poder acceder a los puntos de muestreo se debe seguir la ruta de la carretera Panamericana Norte y seguir en dirección de la carretera 3NA llegando hasta llegar a la provincia de Corongo. Siguiendo la Panamericana Norte, pero esta vez se debe seguir en dirección a la carretera Huaraz, hasta llegar a la provincia de Recuay. (Figura N°2)

2.2. GEOMORFOLOGÍA

Las áreas de estudio comprenden las unidades morfoestructurales, que se detallarán a continuación:

2.2.1. Llanura preandina

Es una faja angosta desértica, atravesada por ríos temporales, su forma es irregular y su ancho es de aproximadamente 20 a 100km. Está conformada por una cobertura de terrazas marinas, depósitos aluviales y

acumulaciones eólicas, que cubren rocas volcano-sedimentarias marinas de edad cretácica, intrusivos del batolito de la costa y secuencias del paleógeno – neógeno. (León, W, et.al., 2000).

2.2.2. Cordillera Occidental

La cordillera Occidental es la más elevada del sistema andino, está separada de la cordillera oriental por valles interandinos. Litológicamente está constituida por sedimentos mesozoicos sobre un basamento paleozoico, la prolongación horizontal del batolito de la costa, el batolito de la cordillera Blanca y por secuencias volcano-sedimentarias del cenozoico (León, W, et.al., 2000).

2.2.3. Valles Interandinos

Son valles longitudinales profundos, representados por los ríos Marañón, Mantaro, Apurímac y Vilcanota; éstos siguen un curso SE a NO entre las cordilleras Occidental y Oriental y desembocan en la amazonia. (León, W, et.al., 2000).



Figura N°1. La cordillera Occidental. Foto tomada en distrito de San Marcos (región Ancash). (Fuente: Acosta, 2015)

2.3. GEOLOGÍA REGIONAL

2.3.1. REGION LA LIBERTAD

Según Cossio, A & Jaen, H., (1967) la estratigrafía está conformada por el Mesozoico: la formación Chicama, el grupo Goyllarisquizga, el grupo Casma. El Cenozoico está conformado por el grupo Calipuy y los depósitos cuaternarios.

A continuación, se detallará cada uno de ellos:

- MESOZOICO

Formación Chicama (Js-ch)

Conformada por una gruesa secuencia sedimentaria compuesta principalmente por lutitas pizarrosas, lutitas arenosas y ocasionales horizontes de areniscas con amplia distribución en los cuadrángulos de Otuzco y Chocope. Además, cabe mencionar que el cuadrángulo de Chocope la formación Chicama está representada por gruesos paquetes de lutitas de color negro, gris negruzco, gris verdoso y rojizo, algunas veces carbonosas y fosilíferas.

Grupo Goyllarisquizga (Ki-g)

Conformado por las formaciones Chimú, Santa-Carhuaz, Farrat conformada por una secuencia de cuarcitas, la cual aflora en el cuadrángulo de Otuzco, Inca-Chulec y Pariatambo.

Grupo Casma (Ki-c)

Secuencia de piroclásticos, derrames andesíticos y riolíticos. Se presenta en fajas cubiertas por depósitos cuaternarios. Está constituida por la Formación La Zorra.

- CENOZOICO

Grupo Calipuy (PN-ca)

Litológicamente el grupo Calipuy está compuesto en su parte inferior por derrames riolíticos, riodacíticos y dacíticos, intercalados con lutitas arenosas y conglomerados. La parte superior consiste en derrames andesíticos, aglomerados de naturaleza dacítica, latítica, cuarzolatítica y tufos riolíticos y andesíticos.

Depósitos Cuaternarios:

Depósito fluvial (Q-fl)

Formado por sedimentos traídos por los ríos, así como de numerosas quebradas. La mayoría de los depósitos se presentan de formas anastomosadas. El material consiste en arenas, gravas y arcillas.

Depósitos aluviales (Q-al)

Con amplia distribución en el sector occidental de área estudiada; se presentan constituyendo las pampas de la planicie costanera. El material consiste de gravas, arenas y arcillas generalmente mal clasificadas.

Depósitos marinos (Q-ma)

Consisten de conglomerados poligénicos gravas y arenas mayormente blandas. En algunas zonas se pueden apreciar presencia de terrazas marinas.

Depósitos eólicos (Q-eo)

Se presentan en pampas costaneras y laderas de los cerros. Las arenas eólicas forman en algunos casos una cubierta de grosor variable, y en otros casos constituyen médanos.

2.3.2. REGION ANCASH

Según Cobbing, J, et al, (1977), la estratigrafía está conformada por el Mesozoico: La formación Chicama, formación Oyón, la formación Chimú, la formación Santa- Cahuaz, la formación Pariahuanca – Chulec – Pariatambo y la formación Jumasha – Celendín. El Cenozoico está conformado por depósitos cuaternarios glaciofluviales. A continuación, se detallará cada uno de ellos:

- MESOZOICO

Formación Chicama (Js-ch)

Aflora en los cuadrángulos de Recuay y Chiquián y consiste en secuencias de lutitas negras, laminares y deleznales intercaladas con secuencias de areniscas grises y horizontes arcillosos.

Formación Oyón (Ki- oy)

Esta formación consiste en intercalaciones de areniscas cuarzosas con lutitas grises y presencia de niveles de carbón.

Formación Chimú (Ki – chi)

Esta formación consiste principalmente en estratos conformados por areniscas blancas y macizas intercaladas con cuarcitas, lutitas y niveles de carbón en la parte inferior.

Formación Santa – Carhuaz (Ki – sa, ca)

Consiste predominantemente en estratos de calizas gris oscuras a gris verdosas los que se encuentran intercalados con estratos de lutitas que varían en coloración de grises a negras, además presencia de niveles de limolitas marrones.

Formación Pariahuanca – Chulec – Pariatambo (Kis – ph/ch/pt)

Esta formación consiste en la intercalación de estratos conformados por calizas arenosas, areniscas calcáreas de color pardusco a beige y limolitas ferruginosas.

Formación Jumasha – Celendín (Kis – jc/ce)

Consiste en intercalaciones de secuencias compuestas por calizas y dolomías, calizas nodulares, margas y lutitas.

- CENOZOICO

Depósito Glaciofluvial (Q-gf)

Presencia de depósitos cuaternarios, los cuales afloran en algunos puntos de la zona de estudio. Pueden distinguirse presencia de gravas, intercaladas con arenas en matriz limoarenosa. Además, presencia de material residual no consolidado

2.4. ROCAS INTRUSIVAS

La zona de estudio comprende principalmente a las rocas del batolito de la costa y el batolito de la cordillera Blanca; cuyas características se detallan a continuación:

2.4.1. BATOLITO DE LA COSTA

El Batolito de la Costa es una intrusión múltiple y compleja formada predominantemente por granodioritas y tonalitas que ocupan el núcleo de la Cordillera Occidental. Con edades cronológicas entre los 37 a 102 millones de años. Tiene 1600 km de largo y 65 km de ancho.

Se tiene la siguiente clasificación según la composición del batolito este se divide en cinco segmentos: Piura, Trujillo, Lima, Arequipa y Toquepala. De estas cinco divisiones, para el área de estudio se tomarán en cuenta el segmento Trujillo. (INGEMMET, 1995)

a. Segmento Trujillo

En los cuadrángulos de Chocope (16-e) y Salaverry (17-f), se menciona que la mayor cantidad de intrusivos corresponden a granodioritas con gradaciones locales a tonalita. Estas rocas tienen las siguientes características texturales: color gris blanquecino, equigranulares, de grano medio a grueso, y están compuestos principalmente por plagioclasas, ortosa, cuarzo y biotita, con presencia de xenolitos en algunas zonas. Las dataciones radiométricas indican una edad de mayormente Cretáceo superior y Terciario inferior.

En los distritos de Ascope y Trujillo se apreciaron afloramientos del Batolito de la Costa, en su mayor parte constituidos por granodioritas, granitos, tonalitas.

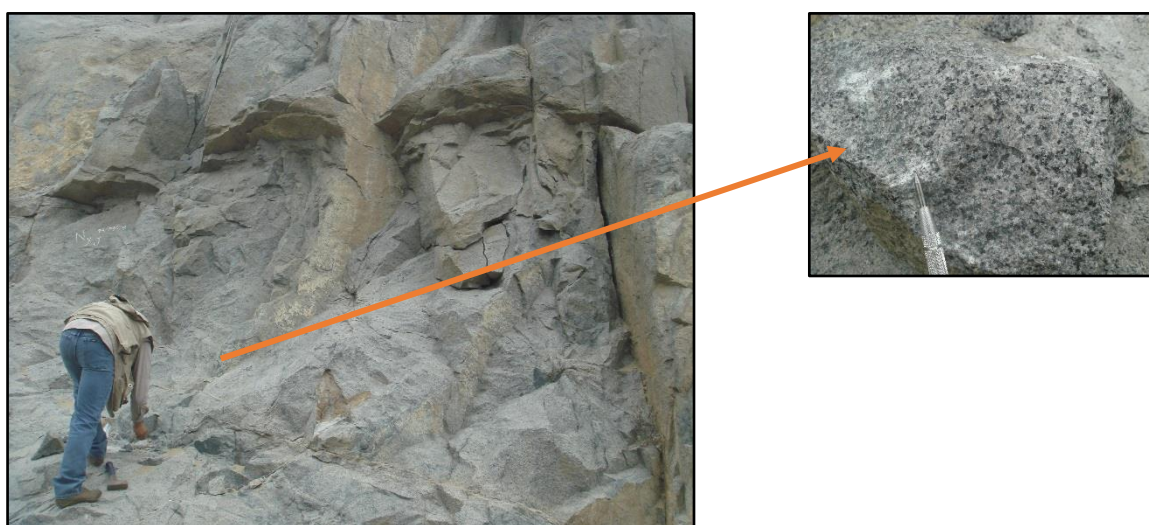


Figura N°2. Afloramiento del batolito de la costa, localidad cerro Culebra. El tipo de roca es granodiorita. Dirección de la fotografía SE-NW. (Fuente: Acosta, 2015)

Las características petrológicas de las muestras que más resaltan son las texturas granulares gruesas, y están conformados por plagioclasa, cuarzo y ortosa; y minerales ferromagnesianos como hornablendas y biotitas, adicionalmente la mayoría de ellas presentan magnetismo entre moderado y alto característico de presencia de magnetitas.



Figura N°3. Afloramiento del batolito de la costa. El tipo de roca es Granito, con presencia de venillas de magnetita. Dirección de la fotografía SE-NW. (Fuente: Acosta, 2015)

En otros sectores se observaron también rocas del tipo granodiorita y granito. Además, se observó presencia de diques (03) de composición andesítica y diorítica.



Figura N°4. Afloramiento del batolito de la costa. Se observa dique de composición microdiorítica, con dirección 220/75SE. El dique se presenta intruyendo al afloramiento de composición granítica. Dirección de la fotografía SE-NW. (Fuente: Acosta, 2015)

PETROGRAFÍA DE LOS DIQUES:

Muestra: GE39-17f-R-002

Clasificación: Andesita

Descripción: Roca volcánica con matriz criptocristalina conformada por plagioclasa + máficos + opacos; ésta además se presenta con leve alteración a arcillas. La muestra presenta una venilla conformada por cuarzo + plagioclasa.

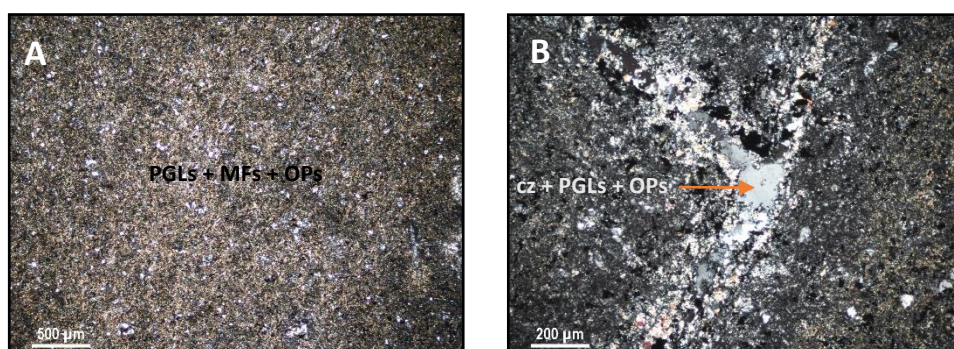


Figura N°5. (A) Plagioclasas (PGLs) + Máficos (MFs) + opacos (OPs) como constituyentes de la matriz criptocristalina. NX 6.3X. **(B)** Venillas constituidas por cristales de cuarzo (cz) + plagioclasa (PGLs) + opacos (OPs) cortando a la matriz criptocristalina. NX 20X. (Fuente: Propia)

Muestra: GE39-16e-R-001

Clasificación: Cuarzodiorita

Descripción: Roca con textura hipidiomórfica inequigranular, conformada por cristales subhedrales de plagioclasa con superficie turbia por alteración a arcillas, en algunos sectores se observa también calcita como producto de reemplazamiento, además de algunos cristales anhedrales de cuarzo y feldespato potásico. Se observa presencia de minerales máficos como anfíboles y biotitas con alteración a clorita; además de inclusiones de minerales opacos.

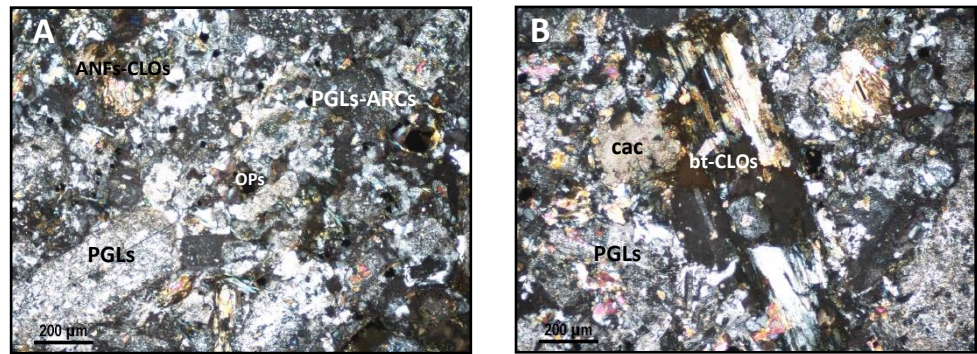


Figura N°6. (A) Cristales de plagioclasas (PGLs) con alteraciones a arcillas; anfíboles (ANFs) con alteración a cloritas (CLOs) e inclusiones de minerales opacos (OPs). NX 10X. **(B)** Cristal de biotita (bt) con alteración a cloritas (CLOs); además presencia de calcita (cac) como reemplazo de plagioclasa (PGLs) las cuales se presentan con pequeños cristales de anfíboles (ANFs). NX 20X. (Fuente: Propia)

Muestra: GE39-16e-R-003

Clasificación: Andesita porfírica

Descripción: Roca con textura porfírica, constituida por fenocristales de plagioclasa y piroxenos-anfíboles-biotita. La matriz microcristalina está conformada por cristales de plagioclasa + máficos + opacos.

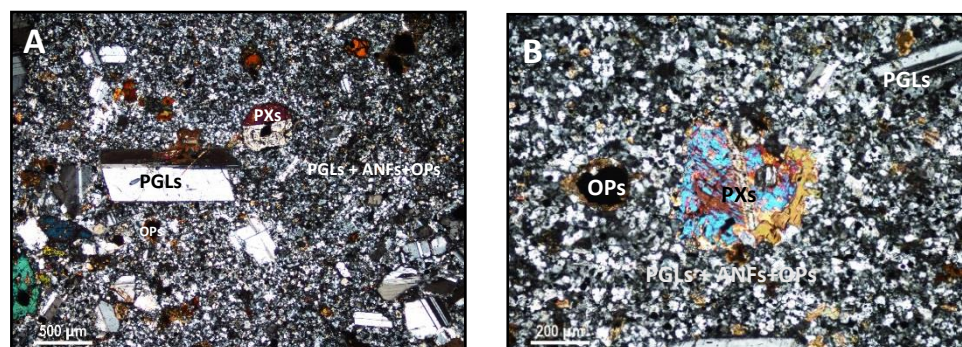


Figura N°7. (A) Fenocristales de plagioclasas (PGLs) y piroxenos (PXs) en una matriz de cristales de plagioclasa (PGLs) + anfíboles (ANFs) + opacos (OPs). NX 6.3X. **(B)** Fenocristal de piroxeno (PXs), cristal de mineral opaco (OPs) y plagioclasa (PGLs) en una matriz criptocristalina. NX 20X. (Fuente: Propia)

Las características petrográficas de las muestras en general la textura es del tipo granular gruesa, está conformada por plagioclasas, cuarzo y ortosas, con presencia de ferromagnesianos tipo piroxenos, hornablendas y biotitas, las muestras presentan bajo a moderado magnetismo por presencia de minerales opacos.

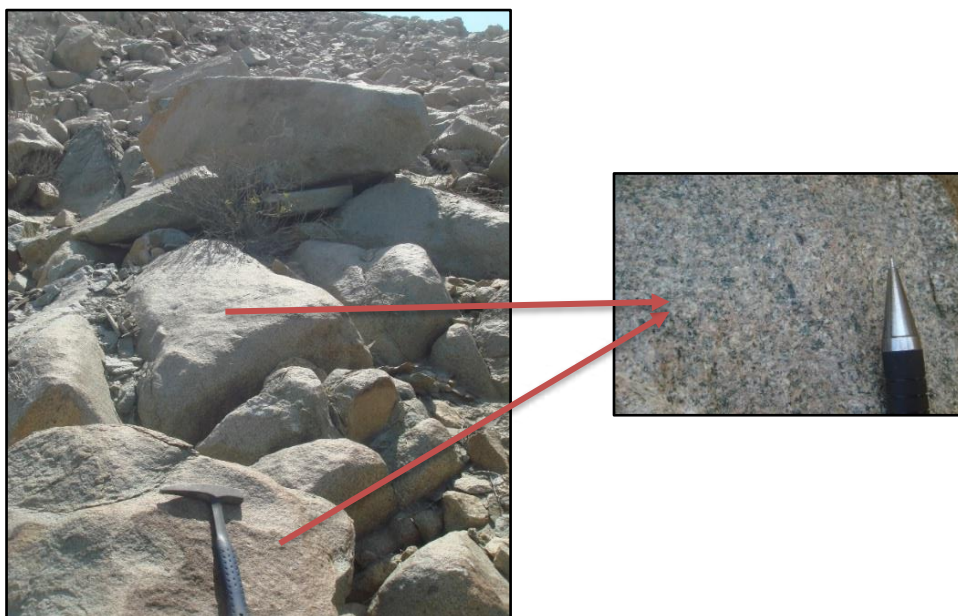


Figura N°8. Afloramiento del batolito de la costa. Se observa la composición de la roca es tipo granito. Dirección de la fotografía SE-NW. (Fuente: Acosta, 2015)

2.4.2. BATOLITO DE LA CORDILLERA BLANCA

Según Atherton, M., (1987), el batolito de la cordillera Blanca tiene una edad que se encuentra entre los 16.5 a 2.7 Ma. (Mioceno-plioceno), eso utilizando dataciones radiométricas K-Ar. La información aparentemente define dos grupos de edades, el primero entre 16.5 a 9 Ma. Y el segundo entre 6 – 2.7 Ma. El de mayor edad ocurre en el margen sur – este, en tonalitas y dioritas. Y la edad más joven ocurre en la zona oeste en el leucogranito.

Las características mineralógicas son las siguientes:

La mayoría de las fases minerales son plagioclasas, feldespato potásico, cuarzo, anfíbol y/o biotita. Mapeos en la zona definen la existencia de tres unidades, con rocas que van desde (1)

leucogranodiorita ($>70\% \text{SiO}_2$), (2) granodiorita y (3) tonalita – cuarzo monzodiorita. Con una predominancia de la leucogranodiorita ($>85\%$) en casi todo el batolito y de las otras unidades existen discretos afloramientos en la parte sur y en las márgenes del batolito.

En la zona de estudio se observaron afloramientos del batolito, caracterizados por la presencia de rocas con textura granular gruesa conformadas principalmente por cristales de plagioclasas, cuarzo y feldespato potásico; la presencia de minerales máficos los cuales son principalmente los piroxenos, anfíboles y la biotita. Minerales opacos como magnetita e ilmenita, por lo cual las muestras presentan magnetismo no muy fuerte, pero si característico. Es importante mencionar que algunas de las muestras presentan xenolitos los cuales tienen una composición entre diorítica a cuarzo-diorítica con presencia de gran cantidad de minerales máficos.

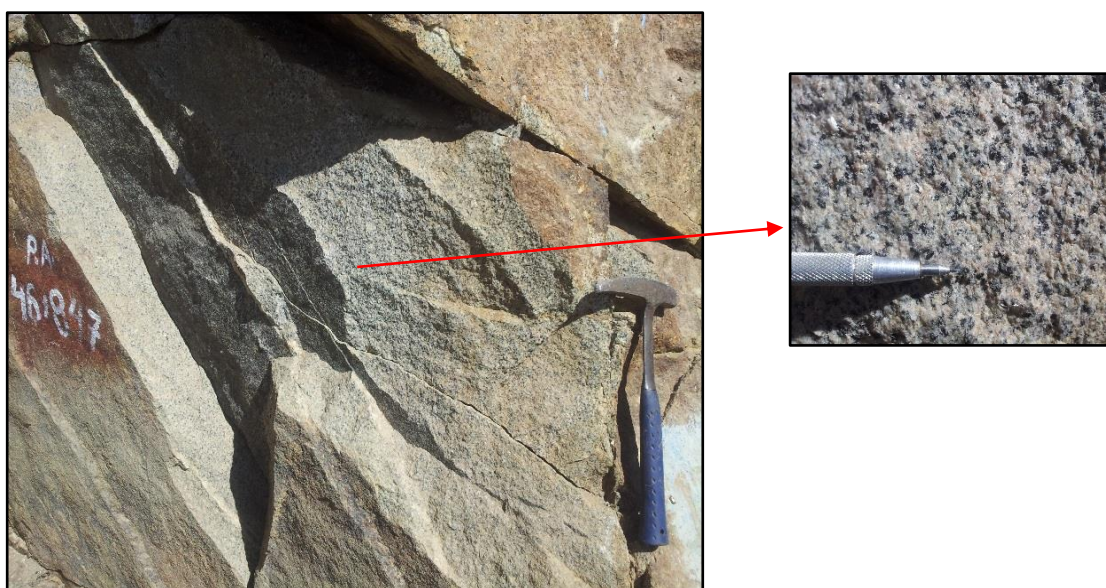


Figura N°9. Afloramiento del batolito de la cordillera Blanca, en la región Ancash. Se observa la composición de la roca es tipo granodiorita, además el afloramiento evidencia de las pequeñas fracturas presentes en el afloramiento. Dirección de la fotografía SE-NW. (Fuente: Acosta. 2015)

En general las muestras presentan un metamorfismo leve, evidenciado por la orientación de los cristales sobre todo los ferromagnesianos algunos de los cuales presentan leves flexuras y orientación características. Además, se tiene presencia de minerales traza como la esfena, el apatito y el zircón los cuales son

característicos de la petrografía de este batolito. La clasificación de las rocas varía entre la cuarzo-monzodiorita hasta la granodiorita, evidenciando tonalidades mucho más leucócratas que las del Batolito de la Costa.

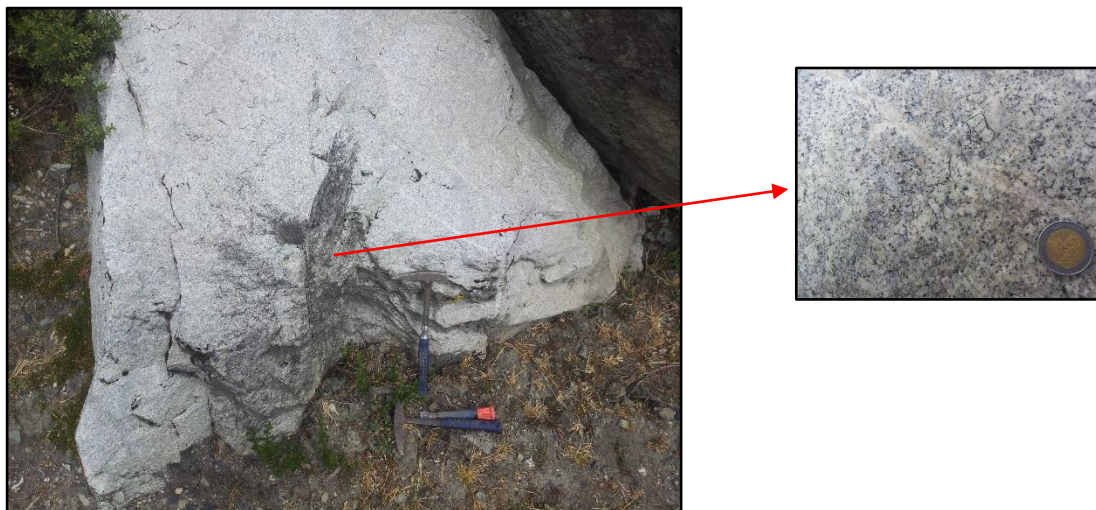


Figura N°10. Afloramiento del batolito de la cordillera Blanca, en la región Ancash. Se observa la composición de la roca es tipo Granodiorita, esta se encuentra siendo cortada por venillas de cuarzo. Dirección de la fotografía SE-NW. (Fuente: Acosta, 2015)

2.5. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Los rasgos estructurales guardan estrecha relación con la naturaleza expuesta de las rocas. Para la zona 1: generalmente las rocas intrusivas (batolito de la costa) además de su carácter transgresivo se encuentra fuertemente diaclasado, formándose grandes bloques. Mientras que en la zona 2: se evidencia presencia de zonas de movimientos (fallas), las más importante la falla regional de la cordillera Blanca, las cual en realidad es un conjunto de fallas, por donde además se ha intruído el batolito del mismo nombre.

A continuación, se describirán las estructuras presentes en los dos batolitos:

2.5.1. ESTRUCTURAS EN EL BATOLITO DE LA COSTA

Las rocas intrusivas que forman parte del batolito de la costa, en los diversos afloramientos que han sido estudiados; se puede observar las formas alargadas que coinciden con la orientación de los Andes. Las rocas intrusivas presentan diversos sistemas de diaclasamiento,

que al cortarse unos con otros dan lugar a una separación de bloques. Los principales sistemas de diaclasas tienen orientación de NW a SE, de NE a SW y de E a W. muchos de los cuerpos están afectados por fallas principalmente del tipo normal; algunas de ellas presentan brechamiento. Este tipo de estructuras se pudieron apreciar durante el recorrido del área de estudio, principalmente se pudo ver el diaclasamiento de los bloques de los afloramientos.



Figura N°11. Afloramiento del batolito de la costa. En líneas rojas, anaranjadas y verdes se pueden observar los diversos sistemas de diaclasamiento NW-SE, NE-SW. Se pueden ver como al cortarse los distintos sistemas de diaclasas, forman bloques. Además se aprecia presencia de fracturas y venillas que afectan el cuerpo intrusivo. Dirección de la foto SE-NW. (Fuente: Acosta, 2015)

2.5.2. ESTRUCTURAS EN EL BATOLITO DE LA CORDILLERA BLANCA

Las rocas intrusivas que forman parte del batolito de la cordillera Blanca, en los diversos afloramientos que han sido estudiados; se puede observar que su orientación es paralela a las estructuras regionales de la cordillera Occidental. Además, muchos de los

afloramientos con varios sistemas de fracturas (diaclasas) de rumbos NW - SE y NE - SW. Se evidencia además la presencia de foliación bastante general de las rocas, donde se observa la alineación y orientación de los minerales formadores de roca y también de los minerales máficos.



Figura N°12. Afloramiento del batolito de la cordillera Blanca. En líneas rojas se pueden observar los diversos sistemas de diaclasamiento NW-SE, NE-SW. Además, se aprecia presencia de fracturas y venillas que afectan el cuerpo intrusivo. Dirección de la foto SE-NW. (Fuente Acosta, 2015)

2.6. CONTEXTO METALOGENÉTICO REGIONAL

Según Acosta, J. (2009), el contexto metalogenético regional de las zonas de estudio abarcan las franjas X, XX, XXI-b, XXII que se detallan a continuación:

- a) X: Franja de pórfidos de Cu-Mo del Cretáceo Superior.

Se extiende discontinuamente desde la cuenca Lancones hasta el sur del Perú. La mineralización de Cu está relacionada con los granitoides del cretáceo superior (~ 75 Ma). En la zona centro sur a la mineralización está relacionada con intrusivos graníticos del cretáceo superior del batolito de la costa y controlada por fallas de orientación NW-SE.

- b) XX: Franjas de pórfidos de Cu-Mo (Au), skarns de Pb-Zn-Cu (Ag) y depósitos polimetálicos relacionados con intrusiones del Mioceno.

Se ubica en la Cordillera Occidental del norte y centro del Perú. Esta franja está controlada por el sistema de fallas y cabalgamientos de NW-SE de los sistemas Chonta y Punre-Canchis-Magistral. Esta última va cambiando de orientación hasta ser N-S por la deflexión de Huacabamba. Esta franja presenta tres eventos magmáticos relacionados con la mineralización, estimados en 22 – 20 Ma, 18-13 Ma y 10-5 Ma.

- c) XXI-b: Franja de depósitos polimetálicos con superposición epitermal.

En el centro del Perú las fallas N-S controlan la cuenca eocénica Pocobamba, y esta a su vez los centros volcánicos de Cerro de Pasco y Colquijirca. De esta manera se desarrollan pulsos mineralizantes de Pb-Zn- Ag con superposición epitermal en Cerro de Pasco.

- d) XXII: Franja de depósitos de W – Cu relacionados con intrusivos del Mioceno superior.

Se ubican en la cordillera Occidental del centro – norte del Perú. La mineralización de Cu – W se asocia a granitoides de la Cordillera blanca, cuyo emplazamiento se encuentra controlado por fallas NO – SE y N –S del sistema de la cordillera Blanca. Los depósitos más representativos son Pasto Bueno, Nuevo Mundo, etc.

2.7. BASES TEÓRICAS

2.7.1. PROCESOS MAGMÁTICOS: PLUTONISMO

El magma es una mezcla viscosa existente en el interior terrestre, de composición variable y sometida a temperaturas, presiones elevadas (entre 750°C y 1500°C) y un contenido variable en líquidos, gases, vapor de agua, nitrógeno, amoníaco, CO₂, SO₂, Cl, F, H, etc. (Lopez, J. & Bellos, L., 2006)

2.7.1.1. PROPIEDADES DE LOS MAGMAS

Tiene las siguientes propiedades:

- a) Acidez o basicidad.- Define el contenido de sílice.
- b) Viscosidad.- Resistencia del magma al flujo. Depende de la acidez, la temperatura y el contenido de gases.

2.7.1.2. CONSOLIDACIÓN MAGMÁTICA

Según Rivera, H., (2007), es el conjunto de procesos por los que un magma se convierte en roca. Se pueden distinguir los siguientes:

- a) Cristalización fraccionada.- Cuando la temperatura de un magma va descendiendo los diferentes minerales que lo componen van alcanzando sus condiciones de estabilidad y cristalizan poco a poco, primero los minerales de punto de fusión más alto y por último lo que funden a bajas temperaturas. El orden de cristalización fue determinado por Bowen, quien lo definió en dos series, una continua y la otra discontinua (Figura N°19).
- b) Diferenciación Magmática.- Un magma permanece en reposo da origen a una roca de igual composición química que la del magma inicial. Normalmente los magmas se mueven y ascienden y la composición inicial del magma va cambiando a lo largo del tiempo. El resultado del proceso hace que la composición final del magma sea muy diferente a la inicial. (Figura N°20).

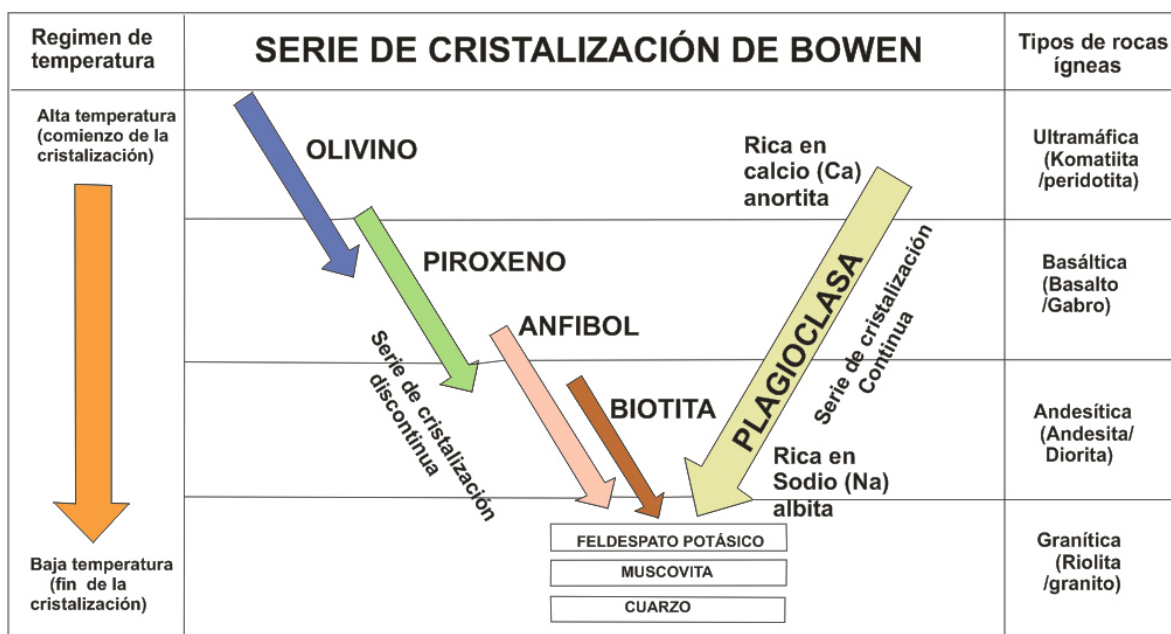


Figura N°13. Serie de cristalización de Bowen. (Fuente: García, M (sin fecha). Ambiente Ígneo o Magmático. Obtenido de: http://iespoetaclaudio.centros.educa.jcyl.es/sitio/index.cgi?wid_ite m=1739&wid_seccion=19).

DIFERENCIACIÓN MAGMÁTICA

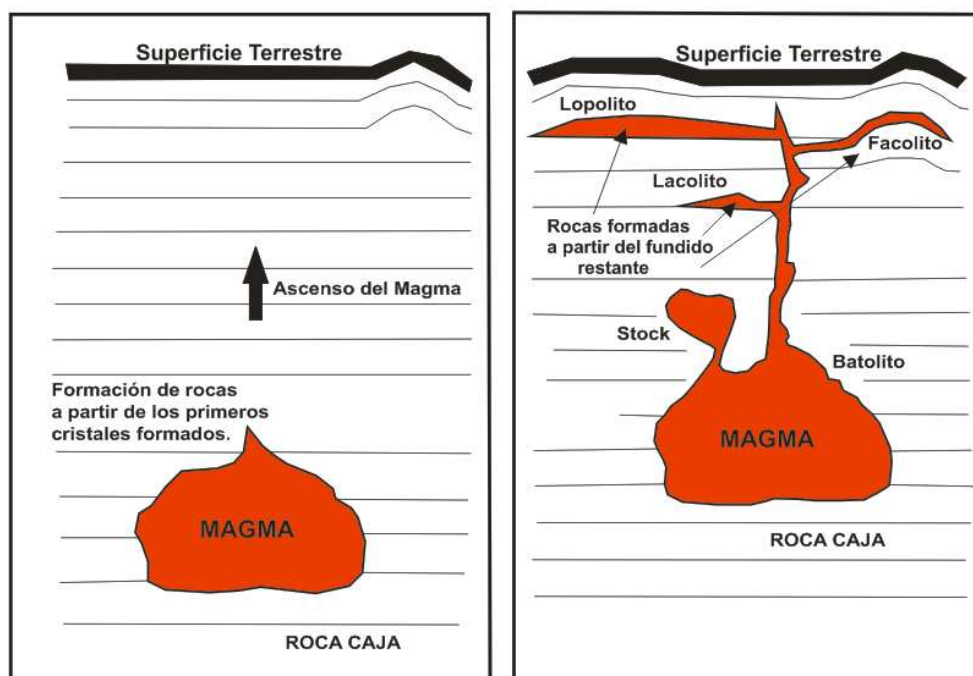


Figura N°14. Diferenciación magmática. (Fuente: Los procesos geológicos internos, (sin fecha). Obtenido de: http://galeon.com/naturadavinci/docum/4ESOA/docs/g eod_int.pdf)

2.7.1.3. AMBIENTES DE GENERACIÓN DE LOS MAGMAS

Es indudable que muchas cuestiones referentes a la génesis de las rocas ígneas pueden ser explicadas de modo adecuado en el marco de la tectónica global. A continuación se explican la naturaleza de los procesos magmáticos en relación con el ambiente tectónico en el que se desarrollan (Rivera, 2007).

- a) Magmatismo en bordes de placa convergentes o márgenes de placas destructivas.

Los bordes de placas convergentes son las zonas de subducción de placas donde tiene lugar la destrucción de la litósfera y según el estado de evolución tectónica de la zona, diferenciamos zonas de arco insular y márgenes continentales activos (orogénicos peri-continentales). Se tiene dos procesos generadores de magmas primarios: a partir de materiales peridotíticos del manto y a partir de la corteza oceánica subducente. El primero genera basaltos de naturaleza toleítica. El segundo proceso origina magmas de naturaleza calco-alcalina.

- b) Magmatismo en bordes de placa divergentes o márgenes de placas constructivas.

En los bordes de tipo divergente (sobre todo en las dorsales) tiene lugar más del 80 % del magmatismo total del planeta. Las dorsales oceánicas representan las zonas donde se produce el ascenso de los magmas originados por la fusión parcial del manto peridotítico subyacente. La solidificación del material se va agregando a los bordes de placa y se va generando nueva litósfera oceánica.

- c) Magmatismo en bordes de placa transformantes.

En estas zonas, los movimientos de las fallas transformantes favorecen, en ocasiones, la extrusión de magmas tipo basáltico, aunque el magmatismo es muy escaso.

- d) Magmatismo en las zonas de intraplacas Oceánica y Continental

La principal hipótesis térmica que se desarrolla sobre los procesos magmáticos al interior de las placas es la de los *hot spot* (puntos calientes).

En la Corteza Oceánica, la existencia de un punto caliente en profundidad y el magmatismo que a él va asociado puede tener diferentes expresiones superficiales:

- Regueros de islas volcánicas
- Dorsales asísmicas, los guyots y las mesetas oceánicas.

En la zona continental es mucho más difícil que la existencia de un punto caliente subyacente se manifieste superficialmente en procesos ígneos debido al espesor de la litosfera continental. Sin embargo, si la placa está esencialmente inmóvil, el punto caliente puede ocasionar la fusión de la corteza continental, dando lugar a plutones graníticos (granitos anorogénicos).

2.7.2. CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS DE LAS ROCAS IGNEAS PLUTÓNICAS

En este grupo se incluyen las rocas ígneas que han cristalizado en profundidad en la corteza, y por tanto en condiciones de enfriamiento lento. A continuación se describen las características texturales así como su clasificación y nomenclatura (Castro, 1989).

2.7.2.1. PATRÓN TEXTURAL

El patrón textural de una roca plutónica está definido en primer lugar por el grado de cristalinidad y tamaño de grano y en segundo lugar por la textura, entendida esta como las relaciones intergranulares de tamaño y forma de los cristales. En cuanto a la forma, los cristales se dividen en idiomorfos, hipidiomorfos o subidiomorfos o alotriomorfos. Según estos dos criterios se tienen los siguientes patrones texturales:

- a) Panidiomórfica.- Cuando la gran mayoría de los cristales son idiomorfos (más del 90%). Puede ser equigranular.
- b) Hipidiomórfica.- Cuando todos los cristales son subidiomorfos, o bien que existan cristales idiomorfos, subidiomorfos y xenomorfos conjuntamente (caso más general). Puede ser equigranular o inequigranular.

- c) Alotriomórfica.- Cuando la gran mayoría de cristales (más del 90%) son xenomorfos. Puede ser equigranular o inequigranular (Figura N°18).

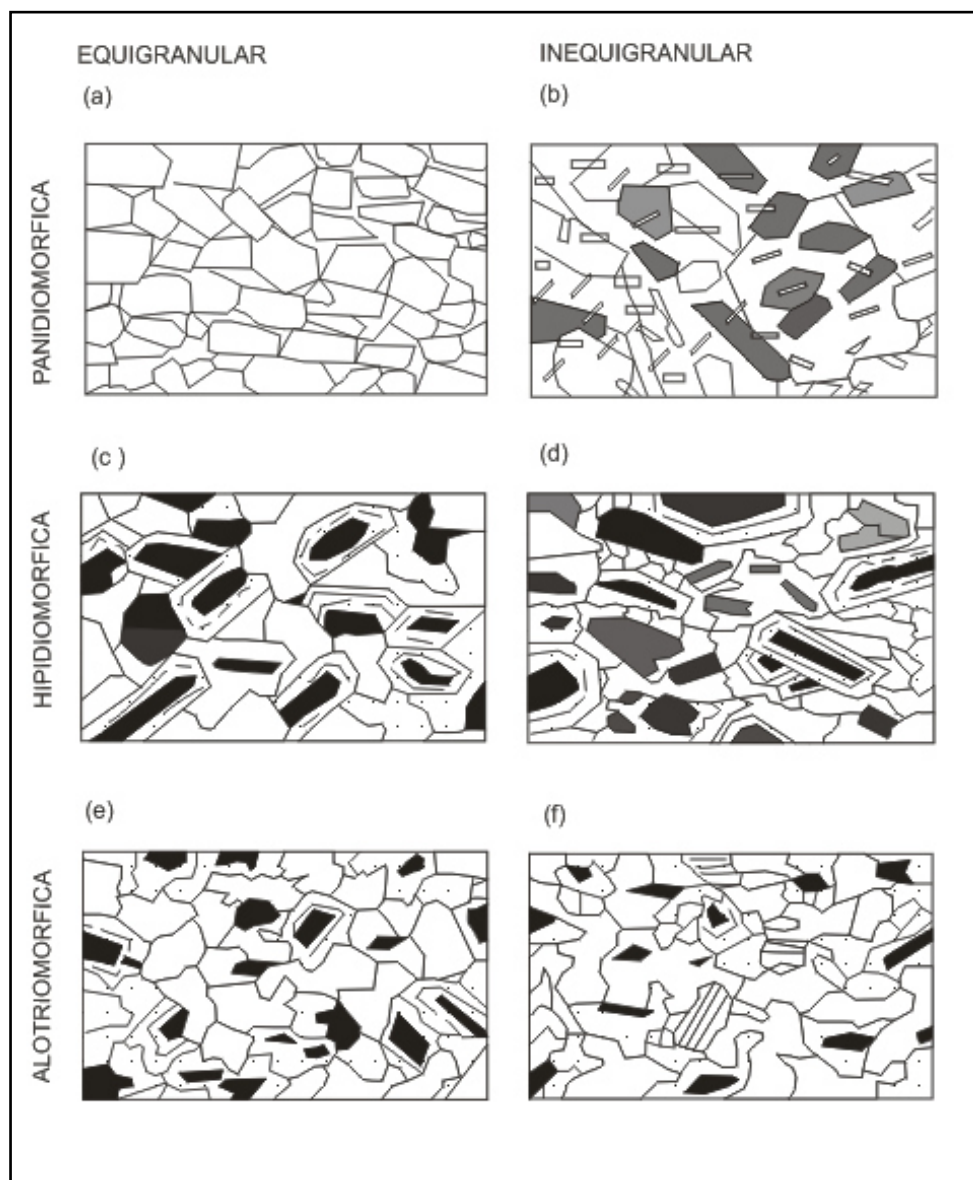


Figura N°15. Patrones texturales de las rocas ígneas plutónicas (Fuente: Castro, 1989)

2.7.2.2. TEXTURAS ESPECIALES

Aparte de la textura general de la roca, definida en base a los criterios antes mencionados, existen otras relaciones texturales entre dos o más fases cristalinas, que se definen como “texturas especiales” ya que raramente aparecen de modo generalizado en toda la roca, sino

en una fase o grupo de fases minerales. Algunas de estas texturas son exclusivas de una fase mineral determinada o de un grupo concreto de minerales, si bien otras pueden darse en cualquier mineral. De forma general, dichas texturas pueden definirse como sigue (Castro, 1989):

- a) Textura Mirmequítica.- Intercrecimiento de cuarzo (en forma de “gusanitos”) con plagioclasa ácida. Aparece frecuentemente como textura reaccional (postmagmática) en el contacto entre plagioclasa y feldespato potásico en muchas rocas graníticas.
- b) Textura Gráfica.- Intercrecimiento de cuarzo (en forma de cristales esqueléticos que recuerda la estructura cuneiforme) y feldespato potásico. Se suele interpretar por cristalización simultánea de los dos minerales, cuarzo y feldespato potásico.
- c) Textura Poiquilítica.- Definida por cristales de gran tamaño cuando presentan numerosas inclusiones de otros minerales en la matriz.
- d) Textura Pertítica.- Se origina por desmezcla en estado sólido de una fase que deja de ser miscible, con la fase en la que está contenida, al descender la temperatura, típica de los feldespatos alcalinos.

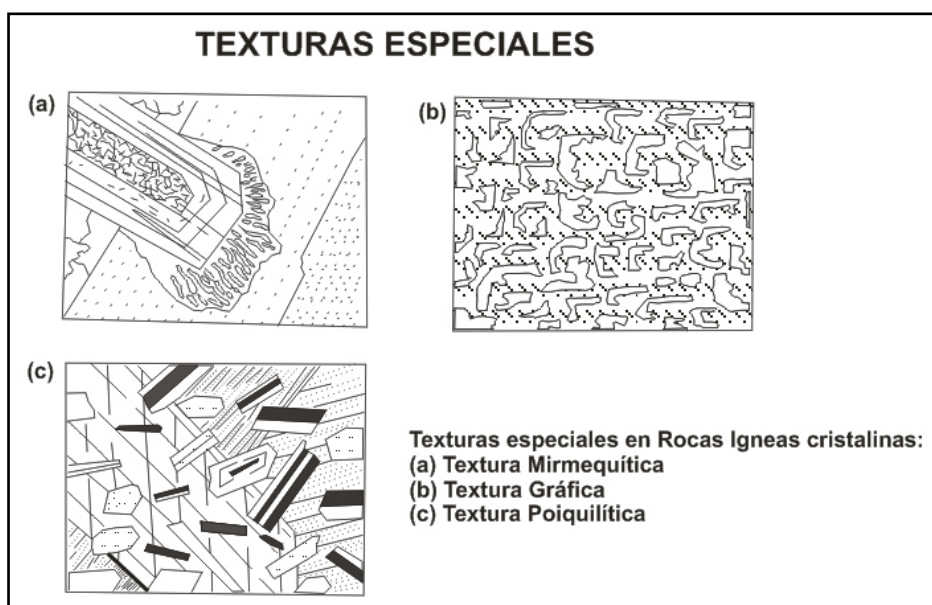


Figura N°16. Texturas especiales de las rocas ígneas plutónicas (Fuente: Castro, 1989)

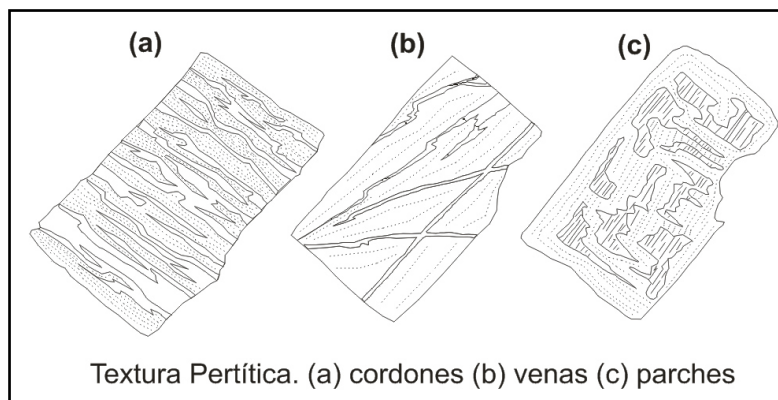


Figura N°17. Texturas especiales de las rocas ígneas plutónicas
(Fuente: Castro, 1989)

2.7.3. CLASIFICACIÓN Y NOMENCLATURA

Para la clasificación de las rocas ígneas deben seguirse las recomendaciones dadas por la Subcomisión para la Sistemática de las Rocas Ígneas de la IUGS (Unión Internacional de Geociencias).

A. Abundancia de las especies minerales principales

La abundancia (en volumen) de un mineral en una roca se denomina abundancia modal. La moda de una roca es, por tanto, la abundancia volumétrica de sus minerales constituyentes expresada en porcentajes sobre cien (% vol).

Los minerales se clasifican en:

- Minerales primarios (o singenéticos, formados durante procesos magmáticos).
 - Pirogenéticos: Formados directamente a partir del fundido magmático.
 - Minerales de reacción: Se forman por las reacciones de los minerales pirogenéticos con el fundido residual.
 - Minerales xenógenos, formados al asimilarse fragmentos de rocas encajantes en el magma.
- Minerales secundarios o postmagmáticos: Minerales formados en procesos hidrotermales, metasomáticos o metamórficos que afectan la roca.

Desde el punto de vista de su abundancia, los minerales se clasifican en:

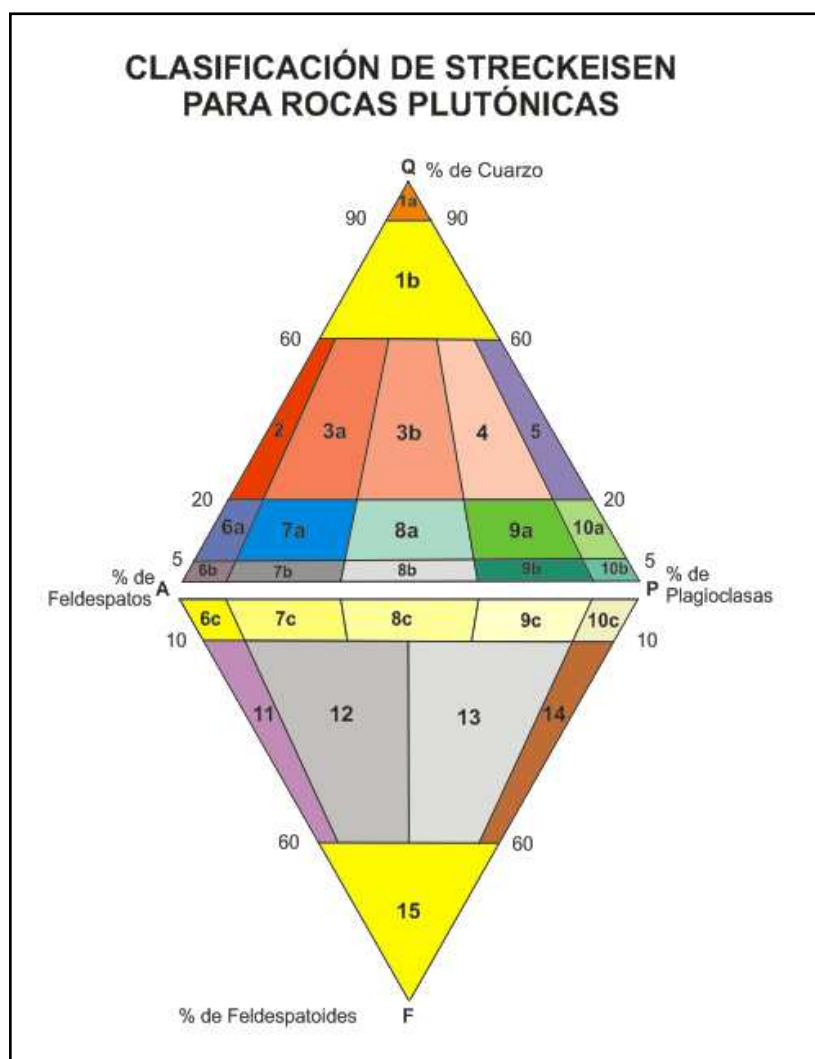
- Minerales principales: Aquellos cuyo contenido es superior al 5% en la roca.
- Minerales accesorios: con contenidos entre el 2 y 5% en la roca.
- Minerales traza: Su contenido es inferior al 2% en la roca.

Para clasificar una roca ígnea en base a su moda, se utilizan diagramas ternarios en los que se representan los contenidos de minerales primarios (no se utilizan los secundarios, formados después de la cristalización del magma).

Se utilizan los siguientes parámetros:

- ✓ Q: Polimorfos de SiO_2 (típicamente cuarzo, aunque también tridimita y cristobalita en algunas rocas ígneas cristalizadas a altas temperaturas).
- ✓ A: Feldespato alcalino, incluyendo feldespato potásico (sanidina, ortosa y/o microclina) y albita (término de la serie de las plagioclasas con porcentajes molares de anortita entre 0 y 5 %).
- ✓ P: Plagioclasa (todos los términos de la serie de las plagioclasas con porcentajes molares de anortita entre 95 y 100 %) y escapolita.
- ✓ F: Feldespatoideos (leucita, pseudoleucita, nefelina, analcima, sodalita, noseana, kalsilita, haiiyna, cancrinita).
- ✓ M: Minerales máficos (micas, anfíboles, piroxenos, olivino), minerales opacos en luz transmitida (magnetita, ilmenita), epidota, allanita, granate, melilita, monticellita, carbonatos primarios y accesorios (circón, apatito, titanita, etc).

La base de la clasificación es el contenido modal de Q, A, P y F, representado en el clásico doble triángulo de Streckeisen. Las divisiones de los campos y la nomenclatura utilizada son las recomendadas por la IUGS. (Figura N°24)



1a: Sillexita

1b: Granitoide rico en cuarzo

2: GRANITOS DE FELDESPATO ALCALINO

3a: Sienogranito

3b: Monzogranito

4: GRANODIORITA

5: TONALITA

6: SIENITA DE FELDESPATO ALCALINO

6a: Cuarzosienita de feldespato alcalino

6b: Sienita de feldespato alcalino

7: SIENITAS

7a: Cuarzosienita

7b: Sienita

8: MONZONITAS

8a: Cuarzomonzonita

8b: Monzonita

9: MONZODIORITA/ MONZOGABRO

9a: Cuarzo-monzodiorita/ Cuarzo-monzogabro

9b: Monzodiorita/ Monzogabro

10: DIORITAS/ GABROS (si tiene más de 50% de An en la Pl)

10a: Cuarzodiorita/ Cuarzogabro

10b: Diorita/ Gabro

Figura N°18. Triángulo de Streckeisen (QAPF). (Fuente: Moreno, H & Ibáñez, S (Sin fecha). Diagramas QAPF Rocas Ígneas).

2.7.4. CLASIFICACIÓN DE GRANITOS

2.7.4.1 CLASIFICACIÓN DE LA SERIE DEL GRANITO SEGÚN ISHIHARA:

Se estudiaron los minerales opacos que conforman las rocas graníticas teniendo como resultado un ensamble mineralógico que caracteriza los dos tipos de series que según, Ishihara (1977) son las siguientes:

2.7.4.1.1. Serie magnetita.- Se considera que los granitos de la serie magnetita se han generado en un nivel profundo (sobre el manto y en la parte baja de la corteza) y no tuvieron interacción con los materiales poco profundos. Se debe tener en cuenta que ambas series se originan en un ambiente donde la fugacidad del oxígeno parece ser la más importante variable en su formación. El contenido de hierro en ambas series es más o menos similar al igual que el contenido de sílice; pero los radio de $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ son claramente diferentes. El radio de $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ es mayor en la serie magnetita, lo que concluye que esta serie fue formada bajo condiciones de alta fugacidad de oxígeno durante la vida de los magmas graníticos. Presenta el siguiente ensamble mineralógico característico:

Magnetita (0.1-2 vol. %), ilmenita, hematita, pirita, esfena, epidota y biotita con alto contenido férrico/ferroso (y alto Mg/Fe).

La magnetita se presenta generalmente euhedral y ocurre entre minerales máficos o cercanamente asociados a ellos, y en algunos casos con plagioclasa. Es común la presencia de martitización, hematita remplazando a magnetita.

2.7.4.1.2 Serie ilmenita.- Se considera que los granitos de la serie ilmenita se han generado en el medio de la corteza continental baja y mezclada con rocas metamórficas y sedimentarias en varios estados de la historia ígnea. Como

se menciona en el párrafo anterior el ratio de $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ es menor en la serie ilmenita. Es por ello, que se puede llegar a la conclusión que esta serie fue formada bajo condiciones de menor fugacidad de oxígeno que la serie magnetita. Además esta serie presenta el siguiente ensamble mineralógico característico:

Ilmenita (menor a 0.1 vol. %), no presenta magnetita, pirrotita, grafito, muscovita, biotita con bajo contenido de $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ (bajo Mg/Fe).

Los granitos de la serie ilmenita son completamente libres de magnetita, presentan pequeños cristales euhedrales de ilmenita ocurren en silicatos máficos.

2.7.4.2 CLASIFICACIÓN DE GRANITOS SEGÚN CHAPPELL AND WHITE

Chappell and White (1974), propusieron la clasificación de los granitos siguiendo los diferentes tipos de parámetros químicos, mineralógicos; después de realizada sus investigaciones clasificaron a los granitos en dos tipos de series según las rocas que los originaban; estas son las siguientes:

2.7.4.2.1 Tipo I: Tiene su origen en niveles profundos y se forman por acreción debajo de la corteza, se le llama tipo I = ígneo o infracorteza; es decir, provienen de rocas ígneas antiguas. Químicamente se caracteriza por lo siguiente:

- Presentar altos contenidos de sodio normalmente $>3.2\%$
- Su contenido en calcio también es alto con respecto al tipo-S.
- Bajo contenido de aluminio, lo cual se ve reflejado en el Índice de saturación de aluminio (ASI).

Petrográficamente podemos encontrar los siguientes ensambles mineralógicos:

- Hornblenda, esfena, monacita, apatito.
- Difícil encontrar aluminosilicatos, debido al bajo contenido de Al.

2.7.4.2.2 Tipo S: Tiene su origen en niveles menos profundos y se forman por deposición sobre la corteza, se le llama tipo S = sedimentario o supracorteza; es decir, provienen de rocas sedimentarias. Químicamente se caracteriza por lo siguiente:

- Presentar bajos contenidos de sodio normalmente <3.2%
- Su contenido en calcio también es bajo con respecto al tipo-I
- Alto contenido de aluminio, lo cual se ve reflejado en el Índice de saturación de aluminio (ASI).

Petrográficamente podemos encontrar los siguientes ensambles mineralógicos:

- Hornblenda está ausente, muscovita es común encontrarla en granitos tipo S, biotita abundante, monacita, apatito.
- Presencia de aluminosilicatos como el granate y la cordierita.

Cuando granitos de tipo I y S ocurren juntos en el mismo batolito, es muy probable que los granitos tipo S sean mayores y hayan ocurrido primero que los granitos tipo I. Además en las observaciones en campo se puede apreciar que los granitos tipo S pueden tener una fuerte foliación secundaria mientras que los granitos tipo I, se presentan sin foliación o con foliación primaria.

2.7.5. GEOQUÍMICA

2.7.5.1. ELEMENTOS MAYORES

Los elementos mayores son aquellos que se presentan en mayores concentraciones en una roca, podemos restringirlo a 10 elementos enumerados como óxidos en un análisis de elementos mayores – Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K y P (Rollinson, 1993).

a) Clasificación de rocas usando diagramas Óxidos vs Óxidos

- Diagrama Total Alcalis Silica (TAS)

El diagrama TAS es uno de los esquemas de clasificación más usados para rocas volcánicas. Utilizando los datos químicos de la suma del contenido de Na_2O y K_2O vs el contenido de SiO_2 . Wilson (1989) adaptó el diagrama TAS para dar una clasificación preliminar de las rocas ígneas plutónicas.

Asimismo, el Diagrama TAS de Le Maitre et al (2002) propone una clasificación para las rocas plutónicas introduciendo una división en cuanto a su contenido de Álcalis (serie magmática):

- a) Serie toleítica (SiO_2 mayor de 62%): Se forma a partir de magmas basálticos, relativamente ricos en SiO_2 y pobres en Álcalis.
- b) Serie alcalina (SiO_2 menor de 51 %): A partir de magmas basálticos alcalinos, ricos en Na y K. Se pueden diferenciar totalmente, desde rocas básicas (basaltos y gabros) hasta rocas ácidas (riolitas y granitos).
- c) Serie calcoalcalina (SiO_2 entre 51 a 62 %): No proviene claramente de un magma primario. Sus rocas poseen numerosos minerales hidratados (anfíboles, biotita). Predominan las rocas intermedias, como las andesitas.

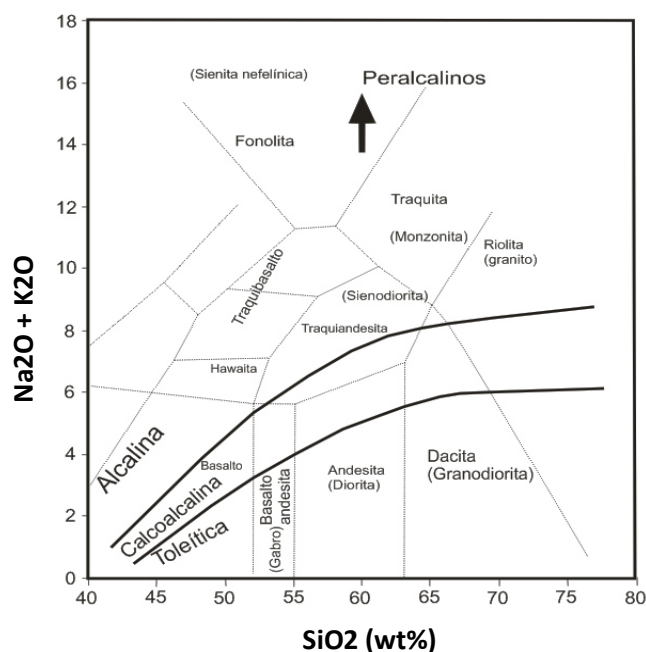


Figura N°19.- La clasificación química y la nomenclatura de rocas plutónicas usando el diagrama TAS Cox *et al.* (1979) adaptado por Wilson (1989) para rocas plutónicas. (Fuente: Rollinson, 1993)

b) Clasificación de rocas ígneas usando cationes.

Se recalcula la composición de la roca como cationes. El wt% de óxidos se divide por el equivalente del peso de los óxidos ajustado a un catión.

- Diagrama R1-R2 de De la Roche

Según lo mencionado por Rollinson (1993), fueron De la Roche y LeTerrier (1973) y De la Roche *et al.* (1980) quienes propusieron el esquema de clasificación para rocas plutónicas y volcánicas basada en las proporciones de sus cationes expresado en milications. El diagrama tiene mejor uso en rocas plutónicas. Los resultados son plotados en un gráfico bivariable x-y usando los parámetros R1 y R2. R1 es plotado en el eje x y es definido como:

$$R1 = [4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti)]$$

Fe representa el hierro total. R2 es plotado a lo largo del eje y y es definido como:

$$R2 = (Al + 2Mg + 6Ca)$$

c) Clasificación de rocas usando Índice de Saturación de Alúmina (Shand, 1968)

Rollinson (1993), menciona que Shand propuso una clasificación que involucra al Al_2O_3 y la abundancia relativa a K_2O , Na_2O y CaO . La relación molecular de Al_2O_3 a $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO}$ es 1:1, de modo que el exceso o carencia de Al_2O_3 con respecto a la relación se refleja en la naturaleza de los minerales ferromagnesianos.

Shand, propuso cuatro grupos de rocas ígneas en términos de saturación de alúmina:

- Rocas Peralumínicas: Rocas con alto contenido de sílice.
- Rocas Metalumínicas: Rocas que contienen minerales que se forman a temperaturas relativamente bajas en presencia de agua.
- Rocas Subalumínicas: Estas rocas se forman a partir de magmas caliente y relativamente anhidros, contienen poca alúmina.
- Rocas Peralcalinas: Proviene de las últimas etapas de la cristalización de magmas ricos en Na. Es fuertemente alcalino.

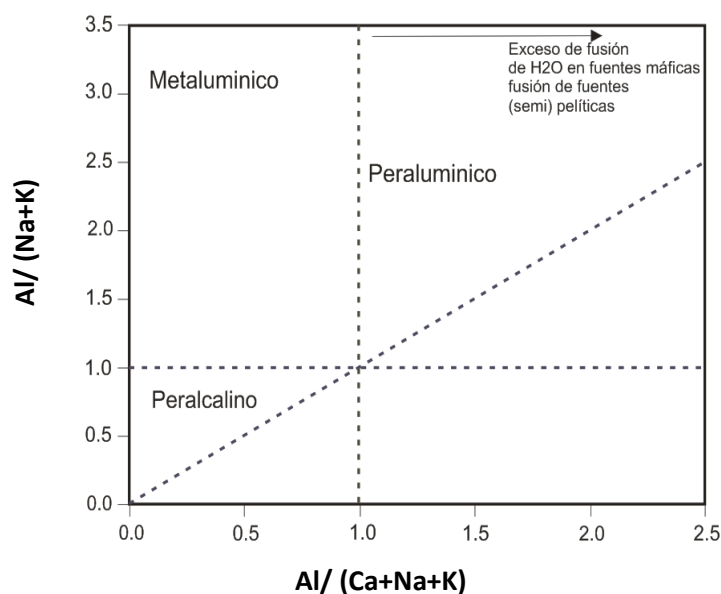


Figura N°20. Diagrama índice de saturación de alúmina.
(Fuente: Rollinson, 1993)

d) Diagrama de Determinación de contenido de FeO total.

Utilizando el diagrama de FeO tot vs SiO₂ (wt%). Este diagrama nos brinda información sobre la profundidad de un magma.

2.7.5.2. ELEMENTOS TRAZA

Los elementos traza o menores pueden ser definidos como elementos que están presentes en la roca en concentraciones menores a 1000 partes por millón (ppm). El estudio de elementos traza se ha convertido en una parte vital de la petrología moderna y son más capaces de discriminar entre procesos petrológicos que los elementos mayores (Rollinson, 1993).

AMBIENTES TECTÓNICOS

La composición de los elementos traza en los granitos son de mucha utilidad para el marco tectónico en donde los magmas han sido formados (Rollinson, 1993).

a) Diagrama de Origen de los granitos Y vs Nb

Este diagrama compara las abundancias en ppm de los elementos traza Nb vs Y, tiene por finalidad determinar el origen de las rocas ígneas las cuales se pueden dividir en: granitos de intraplaca (WPG), granitos de arco volcánico y sincolisionales (VAG+syn-COL), granitos de dorsal oceánica (ORG).

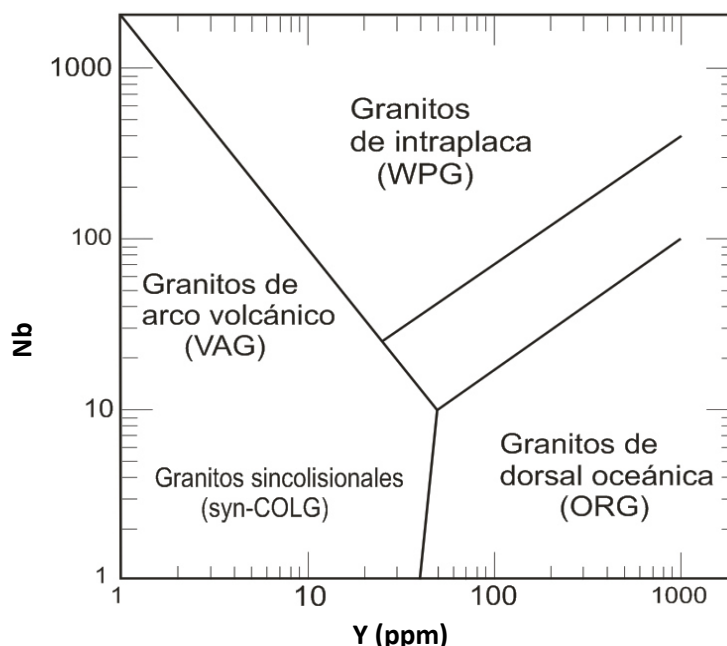


Figura N°21. Diagrama de origen de los granitos Y vs Nb.
(Fuente: Rollinson, 1993)

2.7.6. METALOGENIA DE ROCAS GRANÍTICAS

Diversos estudios realizados a lo largo del tiempo evidencian una fuerte relación entre el carácter composicional de los granitos y su relación con la mineralización de elementos económicamente favorables. Elementos como el Cu, Au se relacionan a rocas de naturaleza más máfica; el W con rocas de naturaleza intermedia; mientras que elementos como el Mo ($\pm W$) y Sn ($\pm W$) con rocas de naturaleza félsica. Otro punto importante es el estado de oxidación de los granitos, elementos como Cu-Au-Mo están asociados a rocas oxidadas, mientras que el Sn a rocas más reducidas. El W está asociado con ambas series pero se desarrolla mejor en granitos relativamente reducidos. Existen diversos parámetros para poder determinar la naturaleza de los granitos, el tipo de serie (Magnetita o ilmenita) al que pertenecen y su relación metalogenética. Para ello se han utilizado tres diagramas que comparan las cantidades de Fe_2O_3 y FeO de las muestras, según se detalla a continuación:

2.7.6.1. Diagramas Metalogenéticos:

Ishihara (1979) plantea algunos diagramas que permiten comparar los valores de Fe_2O_3 , FeO para poder determinar el tipo de serie Magnetita o Ilmenita al que pertenecen:

a) Grado de Oxidación

El estado relativo de oxidación de los magmas es de suma importancia para controlar la naturaleza compatible / incompatible de muchos elementos minerales. La clasificación del estado de oxidación de un granito se puede hacer usando criterios petrográficos y mineralógicos relaciones de Fe_2O_3/FeO en la roca, y métodos geofísicos. Correlación de estos parámetros ha permitido el desarrollo de un esquema de clasificación basado en roca total Fe_2O_3/FeO y FeO^* (Fe total). Se ha introducido un parámetro de oxidación (ΔOx) y se determinará a partir de la siguiente relación:

$$\Delta Ox = \log_{10} (Fe_2O_3/FeO) + 0.3 + 0.03 * FeO^*$$

Dónde: $\text{FeO}^* = (0.9 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3) + \text{FeO}$ y Fe_2O_3 , FeO y FeO^* están en porcentaje en peso.

Se pueden reconocer cinco clases de oxidación: muy fuerte, fuerte, moderadamente oxidada y moderada a fuertemente reducida.

b) Relación $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$

El diagrama $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ vs Si_2O fue utilizado en rocas plutónicas de Japón para poder caracterizar los granitos según la serie magnetita e ilmenita. Si el valor obtenido de la relación $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ es superior a 0.5 significa que el granito pertenece a la serie magnetita, mientras que si el valor es menor a 0.5 el granito corresponde a la serie ilmenita; esto con valores estrictos de SiO_2 de 70%. (Blevin, 2004)

c) Susceptibilidad Magnética

La susceptibilidad magnética de las rocas es un principio controlado por el tipo y la cantidad de minerales magnéticos que contiene una roca. Ishihara (1979) determinó un valor estándar de susceptibilidad magnética que divide las series en magnetita e ilmenita. Si los valores son superiores a 3×10^{-3} SI la muestra corresponde a la serie magnetita, mientras que si los valores son inferiores, la muestra corresponde a la serie ilmenita.

d) Zonación de Metales y Provincias Metalogenéticas

La zonificación de depósitos y los datos de ocurrencia de minerales también se pueden usar como una entrada clave en el reconocimiento de "distritos" magmático-hidrotermales. La asociación de metal de alta temperatura más proximal e intrusional dentro de estos distritos se define como la "asociación de metal central". Se reconocen cinco de tales asociaciones de metales centrales (Cu-Au, Cu-Mo, Mo, W-Mo-Bi, Sn-W) y se relacionan de forma sistemática con las características de composición de las series ígneas. (Blevin, 2013)

2.8. MARCO CONCEPTUAL O GLOSARIO

- Rocas ígneas intrusivas (plutónicas): Son aquellas rocas que cristalizan en el interior de la cámara magmática. Forman cuerpos denominados diques, sills, lacolitos, lopolitos y batolitos. (Castro, 2015)
1. Mineral. - Se denomina mineral a los compuestos químicos inorgánicos naturales que poseen estructuras cristalinas definidas. (Mackenzie, W. & Adams, A., 1997)
 2. Textura. - Conjunto de relaciones intergranulares de tamaño y forma de los cristales o clastos que forman una roca determinada. Las denominaciones texturales y los criterios utilizados varían según el tipo de roca considerada. (Castro, 1989)
 3. Patrón textural. - Se puede definir como el conjunto de características, no composicionales, que pueden ser utilizadas para distinguir una roca o grupo de rocas de las demás, con independencia de la composición mineralógica. (Castro, 1989)
 4. Batolito. - Los batolitos son agrupaciones de plutones o intrusiones individuales (pudiendo éstas estar constituidas por diversos pulsos) cuya superficie de afloramiento suele ser de decenas a miles de kilómetros cuadrados. (Rivera, 2007)
 5. Batolito sincolosional.- Son batolitos asociados a zonas de colisión, se desarrollan en lugares donde han colisionado dos placas tectónicas continentales.
 6. Magma. - Un magma es un fundido silicático que contiene mayormente Si y O, con cantidades menores de Al, Mg, Fe, Ca, Na y K, con cantidades variables de volátiles. El magma se origina en el manto y en la corteza, formando cuerpos magmáticos intrusivos en la corteza superior y extrusivos en la superficie de la tierra. (Lopez, J & Bellos, L., 2006)
 7. Petrología. - Es una disciplina geológica que tiene como objetivo principal el estudio del origen de las rocas, para ello estudia conceptos

abstractos como el magma, líquidos, fluidos, sistemas termodinámicos, etc. (Castro, 2015)

8. Petrografía. - Es una herramienta esencial de la petrología. Se enfoca en la descripción sistemática e interpretación de la mineralogía y la textura de las rocas, incluye descripciones de los minerales y sus alteraciones, del tamaño, la forma y su distribución espacial. (Castro, 2015)
9. Estudio petrográfico. - Permite conocer las relaciones mutuas entre cristales o granos (textura y microestructuras), composición modal, clasificación petrográfica, etc. (Castro, 1989)
10. Microscopio petrográfico. - Tiene la capacidad de analizar ciertas características y propiedades de una muestra utilizando luz polarizada (producida por una lámina polaroide llamada polarizador) entre la fuente luminosa y la preparación. Según el modo de iluminación se distinguen los microscopios de luz transmitida, por el los cuales se observa objetos muy delgados, minerales transparentes y los microscopios de luz reflejada para el análisis de la superficie de un cuerpo opaco. (Servicio Geológico Mexicano, 2017)
11. Lámina delgado-pulida. - La lámina delgado-pulida es una sección en dos dimensiones (2D) de un volumen (3D). Esta sección tiene la particularidad de permitir la observación de minerales translúcidos, así como minerales opacos al mismo tiempo. (Castro, 2015)
12. Minerales principales. - Se denomina minerales principales a aquellos que forman parte de la roca en más de un 5% en volumen. (Castro, 1989)
13. Minerales accesorios. - Se denomina minerales accesorios a aquellos que se encuentran en proporción de 5% en volumen de la roca. (Castro, 1989)
14. Minerales traza. - Se denomina minerales traza a aquellos que se encuentran en proporción menor a 1% en volumen de la roca. (Castro, 1989)
15. Minerales secundarios. - Son aquellos minerales producto de la alteración hidrotermal o meteórica. (Castro, 1989)

16. Ganga. - Minerales que no presentan interés económico en un yacimiento, aquella parte de una mena que no es económicamente deseable. Generalmente son minerales no metálicos, o bien es parte de la roca encajante. (Glosario Minería, 2013)
17. Minerales opacos. - Son aquellos minerales que no dejan pasar luz al microscopio y aparecen negros tanto en nicoles cruzados como en nicoles paralelos. En rocas ígneas los minerales más frecuentes son los óxidos de hierro (magnetita e ilmenita) y los sulfuros. (Chirif, 2010)
18. Óxidos de hierro. - Son minerales que contiene fundamentalmente Fe y Ti (Magnetita e ilmenita). Su importancia en las rocas ígneas es fundamentalmente para determinar la fugacidad de oxígeno en el magma que los origina. (Ishihara, 1977)
19. Fotomicrografía. - Permite el registro de objetos sumamente pequeños, difícilmente visibles a simple vista, cuya imagen es proyectada a través de un microscopio y capturada en una cámara insertada en este. (Monje, 2013)
20. Alteración. - Se define como los cambios mineralógicos, texturales y químicos de una roca producidos por fluidos, principalmente volátiles y agua. Los principales controles de alteración son la temperatura, la presión y la composición del fluido que produce la alteración. (González, 2008)
21. Depósito mineral. - Parte de la corteza terrestre en la cual, debido a procesos geológicos acumuló materia prima mineral, la que por sus características de cantidad, calidad y condiciones es económicamente explotable. (Servicio Geológico Mexicano, 2017)
22. Afloramiento. - Son áreas en las cuales la superficie del terreno está constituida por capas de rocas expuestas, sin desarrollo de vegetación, generalmente dispuestos en laderas abruptas, escarpes y acantilados. (Rivera, 2007)
23. Falla. - Es una fractura en la corteza terrestre a lo largo de la cual se mueven los bloques rocosos, a través de un plano denominado “plano de falla”. (Dávila, 2011)

24. Geoquímica. - Es una especialidad de las ciencias naturales que sobre la base de la geología y de la química. Determina la abundancia absoluta y relativa, distribución y migración de los elementos químicos entre las diferentes partes que conforman la tierra. (Servicio Geológico Mexicano, 2017)
25. Elementos mayores. - Son aquellos elementos que se presentan en mayores concentraciones en la corteza. (Rollinson, 1993)
26. Elementos traza. - Son aquellos elementos presentes en la roca en concentraciones menores a 0.1wt%. (Rollinson, 1993)
27. Tierras raras: Constituyen un grupo compuesto por 17 elementos. Su nombre se debe a su extracción bastante dispersa y no concentrada como en la mayoría de otros elementos. Se dividen en tierras raras pesadas y ligeras. (Rollinson, 1993)
28. Estudio geoquímico. - Permite conocer, además de la composición química de la roca o de alguna fase mineral en particular, la edad absoluta mediante análisis de relaciones isotópicas. (Castro Dorado, 1989)
29. Susceptibilidad Magnética. - Es el grado de magnetización de un material, en respuesta a un campo magnético. Este número se representa con el símbolo χ , y es adimensional.

$$M = \chi H$$

Donde M es la magnetización del material (la intensidad del momento magnético por unidad de volumen) y H es la intensidad del campo magnético externo aplicado. Si χ es positivo, el material se llama paramagnético, si χ es negativa, el material es diamagnético, si $\chi \gg 1$ es un material ferromagnético. (Blevin, 2013)

30. Provincias Metalogenéticas. - Es un área caracterizada por una agrupación de depósitos minerales o por uno o más tipos características de depósitos. Una provincia metalogénica puede contener más de un episodio de mineralización. (Blevin, 2013)

2.9 HIPÓTESIS

2.9.1. Hipótesis general

El estudio de investigación plantea poder conocer las características petrográficas y mineragráficas de las rocas del batolito de la costa y batolito de la cordillera Blanca y su importancia metalogenética.

2.9.2. Hipótesis específicas

- Conocer las características petromineragráficas más importantes de los batolitos.
- Entender las características geoquímicas de cada batolito.
- Comprender las características metalogenéticas de cada batolito.

2.10 IDENTIFICACION DE VARIABLES

Variable independiente

- Estudio petromineralógico para caracterizar los batolitos de la costa y de la cordillera Blanca.

Variable dependiente

- Batolito de la costa.
- Batolito de la cordillera Blanca.

2.11 OPERACIÓN DE VARIABLES

Tabla N°1

Operación de variables dependientes e independientes

Variable	Tipo de variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Estudios petromineralógicos para caracterizar los batolitos.	Independiente	Identificación de minerales, estudios petrográficos, geoquímicos.	Muestras de los batolitos	% minerales formadores de roca % ilmenita o magnetita Resultados geoquímicos	Microscopio óptico Softwares
Batolito de la Costa	Dependiente	Cuerpos intrusivos de gran extensión	Rocas plutónicas	Estudio petrominerográfico. Análisis geoquímico Metalogenia	Microscopio, diagramas geoquímicos y metalogenéticos
Batolito de la Cordillera Blanca	Dependiente	Cuerpos intrusivos de gran extensión	Rocas plutónicas	Estudio petrominerográfico. Análisis geoquímico Metalogenia	Microscopio, diagramas geoquímicos y metalogenéticos

Fuente: Propia

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN, NIVEL, MÉTODO Y DISEÑO

3.1.1. Tipo de investigación

La investigación científica está encaminada a profundizar el conocimiento de un proceso teórico, práctico, teórico-práctico, parte del conocimiento y lo lleva a la solución de problemas que de una u otra forma no han sido investigados o su investigación se ha conducido a otra dirección. Los tipos de investigación, según Danhke (1980) se dividen en: exploratorios, descriptivos, correlacionales y explicativos.

Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles importantes de personas, grupos u otros fenómenos que se someta a un análisis, los estudios explicativos están dirigidos a responder a las causas de los eventos, sucesos o fenómenos físicos o sociales. (Cortes, M & Iglesias, M., 2004)

El trabajo de investigación se desarrolló en base a dos tipos de investigación; el primero es el descriptivo porque se busca identificar las características principales de los dos tipos de series del granito, marcando semejanzas y diferencias para cada Batolito. Y el segundo tipo es el explicativo, porque a través de las características encontradas se busca interpretar la relación entre los tipos de series y los depósitos minerales que las circundan.

3.1.2. Nivel de investigación

Según el nivel de complejidad de la investigación, Hurtado (2006) agrupa los niveles de investigación en cuatro estadios: perceptual, aprehensivo, comprensivo e integrativo. El presente estudio de investigación desarrolla el nivel perceptual porque se busca describir las semejanzas y diferencias entre las series del granito, y un nivel aprehensivo porque a través de las descripciones realizadas se busca comparar las características de los batolitos.

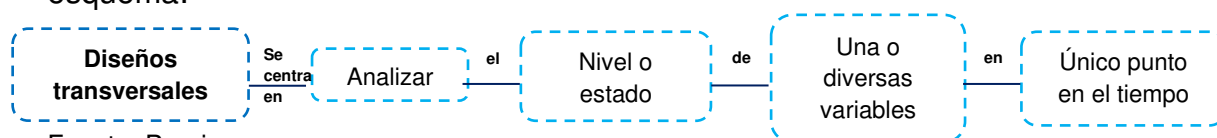
3.1.3. Método de investigación

Los métodos de investigación pueden ser agrupados en dos categorías: los métodos lógicos (deducción, análisis, síntesis) y los empíricos (observación, experimentación). Los métodos lógicos son inductivos que parten de lo particular a lo general y el deductivo que parte de lo general a lo particular. El método empírico se basa en la observación, estudiando el objeto sin alterar sus condiciones naturales y la experimentación, estudia el objeto bajo una situación controlada. El trabajo de investigación presente desarrolla un método de investigación analítico ya que se estudian una por una las características petrográficas y geoquímicas de ambos batolitos para establecer las características generales de los tipos de series de ambos batolitos y su relación con la Metalogenia de depósitos circundantes. (Chirif, sin publicar)

3.1.4. Diseño de investigación

El diseño de investigación se refiere a un plan o estrategia a seguir para obtener la información que se requiere en una investigación científica o tesis universitaria.

El diseño depende del enfoque elegido y del planteamiento del problema. En este caso para el trabajo de investigación desarrollado se ha utilizado un diseño de investigación transversal, según se detalla en el siguiente esquema:



Fuente: Propia

En donde se ha analizado cada una de las variables para poder definir los resultados finales del trabajo de investigación.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTREO

3.2.1. Muestra

Las muestras son una agrupación de observaciones, ya que resulta complicado efectuar una investigación sobre la totalidad del universo, se toma muestras representativas, sobre las cuales se efectuará la investigación. Para obtener la muestra requerida, existen básicamente dos tipos de muestreo: a) muestreo no probabilístico, que sirve para una primera aproximación a la

investigación y son muestras representativas de un determinado aspecto o zona; b) muestreo probabilístico son muestras escogidas al azar y cuyas características podemos extender como validadas. (Chirif, sin publicar)

Para el trabajo realizado, se ha realizado fue del tipo probabilístico, tomándose las muestras de acuerdo al criterio geológico de representatividad de la unidad estratigráfica (batolitos de la costa y cordillera Blanca).

3.3. CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

3.3.1. Criterio de inclusión

El criterio de inclusión son todas las características particulares que deben tener un sujeto u objeto de estudio para que sea parte de la investigación.

Para el presente trabajo de investigación, la muestra debe reunir los siguientes criterios: Ser una roca ígnea intrusiva, ser inalterada, ser representativa de cada batolito.

3.3.2. Criterio de exclusión

El criterio de exclusión se refiere a las características que presentan los participantes y que pueden alterar o modificar los resultados, en consecuencia, no son elegibles para el estudio.

Para el presente trabajo de investigación, los criterios de exclusión son los opuestos a los mencionados en el punto anterior.

3.4. TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. Descripción de los instrumentos

Los instrumentos utilizados en el presente estudio, fueron los siguientes:

A. Material bibliográfico

Se utilizó material bibliográfico para la preparación de mapas, de estudios petrográficos, mineragráficos y diagramas geoquímicos y metalogenéticos.

B. Microscopio óptico

Para el desarrollo de los trabajos de petrografía y mineragrafía del presente estudio de investigación, se utilizó el microscopio Nikon Eclipse E200. Este equipo cuenta con 2 oculares, un tubo de polarización intermedio, cuatro objetivos de 4x, 10x, 20x y 40x,

condensador, polarizador, estativo, platina tornillos macrométrico, micrométrico y lámpara (Figura N°28)

Para la toma de fotomicrografías se utilizó una cámara acoplada al microscopio, la marca es Nikon DS-U3 y el software que toma las fotografías pertenece a la empresa Nikon.

C. Equipo informático

Se utilizaron software para procesar la información. El ARCGIS 10.3 para la elaboración de los mapas de accesibilidad y ubicación, mapa geológico y mapa metalogenético. Para la edición de las fotomicrografías e imágenes, se utilizó el CorelDraw X7. Finalmente, para procesar los diagramas geoquímicos y metalogenéticos se utilizó el Microsoft Excel y para la edición del texto se utilizó el Microsoft Word.



Figura N°22. Microscopio Nikon Eclipse E2000. En la margen derecha se observa cámara Nikon DS-U3. Fuente: Propia.

3.5. TÉCNICAS PARA PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

El procesamiento y análisis de las muestras se dieron según los siguientes pasos:

3.5.1. GABINETE 1

Consistió en la recopilación de la información bibliográfica: boletines, informes previos, artículos, revistas, libros y todo aquel material que permitiera la obtención del conocimiento para la elaboración del estudio de investigación.

3.5.2. TRATAMIENTO DE MUESTRAS

Se tomaron 21 muestras de roca inalterada perteneciente al Batolito de la Costa y al Batolito de la Cordillera Blanca, las mismas que fueron utilizadas para la preparación de secciones delgado-pulidas y análisis geoquímicos.

3.5.3. GABINETE 2

A. Trabajo petrominerográfico

- Se prepararon 21 secciones delgado-pulidas en el laboratorio de Petrotomía del INGEMMET.
- Se realizaron los estudios petrominerográficos utilizando los microscopios Orthoplan, Nikon y Leitz. Se procedió a realizar primero los estudios petrográficos, procesar información, determinar el tipo de roca y editar las imágenes utilizando el software Corel Draw. Posteriormente, se realizaron los estudios petrominerográficos utilizando el microscopio Nikon, se realizaron las descripciones y se tomaron las fotografías para posterior editado utilizando el software Corel Draw y NIS Elements F- 4.00.00.
- Finalmente se elaboraron los estudios petrominerográficos, para ser utilizados en la presente tesis.

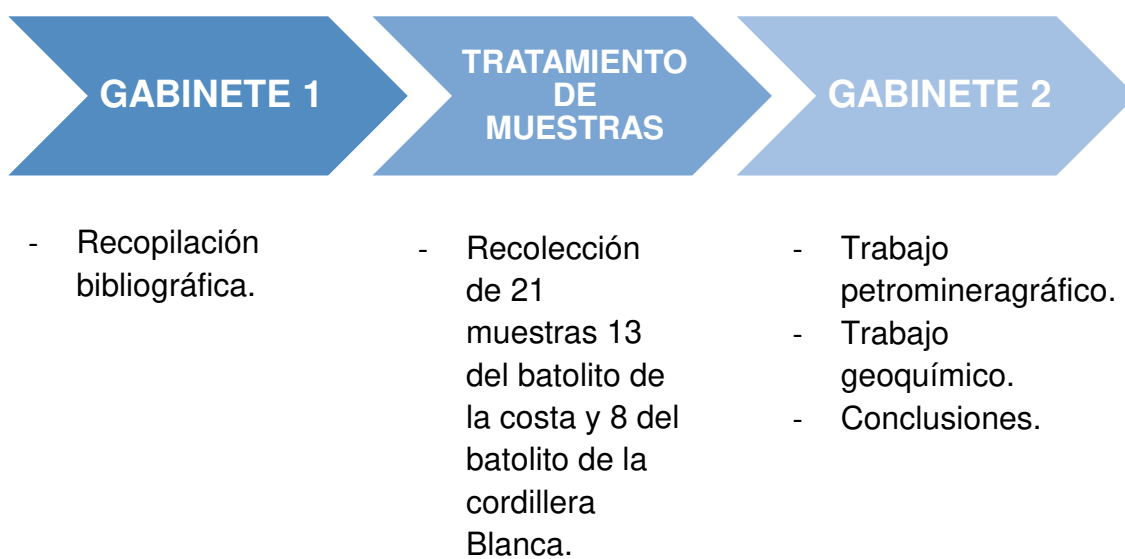
B. Trabajo Geoquímico

- El Ingemmet envió a analizar 21 muestras de mano al laboratorio certificado SGS del Perú S.A.C, donde se solicitó realizar los análisis geoquímicos para elementos mayores y elementos traza. Posteriormente, se recibió la data en crudo, la misma que se procesó para luego realizar los diagramas geoquímicos mencionados en el capítulo anterior y con ello llegar a la solución del problema de investigación en base a la información obtenida.

C. Conclusiones

- Finalmente, se analizó toda la información que se obtuvo después de realizar los estudios de caracterización mineralógica y los diagramas geoquímicos y metalogenéticos para así demostrar las hipótesis y llegar a los objetivos planteados.

Figura N°23. Flujograma de trabajo. Fuente: Propia



CAPITULO IV

CARACTERIZACIÓN PETROMINERAGRÁFICA

4.1. INTRODUCCIÓN

Utilizando el microscopio marca Nikon, modelo: Eclipse E200; se realizaron 21 caracterizaciones petrográficas y mineragráficas de las cuales 13 muestras corresponde al batolito de la costa y 8 muestras corresponden al batolito de la cordillera Blanca. Se identificaron principalmente minerales formadores de roca como son plagioclasas, feldespato potásico y cuarzo; minerales máficos como biotita, anfíbol, piroxeno y algunos minerales traza como apatito y zircón.

Además, se identificaron las texturas y alteraciones y se describe de forma detallada el modo de ocurrencia de cada mineral. Finalmente se procedió a dar la clasificación de la roca, todo ello en base al conteo modal de los minerales principales, utilizando el diagrama QAPF de Streckeisen (1976).

Se identificaron principalmente a los minerales opacos: magnetita, ilmenita y hematita.

La finalidad de la realización de los estudios es determinar las diferencias petrográficas que presentan cada batolito y mostrarlas a través de las descripciones y fotomicrografías. Además de identificar el tipo de óxido que contiene cada muestra para poder más adelante determinar el tipo de serie a la que podría pertenecer el granito. A continuación, se presenta de forma detallada cada estudio petrográfico y mineragráfico.

Es importante mencionar que todo el trabajo realizado en gabinete fue realizado por el autor del presente estudio, incluyendo la toma y edición de las fotomicrografías.

4.1.1. Estudios petromineragráficos de las muestras del batolito de la costa.

MUESTRA: GE39-17f-R-001

CLASIFICACION: GRANODIORITA

ESTUDIO MACROSCÓPICO

Roca de color gris verdoso de textura fanerítica de grano medio, conformada por cristales de plagioclasa, cuarzo y feldespato potásico. Los minerales máficos están conformados por cristales de anfíboles y piroxenos. Presenta densidad media y magnetismo moderado.

ESTUDIO MICROSCÓPICO

Minerales principales: PGLs (53.07%), cz (20.96%), FPKs (12.38%), ANFs (6.71%)

Minerales accesorios: PXs (2.00%), bt (2.97%)

Minerales traza: OPs (2%), mt (1.20%), hm (0.60%), ilm (0.20%)

Minerales secundarios: ser

ALTERACIONES:

- Sericitización de fenocristales de plagioclasa.

MODO DE FÁBRICA / TEXTURA:

- Roca holocristalina fanerítica con textura hipidiomórfica inequigranular. Las plagioclasas presentan hábitos tabulares y maclas del tipo polisintéticas y tipo Albita. Algunos cristales presentan zonamientos concéntricos. Presenta tamaños que varían desde 0.25mm hasta los 3.75 mm. Algunos cristales se encuentran alterándose a sericita. El cuarzo ocurre en cristales subhedrales y anhedrales; con extinción ondulante. Presentan tamaños entre los 0.48 mm y 1.92 mm. Generalmente se encuentran rellenando intersticios entre las plagioclasas y los feldespatos potásicos o como inclusiones en los cristales de plagioclasa y feldespatos potásicos. Los cristales de feldespatos potásicos ocurren de formas anhedrales, con tamaños de 2mm que presentan aspecto turbio. Generalmente se encuentran en contacto con las plagioclasas, el cuarzo y los anfíboles. (Figura N°30A). Los piroxenos de formas anhedrales a

subhedrales, con tamaños que varían entre los 0.3mm a los 2.5mm. Generalmente se les encuentra alterándose a anfíboles y asociados a minerales opacos. Los anfíboles son generalmente anhedrales a subhedrales, con tamaños que varían entre los 0.5mm a los 3mm. Generalmente los encontramos siendo sustituidos por biotita. Además, presentan minerales opacos como inclusiones. (Figura N°30B). La biotita se encuentra anhedrales con tamaños que varían entre los 0.25mm y 1.50 mm. Generalmente se encuentran reemplazando a los anfíboles. En algunos sectores se presentan alterándose a cloritas. Algunas de ellas están asociadas a pequeños cristales de minerales opacos. Esfena se encuentra de formas anhedrales, y presentan tamaños entre los 0.6336 mm. Se encuentran como minerales traza y se presentan como islas dentro de los cristales de plagioclasas. (Figura N°30C). Como minerales opacos se tiene los siguientes: Magnetita como inclusiones en los minerales máficos como anfíboles, piroxenos y biotita. (Figura N°30D). Hematita ocurre como producto de alteración de la magnetita. Estas forman intercrecimientos en forma de retículos. (Figura N°30E). Ilmenita ocurre como intercrecimientos lamelares en los cristales de magnetita. A su vez estas se encuentran alterándose a rutilos en algunas zonas. (Figura N°30E).

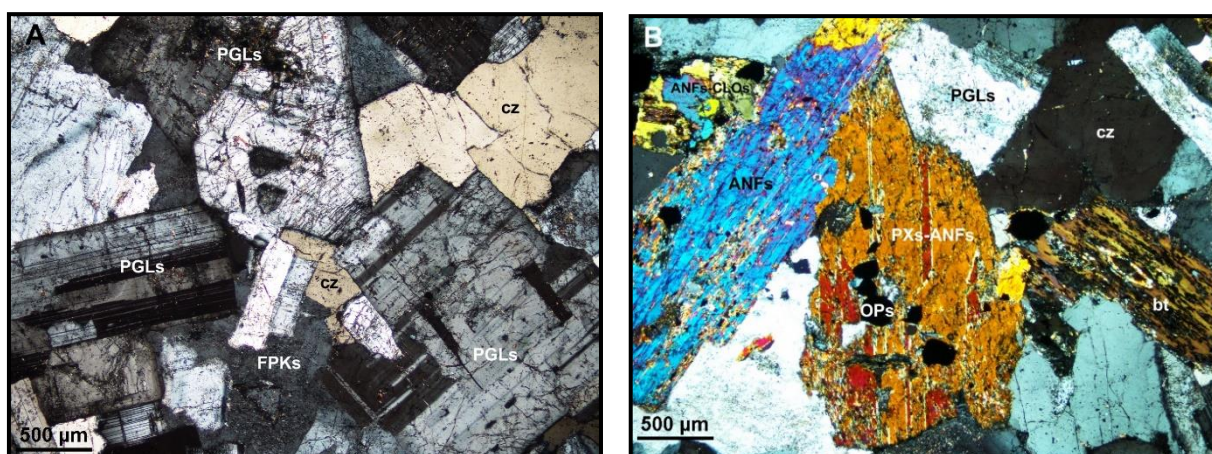
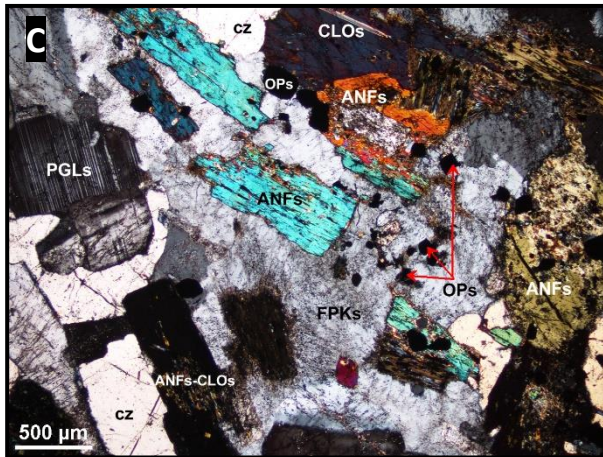
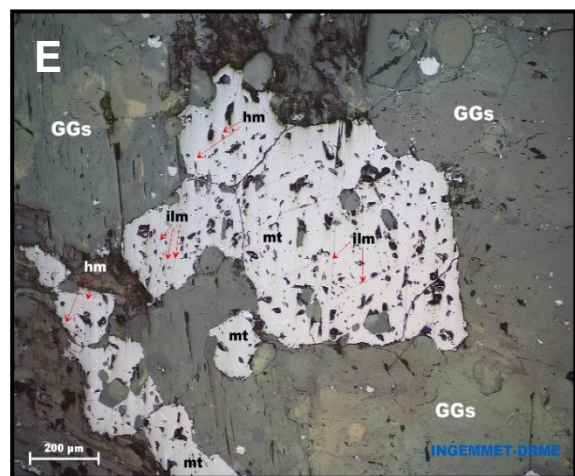
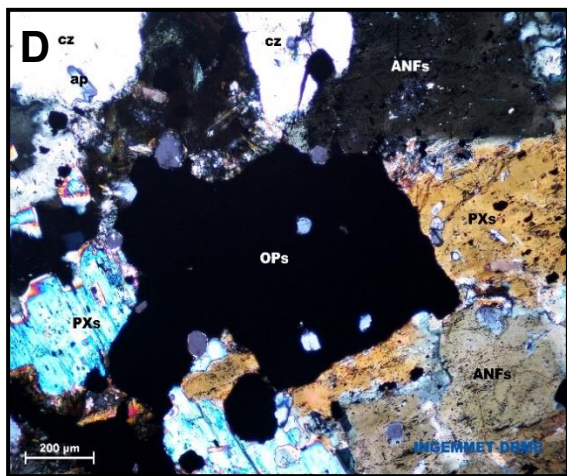


Figura N° 24. (A) Fenocristales de plagioclasas (PGLs), alteradas por sericita fina. Cuarzo (CZ) y feldespato potásico (FPKs) intersticial. **(B)** Fenocristal de anfíbol (ANFs) con inclusiones de minerales opacos (OPs). NX (4X). Fuente: Propia.



(C) Textura poiquilitica los cristales de anfíboles (ANFs) y opacos (OPs) incluidos en feldespato potásico (FPKs) formando. NX (4X). Fuente: Propia.



(D) Magnetita (mt) como inclusión en cristales de piroxenos (PXs) y anfíboles (ANFs). (E) Cristal subhedral de magnetita (mt) intercrecida con hematita (hm) e ilmenita (ilm). NP (10X). Fuente: Propia.

MUESTRA: GE39-17f-R-003

CLASIFICACION:

GRANODIORITA

ESTUDIO MACROSCÓPICO

Roca de color gris blanquecino de textura fanerítica de grano medio a grueso, conformada por cristales de plagioclasa, cuarzo y feldespato potásico. Los minerales máficos están siendo alterados a epidota. Presenta densidad media y magnetismo débil.

ESTUDIO MICROSCÓPICO

Minerales principales: PGLs (53.94%), cz (32.50%), FPKs (10.90%)

Minerales accesorios: ep (1.63%)

Minerales traza: OPs (1%), bt, CLOs, hm (0.90%), mt (0.10%)

Minerales secundarios: CLOs, ep

ALTERACIONES:

- Incipiente alteración con presencia de cloritas, epidotas y sericita.
- Alteración de tipo física caracterizado por la trituración de los minerales a consecuencia de la fricción entre ellos.

MODO DE FÁBRICA / TEXTURA:

- Roca holocristalina fanerítica con textura hipidiomórfica inequigranular. Por sectores se observa que la muestra parece haber sufrido un proceso de milonitización, caracterizado por la trituración de los minerales a consecuencia de la fricción entre ellos. (Figura N°31B). Las plagioclasas presentan formas subhedrales y anhedrales además de maclas del tipo polisintéticas y del tipo albita. Sus tamaños varían desde lo submilimétrico en la zona de trituración, hasta lo milimétrico con valores máximos de 2mm. En algunos sectores se encuentran alterándose a sericita en zonas de fracturas, en otros sectores se encuentran alterándose en los bordes a epidotas. (Figura N°31A). El cuarzo ocurre en cristales subhedrales y anhedrales; con extinción ondulante. Presentan tamaños desde los submilimétrico en zona de trituración hasta los milimétricos con valores entre los 2.24 mm. Algunos sectores los cristales se encuentran presentando un aspecto craquelado muy marcado. Además, en la zona milonitizada el cuarzo se presenta con cierta orientación, producto de un leve metamorfismo. Los cristales de feldespatos potásicos ocurren de formas anhedrales, los tamaños varían desde submilimétricos en la zona de trituración a milimétricos con valores de 1.375 mm. En algunos sectores se encuentran en contacto con las plagioclasas y el cuarzo. Los cristales de epidota ocurren de formas subhedrales y anhedrales con medidas entre los 0.2944 mm. En algunos sectores se encuentran en pequeños grupos como agregados rellenando intersticios; en otras zonas se presentan como producto de alteración de plagioclasas. (Figura

N°31C). La clorita se presenta en cristales de forma subhedrales y anhedrales, con tamaños de hasta 0.2304mm. Se presentan asociados a epidotas formando agregados y como producto de alteración de los minerales máficos. Biotita como cristales anhedrales alterados a epidota y clorita. La sericita se presenta como producto de alteración de feldespatos. Por sectores se encuentran rellenando fracturas en los cristales de plagioclasas; en ocasiones también se le puede observar en zonas intersticiales entre los granos de plagioclasas. Los minerales opacos son: Hematita en cristales subhedrales reemplazando a la magnetita y diseminados en los cristales de plagioclasa (Figura N°31D); por sectores se presentan acompañados de goethita en los bordes de los cristales (Figura N°31E).

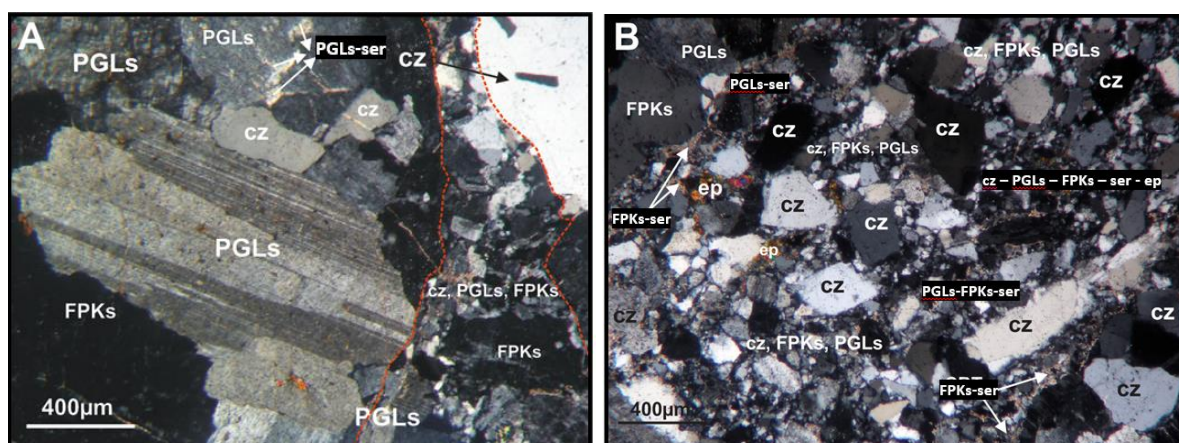
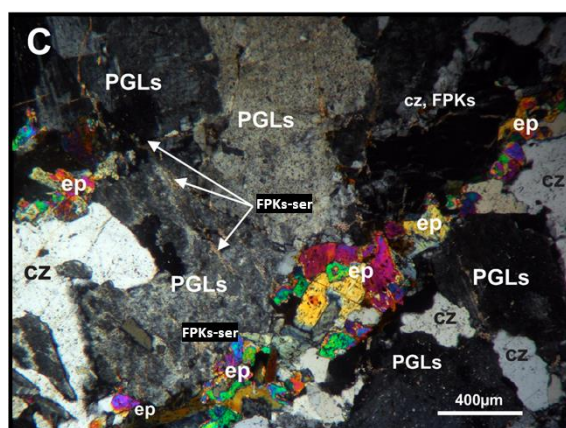
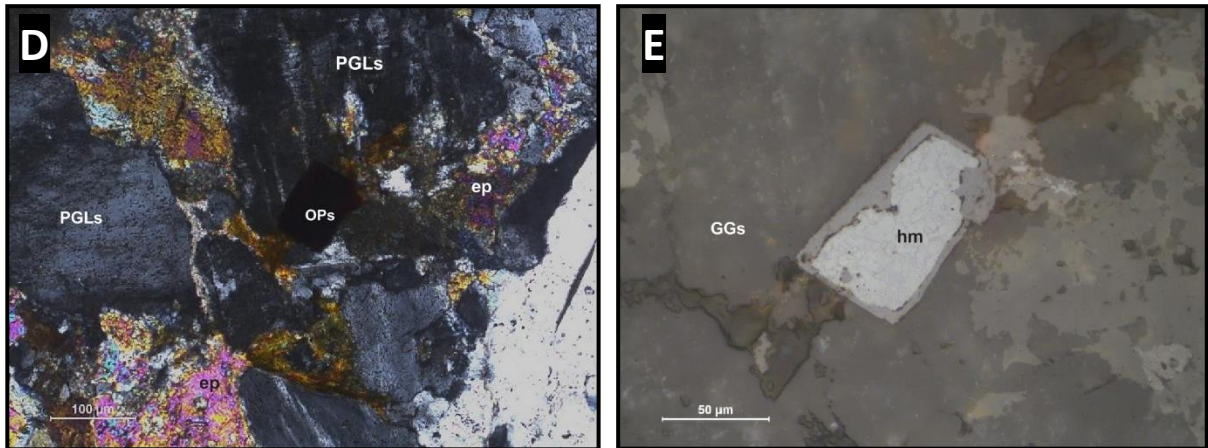


Figura N°25. (A) Zona de microfracturamiento (resaltado en líneas rojas) de cuarzo (cz), plagioclasa (PGLs) y feldespato potásico (FPKs). **(B)** Zona de trituración donde se observan pequeños cristales de cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa. NX (5X). Fuente: Propia.



(C) Agregados de cristales de epidota (ep) rellenando intersticios. NX (5X). Fuente: Propia.



(D) Cristales de minerales opacos (OPs) diseminados entre cristales de plagioclasas. NX (20x).

(E) Relleno de molde de cristal a hematita (hm) y goethita (goe) en los bordes. NP (50x). Fuente: Propia.

MUESTRA: GE39-17f-R-004

CLASIFICACION: MONZOGRANITO

ESTUDIO MICROSCÓPICO

Minerales principales: PGLs (44.252%), %, FPKs (32.202%), cz (22.871%)

Minerales accesorios:

Minerales traza: bt, ANFs, ep, CLOs, OPs, zir, mt (0.50%), hm (0.18%)

Minerales secundarios: ep, CLOs

ALTERACIONES:

De estilo selectivamente pervasiva:

- Presencia de cloritas y epidotas como alteración de máficos.

MODO DE FÁBRICA / TEXTURA:

- Roca holocristalina fanerítica con textura hipidiomórfica inequigranular. Las plagioclasas presentan formas subhedrales y anhedrales además de maclas del tipo polisintéticas y del tipo Albita. Presenta tamaños variables que van desde el rango de 1 mm a los 3mm. En su gran mayoría los cristales presentan un aspecto turbio y se encuentran con leve alteración a sericita. En otros sectores se encuentran formando textura pertítica con el feldespato potásico. Los cristales de feldespatos potásicos ocurren en cristales subhedrales y anhedrales. Presentan tamaños que varían entre

los 0.875 mm a los 3.5 mm. Por sectores la encontramos formando intercrecimientos peritéticos con las plagioclasas. Además, por sectores se encuentran englobando cristales de cloritas. (Figuras N°32B y 32C). El cuarzo ocurre en cristales subhedrales y anhedrales; con extinción ondulante. Presentan tamaños que van desde los 0.575 mm a los 3.5mm. En algunos sectores, encontramos presencia de cuarzo triturado (cz-t) el cual se ha generado por acción mecánica en la roca. (Figura N°32A). La clorita se presenta en cristales de formas anhedrales, con tamaños de lo submilimétrico hasta los 0.673 mm. Probablemente se han originado producto de la alteración de biotitas. Generalmente se encuentran junto a la epidota rellenando intersticios y fracturas. Los cristales de epidota subhedrales y anhedrales. Se presentan en tamaños que van desde lo submilimétrico hasta los 0.495mm. Generalmente se encuentra asociado a cloritas, tapizando las paredes de algunas venillas. Además, encontramos su variedad (Alanita) asociada a minerales opacos. Minerales opacos: Magnetita se presenta en pequeños granos solitarios de tamaños entre los 0.427 mm. Generalmente se encuentran como inclusiones en el cuarzo y acompañados de clorita. (Figuras N°32 D y E). La hematita se encuentra intercrecida con la magnetita. Por sectores la magnetita se encuentra alterándose a hematita. (Figura N°32E).

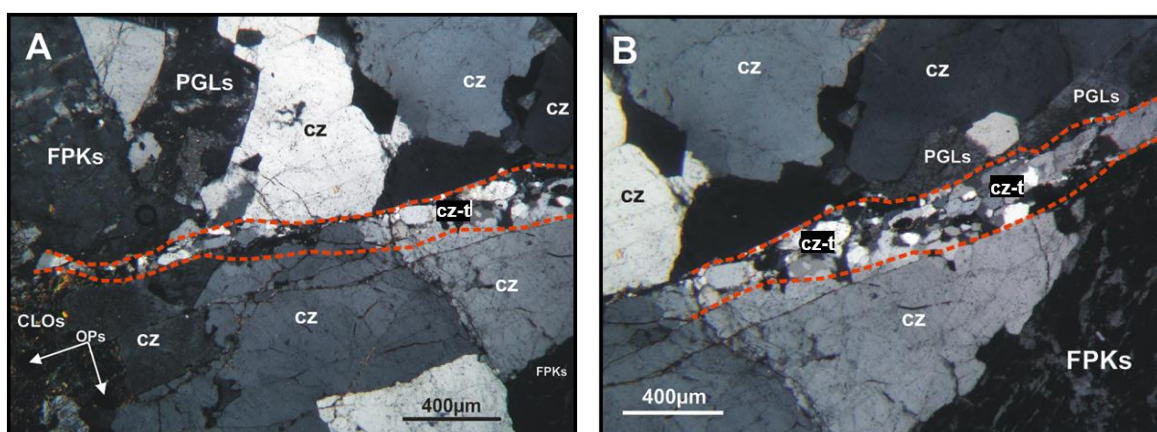
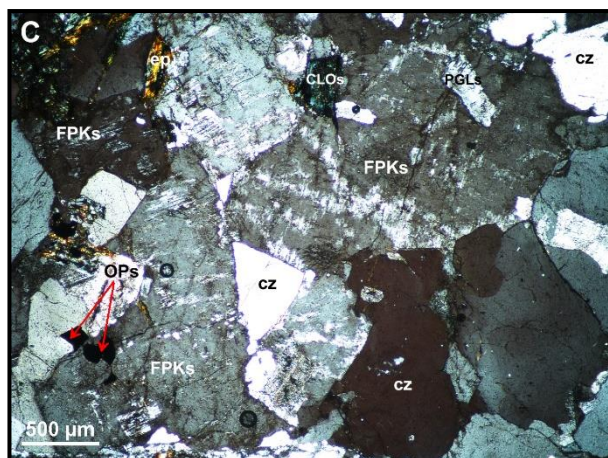
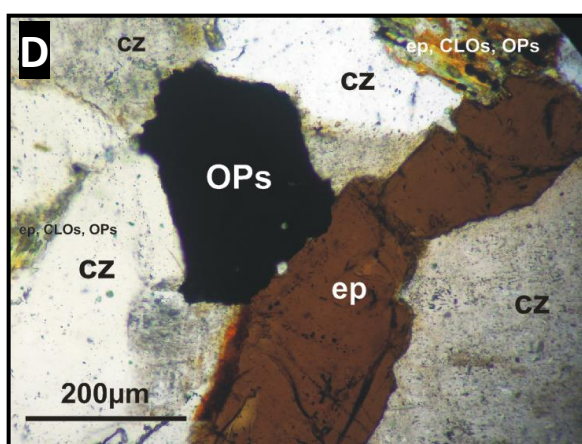


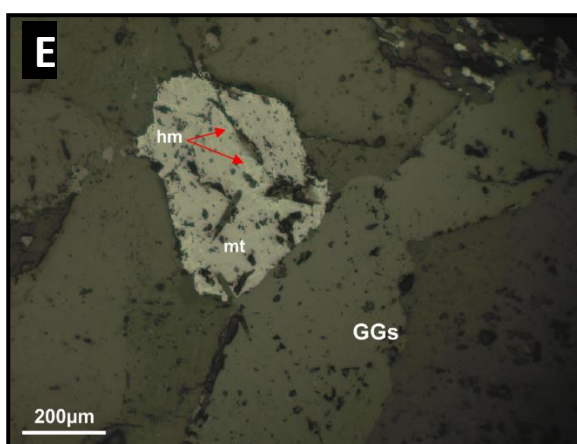
Figura N°26. (A) Las líneas punteadas señalan cristales de cuarzo triturado (cz-t) por acción mecánica. **(B)** Las líneas punteadas señalan cristales de cuarzo triturado (cz-t) en contacto con cristal de feldespato potásico (FPKs) con textura peritítica. NX (5X). Fuente: Propia.



(C) Cristales de feldespato potásico (FPKs) formando textura pertítica con las plagioclasas (PGLs). NX (4X). Fuente: Propia.



(D) Cristal de epidota (ep) en su variedad alanita, en contacto con un mineral opaco. NP (10X).



(E) Cristal de magnetita (mt) alterándose a hematita (hm), el intercrecimiento de ambos es reticular. NX (5X). Fuente: Propia.

MUESTRA: GE39-17f-R-005

CLASIFICACION:

CUARZO MONZODIORITA

ESTUDIO MACROSCÓPICO

Roca de color gris blanquecino de textura fanerítica de grano medio, conformada por cristales de plagioclasa, cuarzo y feldespato potásico. Los minerales máficos están conformados por cristales de anfíboles y piroxenos los cuales se están alterando a cloritas. Presenta densidad media y magnetismo moderado a alto.

ESTUDIO MICROSCÓPICO

Minerales principales: PGLs (54.419%), cz (15.000%), FPKs (14.995%), CLOs (7.238%)

Minerales accesorios: ANFs (4.642%), PXs (2.476%)

Minerales traza: mt (0.80%), ilm (0.10%), hm (0.30%), bt, zir

Minerales secundarios: CLOs

ALTERACIONES:

- Alteración de anfíboles a cloritas.

MODO DE FÁBRICA / TEXTURA:

- Roca holocristalina fanerítica con textura hipidiomórfica inequigranular. Las plagioclasas se presentan formas anhedrales a subhedrales y hábitos tabulares, además de presentar maclas del tipo polisintéticas, y zonación concéntrica. Sus tamaños varían entre los 0.225mm y los 2.2mm. En algunos sectores se encuentran formando intercrecimiento del tipo mirmequítico con el feldespato potásico. (Figura N°33C). El cuarzo ocurre en cristales anhedrales a subhedrales. Presentan tamaños que varían en el intervalo de los 0.275 mm hasta los 1.50 mm. Algunos sectores los cristales se encuentran rellenando intersticios entre las plagioclasas y el feldespato potásico. Los cristales de feldespatos potásicos ocurren de formas anhedrales, los tamaños varían desde lo submilimétrico hasta los 2.35 mm. En algunos sectores se encuentran formando textura poiquilítica con el cuarzo. Además, en algunas zonas se le observa formando textura mirmequítica con la plagioclase. (Figura N°33B). La clorita se presenta en cristales de formas anhedrales a euhedrales. Los tamaños varían entre los 0.7mm y los 2.25mm. Se presentan como producto de alteración de los anfíboles, los piroxenos y las cloritas. Los anfíboles se presentan como cristales anhedrales, los tamaños varían entre los 0.2mm y los 1.025 mm. Generalmente se le encuentra como producto de alteración de los piroxenos, en otras zonas se le observa alterándose a cloritas. Por sectores la variedad hornblenda se encuentra alterándose a biotita en forma tipo corona. Los piroxenos se presentan como cristales anhedrales a euhedrales, con tamaños que varían entre los 0.4mm y los 2.5mm. Generalmente se encuentran alterándose a anfíboles y cloritas. En algunos sectores se le encuentra

como islas dentro de los cristales de hornblenda, producto de la alteración de éste. Además, se le puede observar con inclusiones de minerales opacos. (Figura N°33A). La biotita se encuentra como cristales anhedrales, con tamaños que varían desde lo submilimétrico hasta los 1.225mm. Generalmente se encuentran como producto de alteración de las hornblendas. Minerales opacos: Magnetita se encuentran como inclusiones en los cristales de anfíboles y Piroxenos (Figura N°33D). Ilmenita formando intercrecimientos tipo lamelar con la magnetita. Por sectores esta se encuentra alterándose parcialmente a rutilo. (Figura N°33E) Hematita formando intercrecimiento tipo reticular con la magnetita. Producto de la alteración que se encuentra sufriendo la magnetita. (Figura N°33E)

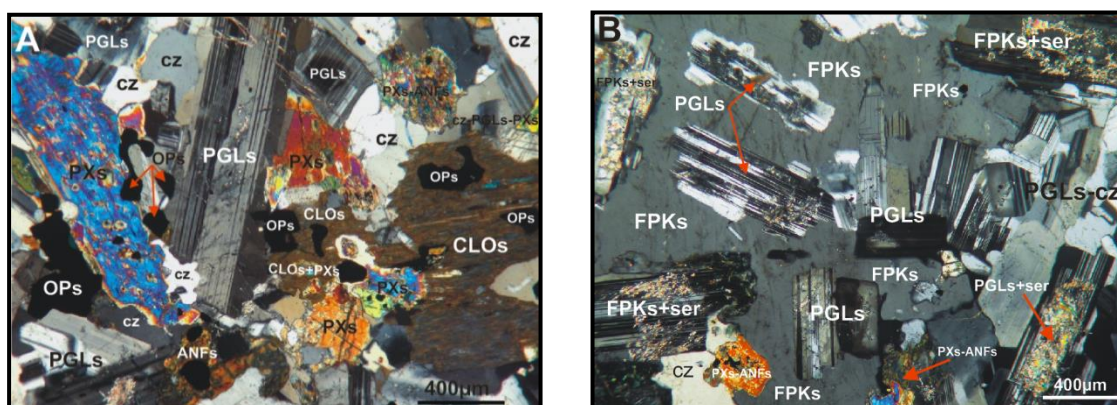
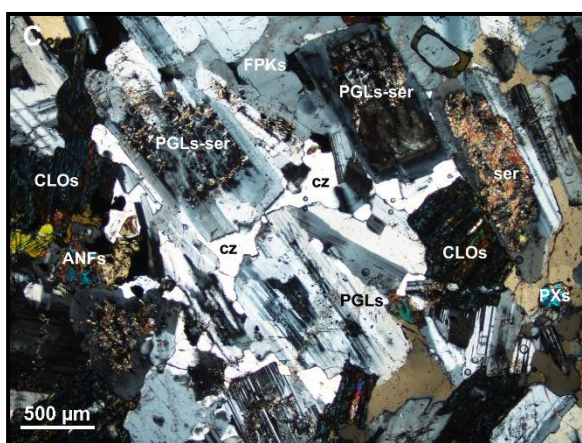
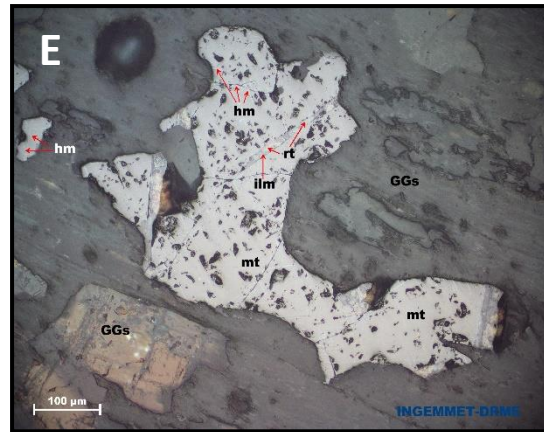
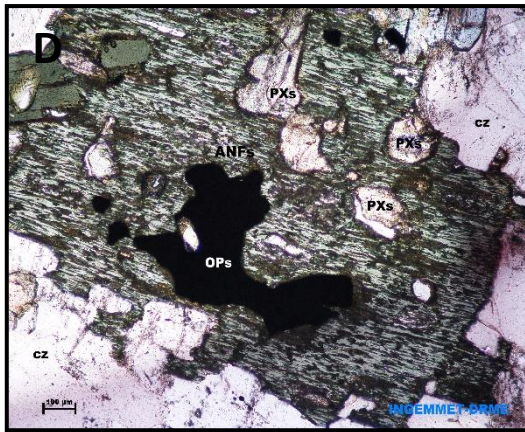


Figura N°27. (A) Cristales de piroxenos (PXs) alterándose a anfíboles (ANFs) y clorita (CLOs). (B) Cristal de feldespato potásico (FPKs) formando textura poiquilítica con la plagioclase (PGLs). NX (5X). Fuente: Propia.



(C) Cristales de plagioclase (PGLs) alterándose a sericita (ser), cuarzo (CZ) intersticial y pequeños cristales de anfíboles (ANFs) alterándose a cloritas (CLOs). NX (4X). Fuente: Propia.



(D) Cristal de magnetita como inclusión en minerales máficos: anfíboles (ANFs) y piroxenos (PXs). NX (10X). (E) Cristal de magnetita (mt) reemplazada por ilmenita (ilm), la cual está alterándose a rutilo (rt) y hematita (hm). NP (20X). Fuente: Propia.

MUESTRA: GE39-17f-R-006

CLASIFICACION: MONZOGRANITO

ESTUDIO MACROSCÓPICO

Roca de color pardo claro de textura fanerítica de grano medio a grueso, conformada por cristales de plagioclasa, feldespato potásico y cuarzo. Los minerales máficos están siendo alterados a clorita. Presenta densidad media y magnetismo débil.

ESTUDIO MICROSCÓPICO

Minerales principales: PGLs (43.585%), FPKs (33.438%), cz (22.190%)

Minerales accesorios:

Minerales traza: bt, CLOs, mt (0.15%), ilm (0.03%), hm (0.06%), rt (0.01%)

ep

Minerales secundarios: CLOs, ep

ALTERACIONES:

- Alteración de orden física como producto de trituramiento entre minerales.

MODO DE FÁBRICA / TEXTURA:

- Roca holocristalina fanerítica con textura hipidiomórfica inequigranular. Por sectores se observa que la muestra parece haber sufrido un proceso de trituramiento, caracterizado por la disgregación de los minerales. Además, la muestra presenta un metamorfismo leve. (Figura N°34A). Las plagioclasas presentan formas anhedrales a subhedrales además de maclas del tipo polisintéticas. Sus tamaños varían desde lo submilimétrico en la zona de trituración hasta lo milimétrico con valores máximos de 1.325 mm. En algunos sectores se encuentran alterándose a sericita y por los bordes alterándose a epidota. En ciertas zonas se les puede ver siendo reemplazadas por feldespato potásico. (Figura N°34C). Los cristales de feldespatos potásicos ocurren de formas anhedrales, los tamaños varían desde submilimétricos en la zona de trituración a milimétricos con valores de 2.375mm además presentan macla del tipo Carlsbad. En algunos sectores se encuentran formando textura del tipo pertítica con la plagioclase. En algunas se observa que se encuentra reemplazando a la plagioclase. El cuarzo ocurre en cristales subhedrales. Presentan tamaños desde los submilimétrico en zona de trituración hasta los milimétricos con valores entre los 1.075 mm. Generalmente se encuentran como disgregaciones asociados con feldespato potásico y plagioclasas. Por sectores también se le encuentra englobando a los cristales de plagioclasas. La clorita se presenta en cristales subhedrales. Se encuentra como producto de alteración de la biotita, por lo que aún se pueden observar los moldes de biotita en los cristales de clorita. Además, la encontramos asociada a minerales opacos por sus bordes. (Figura N°34B). Los cristales de epidota ocurren de formas anhedrales ha subhedrales con tamaños submilimétricos. Su presencia es esporádica. Se encuentran como producto de alteración de las biotitas y de las plagioclasas. En ocasiones se le observa rellanando intersticios. La magnetita se presenta como cristales aislados, como inclusiones en los minerales máficos. Por sectores siendo reemplazada por la hematita formando intercrecimiento tipo corona. (Figuras N° 34 D y E). La ilmenita se encuentra formando intercrecimientos tipo sándwich con la magnetita. Por zonas se encuentran alterándose a rutilo. (Figura N°34E).

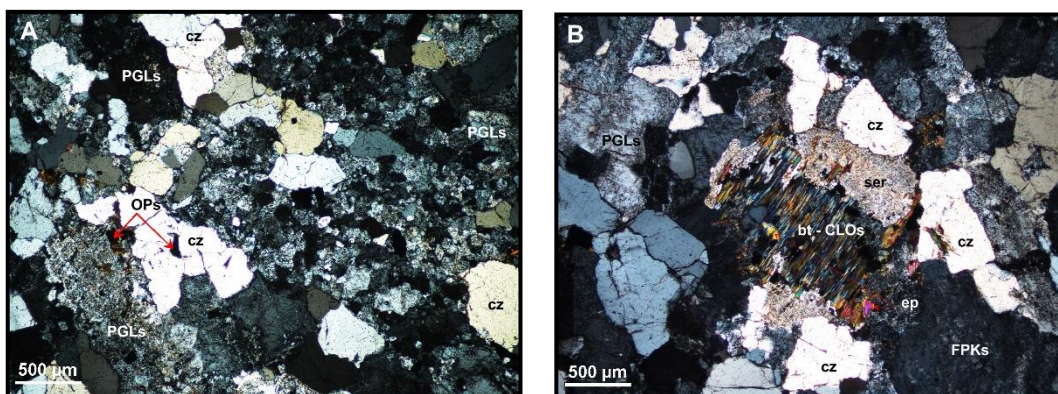
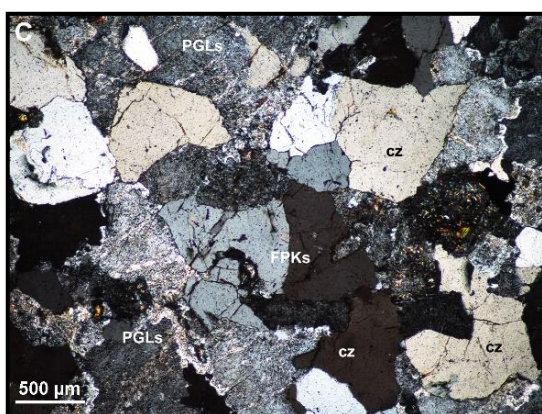
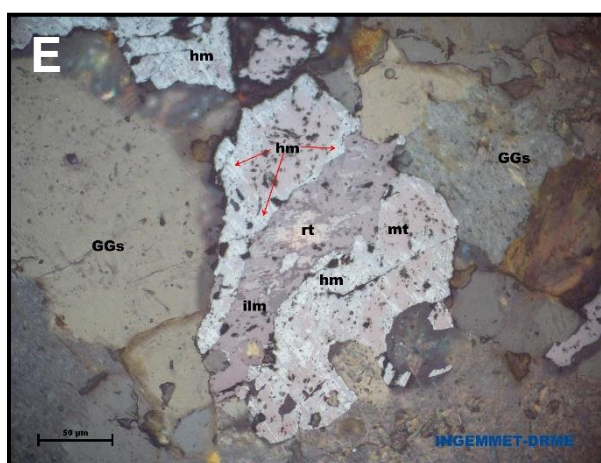
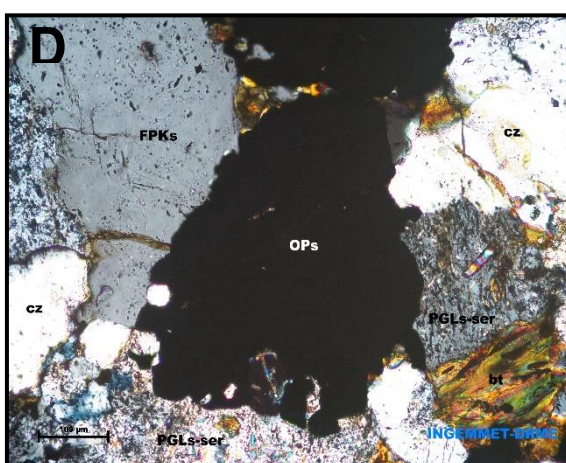


Figura N°28. (A) Zona de trituramiento de minerales, dando el aspecto de textura “tipo mortero en contacto con granos de plagioclase (PGLs) cuarzo (cz) y feldespato potásico (FPKs). **(B)** Molde de cristal de biotita sustituido a clorita (CLOs), y epidota (ep). NX (4X). Fuente: Propia.



(C) Cristales de plagioclase con inclusiones de cristales de cuarzo y por sectores siendo reemplazadas por feldespato potásico. NX (4X). Fuente: Propia.



(D) Cristal de magnetita en contacto con feldespato potásico (FPKs), plagioclase (PGLs) y máficos: biotita (bt). **(E)** Cristal de magnetita (mt) alterándose a hematita (hm) e ilmenita (ilm). El rutilo (rt) reemplazando a la ilmenita. NX (20X). Fuente: Propia.

MUESTRA: GE39-17f-R-007

CLASIFICACION:

CUARZO DIORITA

ESTUDIO MACROSCÓPICO

Roca de color gris oscuro de textura fanerítica de grano medio, conformada por cristales de plagioclasa, cuarzo y feldespato potásico. Los minerales máficos están conformados por cristales de anfíboles, biotita y piroxenos. Presenta densidad media y magnetismo moderado.

ESTUDIO MICROSCÓPICO

Minerales principales: PGLs (66.847%), cz (15.857%), FPKs (4.119%), ANFs (5.214%)

Minerales accesorios: bt (4.500%), PXs (3.214%)

Minerales traza: ep, mt (1%), hm (0.5%), zir

Minerales secundarios: ep

ALTERACIONES:

- Alteración de piroxenos a anfíboles.

MODO DE FÁBRICA / TEXTURA:

- Roca holocristalina fanerítica con textura hipidiomórfica inequigranular. Las plagioclasas se presentan formas euhedrales, subhedrales y anhedrales con hábitos tabulares, además de presentar maclas del tipo polisintéticas, y zonación concéntrica. Presentan tamaños promedio de 2.125 mm. Se encuentran intercrecidos con cuarzo y feldespato potásico. (Figura N°35B). El cuarzo ocurre en cristales anhedrales y subhedrales. Presentan tamaños promedio de 0.725 mm. Generalmente se encuentran en contacto con feldespato potásico y plagioclasa. Por sectores se encuentra también reemplazando a la plagioclasa. Los cristales de feldespato potásico ocurren de formas anhedrales a subhedrales, los tamaños varían desde los 0.575 mm y 1.600 mm. Generalmente se encuentran en contacto con plagioclasas y cuarzo. En otros sectores se

encuentra englobando a los cristales de plagioclasas. Los anfíboles se presentan como cristales anhedral, con tamaños máximos de 2.075 mm. Generalmente se le encuentra como producto de alteración de los piroxenos. Por sectores se le observa también alterándose a biotita y en menor proporción a epidota. Los piroxenos se presentan como cristales anhedral y subhedral, con tamaños máximos 2.000mm. Generalmente se encuentran alterándose a anfíboles y biotitas. En algunos sectores se le encuentra como islas dentro de los cristales de hornblenda, quedando como remanente incluido en el cristal de esta última. Además, en algunas zonas se presenta formando una incipiente textura tipo Schiller. (Figura N°35A). La biotita se encuentra como cristales subhedral, con tamaños variables que llegan como máximo a 1.450 mm. Generalmente se encuentran reemplazando a los piroxenos y anfíboles (Fig. N°35C). Magnetita se presenta como cristales aislados, y como inclusiones en los minerales máficos, anfíboles, biotitas y piroxenos, en algunas ocasiones se encuentran también en plagioclasas. Además, se presenta alterándose a hematita (Fig. N°35D). Hematita se presenta formando intercrecimientos tipo reticular con la magnetita. (Figura N°35E).

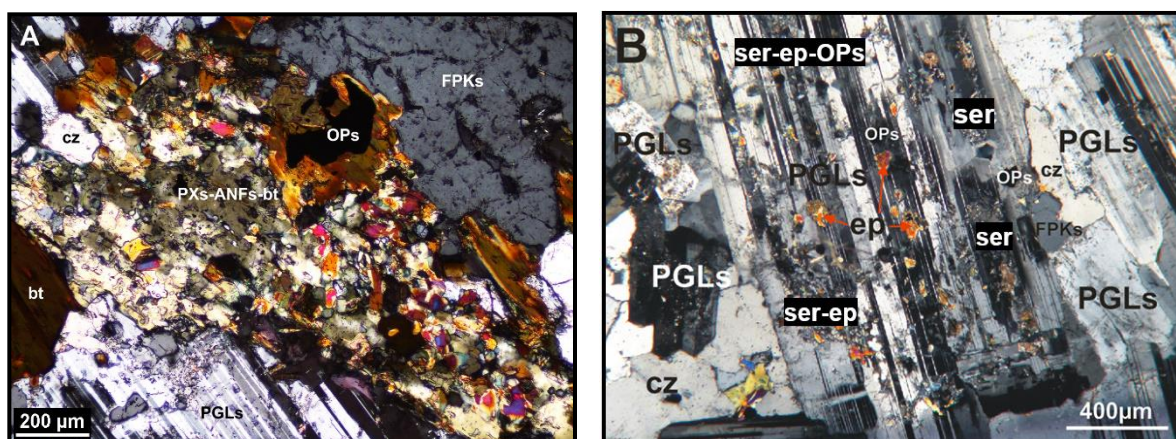
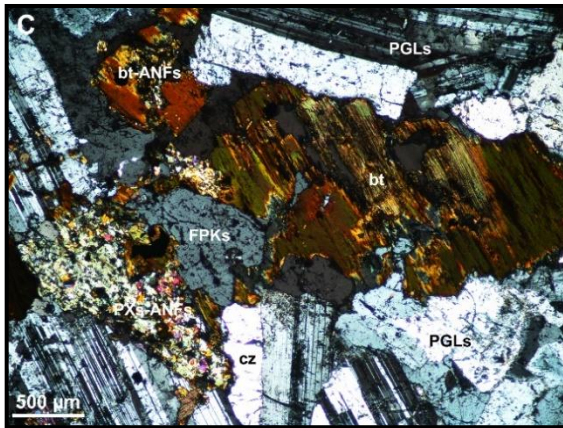
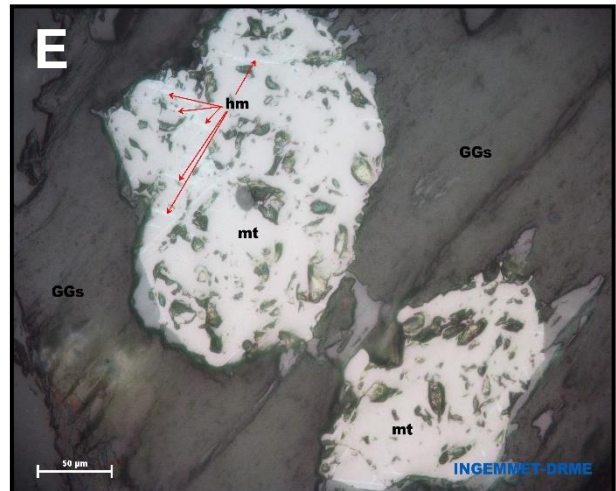
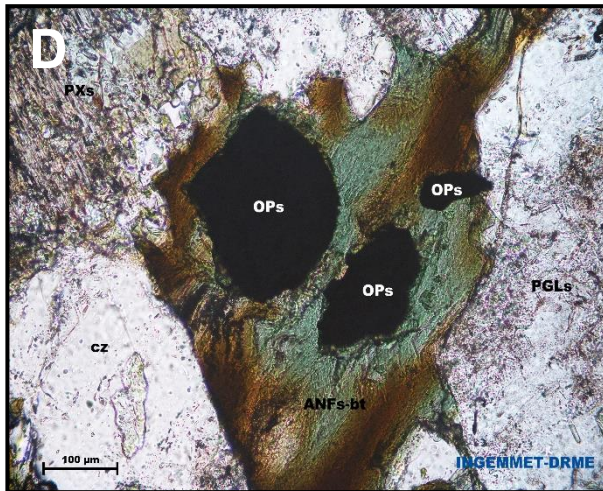


Figura N°29. (A) Cristales de piroxenos (PXs) siendo reemplazados por anfíbol (ANFs) y biotita (bt). NX (10X). **(B)** Fenocristal de plagioclasa (PGLs) alterándose a epidota (ep) y sericita (ser), y con inclusiones de opacos (OPs). NX (5X). Fuente: Propia.



(C) Cristal de biotita (bt) reemplazando parcialmente a los anfíboles (ANFs), a la izquierda cristal de piroxeno (PXs) alterándose a anfíbol. NX (4X). Fuente: Propia.



(D) Cristales de magnetita como inclusiones en los minerales máficos: Anfíboles (ANFs) y biotitas (bt). NP (10X). (E) Cristal de magnetita (mt) alterándose a hematita (hm), formando intercrecimiento reticular. NP (40X). Fuente: Propia.

MUESTRA: GE39-17f-R-008

CLASIFICACION: TONALITA

ESTUDIO MACROSCÓPICO

Roca de color gris blanquecino de textura fanerítica de grano medio a grueso, conformada por cristales de plagioclasa, cuarzo y feldespato potásico. Los minerales máficos están conformados por anfíbol y biotita. Presenta densidad media y magnetismo débil.

ESTUDIO MICROSCÓPICO

Minerales principales: PGLs (48.400%), cz (29.428%), FPKs (4.261%), ANFs (8.700%), bt (7.850%)

Minerales accesorios:

Minerales traza: CLOs, mt (0.6%), ilm (0.15%), hm (0.25%), zir

Minerales secundarios: CLOs

ALTERACIONES:

- Alteración de anfíboles y biotita a cloritas.
- Alteración de anfíboles a biotita.

MODO DE OCURRENCIA/TEXTURA:

- Roca holocristalina fanerítica con textura hipidiomórfica inequigranular. Las plagioclasas se presentan formas euhedrales y subhedrales, además de hábitos tabulares, presentan maclas del tipo polisintéticas, y zonación concéntrica. Sus tamaños varían entre los 0.300 mm y los 2.00 mm. En algunas zonas se encuentran como inclusiones de piroxenos y minerales opacos. (Figura N°36B). El cuarzo ocurre en cristales subhedrales, cuyas superficies se encuentran fracturadas. Presentan tamaños que varían en el intervalo de los 0.125 mm hasta los 1.500 mm. Algunos sectores se encuentran rellenando intersticios entre las plagioclasas y el feldespato potásico, en otras zonas se le encuentra englobando a los cristales de plagioclasa. Los cristales de feldespatos potásicos ocurren de formas subhedrales, los tamaños varían desde los 0.750 mm hasta los 2.500 mm. Generalmente se le encuentra formando textura pertítica con la plagioclasa. Además, en algunas zonas se le encuentra englobando a los cristales de plagioclasa, formando textura poiquilítica. (Figura N°36C). Los anfíboles se presentan como cristales subhedrales y anhedrales, los tamaños llegan como máximo a los 1.575mm. Por sectores tenemos la presencia de hornblenda alterándose a cloritas y también de actinolita-tremolita alterándose a biotita. La biotita se encuentra como cristales euhedrales y anhedrales, con tamaños que llegan como máximo a los 1.100mm. Generalmente se encuentran como producto de alteración de los anfíboles (Actinolita-Tremolita). Por sectores también se encuentra

alterándose a cloritas y con inclusiones de minerales opacos. (Figura N°36A). Cloritas generalmente se encuentran como producto de reemplazamiento de anfíboles y biotitas. La magnetita se presenta como cristales aislados, se encuentran como inclusión en los minerales máficos como la biotita y las cloritas. La ilmenita se encuentra como inclusiones en los cristales de magnetita. La hematita se presentan como finas lamelas en los cristales de magnetita. (Figura N°36D)

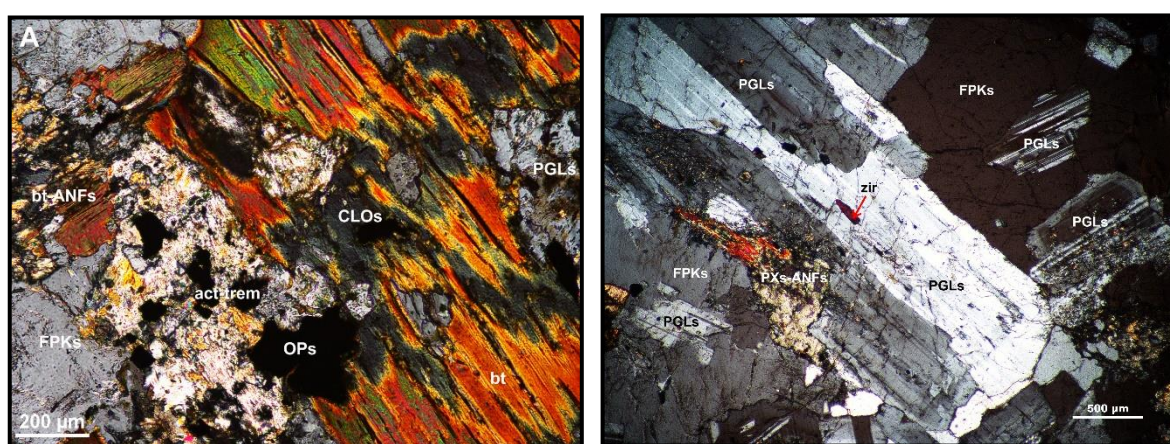
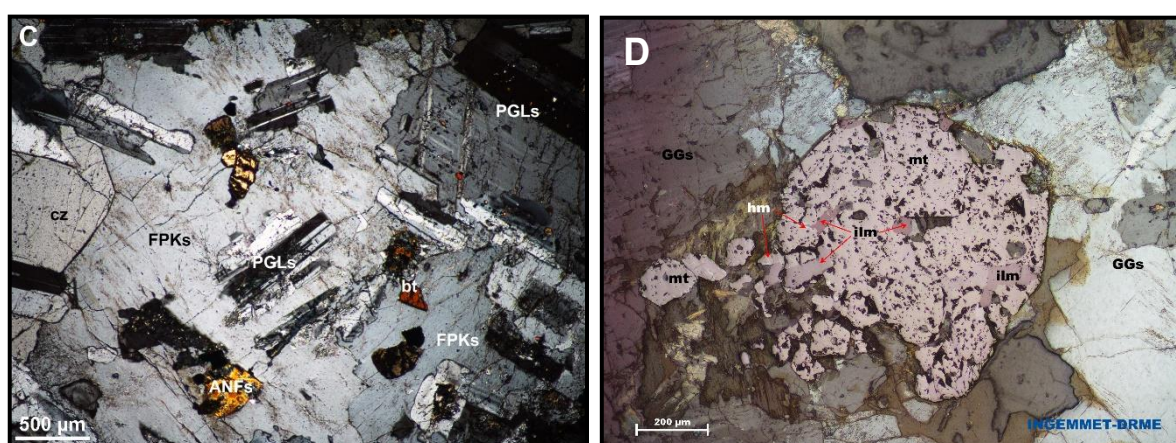


Figura N°30. (A) Cristales de actinolita-tremolita (act-tre) alterándose a biotita (bt) y estas a su vez alterándose a cloritas (CLOs). NX (10X). **(B)** Cristales de plagioclasa (PGLs) con inclusiones de piroxenos – anfíboles (PXs-ANFs) y zircón (zir). NX (4X). Fuente: Propia.



(C) Cristales de plagioclasas (PGLs), anfíboles (ANFs) y biotita (bt) inmersos en el cristal de feldespato potásico (FPKs) formando una textura poiquilítica. NX (4X). **(D)** Cristal de magnetita (mt) alterándose a hematita (hm) e ilmenita (ilm). NP (20X). Fuente: Propia.

MUESTRA: GE39-17f-R-009

CLASIFICACION: GRANODIORITA

ESTUDIO MACROSCÓPICO

Roca de color gris blanquecino de textura fanerítica de grano medio, conformada por cristales de plagioclasa, cuarzo y feldespato potásico. Los minerales máficos están conformados por cristales de biotita y escaso anfíbol los que se encuentran siendo alterados a clorita. Presenta densidad media y magnetismo débil.

ESTUDIO MICROSCÓPICO

Minerales principales: PGLs (62.785%), cz (23.095%), FPKs (10.000%)

Minerales accesorios: bt (3.066%)

Minerales traza: ANFs, mt (0.7%), hm (0.3%), ep, CLOs, zir

Minerales secundarios: CLOs, ep

ALTERACIONES:

- Alteración de biotitas a cloritas.

MODO DE FÁBRICA / TEXTURA:

- Roca holocristalina fanerítica con textura hipidiomórfica inequigranular. Las plagioclasas se presentan formas euhedrales y hábitos tabulares, además de presentar maclas del tipo polisintéticas, y zonación concéntrica. Los cristales presentan tamaños que varían desde 0.350 mm y 1.075 mm. Generalmente las plagioclasas se encuentran alterándose levemente a sericita a partir de sus planos de macla. En algunos sectores se encuentran formando textura poiquilítica con el feldespato potásico. El cuarzo ocurre en cristales subhedrales. Presentan tamaños que varían desde los 0.225 mm y los 2.000 mm. En ocasiones se puede observar la superficie de los granos fracturada. Generalmente se encuentran en contacto con feldespato potásico y plagioclasa. Los cristales de feldespatos potásicos ocurren de formas anhedrales, los tamaños varían

desde los 0.300 mm y 1.550 mm. Generalmente se encuentran en contacto con plagioclasas y cuarzo. En otros sectores se encuentra textura poiquilítica con las plagioclasas. La biotita se encuentra como cristales anhedrales a subhedrales, con hábitos tabulares y tamaños variables que llegan como máximo a los 2.000 mm. En algunos sectores los cristales se encuentran como relleno de intersticios entre las plagioclasas, cuarzo y feldespato potásico. También presentan inclusiones de minerales opacos. Las cloritas se encuentran como minerales traza, producto de la alteración de las biotitas. La epidota se encuentra también como mineral traza, como inclusiones en los cristales de plagioclasa. Los anfíboles se presentan en trazas como pequeños cristales anhedrales asociados a biotita. Magnetita se presenta como cristales aislados, y como inclusiones en los minerales máficos, anfíboles, biotitas y piroxenos, en algunas ocasiones se encuentran también en plagioclasas. Además, se presenta alterándose a hematita. (Figura N°37D). Hematita se presenta como formando intercrecimiento tipo reticular con la magnetita (Figura N°37E).

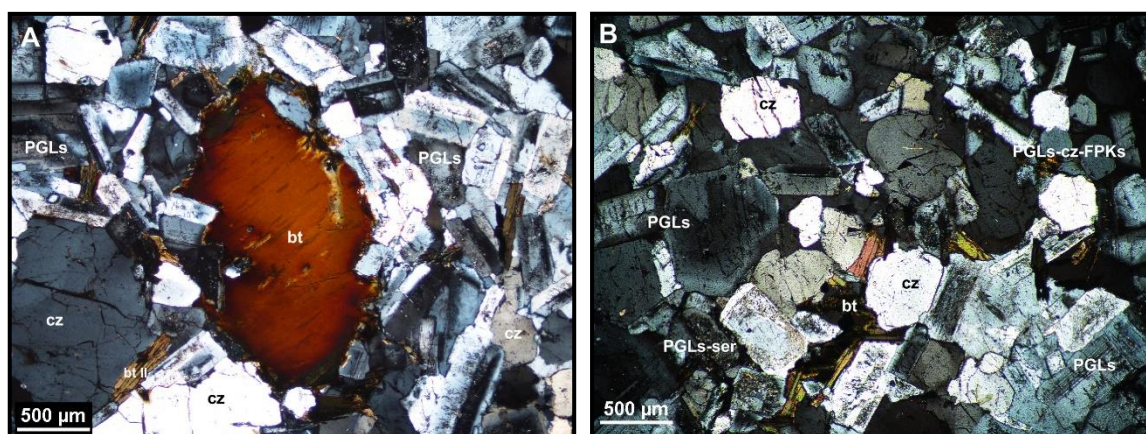
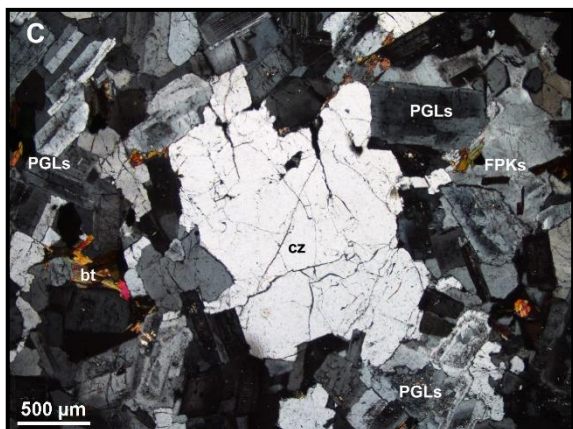
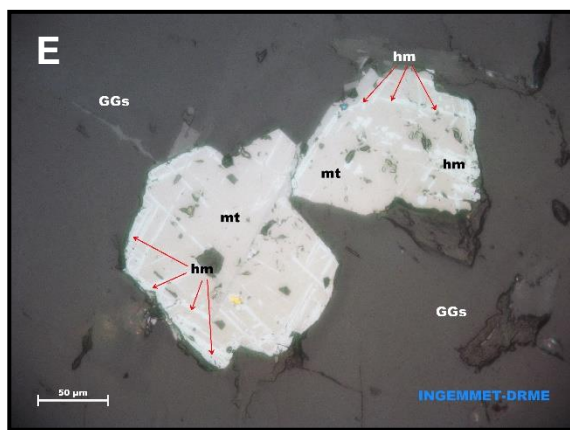
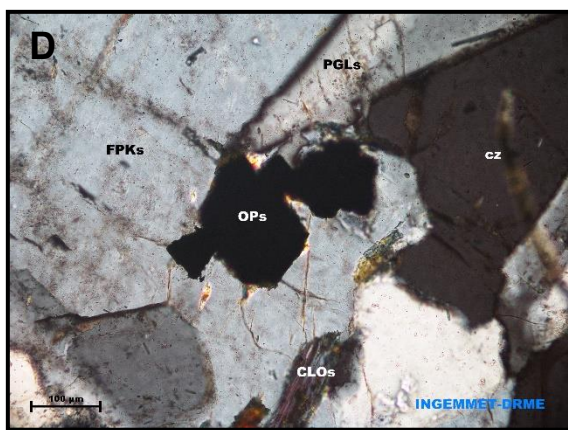


Figura N°31. (A) Cristal de biotita (bt); acompañada de cristales subhedrales de (FPs) y cuarzo (cz). **(B)** Cristales de plagioclasa (PGLs), algunos alterándose a sericita (ser), cuarzo (cz) y pequeños cristales tabulares de biotita (bt). NX (4X). Fuente: Propia.



(C) Cristal de cuarzo (cz) con fracturas, rodeado por cristales de plagioclasas (PGLs) y feldespato potásico (FPKs); la biotita (bt) rellena intersticios. NX (4X). Fuente: Propia.



(D) Mineral opaco (OPs) como inclusiones en el feldespato potásico (FPKs). NP (20X). (E) Cristal de hematita (hm) formando intercrecimientos tipo reticular con la magnetita (mt). NP (40X). Fuente: Propia

MUESTRA: GE39-17f-R-010

CLASIFICACION:

GRANODIORITA PORFIRÍTICA

ESTUDIO MACROSCÓPICO

Roca de color gris blanquecino de textura porfirítica. Los fenocristales están conformados por cristales de plagioclasa, cuarzo, feldespato potásico y biotita. La matriz cristalina compuesta por feldespatos y cuarzo. Presenta densidad media y magnetismo moderado.

ESTUDIO MICROSCÓPICO

Minerales principales: Fenocristales: PGLs (35%), cz (10%), FPKs (4%)

Matriz: cz (18%), PGLs (17%), FPKs (10%)

Minerales accesorios:

Minerales traza: Fenocristales: bt (1%); matriz: bt (1.7%), mus (0.7%), mt (0.8%), hm (0.2%)

Minerales secundarios: ser

ALTERACIONES:

Plagioclasa alterándose a sericita.

MODO DE FÁBRICA / TEXTURA:

- Roca de textura porfirítica, donde la relación fenos/matriz es de: 1/1.1. Compuesta principalmente por fenocristales de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y biotita. Además la matriz granular de grano grueso, está compuesta por cristales de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasas, biotita y sericita. Las plagioclasas se presentan como fenocristales de formas euhedrales y hábitos tabulares, además se observan maclas combinadas. Presentan tamaños que varían desde 1.450mm y 3.500mm. Generalmente los fenocristales de plagioclasas se encuentran alterándose a sericita. En la matriz las plagioclasas se encuentran como pequeños cristales siendo reemplazados por el feldespato potásico. El cuarzo ocurre se presenta como fenocristales de formas subhedrales, con tamaños que varían entre los 1.125mm y los 1.750mm. Por sectores se observa que la superficie de los granos se encuentra fracturados. En la matriz el cuarzo se encuentra rellenando intersticios junto con la plagioclasa y los feldespatos potásicos; los tamaños de los granos varían entre los 0.125mm y los 0.225mm. Los feldespatos potásicos se presentan como fenocristales de formas subhedrales y anhedrales, los tamaños varían desde los 1.250mm y 1.925mm. Por sectores se observa la presencia de la variedad microclina. En la matriz se observa los feldespatos potásicos presentes en los intersticios de los granos de plagioclasa y se encuentran reemplazándolas. Además, los tamaños de los cristales varían entre los 0.100mm y los 0.450mm, presentando

algunos de ellos texturas perfiticas características de los feldespatos potásicos. La biotita se encuentra como fenocristales anhedrales y subhedrales, con hábitos tabulares y tamaños variables que van desde 1.000mm a los 2.125 mm. En algunos sectores los cristales se encuentran alterándose a cloritas y muscovita; en otras zonas se encuentran aglomeraciones de biotitas como indicadores de metamorfismo leve. (Figuran N°38C). También presentan inclusiones de minerales opacos. La muscovita se encuentra como minerales traza, producto de la alteración (blanqueamiento) de las biotitas. Magnetita se presenta como cristales aislados, y como inclusiones en los minerales máficos, anfíboles, biotitas y piroxenos, en algunas ocasiones se encuentran también en plagioclasas (Figuras N°38D y 38E). Hematita se presenta formando intercrecimiento tipo reticular con la magnetita (Figuras N°38E).

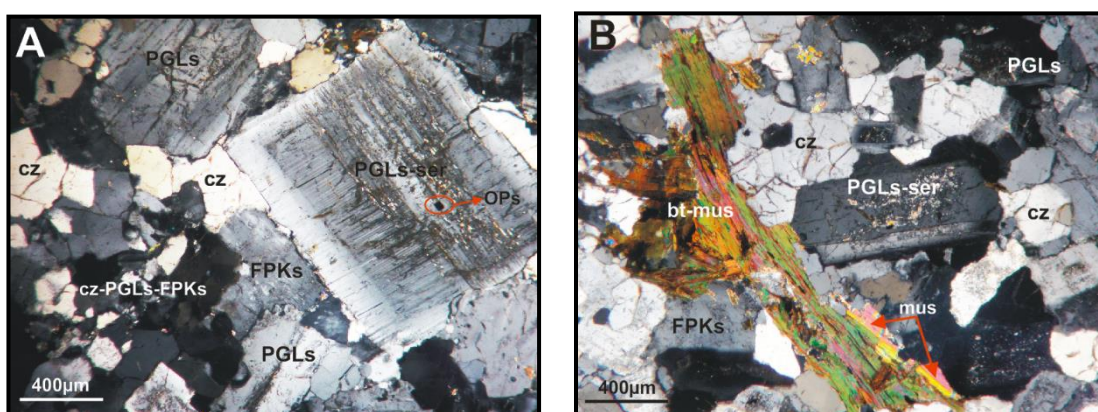
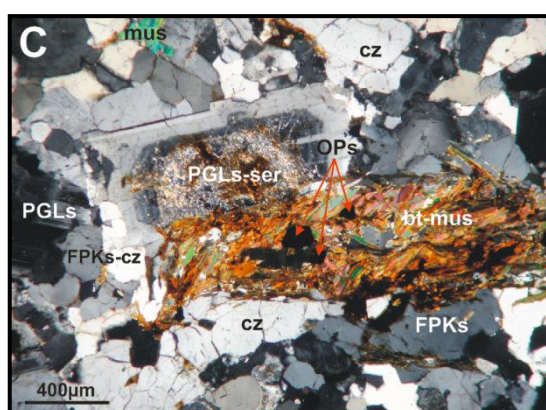
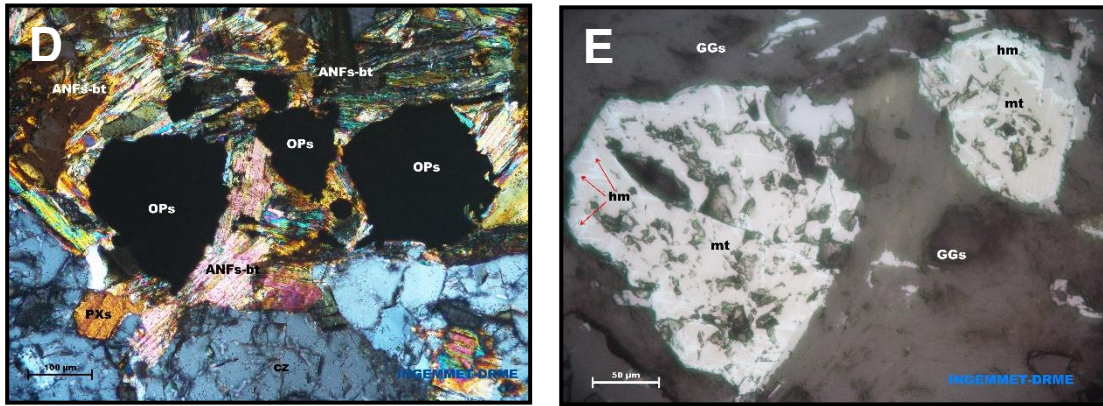


Figura N°32. (A) Fenocristal de plagioclasa (PGLs) alterándose a sericita (ser) en contacto con matriz granular de cuarzo (cz), plagioclasa (PGLs) y feldespato potásico (FPKs). **(B)** Fenocristal de biotita (bt) con alteración a muscovita (mus). NX (10X). Fuente: Propia.



(C) Aglomeración de cristales de biotita (bt) alterándose a muscovita (mus) y con inclusiones de minerales opacos. NX (10X). Fuente: Propia.



(D) Cristales de minerales opacos que se presentan como inclusiones en los cristales de anfíboles-biotita-cloritas (ANFs-bt-CLOs). NP (20X). (E) Hematita (hm) formando intercrecimiento tipo reticular con la magnetita (mt). NP (40X). Fuente: Propia.

MUESTRA: GE39-17f-R-011

CLASIFICACION:

GRANODIORITA

ESTUDIO MACROSCÓPICO

Roca de color gris blanquecino de textura fanerítica de grano medio a grueso, conformada por cristales de plagioclasa, cuarzo y feldespato potásico. Los minerales máficos están conformados por cristales de biotita. Se observa presencia de escasos cristales de muscovita. Presenta densidad media y magnetismo débil.

ESTUDIO MICROSCÓPICO

Minerales principales: PGLs (45%), cz (25%), FPKs (22%)

Minerales accesorios: bt (5%), mus (2%)

Minerales traza: mt (0.6%), hm (0.3%), ser

Minerales secundarios: mus

ALTERACIONES:

- Plagioclasa alterándose a muscovita (sericita).

MODO DE FÁBRICA / TEXTURA:

- Roca holocristalina fanerítica con textura hipidiomórfica inequigranular. Las plagioclasas se presentan formas euhedrales y subhedrales, además de hábitos tabulares, presentan maclas del tipo polisintéticas, y zonación concéntrica. Sus tamaños varían entre los 0.650 mm y los 2.00 mm. En algunos sectores se encuentran alterándose a muscovita y en otros sectores a su variedad sericita (Figura N°39B). El cuarzo ocurre en cristales subhedrales. Presentan tamaños que varían en el intervalo de los 0.125 mm hasta los 1.300 mm. Algunos sectores se encuentran rellenando intersticios entre las plagioclasas y el feldespato potásico. Los cristales de feldespatos potásicos ocurren de formas subhedrales, los tamaños varían desde los 0.125 mm hasta los 1.350 mm. Generalmente se observa su variedad ortosa se encuentra formando textura perítica con la plagioclasa. Además, en algunas zonas también se observa su variedad microclina rellenando intersticios entre los cristales de plagioclasa y reemplazándola. Se encuentra alterándose a muscovita (Figura N°39A). Los anfíboles se presentan como cristales subhedrales y anhedrales, los tamaños llegan como máximo a los 1.575mm. Por sectores tenemos la presencia de hornblenda alterándose a cloritas y también de actinolita-tremolita alterándose a biotita. La biotita se encuentra algunos cristales euhedrales de hábitos tabulares, con tamaños que llegan como máximo a los 2.500mm. Por sectores también se encuentra alterándose a cloritas y con inclusiones de minerales opacos (Figura N°39C). Muscovita como cristales anhedrales, se encuentran producto de la alteración de las plagioclasas y los feldespatos potásicos. Por sectores se presentan inclusiones de minerales opacos. Como minerales opacos se tienen: Magnetita se presenta como cristales aislados, y como inclusiones en los minerales máficos, anfíboles, biotitas y piroxenos, en algunas ocasiones se encuentran también en plagioclasas (Figura N°39D). Hematita se presenta formando intercrecimientos tipo reticular con la magnetita. (Figura N°39E)

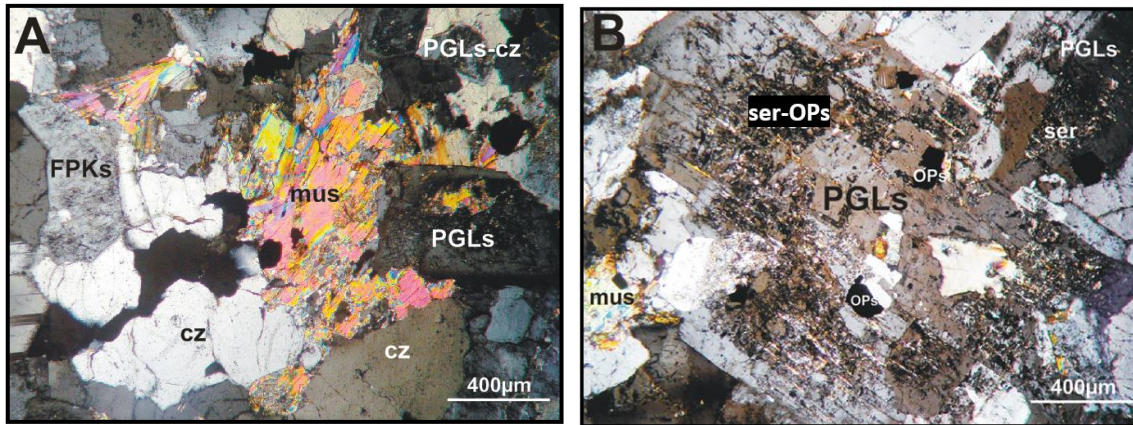
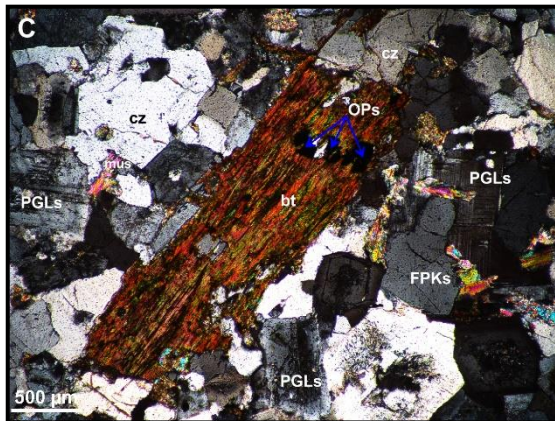
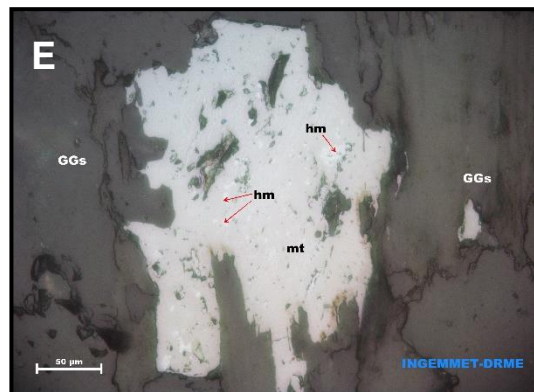
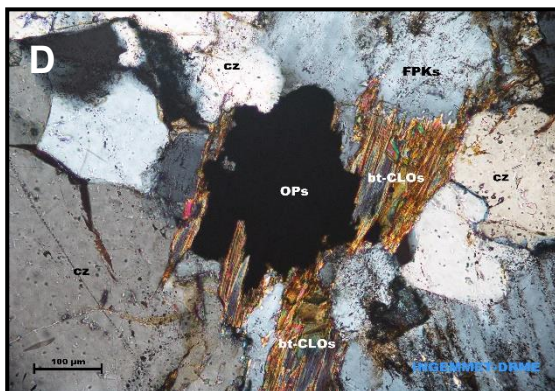


Figura N°33. (A) Cristales de muscovita (mus) producto de alteración de los feldspatos (FPs), e inclusiones de minerales opacos (OPs). **(B)** Cristal de plagioclasa (PGLs) alterándose a sericita (ser) y con inclusiones de minerales opacos. NX (10X). Fuente: Propia.



(C) Cristal de biotita (bt) con inclusiones de minerales opacos (OPs). NX (4X). Fuente: Propia.



(D) Minerales opacos (OPs) reemplazando a las biotitas (bt) las cuales están alterándose a cloritas (CLOs). NX (20X). **(E)** Cristal de hematita (hm) formando intercrecimientos tipo reticular con la magnetita (mt). NP (40X). Fuente: Propia.

MUESTRA: GE39-16e-R-002

CLASIFICACION:

METASIENOGRAITO

ESTUDIO MACROSCÓPICO

Roca de color pardo rosáceo de textura fanerítica de grano grueso, conformada por cristales de plagioclasa, feldespato potásico y cuarzo. Los minerales máficos constituidos por escasos cristales de biotita. Presenta densidad media y no presenta magnetismo.

ESTUDIO MICROSCÓPICO

Minerales principales: FPKs (50.710%), PGLs (25.4%), cz (23.421%)

Minerales accesorios:

Minerales traza: bt (0.6%), ep (0.6%), hm (0.5%), rt (0.1%), zir, mus

Minerales secundarios:

ALTERACIONES:

- Alteración de biotitas a epidotas.

MODO DE FÁBRICA / TEXTURA:

- Roca holocristalina fanerítica con textura hipidiomórfica inequigranular. Por sectores se observa que la muestra parece haber sufrido un proceso de leve metamorfismo, caracterizado por la disgregación de cristales grandes en pequeños (Figura N°40A). Los cristales de feldespato potásico ocurren de formas subhedrales y anhedrales, los tamaños varían desde los 0.5mm hasta los 2mm. En algunos sectores los cristales parecen formar textura del tipo perítica con la plagioclasa. En otras zonas se puede apreciar también la presencia de su variedad microclina (Figura N°40B). Las plagioclasas presentan formas subhedrales y anhedrales además de maclas del tipo polisintéticas. Sus tamaños varían desde los 0.5mm hasta 1mm. En algunos sectores se encuentran alterándose a sericita y por los bordes alterándose a epidota. En ciertas zonas se observan formando textura mirmequítica con el cuarzo. El cuarzo ocurre

en cristales subhedrales. Presentan tamaños que varía desde los 0.25mm hasta 1mm. Se le encuentra asociado con los feldespatos potásicos y las plagioclasas. En algunos sectores se le encuentra formando textura mirmequítica con las plagioclasas. La clorita se presenta en cristales euhedrales. Se encuentra como producto de alteración de la biotita, por lo que aún se pueden observar los moldes de biotita en los cristales de clorita. Además, la encontramos asociada a minerales opacos por sus bordes. Cristales de biotita producto de la alteración de los anfíboles y piroxenos, estas a su vez se encuentran alterándose a epidotas (Figura N°40C). Los cristales de epidota ocurren de formas euhedrales y anhedrales con tamaños submilimétricos. Se encuentran como producto de alteración de las biotitas y de las plagioclasas. En ocasiones se le observa rellanando intersticios. Cristales de zircón como elemento traza. Estos cristales se encuentran como inclusiones en el cuarzo. Minerales opacos se encuentran asociados a las biotitas alteradas y como inclusiones en algunos cristales de feldespato potásico. Hematita se presenta como producto de alteración de magnetita (mt), generalmente se le observa como inclusión en cristales de feldespato (Figura N°40D). Rutilo se presenta como cristales anhedrales a subhedrales asociado a hematita (Figura N°40E).

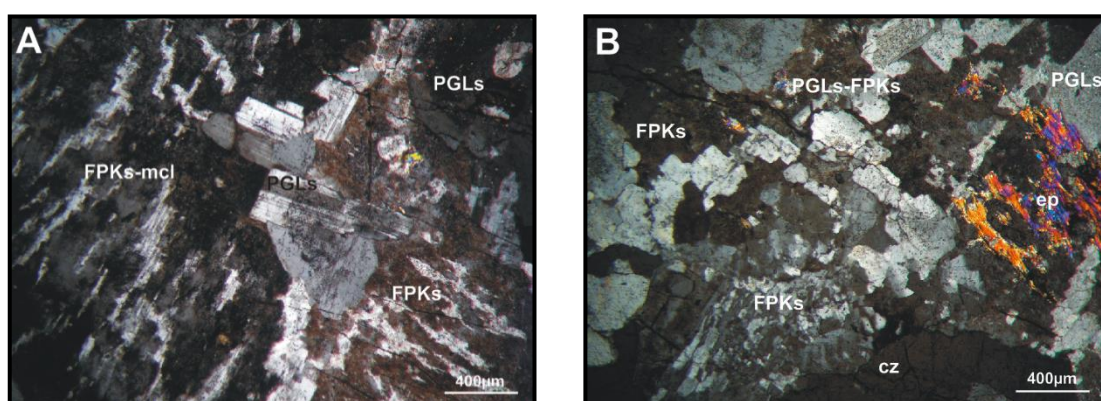
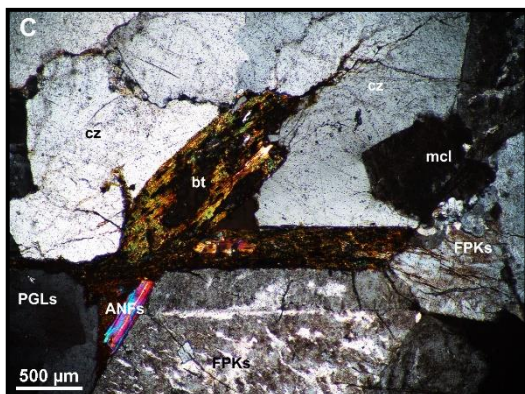
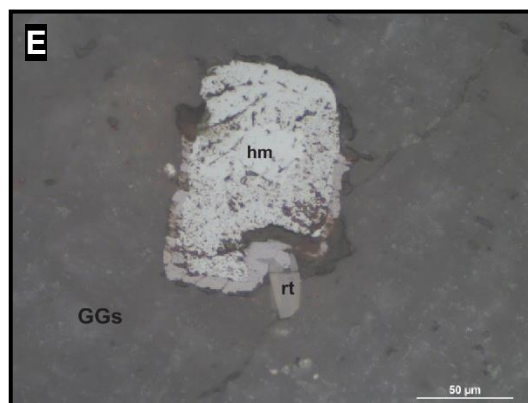
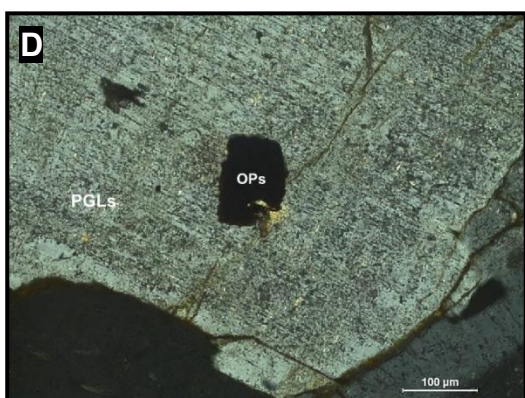


Figura N°34. (A) Feldespato potásico (FPKs) en su variedad microclina (mcl), formando también textura perítica con la plagioclase (PGLs). **(B)** Textura tipo mortero, disgregación de cristales de feldespato potásico. Además, se observa epidota (ep) como alteración de los últimos. NX (5X). Fuente: Propia.



(C) Cristales de biotita (bt) relleno de fracturas en el cuarzo (cz), presentan inclusiones de muscovita (mus). Se observa feldespato potásico (FPKs) con aparente textura perítica. NX (4X). Fuente: Propia.



(D) Cristales de minerales opacos (OPs) como inclusiones en plagioclasas (PGLs). NX (20x). (E) Cristal de hematita (hm) acompañada de rutilo (rt) asociado a esta. NP (20x).

MUESTRA: GE39-16e-R-004

CLASIFICACION:

CUARZO MONZODIORITA

ESTUDIO MACROSCÓPICO

Roca de color gris verdoso de textura fanerítica de grano medio a grueso, conformada por cristales de plagioclasa, cuarzo y feldespato potásico. Los minerales máficos están conformados por cristales de anfíboles y piroxenos los cuales se están alterando a cloritas. Presenta densidad media y magnetismo moderado a alto.

ESTUDIO MICROSCÓPICO

Minerales principales: PGLs (61%), cz (11%), FPKs (9.2%), ANFs (9.8%), PXs (7.2%)

Minerales accesorios: mt (1%), hm (0.6%)

Minerales traza: bt, ep

Minerales secundarios: CLOs

ALTERACIONES:

- Alteración de orden químico caracterizado por presencia de cloritas como producto de alteración de biotitas.

MODO DE FÁBRICA / TEXTURA:

- Roca holocristalina fanerítica con textura hipidiomórfica inequigranular. Las plagioclasas presentan formas euhedrales y anhedrales además de maclas del tipo polisintéticas, concéntricas y combinadas. Sus tamaños varían desde los 0.625mm hasta 3mm. En algunos sectores se encuentran alterándose a epidotas. Presenta inclusiones de minerales máficos y minerales opacos. (Figura N°41B). Los cristales de feldespatos potásicos ocurren de formas anhedrales, los tamaños varían desde los 0.200mm hasta los 0.850mm. En algunos sectores se les observa formando textura del tipo gráfica con el cuarzo. En otras zonas se puede apreciar cristales con inclusiones de minerales opacos. El cuarzo ocurre en cristales subhedrales. Presentan tamaños que varía desde los 0.175mm hasta 0.450mm. Por sectores los cristales se presentan con superficies fracturadas. En algunos sectores se le encuentra formando textura gráfica con el feldespato potásico. (Figura N°41C). Los anfíboles se presentan en cristales euhedrales a subhedrales. Presenta tamaños que varían entre los 0.375mm a los 1.225mm. Por sectores se presenta transformándose a actinolitas-tremolitas de hábito fibroso. Además, se encuentra también alterándose a cloritas. Piroxenos se presentan de formas subhedrales y anhedrales. Generalmente se le observa siendo reemplazado por anfíboles. Presenta inclusiones de minerales opacos. (Figura N°41A). La biotita se presenta en cristales subhedrales de hábitos tabulares. Se encuentra como producto de alteración de los anfíboles, además por sectores se observa biotita de origen hidrotermal rellenando fracturas en los cristales de plagioclasa. Clorita como producto de alteración de las cloritas, por sectores se observa que ésta ha reemplazado completamente a la biotita por lo que podemos ver cristales

remanentes de biotita. Minerales opacos de formas subhedrales, se encuentran como inclusiones en los minerales máficos. Magnetita se presenta como cristales aislados, y como inclusiones en los minerales máficos, anfíboles, biotitas; en algunas ocasiones se encuentran también en los feldespatos. (Figura N°41D). Hematita se presenta formando intercrecimientos tipo lamelar con la magnetita (Figura N°41E).

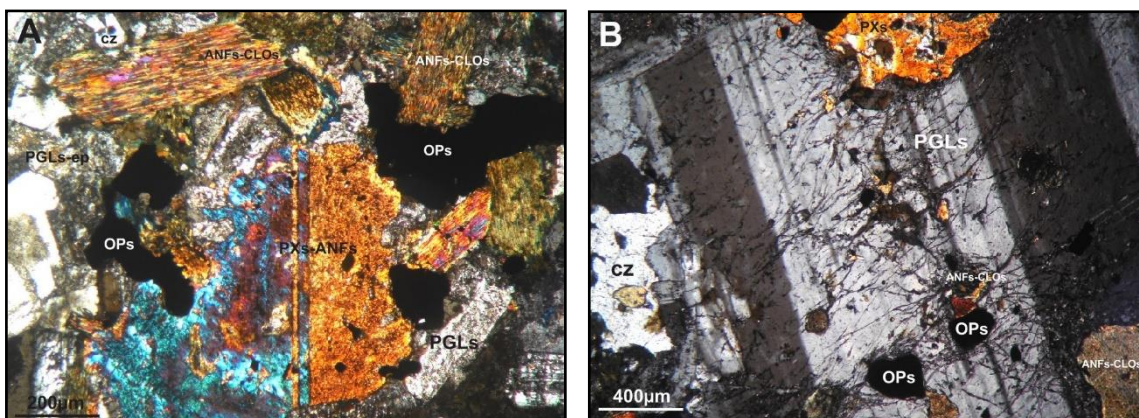
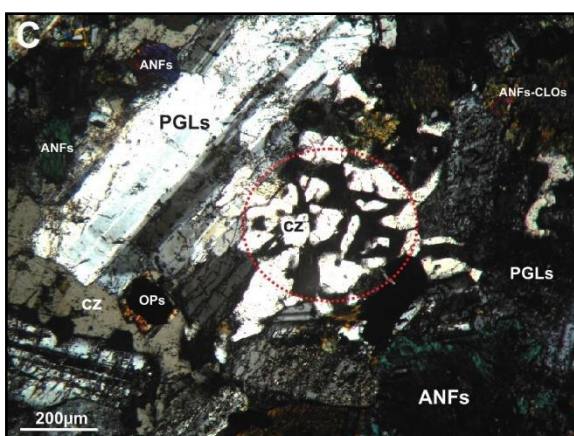
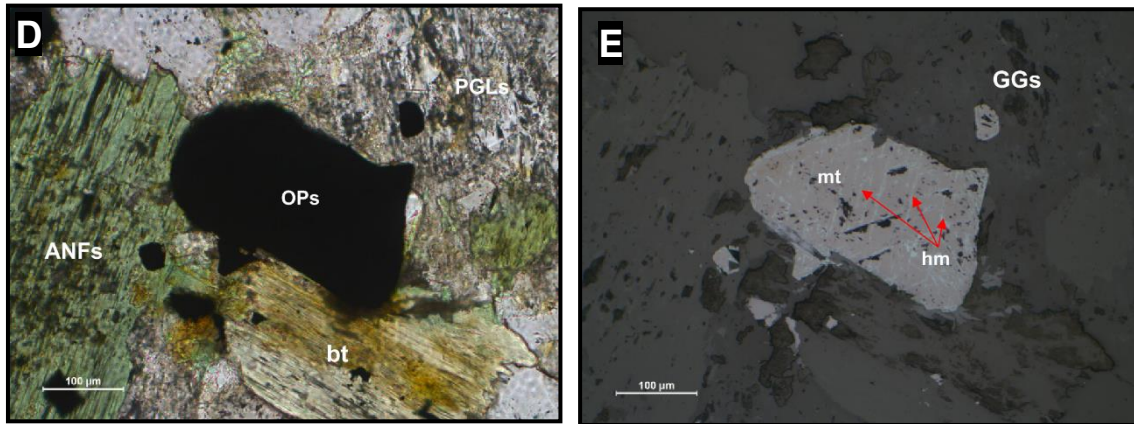


Figura N°35. (A) Cristales de piroxenos (PXs) en proceso de alteración a anfíboles (ANFs), los mismos que se encuentran alterándose a cloritas (CLOs). NX 10X. **(B)** Cristal tabular de plagioclasa (PGLs) con inclusiones de piroxeno (PXs), anfíbol (ANFs) y además minerales opacos (OPs). NX 4X. Fuente: Propia.



(C) Cristales tabulares de plagioclasa (PGLs) y cuarzo (CZ) el cual presenta superficie fracturada. NX 10X. Fuente: Propia.



(D) Minerales opacos diseminados y asociados junto con los minerales máficos (ANFs-bt). NP (20x). (E) Cristal de magnetita con exsolución lamelar de hematita (mt-hm). NP (20x). Fuente: Propia.

MUESTRA: GE39-16e-R-005

CLASIFICACION: GRANODIORITA

ESTUDIO MACROSCÓPICO

Roca de color gris blanquecino de textura fanerítica de grano medio, conformada por cristales de plagioclasa, cuarzo y feldespato potásico. Los minerales máficos están conformados por cristales de anfíbol los cuales se encuentran alterándose a clorita. Presenta densidad media y magnetismo débil a moderado.

ESTUDIO MICROSCÓPICO

Minerales principales: PGLs (62.797%), cz (21.630%), FPKs (10.572%)

Minerales accesorios: ANFs (3.888%)

Minerales traza: CLOs, ep, mt (0.6%), hm (0.3%), ilm (0.1%)

Minerales secundarios: CLOs, ep,

ALTERACIONES:

- Anfíboles con alteración a cloritas

MODO DE FÁBRICA / TEXTURA:

- Roca holocristalina fanerítica con textura hipidiomórfica inequigranular. Las plagioclasas se presentan formas euhedrales y subhedrales, además

de hábitos tabulares, presentan maclas del tipo polisintéticas, y zonación concéntrica. Sus tamaños varían entre los 1.00 mm y los 3.50 mm. En algunos sectores los cristales se presentan algo fracturados y con aparente alteración a sericita a partir de sus planos de fractura. En otros sectores se observan los cristales con pequeñas inclusiones de epidota (Figura N°42B). El cuarzo ocurre en cristales subhedrales y anhedrales. Presentan tamaños que varían en el intervalo de los 0.75 mm hasta los 1.55mm. Los cristales presentan su superficie turbia y en algunos casos fracturada. Los cristales de feldespatos potásicos ocurren de formas subhedrales y anhedrales, los tamaños varían desde los 0.45 mm hasta los 0.80 mm. Generalmente se le observa formando textura perítica con la plagioclasa. Además, en ciertas zonas los cristales se encuentran con leve alteración a sericita. Los anfíboles se presentan como cristales euhedrales y anhedrales, los tamaños llegan como máximo a los 1.50 mm. Por sectores tenemos los cristales se encuentran alterándose a cloritas. epidotas y también se observa la presencia de actinolita-tremolita como finos cristales aciculares (Figuras N°42A y N°42C). Cloritas se encuentran como producto de alteración de los anfíboles y biotitas. (Figura N°42C). La epidota como pequeños cristales anhedrales y subhedrales incluidos en los cristales de plagioclasas y en algunos sectores también en cristales de anfíboles. Minerales opacos como inclusiones en los minerales máficos. Los cristales de magnetita se encuentran como inclusiones en los cristales de los anfíboles (Figura N°42D). Ilmenita formando intercrecimientos tipo lamelar con la magnetita. Por sectores esta se encuentra alterándose parcialmente a rutilo, encontrándose cristales remanentes en su interior. (Figura N°42E). Hematita formando intercrecimiento tipo reticular con la magnetita. (Figura N°42E)

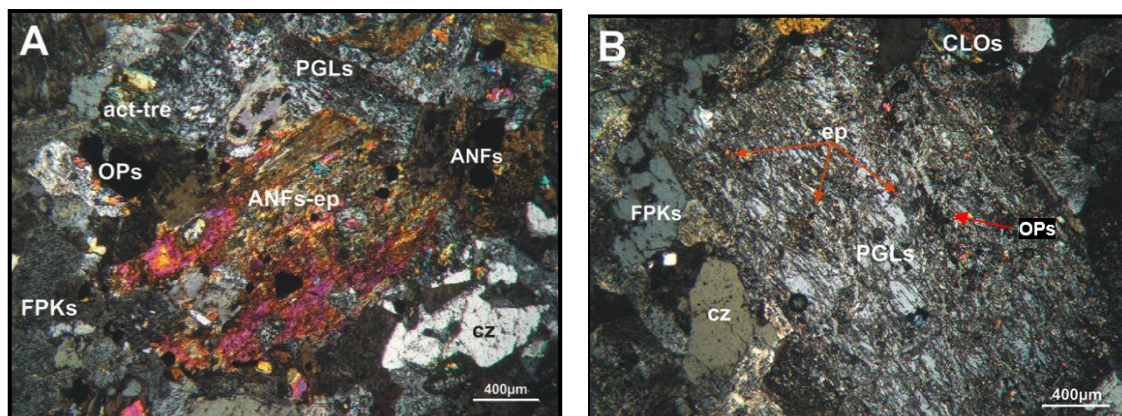
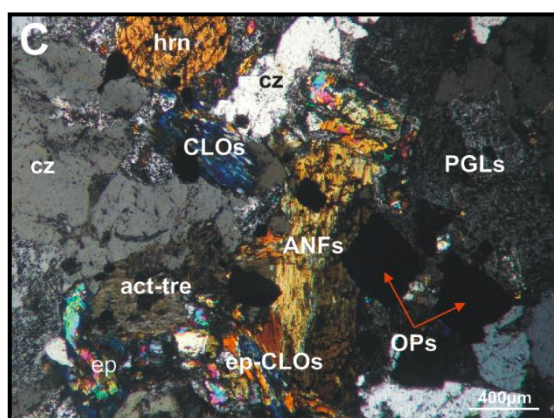
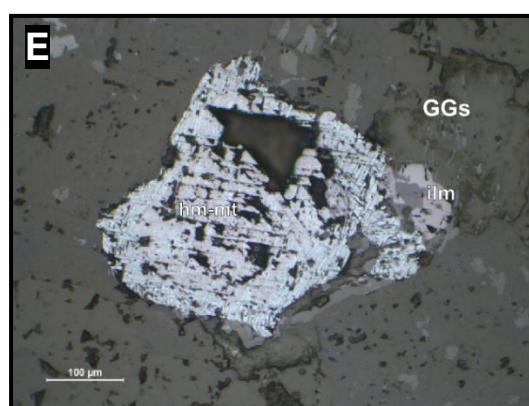
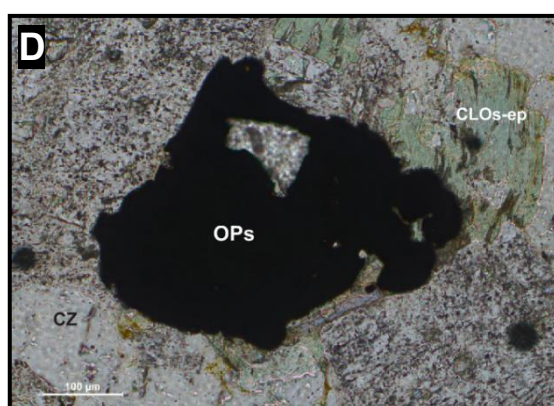


Figura N°36. (A) Cristal de anfíbol (ANFs) alterándose a epidota (ep), además presencia de actinolita-tremolita (act-tre) y opacos (OPs) como inclusiones en los máficos. **(B)** Fenocristal de plagioclasa (PGLs) con inclusiones de epidota (ep) y opacos (OPs). NX (5X). Fuente: Propia.



(C) Cristal de anfíbol (ANFs) alterándose a epidota (ep) y cloritas (CLOs). Los minerales opacos (OPs) se encuentran como inclusiones en máficos y feldespatos. NX (5X). Fuente: Propia.



(D) Minerales opacos asociados con moldes de máficos alterados a cloritas y epidota (CLOs-ep). NP (20x). **(E)** Cristal de hematita en exsolución lamelar en magnetita (hm-mt), junto con ilmenita (ilm). NP (20x). Fuente: Propia.

4.1.2. Estudios petromineralográficos de las muestras del batolito de la cordillera Blanca.

MUESTRA: GE39-18h-R-001

CLASIFICACION: CUARZO MONZODIORITA

ESTUDIO MACROSCÓPICO

Roca de color gris blanquecino de textura fanerítica de grano grueso, conformada por cristales de plagioclasa, cuarzo y feldespato potásico. Los minerales máficos están conformados por cristales de biotita. Presenta densidad media y no presenta magnetismo.

ESTUDIO MICROSCÓPICO

Minerales principales: PGLs (54.066%), cz (16.050%), FPKs (14.166%), bt (9.66%), ANFs (5.058%)

Minerales accesorios:

Minerales traza: ap, ilm (0.85%), hm (0.15%)

Minerales secundarios: CLOs

ALTERACIONES:

- Leve alteración de cloritas a biotita.

MODO DE FÁBRICA / TEXTURA:

- Roca holocristalina fanerítica con textura hipidiomórfica inequigranular. Las plagioclasas se presentan formas euhedrales y subhedrales, además de hábitos tabulares, presentan maclas del tipo polisintéticas, y zonación concéntrica. Sus tamaños varían entre los 0.70 mm y los 2.50 mm. En algunos sectores se encuentran alterándose a arcillas. En otros sectores se le observa siendo reemplazada por los feldespatos potásicos. (Figura N°43C). Los cristales de feldespatos potásicos ocurren de formas subhedrales y anhedrales, los tamaños varían desde los 1.00 mm hasta los 2.50 mm. Generalmente se le observa formando textura pertítica con la plagioclasa. Además, encontramos su variedad microclina. Por

sectores se observa que se encuentran englobando a minerales máficos además de presentarse sustituyendo a las plagioclasas (Figuras N°42A y N°43B). El cuarzo ocurre en cristales subhedrales y anhedrales. Presentan tamaños que varían en el intervalo de los 0.35 mm hasta los 1.65mm. Los cristales presentan su superficie turbia y en algunos casos fracturada. La biotita se presenta como cristales subhedrales, con hábitos prismáticos. Se presentan siendo englobados por feldespato potásico. Además, se encuentran alterándose a cloritas y como producto de alteración de los anfíboles. Se le observa también como producto de alteración de anfíboles. (Figuras N°43B). Los anfíboles se presentan como cristales subhedrales y anhedrales, los tamaños llegan como máximo a los 1.25mm. Los encontramos en su variedad hornblenda. Además, se encuentran alterándose a cloritas. (Figura N°43A). Cloritas se encuentran como producto de alteración de los anfíboles y biotitas. La esfena se encuentra como mineral traza. Generalmente la encontramos entre los remanentes de minerales máficos. Los minerales opacos se encuentran como inclusiones en los cristales de los anfíboles. (Figura N°43D). La ilmenita se presenta en cristales subhedrales y anhedrales (Figura N°43E). Hematita formando intercrecimiento tipo lamelar con la ilmenita (Figura N°43E).

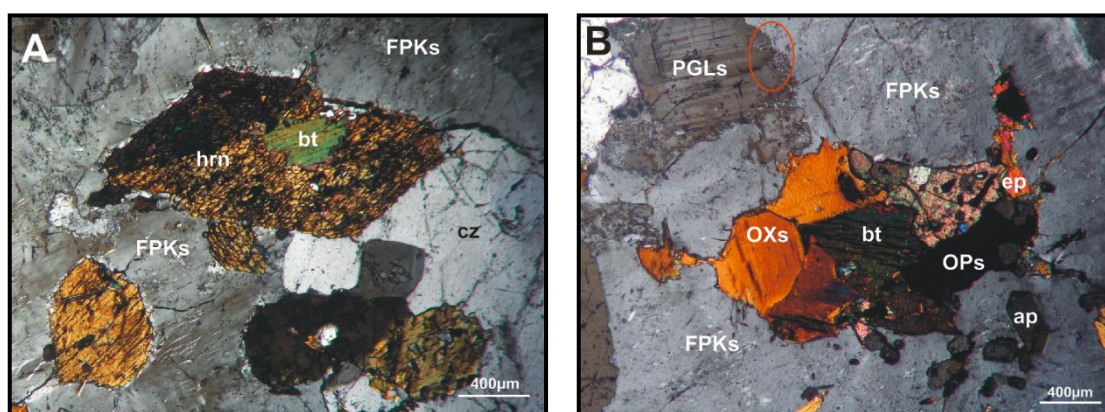
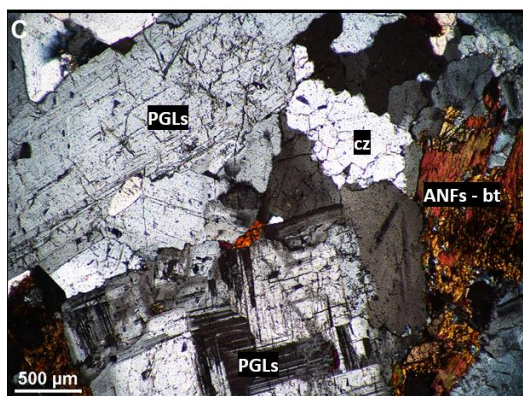
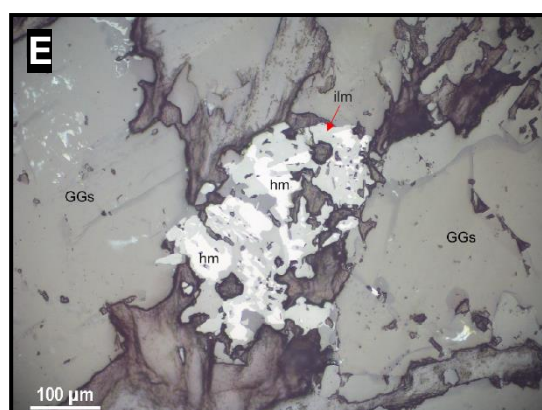
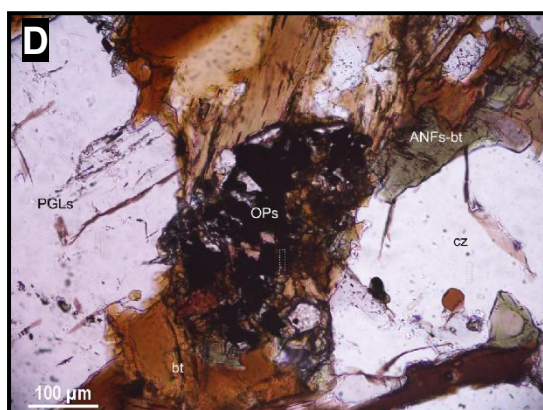


Figura N°37. (A) Cristal de hornblenda (hrn) alterándose a biotita (bt), siendo englobados por feldespato potásico (FPKs). **(B)** Textura mirmequítica (en círculo rojo), además feldespato potásico englobando a biotita, óxidos y opacos. NX (5X). Fuente: Propia.



(C) Cristales de plagioclasas (PGLs) que se presentan de formas tabulares y maclas combinadas. NX (4X). Fuente: Propia



(D) Cristales de plagioclase (PGLs) y anfíbol (ANFs) con inclusiones de minerales opacos (OPs). NP (20x). (E) Cristal anhedral de ilmenita (ilm), reemplazada por hematita (hm) formando intercrecimiento del tipo lamelar. NP (20x). Fuente: Propia.

MUESTRA: GE39-18h-R-002

CLASIFICACION:

CUARZO MONZODIORITA

ESTUDIO MACROSCÓPICO

Roca de color gris blanquecino de textura fanerítica de grano grueso, conformada por cristales de plagioclase, cuarzo y feldespato potásico. Los minerales máficos están conformados por cristales de anfíbol. En algunos sectores se aprecia presencia de cristales de esfena. Presenta densidad media y magnetismo moderado.

ESTUDIO MICROSCÓPICO

Minerales principales: PGLs (49.727%), FPKs (20.90%), cz (16.6%)

Minerales accesorios: ANFs (3.773%)

Minerales traza: bt, efn, ap, mt (0.75%), hm (0.25%)

Minerales secundarios: CLOs

ALTERACIONES:

- Anfíboles alterándose a cloritas.

MODO DE OCURRENCIA/TEXTURA:

- Roca holocristalina fanerítica con textura hipidiomórfica inequigranular. Las plagioclasas se presentan formas euhedrales y subhedrales, además de hábitos tabulares, presentan maclas del tipo polisintéticas, y macla de la albita. Sus tamaños varían entre los 0.575 mm y los 2.500 mm. En algunos sectores se encuentran con leve alteración a sericita. (Figura N°44C). Los cristales de feldespatos potásicos ocurren de formas subhedrales y anhedrales, los tamaños varían desde los 0.750 mm hasta los 2.425 mm. Se le observa formando textura perítica con la plagioclasa. Además, encontramos su variedad microclina. El cuarzo ocurre en cristales subhedrales y anhedrales. Presentan tamaños que varían en el intervalo de los 0.800 mm hasta los 1.650mm en algunos casos los cristales presentan su superficie fracturada. Los anfíboles se presentan como cristales euhedrales y subhedrales, los tamaños llegan como máximo a los 0.625m. Los encontramos en su variedad hornblenda. Con inclusiones de minerales opacos y asociado a esfenas. (Fig. N°44A). La biotita se presenta como cristales subhedrales, con hábitos prismáticos. Los tamaños de los cristales varían entre los 0.750 mm y los 1.250 mm. Además, presentan inclusiones de apatito. La esfena se encuentra como mineral traza, presenta formas rómbicas. Generalmente la encontramos asociada a los minerales máficos. Presenta inclusiones de apatito. (Figura N°44B). Apatito se presenta como pequeños cristales de formas euhedrales tabulares. Generalmente se le observa como inclusiones en los cristales biotita y esfena. Las cloritas se presentan como producto de alteración de anfíboles. Minerales opacos como inclusiones en los minerales máficos y plagioclasas. Los cristales de magnetita se

encuentran como relleno de intersticios entre los cristales de plagioclasas y como inclusiones en los anfíboles. (Figura N°44D). Los cristales de magnetita se presentan de formas subhedrales, en algunas ocasiones presentan intercrecimiento lamelar con la hematita. (Figura N°44E).

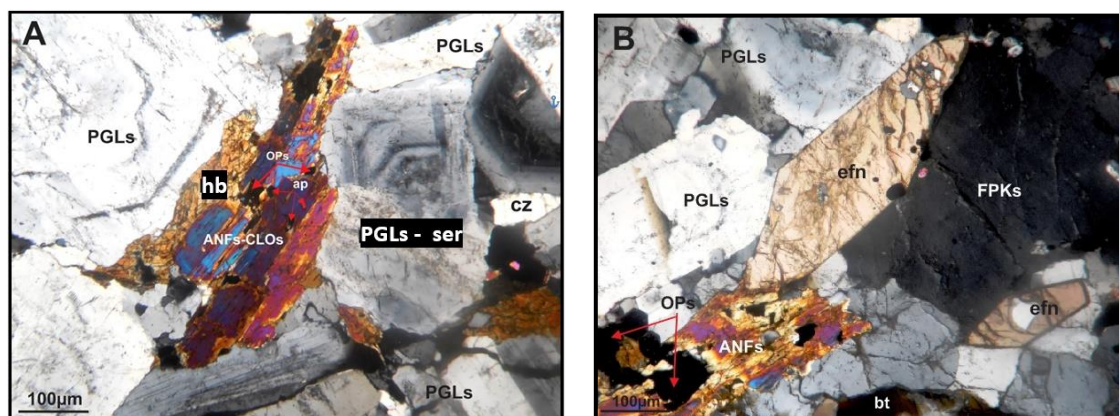
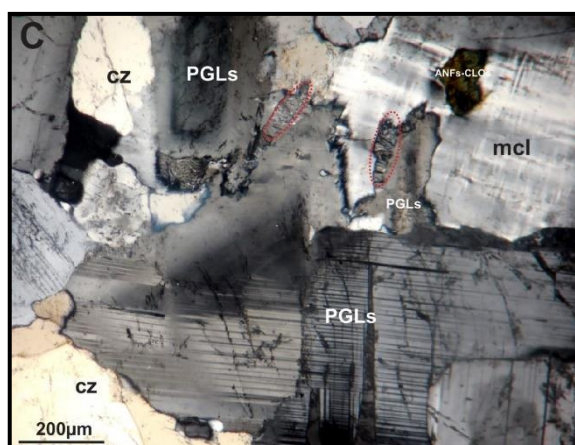
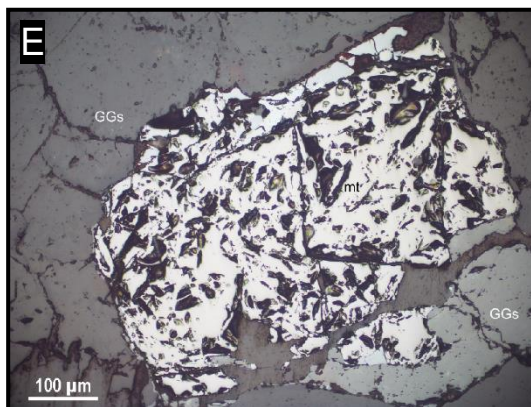
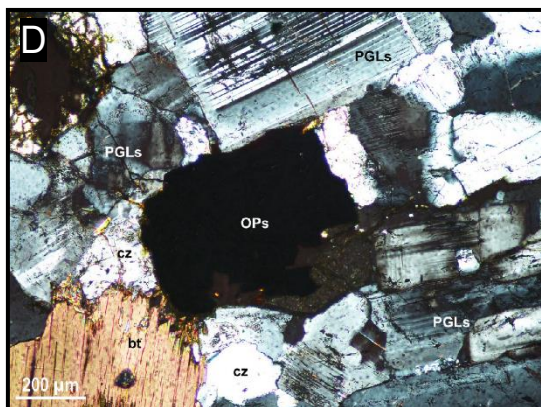


Figura N°38. (A) Cristal de hornblenda (hrn) alterándose a cloritas (CLOs). (B) Cristal euhedral de esfena (efn) con inclusiones de apatito (ap) y cristales anhedral de anfíbol (ANFs) con inclusiones de opacos (OPs). NX 10X. Fuente: Propia.



(C) Cristales de plagioclase (PGLs) formando aparente textura mirmequítica con microclina (mcl) (CLOs). NX 20X. Fuente: Propia.



(D) Cristal de magnetita la cual se presenta como relleno de espacios entre plagioclasas y como inclusiones en anfíboles. NX (10x). (E) Cristal subhedral de magnetita (mt). NP (20x). Fuente: Propia.

MUESTRA: GE39-18h-R-003

CLASIFICACION:

META GRANODIORITA

ESTUDIO MACROSCÓPICO

Roca de color gris oscuro de textura fanerítica de grano grueso, conformada por cristales de plagioclasa, cuarzo y feldespato potásico. Los minerales máficos están conformados por cristales de biotita. En algunas zonas se observan cristales de esfena. La muestra se encuentra levemente metamorfozada. Presenta densidad media y magnetismo moderado.

ESTUDIO MICROSCÓPICO

Minerales principales: PGLs (54.066%), cz (20.050%), FPKs (10.166%), bt (12.33%)

Minerales accesorios: efn (2.16%)

Minerales traza: mt (0.85%), hm (0.15%), zir

Minerales secundarios: CLOs, mus

ALTERACIONES:

- Plagioclasa alterándose a muscovita.
- Biotita alterándose a cloritas.

MODO DE FÁBRICA / TEXTURA:

- Roca holocristalina fanerítica con textura hipidiomórfica inequigranular. Las plagioclasas se presentan formas euhedrales y subhedrales, además de hábitos tabulares, presentan maclas del tipo polisintética, combinadas y zonación concéntrica. Sus tamaños varían entre los 0.575 mm y los 2.500 mm. Se encuentra formando textura mirmequítica con cuarzo. Por sectores se presenta flexurada y orientada y con inclusiones de biotita, muscovita y minerales opacos. (Figura N°45A). El cuarzo ocurre en granoblastos subhedrales y anhedrales. Presentan tamaños que varían en el intervalo de los 0.800 mm hasta los 1.650mm. En algunos casos los granoblastos presentan su superficie fracturada, se encuentran además orientados en bandas. Forma textura mirmequítica con la plagioclasa y presenta inclusiones de esfenas y opacos. (Figura N°45C). Los granoblastos de feldespatos potásicos ocurren de formas subhedrales y anhedrales, los tamaños varían desde los 0.750 mm hasta los 2.425 mm. Los granoblastos se presentan fracturados y orientados. En algunas zonas se le ve formando textura pertítica con la plagioclasa. La biotita se presenta como granoblastos subhedrales, con hábitos prismáticos. Los tamaños de los cristales varían entre los 0.750 mm y los 1.250 mm. Se encuentran flexurados y deformados a manera de bandas. Generalmente se encuentran en pequeñas aglomeraciones tipo nidos. En algunos sectores se presenta alterándose a cloritas y con inclusiones de minerales opacos. (Figura N°45B). La esfena se encuentra como mineral traza, presenta formas rómbicas. Presenta inclusiones de minerales opacos y se asocia a biotita y plagioclasas. Minerales opacos como inclusiones en los minerales máficos y plagioclasas. Cloritas como producto de alteración de la biotita. Los cristales de magnetita se encuentran como relleno de intersticios entre los cristales de plagioclasas y como inclusiones en los anfíboles. (Figura N°45D). En algunas ocasiones presentan intercrecimiento lamelar con la hematita. (Figura N°45E)

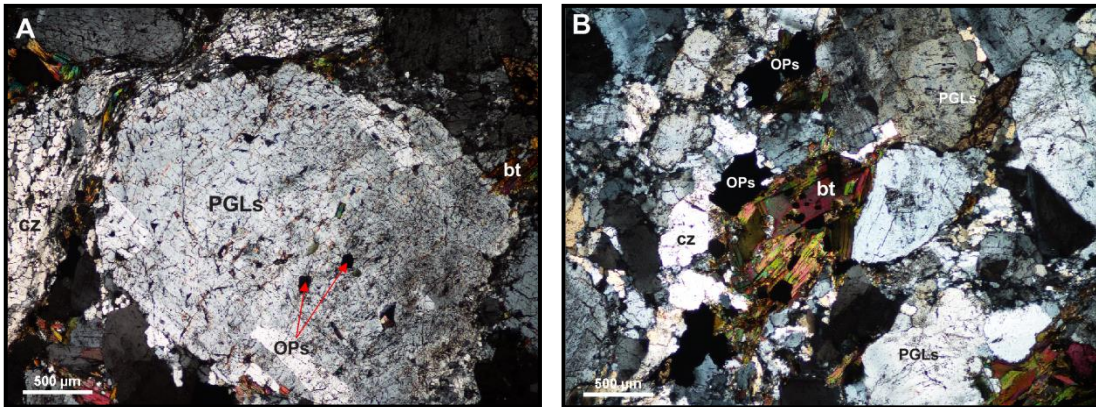
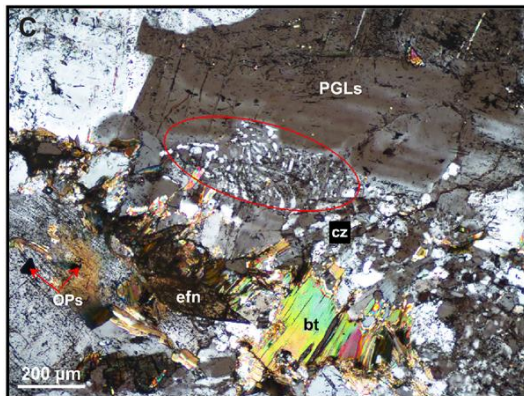
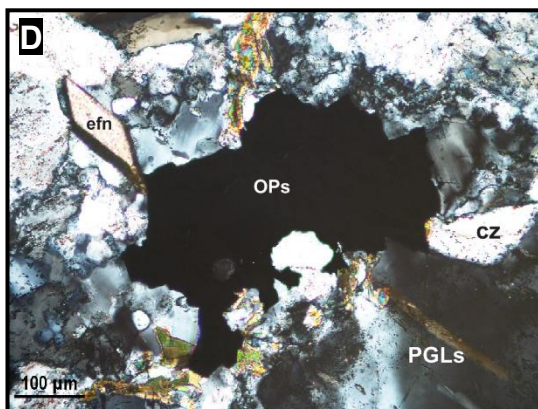


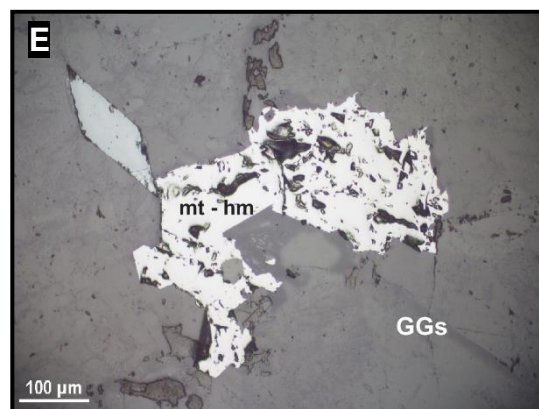
Figura N°39. (A) Cristal de plagioclasa (PGLs) con inclusiones de opacos (OPs); en la margen izquierda, granoblastos de cuarzo (cz) en bandas. **(B)** Cristales de biotita (bt) formando nidos, presentan además inclusiones de opacos. NX (4X). Fuente: Propia.



(C) Textura mirmequítica (en círculo rojo) formada entre plagioclasa (PGLs), cuarzo (cz) y feldespato potásico (FPKs). NX (10X). Fuente: Propia.



(D) Minerales opacos (OPs) como relleno de espacios, asociado a esfena (efn). NX (20x).



(E) Cristal de magnetita (mt) formando intercrecimiento del tipo reticular con la hematita (hm). NP (20x). Fuente: Propia.

MUESTRA: GE39-18h-R-004

CLASIFICACION: META GRANODIORITA

ESTUDIO MACROSCÓPICO

Roca de color gris claro de textura fanerítica de grano grueso, conformada por cristales de plagioclasa, cuarzo y feldespato potásico. Los minerales máficos están conformados por cristales de biotita que por sectores están alterándose a clorita. La muestra se encuentra levemente metamorfizada. Presenta densidad media y magnetismo moderado.

ESTUDIO MICROSCÓPICO

Minerales principales: PGLs (60.75%), cz (28.75%), FPKs (5.00%), bt (11.40%)

Minerales accesorios:

Minerales traza: efn, mt (0.65%), hm (0.15%), ap

Minerales secundarios: CLOs, mus

ALTERACIONES:

- Plagioclasa alterándose a muscovita.
- Biotita alterándose a cloritas.

MODO DE FÁBRICA / TEXTURA:

- Roca holocristalina fanerítica con textura hipidiomórfica inequigranular. Las plagioclasas se presentan formas euhedrales y subhedrales, además de hábitos tabulares, presentan maclas del tipo polisintéticas. Sus tamaños varían entre los 0.575 mm y los 2.500 mm. En algunas zonas se le observa alterándose a sericita. Se encuentra formando textura pertítica con el feldespato potásico. Presenta inclusiones de biotita y minerales opacos. (Figura N°46A). Los granoblastos de feldespatos potásicos ocurren de formas subhedrales y anhedrales, los tamaños varían desde los 0.750 mm hasta los 2.425 mm. Los granoblastos se presentan fracturados y ligeramente orientados. En algunas zonas se le ve formando

textura pertítica con la plagioclasa y siendo reemplazada por cuarzo. El cuarzo ocurre en granoblastos subhedrales y anhedrales. En algunos casos los granoblastos presentan su superficie fracturada, se encuentran además orientados en bandas. En algunas zonas se presentan reemplazando a los feldespatos potásicos. (Figura N°46C). La biotita se presenta como granoblastos euhedrales a subhedrales, con hábitos prismáticos. Se les observa flexurados y deformados a manera de bandas. Generalmente se encuentran en pequeñas aglomeraciones tipo nidos. Algunos granoblastos presentan inclusiones de minerales opacos y zircón. (Figura N°46B). La esfena se encuentra como mineral traza, presenta formas rómbicas. Presenta inclusiones de minerales opacos y se asocia a biotita. Minerales opacos como inclusiones en los minerales máficos, cuarzo y feldespatos. Los cristales de magnetita se presentan de formas subhedrales, como relleno de intersticios entre los cristales de plagioclasas y como inclusiones en los anfíboles. (Figura N°46D). En algunas ocasiones presentan intercrecimiento lamelar con la hematita (Figura N°46E).

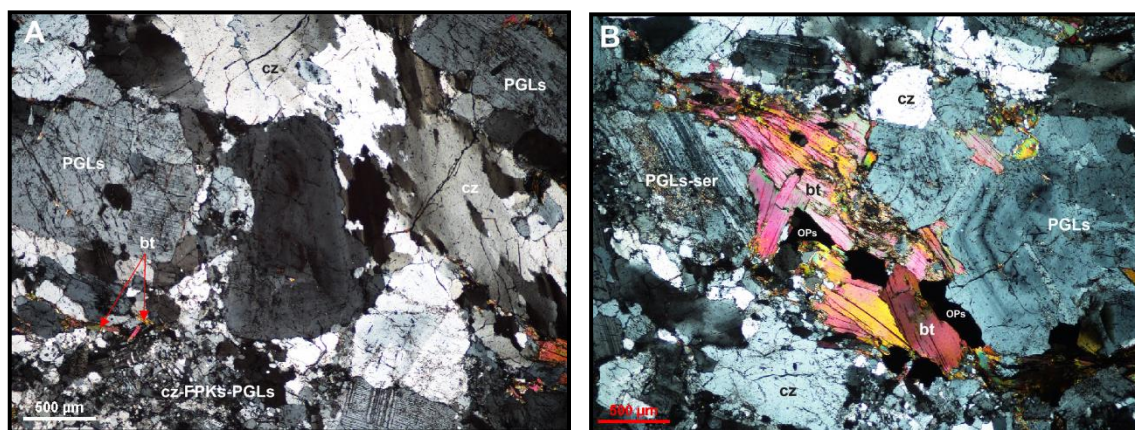
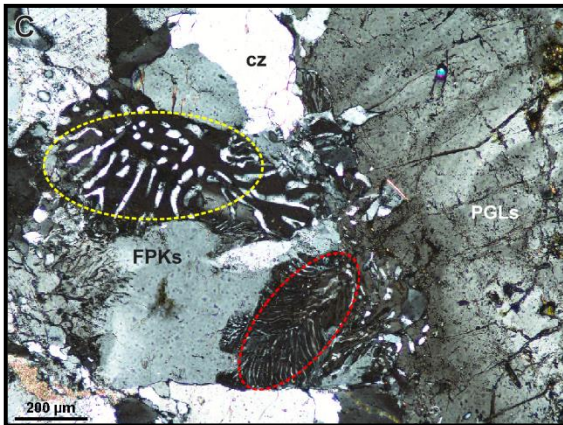
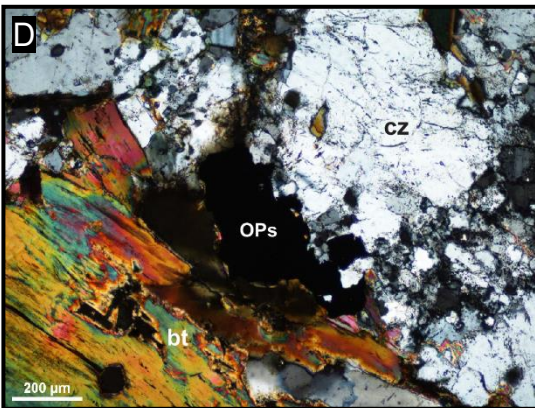


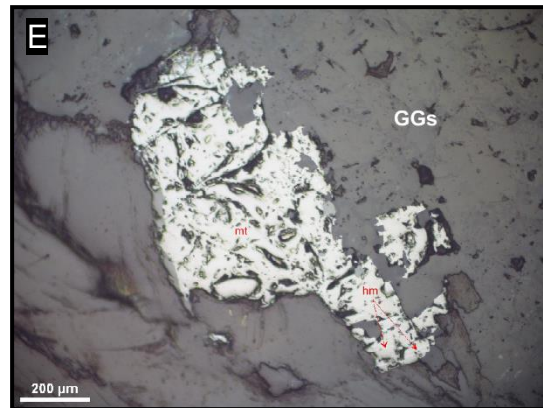
Figura N°40. (A) Blastos de plagioclasa (PGLs) siendo reemplazados por cuarzo (CZ). **(B)** Blastos de biotita (bt) formando aglomeraciones o “nidos” con inclusiones de opacos (OPs). NX (4X). Fuente: Propia.



(C) Textura simplectítica (en rojo y amarillo) formada entre feldespato potásico (FPKs) y cuarzo (cz) y plagiocasa (PGLs). NX (10X).
Fuente: Propia.



(D) Mineral opaco (OPs) como relleno de espacios, asociado a biotita (bt). NX (10x).



(E) Cristal de magnetita (mt) con intercrecimiento de tipo lamelar con hematita (hm). NP (20x).

Fuente: Propia.

MUESTRA: GE39-20i-R-001

CLASIFICACION:

GRANODIORITA PORFIRITICA

ESTUDIO MACROSCÓPICO

Roca de color gris blanquecino de textura porfírica. Los fenocristales están conformados por cristales de plagioclasa, cuarzo, feldespato potásico, biotita y escasa esfena. La matriz cristalina compuesta por feldespatos y cuarzo. Presenta densidad media y magnetismo débil.

ESTUDIO MICROSCÓPICO

Minerales principales: Fenocristales: PGLs (20%), cz (14%), FPKs (12%)

Matriz: PGLs (26.9%), cz (14.7%), FPKs (10.6%)

Minerales accesorios:

Minerales traza: Fenocristales: bt (1%), efn; Matriz: bt (0.4%), mt (0.3%)

Minerales secundarios: ser, ep, CLOs

ALTERACIONES:

- Plagioclase alterándose a sericita.
- Anfíboles alterándose a cloritas.
- Biotita alterándose a epidota.

MODO DE FÁBRICA / TEXTURA:

- Roca de textura porfírica, donde la relación fenos/matriz es de: 1/1.1. Compuesta principalmente por fenocristales de cuarzo, plagioclase y microclina. Además, la matriz granular de grano grueso, está compuesta por cristales de cuarzo, plagioclase, ortosa y biotita. (Figura N°47B). Las plagioclases se presentan como fenocristales de formas subhedrales y anhedrales, de hábitos tabulares, además se observan maclas polisintéticas y zonaciones concéntricas. Presentan tamaños que varían desde 1.625mm y 2.500mm. Forma textura poiquilítica con la plagioclase, y por sectores se le observa formando textura mirmequítica con la ortosa y el cuarzo. Por sectores algunos de los cristales se observan levemente deformados. En la matriz las plagioclases se encuentran como pequeños cristales, en algunos sectores siendo asimiladas por el feldespato potásico. (Figura N°47A). El cuarzo ocurre se presenta como fenocristales de formas subhedrales, con tamaños que varían entre los 1.750 mm y los 2.500 mm. Por sectores se observa que la superficie de los granos se encuentra fracturados y formando textura mirmequítica con los feldespatos. En la matriz el cuarzo se encuentra rellenando intersticios y microvenillas. Los feldespatos potásicos se presentan como fenocristales de formas subhedrales, los tamaños llegan hasta los 2.500 mm. Por sectores se observa la presencia de la variedad microclina que se encuentra reemplazando a la biotita y con inclusiones de máficos; se presenta también formando textura mirmequítica con la plagioclase y el cuarzo. En la matriz se observa los cristales feldespatos potásicos en su

variedad ortosa, presentes junto al cuarzo como relleno en las pequeñas microvenillas. (Figura N°47C). La biotita se encuentra como fenocristales euhedrales, con hábitos tabulares y tamaños variables que van desde 0.650 mm a los 2.250 mm. En algunos sectores los cristales presentan con inclusiones de máficos. En otros sectores se presentan como remanentes dentro de los cristales de microclina (Figura N°47A). Cristales de epidota como producto de alteración de la biotita. Esfena, apatito, zircón como minerales accesorios incluido en los cristales de cuarzo. Los cristales de magnetita se presentan generalmente como inclusiones en los cristales de biotita o asociados a esta (Figura N°47D). Los cristales de magnetita se presentan de formas subhedrales hasta anhedrales, en muy escasas ocasiones se presenta formando intercrecimiento del tipo lamelar con la hematita (Figura N°47E).

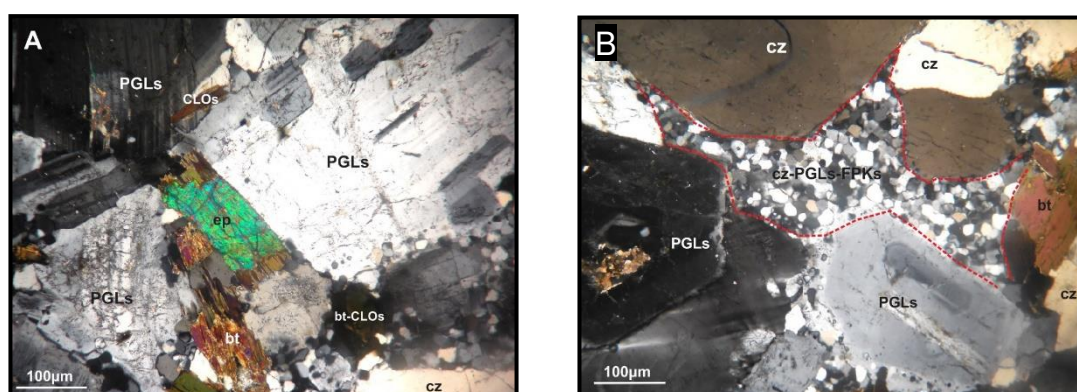
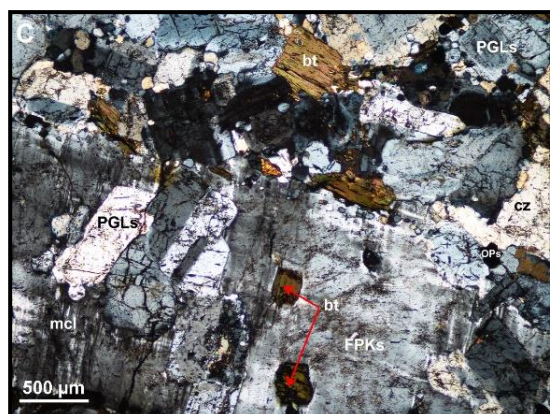
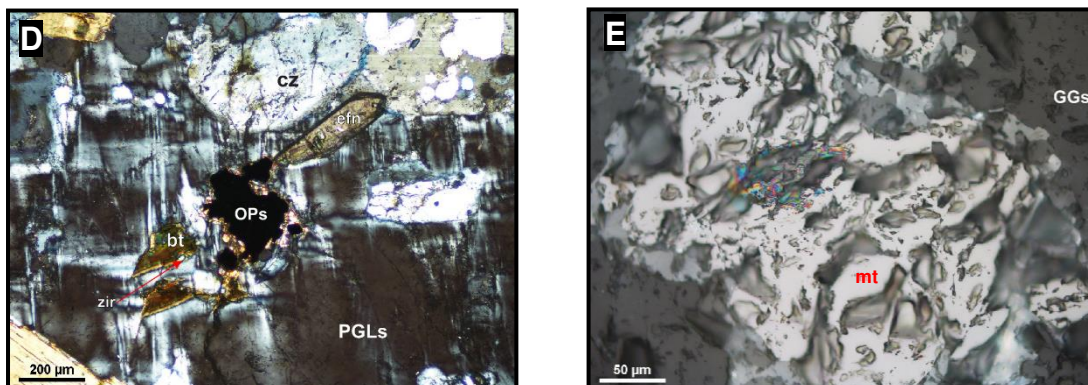


Figura N°41. (A) Cristales de biotita (bt) alterándose a epidota (ep) y cloritas (CLOs). **(B)** Matriz granular compuesta por cuarzo (cz) – plagioclase (PGLs) y feldespato potásico (FPKs). NX 10X. Fuente: Propia.



(C) Cristales de feldespato potásico en su variedad microclina (mcl), con inclusiones de plagioclase (PGLs) y biotita (bt). NX 4X. Fuente: Propia.



(D) Mineral opaco (OPs) la cual se presenta como inclusión en el cristal de biotita. NX (10x). (E) Cristal anhedral de magnetita. NP (50x). Fuente: Propia.

MUESTRA: GE39-20i-R-002

CLASIFICACION: GRANODIORITA

ESTUDIO MACROSCÓPICO

Roca de color gris blanquecino de textura fanerítica de grano grueso, conformada por cristales de plagioclasa, cuarzo y feldespato potásico. Los minerales máficos están conformados por cristales de anfíbol y biotita. Presenta densidad media y no presenta magnetismo.

ESTUDIO MICROSCÓPICO

Minerales principales: PGLs (55.6%), cz (22.6%), FPKs (12.6%), ANFs (6.2%)

Minerales accesorios: bt (3%)

Minerales traza: zir, mt (0.3%), hm (0.1%)

Minerales secundarios: CLOs

ALTERACIONES:

- Plagioclasa con incipiente alteración a sericita.
- Anfíboles con alteración a cloritas.

MODO DE FÁBRICA / TEXTURA:

- Roca holocristalina fanerítica con textura hipidiomórfica granular con xenolito pórfido microdiorítico. (Figura N°48A). Las plagioclasis se

presentan formas euhedrales a subhedrales, además de hábitos tabulares, presentan maclas del tipo polisintéticas. Sus tamaños varían entre 0.198 mm y los 2.00 mm. Presenta incipiente alteración a sericita en cristales aislados. Presenta también flexura de cristales manifestado combeamiento de maclas. En otros sectores se le observa siendo reemplazado por los feldespatos potásicos. Presentan inclusiones de minerales máficos. (Figura N°48C). El cuarzo ocurre en cristales subhedrales y anhedrales. Presentan tamaños que varían en el intervalo de los 0.295 mm hasta los 2.00 mm. Presentan extinción ondulante. Por sectores se observa disgregación de los granos (policristalinización). Se presenta siendo reemplazado por los feldespatos potásicos y asociados a biotita. Los cristales de feldespatos potásicos ocurren de formas subhedrales y anhedrales, los tamaños varían en el intervalo de los 1.250 mm y los 2.000 mm. Generalmente se le observa formando textura pertítica; además encontramos su variedad microclina englobando y reemplazando a las plagioclasas. Algunos cristales tienen inclusiones de minerales máficos. Los anfíboles se presentan como cristales euhedrales a subhedrales, presentándose su variedad hornblenda, los tamaños varían entre los 0.800 mm y los 1.375 mm. Se encuentra siendo reemplazado por cloritas y formando biotita. Por sectores se encuentra rellenando intersticios entre los cristales de plagioclasa. Biotita ocurre en formas euhedrales a subhedrales, con hábitos prismáticos; los tamaños varían entre los 0.500 mm y los 1.625 mm. Por sectores se presentan como inclusiones en cristales de hornblenda. También se le observa reemplazando a los anfíboles. Se encuentra alterándose a cloritas. Cristales de zircón como inclusiones en máficos. Los cristales de magnetita se presentan generalmente como Magnetita se presenta en cristales de formas euhedrales hasta anhedrales, incluidos en los cristales de plagioclasas. (Figura N°48D), formando además intercrecimiento del tipo lamelar con la hematita (Figura N°48E). *Xenolito Pórfido Microdiorítico*: Roca con textura pórfido microgranoblástica (cristales algo orientados). Conformado por cristales de plagioclasa como agregados tabulares, mostrando fenocristales con tamaños promedio de 3.000 mm;

pero mayormente cristales del mismo tamaño. La matriz presenta cristales de tamaños homogéneos con un tamaño promedio de 0.500 mm. Además, tenemos presencia de cristales tabulares de biotita (25%) y hornblenda (35%). Escasos cristales de minerales opacos como disseminados. (Figura N°48B)

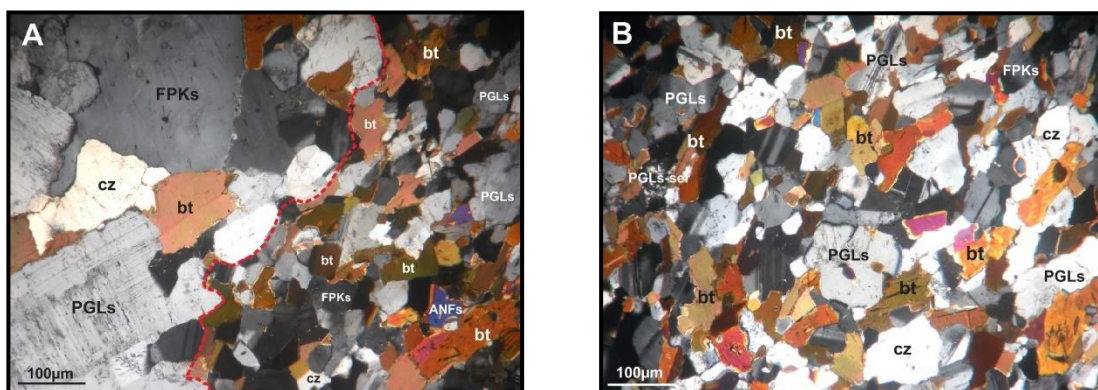
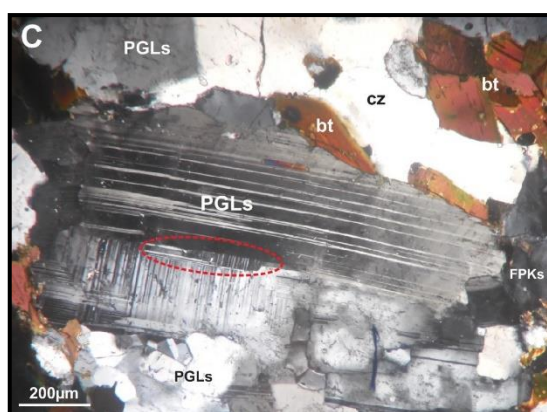
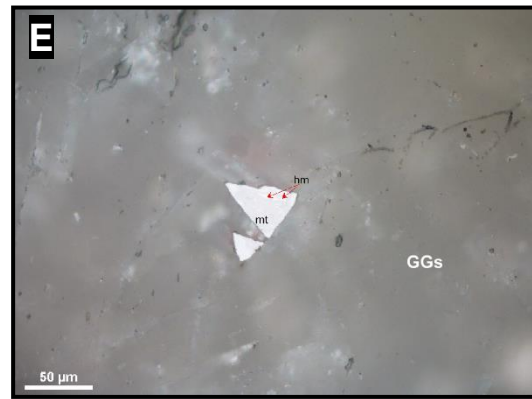
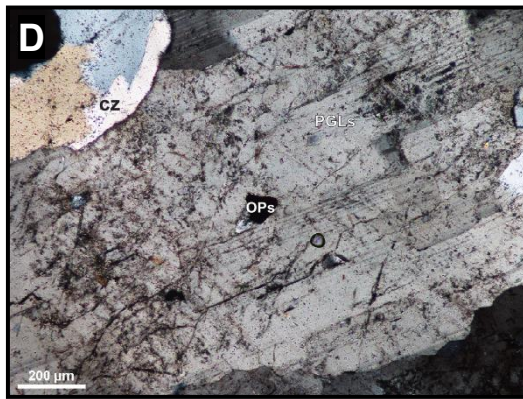


Figura N°42. (A) Cristales de plagioclase (PGLs), cuarzo (cz), feldespato potásico (FPKs) y biotita (bt) en contacto con xenolito. **(B)** Xenolito pórfido microdiorítico compuesto por plagioclase con matriz de biotita y anfíboles. Vista en NX 10X. Fuente: Propia.



(C) Cristal de plagioclase (PGLs) con leve flexura producto de metamorfismo (en círculo rojo), acompañando por cristales de cuarzo (cz) y biotita (bt). NX 20X. Fuente: Propia.



(D) Cristal de mineral opaco (OPs) como inclusión en plagioclasa (PGLs). NX (10x).

(E) Cristales euhedrales de magnetita, formando intercrecimiento lamelar con hematita (hm). NP (50x). Fuente: Propia.

MUESTRA: GE39-20i-R-003

CLASIFICACION:

GRANODIORITA

ESTUDIO MACROSCÓPICO

Roca de color gris blanquecino de textura fanerítica de grano grueso, conformada por cristales de plagioclasa, cuarzo y feldespato potásico. Los minerales máficos están conformados por cristales de biotita y trazas de anfíbol con leve alteración a clorita. Presenta densidad media y no presenta magnetismo.

ESTUDIO MICROSCÓPICO

Minerales principales: PGLs (51.3%), cz (20.8%), FPKs (15.1%), bt (12.6%)

Minerales accesorios:

Minerales traza: zir, ap, ilm (0.05%)

Minerales secundarios: CLOs

ALTERACIONES:

- Biotita alterándose a cloritas

MODO DE FÁBRICA / TEXTURA:

- Roca holocristalina fanerítica con textura hipidiomórfica granular (Figura N°49A). Las plagioclasas se presentan formas euhedrales a subhedrales, además de hábitos tabulares, presentan maclas del tipo polisintéticas de simples a complejas. Sus tamaños varían entre 0.25 mm y los 2.50 mm. Por sectores se presenta una cristalización secuenciada evidenciada por cristales de plagioclasa absorbidas por otras. En otras zonas se le observa formando textura mirmequítica con el cuarzo y el feldespato potásico. Los cristales presentan incipiente alteración a sericita. El cuarzo ocurre en cristales subhedrales y anhedrales. Presentan tamaños que varían en el intervalo de los 0.175 mm hasta los 1.350 mm. Presentan extinción ondulante. Por sectores se presenta englobando y reemplazando a las plagioclasas formando textura poiquilítica. Se presenta también rellenando intersticios entre los feldespatos. Los cristales de feldespatos potásicos ocurren de formas subhedrales y anhedrales, los tamaños de los cristales llegan a 1.00 mm. Generalmente se le observa formando textura pertítica; además se presentan reemplazando a la plagioclasa y formando textura poiquilítica. Por sectores se encuentra formando textura mirmequítica con el cuarzo y la plagioclasa. Biotita ocurre en formas euhedrales a subhedrales, con hábitos prismáticos; los tamaños de los cristales llegan a los 0.700mm. Además, se encuentran alterándose a cloritas; y con halo de alteración radioactivo con el zircón. (Figuras N°49B y N°49C). Cristales de zircón de formas subhedrales algo redondeadas, presentan halo de alteración con la biotita. Apatito se presentan como pequeños cristales de hábitos tabulares incluidos principalmente en biotita. Minerales opacos se presentan como inclusiones en biotita. Los minerales opacos se presentan generalmente como inclusiones en los cristales de biotita y plagioclasa (Figura N°49D). Ilmenita se presenta generalmente de formas subhedrales hasta anhedrales como inclusiones en biotita y plagioclasa, su presencia no es abundante (Figura N°49E).

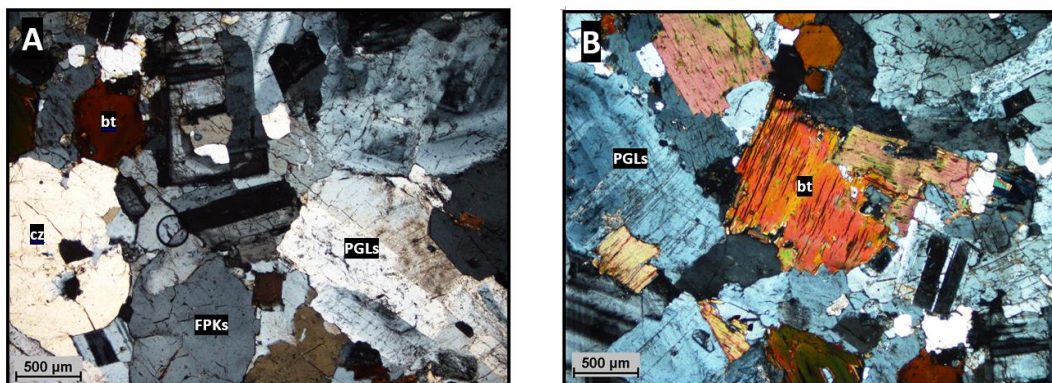
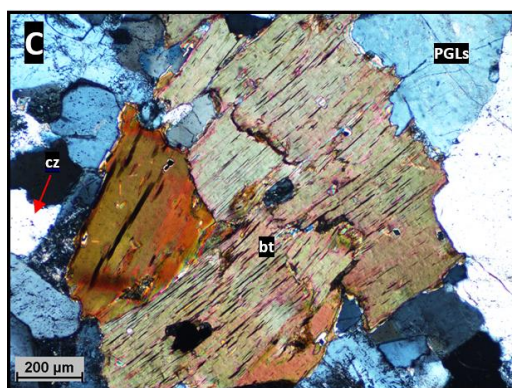
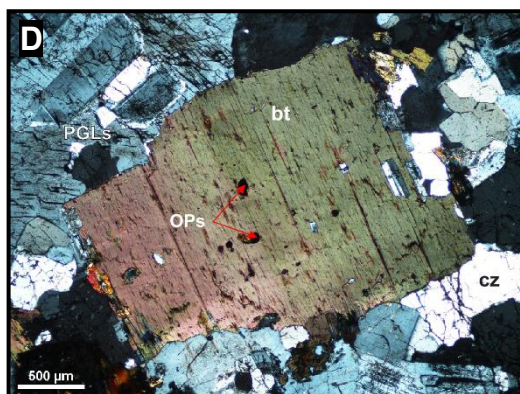


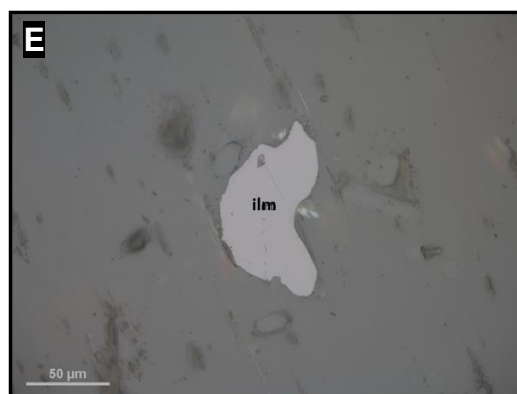
Figura N°43. (A) Cristales de plagioclase (PGLs), cuarzo (cz) y feldespato potásico (FPKs) acompañados por cristales de biotita (bt). (B) Cristales de biotita (bt) intercrecidos con cristales de plagioclase (PGLs) algo orientados. NX 4X. Fuente: Propia.



(C) Cristales de biotita (bt), fracturados y levemente orientados. NX 10X. Fuente: Propia.



(D) Cristal de biotita (bt) con inclusiones de minerales opacos (OPs). NX (4x).



(E) Cristal anhedral de ilmenita, se presenta como inclusión en cristal de biotita (bt). NP (50x). Fuente: Propia.

MUESTRA: GE39-20i-R-015

CLASIFICACION: TONALITA

ESTUDIO MACROSCÓPICO

Roca de color gris blanquecino de textura fanerítica de grano grueso, conformada por cristales de plagioclasa, cuarzo y feldespato potásico. Los minerales máficos están conformados por cristales de anfíbol y biotita. Presenta densidad media y magnetismo débil.

ESTUDIO MICROSCÓPICO

Minerales principales: PGLs (62.6%), cz (27.6%), FPKs (3%)

Minerales accesorios: ANFs (3.6%), bt (2.8%)

Minerales traza: mt (0.4%), ap, ser

Minerales secundarios:

ALTERACIONES:

MODO DE FÁBRICA / TEXTURA:

- Roca holocristalina fanerítica con textura hipidiomórfica granular con xenolito pórfido diorítico. (Figura N°50B). Las plagioclasas se presentan formas euhedrales a subhedrales, además de hábitos tabulares, presentan maclas del tipo polisintéticas y zonación concéntrica. Sus tamaños varían entre 0.65 mm y los 2.50 mm. Por sectores presenta rellenando los intersticios entre la biotita y la ortosa. Presenta inclusiones de minerales máficos y opacos. (Figura N°50A). El cuarzo ocurre en cristales anhedrales. Presentan tamaños que varían en el intervalo de los 0.3 mm hasta los 2.0 mm. Por sectores se presenta y reemplazando a los feldespatos y rellenando intersticios entre cristales de plagioclasa. En algunos sectores se observa las superficies de los cristales fracturadas. Los cristales de feldespatos potásicos ocurren de formas anhedrales, presentan macla tipo Carlsbad y zonación concéntrica; los tamaños de los cristales varían en el intervalo de 0.48 mm a 1 mm. Generalmente se encuentran como relleno entre los intersticios de las plagioclasas. Algunos

cristales presentan superficie incipiente alteración a sericita a partir de la zonación. Presencia de ortosa secundaria, por sectores cortando a los cristales de cuarzo y bordeando y reemplazando a los cristales de plagioclasa. Los anfíboles se presentan como cristales euhedrales a subhedrales, presentándose su variedad hornblenda, los tamaños varían entre los 0.42 mm a los 1.15 mm. Se encuentra transformándose a biotita a partir de sus clivajes. Presenta inclusiones de minerales opacos. Biotita ocurre en formas subhedrales, con hábitos tabulares; los tamaños de los cristales llegan a los 0.700mm. Por sectores se presentan como producto de alteración de los anfíboles. Presentan inclusiones de minerales opacos y apatitos. Apatitos, como minerales traza, se presentan incluidos en los minerales máficos. Los cristales de magnetita se presentan generalmente como inclusiones en los cristales de biotitas y plagioclasas (Figura N°50D); difícilmente se le pudo encontrar formando intercrecimiento con la hematita. (Figura N°50E). *Xenolito Microdiorita/Pórfido diorítico*: Roca con textura porfirítica. Conformado por fenocristales de plagioclasa como agregados tabulares, y fenocristales de hornblenda siendo reemplazados por plagioclasa, además agregados microtabulares de biotita. La matriz presenta microgranular fina conformada por pequeños cristales de plagioclasa, hornblenda y biotita. (Figura n°50C).

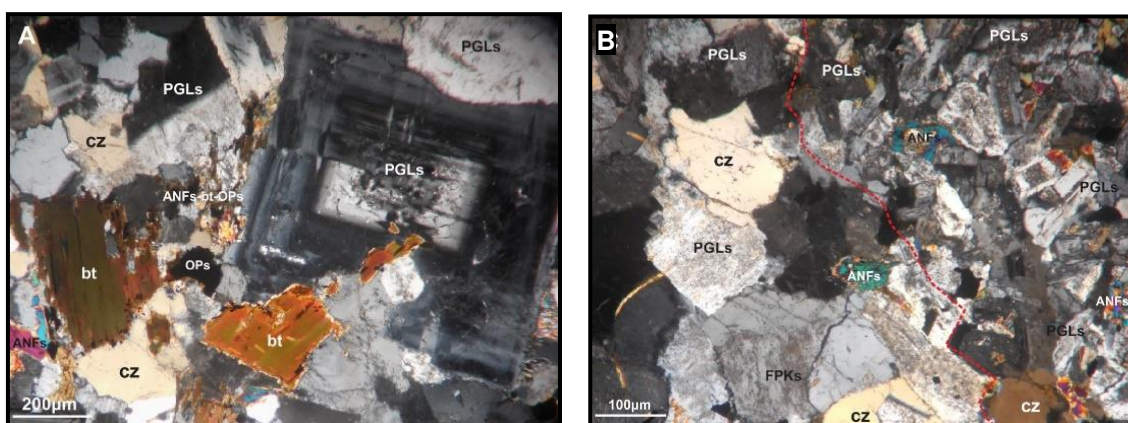
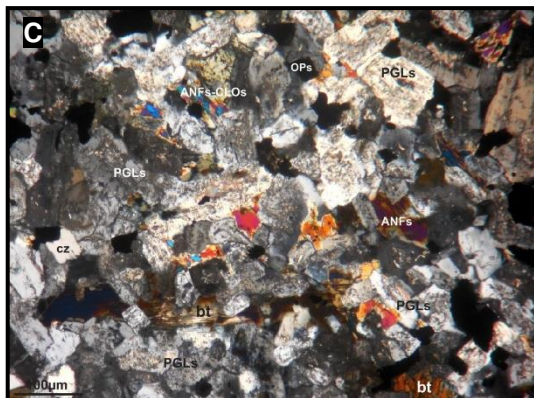
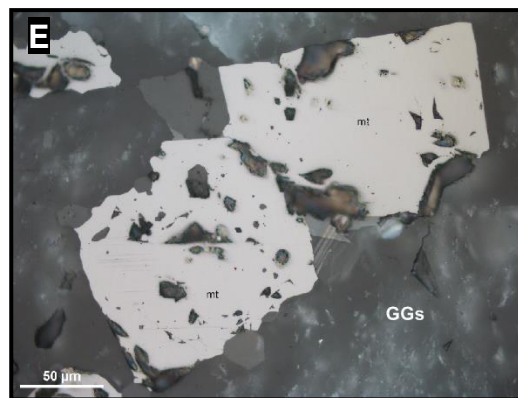
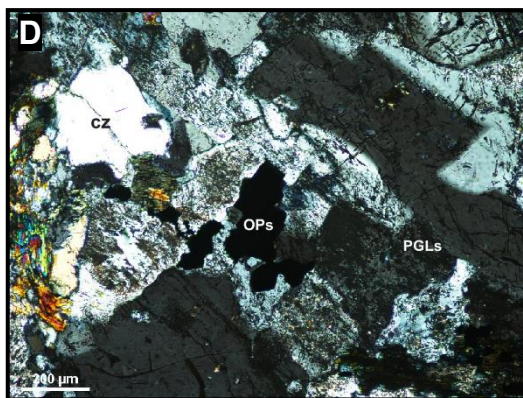


Figura N°44. (A) Cristales de plagioclasa (PGLs) con zonación concéntrica con inclusiones de anfíboles (ANFs). **(B)** Cristales de cuarzo (CZ), plagioclasa (PGLs) y feldespato potásico (FPKs) en contacto con xenolito. NX 20X.



(C) Xenolito pórfido diorítico, compuesto por cristales de plagioclasa (PGLs), cuarzo (cz), feldespato potásico (FKS), anfíboles (ANFs) y piroxenos (PXs). NX10X.



(D) Mineral opaco (OPs) como inclusión en plagioclasa (PGLs). NX (10x). **(E)** Cristales subhedrales de magnetita (mt), como inclusiones en cristales de plagioclasas (PGLs). NP (50x).

CAPITULO V

CARACTERIZACIÓN LITOGEOQUÍMICA Y POTENCIAL METALOGENÉTICO

5.1. CLASIFICACIÓN LITOGEOQUÍMICA DE LAS ROCAS

Para el desarrollo del presente estudio de investigación, se recolectaron un total de 21 muestras de las cuales 13 corresponden al batolito de la costa y 8 al batolito de la cordillera Blanca. Las muestras fueron analizadas por el laboratorio certificado SGS del Perú S.A.C para elementos mayores y elementos traza. A continuación, se detallarán los diagramas utilizados para la obtención de la información litogeoquímica de las muestras.

5.1.1. ELEMENTOS MAYORES

DIAGRAMAS UTILIZANDO ELEMENTOS MAYORES

5.1.1.1 Diagrama TAS

Para representar el diagrama TAS, se utilizan los datos químicos de la suma del contenido de Na_2O y K_2O vs el contenido de SiO_2 . Wilson (1989) adaptó el diagrama TAS para dar una clasificación preliminar de las rocas ígneas plutónicas.

Asimismo, el Diagrama TAS proporcionado por Le Maitre et. al (2002) propone una clasificación para las rocas plutónicas introduciendo una división en cuanto a su contenido de Álcalis (serie magmática):

- Serie toleítica: SiO_2 mayor de 62%
- Serie alcalina: SiO_2 menor de 51%
- Serie calcoalcalina: SiO_2 entre 51 a 62 %

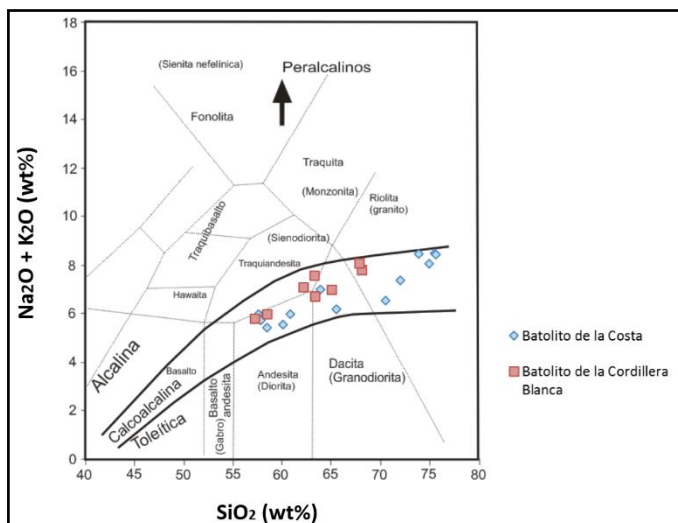


Figura N°45. Diagrama TAS, alcalis total vs sílice Le Maitre et al (2002), aplicado al batolito de la costa y el batolito de la cordillera Blanca. Fuente: Propia.

Según lo detallado en el gráfico, se concluye lo siguiente:

- Para el batolito de la costa, se observa que todas las muestras se encuentran en el intervalo de la serie calcoalcálica; sin embargo, la tendencia es variada, como se observa algunas de ellas tienen una tendencia a ir hacia el intervalo de la serie toleítica, esto se ve evidenciado en que algunas muestras tienen un buen porcentaje de minerales con contenido de hierro; mientras con otro grupo de muestras tienen tendencias hacia la serie alcalina con mayor presencia de álcalis.
- Para el batolito de la cordillera Blanca, se observa que las muestras caen en el intervalo de la serie calcoalcálica con una ligera tendencia hacia la serie alcalina, reflejado en el mayor contenido de álcalis y en el poco contenido de minerales de hierro.

5.1.1.2 Diagrama R1 – R2

Rollinson (1993), menciona que De la Roche y LeTerrier (1973) y De la Roche *et al.* (1980) propusieron el esquema de clasificación para rocas plutónicas y volcánicas basada en las proporciones de sus cationes expresado en milications.

Los resultados son ploteados en un gráfico bivariable x-y usando los parámetros R1 y R2. R1 es ploteado en el eje x y es definido como:

$$R1 = [4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti)]$$

Fe representa el hierro total. R2 es plotado a lo largo del eje y, y es definido como:

$$R2 = (Al + 2Mg + 6Ca)$$

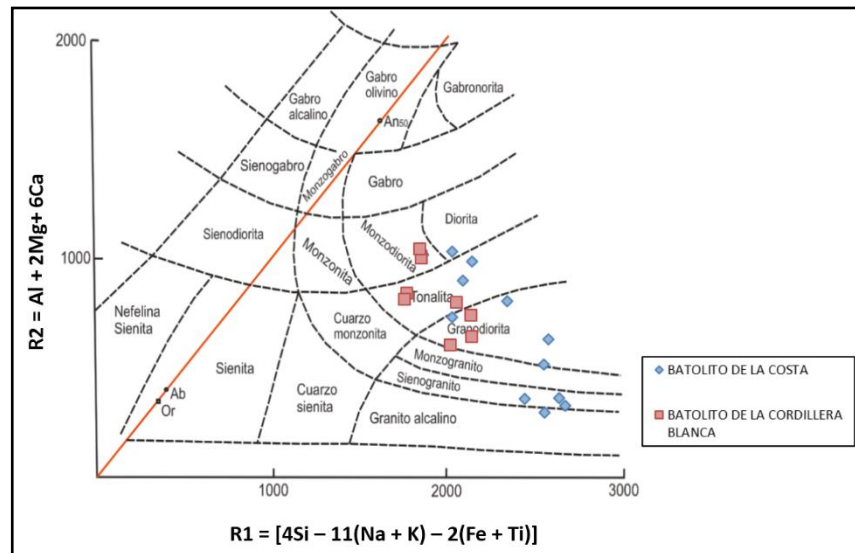


Figura N°46. Diagrama R1 vs R2, De la Roche et al. (1980), aplicado al batolito de la costa y al batolito de la cordillera Blanca. Fuente: Propia.

Según lo detallado en el gráfico, se concluye lo siguiente:

- Para el batolito de la costa, se observa que un grupo de las muestras varían su clasificación entre la diorita – tonalita – granodiorita, mientras que otro grupo tiene la tendencia en la clasificación hacia el monzogranito – sienogranito y granito alcalino, esto en la petrografía se ve reflejado en el elevado contenido de sílice de muchas de las muestras.
- Para el batolito de la cordillera Blanca, se observa que las muestras en su mayoría tienen tendencia en la clasificación hacia las monzodioritas – tonalitas y granodioritas, lo cual concuerda con la petrografía y además con la litología que presenta este batolito.

5.1.1.3 Diagrama de Índice de Saturación de Alúmina.

Después de la sílice el siguiente componente en abundancia es la alúmina. Shand (1968) propuso la saturación que involucra al Al_2O_3 y la abundancia relativa a K_2O , Na_2O y CaO , la cual proporciona otra base significativa para la clasificación.

En los feldespatos y feldespatoides, la relación molecular de Al_2O_3 a $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO}$ es 1:1, de modo que un exceso o carencia de Al_2O_3 con respecto a esta relación se refleja en la naturaleza de los minerales ferromagnesianos (Rivera, 2007).

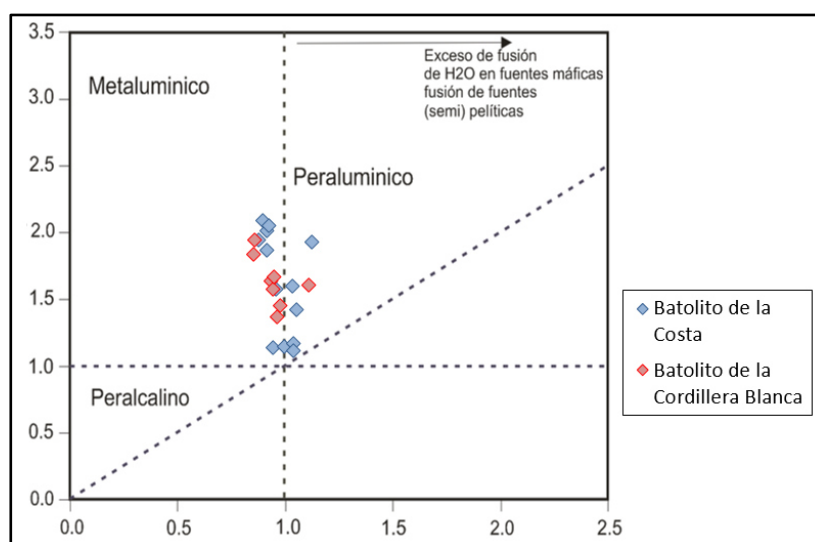


Figura N°47. Diagrama del Índice de Saturación de Alúmina propuesto por Shand (1968), aplicado al batolito de la costa y el batolito de la cordillera Blanca. Fuente: Propia.

Según lo detallado en el gráfico, se concluye lo siguiente:

- Para el batolito de la costa, se observa que un grupo de las muestras tienen un comportamiento metalumínico, con cierta tendencia hacia el lado peralumínico. Por otra parte, se observa que un grupo menor manifiesta una completa tendencia hacia el lado peralumínico, estos debido a que según la petrografía de algunas de las rocas se observa presencia de alto contenido de sílice.
- Para el batolito de la cordillera Blanca, se observa que las muestras que se tienen caen completamente en el sector

metalumínico, sin embargo, se observa que estas tienen una ligera tendencia hacia el sector peralumínico.

5.1.1.4 Diagrama de Determinación del contenido de Fe total.

Para poder comparar la profundidad que tiene un magma con respecto a otro, utilizamos el diagrama de correlación binaria de FeO total vs SiO₂ (wt%). Mientras el contenido de FeO es mayor significa que el magma es más profundo, mientras que si el contenido de SiO₂ es mayor nos indica el grado y diferenciación de menor profundidad.

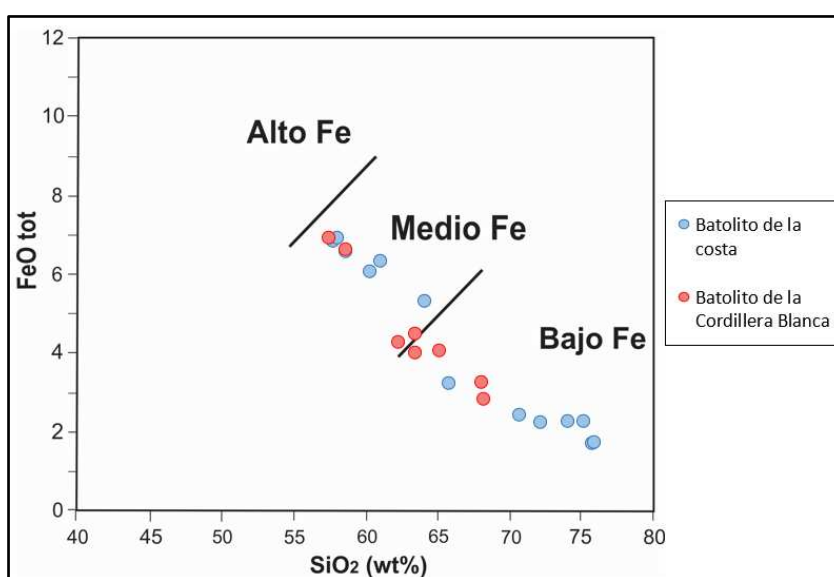


Figura N°48. Diagrama de Determinación del contenido de Fe total, aplicado al batolito de la costa y el batolito de la cordillera Blanca. Fuente: Propia.

Según lo detallado en el gráfico, se concluye lo siguiente:

- Para el batolito de la costa, la presencia de óxidos de hierro es variable, teniendo la mayor cantidad de muestras con bajo contenido de hierro y en menor cantidad muestras con alto contenido de hierro, lo que se evidencia en la naturaleza de las rocas que lo conforman. Teniendo un grupo de rocas félsicas con poca presencia de minerales ferromagnesianos y opacos.
- Para el batolito de la cordillera Blanca, se observa también la tendencia de las muestras cuyo contenido es en su mayoría intermedio con cierta inclinación a bajo contenido de hierro. Esto se evidencia en la petrografía, donde los resultados

petrográficos evidencian tendencias variadas entre rocas máficas a félsicas.

5.1.2. TIERRAS RARAS

5.1.2.1 Diagrama de origen de los granitos Y vs Nb

Utilizando este diagrama podemos comparar la abundancia (ppm) de los elementos Nb vs Y los cuales serán plotados en escala logarítmica. Con ello podemos determinar el origen tectónico de los granitos, clasificándolos en: granitos de arco volcánico, granitos de intraplacas, granitos de dorsal oceánica y granitos sincolisionales (Rollinson, 1993).

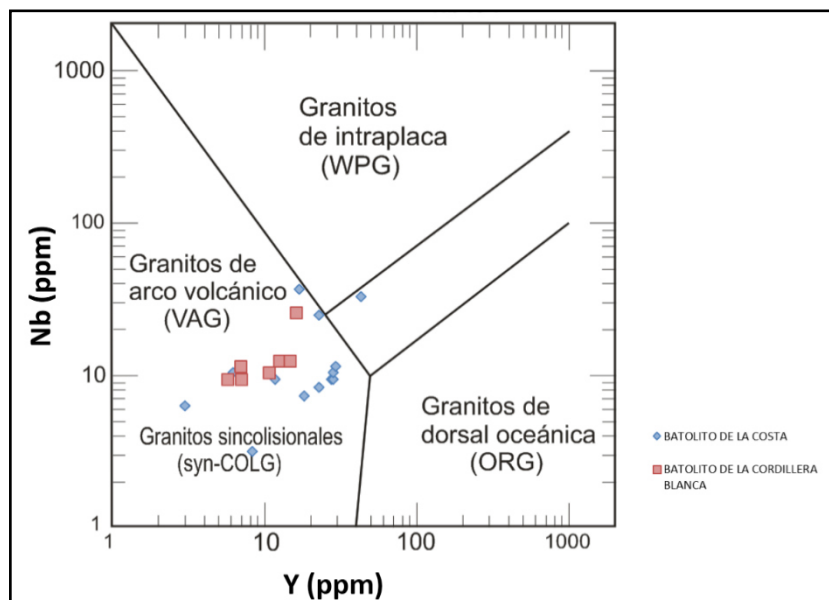


Figura N°49. Diagrama de origen de los granitos Y vs Nb, aplicado al batolito de la costa y el batolito de la cordillera Blanca. Fuente: Propia.

Según lo detallado en el gráfico, se concluye lo siguiente:

- c) El batolito de la costa, las muestras se encuentran ubicadas en el de granitos de arco volcánico (sincolisionales). Se comprueba que esta misma respuesta se da para los otros segmentos del batolito.

- d) El batolito de la cordillera Blanca también se encuentra ubicado en la zona de granitos de arco volcánico, teniendo por lo tanto una génesis tectónica similar al anterior.

5.1.3. METALOGENIA DE ROCAS GRANÍTICAS

Diversos estudios realizados a lo largo del tiempo evidencian una fuerte relación entre el carácter composicional de los granitos y su relación con la mineralización de elementos económicamente favorables. Elementos como el Cu, Au se relacionan a rocas de naturaleza más máfica; el W con rocas de naturaleza intermedia; mientras que elementos como el Mo ($\pm$ W) y Sn ($\pm$ W) con rocas de naturaleza félsica. Otro punto importante es el estado de oxidación de los granitos, elementos como Cu-Au-Mo están asociados a rocas oxidadas, mientras que el Sn a rocas más reducidas. El W está asociado con ambas series, pero se desarrolla mejor en granitos relativamente reducidos. A continuación, se muestran diagramas que no permiten determinar dos puntos importantes: 1) La distinción entre el tipo de serie al que pertenece cada batolito y 2) la provincia metalogenética a la cual estarían más relacionados. Para ello es importante considerar los contenidos de Fe_2O_3 y FeO para la obtención de los siguientes diagramas.

5.1.3.1. Estado de oxidación

El estado de oxidación de los magmas es fundamental para el control de elementos minerales compatibles/incompatibles. Este diagrama debe tratarse con cuidado sobre todo dependiendo de la composición o alteraciones que presenten los granitos.

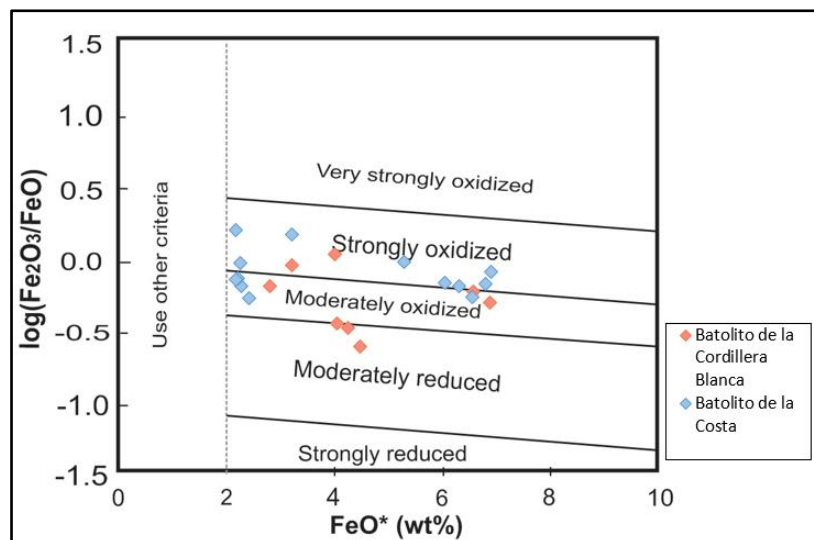


Figura N°50. Diagrama de estado de oxidación de granitos (Ishihara Symposium) aplicado al batolito de la costa y al batolito de la cordillera Blanca. Fuente: Propia.

Analizando el gráfico podemos interpretar lo siguiente:

- Para las muestras del batolito de la costa se estudió que el comportamiento de ellas es fuertemente oxidado lo cual complementa con la mineralogía que se observó petrográficamente con presencia de magnetita. Sin embargo, notamos también que algunas de las muestras de naturaleza muy félsica tienen una tendencia a hacia ser muy fuertemente oxidadas, esta anomalía se da probablemente porque este tipo de rocas suele ser muy susceptible a la alteración.
- Para las muestras del batolito de la cordillera Blanca se analizó que el comportamiento de la mayoría de las muestras está entre fuertemente a moderadamente oxidado complementando a la mineralogía con presencia de minerales como magnetita, titanita y biotita. Se observa también que un grupo de muestras tiene una tendencia a ser moderadamente reducidamente reducido.

I. Susceptibilidad magnética

Se tomaron datos de susceptibilidad magnética para las 21 muestras, las mismas que se compararon con los valores de FeO^* (FeO total).

- En general las medidas de susceptibilidad magnética del batolito de la costa están en promedio de 8×10^{-3} SI (sistema internacional). Perteneciendo la mayoría de las muestras a la serie magnetita.
- Para las muestras que corresponden al batolito de la cordillera Blanca las medidas de susceptibilidad están en promedio de 4×10^{-3} SI (sistema internacional). Donde un grupo de ellas tienen susceptibilidad menor a 3×10^{-3} SI (sistema internacional) correspondiendo según Ishihara (1979) a la serie ilmenita.

5.1.3.2. Relación $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$

Esta relación fue aplicada a rocas plutónicas en Japón, esto permite una división empírica entre las series magnetita e ilmenita. El límite que permite separar a ambas series es de 0.5 y se compara con los valores de SiO_2 .

- ❖ Si los valores son superiores a 0.5 esto significa que podemos concluir que esta roca pertenece a la serie del tipo magnetita.
- ❖ Si los valores son inferiores a 0.5 esto significa que podemos concluir que esta roca pertenece a la serie del tipo ilmenita.

En la figura 57 se han ploteado los puntos de las 21 muestras correspondientes al batolito de la costa y al de la cordillera Blanca, se analizarán las tendencias.

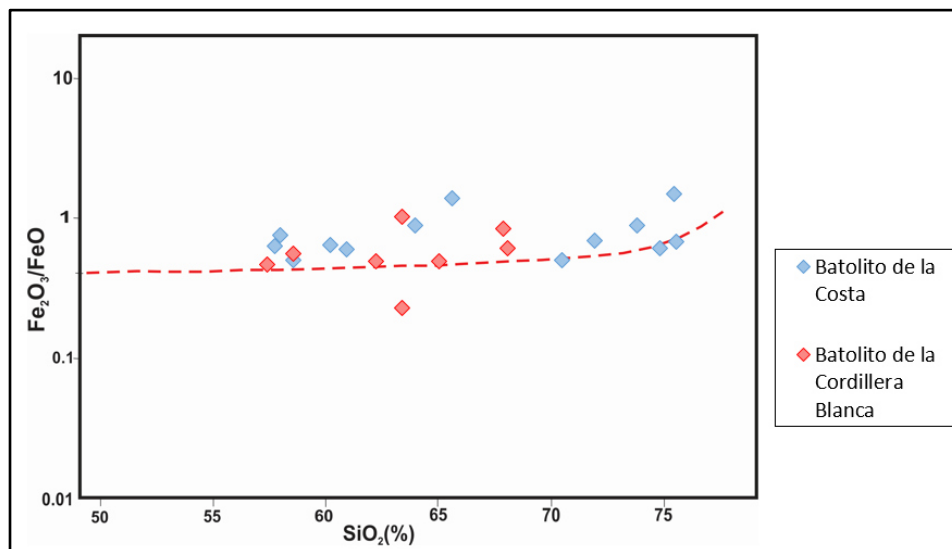


Figura N°51. Diagrama Fe₂O₃/FeO vs SiO₂. La línea en color rojo divide la serie magnetita de la serie ilmenita (Ishihara, 2000). Fuente: Propia.

Analizando el gráfico interpretamos lo siguiente:

- Para las muestras del batolito de la costa se tiene que el 100% de estas (n=13) corresponden a la serie magnetita. El estudio de algunas de las muestras nos manifiesta que existe una ligera tendencia hacia la serie ilmenita esto se evidencia en la petrografía de estas muestras pues tienen una naturaleza félsica con poca cantidad de ferromagnesianos y magnetita.
- Para las muestras del batolito de la cordillera Blanca se tiene que el 12.5% de las muestras (n=1) pertenecen a la serie ilmenita. Mientras que el 87.5% restante (n=7) está localizado en la serie magnetita. La tendencia general de las muestras es hacia la serie magnetita, sin embargo, también se observan muestras que pertenecen a la serie ilmenita.

5.1.3.3. Zonación de metales y provincias metalogenéticas

En el diagrama Fe₂O₃/FeO vs Rb/Sr nos muestra las asociaciones de metales más importantes las cuales son:

Cu – Au, Cu – Mo, Mo, W – Mo – Bi, Sn – W

Este diagrama puede favorecer al reconocimiento del potencial de elementos metálicos, lo cual permite definir provincias metalogénicas características. Cabe mencionar que estos diagramas pueden ser muy importantes porque nos permiten evaluar el potencial generador de yacimientos de los cuerpos ígneos que se estudien.

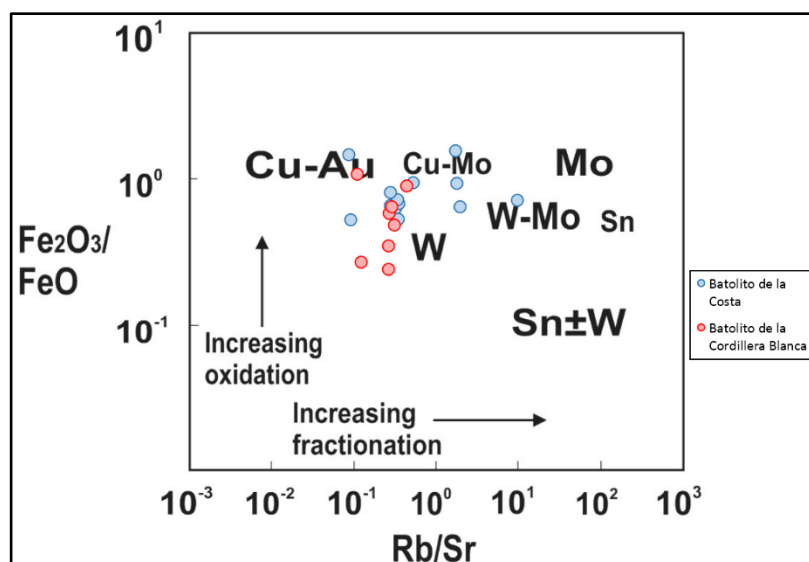


Figura N°52. Diagrama $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ vs Rb/Sr . Permite reconocer las principales zonaciones metálicas y las provincias metalogénicas (Ishihara Symposium). Fuente: Propia.

Analizando el gráfico podemos interpretar lo siguiente:

- Dentro del universo de muestras obtenidas, se tiene que las que corresponden al Batolito de la Costa muestran una tendencia a depósitos con presencia de metales como Cu – Au, Cu – Mo y W – Mo. Además, se observa que tanto en grado de oxidación como el de fraccionamiento están creciendo, esto hace que el Batolito de la Costa sea un intrusivo con alto potencial metalogénico.
- Las muestras que corresponden al Batolito de la Cordillera Blanca tienen una tendencia a depósitos con presencia de metales como Cu – Au y Cu – Mo, además puede observarse que forman depósitos de tipo W. Se observa además que la oxidación está en aumento más no el grado de fraccionamiento.

CAPITULO VI

INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con todo el trabajo realizado en los capítulos IV y V, se han demostrado las hipótesis 1, 2 y 3 y se ha cumplido con el objetivo general y específicos, habiendo generado las siguientes conclusiones:

6.1. Resultados petromineraográficos

La siguiente tabla muestra los resultados de los análisis petrográficos realizados a las muestras los batolitos y la demostración de la hipótesis 1:

Tabla N°2

Petrografía de las muestras de los batolitos de la costa y de la cordillera Blanca.

INTRUSIVO	CÓDIGO DE CAMPO	CLASIFICACIÓN PETROGRÁFICA	MINERALES FORMADORES DE ROCA	MINERALES MÁFICOS	MINERALES ACCESORIOS
Batolito de la costa	GE39-17f-R-001	GRANODIORITA	PGLs, cz, FPKs	ANFs, bt	OPs
	GE39-17f-R-003	GRANODIORITA	PGLs, cz, FPKs	bt (traza)	OPs
	GE39-17f-R-004	MONZOGRANITO	PGLs, cz, FPKs	bt (traza), ANFs (traza)	OPs, zir
	GE39-17f-R-005	CUARZO MONZODIORITA	PGLs, cz, FPKs	ANFs, PXs, bt	OPs, zir
	GE39-17f-R-006	MONZOGRANITO	PGLs, cz, FPKs	bt	OPs
	GE39-17f-R-007	CUARZO DIORITA	PGLs, cz, FPKs	ANFs, PXs, bt	OPs, zir
	GE39-17f-R-008	TONALITA	PGLs, cz, FPKs	ANFs, bt	OPs, zir
	GE39-17f-R-009	GRANODIORITA	PGLs, cz, FPKs	bt, ANFs	OPs, zir
	GE39-17f-R-010	GRANODIORITA PORFIRÍTICA	PGLs, cz, FPKs	bt	OPs
	GE39-17f-R-011	GRANODIORITA	PGLs, cz, FPKs	bt	OPs
	GE39-16e-R-002	METASIENOGRANITO	PGLs, cz, FPKs	bt	OPs, zir
	GE39-16e-R-004	CUARZO MONZODIORITA	PGLs, cz, FPKs	ANFs, PXs	OPs
	GE39-16e-R-005	GRANODIORITA	PGLs, cz, FPKs	ANFs	OPs
	GE39-18H-R-001	CUARZO MONZODIORITA	PGLs, cz, FPKs	bt, ANFs	ap, OPs
Batolito de la cordillera Blanca	GE39-18H-R-002	CUARZO MONZODIORITA	PGLs, cz, FPKs	bt, ANFs	efn, ap, OPs
	GE39-18H-R-003	META GRANODIORITA	PGLs, cz, FPKs	bt	efn, OPs, zir
	GE39-18H-R-004	META GRANODIORITA	PGLs, cz, FPKs	bt	efn, OPs, ap
	GE39-20i-R-001	GRANODIORITA PORFIRITICA	PGLs, cz, FPKs	bt	OPs
	GE39-20i-R-002	GRANODIORITA	PGLs, cz, FPKs	bt, ANFs	zir, OPs
	GE39-20i-R-003	GRANODIORITA	PGLs, cz, FPKs	bt	zir, ap, OPs
	GE39-20i-R-015	TONALITA	PGLs, cz, FPKs	ANFs, bt	ap, OPs

Fuente: Propia.

Como se puede apreciar en tabla N°2 las muestras que corresponden al batolito de la costa presentan una petrografía variada con rocas félsicas (monzogranitos y sienogranito), pasando por rocas de composición intermedia con (granodioritas – tonalitas) y rocas de naturaleza mucho más máfica (cuarzomonzodiorita y cuarzodiorita). Los minerales ferromagnesianos que se observan son piroxenos – anfíboles y biotitas; en algunas muestras estos se encuentran como trazas siendo alterados a epidota y clorita. Se presentan minerales accesorios como zircón.

Para el batolito de la cordillera Blanca se observa que la composición de las rocas es mayormente de naturaleza más intermedia (granodiorita) también se observa rocas de naturaleza máfica (cuarzo monzodioritas). Es importante señalar que algunas muestras presentan leve metamorfismo evidenciado por la foliación que presentan algunos de los cristales. Además, destacar que las muestras GE39-20i-R-002 y 015 presentan xenolitos de composición diorítica. Los minerales ferromagnesianos predominantes son las biotitas con trazas de anfíboles. Entre los minerales accesorios importantes están la esfena, el apatito y el zircón.

El estudio consistió también en la identificación de los minerales opacos (magnetita, ilmenita) para la determinación del tipo de serie al que pertenecen. Los resultados son los siguientes:

La tabla n°3 muestra el resumen del análisis mineragráfico realizado a las muestras del batolito de la costa y batolito de la cordillera Blanca.

Para el batolito de la costa se tiene que las trece (13) muestras presentan magnetita la mayoría de ellas con lamelas de alteración a hematita. Cabe resaltar que cinco (05) de estas presentan magnetita la cual se encuentra alterándose por sectores a ilmenita y en otros casos a hematita.

Para el batolito de la cordillera Blanca se tiene que seis (07) muestras que presentan magnetita en todas ellas la magnetita están siendo reemplazadas por la hematita. Sin embargo, una (01) de ellas presenta como componente solo a la ilmenita.

Tabla N°3

Resultados del estudio mineragráfico de las muestras del batolito de la costa y batolito de la cordillera Blanca.

INTRUSIVO	CÓDIGO DE CAMPO	OPACOS		
		mt	ilm	hm
Batolito de la costa	GE39-17f-R-001	1.20%	0.20%	0.60%
	GE39-17f-R-003	0.10%		0.90%
	GE39-17f-R-004	0.50%		0.18%
	GE39-17f-R-005	0.80%	0.10%	0.30%
	GE39-17f-R-006	0.15%	0.04%	0.06%
	GE39-17f-R-007	1.00%		0.50%
	GE39-17f-R-008	0.60%	0.15%	0.25%
	GE39-17f-R-009	0.70%		0.30%
	GE39-17f-R-010	0.80%		0.20%
	GE39-17f-R-011	0.60%		0.30%
	GE39-16e-R-002			0.50%
	GE39-16e-R-004	1.00%		0.60%
	GE39-16e-R-005	0.60%	0.10%	0.30%
	GE39-18H-R-001	0.20%	0.35%	0.45%
	GE39-18H-R-002	0.75%		0.25%
Batolito de la cordillera Blanca	GE39-18H-R-003	0.85%		0.15%
	GE39-18H-R-004	0.65%		0.15%
	GE39-20i-R-001	0.30%		
	GE39-20i-R-002	0.30%		0.10%
	GE39-20i-R-003		0.05%	
	GE39-20i-R-015	0.40%		

Fuente: Propia.

6.2 Resultado de los análisis geoquímicos de las muestras:

Los análisis geoquímicos nos dieron los siguientes resultados:

- Según los obtenido en el diagrama TAS, se tiene que ambos batolitos tienen tendencia a la pertenecer a la serie calcoalcalina.
- Al comparar la información que se obtuvo de la geoquímica, según el diagrama R1 – R2 y los estudios petrográficos. Se tienen los siguientes resultados:

La coincidencia en la clasificación de las muestras es casi completa, habiendo una ligera diferencia en algunas de muestras, las que se encuentran afectadas por un proceso incipiente de alteración lo que hace variar ligeramente los resultados geoquímicos.

- Según lo obtenido en el diagrama de saturación de alúmina. Se tiene que para el batolito de la costa la mayoría de las muestras caen en el

campo metaluminoso, sin embargo, algunas de ellas caen también en el campo peralcalino. Mientras que para el batolito de la cordillera Blanca se tiene que todas las muestras caerán en el campo metaluminoso con marcada tendencia hacia el campo peralcalino.

- Para el diagrama de origen de granitos, se tiene que ambos batolitos tienen un origen de granitos de arco volcánico sincolisionales. En campo se observa que ambos batolitos se presentan afectados por la presencia de fallas.
- Se demostró la hipótesis 2.

Tabla N°4

Cuadro comparativo entre los resultados petrográficos y geoquímicos.

BATOLITO	CÓDIGO DE CAMPO	CLASIFICACION PETROGRÁFICA	CLASIFICACION GEOQUÍMICA
De la Costa	GE39-17f-R-001	GRANODIORITA	TONALITA
	GE39-17f-R-003	GRANODIORITA	SIENOGANITO
	GE39-17f-R-004	MONZOGRANITO	SIENOGANITO
	GE39-17f-R-005	CUARZO MONZODIORITA	MONZODIORITA
	GE39-17f-R-006	MONZOGRANITO	SIENOGANITO
	GE39-17f-R-007	CUARZO DIORITA	DIORITA
	GE39-17f-R-008	TONALITA	TONALITA
	GE39-17f-R-009	GRANODIORITA	GRANODIORITA
	GE39-17f-R-010	GRANODIORITA PORFIRÍTICA	MONZOGRANITO
	GE39-17f-R-011	GRANODIORITA	GRANODIORITA
	GE39-16e-R-002	METASIEGNOGRANITO	GRANITO ALCALINO
	GE39-16e-R-004	CUARZO MONZODIORITA	MONZODIORITA
	GE39-16e-R-005	GRANODIORITA	GRANODIORITA
De la Cordillera Blanca	GE39-18H-R-001	CUARZO MONZODIORITA	CUARZO MONZODIORITA
	GE39-18H-R-002	CUARZO MONZODIORITA	CUARZO MONZODIORITA
	GE39-18H-R-003	META GRANODIORITA	GRANODIORITA
	GE39-18H-R-004	META GRANODIORITA	GRANODIORITA
	GE39-20i-R-001	GRANODIORITA PORFIRITICA	GRANODIORITA
	GE39-20i-R-002	GRANODIORITA	GRANODIORITA
	GE39-20i-R-003	GRANODIORITA	TONALITA
	GE39-20i-R-015	TONALITA	TONALITA

Fuente: Propia.

6.3 Propuesta metalogenética

Los diagramas metalogenéticos nos dieron los siguientes resultados:

- El diagrama de estados de oxidación nos da los siguientes resultados:

Para las muestras del batolito de la costa se tiene que la mayoría de ellas están en el sector de las muestras fuerte a moderadamente oxidadas. Lo cual quiere decir que los magmas que dieron origen a estos granitos son oxidados, es decir con alta fugacidad de oxígeno y contenido hierro.

Mientras que, para las muestras del batolito de la cordillera Blanca, se tiene que las muestras son fuerte a moderadamente oxidadas, sin embargo, algunas de ellas presentan una tendencia hacia la zona moderadamente reducida. De esto se puede concluir que para un grupo de muestras el magma que las origina es oxidado, mientras que para otras es de carácter reducido.

- El diagrama $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ vs SiO_2 nos muestra los siguientes resultados:

Para el batolito de la costa se tiene que todas las muestras caen en el campo de la serie magnetita, cabe resaltar que tres (03) muestras muestran un fuerte comportamiento hacia la serie ilmenita.

Para el batolito de la cordillera Blanca se tiene que siete (07) de las muestras caen en el campo de la serie magnetita, mientras que una (01) de ellas corresponde a la serie ilmenita.

- El diagrama de provincias metalogenéticas y zonación de metales muestra los siguientes resultados:

El batolito de la costa se asocia con metales como el Cu – Au, Cu – Mo y W – Mo; mientras que el batolito de la cordillera Blanca se asocia con metales como W, Cu – Au y Cu – Mo.

Analizando ambos batolitos se obtuvieron los siguientes resultados:

El batolito de la costa se asocia con depósitos como del tipo porfiríticos como Pallar de Oro o epitermales como Alto Chicama, La Arena o La Virgen, mientras que el batolito de la cordillera Blanca se asocia con yacimientos tipo pórfidos, vetas y mantos. Sin embargo, encontramos que en Ancash, en la Mina Magistral se aprecia metales como el W y algo se Sn.

- Se demostró la hipótesis 3.

CONCLUSIONES

1. Se concluye que el batolito de la costa esta formado por una litología que vería desde monzogranito hasta cuarzo monzodioritas y el batolito de la cordillera Blanca presente una litología que varía entre granodiorita – tonalita y cuarzo monzodiorita.
2. Los resultados de los análisis geoquímicos presentan concordancia con los resultados de los estudios petrográficos. Las muestras tomadas del batolito de la costa tienen mayor contenido de aluminio que el de la cordillera Blanca.
3. Según Cobbing (1985), las muestras del batolito de la Costa tienen una edad de entre 37 millones de años, mientras que las de la cordillera Blanca entre 2 a 16.5 millones de años (Petford, 1996). Siendo el primero de mayor edad y según los análisis de los diagramas metalogenéticos con mayor influencia en la mineralización de yacimientos tipo pórfidos, epitermal, mientras que el segundo en depósitos polimetálicos de W y Sn.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda al lector realizar dataciones radiométricas de la zona para determinar edades cronológicas exactas de los batolitos del sector.
- ✓ Se recomienda a futuros tesisistas realizar un muestreo más denso para estudiar con mucho mayor detalle las características petromineralógicas de estos intrusivos.
- ✓ Se recomienda a estudiantes leer e interpretar los diagramas metalogenéticos con cuidado para evitar información errada.

BIBLIOGRAFIA

1. Acosta, J., et. al (2009). Memoria Mapa Metalogenético del Perú. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 17p.
2. Atherton, M., et. al, (1987). The Cordillera Blanca Batholith; a study of granite intrusion and the relation of crystal thickening to peraluminosity. *Geologische Rundschau*, vol. 76, pp. 213 – 232.
3. Blevin, P., (2013). Metallogeny of granitic rocks. The Ishihara symposium: *Granites and Associated Metallogenesis*, pp. 1-4.
4. Castro, A., (1989). Petrografía básica: Texturas, clasificación y nomenclatura de rocas. Ed. Parinfo, 139p.
5. Castro, A., (2015). Petrografía de Rocas Ígneas y Metamórficas. Ed. Parinfo, 263p.
6. Chappell, B (2004). Towards a unified model of granite genesis. *Transactions of The Royal Society of Edinburgh: Earth Science*, 95, pp. 1 – 10.
7. Chirif, L., (2010). Microscopía óptica de minerales. INGEMMET, Boletín N°1 serie J, 122p.
8. Cobbing, E., et al, (1977). Segments and super-units in The Coastal Batholith of Peru. *Journal of Geology*, volumen 85, pp. 625 – 631.
9. Cobbing, J., et al, (1996). Geología de los cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquián y Yanahuanca (20-h, 20-i, 20-j, 21-i, 21-j). Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Boletín N°76, Serie A: Carta Geológica Nacional, 237p.
10. Cortes, M. & Iglesias, M., (2004). Generalidades sobre la Metodología de la Investigación. Ed. Universidad Autónoma del Carmen, 105p.
11. Cossío, A. & Jaén, H., (1967). Geología de los cuadrángulos de Puemape, Chocope, Otuzco, Trujillo, Salaverry (Hojas 16-d, 16-e, 16-f, 17-e, 17-f, 18-f). Servicio de Geología y Minería, Boletín N°17, 157p.
12. Dávila, J. (2011). Diccionario Geológico. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 901p.
13. De la Roche, H. & Leterrier, J., (1973). Transposition du tetraedre mineralogique de yoder et tilley dans un diagramme chimique de

- classification des roches basaltique. C. R. Acad. Sci, París, Ser. D., 276, pp. 3115 – 3118.
14. De la Roche, H. et al, (1980). A classification of volcanic and plutonic rocks using R1 – R2 diagrams and major element analyses – its relationships and current nomenclature. Chem. Geol., 29, pp. 183 – 210.
 15. Frost, B., et. al (2001). A geochemical classification for granitic rocks. Journal of petrology, volumen 42, numero 11, pp. 2033 – 2048.
 16. García, M (sin fecha). Ambiente Ígneo o Magmático. Obtenido de: http://iespoetaclaudio.centros.educa.jcyl.es/sitio/index.cgi?wid_item=1739&wid_seccion=19
 17. Glosario Minería. (2013). Ganga. La información fue obtenida de: <https://glosarios.servidor-alicante.com/mineria/ganga>
 18. González, P. (2008). Textura de los cuerpos ígneos. Asociación Geológica Argentina, Serie B, Didáctica y complementaria N° 29 (ISSN 0328-2759) e INSUGEO, Serie Correlación Geológica N° 15, Capítulo 11: 171-197.
 19. INGEMMET, (1995). Boletín N°55 Serie A: Carta Geológica Nacional. Geología del Perú. 192p.
 20. Ishihara, S. (1977). The magnetite series and ilmenite series granitic rocks. Mining Geology 27, pp. 293 – 305.
 21. Ishihara, S., et. al, (2000). Magnetite/Ilmenite – series Classification and Magnetic Susceptibility of the Mesozoic – Cenozoic Batholiths in Peru. Resource Geology, volumen 50, pp. 123 – 129.
 22. León, W., et. al (1999). Mapa geológico del Perú. Escala 1: 1 000 000. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Boletín N°136, Serie A: Carta Geológica Nacional, 78p.
 23. Lopez, J. & Bellos, L., (2006). Texturas y estructuras de las rocas ígneas: Significado petrológico e implicancias en las condiciones de la formación de las rocas. INSUGEO, miscelánea 15, pp. 7-57.
 24. Los procesos geológicos internos, (sin fecha). Obtenido de: http://galeon.com/naturadavinci/docum/4ESOA/docs/geod_int.pdf
 25. Mackenzie, W., et al. (1982). Atlas of Igneous Rocks and their textures. Ed. Masson, 136 p.

26. Mackenzie, W. & Guilford, C., (1992). Atlas de petrografía: Minerales formadores de rocas en lámina delgada. Ed. Masson, 69p.
27. Mackenzie, W. & Adams, A., (1997). Atlas en color de rocas y minerales en lámina delgada. Ed. Masson, 108p.
28. McCourt, W., & Taylor, W., (1978). La geoquímica de los magmas del Batolito de la Costa. Sociedad Geológica del Perú, tomo 61, pp. 167 – 180.
29. Melgarejo, J., (2003). Atlas de asociaciones minerales en lámina delgada. Ed. Universidad de Barcelona, 445p.
30. Monje, L. (2018). La fotografía científica, la imagen de la ciencia. Madrid, España: Almacén del conocimiento. La Información ha sido obtenida de: <http://elalmacendelconocimiento.com/la-fotografia-cientifica-la-imagen-de-la-ciencia/>
31. Moreno, H & Ibáñez, S (Sin fecha). Diagramas QAPF Rocas Ígneas
32. Petford, N., & Barreiro, B., (1994). Isotopic and textural studies of minerals from the Cordillera Blanca Batholith, implications for crystallisation processes in large granitoids intrusions. Geological Survey, circular N°1107, pp 248.
33. Petford, N., & Atherton, M., (1996). Na – rich Partial Melts from Newly Underplated Basaltic Crust: The Cordillera Blanca Batholith, Peru. Journal of petrology, volumen 57, number 6, pp. 1491 – 1521.
34. Pitcher, W., et al, (1985). Magmatism at a plate edge The Peruvian Andes: The Peruvian Andes. Ed. Blackie & Son, 328 p.
35. Pracejus, B., (2008). The ore minerals under the microscope. An optical guide. Ed. Elsevier. 895p.
36. Rivera, H., (2007). Geología general. Segunda Edición. 250p
37. Rollinson, H. (1993). Using geochemical data; evaluation, presentation, interpretation. Essex: Longman Scientific & Technical. Longman Geochemistry Series, 352p.
38. Servicio Geológico Mexicano. (2017). El microscopio petrográfico. Ciudad de México: Museo Virtual. La Información fue obtenida de: https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Informacion_complementaria/El-microscopio-petrografico.html

39. Servicio Geológico Mexicano. (2017). Geoquímica. Ciudad de México: Museo Virtual. La información ha sido obtenida de: <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Geoquimica/Introduccion-geoquimica.html>
40. Servicio Geológico Mexicano. (2017). Yacimientos minerales. Ciudad de México: Museo Virtual. La información ha sido obtenida de: https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Yacimientos-minerales.html
41. Whalen, J., & Chappell, B., (1988). Opaque mineralogy and mafic chemistry of I – and S – type granites of the Lachlan fold belt, southeast Australia. *American mineralogist*, volumen 73, pp. 281 – 296.
42. Wilson, J., et. al, (1967). Geología de los cuadrángulos de Pallasca, Tayabamba, Corongo, Pomobamba, Carhuaz y Huari (Hojas: 17-h, 17-i, 18-h, 18-i, 19-g, 19-i). Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Boletín N°60, Serie A: Carta Geológica Nacional, 91p.

ANEXOS

A. MAPAS GEOLÓGICOS

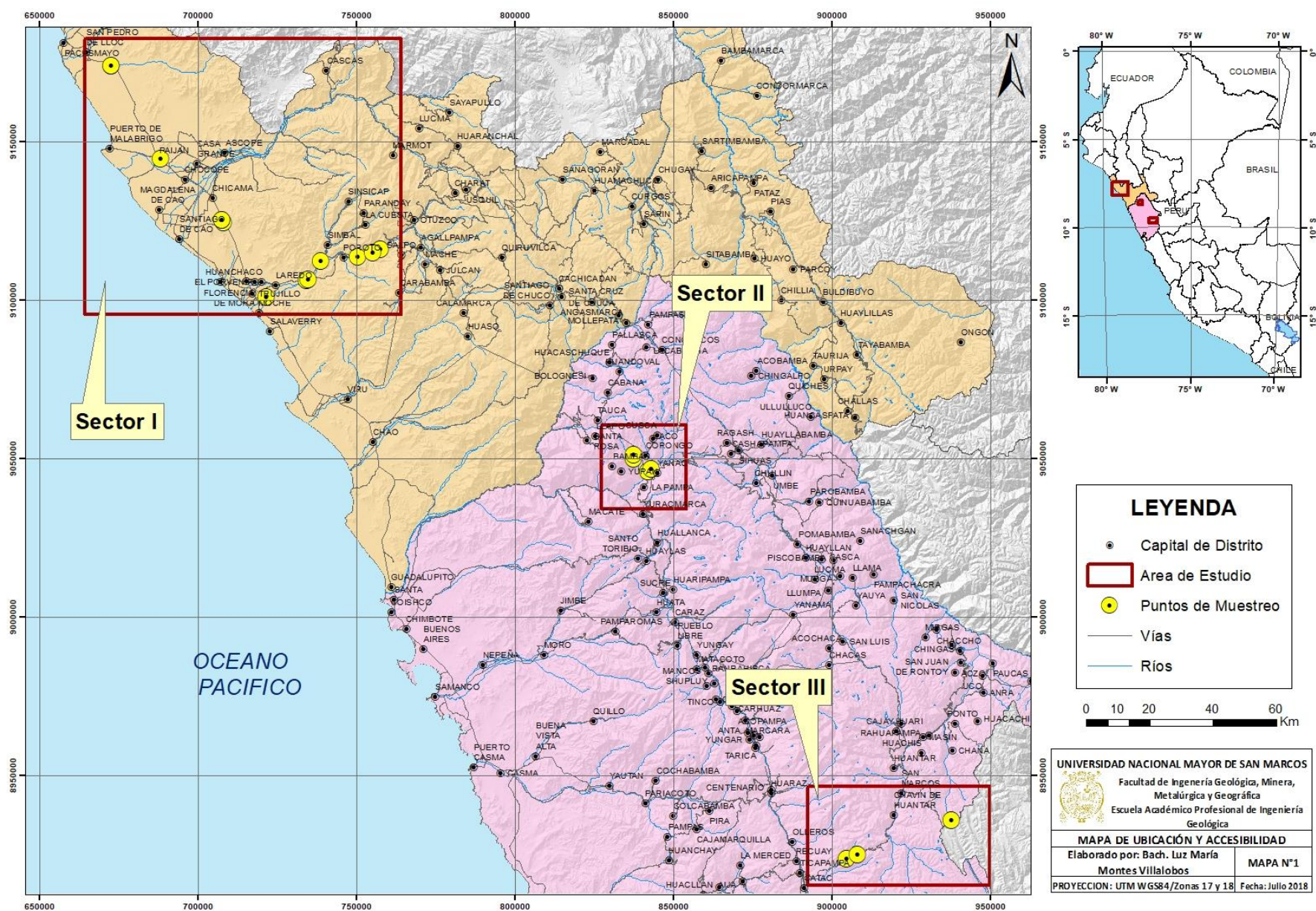


Figura N°53. Mapa de ubicación y accesibilidad de la zona de estudio. Fuente: Modificado de INGENMET, 2016

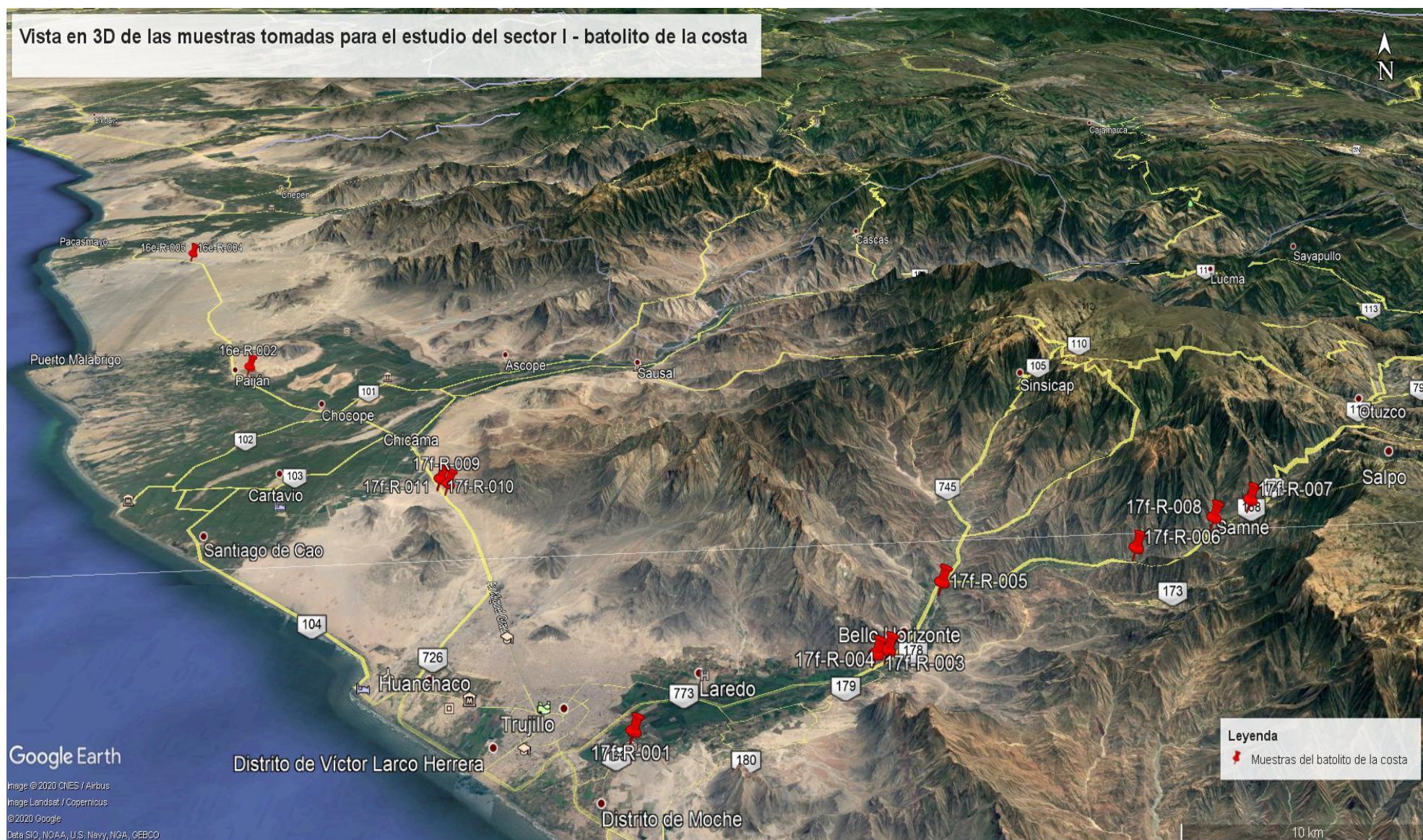


Figura N°54. Mapa en Google Earth de ubicación de las muestras de estudio sector I – batolito de la Costa. Fuente: www.google.com/maps, 2019.



Figura N°55. Mapa en Google Earth de ubicación de las muestras de estudio sector II – batolito de la cordillera Blanca. Fuente: www.google.com/maps, 2019.



Figura N°56. Mapa en Google Earth de ubicación de las muestras de estudio sector III – batolito de la cordillera Blanca. Fuente: www.google.com/maps, 2019.

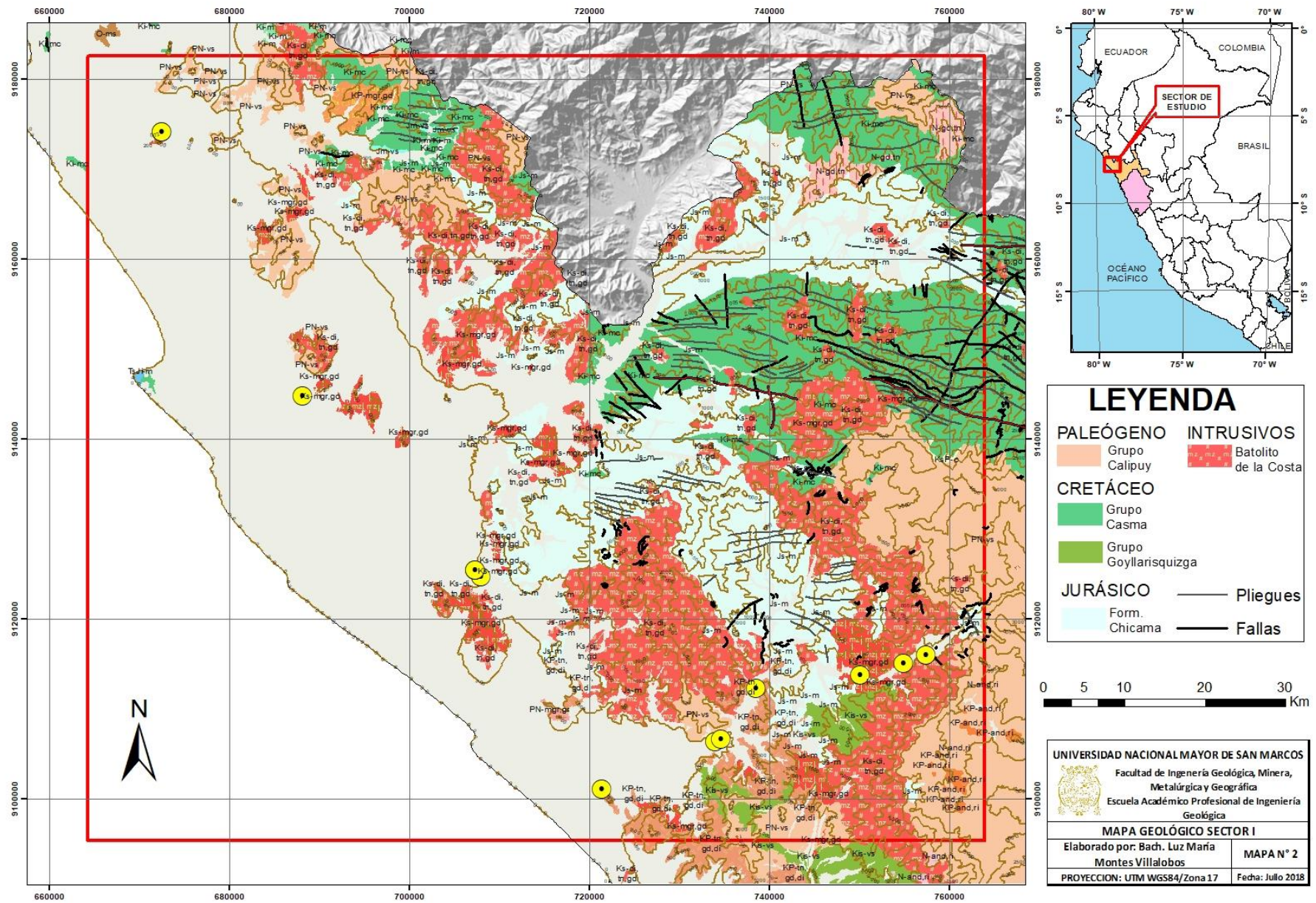
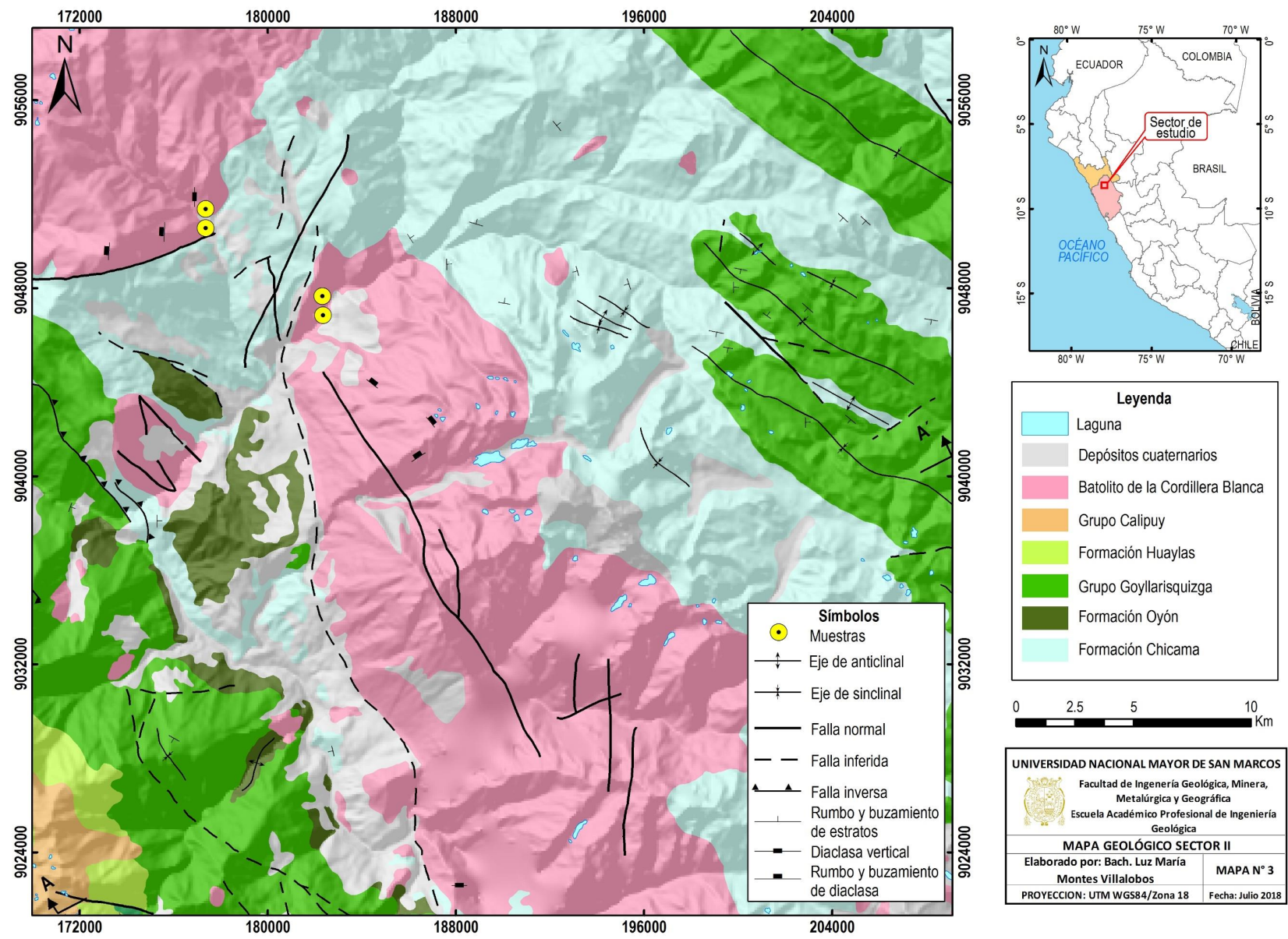


Figura N°57. Mapa geológico - estructural del sector I – muestras del batolito de la costa. Fuente: Modificado de INGEMMET, 2015.



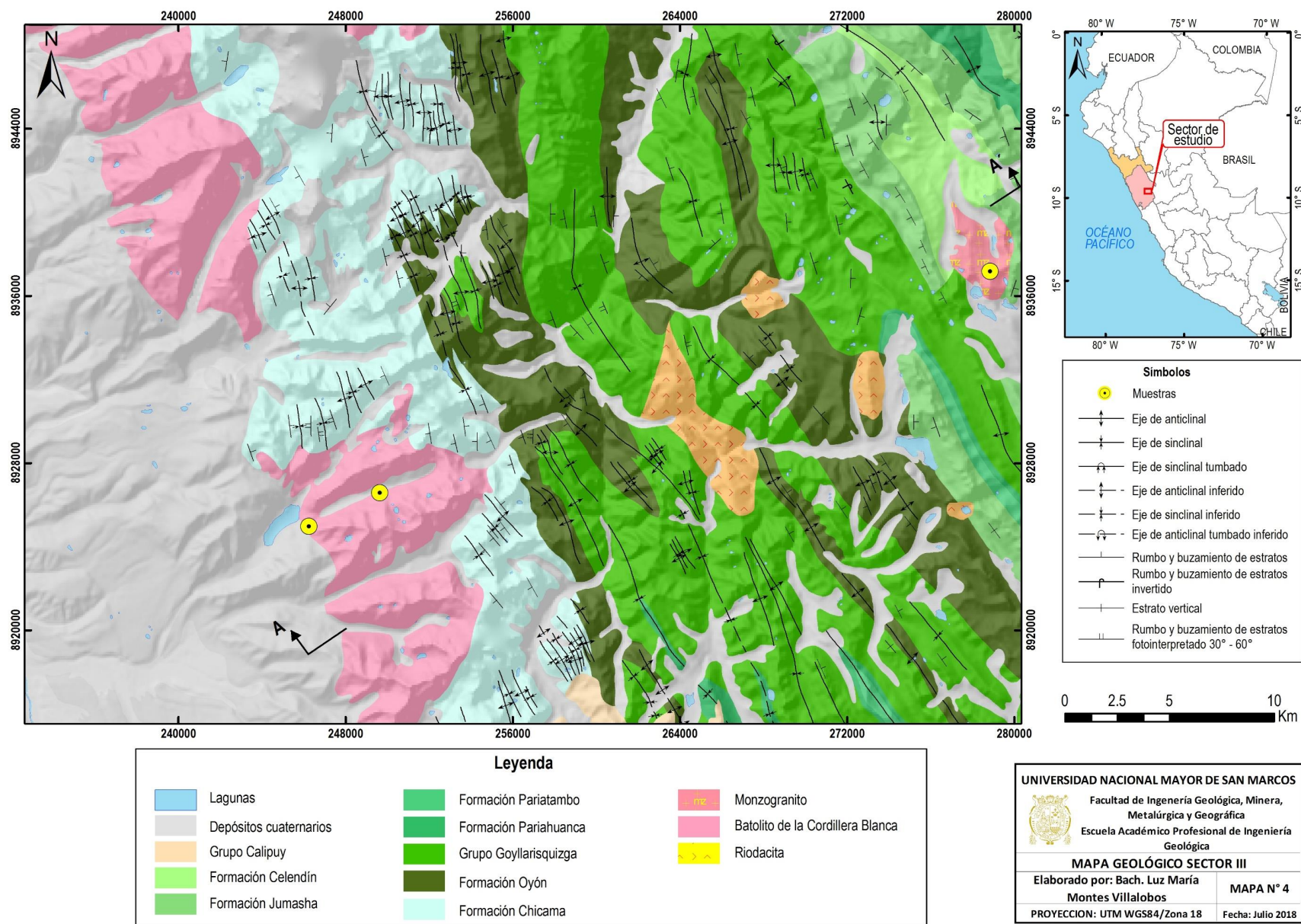


Figura N°59. Mapa geológico - estructural del sector III – muestras del batolito de la cordillera Blanca. Fuente: Modificado de INGEMMET, 2015.

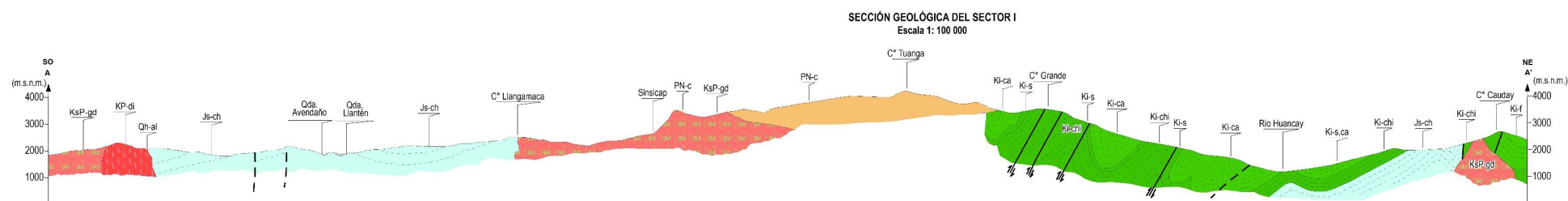


Figura N°60. Perfil geológico del sector I – muestras del batolito de la costa. Fuente: Obtenido de INGEMMET, 2015.

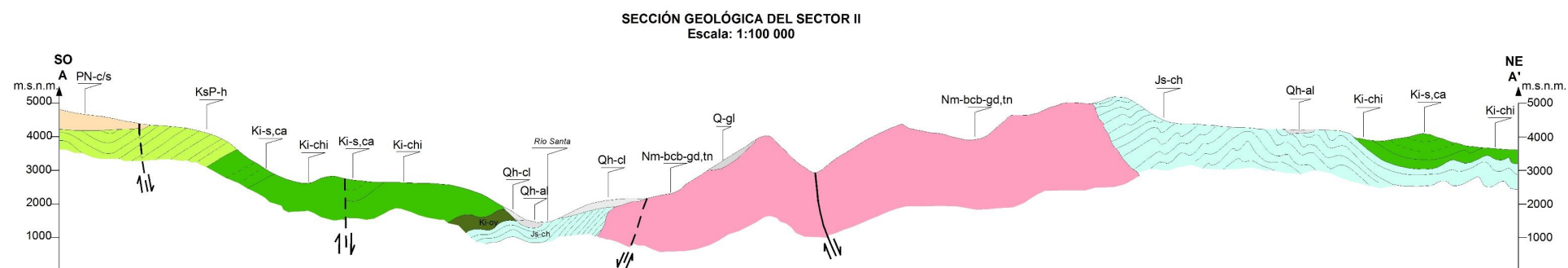


Figura N°61. Perfil geológico del sector II – muestras del batolito de la cordillera Blanca. Fuente: Obtenido de INGEMMET, 2015.

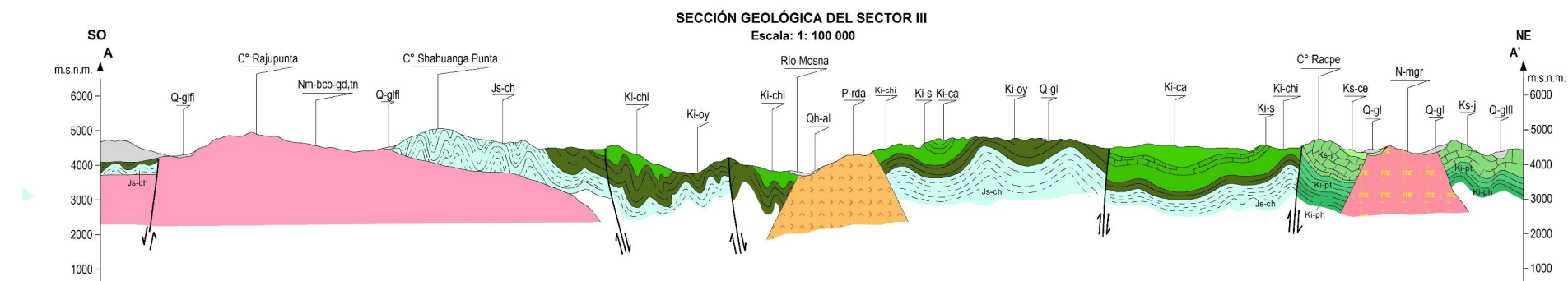


Figura N°62. Perfil geológico del sector III – muestras del batolito de la cordillera Blanca. Fuente: Obtenido de INGEMMET, 2015.

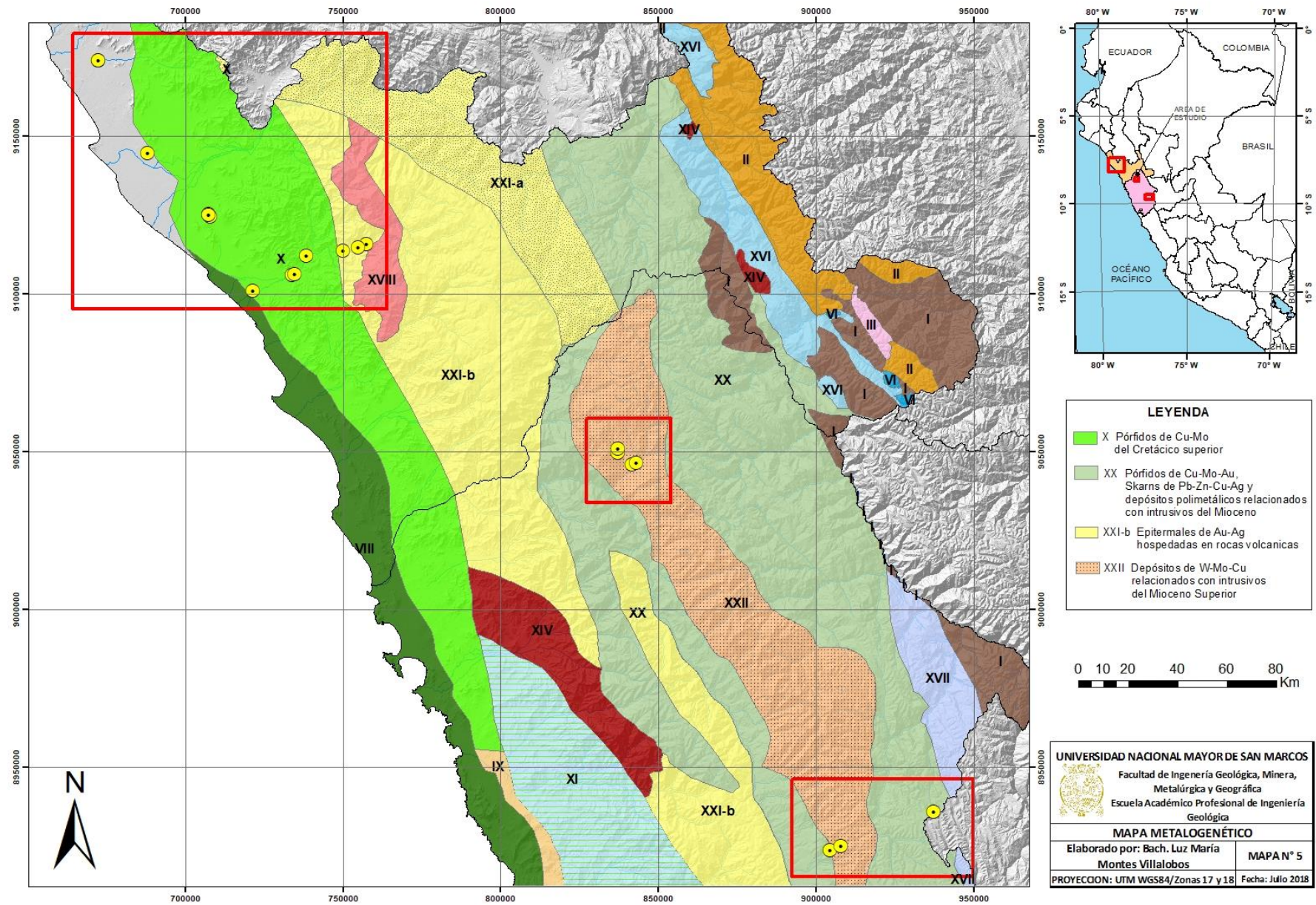


Figura N°63. Mapa metalogénico de la zona de estudio. Fuente: Modificado de INGEMMET, 2016.

ANEXOS

B. PANEL FOTOGRÁFICO

PANEL FOTOGRÁFICO:

1.- BATOLITO DE LA COSTA



Figura N°64.- Intrusivos del batolito de la costa en la localidad de Trujillo. Foto tomada el día 02-08-2015. Fuente: Acosta, 2015.



Figura N°65.- Intrusivos del batolito de la costa en la localidad de Trujillo. Foto tomada el día 03-08-2015. Fuente: Acosta, 2015.

2.- BATOLITO DE LA CORDILLERA BLANCA



Figura N°66.- Intrusivos del batolito de la cordillera Blanca en la localidad de Ancash. Fotot tomada el día 16-08-2015. Fuente: Acosta. 2015



Figura N°67.- Intrusivos del batolito de la cordillera Blanca en la localidad de Ancash. Foto tomada el día 18-08-2015. Fuente: Acosta, 2015.

ANEXOS

C. ANÁLISIS QUÍMICOS

GGS del Peru S.A.C.																	
Division Laboratorio																	
Departamento Inorganico																	
Orden:		GQ1503511															
Cliente:		INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO															
Numero de Muestras:		61															
Lugar y Fecha de Recepcion:		CALLAO 14-Set-15															
Fecha de Reporte:		1-Oct-15															
Referencia del Cliente:		Proyecto GE39-2 Solicitud 11/09/2015 Orden de Servicio 01496															
Elemento	Al2O3	CaO	Cr2O3	Fe2O3	FeO	K2O	MgO	MnO	Na2O	P2O5	SiO2	Ti2O	V2O5	Sum	LOI	Peso Muestr	P_MEN140
Unidad	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	G	%
Metodo	XRF76Z	XRF76Z	XRF76Z	XRF76Z	CLA01A	XRF76Z	XRF76Z	XRF76Z	XRF76Z	XRF76Z	XRF76Z	XRF76Z	XRF76Z	XRF76Z	XRF76Z	PMI_CH	PMI_M140
Limite Detec.	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01		
GE39-17f-R-001 ROCA FOSFORICA	15.1	4.69	0.01	6.72	4.14	3.04	2.43	0.14	2.95	0.14	62.5	0.5	0.02	102.38	0.74	100	98.9
GE39-17f-R-003 ROCA FOSFORICA	12	1.13	0.02	2.38	1.46	4.48	<0.01	0.05	3.6	0.01	76.5	0.06	<0.01	101.69	0.17	100	--
GE39-17f-R-004 ROCA FOSFORICA	12.6	0.86	<0.01	2.36	1.23	4.54	0.23	<0.03	3.84	0.04	74.4	0.15	<0.01	100.28	0.26	100	--
GE39-17f-R-005 ROCA FOSFORICA	16.3	5.42	0.01	7.31	4.44	3.24	2.98	0.13	2.81	0.16	59.7	0.75	0.03	103.28	1.57	100	--
GE39-17f-R-006 ROCA FOSFORICA	12.3	0.65	<0.01	1.76	0.69	5.35	0.12	0.04	3	0.03	75.6	0.14	<0.01	99.68	0.17	100	--
GE39-17f-R-007 ROCA FOSFORICA	15.8	5.61	0.01	6.96	4.58	2.47	2.98	0.12	2.98	0.15	60.2	0.78	0.03	102.67	0.63	100	--
GE39-17f-R-008 ROCA FOSFORICA	15.6	5.19	<0.01	6.4	3.85	2.53	2.8	0.11	2.98	0.13	61.3	0.73	0.02	101.64	0.55	100	--
GE39-17f-R-009 ROCA FOSFORICA	15	2.81	0.01	2.49	1.64	1.97	0.64	0.06	4.49	0.1	71.2	0.18	<0.01	100.59	0.87	100	--
GE39-17f-R-010 ROCA FOSFORICA	14.1	1.87	<0.01	2.29	1.34	3.29	0.62	0.06	3.98	0.07	72.4	0.14	<0.01	100.16	0.41	100	--
GE39-17f-R-011 ROCA FOSFORICA	16.6	3.42	<0.01	3.29	1.35	1.9	1.76	0.08	4	0.23	63.9	0.57	0.01	97.11	3.13	100	--
GE39-16e-R-001 ROCA FOSFORICA	16.9	5.48	<0.01	6.82	3.42	1.73	3.09	0.13	3.87	0.24	57.9	0.62	0.02	100.22	2.29	100	--
GE39-16e-R-004 ROCA FOSFORICA	16.1	5.65	<0.01	7.48	4.19	2.29	3.05	0.12	3.53	0.2	60.2	0.87	0.03	103.71	1.22	100	--
GE39-16e-R-005 ROCA FOSFORICA	14.9	3.35	0.01	5.68	2.95	3.45	1.85	0.09	3.56	0.15	65.5	0.65	0.02	102.16	1.79	100	--
GE39-18H-R-001 ROCA FOSFORICA	16.7	4.25	<0.01	4.4	3.48	2.48	1.38	0.08	4.61	0.23	63.3	0.6	0.02	101.53	0.21	100	--
GE39-18H-R-002 ROCA FOSFORICA	16.9	3.99	<0.01	4.26	2.07	2.79	1.27	0.06	4.77	0.25	64.4	0.58	0.02	101.36	0.29	100	--
GE39-18H-R-003 ROCA FOSFORICA	16.3	3.52	<0.01	3.56	1.95	2.47	1.13	0.07	4.79	0.17	66	0.49	0.01	100.46	0.27	100	--
GE39-18H-R-004 ROCA FOSFORICA	16	3.44	0.01	3.57	2.03	2.43	1.03	0.07	4.76	0.16	65.8	0.43	<0.01	99.73	1.68	100	--
GE39-20i-R-001 ROCA FOSFORICA	15.4	2.85	<0.01	2.93	1.8	3.6	0.79	0.06	4.19	0.11	69.3	0.37	<0.01	101.4	0.24	100	--
GE39-20i-R-002 ROCA FOSFORICA	15.4	3.48	0.01	4.26													

Figura N°69.- Resultados de los análisis químicos para óxidos obtenidas del laboratorio SGS. Fuente: Ingemmet, 2015.