



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

**PETROLOGÍA DEL COMPLEJO DE GABROS DE LAS ISLAS  
CAROLINE, THOMAS, SIDNEY Y LONDON, BATOLITO  
FUEGUINO: XII REGIÓN DE MAGALLANES Y DE LA  
ANTÁRTICA CHILENA, CHILE.**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO**

**ANDRÉS ROBERTO GÓMEZ GAJARDO**

**PROFESOR GUÍA**  
MAURICIO CALDERÓN NETTLE

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN**  
FRANCISCO HERVÉ ALLAMAND  
LUIS AGUIRRE LE BERT

SANTIAGO DE CHILE  
2015

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE GEÓLOGO.

POR: Andrés Roberto Gómez Gajardo

FECHA: 31.07.2015

PROFESOR GUÍA: Mauricio Calderón Nettle

Petrología del Complejo de Gabros de las islas Caroline, Thomas, Sidney  
y London, Batolito Fueguino: XII Región de Magallanes y de la  
Antártica Chilena, Chile.

En este trabajo se presentan por primera vez datos de campo, petrográficos y geoquímicos de afloramientos de cuerpos plutónicos faneríticos y diques de composiciones basálticas y riolítica encontrados en las islas Caroline, Thomas, Sidney y London, las cuales se ubican al sur de los 54° S en el extremo austral de Sudamérica, Chile.

Entre las rocas estudiadas, se encuentran asociaciones de gabros/dioritas y cuarzo-gabros/dioritas (Complejo de Gabros), granodioritas y tonalitas, todas ellas presentando relaciones de contactos por intrusión con sus respectivos encajantes. Los cuerpos gabroicos presentan afinidades tholeiíticas en contraste con los granitoides (granodioritas y tonalitas) que se caracterizan por tener tendencias calcoalcalinas y una química con impronta de un ambiente de subducción clara. Los gabros presentan rasgos morfológicos, texturales, mineralógicos y de metamorfismo en facies esquistos verdes consistentes con rocas cumuladas máficas que han sufrido procesos secundarios de alteración en ausencia de procesos metamórficos dinámicos.

Dataciones U-Pb en circones obtenidos en un segregado magmático ubicado en los gabros, permitieron la obtención de una edad mínima de cristalización de 122 Ma aproximadamente. Sumado a esto, valores de razones elementales normalizadas a condrito (Gd/Yb, La/Sm, Zr/Nb, La/Yb, Nd/Yb), diagramas binarios (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y FeO<sub>t</sub>/MgO versus Zr) y comparaciones de diagramas de REE sugieren un ambiente genético asociado a la subducción de una proto-placa oceánica bajo una placa continental particularmente adelgazada la cual contribuye protagónicamente en la creación de los cuerpos plutónicos, y en donde la cristalización en cumulados magmáticos para los gabros/dioritas y cuarzo-gabros/dioritas juega un rol importante en la génesis de estos, quedando evidenciado visualmente por texturas cumuladas presentes en los afloramientos.

Finalmente, datos de geoquímica total de las rocas para elementos de interés económico (por ejemplo Cu, Ni, Cr y Pb), resultados de fluorescencia de rayos X y análisis calcográficos tanto para los cuerpos básicos como para los más ácidos, presentan una escasa mineralización de mena asociada a estos elementos de interés y por tanto las rocas en estudio constituirían cuerpos estériles y de nulo provecho económico.

## DEDICATORIA

Esta memoria cierra un ciclo en mi vida que quiero dedicar a Gabriel Eduardo Lazcano Castro, a quien llevaré en mi alma hasta nuestro reencuentro en algún lugar al otro lado del río.

## AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a Mauricio Calderón, que sin conocerme aceptó trabajar conmigo y quien me enseñó mucho más que geología. Gracias Mauricio por ser como eres, por tu profesionalismo, humildad y disposición. Agradezco también a los profesores Luis Aguirre y Francisco Hervé, quienes me ayudaron en este estudio y me recibieron cada vez que lo requerí. Juntos los tres representan el tipo de profesional que quiero ser en el futuro, un profesional de calidad y apasionado por la geología. Un profesional que como ustedes enseña con pasión y comparte lo que sabe desde un pedestal de par a par con la gente que se va interesando en esta bella ciencia.

Agradezco también a mi familia, quienes son los cimientos de mi vida y que sin ellos no podría construir ni concretar nada real por pequeño o loco que esto fuese. Los admiro, los amo y daría todo por ellos.

A la gente que me acompañó en este proceso, no es posible crear una vida sin la compañía de aquellos que tienen tus intereses. Una larga ruta desde bachillerato hasta los finales de geología ha estado llena de personas increíbles, de las que he aprendido mucho y respeto profundamente.

Quiero agradecer a la vida, por poner a tan bellas personas en mí camino y darme la oportunidad de ser un hombre libre y consciente de lo que tiene. Por darme los indicios para creer en algo más grande y entender que no se necesitan grandes cosas para ser feliz.

Más gracias: Iris Gajardo, Roberto Gómez, Irene Jara, Luis Gajardo, Leopoldo Gómez, Leopoldo Gómez (hijo), Cecilia Ramirez, Cecilia Gómez, Víctor Dames, Alejandra Montes, Ruben Gómez, Isabel Gajardo, Luis Beltrán, Karen Sizelove-Stavig, Roy Stavig, Nathan Stavig, Kadelyn Stavig, Gabriel Lazcano, Joshua Durán, Eduardo Cisterna, Jose Huerta, Rodrigo Gonzalez, Karem Padilla, Madeleine Echeverría, Ignacio Maureira, Gisella Palma, Begoña Urtubia, Juan Cáceres, Mauricio Valenzuela, Consuelo Martinez, Katherine Muñoz, Andrea Castro, Karina Allende, Abraham San Juan, Bernardita Alvear, Nicole Loyola, Gonzalo Lagas, Sebastián Baeza, Daniela Villela, Paula Rojas, Leonardo Garrido, David Valenzuela, Octavio Figueroa, Valbort Hernandez, Javier Iriarte. María Paz Del Fierro, Edgardo Urbina, Fernando Sanchez, Diego Reyes, Juan Guasp, Nicolas Gajardo, Felipe Gajardo. Martina Espinoza, Nadia Herrera. Blanca Baccola, Roberto Valles, Julio Díaz, Eneko Beriain.

Este estudio fue financiado por Proyecto Anillo Antártico ACT-105 y proyecto Fondecyt N°1121140 (CONICYT), al cual agradezco la confianza y oportunidad de haber podido trabajar para el.

## TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.	GENERALIDADES .....	1
1.1.1.	Objetivo General .....	1
1.1.2.	Objetivos Específicos.....	1
1.1.3.	Hipótesis de Trabajo .....	1
1.1.4.	Zona de Estudio: Ubicación y vías de acceso .....	1
1.1.5.	METODOLOGÍA GENERAL .....	2
2.	MARCO GEOLÓGICO.....	3
2.1.	ESCALA REGIONAL .....	3
2.2.	ESCALA LOCAL.....	6
2.2.1.	Basamento Metamórfico .....	6
2.2.2.	Rocas Estratificadas .....	6
2.2.3.	Complejos Ofiolíticos .....	8
2.2.4.	Rocas Intrusivas (Batolito Fueguino) .....	10
2.3.	EVOLUCIÓN GEOTECTÓNICA .....	11
3.	UBICACIÓN DE MUESTRAS Y DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS.....	13
3.1.	UBICACIÓN Y DISPOSICIÓN ESPACIAL DE MUESTRAS.....	13
3.2.	DESCRIPCIÓN GENERAL DE AFLORAMIENTOS .....	16
3.2.1.	Gabros, cuarzo-gabros, dioritas y cuarzo-dioritas. ....	16
3.2.2.	Tonalitas, granodioritas, monzo-granitos y granitoide cuarcífero. ....	17

3.2.3.	Diques máficos: Basaltos .....	18
3.2.4.	Diques intermedios: Andesitas y dacitas .....	19
4.	RESULTADOS .....	21
4.1.	PETROGRAFÍA.....	21
4.1.1.	Gabros, cuarzo-gabros, dioritas y cuarzo-dioritas .....	23
4.1.2.	Tonalitas, Granodioritas, Monzo-granitos y Granitoide cuarcífero .....	26
4.1.3.	Basaltos .....	29
4.1.4.	Andesitas y Dacitas .....	30
4.2.	GEOQUÍMICA DE ROCA TOTAL .....	32
4.2.1.	Elementos Mayores.....	32
4.2.2.	Clasificación Geoquímica y Nomenclatura según Elementos Mayores .....	33
4.2.3.	Caracterización Geoquímica según Elementos Mayores.....	38
4.2.4.	Caracterización Geoquímica según Elementos Traza.....	46
4.2.5.	Aracnograma de REE normalizado a N-MORB y diagramas multielementos	58
4.3.	GEOCRONOLOGÍA DE U-PB EN CIRCONES .....	72
5.	APARTADO GEOLOGÍA ECONÓMICA .....	75
6.	DISCUSIÓN.....	80
6.1.	GENERAL.....	80
6.2.	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL .....	80
6.3.	PETROGRAFÍA Y MINERALOGÍA (PRIMARIA Y SECUNDARIA) .....	80
6.4.	GEOQUÍMICA DE ROCA TOTAL .....	82
6.4.1.	Gabros/dioritas y cuarzo-gabros/dioritas, gabros del Complejo Ofiolítico Tortuga y cuerpos gabroicos del Batolito Fueguino .....	82

6.4.2. Diques máficos (Basaltos), Diques y Basaltos de la Formaciones Yahgán y Hardy y diques del Complejo Ofiolítico Tortuga.....	88
6.5. GEOCRONOLOGÍA DE U-Pb .....	94
6.6. MODELOS PETROGENÉTICOS .....	96
6.6.1. Cuenca de trasarco y generación de ofiolita. ....	96
6.6.2. Ambiente de Subducción: proto-placa oceánica bajo una corteza continental adelgazada. 99	
7. CONCLUSIÓN .....	103
8. BIBLIOGRAFÍA.....	105
9. ANEXOS.....	113
9.1. ANEXO A: DESCRIPCIONES PETROGRÁFICAS EN LÁMINA DELGADA 113	
9.2. ANEXO B: DESCRIPCIONES CALCOGRÁFICAS DE CORTES PULIDOS 164	
9.3. ANEXO C1: GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS TRAZA .....	178
9.4. ANEXO C2: GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS TRAZA – CONTROL DE CALIDAD 182	
9.5. ANEXO D: FLUORESCENCIA DE RAYOS X .....	186

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1: Coordenadas Norte y Este (UTM-WGS84) y nombre de la isla asociada a la ubicación de la muestra correspondiente.....	14
Tabla 3-2: Tabla con información estructural (manteo y dirección del manteo) para las muestras de diques máficos (basaltos). Abreviaciones: act: actinolita. Hbl: hornblenda. Px: piroxeno.....	19
Tabla 3-3: Tabla con información estructural (dip y dip direction) para las muestras de diques intermedios (dacitas y andesita).....	19
Tabla 4-1: Tabla con nomenclatura asignada según clasificación de Streckeisen (1974) mediante la utilización del estudio petrográfico y respectivos porcentajes normalizados de Q (Cuarzo), A (Feldespato Alcalino), P (Plagioclasa). Abreviaciones: Oli: Olivino, Cpx: Clinopiroxeno, Px: Piroxeno (no distinguible entre orto y clino-piroxeno), Hbl: Hornblenda, Bt: Biotita. Las muestras se encuentran ordenadas desde arriba hacia debajo de manera creciente según “Q”. .....	21
Tabla 4-2: Contenido de anortita en plagioclasa según tipo litológico para la discriminación entre gabro y diorita utilizado en el análisis de secciones transparentes. ....	22
Tabla 4-3: Datos geoquímicos en porcentaje en peso (wt%) de elementos mayores representados en óxidos en análisis de roca total para las muestras seleccionadas del presente estudio (valores no normalizados).....	33
Tabla 4-4: Tabla resumen con mineralogía normativa en porcentaje en peso (wt%, calculada en base a los datos geoquímicos (Tabla 4-3) normalizados mediante la norma CIPW. Abreviaciones: Czo: cuarzo. Plg: Plagioclasa. Or: Ortoclasa. Zr: Circonio. Nf: Nefelina. Co: Corindón. Di: Diópsido. Hi: Hiperstena. Ol: Olivino. Ilm: Ilmenita. Mt: Magnetita. Ap: Apatito. Cr: Cromita.....	34
Tabla 4-5: Tabla resumen de clasificación de rocas y nomenclatura según diagramas TAS, R1-R2, QAP normativo y Petrografía para las muestras plutónicas. Abreviaciones: qz: cuarzo..	35
Tabla 4-6: Tabla resumen de clasificación de rocas y nomenclatura según diagramas TAS, R1-R2, QAP normativo y Petrografía para las muestras asociadas a diques. ....	36
Tabla 4-7: Tabla resumen que presenta el carácter de alúmina para cada una de las muestras analizadas, razón A/CNK, contenido de SiO <sub>2</sub> , nombre según diagrama QAP de Streckeisen (1974) utilizando mineralogía normativa y código de la muestra.....	43

Tabla 4-8: Tabla resumen basada en la clasificación tectónica para las muestras de basalto de la Figura 4-21. Además se agrega la muestra de Riolita (AA1421). .....	50
Tabla 4-9: Datos geoquímicos de elementos mayores (%) y tierras raras (REE) normalizadas a condrito según Sun y McDonough (1989, ppm). Abreviaciones: G/D: Gabro/Diorita. QZ-G/D: Cuarzo-Gabro/Diorita. Ton: Tonalita. Grd: Granodiorita. Bas: Basalto. Rio: Riolita. ....	52
Tabla 4-10: Muestras agrupadas por tipo litológico según clasificación normativa CIPW. Contenido de sílice (%), anomalía de Eu ( $Eu_N^* = (Sm * Gd)^{1/2}$ ), razones de tierras raras: $(La/Yb)_N$ , $(La/Sm)_N$ , $(Sm/Yb)_N$ y $(Dy/Yb)_N$ son mostrados en la tabla. La muestra de gabro/diorita AA1437 contiene valores de La, Sm y Dy por debajo de sus respectivos límites de detección por lo que sus datos no fueron calculados. ....	54
Tabla 4-11: Datos geoquímicos de tierras raras (REE) normalizados a N-MORB según Sun y McDonough (1989), en ppm para análisis de roca total. Valores por debajo del límite de detección no son presentados en la tabla. ....	71
Tabla 5-1: Concentración mínima de elementos metálicos para constituir yacimientos. (Evans, 1980). ....	75
Tabla 6-1: Tabla comparativa según características petrográficas, mineralógicas, texturales y en el modo de aflorar para cuerpos de gabros/dioritas y cuarzo gabros/dioritas del presente estudio, Complejo de Gabros del Batolito Patagónico y gabros del Complejo Ofiolítico Tortuga. ....	81
Tabla 6-2: Tabla resumen comparativa para las muestras de gabro/diorita y cuarzo-gabro/diorita del presente estudio, gabros del Complejo Ofiolítico Tortuga del estudio de Avendaño (2008) y cuerpos gabroicos de Hervé et al in prep. Las razones elementales de elementos traza se encuentran normalizadas en base a condrito según Sun y McDonough (1989). Los recuadros en blanco corresponden a cocientes con alguno de los elementos en cuestión bajo el límite de detección del instrumento analizador. Abreviaciones: COT: Complejo Ofiolítico Tortuga. BF: Batolito Fueguino. Cpx: clinopiroxeno. Opx: ortopiroxeno. Ol: olivino. Qz: cuarzo. ....	84
Tabla 6-3: Tabla resumen comparativa para las muestras de diques, basaltos, diabasas y lamprófidos del presente estudio y el estudio de Avendaño (2008). Las razones elementales de elementos traza se encuentran normalizadas en base a Condrito según Sun y McDonough (1989). Dato en subrayado fue calculado asumiendo la concentración de Nb igual a 0,9 ppm debido a que la concentración de este elemento para esta muestra se encontraba por debajo del límite de detección del instrumento analizador (1 ppm). ....	90

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Mapa de ubicación de zona de estudio y rutas de llegada. Modificado de Googlemaps [consulta en línea 4 de Noviembre del 2014]...... 2

Figura 2-1: Mapa con provincias tectónicas principales al sur de los 50°S. 1. Basamento ígneo y metamórfico. 2. Cuenca de Rocas Verdes: relleno volcánico-sedimentario del Cretácico Temprano y Complejos ofiolíticos (en negro): COS: Complejo Ofiolítico Sarmiento, COA: Complejo Ofiolítico Capitán Aracena, COC: Complejo Ofiolítico Carlos III, COT: Complejo Ofiolítico Tortuga. 3. Batolito Patagónico. 4. Faja Plegada y corrida de Magallanes y cuenca antepaís (Cretácico Tardío-Neógeno). 5. Complejo metamórfico Cordillera de Darwin. ZFMF: Zona de Falla Magallanes-Fagnano (límite de placas Sudamericana y Scotia). ZFCB: Zona de Falla Canal Beagle. FD: Frente de Deformación. PT: Punto Triple. CHS: Campos de Hielo Sur. En círculos celestes se encuentran las islas en estudio. (Modificado de Poblete et al., 2015). ..... 3

Figura 3-1: Mapas de distribución espacial de las muestras tomadas en el presente estudio. Islas Caroline, Thomas, Sidney y London. Imágenes modificadas de BaseMap ArcGis 10.1. Nomenclatura abreviada para cada una de las muestras (por ejemplo “AA1402 queda representado como 02 en diagrama). ..... 15

Figura 3-2: A. Afloramiento de cuerpo gabroico en forma de “roof pendant” marcado con polígono negro, lugar desde el cual se obtuvieron las muestras de gabro de clinopiroxeno y hornblenda (AA1402 y AA1403). B. Contacto por intrusión entre cuerpo gabroico e intrusivo “claro”. C. Heterogeneidad interina de cuerpo gabroico en términos de tamaño de grano. D. Estratificación interna en cuerpo gabroico, bandas de minerales (piroxenos) acumulados. E. Afloramiento de gran envergadura de cuerpos gabroicos constituyendo una bahía. .... 16

Figura 3-3: A. Afloramiento tipo “pod pegmatítico” del cual se obtuvo la muestra de tonalita de hornblenda y biotita (AA1419) para análisis de geocronología de U-Pb en circones. Al fondo es posible apreciar la roca madre de este pod, un gabro de piroxeno y hornblenda (AA1418). B. Tonalita de hornblenda (AA1414) intruida por un dique de composición basáltica de alrededor de dos metros de espesor correspondiente a un basalto de hornblenda (AA1416). C. Vista panorámica que muestra afloramientos de intrusivos félsicos del presente estudio, muchos de ellos cubiertos completamente por vegetación. .... 17

Figura 3-4: Diques máficos (basaltos) de variadas envergaduras y orientaciones encontrados en la zona de estudio intruyendo tanto a cuerpos máficos como félsicos. .... 18

Figura 3-5: A: Dique dacítico correspondiente a la muestra AA1436 intruyendo a una tonalita de hornblenda y biotita correspondiente a la muestra AA1435. B y C. Dique andesítico correspondiente a la muestra AA1417 intruyendo a diques máficos (basalto de hornblenda correspondiente a la muestra AA1415) y a una tonalita de hornblenda correspondiente a la muestra AA1414. .... 20

Figura 4-1: Microfotografía a nicoles cruzados con aumento de 5x de la muestra AA1411, cuarzo-diorita de hornblenda y biotita (primaria). Textura poiquilítica en cristal de hornblenda con inclusiones de cristales de plagioclasa, cuarzo y opácos. También plagioclasa con sericitización media. ....	24
Figura 4-2: Microfotografía a nicoles cruzados con aumento de 5x de la muestra AA1440 correspondiente a un gabro de piroxeno y hornblenda. Textura coronítica en cristal de clinopiroxeno rodeado totalmente por cristal de hornblenda. También cristales de plagioclasa, opácos y cuarzo. ....	24
Figura 4-3: Microfotografía a nicoles paralelos (izquierda) y cruzados (derecha) con aumento de 2x de la muestra AA1437, gabro de olivino. Cristales de plagioclasa, piroxeno, hornblenda y olivino. ....	25
Figura 4-4: Microfotografía a nicoles cruzados con aumento de 2x de la muestra AA1402, gabro de clinopiroxeno y hornblenda. Se observan plagioclasas (An60) no orientadas y cristales de anfíbol (actinolita) crecidos intersticialmente. También menor hornblenda. ....	25
Figura 4-5: Microfotografía a nicoles paralelos con aumento de 20x de la muestra AA1432, tonalita actinolitizada. Se observan cristales de actinolita y stilpnomelano en equilibrio textural. ....	27
Figura 4-6: Microfotografía a nicoles cruzados con aumento de 2x de la muestra AA1414, tonalita de hornblenda. Se observan plagioclasas con bandeamiento de maclas (metamorfismo dinámico), hornblenda, feldespato potásico y cuarzo. ....	27
Figura 4-7 Muestra de tonalitas (rechazos). A: tonalita de hornblenda y biotita (AA1412). B: tonalita de hornblenda y biotita (AA1419). C: tonalita de hornblenda (AA1409). D: tonalita de biotita (AA1424). ....	28
Figura 4-8: Microfotografía a nicoles paralelos con aumento de 5x de la muestra AA1409, tonalita de hornblenda. Textura poiquilítica en cristal de hornblenda con cristales de plagioclasa como inclusiones. También se observan cristales de biotita, cuarzo y opácos. ....	28
Figura 4-9: Izquierda: Ejemplar (rechazo) de muestra AA1426, Basalto de piroxeno. Derecha: Fotomicrografía a nicoles cruzados con aumento de 2x de la misma muestra. Se observan fenocristales de piroxeno, plagioclasa y pseudomorfo de olivino con carbonatos (calcita?) como mineral reemplazante. ....	30
Figura 4-10: Izquierda: Ejemplar (rechazo) de muestra AA1416, Basalto. Derecha: Fotomicrografía a nicoles cruzados (der.) y paralelos (izq.) con aumento objetivo 2x de la misma muestra. Agregado cristalino de anfíboles (hornblenda) y plagioclasas con menor epidota y trazas de opácos. ....	30

Figura 4-11: Izquierda: Ejemplar (rechazo) de muestra AA1417, andesita. Derecha: Microfotografía a nicoles cruzados con aumento de 2x de la misma muestra. Se observan fenocristales de plagioclasa con reemplazo parcial por epidota granular y clorita reemplazando a silicatos máficos. .... 31

Figura 4-12: Izquierda: Microfotografía a nicoles cruzados con aumento de 10x de la muestra AA1413, metadacita de actinolita. Cristales aciculares de actinolita y epidota diseminada. Derecha: Microfotografía a nicoles cruzados con aumento de 20x de la muestra AA1436, dacita. Vetilla de ~0.4 mm de espesor rellena con prehnita y cuarzo en equilibrio textural. .... 31

Figura 4-13: Diagrama de clasificación QAP (Streckeisen, 1974). Porcentajes normalizados de Q (cuarzo), A (feldespato potásico) y P (plagioclasa) calculados en base a la mineralogía normativa mostrada en Tabla 4-4. Nomenclatura: di/gab/anr: diorita/gabro/anortosita. q di/gab/anr: cuarzo diorita/gabro/anortosita. ton: tonalita. grd: granodiorita. .... 35

Figura 4-14: A. Diagrama de clasificación R1-R2 para rocas volcánicas (De la Roche, 1980). B. Diagrama de clasificación QAP para rocas volcánicas, modificado del diagrama de clasificación QAP para rocas plutónicas de Streckeisen (1976). Porcentajes normalizados de Q (cuarzo), A (feldespato potásico) y P (plagioclasa) calculados en base a la mineralogía normativa mostrada en Tabla 4-4. C. Diagrama de clasificación TAS para rocas volcánicas (Le Maitre et al., 1989).  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  [wt%] versus  $\text{SiO}_2$  [wt%]. .... 37

Figura 4-15: Diagrama de clasificación AFM (Irvine y Baragar, 1971). .... 39

Figura 4-16: Diagrama de índice de hierro ( $\text{Fe}^*$ ) versus  $\text{SiO}_2$  (%); Frost et al., 2001.  $\text{Fe}^* = \text{FeO}_{\text{total}} / (\text{FeO}_{\text{total}} + \text{MgO})$ . La línea segmentada tiene como ecuación  $\text{Fe}^* = 0,486 + 0,0046 \times \text{SiO}_2$  (Frost et al., 2001). El recuadro celeste indica los límites para los cuales está definido el diagrama. .... 40

Figura 4-17: Diagrama de clasificación MALI (Modified Alkali-Lime Index, [wt%] versus  $\text{SiO}_2$  [wt%]. El término MALI está definido como  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{CaO}$  (Frost et al., 2001). El recuadro celeste indica los límites para los cuales está definido el diagrama. Las líneas de subdivisión de los campos expuestos están definidas según las siguientes ecuaciones: (1)  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{CaO} = -41,86 + 1,112 * \text{SiO}_2(\text{wt}\%) - 0,00572 * (\text{SiO}_2(\text{wt}\%))^2$ , para el límite entre los campos alcalino y alcalino-cálcico. (2)  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{CaO} = -44,72 + 1,094 * \text{SiO}_2(\text{wt}\%) - 0,00527 * (\text{SiO}_2(\text{wt}\%))^2$ , para el límite entre los campos alcalino-cálcico y calco-alcalino. (3)  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{CaO} = -45,36 + 1,0043 * \text{SiO}_2(\text{wt}\%) - 0,00427 * (\text{SiO}_2(\text{wt}\%))^2$ , para el límite entre los campos calco-alcalino y cálcico. .... 41

Figura 4-18: Diagrama de Saturación de Alúmina.  $\text{CaO}/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO})$  [mol] versus  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO})$  [mol]. Barton y Young, 2002. .... 42

Figura 4-19: Diagramas de variación Harker de elementos mayores (%) versus SiO <sub>2</sub> (%), para las muestras del presente estudio.....	45
Figura 4-20: diagramas de Discriminación tectónica para las rocas intrusivas del presente estudio. Ta versus Yb, Rb versus Yb+Nb y Nb versus Y. nomenclatura: Syn/COLG: granitos sincolisionales. VAG+Syn/COLG: granitos sincolisionales y de arco volcánico. VAG: granitos de arco volcánico. WPG: granitos de intraplaca. ORG: granitos de ridge oceánico (Pearce et al., 1984).....	47
Figura 4-21: Diagramas de discriminación tectónica para Basaltos del presente estudio. Ti vs Zr, Zr-Nb-Y, Th-Co, Y-La-Nb y V versus Ti. Para más información ver texto.....	49
Figura 4-22: Diagrama de distribución de REE normalizados a condrito (Sun & McDonough, 1989) para las muestras de intrusivos faneríticos del presente estudio.....	53
Figura 4-23: Diagrama de distribución de REE normalizadas a condrito (Sun & McDonough, 1989) para las muestras de dique del presente estudio.....	53
Figura 4-24: Diagrama de anomalía de Eu <sub>N</sub> (Eu <sub>N</sub> /Eu <sup>*</sup> <sub>N</sub> ), versus el contenido de SiO <sub>2</sub> (%). Eu <sup>*</sup> <sub>N</sub> =(Sm <sub>N</sub> *Gd <sub>N</sub> ) <sup>1/2</sup> .....	56
Figura 4-25: Diagramas de razones elementales (normalizadas a condrito según Sun y McDonough, 1989) La/Yb, La/Sm, Sm/Yb y Dy/Yb versus contenido de SiO <sub>2</sub> para las muestras del presente estudio. La muestra de gabro correspondiente al código AA1437 fue excluida por contener cantidades de Sm e Yb menores que el límite de detección del instrumento analizador (0,1 ppm). .....	57
Figura 4-26: Muestras de gabros/dioritas del presente estudio. A. Aracnograma de REE normalizado a N-MORB (Sun y McDonough, 1989). B. Diagrama de multielementos normalizado a condrito (Thompson, 1982). C. Diagrama multielemento normalizado a MORB (Pearce, 1983). D. Diagrama multielemento normalizado a manto primordial (McDonough, 1992) .....	59
Figura 4-27: A. Muestras de cuarzo-gabros/dioritas del presente estudio. Aracnograma de REE normalizado a N-MORB (Sun y McDonough, 1989). B. Diagrama de multielementos normalizado a condrito (Thompson, 1982). C. Diagrama multielemento normalizado a MORB (Pearce, 1983). D. Diagrama multielemento normalizado a manto primordial (McDonough, 1992) .....	61
Figura 4-28: Para las muestras de tonalitas del presente estudio. A. Aracnograma de REE normalizado a N-MORB (Sun y McDonough, 1989). B. Diagrama de multielementos normalizado a condrito (Thompson, 1982). C. Diagrama multielemento normalizado a MORB	

(Pearce, 1983). D. Diagrama multielemento normalizado a manto primordial (McDonough, 1992)  
..... 64

Figura 4-29: Muestras de granodioritas del presente estudio. A. Aracnograma de REE normalizado a N-MORB (Sun y McDonough, 1989). B. Diagrama de multielementos normalizado a condrito (Thompson, 1982). C. Diagrama multielemento normalizado a MORB (Pearce, 1983). D. Diagrama multielemento normalizado a manto primordial (McDonough, 1992)  
..... 66

Figura 4-30: Para las muestras de basalto del presente estudio. A. Aracnograma de REE normalizado a N-MORB (Sun y McDonough, 1989). B. Diagrama de multielementos normalizado a condrito (Thompson, 1982). C. Diagrama multielemento normalizado a MORB (Pearce, 1983). D. Diagrama multielemento normalizado a manto primordial (McDonough, 1992)  
..... 68

Figura 4-31: Para la muestra de riolita del presente estudio. A. Aracnograma de REE normalizado a N-MORB (Sun y McDonough, 1989). B. Diagrama de multielementos normalizado a condrito (Thompson, 1982). C. Diagrama multielemento normalizado a MORB (Pearce, 1983). D. Diagrama multielemento normalizado a manto primordial (McDonough, 1992)  
..... 70

Figura 4-32: Imagen de catodoluminiscencia de circones en tonalita (AA1419) del presente estudio..... 72

Figura 4-33: Análisis de datación U-Pb para la muestra de tonalita (AA1419). A. Diagrama de Terra-Wasserburg. B. Diagrama de densidad de probabilidad de edades. Diagrama de edad  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  versus U ppm. D. Diagrama weighted mean para el total de análisis realizados (30 análisis). E. Diagrama weighted mean para 27 análisis. .... 74

Figura 5-1: Concentraciones de elementos metálicos de consideración económica en las rocas del presente estudio a las cuales se les hizo geoquímica de roca total. En líneas azules se presentan los valores promedios para los respectivos elementos en la corteza según la Tabla 5-1. En líneas rojas se presentan aquellas concentraciones que podrían referir a un depósito mineral (estas pueden no estar debido a que se encuentran muy por encima de los valores medidos)..... 77

Figura 5-2: Concentraciones de elementos metálicos de consideración económica en todas las rocas del presente estudio a las cuales se les hizo fluorescencia de rayos X. En líneas azules se presentan los valores promedios para los respectivos elementos en la corteza según la Tabla 5-1.  
..... 78

Figura 5-3: A. Microfotografía a luz reflejada a nicoles paralelos con aumento de 5x de muestra de gabro de piroxeno y hornblenda (AA1418). Cristales de magnetita e ilmenita en equilibrio textural. B. Microfotografía a luz reflejada a nicoles paralelos con aumento de 20x de

diorita de piroxeno y hornblenda (AA1406). Textura simplectítica y poiquilítica de cristales anhedrales de magnetita en cristales de piroxeno, también ilmenita..... 79

Figura 5-4: A. Microfotografía a luz reflejada a nicoles paralelos con aumento de 20x de basalto de hornblenda (AA1415). Mineralización de piratas euhedrales, subhedrales y anhedrales diseminadas. B. Microfotografía a luz reflejada a nicoles paralelos con aumento de 5x de muestra de gabro de olivino (AA1437). Cúmulo de cristales de pirita, pirita diseminada y menor mineralización de calcopirita..... 79

Figura 5-5: A. Microfotografía a nicoles paralelos con aumento de 20x de muestra de tonalita de hornblenda y biotita (AA1433). Mineralización de magnetita, pirita, calcopirita y esfalerita (exsolución de calcopirita y esfalerita). B. Microfotografía a luz reflejada a nicoles paralelos con aumento de 20x de muestra de basalto de hornblenda (AA1415). Mineralización en cúmulo de pirita calcopirita y covelina..... 79

Figura 6-1: Diagramas comparativos de REE normalizados a condrito según Sun y McDonough (1989). A la izquierda: comparación entre gabros/dioritas (grupo Ia, Tabla 6-2) y gabros del Complejo Ofiolítico Tortuga (grupo II, Tabla 6-2). La muestra de gabro/diorita AA1437 no fue considerada como parte del grupo Ia para este diagrama por presentar un gran número de REE con concentraciones menores a sus respectivos límites de detección. A la derecha: comparación entre cuarzo-gabros/dioritas (grupo Ib, Tabla 6-2) y gabros del Complejo Ofiolítico Tortuga (grupo II, Tabla 6-2)..... 85

Figura 6-2: Diagrama comparativo de REE normalizado a condrito según Sun y McDonough (1989) para intrusivos del Batolito Fueguino con edades anteriores a la inversión de la cuenca de Rocas Verdes (grupo IIIa en Tabla 6-2). En polígono gris se muestra la tendencia de cuarzo-gabro/diorita del presente estudio (grupo Ib) y en polígono azul el análogo de gabro/diorita del presente estudio (grupo Ia)..... 85

Figura 6-3: Diagrama comparativo de REE normalizado a condrito según Sun y McDonough (1989) para intrusivos del Batolito Fueguino con edades posteriores a la inversión de la cuenca de Rocas Verdes (grupo IIIb en Tabla 6-2). En polígono gris se muestra la tendencia de cuarzo-gabro/diorita del presente estudio (grupo Ib) y en polígono azul el análogo de gabro/diorita del presente estudio (grupo Ia)..... 86

Figura 6-4: Diagrama comparativo de REE normalizado a condrito según Sun y McDonough (1989) para intrusivos máficos del Batolito Fueguino con edades desconocidas (grupo IIIc en Tabla 6-2). En polígono gris se muestra la tendencia de cuarzo-gabro/diorita del presente estudio (grupo Ib) y en polígono azul el análogo de gabro/diorita del presente estudio (grupo Ia)..... 87

Figura 6-5: Arriba a la izquierda: Diagramas de REE normalizadas a condrito (Sun y McDonough, 1989) para muestras de basalto, diabasa, dique y lamprófidio del Complejo Tortuga

(grupo II definido en la Tabla 6-3 ). Arriba a la derecha: Diagrama de REE normalizadas a condrito (Sun y McDonough, 1989) para basaltos (diques) de este estudio (grupo Ia definido en la Tabla 6-3). En polígono verde se muestra la tendencia del grupo II. Abajo a la izquierda: Diagrama de multielementos normalizados a MORB (Pearce, 1983) para el grupo II definido en la Tabla 6-3. Abajo a la derecha: Diagrama de multielementos normalizados a MORB (Pearce, 1983) para el grupo Ia definido en la Tabla 6-3 (basaltos de este estudio). En polígono verde se muestra la tendencia del grupo II ..... 91

Figura 6-6: Diagrama de discriminación tectónica según Cabanis y Lecolle (1989) para rocas del grupo Ia (diques-basaltos del presente estudio) y III (basaltos y dique de formaciones Hardy y Yahgán). ..... 92

Figura 6-7: Arriba a la izquierda: Diagramas de REE normalizadas a condrito (Sun y McDonough, 1989) para muestras de basaltos y dique de las formaciones Yahgán y Hardy (grupo III definido en la Tabla 6-3 ). Arriba a la derecha: Diagrama de REE normalizadas a condrito (Sun y McDonough, 1989) para basaltos (diques) de este estudio (grupo Ia definido en la Tabla 6-3). En polígono lila se muestra la tendencia del grupo III. Abajo a la izquierda: Diagrama de multielementos normalizados a MORB (Pearce, 1983) para el grupo III definido en la Tabla 6-3. Abajo a la derecha: Diagrama de multielementos normalizados a MORB (Pearce, 1983) para el grupo Ia definido en la Tabla 6-3 (basaltos de este estudio).En polígono lila se muestra la tendencia del grupo III..... 93

Figura 6-8: Diagramas de REE normalizadas a condrito según Sun y McDonough (1989) para gabro encajante (AA1418) y tonalita datada (AA1419). En el diagrama es posible observar un mayor enriquecimiento en el contenido de REE por parte de la muestra de tonalita coherente con el mayor grado de diferenciación que presenta esta respecto a su roca encajante. Además, se observa una relación “espejo” entre ambas líneas que refleja el contexto cogenético entre ambas muestras. Una anomalía postivía de Eu para la muestra de gabro refleja la acumulación de plagioclasa cálcica mientras que una anomalía negativa de Eu en su diferenciado magmático (muestra de tonalita AA1419) dejaría en evidencia la escases de Eu debido a la retención de este por parte de la fuente (retención de Eu en plagioclasas cálcicas en gabro)..... 94

Figura 6-9: A. Representación esquemática de la región sur-occidental de Gondwana. Partición de la cadena volcánica calcoalcalina y creación de una cuenca marginal con fondo de corteza semi-oceánica. Alejamiento del arco frontal activo del arco remanente extinto y adosado al continente. Apertura del Atlántico sur también está esbozada. Tomado de Suarez (1977).B. Interpretación paleogeográfica de los Andes sur y la Península Antártica para el Jurásico Tardío – Cretácico Temprano (Suárez, 1976). ..... 95

Figura 6-10: Diagramas de variación de (a) Ti, (b) P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, (c) FeOt/MgO y (d) Y frente a Zr para el Complejo de Gabros del presente estudio, gabros de los complejos Sarmiento (Saunders et al., 1979, Stern, 1979) y Tortuga (Suarez, 1977, Stern, 1979), y diques laterales respecto al eje de la cuenca marginal (Suarez, 1977, Saunders et al., 1979, Stern, 1980. En a) se indican además las

tendencias tholeiíticas de las lavas de la cuenca marginal (Rocas verde; Stern, 1979), calcoalcalina del arco magmático (Formación Hardy; Miller et al., 1994) y los campos IAT (tholeiitas de arco insular), OFB (basaltos de fondo oceánico) y CAB (basaltos calcoalcalinos) de Pearce y Cann (1973). Imágenes modificadas de Gonzalez-Guillot (2010). ..... 97

Figura 6-11: Perfil esquemático de la cuenca de Rocas Verdes en el Cretácico Temprano, modificado de Stern y De Wit (2003) y Montes (2013). Probable ambiente de formación de las rocas del Complejo de Gabros: subducción de una proto-placa oceánica bajo una corteza continental particularmente adelgazada..... 102

# **1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1. GENERALIDADES**

### **1.1.1. Objetivo General**

El objetivo de este trabajo es caracterizar petrológicamente las rocas intrusivas de las islas Caroline, Thomas, Sidney y London del Batolito Fueguino con el fin de relacionarlas entre sí y asociar sus condiciones espacio-temporales, petrográficas, geoquímicas y de alteración y mineralización con su contexto genético.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

- 1) Describir petrográficamente las rocas intrusivas del Batolito Fueguino, identificando su mineralogía primaria, de alteración y mineralización.
- 2) Realizar clasificaciones geoquímicas de las rocas intrusivas en cuestión.
- 3) Establecer la edad de cristalización de al menos uno de los cuerpos intrusivos máficos.
- 4) Entender la relación de las rocas en cuestión con las rocas del Complejo Ofiolítico Tortuga, de manera tal de comprender mejor su modo de emplazamiento.

### **1.1.3. Hipótesis de Trabajo**

El Complejo de Gabros en estudio se incluye dentro del Batolito Fueguino y es intruido por cuerpos graníticos, que en el sector tienen edades de ~ 118 Ma. En consideración de la potencial edad jurásica tardía – cretácica temprana del Complejo de Gabros y de sus similitudes composicionales con los gabros del Complejo Ofiolítico Tortuga (152-120 Ma), indicarían que el Complejo de Gabros en estudio se habría emplazado durante el desarrollo de la cuenca marginal de Rocas Verdes.

### **1.1.4. Zona de Estudio: Ubicación y vías de acceso**

La zona de estudio se encuentra localizada en la XII Región de Magallanes y de la Antártica Chilena, Chile, entre las coordenadas 54° 56' - 55° 52' S y 69° 42' - 72° 01' O. Específicamente el estudio se focaliza en las Islas Caroline y Thomas (al sur del canal Beagle) a 260 kilómetros de Punta Arenas, y las islas Sidney y London al SW del canal Cockburn, a 180 kilómetros de Punta Arenas.

El acceso a esta zona debe ser mediante embarcaciones marinas que zarpen desde Punta Arenas u otros puertos cercanos (como por ejemplo: Puerto del Hambre a 50 kilómetros al sur de Punta Arenas accesible por la ruta 9) con destino hacia el sur por el Estrecho de Magallanes, canal Cockburn, canal Ballenero y canal Beagle principalmente (Figura 1-1).



Figura 1-1: Mapa de ubicación de zona de estudio y rutas de llegada. Modificado de Googlemaps [consulta en línea 4 de Noviembre del 2014].

### 1.1.5. METODOLOGÍA GENERAL

Para el cumplimiento de los objetivos de esta memoria se realizaron las siguientes acciones:

- Campaña de terreno entre los días 12 de Enero del 2014 y 23 de Enero del mismo año. Esta campaña fue financiada por CONICYT en el marco del PROYECTO ANILLO ANTÁRTICO – ACT105 (N°1121140) adjudicado en el Tercer Concurso Nacional de Proyectos de Anillos de Investigación en Ciencia y Tecnología. Se recolectó un total de 39 muestras pertenecientes a distintos cuerpos intrusivos de las islas Caroline, Thomas, London, Sidney y Hoste.
- En relación al objetivo primero: Análisis petrográfico y calcográfico de secciones en microscopios de la Universidad de Chile.
- En relación al objetivo segundo: Análisis geoquímicos mediante método *Lithium Metaborate/Tetraborate Fusion - ICP and ICP/MS* de elementos mayores y trazas de 21 muestras en laboratorios de Actlabs, Canadá a cargo de Ariella Hoffman.
- En relación al objetivo tercero: Datación U-Pb método SHRIMP en zircones de 1 muestra del Complejo de Gabros perteneciente a Isla Thomas en laboratorio de la Universidad Nacional de Australia a cargo del Sr. Christopher M. Fanning.
- En relación al objetivo cuarto: Integración de toda la información obtenida en los puntos anteriores con información disponible de bibliografías específicas que permitan realizar una comparación con datos de otras unidades.

## 2. MARCO GEOLÓGICO

### 2.1. ESCALA REGIONAL

Los Andes Patagónicos al sur de los 50°S incluyen complejos metamórficos paleozoicos y mesozoicos, el Batolito Patagónico Mesozoico-Cenozoico y sucesiones sedimentarias y volcano-sedimentarias mesozoicas-cenozoicas plegadas y falladas.

La Figura 2-1 presenta la configuración de las placas tectónicas en el extremo sur de Sudamérica, las principales provincias tectónicas de la zona, estructuras mayores y las islas del presente estudio.

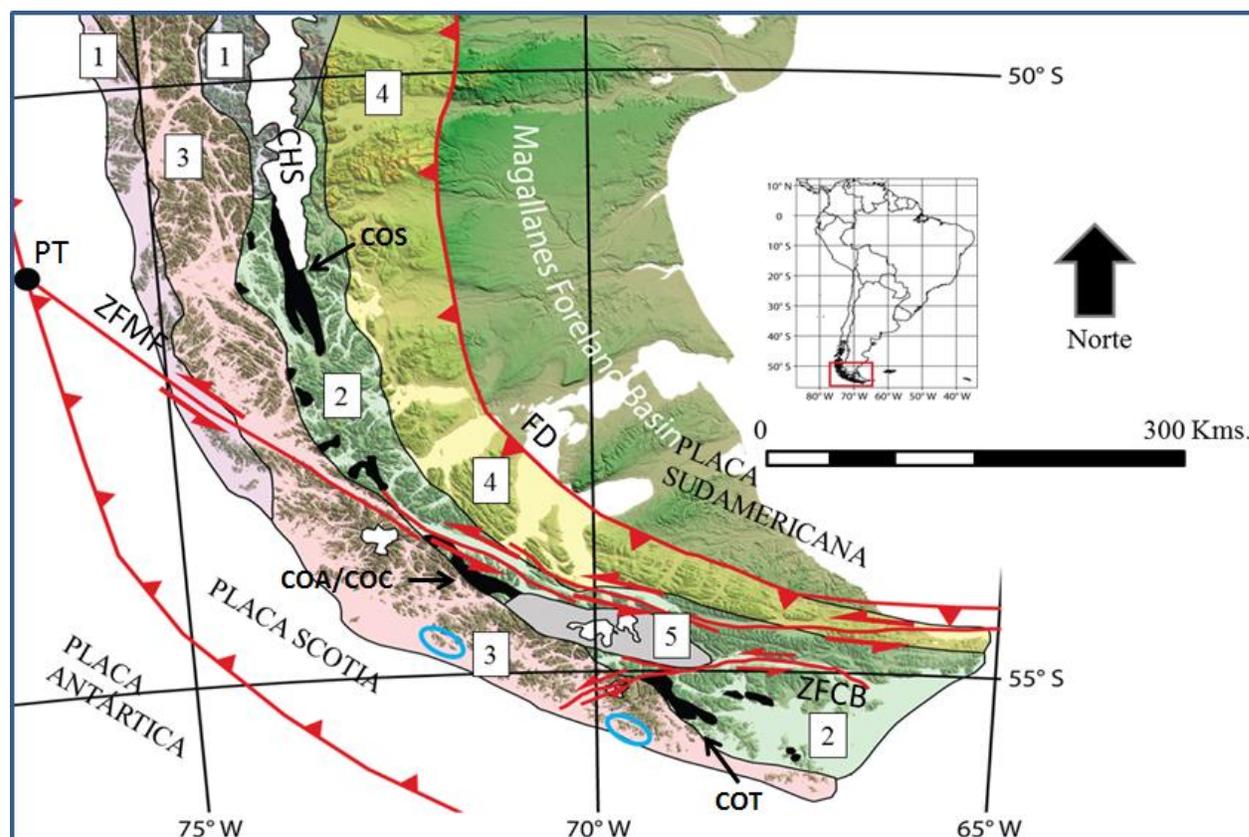


Figura 2-1: Mapa con provincias tectónicas principales al sur de los 50°S. 1. Basamento ígneo y metamórfico. 2. Cuenca de Rocas Verdes: relleno volcano-sedimentario del Cretácico Temprano y Complejos ofiolíticos (en negro): COS: Complejo Ofiolítico Sarmiento, COA: Complejo Ofiolítico Capitán Aracena, COC: Complejo Ofiolítico Carlos III, COT: Complejo Ofiolítico Tortuga. 3. Batolito Patagónico. 4. Faja Plegada y corrida de Magallanes y cuenca antepaís (Cretácico Tardío-Neógeno). 5. Complejo metamórfico Cordillera de Darwin. ZFMF: Zona de Falla Magallanes-Fagnano (límite de placas Sudamericana y Scotia). ZFCB: Zona de Falla Canal Beagle. FD: Frente de Deformación. PT: Punto Triple. CHS: Campos de Hielo Sur. En círculos celestes se encuentran las islas en estudio. (Modificado de Poblete et al., 2015).

La conjunción de tres placas tectónicas se desarrolla en la zona de estudio: La placa Antártica, que se encuentra separada de la placa de Nazca por la dorsal de Chile y que es subductada bajo las placas Sudamericana y Scotia. La placa Sudamericana, constituida por una

porción de corteza continental referente al continente Sudamericano y una porción de corteza oceánica que comprende la parte austral tanto del Océano Atlántico como la del Océano Pacífico, y la placa de Scotia, que contiene los bloques que alguna vez unieron al continente Sudamericano con la península Antártica y en donde se encuentra el actual mar de Scotia. (LODOLO *ET AL.*, 2010).

El Complejo Metamórfico Andino Oriental (al este del Batolito) es considerado el basamento metamórfico Paleozoico-Mesozoico temprano de los Andes Patagónicos Sur entre los 48–52°S (HERVÉ, 1993). Su protolito turbidítico está compuesto principalmente de pelitas, psammitas, greywackas, mármol, y basitas, el cual fue depositado en un margen continental pasivo (FAÚNDEZ *ET AL.*, 2002). Presenta una edad máxima de sedimentación de 374 Ma a los 48°S (THOMSON Y HERVÉ, 2002).

Al oeste del Batolito Patagónico (Islas Madre de Dios, Diego de Almagro y Desolación), afloran rocas metamórficas permo-triásicas consistentes en metabasaltos, mármoles y metaturbiditas. Estas son interpretadas como fragmentos acrecionados de un monte submarino en un margen activo paleo-Pacífico de Gondwana (FORSYTHE Y MPODOZIS, 1983) entre el Pérmico Temprano y el Jurásico Temprano (THOMSON Y HERVÉ, 2002).

Secuencias basales del Jurásico Medio al Tardío (conocidas como Formaciones Tobífera, El Quemado, Chon Aike) que constituyen el paquete estructural más bajo en lo que hoy es la faja plegada y corrida, fueron depositadas en *grabens*, en un contexto regional de adelgazamiento litosférico y rifting continental (WILSON 1991, ULIANA *ET AL.*, 1989). Estas formaciones comprenden sucesiones volcano-sedimentarias en las que dominan las rocas piroclásticas riolíticas y forman parte del volcanismo silíceo Jurásico en la Patagonia que está representado por una franja de afloramientos que se propaga por 1000 kilómetros (entre los 44°S y los 55°S) y que posee una potencia variable entre 600 a 1000 metros. Se ha propuesto un ambiente deposicional subacuático para una parte de la Formación Tobífera (WILSON, 1991) y su geoquímica indica que se formó por procesos de anatexia cortical precediendo a la formación de la cuenca de Rocas Verdes (BRUHN *ET AL.*, 1978). Probablemente la Formación Tobífera se habría depositado durante una fase extensiva, la cual habría ocurrido durante las etapas tempranas del rompimiento de Gondwana (PANKHURST *ET AL.*, 2000).

La cuenca de trasarco marina de Rocas Verdes de edad Jurásico tardío–Cretácico temprano (DALZIEL, 1981; STERN Y DEWITT, 2003; CALDERÓN *ET AL.*, 2007) es representada por afloramientos de remanentes ígneos discontinuos pertenecientes a complejos ofiolíticos a lo largo de los Andes Patagónicos. Esta cuenca se habría desarrollado a lo largo del margen convergente sur-occidental de Gondwana (STERN Y DE WITT, 2003; CALDERÓN *ET AL.*, 2007). El magmatismo máfico dentro de la cuenca de Rocas Verdes fue acompañado, en áreas vecinas, por un volcanismo ignimbrítico voluminoso (Formación Tobífera). Por lo tanto, el desarrollo de la cuenca habría sido coetáneo, al menos en parte, con el volcanismo silíceo y depositación de ignimbritas (CALDERÓN *ET AL.*, 2007).

Sobre los complejos ofiolíticos de la zona se encuentran por contacto deposicional sucesiones sedimentarias hemipelágicas correspondientes a las Formaciones Zapata y Yaghan. Estas Formaciones corresponden al relleno de la cuenca de Rocas Verdes y son fangolitas marinas que se acumularon en tal zona debido a una subsidencia térmica (WILSON, 1991).

Las ofiolitas sufrieron metamorfismo hidrotermal de piso oceánico (STERN *ET AL.*, 1976; ELTHON Y STERN, 1978) y fueron subsecuentemente enterradas y obductadas sobre el margen Sudamericano durante las fases de orogénesis Andinas en el Cretácico Medio (KATZ Y WATTERS, 1966). Es en este periodo donde ocurre entonces un cambio de régimen extensivo a uno compresivo cuando el arco y el cratón convergen (DALZIEL, 1981). Este evento da inicio a la deformación orogénica, levantamiento de los Andes, desarrollo de la cuenca antepaís de Magallanes y deposición de las sucesiones turbidíticas de la formación Punta Barrosa (WILSON, 1991) a partir del Turoniano (FILDANI *ET AL.*, 2003). Posteriormente, la compresión provoca la formación de una faja plegada y corrida de vergencia este desde el Cretácico Tardío al Neógeno (WILSON, 1991). Se describen dos comportamientos tectónicos para la faja plegada y corrida: uno de escama delgada con corrimientos de vergencia hacia el antepaís y fuerte plegamiento, y otro con pliegues de mayor amplitud asociados probablemente a una tectónica de escama gruesa (HARAMBOUR, 2002). El acortamiento varía desde 110 kilómetros en Argentina hasta 300-600 kilómetros en Tierra del Fuego (KRAEMER, 2003).

El Batolito Patagónico tiene una edad que abarca desde el Mesozoico hasta el Cenozoico, se extiende continuamente a lo largo del margen continental Andino de Sudamérica entre las latitudes 40°S y 56°S. (HERVÉ *ET AL.*, 2007). Ubicándose así sobre las placas Sudamericana y Scotia (Figura 2-1).

Este Batolito se subdivide usualmente en tres segmentos: El Batolito Patagónico Norte que se encuentra al norte de los 47°S, El Batolito Patagónico Sur ubicado entre los 47°S y los 53°S y el Batolito Fueguino que se extiende desde los 53°S hasta las latitudes más australes del continente.

El Batolito Patagónico Norte se formó como resultado de la subducción hacia el este de la placa de Nazca y se desarrolló sobre la placa Sudamericana en contraste con el Batolito Fueguino que se encuentra sobre la micro-placa de Scotia. Hoy en día, el Batolito Patagónico Sur se encuentra donde la placa Antártica es subductada bajo la placa Sudamericana, pero esta configuración tectónica sólo se logró hasta finales del Cenozoico, cuando el punto triple migró hacia el norte desde la punta austral del continente después de los 15 Ma. Gran parte, si es que no todo el batolito, se habría formado previo a este suceso (HERVÉ *ET AL.*, 2007).

El Batolito Fueguino es descrito como el resultado de intrusiones múltiples de carácter calcoalcalino, en el que predominan las tonalitas y granodioritas, con menor proporción de granitos, monzodioritas cuarcíferas, dioritas cuarcíferas, dioritas y gabros. (SUAREZ *ET AL.*, 1985).

La roca de caja del Batolito Patagónico corresponde a rocas volcánicas, plutónicas y sedimentarias que se habrían formado y depositado, antes y durante un sistema de cuenca de trasarco marina marginal y arco volcánico los cuales se desarrollaron en respuesta a la subducción de la proto placa de Nazca bajo la placa Sudamericana y al desmembramiento del magacontinente de Gondwana. El Batolito Fueguino se habría emplazado antes y durante la fase tectónica que afectó al sector de Tierra del Fuego, alrededor de los 100-93 Ma, y que continuó incluso una vez terminado este episodio (SUAREZ *ET AL.*, 1985).

## 2.2. ESCALA LOCAL

Las unidades geológicas ubicadas entre los 54°S y los 56°S, que es donde se ubican las islas en estudio, tienen edades que varían desde el Jurásico Medio al reciente. Estas corresponden a rocas volcánicas, plutónicas y sedimentarias que durante el Jurásico Superior y el Cretácico Inferior se enmarcaban en un ambiente tectónico de arco volcánico y cuenca marina marginal de trasarco en un límite de placas convergente asociado a la subducción de la placa proto-pacífico bajo Gondwana.

### 2.2.1. Basamento Metamórfico

El basamento metamórfico está representado por el “Complejo Metamórfico Cordillera de Darwin” de edad Paleozoico tardío – Mesozoico temprano, y corresponde a esquistos pelíticos y psamopelíticos, filitas y menor contenido de rocas meta-volcánicas. Este complejo rocoso se deformó y sufrió un proceso de metamorfismo antes de su alzamiento y erosión en el Mesozoico Temprano. Posteriormente, una vez que se depositaron sobre él las secuencias del Jurásico Superior y Cretácico Inferior (Fm. Tobífera y Fm. Yaghán, respectivamente), el Complejo Metamórfico y la cobertura Mesozoica volvieron a deformarse en el Cretácico Medio asociado al cierre de la cuenca de Rocas Verdes (HERVÉ *ET AL.*, 1981, HERVÉ *ET AL.*, 2010).

Además, en la Cordillera de Darwin afloran tres suites intrusivas que, de más antigua a más joven corresponden a: una suite granítica que intruyó al basamento previamente deformado y metamorfizado, una suite de diques basálticos que penetran tanto al Complejo Metamórfico cordillera de Darwin como a la suite anteriormente descrita y que podrían estar relacionados a la apertura de la cuenca marginal de Rocas verdes en el Cretácico Inferior y, finalmente, el Batolito Patagónico que intruyó a todo lo descrito anteriormente luego del último evento de deformación asociado a la orogénesis Andina en su etapa temprana en el Cretácico Medio (HERVÉ *ET AL.*, 1981).

### 2.2.2. Rocas Estratificadas

#### **Formación Tobífera (Jurásico Medio a Superior (?)).**

La Formación Tobífera tiene afloramientos aislados que se encuentran en la costa norte de la isla Hoste y en la costa noroeste de la isla Gordon. Sobreyace discordantemente al basamento e

infrayace a las lavas almohadilladas del Complejo Ofiolítico Tortuga al parecer por un contacto deposicional. Está constituida por rocas volcanoclásticas principalmente silíceas: tobas y lavas riolíticas a dacíticas. Su edad fue determinada por sus relaciones estratigráficas debido a la ausencia de fósiles (HERVÉ *ET AL.*, 1984; SUAREZ *ET AL.*, 1985).

### **Formación Hardy (Jurásico Medio (?) a Superior – Cretácico Inferior).**

Los afloramientos de esta formación se encuentran principalmente en la península Hardy e isla Hoste, en donde existe un espesor estimado de 600 metros (SUAREZ, 1978). Su base es desconocida por lo que sus relaciones estratigráficas no son claras aunque engrana parcialmente con rocas de la Fm. Yaghán y se encuentra debajo del Complejo Tortuga. Esta formación es descrita como una sucesión de rocas volcanoclásticas con intercalaciones de lavas riolíticas a basálticas de carácter calcoalcalino, principalmente tobas vítreas, brechas volcánicas, algunos estratos de chert, brechas andesíticas y basálticas y rocas epiclásticas. La litología y textura de las rocas de esta formación, permiten interpretar el volcanismo a partir de estratovolcanes en un ambiente deposicional submarino y subaéreo. Algunas rocas han sido afectadas por metamorfismo de facies prehnita-pumpellyita y/o ceolitas. (HERVE *ET AL.*, 1984; SUAREZ *ET AL.*, 1985). Presencia fosilífera de *Belemnopsis madagascariensis* identificada por SUAREZ *ET AL.* (1985) señalaría, según estos autores, una edad titoniana-valanginiana. Además, brechas riolíticas asignadas a esta formación están intruidos por granitoides donde se ha reportado una edad K-Ar en biotita de  $117 \pm 3$  Ma (SUAREZ *ET AL.*, 1985).

### **Formación Yaghán (Jurásico Superior a Cretácico Inferior).**

La Formación Yaghán se distribuye principalmente en las penínsulas Pasteur y Dumas, isla Hoste, zona oriental de la isla Gordon y en gran parte de la isla Navarino (SUAREZ, 1978). Es una secuencia de más de 3000 metros de espesor que sobreyace a los basaltos del Complejo Ofiolítico Tortuga e infrayace, en discordancia angular, al complejo volcánico Packsaddle, engranando hacia el sur con la Formación Hardy. Está compuesta por rocas turbidíticas volcanoclásticas, con un mayor contenido de areniscas gujarrosas, diamictitas, tobas, chert y algunos niveles de lavas básicas. En esta formación, los clastos son principalmente de origen volcánico y existen estructuras sedimentarias características de turbiditas, razón por la cual es posible separarla de una sucesión de carácter netamente volcánico y ligarla a una secuencia de facies correspondiente a turbiditas depositadas en un ambiente de abanico submarino (HERVÉ *ET AL.*, 1984; SUÁREZ *ET AL.*, 1985). Las rocas de esta formación experimentaron metamorfismo de bajo grado, con facies de prehnita-pumpellyita (WATTERS, 1965).

La asociación *Favrella* y *Belemnopsis madagascariensis* permite asignarle a esta formación una edad del Berriasiano-Hauteriviano que corresponde al Cretácico Inferior (SUAREZ *ET AL.*, 1985).

### **Estratos de Ildefonso (Oligo – Mioceno?).**

Formación reconocida sólo en islas del mismo nombre correspondiente a una sucesión sedimentaria de 100 metros de espesor y de base y techo desconocidos (relaciones de contacto indeterminadas). Está constituida por alternancias de areniscas, lutitas (con estructuras sedimentarias correspondientes al ciclo de Bouma) y conglomerados macizos con clastos de rocas graníticas y riolitas, por lo tanto ha sido interpretada como depósitos de turbiditas volcanoclásticas. Estas rocas, según registros sísmicos realizados por ENAP, serían la única evidencia del desarrollo de una cuenca sedimentaria ubicada al sur de la isla Hoste (MPODOZIS, 1980, HERVÉ ET AL., 1984; SUAREZ ET AL., 1985).

### **Complejo Volcánico Packsaddle (Mioceno, 18-21 Ma).**

Las rocas de esta formación afloran de forma aislada en la isla Packsaddle y en el Cerro de las Columnas, en sectores cercanos a la península Hardy. Es una secuencia de rocas volcánicas que sobreyacen, en discordancia angular, a la Fm. Yaghán y a la Fm. Hardy e inconformemente al Batolito Patagónico. Su edad es más joven que el evento metamórfico que deformó a las rocas que lo infrayacen, y dataciones K-Ar en roca total, han entregado edades de 18 a 21 Ma para las rocas alcalinas y calcoalcalinas, respectivamente (HERVÉ ET AL., 1984; SUÁREZ ET AL., 1985).

### **Conos y Domos Volcánicos de la Isla Cook (Cuaternario, post-glacial).**

Este grupo incluye alrededor de ocho cuerpos volcánicos aislados que afloran en la Isla Cook (sector oriental), y sus islas aledañas. Algunas rocas presentan estructuras pseudocolumnares. Se encuentran sobre el Grupo Plutónico Canal Beagle (albergando xenolitos foliados de estos plutones), y el Grupo Seno Año Nuevo. Para acotar su edad, se sabe que las rocas previas están erodadas por un evento glaciario, mientras que las pertenecientes a estos conos y domos no han sufrido dicha erosión. Dado lo anterior, es posible asegurar que estos eventos eruptivos habrían ocurrido después de la última glaciación, es decir, hace 11 ka, edad referente a la última glaciación para este sector según MERCER (1970).

### **2.2.3. Complejos Ofiolíticos**

La cuenca de trasarco marina de Rocas Verdes del Jurásico tardío – Cretácico temprano (DALZIEL ET AL., 1974; STERN ET AL., 1976; DALZIEL ET AL., 1981; STERN Y DE WIT, 2003; CALDERÓN ET AL., 2007) está representada por afloramientos discontinuos de complejos ofiolíticos a largo de los Andes en el extremo sur de Sudamérica. Cuatro complejos ofiolíticos se han descrito en la zona los cuales se distribuyen como se muestra en la Figura 2-1, estos corresponden a:

### **Complejo Ofiolítico Sarmiento**

Complejo ofiolítico representado por una pseudoestratigrafía incompleta, carente de la componente ultramáfica que este tipo de complejos suele tener. CALDERÓN (2006) distinguió 3 capas litológicas principales: una secuencia de pillow lavas (basaltos) y brechas intercaladas con chert radiolarios, una secuencia extrusiva máfica-félsica de pillow lavas intercaladas con tobas riolíticas y hialoclastitas y cortada por diques dacíticos y una secuencia intrusiva de composición máfica a félsica de grano medio cortada por gabros de grano fino y diques subhorizontales tardíos de plagiogranitos. La base de esta unidad está compuesta por metagabros y anfibolitas. Estas rocas están expuestas en afloramientos norte-sur localizados en las partes centrales y occidentales de la Cordillera Sarmiento (DALZIEL ET AL., 1974; DALZIEL ET AL., 1981; RAPALINI ET AL., 2008; CALDERÓN ET AL., 2012).

### **Complejo Ofiolítico Capitán Aracena**

Complejo Ofiolítico de pseudoestratigrafía incompleta (carente de una componente ultramáfica) que aflora en un cinturón de tendencia NW-SE localizado al NE de la cordillera de Darwin. Es un cuerpo elongado asociado con cuerpos graníticos que lo intruyen y a rocas riolíticas de la Fm. Tobífera. Contiene pillow lavas con diámetros variables entre 30 – 100 cm cortadas por diques de composición máfica. En algunas localidades se observó que más abajo en la secuencia, las pillow lavas se encuentran muy cercanas a gabros de grano grueso sin una aparente discontinuidad. Se describe una foliación de rumbo N68°W a N85°W. Las rocas máficas de esta secuencia presentan grados variables de obliteración de sus texturas primarias. Los minerales primarios, representados sólo por piroxenos relictos, están reemplazados casi totalmente por minerales secundarios. Pirita y ocasional calcopirita también están presentes (PRADES, 2008; CALDERÓN ET AL., 2012)

### **Complejo Ofiolítico Carlos III**

Complejo Ofiolítico que aflora en la Isla Carlos III que contiene pillow lavas amigdaloidales verdosas intruidas por diques de composición no definida. Presenta lutitas negras foliadas intercaladas con rocas volcánicas. El desarrollo de minerales secundarios no oblitera la textura primaria de las rocas y no existe una foliación presente. Los minerales primarios relictos son plagioclasas y clinopiroxenos. Los minerales secundarios corresponden a albita, anfíbol, clorita, cuarzo, epidota, titanita, clinozoita ocasional, granate (andradita) y pumpellyita. Pirita y calcopirita también se encuentran presente (PRADES, 2008).

### **Complejo Ofiolítico Tortuga.**

El extremo sur de la cuenca de Rocas Verdes es representado por este complejo ofiolítico. Este complejo aflora como un cinturón de 20 kilómetros que se dispone E-W partiendo en la parte austral de la Isla Navarino hacia el continente al sur del Canal Beagle (DALZIEL ET AL., 1974; STERN ET AL., 1976; DALZIEL ET AL., 1981; STERN Y DE WIT, 2003; SUÁREZ ET AL., 1985;

CALDERÓN *ET AL.*, 2012). Está en contacto por falla con la Fm. Yaghán en cerro Tortuga e Isla Milne Edwards en donde en ciertos lugares los basaltos infrayacen a la Fm. Yaghán.

Las sucesiones que componen esta ofiolita son de base a techo: (1) gabros estratificados de orto/clino-piroxeno y olivino, con texturas que indican que los gabros corresponderían a cumulos magmáticos por su apariencia estratificada y bandeamientos (STERN, 1979). (2) Troctolitas de clinopiroxeno intruidas por diques basálticos y diabasas finas con borde de enfriamiento (CALDERÓN *ET AL.*, 2012) que intruyen tanto a los gabros como a la base de los basaltos y que son interpretados como cuerpos lacolíticos que habrían intruido entre los gabros y el enjambre de diques. (STERN Y ELTHON, 1979). (3) El enjambre de diques (diabásicos y basálticos) que gradan hacia abajo a una zona de mezcla de diques diabásicos y diabasas masivas (SUAREZ *ET AL.*, 1985). (4) Lavas y brechas almohadilladas.

El metamorfismo aumenta en grado hacia los niveles más profundos de la pseudoestratigrafía ofiolítica, desde la facies ceolitas hasta la facies esquistos verdes, que luego va disminuyendo hasta llegar a gabro fresco, sin haber mayor deformación (STERN Y ELTHON, 1979). Todo esto ha sido interpretado como metamorfismo hidrotermal de fondo oceánico de una dorsal oceánica en expansión que no alcanzó los niveles inferiores de la ofiolita (DE WIT Y STERN, 1976; STERN Y ELTHON, 1979).

#### **2.2.4. Rocas Intrusivas (Batolito Fueguino)**

En la zona de estudio, las rocas intrusivas se disponen en una franja paralela a la costa del Pacífico, aflorando en las islas Hoste, Londonderry, Stewart y en la península Hardy.

En el segmento del batolito que aflora en el área objeto de este estudio, se distinguieron, en base a su petrografía, textura, fábrica estructural y edades variables entre 141-34 Ma calculadas con métodos K-Ar y Rb-Sr en hornblenda, biotita y plagioclasa, tres grupos plutónicos. (HERVÉ *ET AL.*, 1984)

Los tres grupos plutónicos son: Complejo de Gabros, del Jurásico Superior – Cretácico medio (141 – 93 Ma) y dos asociaciones de granitoides: El Grupo plutónico Canal Beagle del Cretácico (113 – 84 Ma) y el grupo plutónico Seno Año Nuevo, del Terciario (60 – 34 Ma). (SUAREZ *ET AL.*, 1985).

#### **Complejo de Gabros (Jurásico Superior – Cretácico Medio).**

Cuerpos de rocas gabroicas que afloran aisladamente a lo largo del batolito intruyendo a las formaciones Hardy y Yaghán y que a su vez son intruidos por los grupos plutónicos Canal Beagle y Seno Año Nuevo. Constituido por gabros de hornblenda, hasta gabros de clinopiroxenos, gabronoritas, hornblenditas y dioritas, con variedades leuco y melanocrática. Este complejo tiene edades K-Ar de 93 a 141 Ma, consideradas como edades de intrusión o

cristalización, dado que fueron obtenidas a partir de rocas faneríticas con bajo grado de alteración, es decir, principalmente texturas magmáticas.

### **Grupo plutónico Canal Beagle (Cretácico).**

Grupo de granitoides foliados, dispuestos en una franja a lo largo del Canal Beagle (brazo NW y SW), en las islas Hoste (sector N), O'Brien, Gordon y Londonderry (sector NE), y en el Canal Ballenero (costa sur). Sus relaciones de contacto, son distintas para los diferentes sectores del área de estudio; en el sector oeste, intruye a rocas correlacionables con la Fm. Hardy; en el centro, intruye al Complejo Tortuga, y hacia el este, a la Fm. Yahgán y al Complejo de Gabros. Las rocas son, principalmente, tonalitas, monzodioritas y granodioritas, todas con una foliación sinmagmática, concordante con la foliación regional de las rocas adyacentes. La edad varía entre los 81 a 113 Ma, obtenidas mediante el método de K–Ar en biotita y hornblenda, por lo que se interpretan como edades de cristalización.

### **Grupo plutónico Seno Año Nuevo (Paleógeno).**

Grupo de granitoides no foliados que afloran en el sector de Seno Año Nuevo (sector N y E), y en las islas Hoste (sector W), Londonderry (sector SW), Stewart y adyacentes. Este grupo incluye tonalitas y monzodioritas cuarcíferas, y en menor medida, granitos y dioritas cuarcíferas, que intruyen a los dos grupos plutónicos descritos anteriormente. La edad de este grupo varía entre los 34 y los 60 Ma, obtenidas mediante K–Ar y Rb–Sr en hornblenda y biotita, respectivamente.

## **2.3. EVOLUCIÓN GEOTECTÓNICA**

El basamento de la región en estudio corresponde a rocas metamórficas del Paleozoico al Mesozoico temprano que se agrupan en el Complejo Metamórfico Cordillera de Darwin y en donde se han obtenido edades pertenecientes al Cámbrico Temprano ( $523 \pm 7$  Ma,  $522 \pm 6$  Ma,  $538 \pm 6$  Ma) mediante la utilización del método U-Pb SHRIMP en circones de rocas plutónicas foliadas y gneises de este complejo (HERVÉ *ET AL.*, 2010). Estas rocas corresponderían a un paleo-prisma de acreción que se habría desarrollado en el margen Pacífico del mega-continente Gondwana durante estos tiempos (KLEPEIS Y AUSTIN, 1997).

En el Mesozoico Tardío, la región se enmarcó en un régimen tectónico extensional y volcanismo silíceo (Fm. Tobífera) como consecuencia del desmembramiento de Gondwana y anatexis cortical (PANKHRUST *ET AL.*, 2000). El emplazamiento de cuerpos plutónicos graníticos y volcanismo calcoalcalino (Fm. Hardy) en la transición Jurásico y Cretácico, junto con el emplazamiento de Complejo de Gabros más al sur (Batolito Fueguino), serían las evidencias del comienzo de la subducción de la placa Pacífico bajo el continente Sudamericano (SUAREZ *ET AL.*, 1985).

El régimen extensivo (rift) habría precedido el desarrollo de un sistema fosa – arco volcánico – cuenca marginal en el Jurásico superior al Cretácico temprano, en donde existió un desarrollo de dorsales oceánicas que formarían la cuenca marina marginal de Rocas Verdes. Esta cuenca se habría formado al este del arco volcánico formado por islas volcánicas activas, el cual la separaría del mar abierto. Las rocas de los Complejos Ofiolíticos descritos anteriormente serían la evidencia de esta extensión, sobre las cuales se habrían depositado abanicos submarinos (Fm. Yaghán) compuestos de turbiditas volcanoclásticas coetáneas a un magmatismo calcoalcalino (Fm. Hardy). El continuo desarrollo de este arco volcánico dio origen al resto de las rocas plutónicas del Complejo de Gabros del batolito fueguino y a las primeras rocas del Grupo Plutónico Canal Beagle (KLEPEIS Y AUSTIN, 1997; SUÁREZ *ET AL.*, 1985; HERVÉ *ET AL.*, 1984).

El cierre de la cuenca de Rocas Verdes corresponde a la etapa temprana de la Orogenia Andina durante el Cretácico Inferior Alto al Cretácico Superior que tuvo asociado diferentes fases de deformación entre compresivas y transpresivas. Como respuesta a esta dinámica, las rocas que rellenaban la cuenca sufrieron una intensa deformación acotada en el tiempo por cuerpos intrusivos no deformados de edades entre 87-90 Ma (edad de los cuerpos no deformados emplazados en Isla Navarino); (KLEPEIS Y AUSTIN, 1997; SUAREZ *ET AL.*, 1985).

Entre los 80-60 Ma se reporta una interrupción del magmatismo dado una ausencia de rocas ígneas que tengan esta edad (HERVÉ *ET AL.*, 1984) y a partir de los 60 Ma y hasta los 34 Ma (Paleógeno) se habría reiniciado la subducción en el margen Pacífico, provocando el emplazamiento de rocas plutónicas debido a un magmatismo de signatura calcoalcalina (Grupo Plutónico Seno Año Nuevo). En este mismo período, durante el Cretácico Medio – Terciario se habría desarrollado la cuenca antepaís de Magallanes y la faja plegada y corrida asociada (WINSLOW, 1982). Además, procesos de denudación tectónica en el basamento metamórfico (Cordillera de Darwin) habrían ocurrido durante el Cretácico Tardío – Terciario Temprano (DALZIEL Y BROWN, 1989).

La generación de andesitas y dacitas calcoalcalinas de 21 Ma y basaltos alcalinos de 18 Ma (Complejo Volcánico Packsaddle), correspondería a la continuación del régimen del arco volcánico activo y subducción asociada. Es probable que se hayan depositado los sedimentos de los Estratos de Ildefonso, en conjunto con lo anterior (KLEPEIS Y AUSTIN, 1997; SUAREZ *ET AL.*, 1985; HERVÉ *ET AL.*, 1984).

El fallamiento regional de cizalle y la separación de Antártica de América del Sur austral se habría desarrollado desde el Cretácico Tardío hasta la actualidad (DALZIEL Y BROWN, 1989), en donde actualmente predomina el sistema fosa-arco magmático asociado a un volcanismo calcoalcalino reciente expresado como conos y domos andesíticos calcoalcalinos que representarían las rocas más jóvenes de la historia geológica del extremo sur de Sudamérica (Cuaternario) y que se ubicarían en la Isla Cook, siendo estas el resultado de la subducción de la placa Antártica bajo la placa de Scotia (HERVÉ *ET AL.*, 1984).

### **3. UBICACIÓN DE MUESTRAS Y DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS**

#### **3.1. UBICACIÓN Y DISPOSICIÓN ESPACIAL DE MUESTRAS**

Las rocas estudiadas en el presente informe carecen de información correspondiente a sus edades de cristalización y por tanto no pueden ser agrupadas utilizando este parámetro. Dado lo anterior, su clasificación se basa según distintos criterios. En la sección Petrografía (sección 4.1), las rocas se agruparon en cuanto a su contenido de cuarzo haciendo distinción de aquellas que presentan contenidos muy bajos de esta fase mineral en comparación de aquellas que presentan contenidos intermedios a altos. En el apartado de Geoquímica de Roca Total del presente estudio (sección 4.2) se agruparon las rocas según la clasificación propuesta por el diagrama de clasificación QAP (STRECKEISEN, 1974) según los valores de mineralogía normativa calculados y expuestos en la Tabla 4-4, clasificación que se mantuvo para el resto del informe.

La Tabla 3-1 presenta la ubicación de cada una de las muestras utilizando coordenadas UTM (Norte y Este) y el nombre de la Isla en que se encuentra cada una de ellas. En resumen, 6 muestras de Isla Caroline, 13 muestras de Isla Thomas, 14 muestras de Isla London, 5 muestras de Isla Sidney y 1 muestra de Isla Hoste fueron recolectadas.

La Figura 3-1 muestra la ubicación espacial de las muestras tomadas en el presente estudio para cada una de las islas a excepción de la muestra AA1408 que pertenece a la isla Hoste. Esta figura presenta una nomenclatura abreviada para cada una de las muestras (por ejemplo: "AA1402", queda representado simplemente por "02"), la cual será utilizada también en futuros diagramas.

Tabla 3-1: Coordenadas Norte y Este (UTM-WGS84) y nombre de la isla asociada a la ubicación de la muestra correspondiente.

<b>Muestra</b>	<b>Isla</b>	<b>Coordenada UTM Norte</b>	<b>Coordenada UTM Este</b>
AA1402	Caroline	470955.5969	3851255.8101
AA1403	Caroline	470955.5969	3851255.8101
AA1404	Caroline	471118.3995	3849992.4375
AA1405	Caroline	471587.8578	3850134.6188
AA1406	Caroline	468734.8806	3854440.3375
AA1407	Caroline	468727.8093	3854446.4704
AA1408	Hoste	469262.2738	3860945.5500
AA1409	Thomas	460338.3230	3858929.6902
AA1410	Thomas	460338.3230	3858929.6902
AA1411	Thomas	460338.3230	3858929.6902
AA1412	Thomas	459974.4565	3859875.5219
AA1413	Thomas	459974.4565	3859875.5219
AA1414	Thomas	454533.6828	3862051.8342
AA1415	Thomas	454533.6828	3862051.8342
AA1416	Thomas	454533.6828	3862051.8342
AA1417	Thomas	454533.6828	3862051.8342
AA1418	Thomas	454154.0963	3861825.3063
AA1419	Thomas	454180.4936	3861825.5806
AA1420	Thomas	454116.8829	3861849.6525
AA1421	Thomas	454116.8829	3861849.6525
AA1422	London	311311.3684	3936442.6061
AA1423	London	311256.0159	3936393.8702
AA1424	London	310886.7577	3936604.3873
AA1425	Sidney	317109.4717	3932041.5935
AA1426	Sidney	316833.6800	3932525.5965
AA1427	Sidney	316833.6800	3932525.5965
AA1428	Sidney	316680.3166	3932949.5631
AA1429	Sidney	316680.3166	3932949.5631
AA1430	London	308534.5788	3940232.0350
AA1431	London	308534.5788	3940232.0350
AA1432	London	308540.8684	3940210.6347
AA1433	London	308534.5788	3940232.0350
AA1434	London	308534.5788	3940232.0350
AA1435	London	691556.5401	3943109.7869
AA1436	London	691554.5212	3943147.0142
AA1437	London	691685.6798	3943785.2643
AA1438	London	691685.6798	3943785.2643
AA1439	London	691685.6798	3943785.2643
AA1440	London	691685.6798	3943785.2643

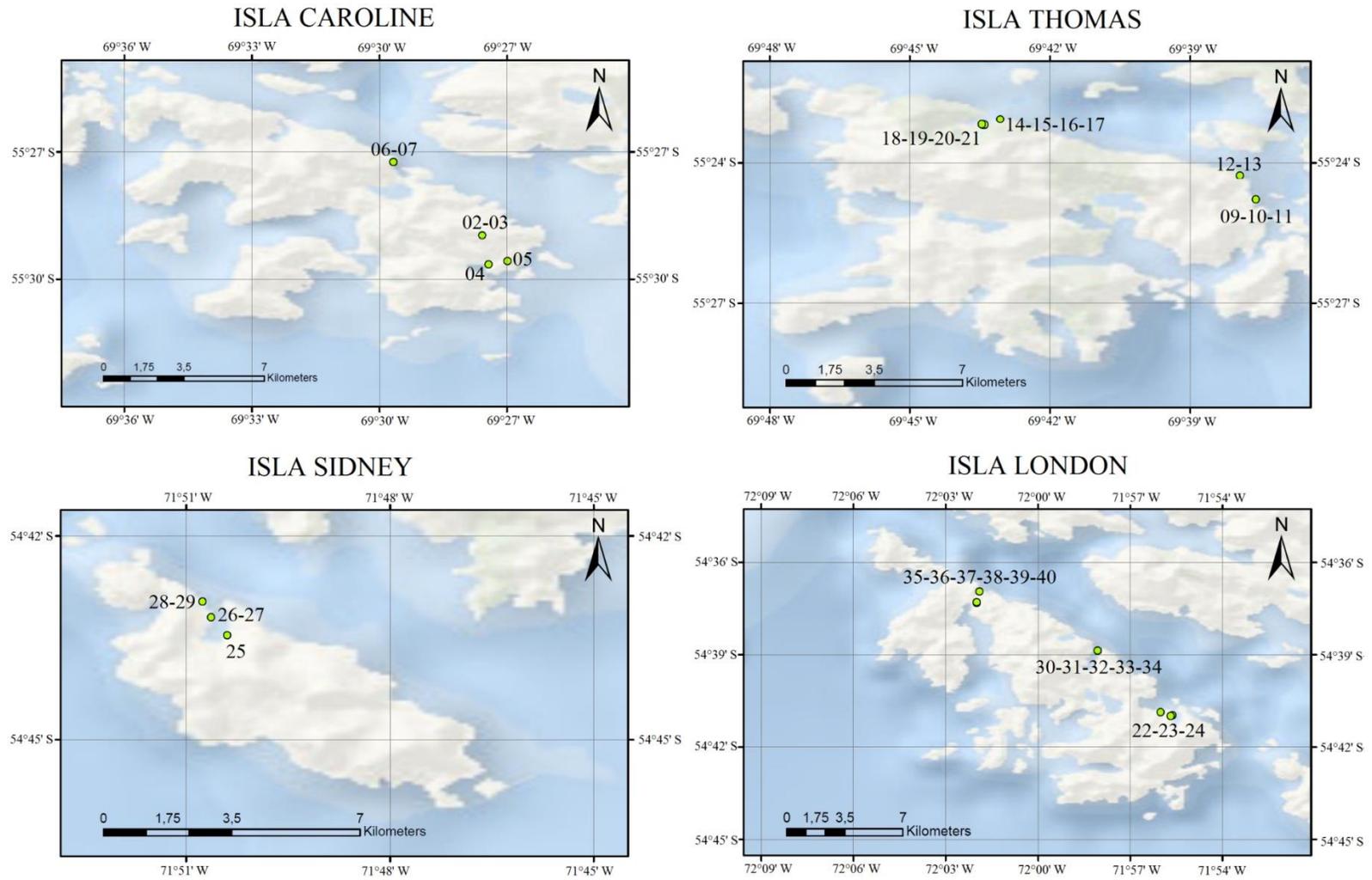


Figura 3-1: Mapas de distribución espacial de las muestras tomadas en el presente estudio. Islas Caroline, Thomas, Sidney y London. Imágenes modificadas de BaseMap ArcGis 10.1. Nomenclatura abreviada para cada una de las muestras (por ejemplo "AA1402 queda representado como 02 en diagrama).

## 3.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE AFLORAMIENTOS

### 3.2.1. Gabros, cuarzo-gabros, dioritas y cuarzo-dioritas.

Cuerpos de rocas gabroicas que afloran en núcleos aislados de envergadura variable, como *roof pendants* (Figura 3-2A) y también como cuerpos de gran escala siendo los constituyentes principales de bahías (Figura 3-2E). Son intruidos por cuerpos de composición más silíceo formando así contactos por intrusión nítidos (Figura 3-2B). Afloran en todas las islas del presente estudio (Caroline, Thomas, Sidney y London) y en terreno es posible apreciar heterogeneidades tanto en el tamaño de grano que puede ir desde fino a grueso (Figura 3-2C) así como también en la disposición de estos, presentando apariencias masivas como también estratificadas, haciéndose notar incluso, bandas melanocráticas de cúmulos minerales (piroxenos anfibolitizados) como se ve en la Figura 3-2D. En general, son intruidos también por diques andesíticos y dacíticos.

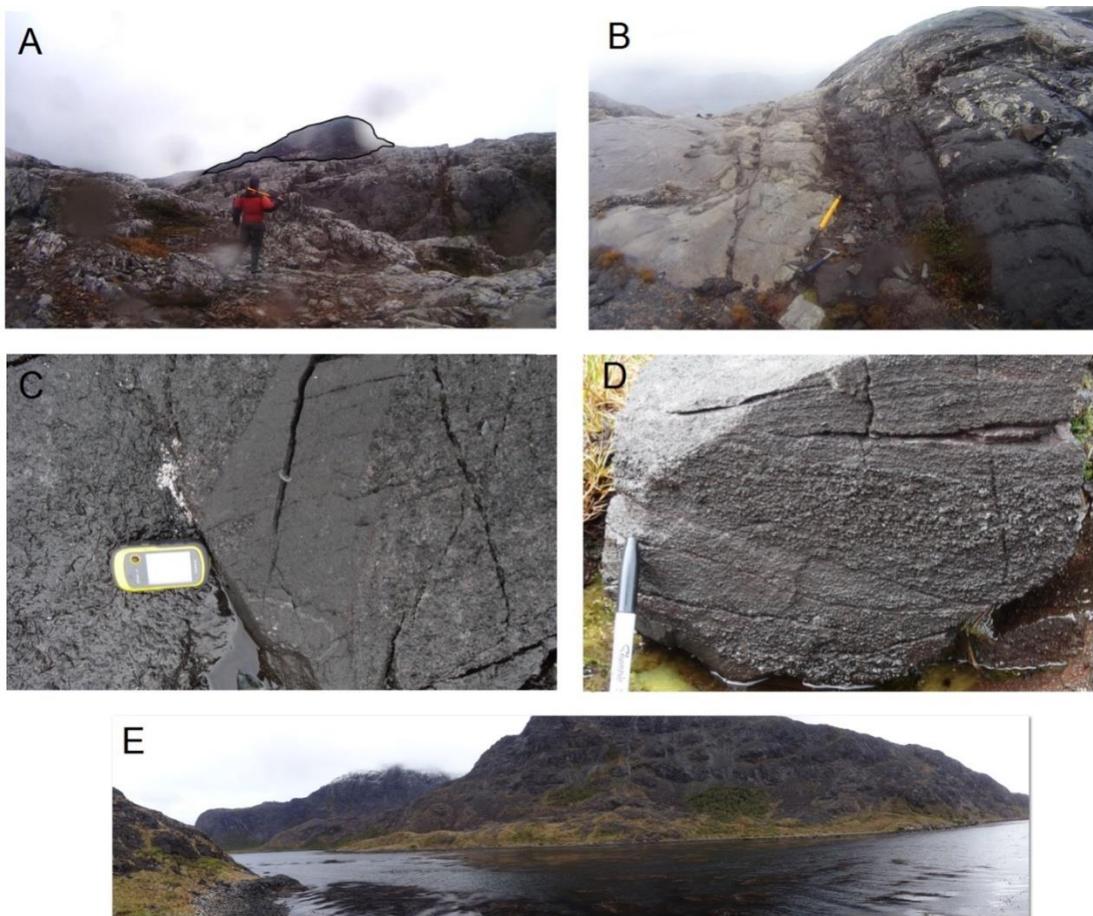


Figura 3-2: A. Afloramiento de cuerpo gabroico en forma de “roof pendant” marcado con polígono negro, lugar desde el cual se obtuvieron las muestras de gabro de clinopiroxeno y hornblenda (AA1402 y AA1403). B. Contacto por intrusión entre cuerpo gabroico e intrusivo “claro”. C. Heterogeneidad interina de cuerpo gabroico en términos de tamaño de grano. D. Estratificación interna en cuerpo gabroico, bandas de minerales (piroxenos) cumalados. E. Afloramiento de gran envergadura de cuerpos gabroicos constituyendo una bahía.

### 3.2.2. Tonalitas, granodioritas, monzo-granitos y granitoide cuarcífero.

Cuerpos de rocas de composición silíceo variable desde tonalitas hasta granitoides cuarcíferos que afloran en todas las islas del presente estudio. Se presentan de manera másiva y homogénea en afloramientos de gran envergadura (Figura 3-3C) intruyendo a los cuerpos gabroicos descritos anteriormente (contactos por intrusión). Son intruidos por diques de variadas composiciones y morfologías (Figura 3-3B, Figura 3-5). Una muestra de tonalita de hornblenda y biotita (AA1419) es quizás un caso particular debido a que corresponde a un cuerpo subredondeado en contacto transicional con el gabro que lo contiene (segregación magmática diferenciada). Su manera específica de aflorar está asociada a un *pod* pegmatítico (Figura 3-3A), lo cual será corroborado y discutido más adelante en este texto. Esta tonalita de hornblenda y biotita es también la roca a la cual se le realizó una datación U-Pb en circones (ver sección Resultados – 4.3 Geocronología de U-Pb en circones) con el fin de saber la edad de cristalización de este *pod* y por tanto obtener información etaria de su roca encajante.

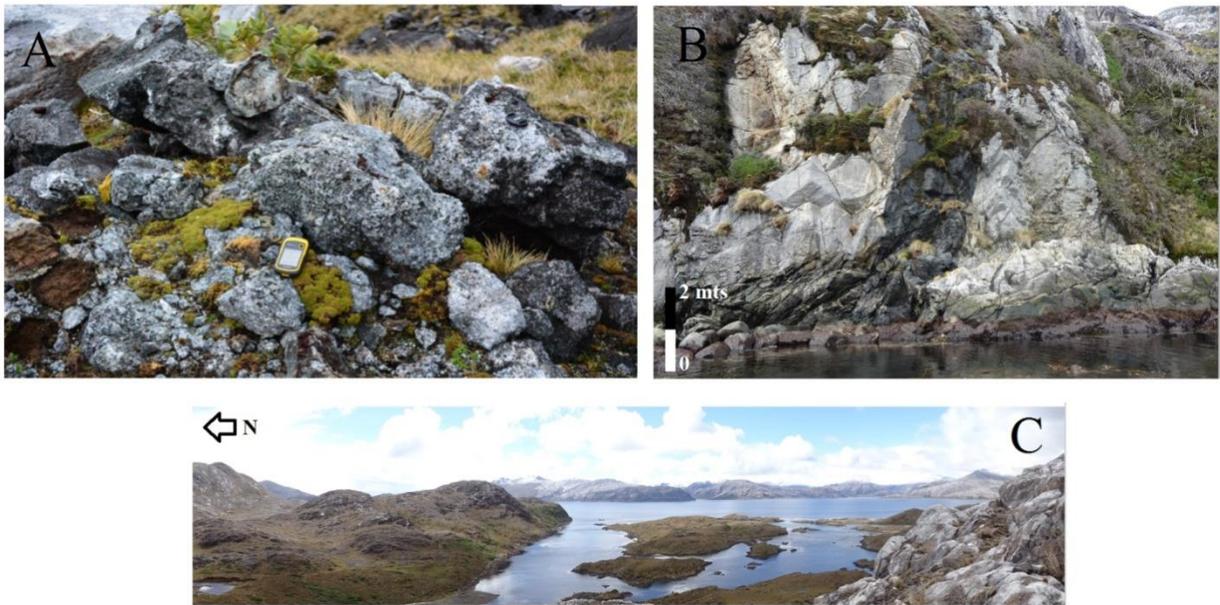


Figura 3-3: A. Afloramiento tipo “*pod* pegmatítico” del cual se obtuvo la muestra de tonalita de hornblenda y biotita (AA1419) para análisis de geocronología de U-Pb en circones. Al fondo es posible apreciar la roca madre de este *pod*, un gabro de piroxeno y hornblenda (AA1418). B. Tonalita de hornblenda (AA1414) intruida por un dique de composición basáltica de alrededor de dos metros de espesor correspondiente a un basalto de hornblenda (AA1416). C. Vista panorámica que muestra afloramientos de intrusivos félsicos del presente estudio, muchos de ellos cubiertos completamente por vegetación.

### 3.2.3. Diques máficos: Basaltos

Diques de texturas variables (afaníticos y microfaneríticos) y de morfologías variables que intruyen tanto a los cuerpos rocosos máficos como a los félsicos descritos anteriormente. Se reconocieron en terreno diques de distinta envergadura, en un rango que va desde espesores de 2 centímetros hasta los 2 metros (Figura 3-4). La Tabla 3-2 muestra las orientaciones de algunos de los diques muestreados en términos de los parámetros de manto y dirección del manto con los respectivos nombres obtenidos a partir de los análisis y descripciones petrográficas realizadas en el presente estudio.



*Figura 3-4: Diques máficos (basaltos) de variadas envergaduras y orientaciones encontrados en la zona de estudio intruyendo tanto a cuerpos máficos como félsicos.*

Tabla 3-2: Tabla con información estructural (manteo y dirección del manteo) para las muestras de diques máficos (basaltos).  
Abreviaciones: act: actinolita. Hbl: hornblenda. Px: piroxeno

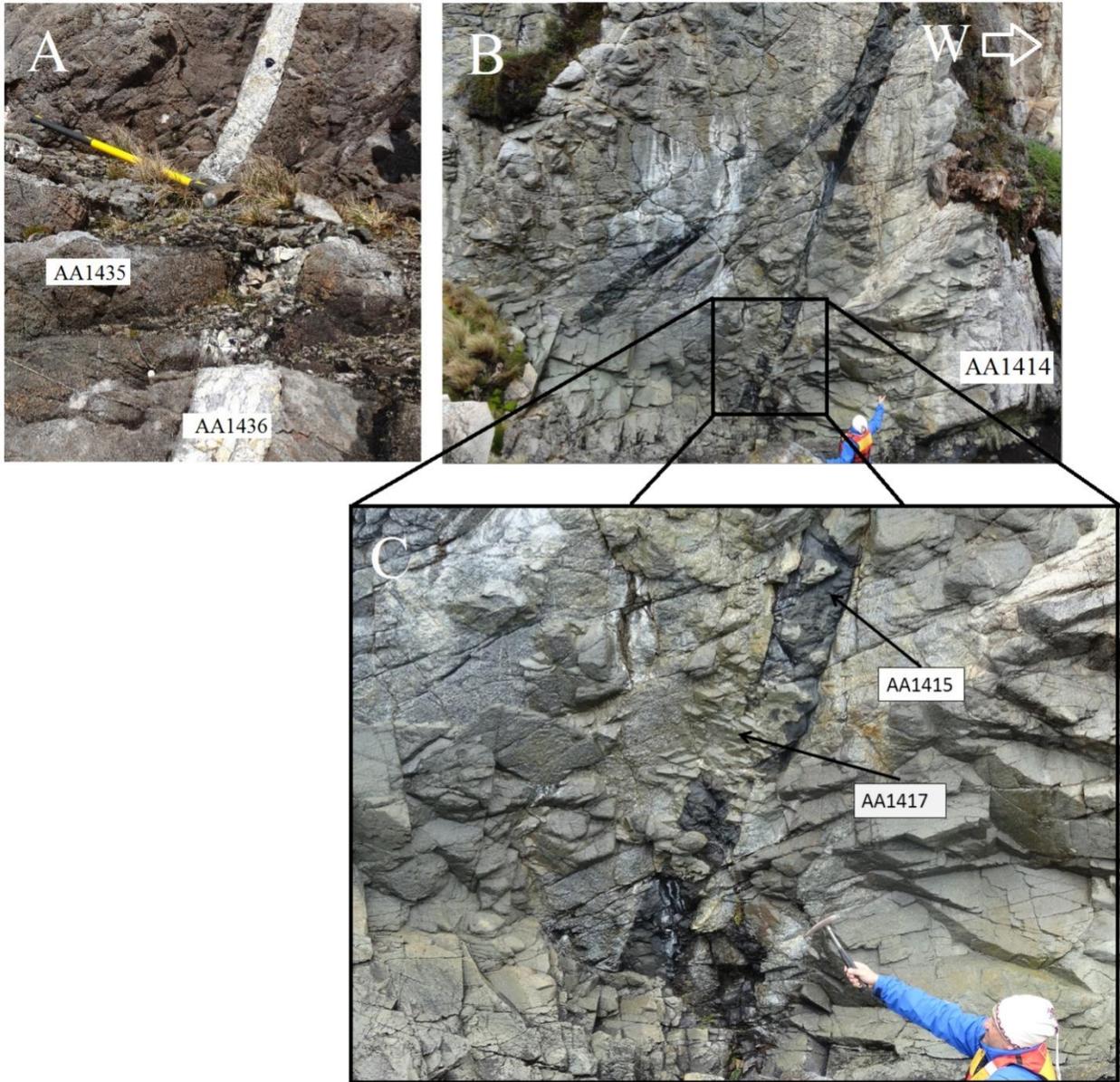
Muestra	Nombre	Manteo	Dirección del Manteo°
AA1405	metabasalto de act	90	160/340
AA1415	basalto de hbl	65	270
AA1416	basalto de hbl	65	270
AA1423	basalto de px y hbl	-	-
AA1426	basalto de px	90	140/320
AA1429	metabasalto de act	45	340
AA1438	basalto de px y hbl	-	-
AA1439	basalto de hbl	90	90/270

### 3.2.4. Diques intermedios: Andesitas y dacitas

Diques de composiciones más félsicas, de texturas variables (afanítica, microfanerítica, microporfídica) y obliterados que intruyen tanto a los cuerpos intrusivos máficos como félsicos descritos anteriormente. Presentan envergaduras variables (Figura 3-5A, B y C). En particular, la muestra AA1417 correspondiente a un dique andesítico es más joven por sus relaciones de corte que la muestra AA1415 (dique máfico: basalto de hornblenda) como se observa en la Figura 3-5B y Figura 3-5C. La Tabla 3-3 muestra los datos estructurales de los diques muestreados correspondientes a este grupo según los parámetros de manteo y dirección del manteo obtenidos en terreno.

Tabla 3-3: Tabla con información estructural (dip y dip direction) para las muestras de diques intermedios (dacitas y andesita).

Muestra	Nombre	Manteo°	Dirección del Manteo°
AA1407	dacita de biotita	55	207
AA1413	metadacita de actinolita	55	155
AA1417	andesita	-	-
AA1421	dacita de biotita	0	/
AA1436	dacita	45	65



*Figura 3-5: A: Dique dacítico correspondiente a la muestra AA1436 intruyendo a una tonalita de hornblenda y biotita correspondiente a la muestra AA1435. B y C. Dique andesítico correspondiente a la muestra AA1417 intruyendo a diques máficos (basalto de hornblenda correspondiente a la muestra AA1415) y a una tonalita de hornblenda correspondiente a la muestra AA1414.*

## 4. RESULTADOS

### 4.1. PETROGRAFÍA

A continuación se presentan los resultados del análisis y descripción de 39 secciones de lámina delgada que corresponden principalmente a muestras de gabros/dioritas, granitoides y diques de las islas del presente estudio.

La Tabla 4-1 presenta un resumen de las muestras de ambos tipos de rocas (plutones faneríticos y diques) ordenadas de arriba a abajo de manera creciente en el contenido de cuarzo normalizado (no normativo) denotado por el factor “Q”, el cual se estimó en base a observaciones hechas en un microscopio óptico para cada uno de los cortes transparentes (cuarzo modal bajo estimación visual sin uso de método de cuenta puntos).

*Tabla 4-1: Tabla con nomenclatura asignada según clasificación de Streckeisen (1974) mediante la utilización del estudio petrográfico y respectivos porcentajes normalizados de Q (Cuarzo), A (Feldespato Alcalino), P (Plagioclasa). Abreviaciones: Oli: Olivino, Cpx: Clinopiroxeno, Px: Piroxeno (no distinguible entre orto y clino-piroxeno), Hbl: Hornblenda, Bt: Biotita. Las muestras se encuentran ordenadas desde arriba hacia debajo de manera creciente según “Q”.*

<b>Muestras de Intrusivos (plutones faneríticos)</b>				
<b>Muestra</b>	<b>Q(%)</b>	<b>A(%)</b>	<b>P(%)</b>	<b>Nombre de la roca</b>
AA1402	0	0	100	gabro de cpx y hbl
AA1403	0	0	100	gabro de cpx y hbl
AA1418	0	0	100	gabro de px y hbl
AA1420	0	0	100	gabro de cpx y hbl
AA1428	0	0	100	gabro de px y hbl
AA1431	0	0	100	gabro de px y hbl
AA1437	0	0	100	gabro de oli
AA1440	3	0	97	gabro de px y hbl
AA1406	4	9	87	diorita de px y hbl
AA1410	6	0	94	cuarzo-diorita de hbl
AA1430	11	0	89	cuarzo-gabro de px y hbl
AA1411	12	0	88	cuarzo-diorita de hbl y bt
AA1408	15	4	81	cuarzo-diorita de hbl
AA1412	25	0	75	tonalita de hbl y bt
AA1409	34	4	62	tonalita de hbl
AA1422	35	0	65	tonalita de cpx y hbl
AA1419	37	0	63	tonalita de hbl y bt
AA1434	38	0	62	tonalita de hbl
AA1414	39	6	55	tonalita de hbl
AA1427	42	16	42	granodiorita de bt
AA1435	46	0	54	tonalita de hbl y bt
AA1424	46	2	52	tonalita de bt
AA1404	53	27	20	monzo-granito de hbl
AA1432	56	0	44	metatonalita de actinolita
AA1433	58	0	42	tonalita de hbl y bt
AA1425	63	0	37	granitoide cuarcífero de bt

<b>Muestras de Diques</b>				
<b>Muestra</b>	<b>Q</b>	<b>A</b>	<b>P</b>	<b>Nombre de la roca</b>
AA1416	0	0	100	basalto de hbl
AA1426	0	0	100	basalto de px
AA1429	0	0	100	metabasalto de actinolita
AA1438	0	0	100	basalto de px y hbl
AA1417	0	0	100	andesita
AA1405	0	0	100	metabasalto de actinolita
AA1439	0	0	100	basalto de hbl
AA1423	20	0	80	basalto de px y hbl
AA1415	30	0	70	basalto de hbl
AA1407	37	5	58	dacita de bt
AA1413	50	0	50	metadacita de actinolita
AA1421	57	7	36	dacita de bt
AA1436	67	0	33	dacita

Como se observa en la Tabla 4-1, las rocas del presente estudio presentan variadas composiciones mineralógicas que quedan reflejadas en el amplio rango de los valores adquiridos para los factores “Q” “A” y “P” de la misma tabla. Es importante mencionar que la distinción entre gabro, diorita y anortosita se hizo, en la medida de lo posible, para algunas de las rocas que presentaban plagioclasas idóneas para la aplicación de los pasos propuestos en el método de Michel Lévy. Así, al utilizar este método, se pudo estimar el contenido de anortita en la plagioclasa del corte y por tanto se pudo discriminar entre los tres tipos litológicos (gabro, diorita, anortosita) según lo presentado en la Tabla 4-2.

*Tabla 4-2: Contenido de anortita en plagioclasa según tipo litológico para la discriminación entre gabro y diorita utilizado en el análisis de secciones transparentes.*

<b>Contenido de Anortita en plagioclasa</b>	<b>Tipo litológico</b>
<b>&lt;An50</b>	Diorita
<b>An50-An90</b>	Gabro
<b>&gt;An90</b>	Anortosita

Dado que ninguna de las secciones transparentes del presente estudio presentó contenidos de plagioclasa (anortita) mayores al 90%, el nombre de anortosita no fue aplicado a ninguna muestra y el término será excluido de las futuras clasificaciones y descripciones.

#### 4.1.1. Gabros, cuarzo-gabros, dioritas y cuarzo-dioritas

Las rocas de este grupo corresponden a rocas máficas con nulo o escaso cuarzo primario (hasta un 5% del total de minerales primarios según descripciones petrográficas de láminas delgadas). Son rocas de textura principalmente fanerítica, de grano fino a grueso (cristales entre 1-12 mm). Heterométricas, hipidiomórficas, de fábrica isótropa y homogéneas. Leucocráticas a melanocráticas con índices de color variable entre un 20 a un 75% y con una media de 41%. Son comunes las texturas poiquilíticas en cristales anhedrales a subhedrales de hornblenda que contienen cristales subhedrales a anhedrales de plagioclasa, piroxenos, opácos y cuarzo como inclusiones (ver Figura 4-1). También es común la textura coronítica en (clino)piroxenos rodeados por cristales subhedrales a anhedrales de hornblenda o actinolita (Figura 4-2).

La mineralogía primaria común es plagioclasa, orto y/o clinopiroxenos y hornblenda. Aunque también hay muestras que presentan olivino y menor cuarzo, biotita y feldespato potásico y trazas de apatito y circón (Figura 4-3).

La mineralogía secundaria consiste en las fases albita, actinolita, epidota, clorita, sericita, arcillas y en menor medida esmectita, stilpnomelano, cuarzo, titanita, óxidos e hidróxidos de hierro y opácos. Los metadominios preponderantes corresponden a fases primarias principalmente (olivino, piroxeno, plagioclasa, hornblenda, biotita) y en menor medida vetillas. La asociación mineral de mínima varianza en equilibrio textural para este grupo de rocas es: albita-actinolita-clorita-epidota-cuarzo, lo que corresponde a un metamorfismo en facies esquistos verdes, aunque es necesario recalcar que sólo tres muestras de este grupo (AA1402, AA1403 y AA1406) de un total de 13 presentan tal asociación y están restringidas a la isla Caroline (isla más austral del presente estudio).

Algunas de las muestras presentan vetillas de espesor variable pero no mayor a 1,5 mm rellenas principalmente con las fases secundarias mencionadas anteriormente. No existen evidencias de metamorfismo dinámico para ninguna de las muestras.

La Figura 4-4 muestra un Gabro de clinopiroxeno y hornblenda representativo de este grupo de rocas. Para mayor información las descripciones y análisis petrográficos se encuentran en la sección Anexos: 9.1 Anexo A: Descripciones Petrográficas en lámina delgada.

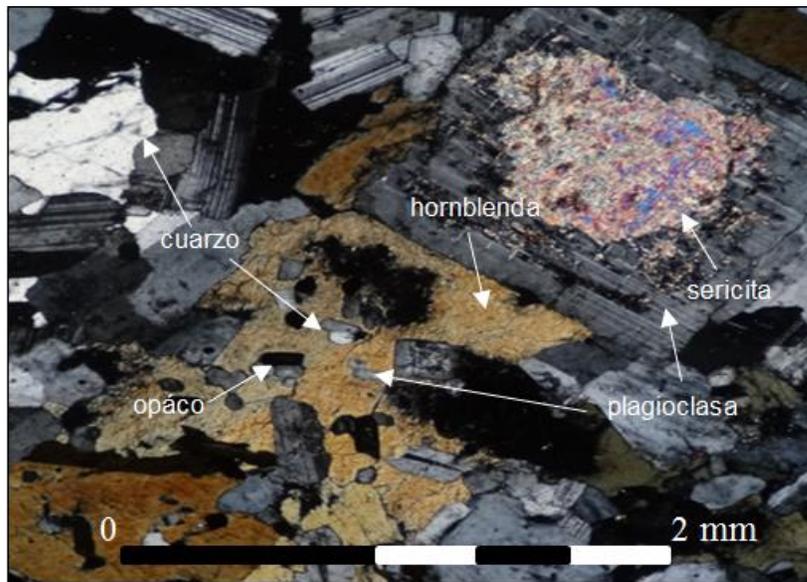


Figura 4-1: Microfotografía a nicols cruzados con aumento de 5x de la muestra AA1411, cuarzo-diorita de hornblenda y biotita (primaria). Textura poiquilitica en cristal de hornblenda con inclusiones de cristales de plagioclasa, cuarzo y opácos. También plagioclasa con sericitización media.



Figura 4-2: Microfotografía a nicols cruzados con aumento de 5x de la muestra AA1440 correspondiente a un gabro de piroxeno y hornblenda. Textura coronítica en cristal de clinopiroxeno rodeado totalmente por cristal de hornblenda. También cristales de plagioclasa, opácos y cuarzo.

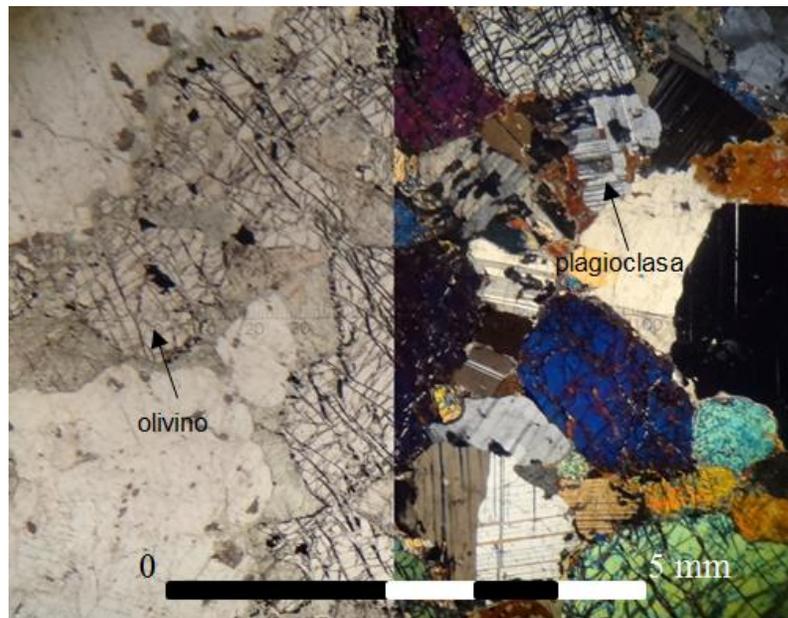


Figura 4-3: Microfotografía a nicoles paralelos (izquierda) y cruzados (derecha) con aumento de 2x de la muestra AA1437, gabro de olivino. Cristales de plagioclasa, piroxeno, hornblenda y olivino.

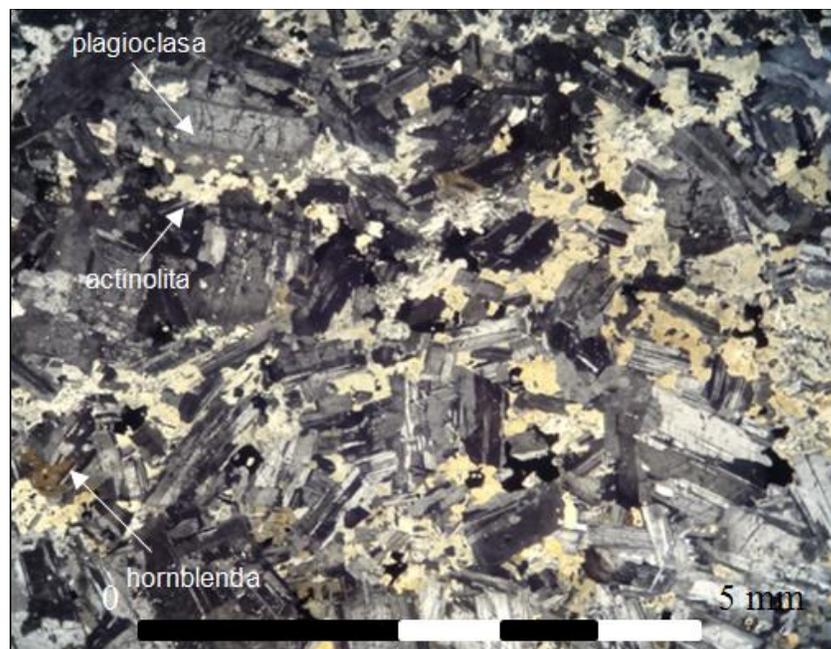


Figura 4-4: Microfotografía a nicoles cruzados con aumento de 2x de la muestra AA1402, gabro de clinopiroxeno y hornblenda. Se observan plagioclasas (An60) no orientadas y cristales de anfíbol (actinolita) crecidos intersticialmente. También menor hornblenda.

#### 4.1.2. Tonalitas, Granodioritas, Monzo-granitos y Granitoide cuarcífero

Las rocas de este grupo corresponden a rocas con estimaciones visuales de cuarzo (en secciones transparentes) variables entre 8% a un 60% del total de minerales primarios. Son rocas de textura principalmente fanerítica, de grano fino a grueso con cristales entre 1-8 mm. Heterométricas, hipidiomórficas, de fábrica isótropa y homogéneas. Leucocráticas a melanocráticas con índices de color variable entre un 5 a un 85% y con una media de 22%. Son comunes las texturas poiquilíticas de cristales de plagioclasa, feldespato potásico, cuarzo, piroxenos y minerales opacos como inclusiones en cristales de hornblenda, también plagioclasa, cuarzo y hornblenda como inclusiones en cristales de biotita. Otras texturas menos comunes pero que si están presentes en algunas de las muestras son las texturas coronítica de hornblenda rodeando clinopiroxeno y coronítica de epidota rodeando minerales opacos; entre otras como consertal, aplítica, mirmequítica, sacaroidal, gráfica. La muestra de granitoide cuarcífero (AA1425) presenta textura felsítica.

La mineralogía primaria común es plagioclasa, hornblenda, biotita, cuarzo, feldespato potásico y menor clinopiroxeno. Mayor cantidad de circón y rutilo es evidenciado en este grupo en comparación al grupo anterior.

La mineralogía secundaria consta principalmente de albita, actinolita, clorita, epidota, sericita, titanita, stilpnomelano y arcillas. Las asociaciones minerales en equilibrio textural son variadas destacando aquellas a la cuales pertenecen los minerales de albita-actinolita-clorita-epidota-stilpnomelano, titanita-clorita-actinolita-epidota, actinolita-epidota, clorita-actinolita, epidota-actinolita, actinolita-stilpnomelano (Figura 4-5), clorita-epidota-stilpnomelano entre otras. Las asociaciones de mínima varianza en equilibrio textural corresponden a albita-actinolita-clorita-epidota-stilpnomelano y albita-actinolita-clorita-epidota-titanita, las cuales evidencian un metamorfismo en facies esquistos verdes para 4 muestras de un total de 13, las que están distribuidas en todas las islas del presente estudio (muestra AA1409 en isla Thomas, muestra AA1427 en isla Sidney, muestra AA1404 en isla Caroline y muestra AA1432 en isla London).

La mayoría de las muestras en este grupo no presenta vetillas. Las que están escasamente presentes tienen un espesor no mayor a 0.2 mm y están rellenas con actinolita, epidota, stilpnomelano y cuarzo (no siempre en equilibrio). Existe una muestra (AA1414) que tiene evidencias de metamorfismo dinámico, en donde las maclas de sus plagioclasas presentan microplegamiento (Figura 4-6).

La Figura 4-7 muestra finalmente 4 muestras de rechazo representativas para este grupo. La Figura 4-8 en tanto, muestra la mineralogía principal de este grupo con una de sus texturas más comunes (poiquilítica).

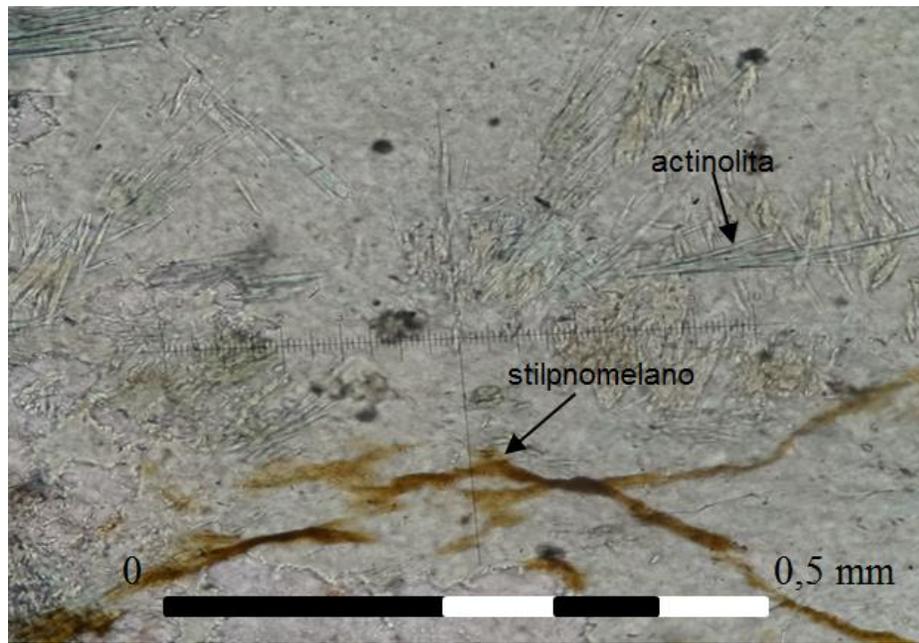


Figura 4-5: Microfotografía a nicoles paralelos con aumento de 20x de la muestra AA1432, tonalita actinolitzada. Se observan cristales de actinolita y stilpnomelano en equilibrio textural.

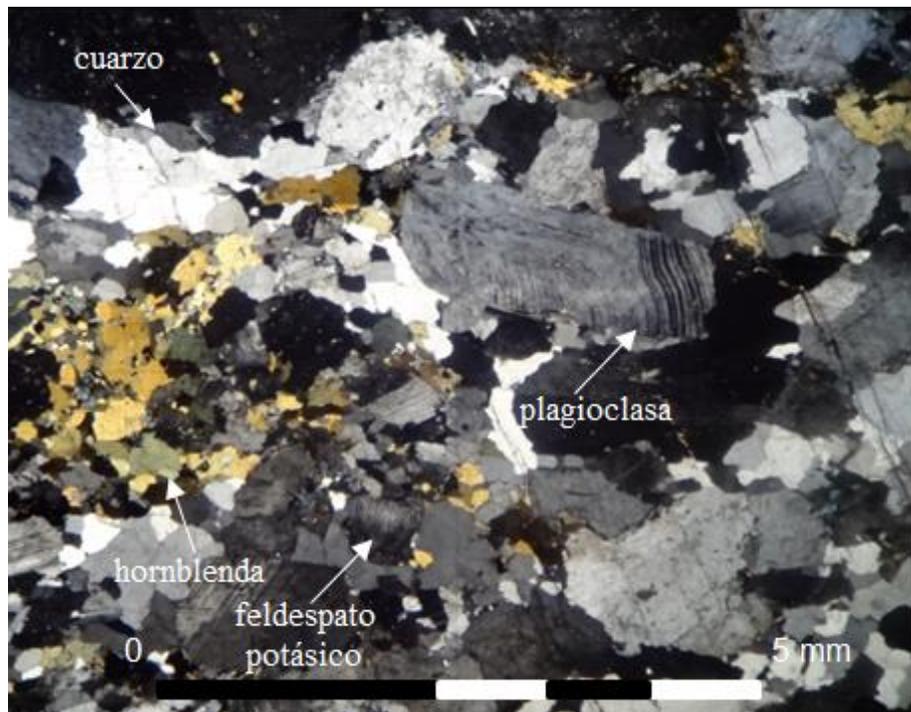


Figura 4-6: Microfotografía a nicoles cruzados con aumento de 2x de la muestra AA1414, tonalita de hornblenda. Se observan plagioclasas con bandeamiento de maclas (metamorfismo dinámico), hornblenda, feldespato potásico y cuarzo.

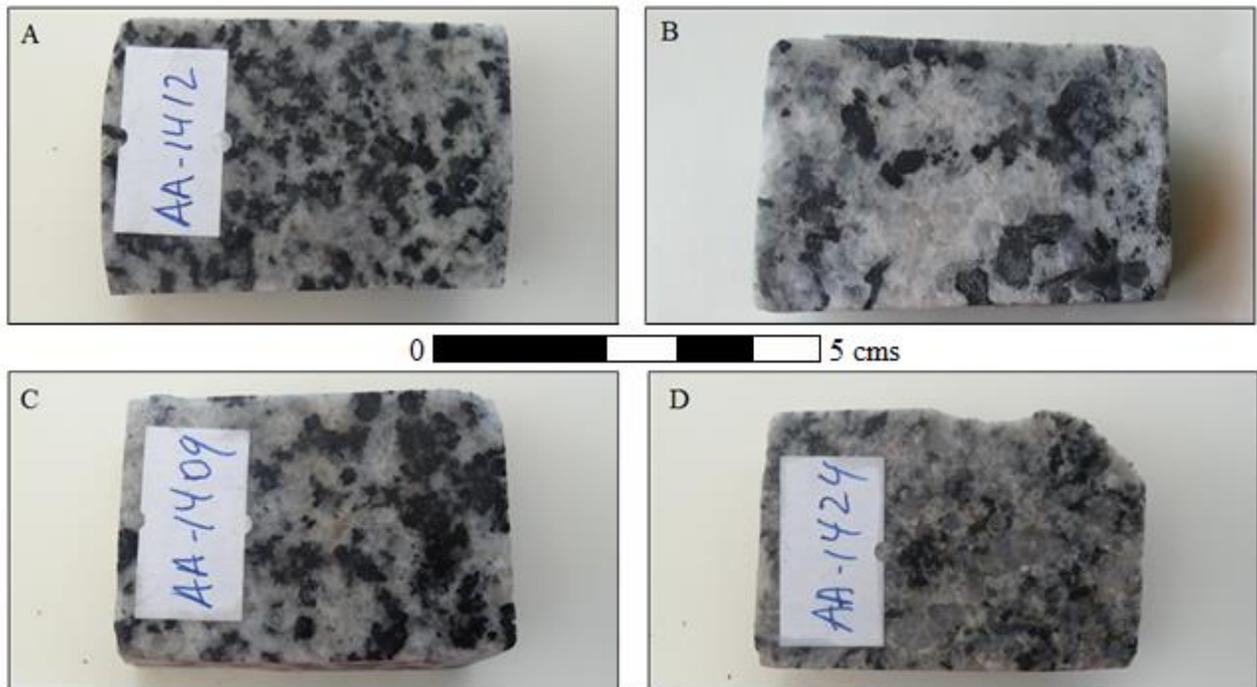


Figura 4-7 Muestra de tonalitas (rechazos). A: tonalita de hornblenda y biotita (AA1412). B: tonalita de hornblenda y biotita (AA1419). C: tonalita de hornblenda (AA1409). D: tonalita de biotita (AA1424).

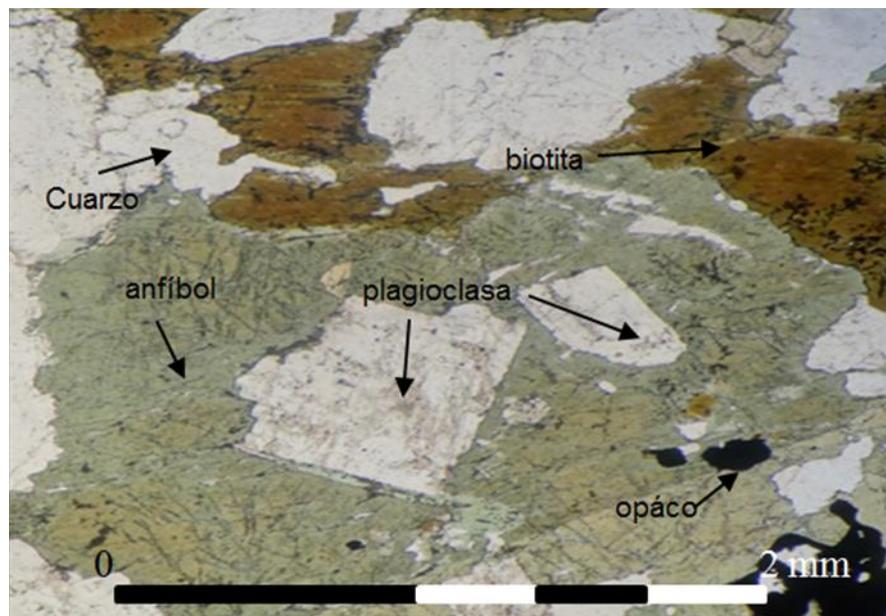


Figura 4-8: Microfotografía a nicoles paralelos con aumento de 5x de la muestra AA1409, tonalita de hornblenda. Textura poiquilítica en cristal de hornblenda con cristales de plagioclasa como inclusiones. También se observan cristales de biotita, cuarzo y opácos.

### 4.1.3. Basaltos

Las rocas de este grupo corresponden a diques básicos, con contenidos de cuarzo variables de hasta un 15% (aunque la mayoría no presenta cuarzo descrito en sus análisis petrográficos). Son rocas con texturas afaníticas, microfaneríticas e incluso microporfídicas. Preponderantemente de grano fino aunque existen cristales de hornblenda que alcanzan incluso los 5 mm. Son tanto homométricas como heterométricas y todas son hipidiomórficas, de fábrica isótropa y homogénea. Meso a melanocráticas con índices de color variable entre un 40% a un 85% y con un media de un 60%. No presentan orientación de cristales de ningún tipo y las texturas más comunes son las mencionadas anteriormente aunque también se describe textura poiquilítica en algunos de los cortes de cristales de plagioclasa, cuarzo, piroxeno y opacos como inclusiones en cristales de hornblenda.

La mineralogía primaria común y más representativa de este grupo está dada por cristales de plagioclasa, piroxeno, hornblenda, biotita, menores cantidades de olivino (reemplazados totalmente por carbonatos, Figura 4-9), cuarzo y vidrio.

La mineralogía secundaria consiste en las fases albita, actinolita, clorita, epidota, esmectita, biotita, yeso, cuarzo, sericita, carbonatos (calcita), arcillas y oxidos e hidróxidos de Fe. Algunas de las asociaciones minerales que se encuentran en equilibrio para este grupo son: calcita-esmectita, epidota-sericita, esmectita-yeso. La asociación mineral de mínima varianza en equilibrio textural es: albita-actinolita-clorita-epidota-cuarzo, lo que corresponde a un metamorfismo en facies esquistos verdes presentado en 2 de las 8 muestras de basalto recolectadas (AA1405 en isla Caroline y AA1415 en isla Thomas).

Algunas muestras presentan vetillas de hasta 2,5 mm de espesor rellenas con epidota. Existen otras vetillas de menor envergadura que contienen asociaciones como esmectita-yeso o actinolitas. No hay evidencias de metamorfismo dinámico.

La figura (Figura 4-10) muestra un Basalto de textura microfanerítica (<1 mm) representativo de este grupo de rocas.

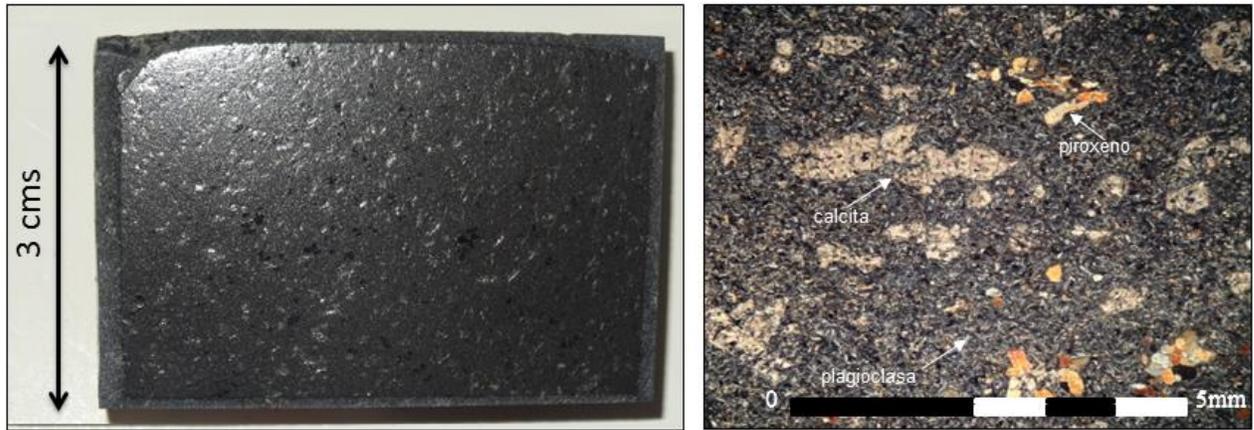


Figura 4-9: Izquierda: Ejemplar (rechazo) de muestra AA1426, Basalto de piroxeno. Derecha: Fotomicrografía a nicoles cruzados con aumento de 2x de la misma muestra. Se observan fenocristales de piroxeno, plagioclasa y pseudomorfos de olivino con carbonatos (calcita?) como mineral reemplazante.

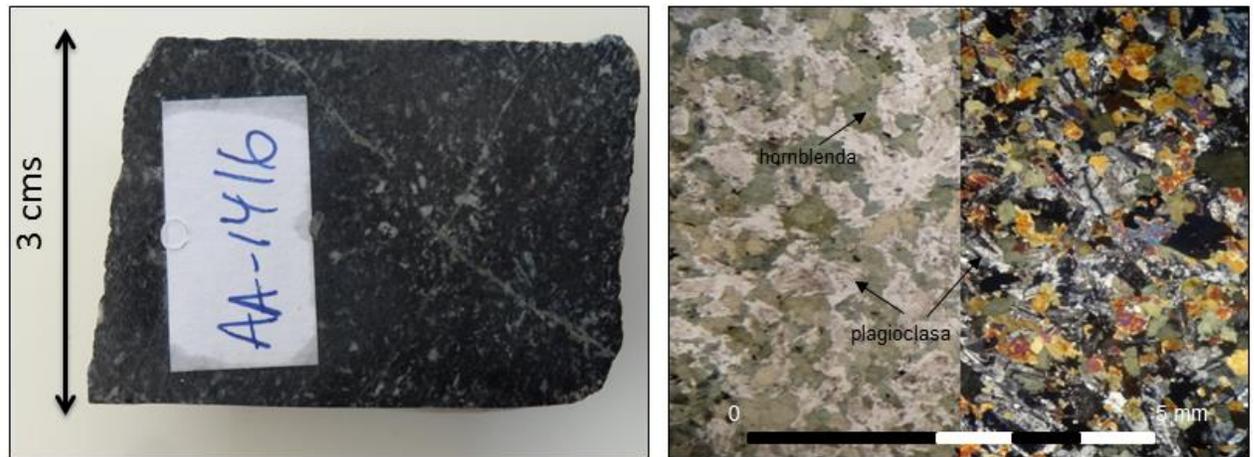


Figura 4-10: Izquierda: Ejemplar (rechazo) de muestra AA1416, Basalto. Derecha: Fotomicrografía a nicoles cruzados (der.) y paralelos (izq.) con aumento objetivo 2x de la misma muestra. Agregado cristalino de anfíboles (hornblenda) y plagioclases con menor epidota y trazas de opacos.

#### 4.1.4. Andesitas y Dacitas

Las rocas de este grupo corresponden a muestras de dique con cantidades de cuarzo variable que alcanzan hasta un 60% del total de minerales primarios en la muestra. Son rocas de texturas variables entre las que se encuentran: fanerítica, afanítica, porfídica, aplítica, glomeroporfídica y coronítica, aunque también existen rocas obliteradas. Holocristalinas, de grano fino a medio con cristales que alcanzan los 4 mm, heterométricas, hipidiomórficas, de fábrica isótropa y homogéneas. Leucocráticas con índices de color variable entre 0 y 15% y con una media de 6%.

La mineralogía primaria consiste en plagioclasa, biotita, feldespato potásico, cuarzo. También silicatos máficos completamente alterados y cantidades subordinadas de circón.

La mineralogía secundaria consiste en minerales de albita, actinolita, clorita, epidota, sericita y arcillas y menor cantidad de yeso, prehnita, cuarzo, óxidos e hidróxidos de Fe. Las asociaciones minerales en equilibrio textural son: epidota-clorita, clorita-epidota-cuarzo, prehnita-cuarzo (Figura 4-12) y la asociación mineral de mínima varianza en equilibrio textural corresponde a albita-actinolita-clorita-epidota-cuarzo, lo que corresponde a un metamorfismo en facies esquistos verdes presentado tan solo por la muestra AA1413 en la isla Thomas.

La gran mayoría de las secciones transparentes contienen vetillas. Se reconocieron vetillas de hasta 0,5 mm de espesor rellenas con epidota, microvetillas de 0,1 mm de yeso y vetillas de ~1,3 milímetros rellenas con prehnita y cuarzo.

La Figura 4-11 ilustra la muestra de Andesita porfídica del presente estudio con sus respectivos minerales de alteración. La Figura 4-12 enseña algunos de los minerales de alteración asociados a este set de muestras de diques.

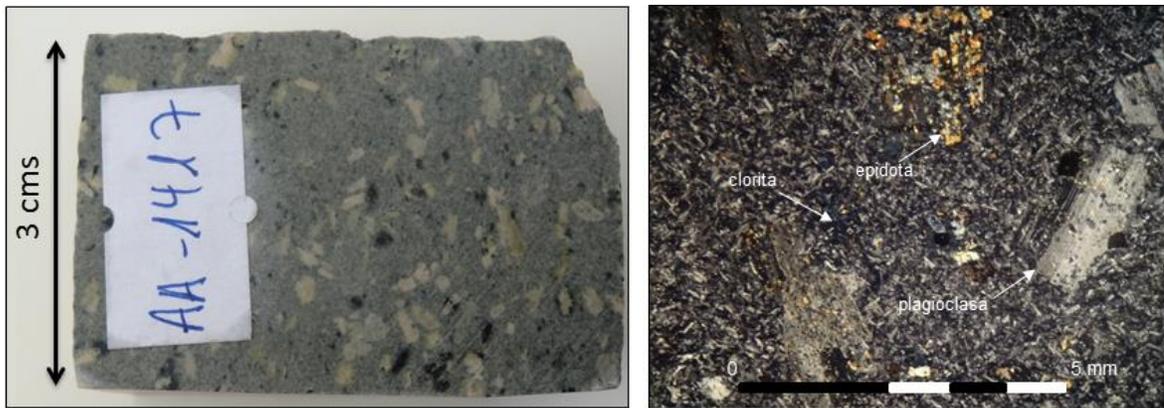


Figura 4-11: Izquierda: Ejemplar (rechazo) de muestra AA1417, andesita. Derecha: Microfotografía a nicols cruzados con aumento de 2x de la misma muestra. Se observan fenocristales de plagioclasa con reemplazo parcial por epidota granular y clorita reemplazando a silicatos máficos.

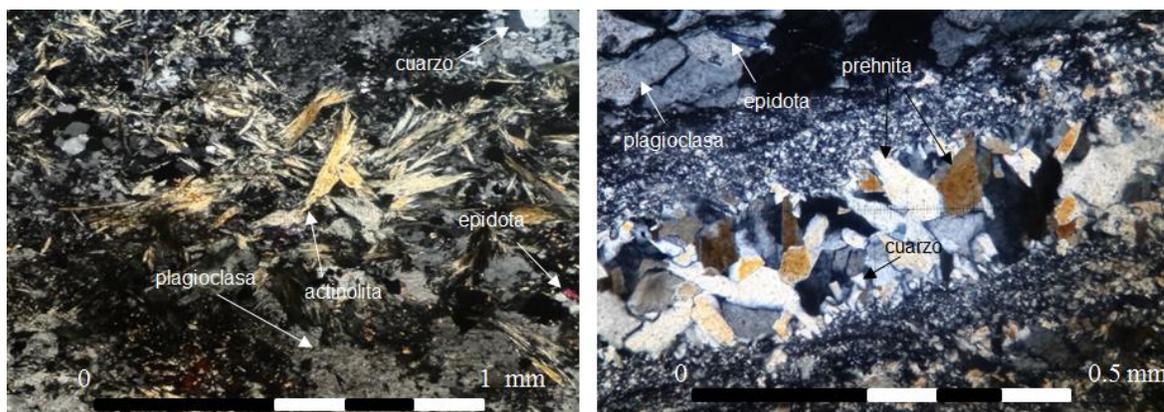


Figura 4-12: Izquierda: Microfotografía a nicols cruzados con aumento de 10x de la muestra AA1413, metadacita de actinolita. Cristales aciculares de actinolita y epidota diseminada. Derecha: Microfotografía a nicols cruzados con aumento de 20x de la muestra AA1436, dacita. Vetilla de ~0.4 mm de espesor rellena con prehnita y cuarzo en equilibrio textural.

## 4.2. GEOQUÍMICA DE ROCA TOTAL

En el presente trabajo se realizaron análisis de elementos mayores y traza para un total de 20 muestras de roca (Intrusivos faneríticos máficos, félsicos y diques): 4 pertenecientes a la Isla Caroline, 5 a la Isla Thomas, 4 a la Isla Sidney y 7 a la Isla London. Los análisis geoquímicos se hicieron mediante el método “*Lithium Metaborate/Tetraborate Fusion - ICP and ICP/MS*” en laboratorios de Actlabs, Canadá.

De las 20 muestras analizadas geoquímicamente, 15 corresponden a rocas plutónicas faneríticas y 5 corresponden a diques de composición basáltica y riolítica, siendo estas últimas las asociadas a los códigos: AA1405, AA1415, AA1421, AA1426 y AA1439 (o, para efectos prácticos, 05, 15, 21, 26 y 39 respectivamente).

### 4.2.1. Elementos Mayores

En un análisis de roca total, aquellos elementos que se presentan con un porcentaje en peso mayor al 0,1% son denominados elementos mayores. La concentración de estos elementos es función de la mineralogía de la roca y, por tanto, existen variados diagramas que utilizan estas concentraciones haciendo posible no solo la clasificación de las rocas en cuestión, sino también la comparación con otras fuentes de datos previas y el análisis de la variación de estos elementos (ROLLINSON, 1993).

Es necesario recalcar que realizar diagramas de clasificación y caracterización geoquímica con estos elementos está estrictamente ligado al supuesto de que la química total de la roca es representativa de la composición general del magma a partir del cual cristalizaron las fases presentes. Sin embargo, gran parte de las rocas de este estudio han experimentado procesos de metamorfismo, alteración y/o de reequilibrios químicos-mineralógicos secundarios que deben ser considerados al momento de interpretar los datos.

Los resultados de los análisis químicos para elementos mayores se muestran en la Tabla 4-3. Los análisis posteriores (diagramas) se realizarán con valores recalculados en base anhidra y mediante la utilización del software IoGas (versión 5.1).

Tabla 4-3: Datos geoquímicos en porcentaje en peso (wt%) de elementos mayores representados en óxidos en análisis de roca total para las muestras seleccionadas del presente estudio (valores no normalizados).

Muestra	Isla	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	Total
AA1402	Caroline	47.62	19.82	11.15	0.21	5.35	10.82	2.13	0.99	0.61	0.06	1.5	100.3
AA1404	Caroline	72.38	12.93	4.18	0.07	0.81	3.11	3.73	1.55	0.42	0.09	0.65	99.93
AA1405	Caroline	51.31	14.99	14.70	0.51	7.75	7.49	2.66	0.60	0.59	0.14	0.09	100.8
AA1406	Caroline	50.25	16.62	11.23	0.18	8.23	9.74	1.87	0.15	0.57	0.08	0.77	99.71
AA1409	Thomas	63.15	16.03	7.05	0.12	2.72	6.22	3.24	0.96	0.66	0.13	0.52	100.8
AA1415	Thomas	50.79	15.88	12.89	0.24	5.52	10.51	2.12	0.40	0.91	0.16	0.81	100.2
AA1418	Thomas	45.76	28.34	6.10	0.07	2.65	15.88	1.25	0.09	0.40	0.04	0.33	100.9
AA1419	Thomas	61.05	16.90	6.09	0.09	3.47	7.85	2.58	0.60	0.37	0.04	1.11	100.2
AA1421	Thomas	77.26	12.70	1.79	0.03	0.25	1.15	3.64	3.70	0.12	0.04	0.24	100.9
AA1422	London	54.58	13.47	10.49	0.18	7.92	10.80	1.64	0.32	0.44	0.06	1.01	100.9
AA1424	London	76.16	12.50	2.84	0.05	0.50	2.72	4.22	0.89	0.29	0.04	0.56	100.8
AA1425	Sidney	82.1	8.91	2.57	0.02	0.48	0.87	3.32	1.19	0.28	0.07	0.32	100.1
AA1426	Sidney	48.68	14.59	9.62	0.14	8.79	10.10	2.14	0.57	0.78	0.21	5.06	100.7
AA1427	Sidney	77.05	12.14	1.85	0.03	0.43	0.79	4.79	2.57	0.18	0.07	0.51	100.4
AA1428	Sidney	50.32	16.83	9.50	0.17	9.13	11.13	0.74	0.13	0.18	0.05	0.92	99.11
AA1430	London	44.59	16.89	14.89	0.20	7.62	14.49	0.73	0.03	0.81	0.03	0.58	100.8
AA1431	London	46.52	17.56	13.09	0.21	7.72	13.51	0.92	0.03	0.47	0.06	0.49	100.6
AA1435	London	72.82	12.65	5.19	0.07	1.21	5.05	2.60	0.29	0.47	0.11	0.5	100.9
AA1437	London	44.00	22.19	6.65	0.10	11.29	14.17	0.42	0.05	0.05	0.03	1.61	100.6
AA1439	London	47.58	17.56	10.52	0.16	7.32	9.79	3.40	0.16	0.98	0.13	3.37	101

## 4.2.2. Clasificación Geoquímica y Nomenclatura según Elementos Mayores

### 4.2.2.1. Rocas plutónicas

El diagrama TAS modificado para rocas plutónicas de COX ET AL. (1979) es un diagrama de clasificación preliminar que compara el contenido de álcalis (suma de los porcentajes ponderados en peso de los óxidos Na<sub>2</sub>O y K<sub>2</sub>O) versus el contenido de SiO<sub>2</sub> (también en contenido según porcentaje en peso). Sólo 5 de las 15 muestras de plutones faneríticos caen dentro de los campos definidos para este diagrama. Texturas cumuladas observadas en los intrusivos más básicos (Figura 3-2 D) y/o la acción de procesos secundarios que cambien la mineralogía primaria de la roca podrían ser la causa de que las restantes 10 muestras se grafiquen fuera de los campos definidos en el gráfico en cuestión. La Tabla 4-5 muestra los nombres asignados para las 5 muestras que si están comprendidas dentro de los límites definidos por COX ET AL. (1979) para rocas plutónicas, los que corresponden a gabros, dioritas y cuarzo-diorita.

Al igual que en el caso anterior, al graficar las muestras en el diagrama de clasificación R1-R2 para rocas plutónicas propuesto por DE LA ROCHE (1980), solo unas pocas muestras (4 de un total de 15) caen dentro de los campos definidos por tales parámetros. Este diagrama y sus parámetros asociados se basan en las proporciones catiónicas de elementos mayores, en donde R1 se define como  $[4Si-11(Na+K)-2(Fe+Ti)]$ , y R2 como  $6Ca+2Mg+Al$ , por tanto, cualquier proceso de cristalización cumulada y/o de alteración posterior afectarían de manera directa las

concentraciones de los elementos utilizados. La Tabla 4-5 muestra los 4 nombres asignados por este método para el total de las 15 muestras de plutones analizados, siendo estos gabro (olivino), gabro norita, tonalita y granito.

A través de la aplicación de la norma CIPW se puede clasificar las rocas según su mineralogía normativa, la cual es calculada a partir de los datos geoquímicos (Tabla 4-4). Es necesario recalcar que este método contiene los siguientes supuestos: 1) El magma a partir del cual se formaron las rocas es anhídrico (y por tanto no existen las fases hidratadas), 2) No se contemplan las soluciones sólidas de fases que contengan elementos como el Ti y el Al, 3) La razón Fe/Mg se considera constante para los minerales ferromagnesianos (ROLLINSON, 1993).

La Figura 4-13 muestra el diagrama de clasificación QAP de STRECKEISEN (1974) para las muestras de plutones faneríticos utilizando la mineralogía normativa (Tabla 4-4) normalizada. 5 muestras corresponden al grupo de gabros/dioritas/anortositas, 3 muestras al grupo de cuarzo-diorita/cuarzo-gabro/cuarzo-anortosita, 3 caen en el campo de tonalita y 4 muestras caen en el campo de granodiorita.

Tabla 4-4: Tabla resumen con mineralogía normativa en porcentaje en peso (wt%, calculada en base a los datos geoquímicos (Tabla 4-3) normalizados mediante la norma CIPW. Abreviaciones: Czo: cuarzo. Plg: Plagioclasa. Or: Ortoclasa. Zr: Zirconio. Nf: Nefelina. Co: Corindón. Di: Diópsido. Hi: Hiperstena. Ol: Olivino. Ilm: Ilmenita. Mt: Magnetita. Ap: Apatito. Cr: Cromita.

Muestra	Czo	Plg	Or	Zr	Nf	Co	Di	Hi	Ol	Ilm	Mt	Ap	Cr	Total
AA1402	/	60,32	6,05	/	/	/	9,89	11,98	5,35	1,16	5,41	0,14	0,01	100,31
AA1404	35,76	45,71	9,51	0,01	/	/	0,93	5,19	/	0,82	2,02	0,21	0,03	100,19
AA1406	3,46	52,87	0,96	/	/	/	9,36	26,95	/	1,08	5,44	0,19	0,03	100,34
AA1409	21,42	53,55	5,82	0,01	/	/	3,13	11,36	/	1,25	3,36	0,3	0,01	100,21
AA1418	/	81,55	0,53	/	/	/	5,9	6,41	2,02	0,76	2,9	0,09	0,01	100,17
AA1419	20,68	55	3,75	0,01	/	/	5,04	11,93	/	0,72	2,94	0,09	0,01	100,17
AA1422	9,75	42,32	1,96	/	/	/	20,13	20,1	/	0,84	5,03	0,14	0,04	100,31
AA1424	40,57	48,01	5,48	0,01	/	/	0,72	3,31	/	0,55	1,36	0,09	0,01	100,11
AA1425	54,69	32,09	7,4	0,03	/	0,66	/	3,36	/	0,53	1,23	0,16	/	100,15
AA1427	36,25	44,02	15,62	0,01	/	0,13	/	2,69	/	0,34	0,88	0,16	0,01	100,11
AA1428	6,72	49,36	0,77	/	/	/	10,45	27,84	/	0,34	4,63	0,12	0,01	100,24
AA1430	/	48,76	0,18	/	/	/	23,72	13,02	5,99	1,52	7,1	0,07	0,01	100,37
AA1431	/	51,43	0,18	/	/	/	18,77	22,45	0,19	0,89	6,26	0,14	0,03	100,34
AA1435	42,45	43,75	1,79	/	/	/	2,08	6,47	/	0,87	2,48	0,25	/	100,14
AA1437		62,72	0,3	/	/	/	9,36	8,44	15,98	0,09	3,22	0,07	0,04	100,22

## Diagrama QAP (Norma CIPW)

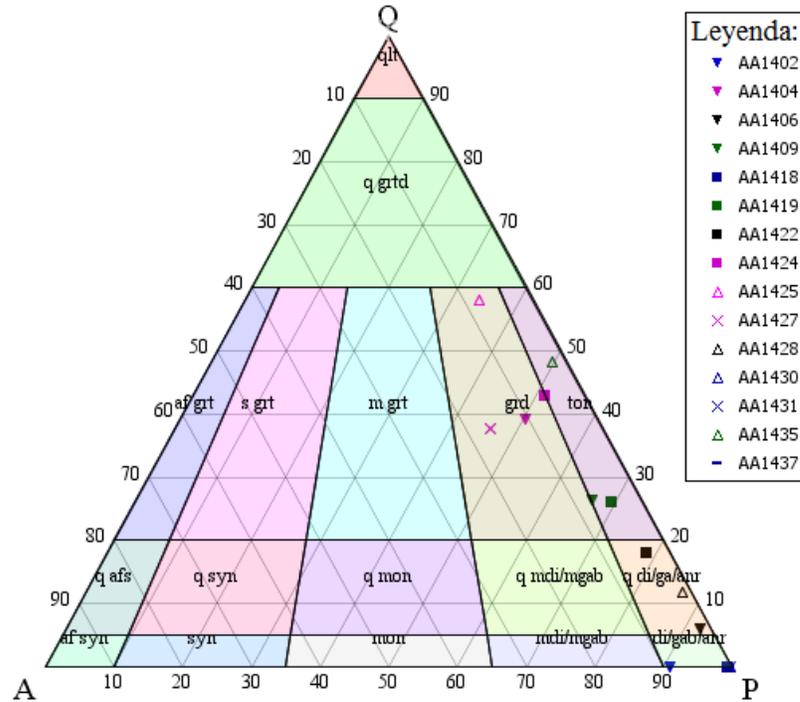


Figura 4-13: Diagrama de clasificación QAP (Streckeisen, 1974). Porcentajes normalizados de Q (cuarzo), A (feldespato potásico) y P (plagioclasa) calculados en base a la mineralogía normativa mostrada en Tabla 4-4. Nomenclatura: di/gab/anr: diorita/gabro/anortosita. q di/gab/anr: cuarzo diorita/gabro/anortosita. ton: tonalita. grd: granodiorita.

La Tabla 4-5 muestra el resumen de clasificación para las muestras propuestas tanto por los diagramas de clasificación señalados anteriormente, como la clasificación dada mediante la descripción petrográfica del capítulo 4.1 Petrografía para las rocas intrusivas en cuestión.

Tabla 4-5: Tabla resumen de clasificación de rocas y nomenclatura según diagramas TAS, R1-R2, QAP normativo y Petrografía para las muestras plutónicas. Abreviaciones: qz: cuarzo.

Muestra	TAS	R1-R2	QAP Normativo	Petrografía
AA1402	gabro	gabro (olivino)	gabro/diorita	gabro de clinopiroxeno y hornblenda
AA1404	-	-	granodiorita	monzo-granito de hornblenda
AA1406	gabro	gabro norita	qz-gabro/diorita	diorita de piroxeno y hornblenda
AA1409	cuarzo diorita	tonalita	Tonalita	tonalita de hornblenda
AA1418	-	-	gabro/diorita	gabro de piroxeno y hornblenda
AA1419	diorita	-	Tonalita	tonalita de hornblenda y biotita
AA1422	diorita	-	qz-gabro/diorita	tonalita de clinopiroxeno y hornblenda
AA1424	-	-	granodiorita	tonalita de biotita
AA1425	-	-	granodiorita	granitoide cuarífero de biotita
AA1427	-	granito	granodiorita	granodiorita de biotita
AA1428	-	-	qz-gabro/diorita	gabro de piroxeno y hornblenda
AA1430	-	-	gabro/diorita	qz-gabro de piroxeno y hornblenda
AA1431	-	-	gabro/diorita	gabro de piroxeno y hornblenda
AA1435	-	-	tonalita	tonalita de hornblenda y biotita.
AA1437	-	-	gabro/diorita	gabro de olivino

#### 4.2.2.2. Diques

Las muestras de diques fueron clasificadas según el diagrama TAS de clasificación para rocas volcánicas que utiliza los mismos parámetros que el diagrama TAS análogo a rocas intrusivas (contenido en peso de álcalis Na<sub>2</sub>O y K<sub>2</sub>O versus el contenido en peso de SiO<sub>2</sub>, Figura 4-14C). Todas ellas a excepción de la muestra AA1421 tienen concentraciones de sílice y álcalis que refieren a basaltos. La muestra AA1421 posee un mayor contenido tanto de sílice como de álcalis y por tanto el campo asociado a esta es el de riolitas.

El diagrama de la Figura 4-14A presenta la clasificación de las muestras de los mismos 5 diques según DE LA ROCHE (1980) utilizando los parámetros R1 y R2 definidos anteriormente. Todos los diques, a excepción de la muestra AA1415 caen dentro de los límites del diagrama. La muestra AA1421 sigue clasificándose como riolita. Para las otras muestras contenidas en el diagrama, clasificadas todas como basaltos en el diagrama TAS, existe ahora una clasificación más detallada: basalto tholeiítico para la muestra AA1426 y basalto (olivino) para la muestra AA1439.

La Figura 4-14 B muestra la clasificación QAP basado en la mineralogía normativa para cada una de las muestras de dique. La muestra AA1421 (o 21 en el diagrama) es consistente con las clasificaciones de los diagramas anteriores. Las otras cuatro muestras caen en el campo de andesita o basalto.

La Tabla 4-6 muestra el resumen de clasificación para las muestras propuestas tanto por los diagramas de clasificación señalados anteriormente, como la clasificación dada mediante la descripción petrográfica de diques del capítulo 4.1 *Petrografía*.

Tabla 4-6: Tabla resumen de clasificación de rocas y nomenclatura según diagramas TAS, R1-R2, QAP normativo y Petrografía para las muestras asociadas a diques.

Muestra	TAS	R1-R2	QAP Normativo	Petrografía
AA1405	basalto	andesita-basáltica	andesita-basalto	metabasalto de actinolita
AA1415	basalto		andesita-basalto	basalto
AA1421	riolita	riolita	riolita	dacita de biotita
AA1426	basalto	basalto tholeiítico	andesita-basalto	basalto de piroxeno
AA1439	basalto	basalto (Olivino)	andesita-basalto	basalto de hornblenda

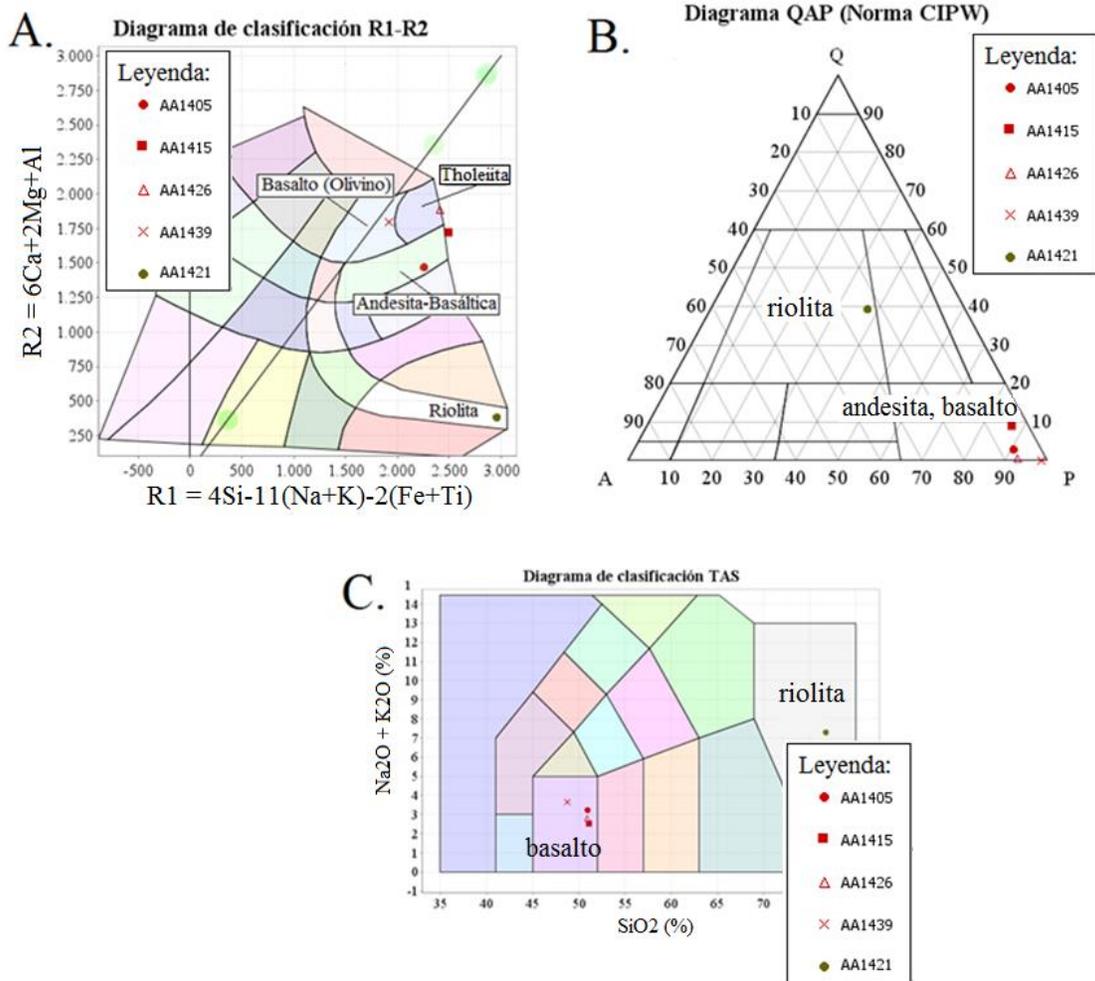


Figura 4-14: A. Diagrama de clasificación R1-R2 para rocas volcánicas (De la Roche, 1980). B. Diagrama de clasificación QAP para rocas volcánicas, modificado del diagrama de clasificación QAP para rocas plutónicas de Streckeisen (1976). Porcentajes normalizados de Q (cuarzo), A (feldespato potásico) y P (plagioclasa) calculados en base a la mineralogía normativa mostrada en Tabla 4-4. C. Diagrama de clasificación TAS para rocas volcánicas (Le Maitre et al., 1989).  $Na_2O + K_2O$  [wt%] versus  $SiO_2$  [wt%].

### 4.2.3. Caracterización Geoquímica según Elementos Mayores

El diagrama AFM es un diagrama ternario que utiliza parte de la química total de la roca. Sus términos A, F y M refieren al contenido de  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  (término A),  $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$  (término F),  $\text{MgO}$  (término M). Este diagrama permite estudiar, de una manera no cuantitativa, la petrogénesis de las rocas en estudio, sus patrones de diferenciación magmática y su caracterización y distinción geoquímica en términos de las series calcoalcalinas y tholeiíticas dentro de magmas subalcalinos (ROLLINSON, 1993).

Es sabido que existen diferencias fundamentales entre sets de rocas que sufren enriquecimientos de hierro durante la diferenciación mientras la abundancia de sílice permanece baja, y grupos que sufren enriquecimiento de sílice con mínimos enriquecimientos de  $\text{FeO}$  y  $\text{MgO}$  (NOCKOLDS Y ALLEN, 1956). Estas dos tendencias son las que se conocen comúnmente como series “tholeiíticas” y “calcoalcalinas”. Es posible clasificar rocas plutónicas de esta manera definiendo el parámetro  $\text{Fe}^*$  que es igual al cociente entre los términos  $\text{FeO}_{\text{total}}$  y  $\text{FeO}_{\text{total}} + \text{MgO}$ . Dado que son notables las diferencias geoquímicas de estos óxidos en función de si estas rocas se crearon a partir de una fuente magmática que se enriquece en hierro ó a partir de una fuente que se enriquece en sílice, este parámetro identificará aquellas rocas de carácter ferroso o magnesiano y aportará a la discriminación de los ambientes tectónicos de formación en el cual tales rocas se originaron (FROST *ET AL.*, 2001).

La Figura 4-15 muestra la caracterización geoquímica de las rocas del presente estudio según los parámetros A, F y M mencionados anteriormente. Simultáneamente, las muestras fueron clasificadas según el nombre asignado por los métodos de clasificación en el apartado anterior. El nombre escogido para las rocas intrusivas fue el asignado por el diagrama ternario QAP según la mineralogía normativa (Norma CIPW, Figura 4-13) teniendo en cuenta de que no existen muestras de anortosita en el presente estudio, mientras que para las rocas asociadas a diques, el nombre escogido fue el propuesto por el diagrama de clasificación TAS (Figura 4-14C).

En el diagrama AFM (Figura 4-15), es posible apreciar que rocas de composiciones más básicas del total de las muestras analizadas se grafican en el campo de tholeiítas, a diferencia de las muestras de composiciones más ácidas. Las rocas asociadas a los grupos de gabros/dioritas, cuarzo-gabros/dioritas y basaltos (diques), se encuentra todas insertas en el campo definido para series tholeiíticas en magmas subalcalinos. Existe una dualidad para las rocas de composiciones intermedias (tonalitas) en donde las muestras se grafican tanto en el campo asociado a las serie tholeiítica como al campo asociado a la serie calcoalcalina. Finalmente las rocas de composiciones más ácidas correspondientes al grupo de granodioritas y la muestra asociada al dique de composición riolítica están insertas en el campo con afinidad calcoalcalina.

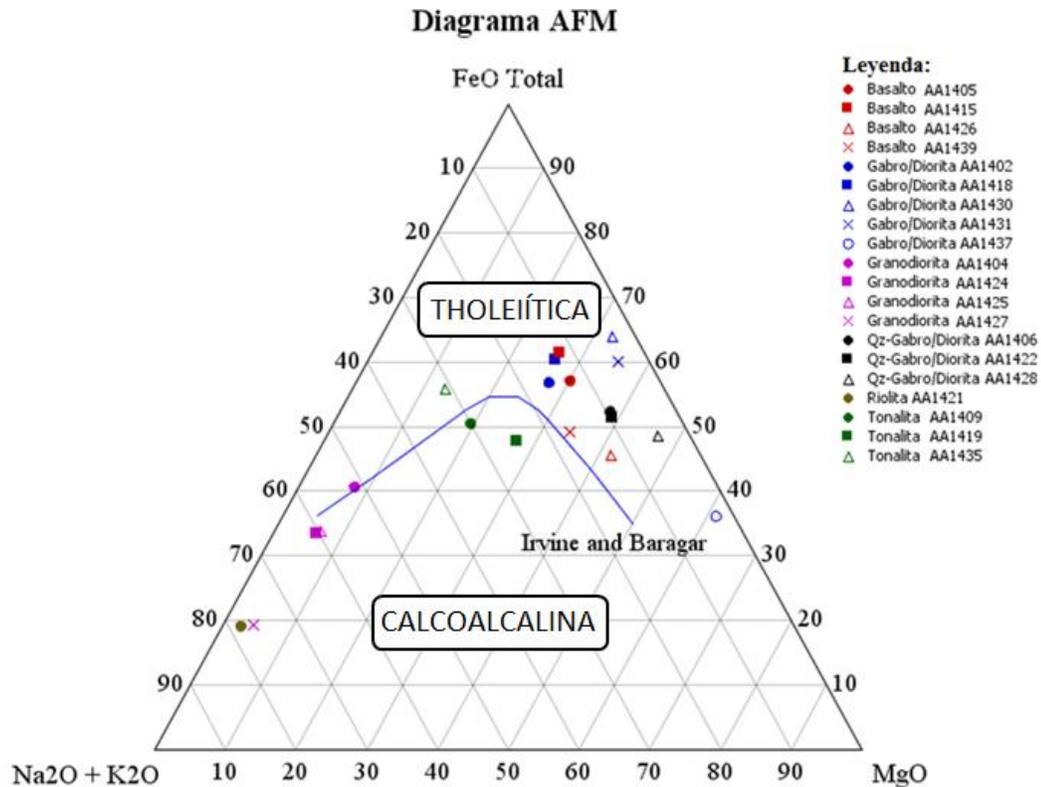


Figura 4-15: Diagrama de clasificación AFM (Irvine y Baragar, 1971).

La Figura 4-16 muestra las tendencias de las rocas con respecto al índice de Fe ( $Fe^*$ ) versus  $SiO_2$ . Es posible observar que las rocas básicas en cuestión, es decir, cuarzo-gabros/dioritas y diques Basálticos se grafican en el campo asociado a la serie calcoalcalina (carácter magnesiano). El grupo de tonalitas se grafica en el campo de carácter magnesiano y cerca de la transición ferroso-magnesiano. Finalmente, las granodioritas se grafican en ambos campos y la muestra de riolita tiene una afinidad con el carácter ferroso. Es muy importante mencionar que el diagrama de la Figura 4-16 está definido para concentraciones de  $SiO_2$  entre 50-80% (recuadro celeste en la Figura 4-16). Las rocas asociadas al grupo de gabro/diorita y la muestra AA1439 (Basalto) caen todas fuera del área definida para este diagrama debido a sus bajos contenidos de  $SiO_2$  (<50%). Al contrario, la muestra AA1425 correspondiente a una granodiorita no está definida en el campo propuesto por el diagrama de clasificación debido a su alto contenido de  $SiO_2$  (>80%).

El diagrama de clasificación MALI (Modified Alkali-Lime Index) versus  $SiO_2$  (Figura 4-17) permite clasificar las rocas según su carácter alcalino, alcalino-cálcico, calco-alcalino y cálcico. Para lograr lo anterior es necesario calcular el término MALI, que se define como  $(Na_2O+K_2O-CaO)$ ; (FROST *ET AL.*, 2001).

En la Figura 4-17 es posible observar que muchas de las rocas se grafican fuera del campo definido para el diagrama (recuadro celeste) debido a su baja cantidad de SiO<sub>2</sub> y mayor cantidad de CaO con respecto a Na<sub>2</sub>O y K<sub>2</sub>O (esto se ve claramente para el grupo de rocas asociadas a gabro/diorita).

De las muestras que se grafican en el campo definido para este diagrama, la única muestra que posee un carácter calcoalcalino es el dique de composición basáltica AA1405. Todas las demás muestras presentan un carácter cálcico según el diagrama de clasificación MALI.

Es posible observar que las muestras de composiciones más básicas presentan, además de más bajos contenidos de SiO<sub>2</sub>, menores valores para el término MALI (esto probablemente debido a su abundancia de CaO con respecto a los óxidos Na<sub>2</sub>O y K<sub>2</sub>O) con respecto a las rocas más ácidas (ya sean estas intrusivos o diques), las cuales presentan mayores contenidos de SiO<sub>2</sub> y mayores valores para el índice MALI (dados sus menores contenidos de CaO con respecto a los óxidos Na<sub>2</sub>O y K<sub>2</sub>O).

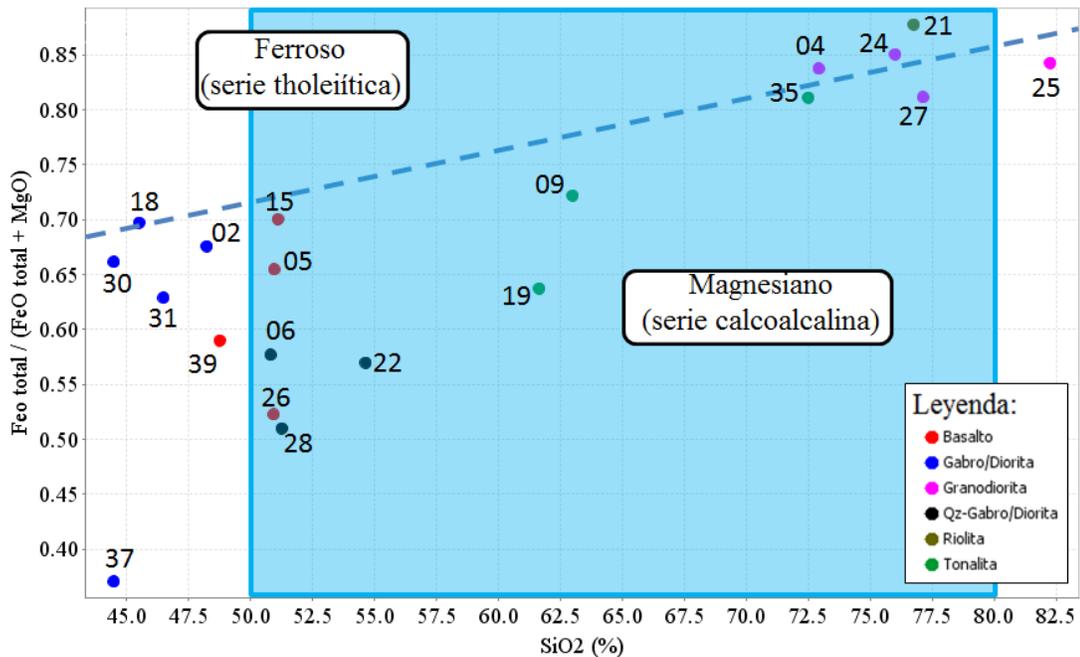


Figura 4-16: Diagrama de índice de hierro ( $Fe^*$ ) versus  $SiO_2$  (%); Frost et al., 2001.  $Fe^* = FeO_{total} / (FeO_{total} + MgO)$ . La línea segmentada tiene como ecuación  $Fe^* = 0,486 + 0,0046 \times SiO_2$  (Frost et al., 2001). El recuadro celeste indica los límites para los cuales está definido el diagrama.

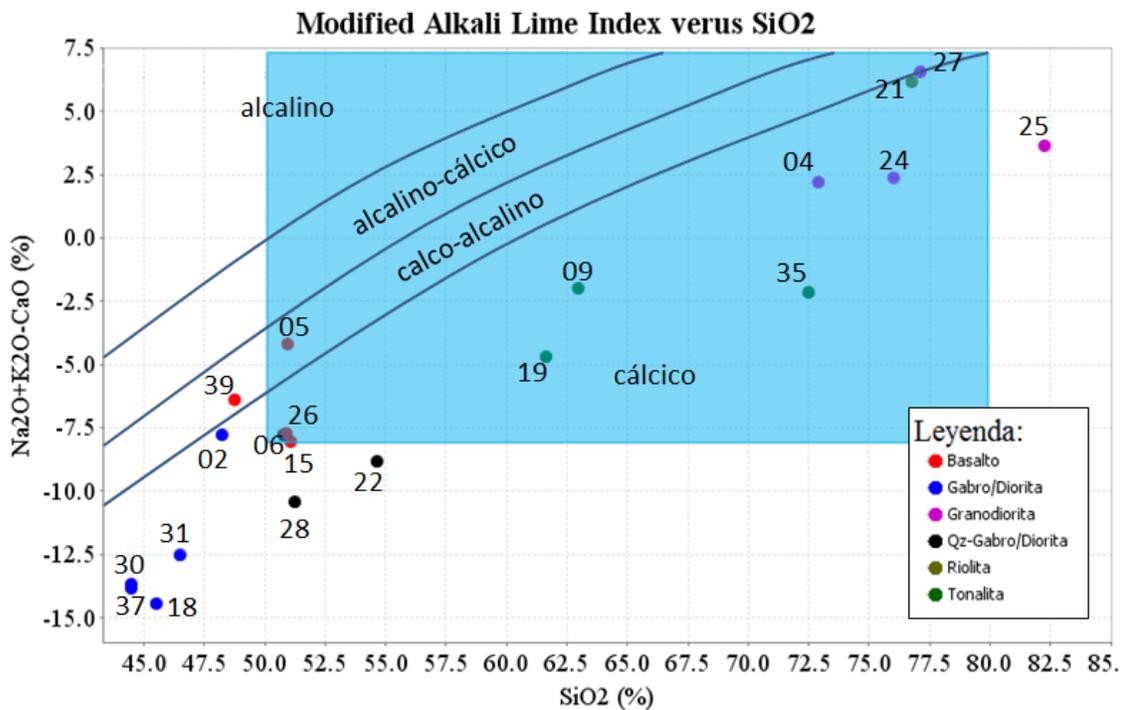


Figura 4-17: Diagrama de clasificación MALI (Modified Alkali-Lime Index, [wt%] versus SiO<sub>2</sub> [wt%]). El término MALI está definido como Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O-CaO (Frost et al., 2001). El recuadro celeste indica los límites para los cuales está definido el diagrama. Las líneas de subdivisión de los campos expuestos están definidas según las siguientes ecuaciones: (1) Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O-CaO = -41,86+1,112\*SiO<sub>2</sub>(wt%)-0,00572\*(SiO<sub>2</sub>(wt%))<sup>2</sup>, para el límite entre los campos alcalino y alcalino-cálcico. (2) Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O-CaO = -44,72+1,094\*SiO<sub>2</sub>(wt%)-0,00527\*(SiO<sub>2</sub>(wt%))<sup>2</sup>, para el límite entre los campos alcalino-cálcico y calco-alcalino. (3) Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O-CaO = -45,36+1,0043\*SiO<sub>2</sub>(wt%)-0,00427\*(SiO<sub>2</sub>(wt%))<sup>2</sup>, para el límite entre los campos calco-alcalino y cálcico.

Otro diagrama utilizado para la caracterización geoquímica de rocas es aquel en el cual se compara el valor de los parámetros CaO/(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O+CaO) [mol] y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O+CaO) [mol]. Este diagrama, propuesto por BARTON Y YOUNG (2002), permite clasificar rocas en peralcalinas, metaluminosas, débilmente peraluminosas y fuertemente peraluminosas basándose en que el índice de saturación de aluminio varía según la composición química de las rocas, lo que se refleja además en la mineralogía presente en ellas (fases micáceas por ejemplo).

La Figura 4-18 indica que las rocas tienen un carácter metaluminoso a débilmente peraluminoso. Siendo sólo 3 muestras las que caen en este último campo (AA1425, AA1421 y AA1427). Es posible observar también que mientras más básicas son las muestras, mayor es la razón CaO/(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O+CaO), mientras que, a medida que se vuelven más ácidas esta proporción tiende a ser menor. La razón Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O+CaO) es variable para cada grupo de rocas y está mayormente acotada entre los valores [0,5-1,1] para todas las muestras.

## Saturación de Alúmina

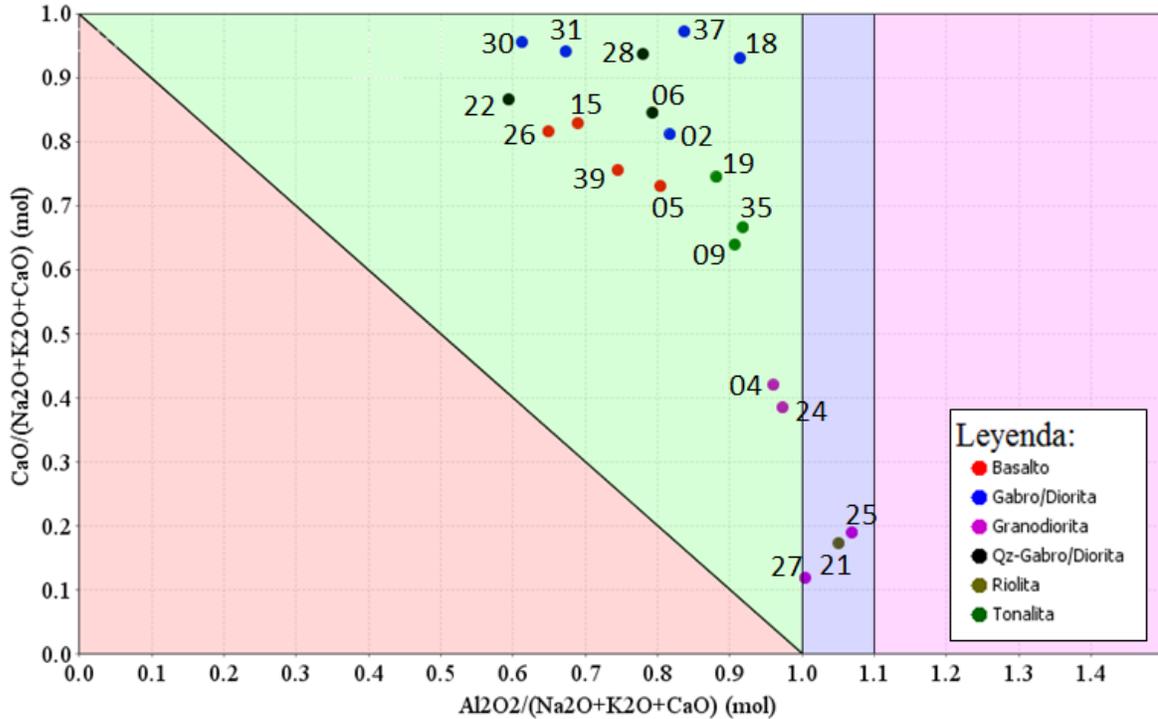


Figura 4-18: Diagrama de Saturación de Alúmina.  $CaO/(Na_2O+K_2O+CaO)$  [mol] versus  $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O+CaO)$  [mol]. Barton y Young, 2002.

La Tabla 4-7 muestra el índice de saturación de alúmina ( $A/CNK=Al_2O_3/(Na_2O+K_2O+CaO)$ ) para cada muestra, el cual corresponde a uno de los parámetros utilizados en el diagrama anterior (Figura 4-18). Esta razón es igual a 1 en minerales como feldespato y feldespatoideos. Valores mayores a 1 indican un exceso de alúmina, mientras que valores menores a 1, déficit de este. Los magmas cristalizan acomodando el óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ) en los minerales máficos. En magmas sobresaturados en  $Al_2O_3$  (o peraluminosos), fases ricas en aluminio podrán cristalizar (micas por ejemplo). Cuando no existe un estado sobresaturado en este óxido, los magmas forman rocas metaluminosas o hasta peralcalinas (muy subsaturados en  $Al_2O_3$ ). Cuando este es el caso, la escasez de alúmina se equilibra cristalizando minerales con contenidos variables de aluminio, como por ejemplo, hornblenda (BEST, 2009).

Tabla 4-7: Tabla resumen que presenta el carácter de alúmina para cada una de las muestras analizadas, razón A/CNK, contenido de SiO<sub>2</sub>, nombre según diagrama QAP de Streckeisen (1974) utilizando mineralogía normativa y código de la muestra.

Muestra	Nombre (QAP normativo)	SiO <sub>2</sub> [wt%]	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /(Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O+CaO) (mol)	Carácter
AA1402	gabro/diorita	48,22	0,82	Metaluminoso
AA1404	granodiorita	72,91	0,96	Metaluminoso
AA1405	basalto	50,93	0,80	Metaluminoso
AA1406	qz-gabro/diorita	50,80	0,79	Metaluminoso
AA1409	tonalita	62,97	0,91	Metaluminoso
AA1415	basalto	51,09	0,69	Metaluminoso
AA1418	gabro/diorita	45,50	0,91	Metaluminoso
AA1419	tonalita	61,64	0,88	Metaluminoso
AA1421	riolita	76,74	1,05	Débilmente peraluminoso
AA1422	qz-gabro/diorita	54,63	0,59	Metaluminoso
AA1424	granodiorita	76,00	0,97	Metaluminoso
AA1425	granodiorita	82,26	1,07	Débilmente peraluminoso
AA1426	basalto	50,91	0,65	Metaluminoso
AA1427	granodiorita	77,12	1,00	Débilmente peraluminoso
AA1428	qz-gabro/diorita	51,25	0,78	Metaluminoso
AA1430	gabro/diorita	44,47	0,61	Metaluminoso
AA1431	gabro/diorita	46,48	0,67	Metaluminoso
AA1435	tonalita	72,49	0,92	Metaluminoso
AA1437	gabro/diorita	44,47	0,84	Metaluminoso
AA1439	basalto	48,75	0,75	Metaluminoso

La Figura 4-19 muestra la confección de diagramas Harker de los óxidos de elementos mayores de Ti, Al, P, Fe<sub>total</sub>, Na, K, Ca y Mg versus el contenido de SiO<sub>2</sub> de las rocas en estudio. La mayoría de las tendencias expuestas en este tipo de diagramas son el resultado de cambios en el magma, ya sea mezcla de magmas, contaminación o cristalización fraccionada (ROLLINSON, 1993). Aunque es necesario recalcar que las muestras pertenecen a afloramientos de distintas ubicaciones espaciales y no a un solo cuerpo rocoso.

En el diagrama de TiO<sub>2</sub> versus sílice se observa una correlación negativa aunque no del todo clara entre los dos parámetros, esto debido a que existen muestras de gabro/diorita y cuarzo-gabro/diorita con contenidos comparables de TiO<sub>2</sub> con respecto a rocas de composiciones más ácidas provocando una especie de correlación positiva entre ambos parámetros si se considera únicamente las muestras más básicas del estudio (gabros/dioritas, cuarzo-gabros/dioritas y basaltos).

El diagrama de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> versus SiO<sub>2</sub> muestra una clara correlación negativa de baja pendiente entre los dos parámetros en cuestión, en donde una muestra de gabro/diorita muestra valores anómalamente altos (AA1418).

El diagrama de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> versus SiO<sub>2</sub> no muestra una relación clara entre las dos variables. La muestra AA1426 muestra valores anómalamente altos con respecto al resto de las rocas del estudio.

Los diagramas de Fe<sub>total</sub>, CaO y MgO versus sílice muestran todos una correlación negativa entre los parámetros correspondientes como es de esperarse en una comparación normal en rocas que contienen variados contenidos de sílice. En rocas básicas, los contenidos de estos óxidos son mayores que en rocas de composiciones más ácidas porque los elementos asociados son más compatibles con las fases minerales que cristalizan a mayores temperaturas. Una situación similar a lo que ocurre en el diagrama de TiO<sub>2</sub> versus SiO<sub>2</sub> ocurre en el diagrama de Fe<sub>total</sub> versus SiO<sub>2</sub>, en donde si se consideran solo las muestras más básicas podría existir una correlación positiva entre las variables.

Finalmente, al contrario del caso anterior, los diagramas de Na<sub>2</sub>O y K<sub>2</sub>O versus SiO<sub>2</sub> muestran claras correlaciones positivas entre los dos parámetros debido a que los elementos asociados son mayormente compatibles con las fases que cristalizan en rocas de mayores contenidos de sílice (y a menores temperaturas).

## Diagramas de Variación Harker

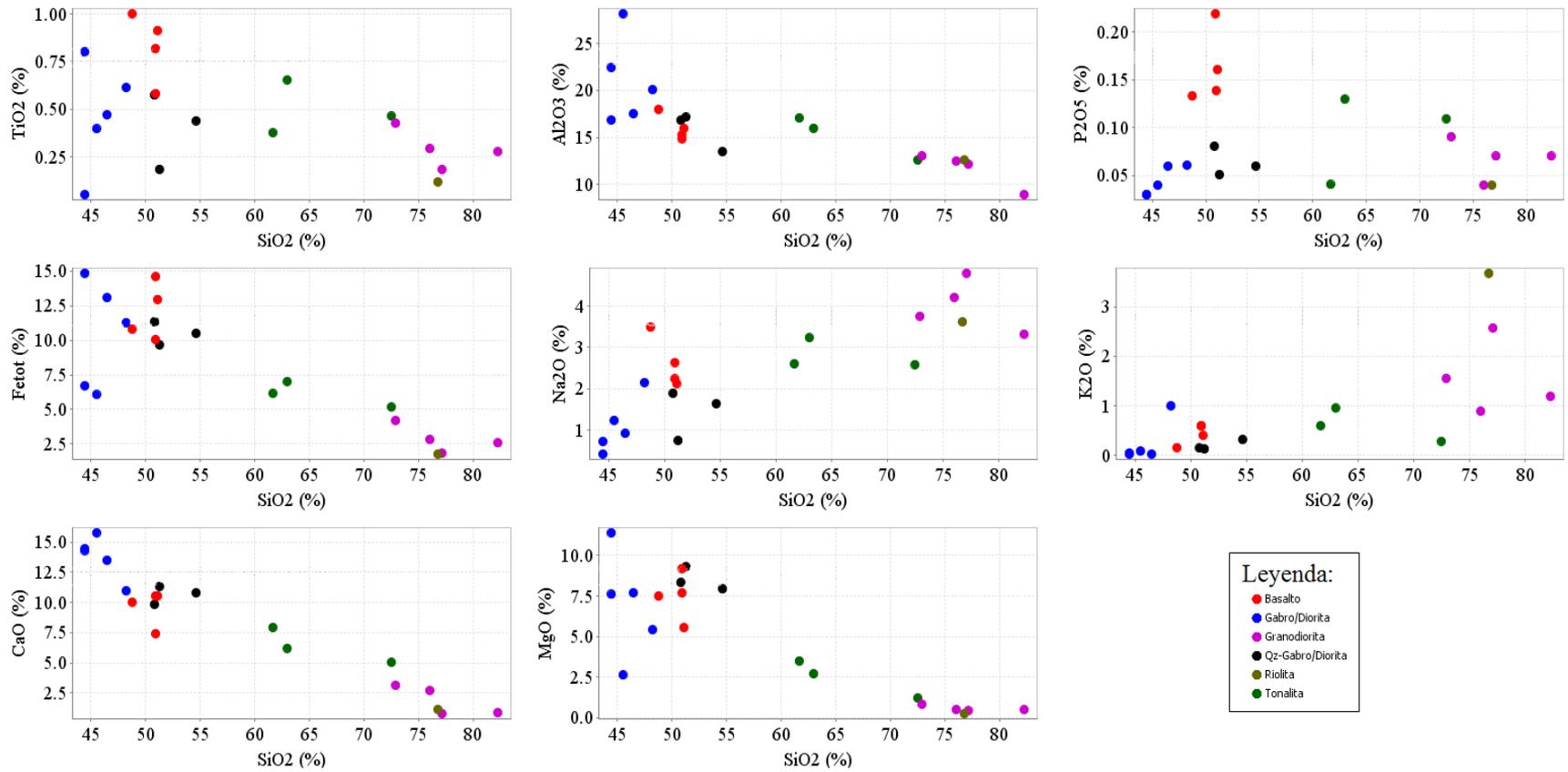


Figura 4-19: Diagramas de variación Harker de elementos mayores (%) versus SiO<sub>2</sub> (%), para las muestras del presente estudio.

#### 4.2.4. Caracterización Geoquímica según Elementos Traza

En una roca ígnea intrusiva, cualquiera sea su composición, la abundancia de elementos trazas dependerá de: la composición de la fuente (herencia composicional) desde la cual se obtuvo el fundido; el mecanismo y grado de fusión parcial; el grado de fraccionamiento magmático por cristalización (cristalización fraccionada); y el grado de contaminación del magma o procesos de asimilación cortical.

En función de los elementos traza y de su comportamiento en términos de movilidad (compatibles o incompatibles), es posible realizar estudios petrológicos de gran relevancia en geología. Dado que los elementos traza se encuentran en muy bajas concentraciones en las rocas, estos serán estables en fases accesorias (como por ejemplo apatito o circón) y no en aquellas fases minerales abundantes de la roca. Los elementos trazas y su comportamiento sirven como fuertes indicadores petrogénéticos de procesos magmáticos, entregando información de la fuente como de la evolución de las rocas (BEST, 2009).

Es importante mencionar que muchas de las muestras estudiadas en este trabajo están afectas a procesos secundarios de alteración o metamorfismo. Sin embargo, autores como BECCALUVA *ET AL.* (1979) o PEARCE Y NORRY (1979) han demostrado que las concentraciones de algunos elementos incompatibles tales como Th, U, Ta, Nb, P, Hf, Zr, Ti, Y y las tierras raras (REE), además de los metales de transición (Ni, Co, Cr y V) son relativamente inmóviles durante estos procesos y pueden ser utilizados para describir las características geoquímicas primarias de rocas ofiolíticas.

En 9.3 Anexo C1: Geoquímica de elementos traza es posible ver los datos completos de los análisis de elementos traza (ppm) para cada una de las muestras del presente estudio.

##### 4.2.4.1. Diagramas de Discriminación Tectónica

La Figura 4-20 muestra los diagramas de clasificación tectónica en base a elementos traza propuestos por PEARCE ET AL. (1984). Estos diagramas están basados en la comparación de Ta versus Yb (Figura 4-20, arriba a la izquierda), Rb versus Y + Nb (Figura 4-20, arriba a la derecha) y Nb versus Y (Figura 4-20, abajo). A partir de la observación de estos diagramas, es posible interpretar que las rocas intrusivas del presente estudio corresponderían principalmente a granitoides de arco volcánico. Es importante notar que en algunos de estos diagramas no aparecen ciertos grupos de rocas del presente estudio. Por ejemplo, el diagrama de Ta versus Yb carece de las muestras correspondientes a gabros/dioritas y cuarzo-gabros/dioritas, esto porque la cantidad de Ta en estas rocas es menor que 0,1 ppm, el cual es el límite de detección del instrumento analizador para este elemento en particular. Por otra parte se debe tener en cuenta que estos diagramas deben ser interpretados con precaución debido a que utilizan elementos como el Rb, el cual se caracteriza por ser un elemento móvil y, por lo tanto, las rocas que presenten índices de alteración o metamorfismo pueden ser interpretadas erróneamente en este tipo de diagramas.

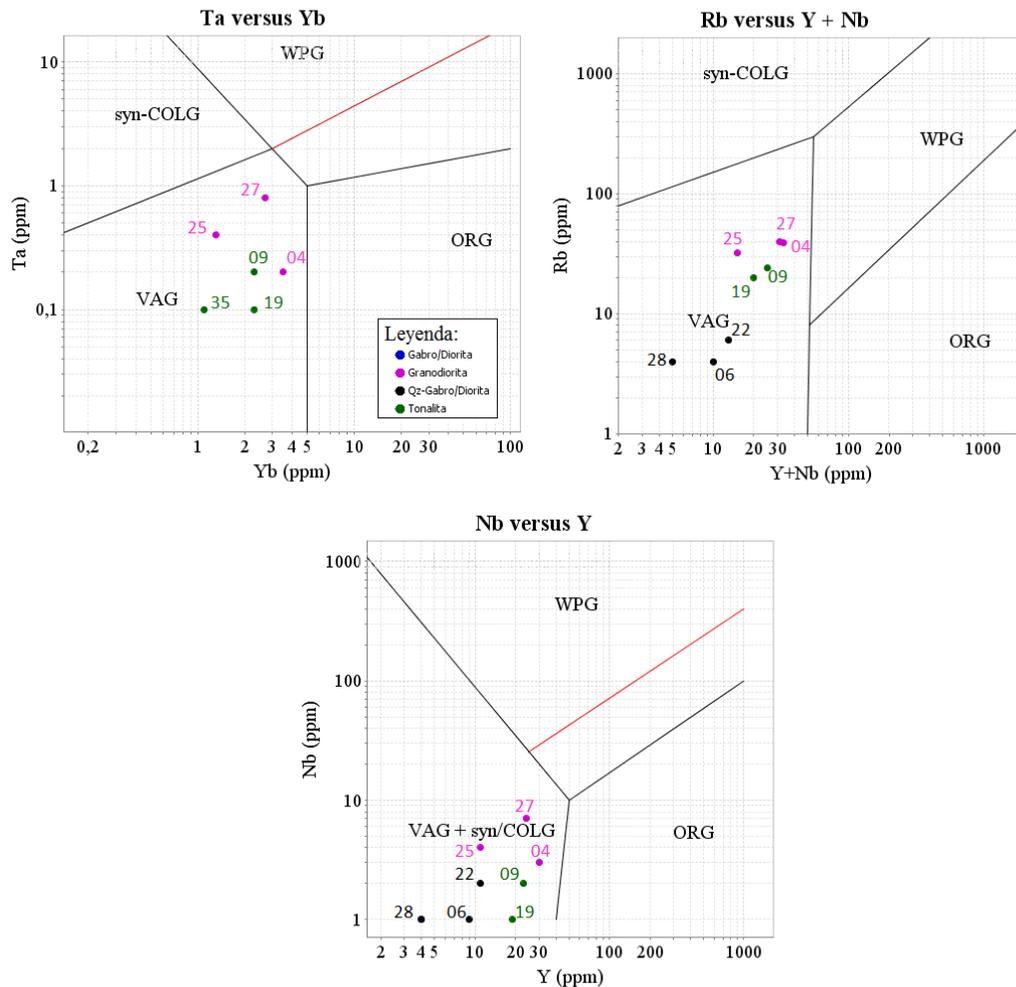


Figura 4-20: diagramas de Discriminación tectónica para las rocas intrusivas del presente estudio. Ta versus Yb, Rb versus Yb+Nb y Nb versus Y. nomenclatura: Syn/COLG: granitos sincolisionales. VAG+Syn/COLG: granitos sincolisionales y de arco volcánico. VAG: granitos de arco volcánico. WPG: granitos de intraplaca. ORG: granitos de ridge oceánico (Pearce et al., 1984).

La Figura 4-21 muestra los diagramas de clasificación utilizados para las muestras de Basalto del presente estudio. En el diagrama para basaltos Ti versus Zr de PEARCE Y CANN (1973) ninguna muestra está asociada al campo MORB (Mid Ocean Ridge Basalt) y solo una de las muestras presenta condiciones claras de pertenecer a un campo, siendo esta la muestra de Basalto AA1439 que cae en el campo de basaltos calcoalcalinos. Las demás muestras en este diagrama caen ambiguamente en el campo de tholeiítas de arco de isla. El diagrama de MESCHÉDE (1986) deja en evidencia que dos de las muestras de basalto (AA1405 y AA1415) presentan afinidad con N-MORB (Normal-Mid Ocean Ridge Basalt) mientras que la restante (AA1426) cae en el campo destinado a basaltos de arco de isla y/o basaltos de intraplaca.

El diagrama de discriminación Th-Co propuesto por HASTIE ET AL (2007) se construyó bajo la base de clasificar rocas de arco volcánico alteradas. Los límites de los campos de clasificación se confeccionaron utilizando los datos composicionales de lavas de arco de isla. La utilización de los elementos de Th y Co se basa en una aproximación de los óxidos de  $K_2O$  y  $SiO_2$  respectivamente. Así, el Th es usado para subdividir las rocas de arco volcánico en las series: tholeiítica, calcoalcalina, calcoalcalina con alto K y shoshonítica. La reducción gradual Co (elemento compatible) que sufre el fundido durante la cristalización de rocas volcánicas de arcos de isla refleja el fraccionamiento de basaltos hasta riolitas como se muestra en la división que muestra el eje x del diagrama. Para todas las muestras del estudio, se observa que estas se grafican en el campo asociado a rocas calcoalcalinas con una baja diferenciación característica del grupo de los basaltos.

La clasificación tectónica de rocas ígneas máficas propuesta por CABANIS Y LECOLLE (1989) deja en evidencia la afinidad que tienen los basaltos AA1405 y AA1415 con el ambiente de arco transicional, mientras que el basalto AA1426 se encuentra bien posicionado en el campo definido para arcos calcoalcalinos.

El diagrama de Ti versus V de SHERVAAIS (1982) es utilizado para distinguir basaltos/tholeiítas de islas oceánicas, MORB, basaltos/tholeiítas de arco de islas y sus análogos con bajo contenido de Ti. El V es un elemento que presenta coeficientes de partición muy variables según la fase mineral correspondiente y también en función de la actividad de oxígeno predominante en el fundido (pudiendo variar incluso en órdenes de magnitud según este parámetro para fases como piroxeno o magnetita). El V en los magmas puede existir como fase reducida ( $V^{+4}$ ) u oxidado ( $V^{+4}$ ,  $V^{+5}$ ). En contraste, el Ti sólo existe como  $Ti^{+4}$  haciendo que las variaciones de las concentraciones de V respecto a este elemento, sean una medida de la actividad del oxígeno de un magma y de los procesos de cristalización fraccionada. Según este diagrama, todas las muestras de basaltos del presente estudio presentan una afinidad asociada a basaltos de arco de isla.

Finalmente, se presenta el diagrama de clasificación de basaltos basado en los elementos Y, La y Nb de PEARCE Y CANN (1973). Dos de las muestras en cuestión caen en el campo de tholeiítas de arco de isla (AA1405 y AA1439), una en el campo de basaltos calcoalcalinos (AA1426) y una fuera de los campos definidos por los autores. Es necesario recalcar que este diagrama puede inducir a errores por la alta movilidad asociada al elemento Sr cuando existen procesos de alteración o metamorfismo que afectan las rocas en estudio.

La Tabla 4-8 muestra un resumen comparativo de las muestras de basalto del presente estudio según las clasificaciones de los diagramas explicados anteriormente.

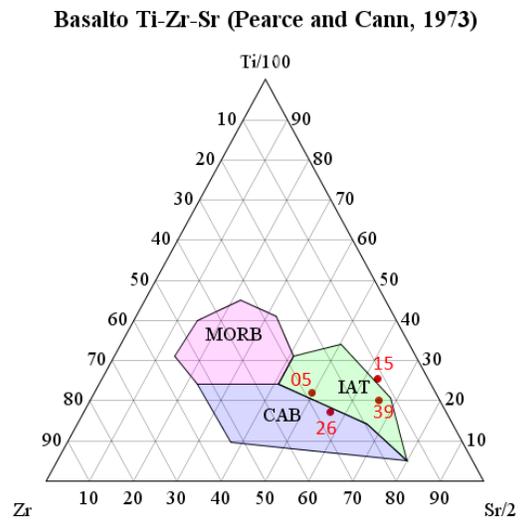
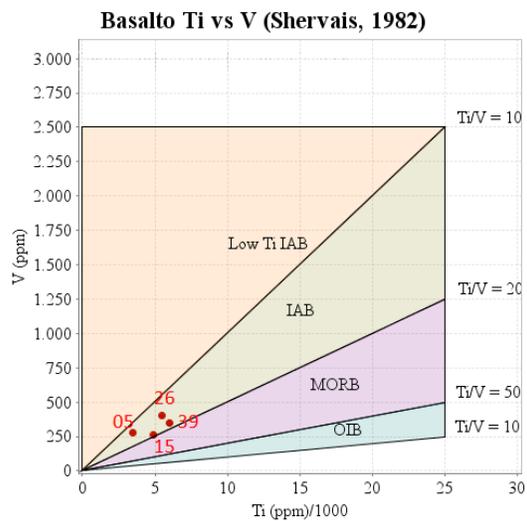
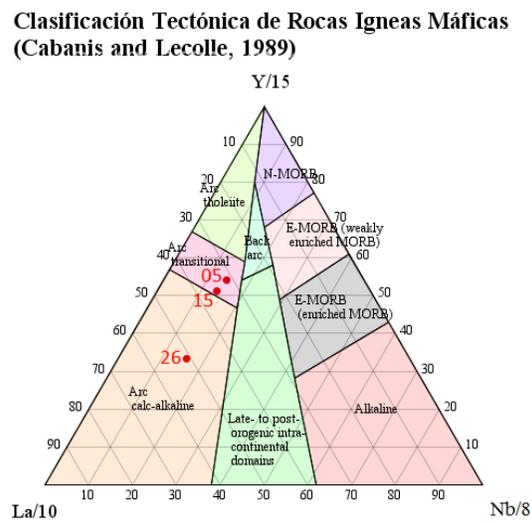
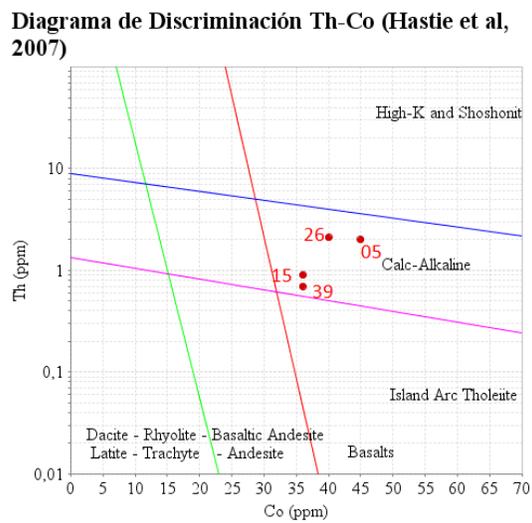
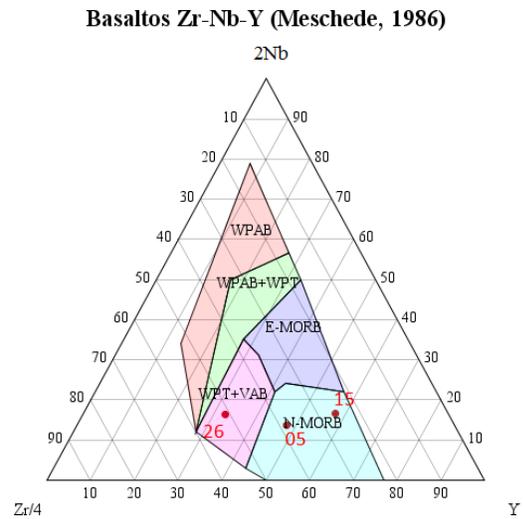
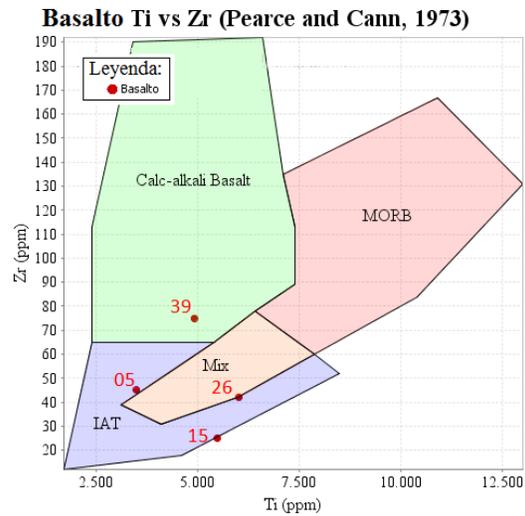


Figura 4-21: Diagramas de discriminación tectónica para Basaltos del presente estudio. Ti vs Zr, Zr-Nb-Y, Th-Co, Y-La-Nb y V versus Ti. Para más información ver texto.

Tabla 4-8: Tabla resumen basada en la clasificación tectónica para las muestras de basalto de la Figura 4-21. Además se agrega la muestra de Riolita (AA1421).

<b>Muestra/Diagrama de Clasificación</b>	<b>Ti versus Zr (Pearce y Cann, 1973)</b>	<b>Zr-Nb-Y (Meschede, 1986)</b>	<b>Th-Co (Hastie <i>et al.</i>, 2007)</b>	<b>Y-La-Nb (Cabanis y Lecolle, 1989)</b>	<b>V versus Ti (Shervais, 1982)</b>	<b>Ti-Zr-Sr (Pearce y Cann, 1973)</b>
<b>AA1405</b>	IAT/MIX	N-MORB	Basalto Calcoalcalino	Arco transicional	IAB	IAT
<b>AA1415</b>	-	N-MORB	Basalto Calcoalcalino	Arco transicional	IAB	
<b>AA1426</b>	IAT/MIX	WPT+VAB	Basalto Calcoalcalino	Arco calcoalcalino	IAB	CAB
<b>AA1439</b>	Basalto Calcoalcalino		Basalto Calcoalcalino		IAB	IAT
<b>AA1421</b>			Riolita Calcoalcalino alto K	Arco calcoalcalino		

#### *4.2.4.2. Aracnograma General de Tierras Raras normalizado a Condritos, Anomalía de Eu y razones elementales para todas las muestras del presente estudio.*

Los elementos Tierras Raras o REE forman iones trivalentes con tamaños semejantes y por lo tanto su comportamiento es similar. Sus diferencias radican en sutiles variaciones del radio iónico el cual disminuye a medida que el número atómico de cada elemento para este grupo aumenta. Lo anterior provoca un fraccionamiento de estos elementos según las condiciones geológicas en las que se enmarquen y por lo tanto el reconocimiento de fuentes y/o procesos dentro de la evolución magmática es posible mediante el uso de diagramas que consideren estos elementos (ROLLINSON, 1993).

Los valores de tierras raras pueden normalizarse respecto a valores de referencia de meteoritos condriticos, que representan muestras no fraccionadas del sistema solar y por tanto son la mejor estimación de la composición original de la Tierra. Los valores normalizados carecen de la gran variación entre los elementos que tienen números atómicos pares de aquellos que poseen números impares y permiten reconocer cualquier fraccionamiento de tierras raras con respecto a su agente normalizador.

La Tabla 4-9 presenta los datos normalizados a condrito siguiendo los valores propuestos por SUN Y MCDONOUGH (1989) a partir de los cuales se construyeron los aracnogramas de tierras raras para las rocas intrusivas (Figura 4-22) y para las muestras de diques (Figura 4-23).

Tabla 4-9: Datos geoquímicos de elementos mayores (%) y tierras raras (REE) normalizadas a condrito según Sun y McDonough (1989, ppm). Abreviaciones: G/D: Gabro/Diorita. Qz-G/D: Cuarzo-Gabro/Diorita. Ton: Tonalita. Grd: Granodiorita. Bas: Basalto. Rio: Riolita.

Sample	02	18	30	31	37	06	22	28	09	19	35	04	24	25	27	05	15	26	39	21
Tipo	G/D	G/D	G/D	G/D	G/D	Qz-G/D	Qz-G/D	Qz-G/D	Ton	Ton	Ton	Grd	Grd	Grd	Grd	Bas	Bas	Bas	Bas	Rio
SiO2	48,22	45,50	44,47	46,48	44,47	50,80	54,63	51,25	62,97	61,64	72,49	72,91	76,00	82,26	77,12	50,93	51,09	50,91	48,75	76,74
TiO2	0,61	0,40	0,80	0,47	0,05	0,57	0,44	0,18	0,66	0,38	0,46	0,43	0,29	0,28	0,18	0,58	0,92	0,82	1,00	0,12
Al2O3	20,07	28,18	16,84	17,54	22,43	16,80	13,48	17,14	15,99	17,06	12,59	13,02	12,47	8,93	12,15	14,88	15,97	15,26	17,99	12,61
Fetot	11,29	6,06	14,85	13,08	6,72	11,35	10,50	9,68	7,03	6,15	5,17	4,21	2,83	2,57	1,85	14,59	12,96	10,06	10,78	1,78
MnO	0,21	0,07	0,20	0,21	0,10	0,19	0,18	0,17	0,12	0,09	0,07	0,07	0,05	0,02	0,03	0,51	0,24	0,14	0,16	0,02
MgO	5,42	2,63	7,60	7,71	11,41	8,32	7,93	9,30	2,71	3,50	1,20	0,82	0,50	0,48	0,43	7,69	5,55	9,19	7,50	0,25
CaO	10,96	15,79	14,45	13,50	14,32	9,85	10,81	11,34	6,20	7,93	5,03	3,13	2,71	0,87	0,79	7,44	10,57	10,56	10,03	1,14
Na2O	2,16	1,24	0,73	0,92	0,42	1,89	1,64	0,75	3,23	2,60	2,59	3,76	4,21	3,33	4,79	2,64	2,13	2,24	3,48	3,62
K2O	1,00	0,09	0,03	0,03	0,05	0,15	0,32	0,13	0,96	0,61	0,29	1,56	0,89	1,19	2,57	0,60	0,40	0,60	0,16	3,68
P2O5	0,06	0,04	0,03	0,06	0,03	0,08	0,06	0,05	0,13	0,04	0,11	0,09	0,04	0,07	0,07	0,14	0,16	0,22	0,13	0,04
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
REE (ppm)																				
La	5,49	3,80	1,69	5,91	4,64	13,50	16,46	11,81	37,13	19,41	18,99	55,70	24,89	91,56	90,72	22,78	27,00	51,48	20,68	83,12
Ce	4,58	2,78	1,31	4,08	1,96	11,44	13,89	9,48	34,15	17,16	15,20	47,71	22,39	68,63	69,93	19,44	22,71	44,44	18,79	63,07
Pr	4,42	2,63	1,58	3,79	0,63	10,53	11,58	8,11	31,37	15,89	12,53	39,58	20,53	50,00	53,58	16,74	20,00	38,32	18,32	45,68
Nd	4,71	2,36	1,50	3,00	0,64	10,28	10,49	6,64	30,19	16,27	10,92	34,26	19,49	37,26	41,33	16,27	19,06	34,48	18,20	32,55
Sm	5,23	2,61	1,96	3,27	0,33	8,50	9,15	4,58	23,53	15,69	7,84	25,49	17,65	21,57	28,10	13,07	15,03	22,88	16,34	17,65
Eu	7,76	5,17	3,28	4,83	1,21	11,21	7,41	3,97	15,52	8,62	8,79	12,41	12,24	13,10	8,79	10,00	15,00	18,45	13,97	7,59
Gd	4,87	1,95	2,43	3,41	0,49	8,27	7,79	3,41	18,98	14,11	6,81	20,92	17,52	12,17	19,46	11,19	12,65	15,09	13,14	12,17
Tb	5,35	1,34	2,67	2,67	1,34	8,02	8,02	2,67	16,04	13,37	5,35	18,72	18,72	10,70	18,72	10,70	10,70	10,70	10,70	10,70
Dy	4,72	1,57	3,15	3,54	0,39	7,87	8,27	2,76	15,35	13,39	5,51	18,50	18,11	9,45	16,14	9,84	10,24	9,84	9,45	10,63
Ho	5,30	0,88	3,53	3,53	0,88	7,07	7,07	3,53	14,13	12,37	5,30	17,67	17,67	8,83	14,13	10,60	10,60	8,83	8,83	10,60
Er	4,83	1,21	3,02	3,63	0,30	7,85	7,85	3,02	15,71	13,90	5,44	19,34	19,94	8,46	15,71	10,27	10,27	8,46	9,06	11,48
Yb	4,71	1,18	2,94	3,53	0,29	7,06	7,65	3,53	13,53	13,53	6,47	20,59	21,18	7,65	15,88	9,41	9,41	7,06	8,24	12,35
Lu	4,72	0,79	3,15	3,94	0,79	6,69	7,87	3,54	13,78	13,39	5,91	20,08	21,65	7,87	16,14	10,24	9,45	7,09	8,27	12,20

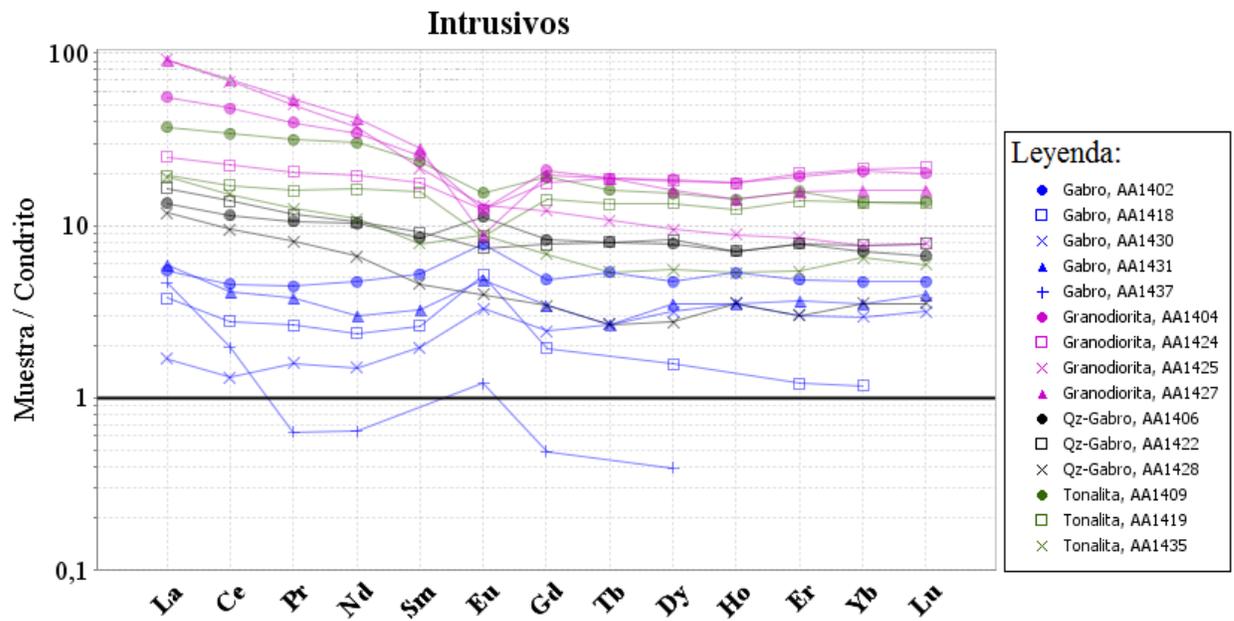


Figura 4-22: Diagrama de distribución de REE normalizados a condrito (Sun & McDonough, 1989) para las muestras de intrusivos faneríticos del presente estudio.

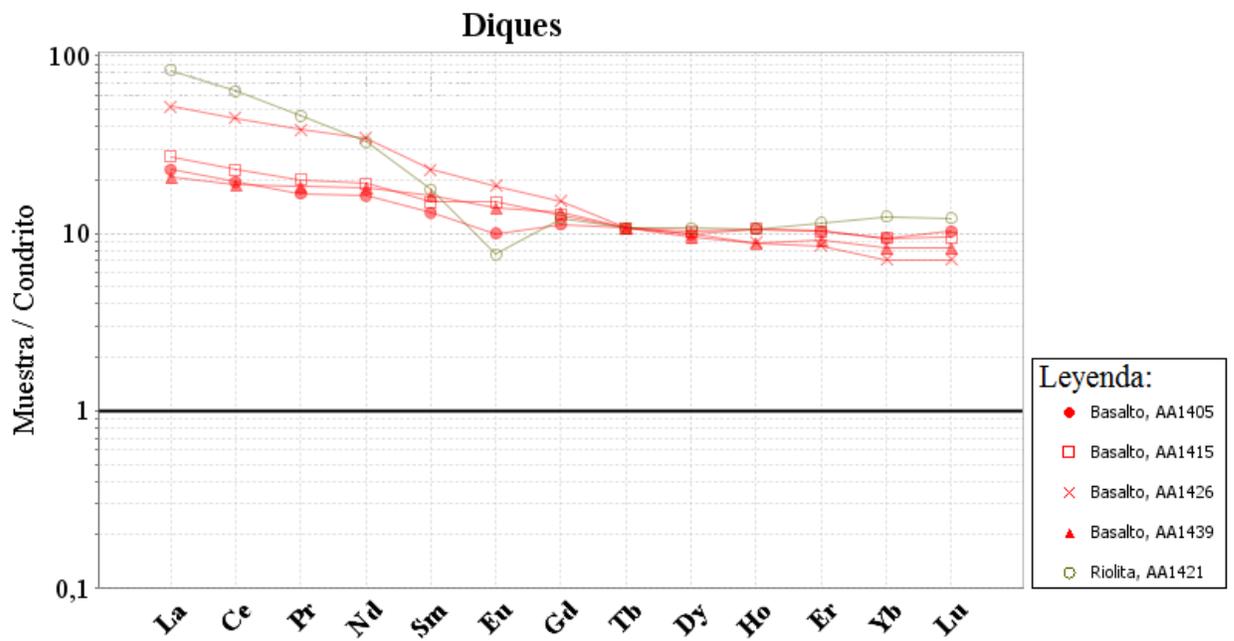


Figura 4-23: Diagrama de distribución de REE normalizadas a condrito (Sun & McDonough, 1989) para las muestras de dique del presente estudio.

Adicionalmente, la Tabla 4-10 presenta los valores de anomalía de Europio (Eu) y razones relevantes de tierras raras para cada una de las muestras del presente estudio. La anomalía de Eu se relaciona principalmente con el fraccionamiento y acumulación de plagioclasa en el magma o la retención de esta misma en la fuente. La razón  $(La/Yb)_N$  se usa para ver el fraccionamiento entre las tierras raras livianas (LREE), con respecto a las tierras raras pesadas (HREE). La razón  $(La/Sm)_N$  se usa para medir la pendiente entre las LREE. Las razones  $(Sm/Yb)_N$  y  $(Dy/Yb)_N$  se usan para medir la pendiente entre las HREE. Todos estos rasgos se utilizan para relacionar los patrones de REE de las rocas con la presencia de ciertos minerales (con patrones conocidos), en el magma o en la fuente mantélica (ROLLINSON, 1993).

En la Tabla 4-10, La anomalía de Eu fue calculada mediante la utilización de la fórmula expuesta en la ecuación 1.

$$Anomalía\ de\ Eu = \frac{Eu_N}{Eu_N^*} = \frac{Eu_N}{\sqrt{Sm*Gd}} \text{Ecuación 1.}$$

Tabla 4-10: Muestras agrupadas por tipo litológico según clasificación normativa CIPW. Contenido de sílice (%), anomalía de Eu ( $Eu_N^* = (Sm*Gd)^{1/2}$ ), razones de tierras raras:  $(La/Yb)_N$ ,  $(La/Sm)_N$ ,  $(Sm/Yb)_N$  y  $(Dy/Yb)_N$  son mostrados en la tabla. La muestra de gabro/diorita AA1437 contiene valores de La, Sm y Dy por debajo de sus respectivos límites de detección por lo que sus datos no fueron calculados.

Muestra	Tipo	SiO <sub>2</sub> (%)	Eu <sub>N</sub> /Eu <sub>N</sub> *	Anomalía de Eu	(La/Yb) <sub>N</sub> Condrito	(La/Sm) <sub>N</sub> Condrito	(Sm/Yb) <sub>N</sub> Condrito	(Dy/Yb) <sub>N</sub> Condrito
AA1402	diorita/gabro	48,22	1,54	+	1,17	1,05	1,11	1,00
AA1418	diorita/gabro	45,50	2,29	+	3,22	1,46	2,21	1,33
AA1430	diorita/gabro	44,47	1,50	+	0,57	0,86	0,67	1,07
AA1431	diorita/gabro	46,48	1,45	+	1,67	1,81	0,93	1,00
AA1437	diorita/gabro	44,47	3,03	+				
AA1406	qz-diorita/gabro	50,80	1,34	+	1,91	1,59	1,20	1,11
AA1422	qz-diorita/gabro	54,63	0,88	-	2,15	1,80	1,20	1,08
AA1428	qz-diorita/gabro	51,25	1,00	Nula	3,35	2,58	1,30	0,78
AA1409	tonalita	62,97	0,73	-	2,74	1,58	1,74	1,13
AA1419	tonalita	61,64	0,58	-	1,43	1,24	1,16	0,99
AA1435	tonalita	72,49	1,20	+	2,94	2,42	1,21	0,85
AA1404	granodiorita	72,91	0,54	-	2,71	2,19	1,24	0,90
AA1424	granodiorita	76,00	0,70	-	1,18	1,41	0,83	0,86
AA1425	granodiorita	82,26	0,81	-	11,97	4,24	2,82	1,24
AA1427	granodiorita	77,12	0,38	-	5,71	3,23	1,77	1,02
AA1405	basalto	50,93	0,83	-	2,42	1,74	1,39	1,05
AA1415	basalto	51,09	1,09	Nula	2,87	1,80	1,60	1,09
AA1426	basalto	50,91	0,99	Nula	7,29	2,25	3,24	1,39
AA1439	basalto	48,75	0,95	Nula	2,51	1,27	1,98	1,15
AA1421	riolita	76,74	0,52	-	6,73	4,71	1,43	0,86

Los resultados obtenidos a partir de los diagramas de distribución de REE normalizados en base a condritos de las Figuras 4-22 y 4-23 muestran variados patrones. En la Figura 4-22 se

aprecian al menos 4 patrones distintos, mientras que en la Figura 4-23 al menos dos según el carácter litológico de las muestras en cuestión:

De manera general, el grupo de gabros/dioritas presenta geometrías planares e irregulares con anomalías positivas de Eu como se puede ver en la Figura 4-22 y Figura 4-24. Los valores para esta anomalía en este set de rocas están entre [1,5-3,0] (Tabla 4-10). Las rocas perteneciente a este grupo poseen pendientes variables para HREE, con valores de razón  $(Sm/Yb)_N$  entre [0,7-2,2] y  $(Dy/Yb)_N$  entre [1,0-1,3] como sucede así también con las LREE, las cuales presentan valores para la razón  $(La/Sm)_N$  de entre [0,9-1,8]. Para el grupo completo de gabros/dioritas se observan enriquecimientos leves y pronunciados tanto en LREE como en HREE con valores de la razón  $(La/Yb)_N$  entre [0,6-3,2].

El grupo de cuarzo-gabros/dioritas presenta geometrías con anomalías de Eu positivas, negativas y nulas tal y como se muestra en la Figura 4-24, con valores para esta anomalía que están entre [0,8-1,3]. Para este set de rocas, las pendientes de las LREE son mayores que las de HREE con valores de  $(La/Sm)_N$  entre [1,6-2,6] que contrastan con los valores de  $(Sm/Yb)_N$  que están entre [1,2-1,3] y los valores de  $(Dy/Yb)_N$  que tienen valores en el rango [0,8-1,1]. Además, sus diferencias entre LREE y HREE, favorecen el enriquecimiento de las primeras, con razones de  $(La/Yb)_N$  en el rango [1,9-3,4].

El grupo de rocas pertenecientes a Tonalitas tiene geometrías con anomalías negativas y positivas de Eu (Figura 4-24) con valores que están en el rango [0,6-1,2] (Tabla 4-10). Presenta levemente mayores pendientes para las LREE con respecto a las HREE con valores de  $(La/Sm)_N$  entre [1,2-2,4] que contrastan con los valores de las razones  $(Sm/Yb)_N$  y  $(Dy/Yb)_N$  que están en los rangos [1,2-1,7] y [0,9-1,1] respectivamente. Además, sus diferencias entre LREE y HREE, favorecen un ligero enriquecimiento en LREE con valores de  $(La/Yb)_N$  entre [1,4-2,9].

El grupo de granodioritas tiene geometrías con anomalías negativas de Eu (Figura 4-24) con valores para esta anomalía que están entre [0,4-0,8] (Tabla 4-10). Presenta levemente mayores pendientes para las LREE con respecto a las HREE con valores de  $(La/Sm)_N$  entre [1,4-4,2] que contrastan con los valores de las razones  $(Sm/Yb)_N$  y  $(Dy/Yb)_N$  que están entre los rangos [0,8-2,8] y [0,9-1,2] respectivamente. Además, sus diferencias entre LREE y HREE, favorecen el enriquecimiento en LREE con valores de  $(La/Yb)_N$  entre [1,2-12,0].

En cuanto a los diques, es posible apreciar que el comportamiento de los basaltos presenta geometrías con anomalías nulas y negativas de Eu (Figura 4-24) con valores para esta anomalía que están en el rango [0,8-1,1] (Tabla 4-10). Presentan todas un marcado enriquecimiento en LREE con respecto a HREE con valores de la razón  $(La/Yb)_N=[2,4-7,3]$  y en general, presentan pendientes similares tanto para las LREE como para las HREE con valores de la razón  $(La/Sm)_N=[1,3-2,3]$  similares a los valores de las razones  $(Sm/Yb)_N=[1,4-3,2]$  y  $(Dy/Yb)_N=[1,1-1,4]$ .

Finalmente la muestra de dique de composición riolítica presenta una marcada anomalía negativa de Eu (Figura 4-24) con un valor asociado de 0,52 (Tabla 4-10). Presenta un marcado enriquecimiento en LREE con respecto a HREE con un valor de la razón  $(La/Yb)_N=6,7$  y una mayor pendiente asociada a LREE que contrasta el valor de  $(La/Sm)_N=4,7$  con los valores de  $(Sm/Yb)_N=1,4$  y  $(Dy/Yb)_N=0,9$  los cuales refieren a la pendiente de las HREE.

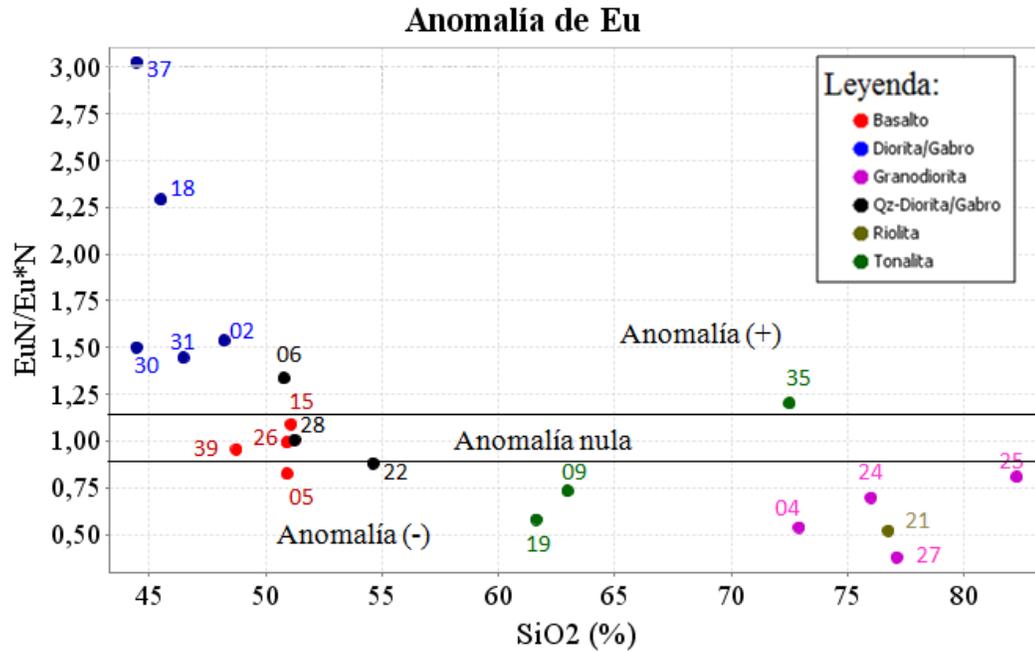


Figura 4-24: Diagrama de anomalía de  $Eu_N$  ( $Eu_N/Eu_N^*$ ), versus el contenido de  $SiO_2$  (%).  $Eu_N^*=(Sm_N*Gd_N)^{1/2}$ .

De manera gráfica se presentan las razones  $La/Yb$ ,  $La/Sm$ ,  $Sm/Yb$  y  $Dy/Yb$  (normalizadas en base a condrito según los valores propuestos por SUN Y MCDONOUGH, 1989) versus el contenido de sílice (Figura 4-25). Es posible observar ahí que las muestras agrupadas según su carácter litológico, presentan, de manera general, una buena correlación en cuanto al fraccionamiento de LREE y HREE que se puede estimar mediante la razón  $(La/Yb)_N$  y en cuanto al fraccionamiento de LREE (razón  $(La/Sm)_N$ ). Lo anterior se cumple al menos para los grupos de gabro/dioritas, cuarzo-gabro/diorita, tonalitas y basaltos, siendo el grupo de granodioritas el que presenta una mayor dispersión de las razones en cuestión. También, es posible apreciar una mayor dispersión de los datos para cada grupo litológico en cuanto a la pendiente de las tierras raras pesadas o HREE refiere, viéndose estos en los diagramas asociados a las razones  $(Sm/Yb)_N$  y  $(Dy/Yb)_N$ .

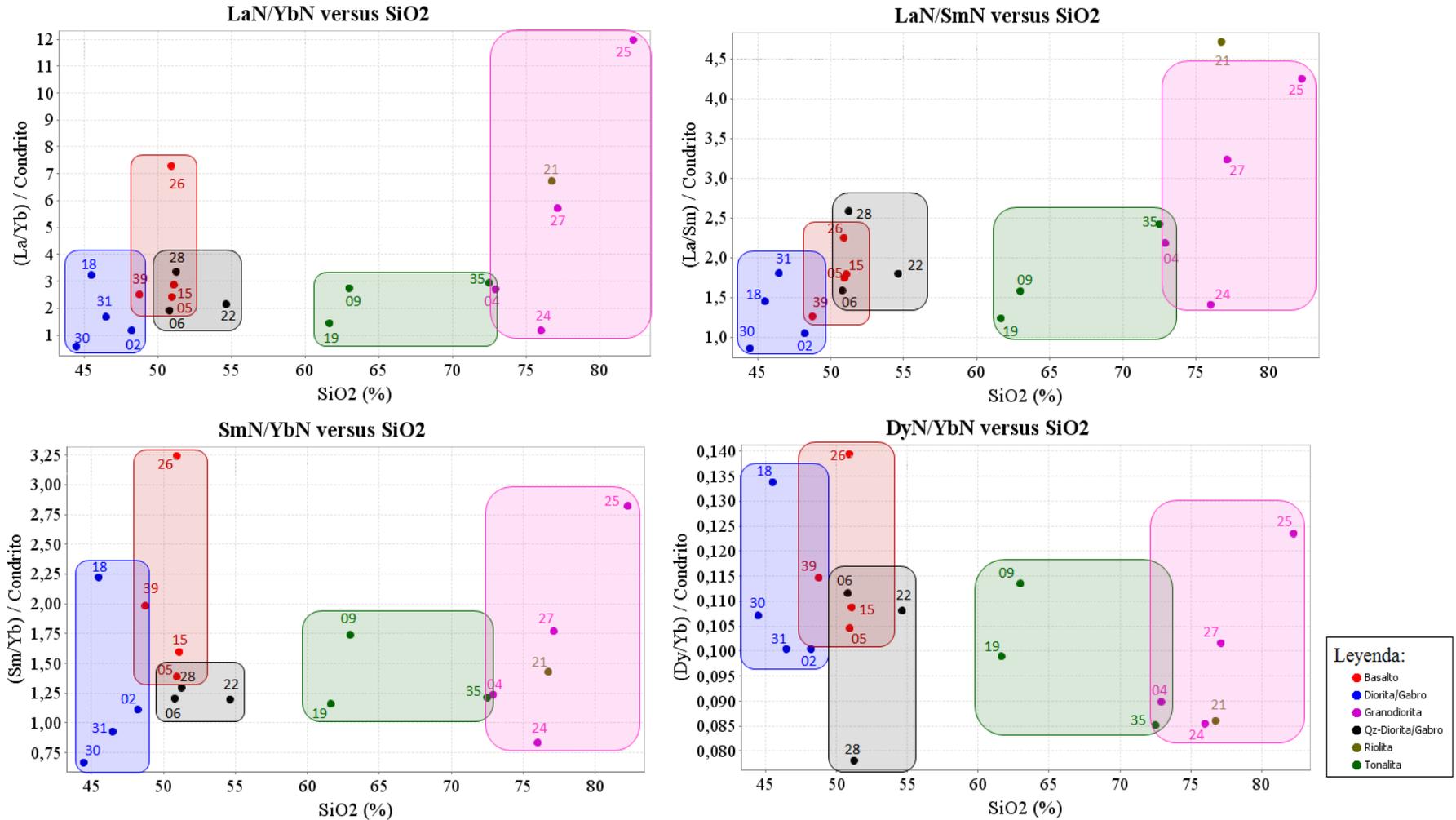


Figura 4-25: Diagramas de razones elementales (normalizadas a condrito según Sun y Mcdonough, 1989) La/Yb, La/Sm, Sm/Yb y Dy/Yb versus contenido de SiO<sub>2</sub> para las muestras del presente estudio. La muestra de gabro correspondiente al código AA1437 fue excluida por contener cantidades de Sm e Yb menores que el límite de detección del instrumento analizador (0,1 ppm).

#### 4.2.5. Aracnograma de REE normalizado a N-MORB y diagramas multielementos

Los diagramas multielementos consideran además de las REE a otros elementos incompatibles (con respecto a la mineralogía tipo del manto). A continuación se presentan diagramas multielementos normalizados con respecto a tres fuentes distintas: manto primordial, meteoritos condriticos, MORB (Mid Ocean Ridge Basalt). Los valores del manto primordial y condritos son representaciones composicionales de la Tierra indiferenciada mientras que los valores asociados a MORB serían el reflejo de la composición de las rocas basálticas más abundantes del planeta (ROLLINSON, 1993). Además, se agrega el diagrama de REE normalizado a N-MORB (Normal Mid Ocean Ridge Basalt) con el fin de compararlo con diagramas análogos de muestras de otros estudios en la sección 6. Discusión del presente escrito.

La Tabla 4-11 presenta los valores de REE normalizados con respecto N-MORB al final de este sub-capítulo.

##### 4.2.5.1. Gabros/Dioritas

La Figura 4-26 presenta el diagrama de REE normalizado a N-MORB (según SUN Y MCDONOUGH, 1989) y los diagramas de multielementos normalizados a condrito (según THOMPSON, 1982), MORB (SEGÚN PEARCE, 1983) y manto primordial (según MCDONOUGH, 1992) para el grupo de rocas correspondiente a gabros/dioritas.

En el diagrama de REE normalizado a N-MORB (Figura 4-26A, Tabla 4-11) se observa un empobrecimiento general de REE con respecto a este último, encontrándose los patrones por debajo del valor igual a 1.

Los patrones de este diagrama muestran además un fraccionamiento entre tierras raras livianas (LREE) con respecto a las pesadas (HREE) con una razón  $(La/Yb)_N$  promedio de 2,7, lo que indica un mayor enriquecimiento en las primeras siendo la muestra AA1430 la única asociada a un enriquecimiento en HREE (con un valor de  $(La/Yb)_N$  igual a 1). Se observa una tendencia generalizada en cuanto a la anomalía positiva de Eu indicando posiblemente el fraccionamiento (cristalización y acumulación de plagioclasas cálcicas en condiciones anhidras) de plagioclasas cálcicas o bien una fuente enriquecida en este elemento. Las pendientes de las LREE están asociadas a una razón promedio  $(La/Sm)_N=2$  obviando la muestra AA1437 (la cual presentó concentraciones de Sm por debajo del límite de detección del instrumento analizador) que contrastan con las trayectorias planas asociadas a las HREE reflejadas en una razón promedio  $(Dy/Yb)_N$  igual a 1,1.

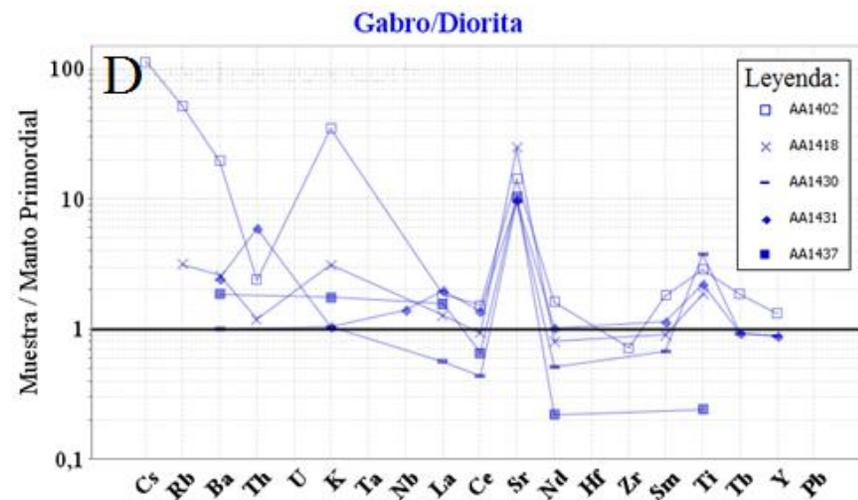
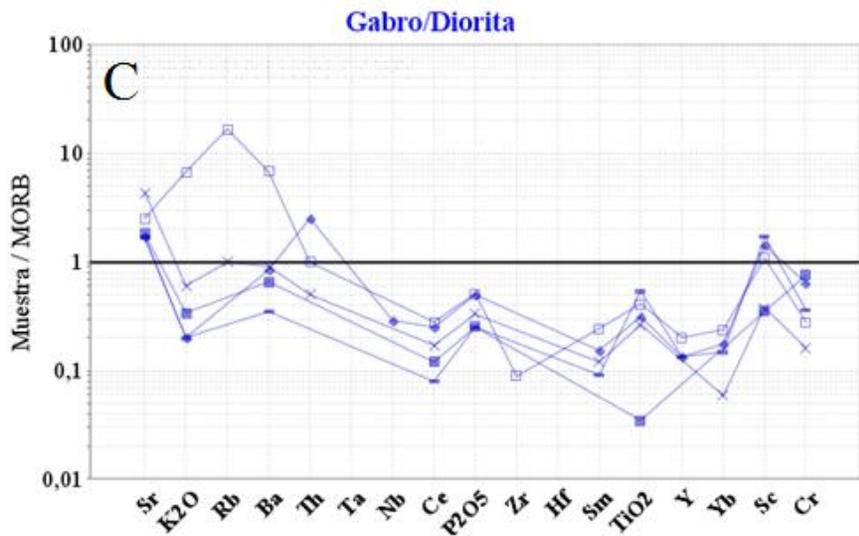
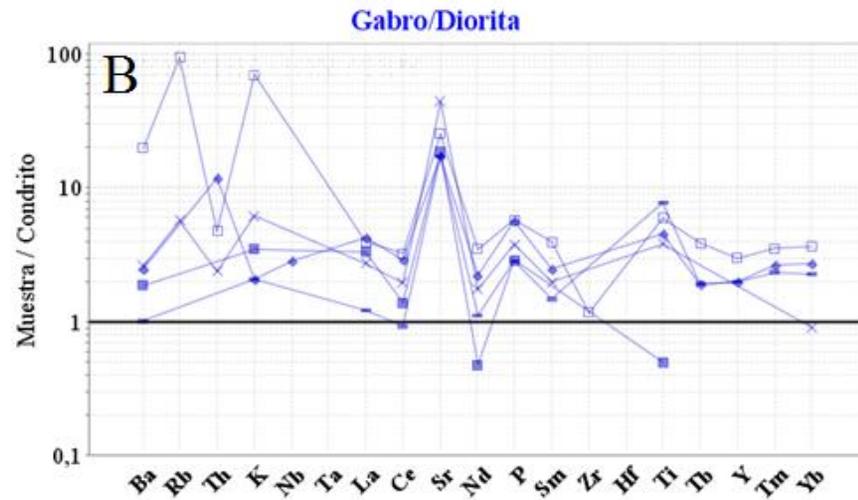
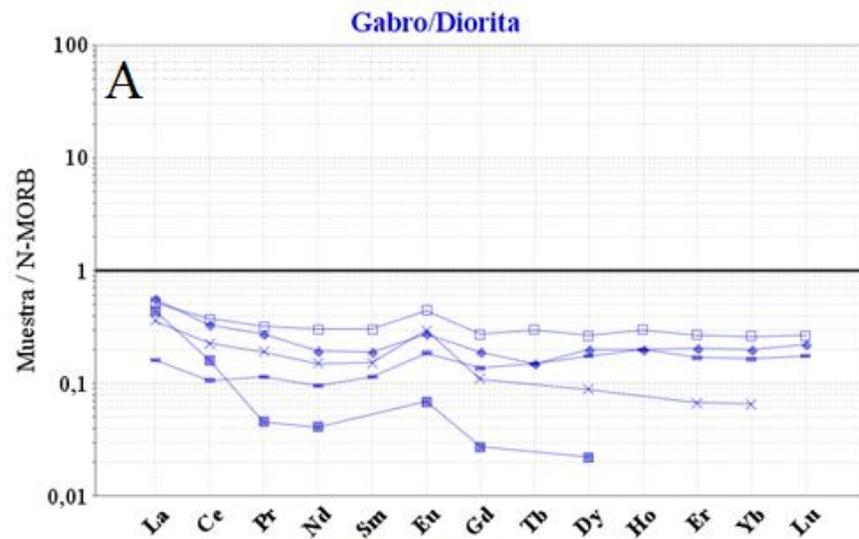


Figura 4-26: Muestras de gabros/dioritas del presente estudio. A. Aracnograma de REE normalizado a N-MORB (Sun y McDonough, 1989). B. Diagrama de multielementos normalizado a condrito (Thompson, 1982). C. Diagrama multielemento normalizado a MORB (Pearce, 1983). D. Diagrama multielemento normalizado a manto primordial (McDonough, 1992)

El diagrama de multielementos normalizado a condrito (Figura 4-26 B) presenta anomalías positivas de Ti, P y Sr asociados posiblemente al fraccionamiento de óxidos de Fe-Ti, apatito y plagioclasas cálcicas respectivamente (sumado al carácter acumulado que presentan las rocas). Además, presenta un comportamiento anómalo de los elementos más móviles (Ba, Rb, Th, K). Este comportamiento se debería a los procesos secundarios sufridos por las rocas (que fueron descritos petrográficamente) y que son la causa del reemplazo de la mineralogía primaria de la roca por minerales o fases secundarias; como por ejemplo los piroxenos, los cuales se encuentran como trazas relictas que actualmente se presentan reemplazadas por hornblenda y/o actinolita (Figura 4-2).

El diagrama de multielementos normalizado a MORB (Figura 4-26 C) presenta claras anomalías de  $P_2O_5$ ,  $TiO_2$  en correspondencia con las anomalías de P y Ti mencionadas recientemente. Además, en general, contiene una anomalía positiva de Sc, elemento el cual se fracciona en la fase piroxeno, la cual es común en este grupo de muestras.

Por último, el diagrama de multielementos normalizado a Manto Primordial (Figura 4-26 D) presenta anomalías positivas de Sr y Ti que respaldan los argumentos mencionados anteriormente. Los elementos más móviles e incompatibles siguen teniendo una gran dispersión debido a la alteración que presentan los gabros.

#### *4.2.5.2.3.2.4.2.2 Cuarzo-Gabros/Dioritas*

La Figura 4-27 presenta el diagrama de REE normalizado a N-MORB (según SUN Y MCDONOUGH, 1989) y los diagramas de multielementos normalizados a condrito (según THOMPSON, 1982), MORB (según PEARCE, 1983) y manto primordial (según MCDONOUGH, 1992) para el grupo de rocas correspondiente a cuarzo-gabros/dioritas.

En el diagrama de REE normalizado a N-MORB (Figura 4-27A, Tabla 4-11) se observa una tendencia a empobrecimiento general de REE con respecto a este último, siendo mayor este factor para las HREE en comparación a las LREE aunque en general estas muestras contienen mayores contenidos de REE que las muestras de gabros/dioritas estudiadas anteriormente.

De manera general, los patrones de este diagrama muestran además un fraccionamiento entre tierras raras livianas (LREE) con respecto a las pesadas (HREE) con una razón  $(La/Yb)_N$  promedio de 4,2, lo que indica un mayor enriquecimiento en las primeras. Se observa una anomalía positiva de Eu para una de las muestras (AA1406) indicando posiblemente el fraccionamiento de plagioclasas cálcicas (cristalización y acumulación temprana en condiciones anhidras) o bien una fuente enriquecida en este elemento. Las pendientes de las LREE están asociadas a una razón promedio La/Sm de 3,2 en contraste con las trayectorias planas asociadas a las HREE (razón promedio  $(Dy/Yb)_N$  igual a 1,0). Lo que es una característica en común que comparten estas rocas con las muestras de gabro/diorita.

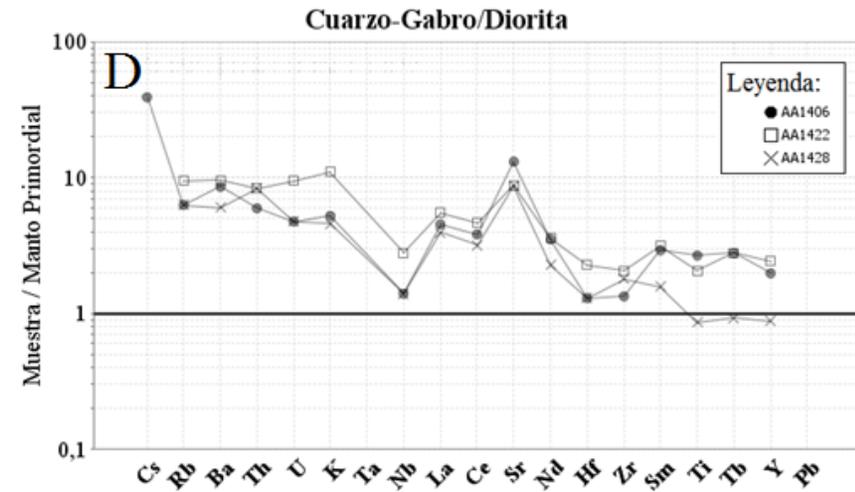
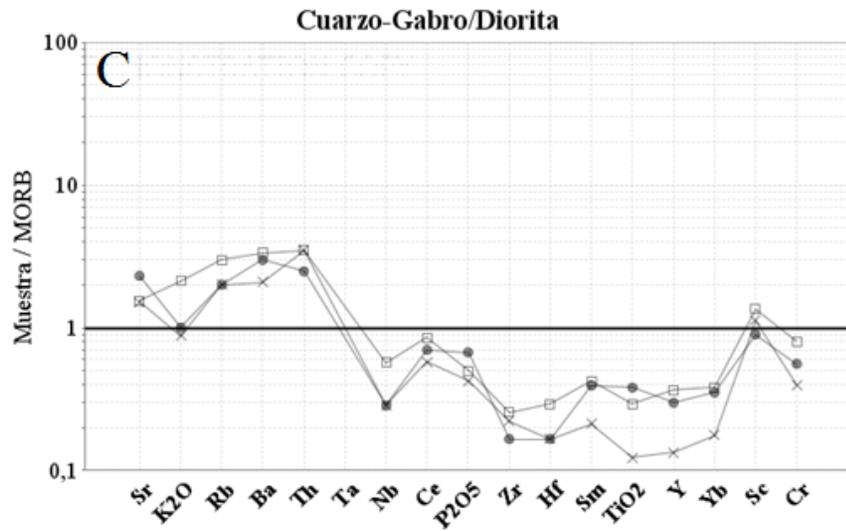
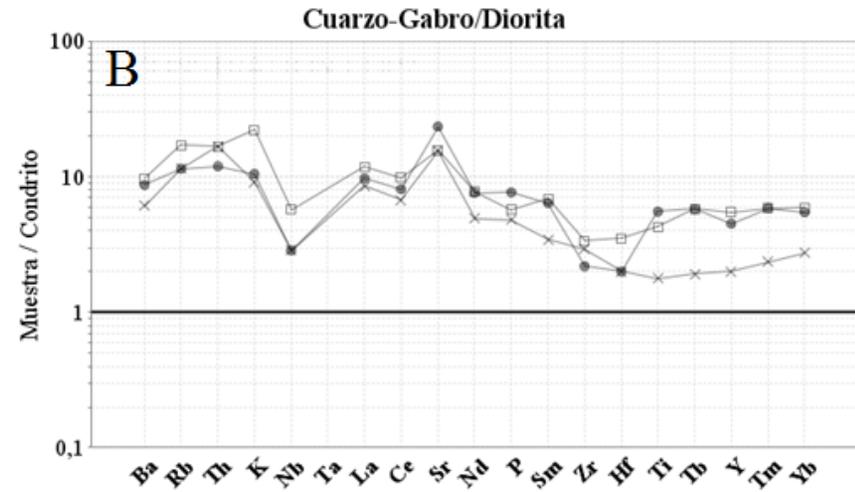
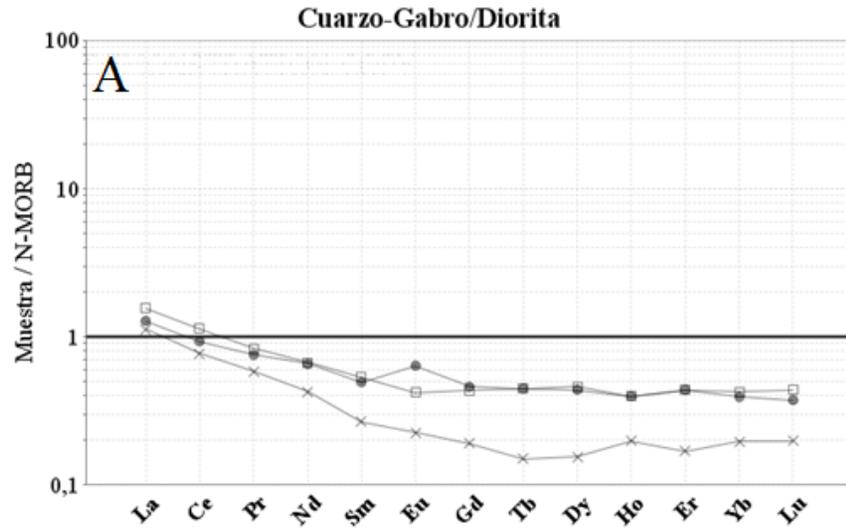


Figura 4-27: A. Muestras de cuarzo-gabros/dioritas del presente estudio. Aracnograma de REE normalizado a N-MORB (Sun y McDonough, 1989). B. Diagrama de multielementos normalizado a condrito (Thompson, 1982). C. Diagrama multielemento normalizado a MORB (Pearce, 1983). D. Diagrama multielemento normalizado a manto primordial (McDonough, 1992)

El diagrama de multielementos normalizado a condrito (Figura 4-27B) presenta un comportamiento dispar entre las muestras, sobre todo para la parte del diagrama que refiere a los elementos menos móviles (a la derecha del diagrama). Los únicos patrones comunes corresponden a una anomalía positiva de Sr (cristalización y acumulación de plagioclasa cálcica) y una anomalía negativa incompleta de Nb-Ta (con falta de información para el elemento Ta). Se observan finalmente anomalías que se presentan para cada una de las muestras de manera particular, negativa de Y para la muestra AA1406 (retención de granate en la fuente, posiblemente también anfíbol), leve anomalía negativa de P para la muestra AA1422 (retención de apatito en la fuente) y una anomalía negativa de Zr y Hf que presenta la muestra AA1406 y que podrían estar asociadas a ambientes de subducción debido a la retención, por parte de la fuente, de fases como circón y rutilo heredados de la placa subductante y que controlan los fluidos/fundidos que se forman en la zona de subducción o bien podrían responder al carácter máfico poco diferenciado del magma.

El diagrama de multielementos normalizado a MORB (Figura 4-27C) presenta un enriquecimiento relativo en los elementos más móviles e incompatibles del diagrama con respecto a aquellos elementos menos móviles y más compatibles, lo cual podría reflejar procesos metasomáticos secundarios, contaminación por componentes corticales o componentes heredadas desde fluidos provenientes de una placa subductada y que contiene improntas geoquímicas heredadas de esta. La anomalía negativa generalizada de Nb para las rocas de este grupo podría significar (en conjunto al enriquecimiento de Ba y LILE que presentan las muestras) un ambiente de subducción; desafortunadamente la lectura de concentración del elemento Ta, esta por debajo del límite de detección de 0,1 ppm (límite del instrumento analizador para tal elemento). La clara anomalía positiva de Sc para las muestras de este responde al fraccionamiento de piroxeno, fase común en estas rocas (ver descripción petrográfica en sección 9.1 Anexo A).

Por último, el diagrama de multielementos normalizado a Manto Primordial (Figura 4-27D) presenta una anomalía positiva generalizada de Sr que responde al fraccionamiento y presencia de plagioclasa cálcica en la roca y una anomalía negativa incompleta de Ta-Nb.

#### *4.2.5.3. Tonalitas.*

La Figura 4-28 presenta el diagrama de REE normalizado a N-MORB (según SUN Y MCDONOUGH, 1989) y los diagramas de multielementos normalizados a condrito (según THOMPSON, 1982), MORB (según PEARCE, 1983) y manto primordial (según MCDONOUGH, 1992) para el grupo de rocas correspondiente a tonalitas.

En el diagrama de REE normalizado a N-MORB (Figura 4-28A, Tabla 4-11) se observa un empobrecimiento general de HREE con respecto a este último, encontrándose todos los patrones asociados a estas REE por debajo del valor unitario.

Los patrones de este diagrama muestran además un fraccionamiento entre tierras raras livianas (LREE) con respecto a las pesadas (HREE) con una razón  $(La/Yb)_N$  promedio de 4,1, lo que indica un leve enriquecimiento en las primeras.

Es importante recalcar previo al análisis de los diagramas aquí presentes que dos de las muestras de tonalita fueron sacadas de una misma isla (AA1409 y AA1419 pertenecen a la isla Thomas), mientras que la tercera muestra pertenece a un lugar espacial diferente (AA1435 se obtuvo de la isla London) tal y como se muestra en la Figura 3-1. Dado lo anterior, se observa un comportamiento dual en cuanto a anomalía de Eu, en donde las muestras de tonalita asociadas a la isla Thomas presentan anomalía negativa indicando retención de plagioclasa en la fuente y la tercera muestra, de la isla London, presenta una leve anomalía positiva indicando el fraccionamiento de plagioclasa cálcica. Las pendientes de las LREE están asociadas a una razón promedio  $(La/Sm)_N$  de 2,8 en contraste con las trayectorias planas asociadas a las HREE (razón promedio  $(Dy/Yb)_N$  igual a 1,0).

El diagrama de multielementos normalizado a condritos (Figura 4-28B) presenta también un comportamiento dual con respecto al origen de las rocas. Para las muestras pertenecientes a la isla Thomas existe una marcada anomalía de Nb-Ta con respecto a Ba lo que indicaría la influencia de un ambiente de subducción asociado a la génesis de estas rocas. Además, estas rocas presentan anomalías negativas de P y Ti indicando retención de fases como ricas en estos elementos en la fuente como lo son por ejemplo el apatito o los óxidos de Fe y Ti. Una característica que no comparten estas rocas para el presente diagrama es la anomalía de Sr, en donde una de las muestras presenta una marcada anomalía positiva de Sr (muestra AA1419) mientras que la otra muestra (AA1409) presenta una leve anomalía positiva del mismo elemento.

El diagrama de multielementos normalizado a MORB (Figura 4-28C) presenta también un comportamiento dual dependiendo de donde fue obtenida la muestra. Para las muestras de la isla Thomas, se confirma la anomalía negativa Nb-Ta con respecto a Ba, mientras que para la muestra de la isla London esta anomalía no queda tan explícita al encontrarse el elemento Nb bajo el límite de detección del instrumento analizador (1 ppm). Además, las muestras de la isla Thomas presentan anomalías positivas de Ce (elemento que es compatible en fases como circonio cuando su estado de oxidación es +4) y anomalías negativas de  $TiO_2$  (retención de óxidos de Fe-Ti en la fuente). Estas características contrastan con la ausencia de anomalías que presenta la muestra obtenida en la isla London (AA1435) para los elementos menos móviles del diagrama. Todas las muestras presentan enriquecimiento en los elementos más móviles del diagrama (Sr, K, Rb, Ba y Th).

Por último, el diagrama de multielementos normalizado a Manto Primordial (Figura 4-28 D) confirma las anomalías negativas de Ti y Nb-Ta para las muestras de la isla Thomas y la anomalía positiva de Sr para todas las muestras, además del enriquecimiento en cuanto a los elementos más móviles para todas las muestras con respecto a aquellos que son menos móviles (a la izquierda del diagrama).

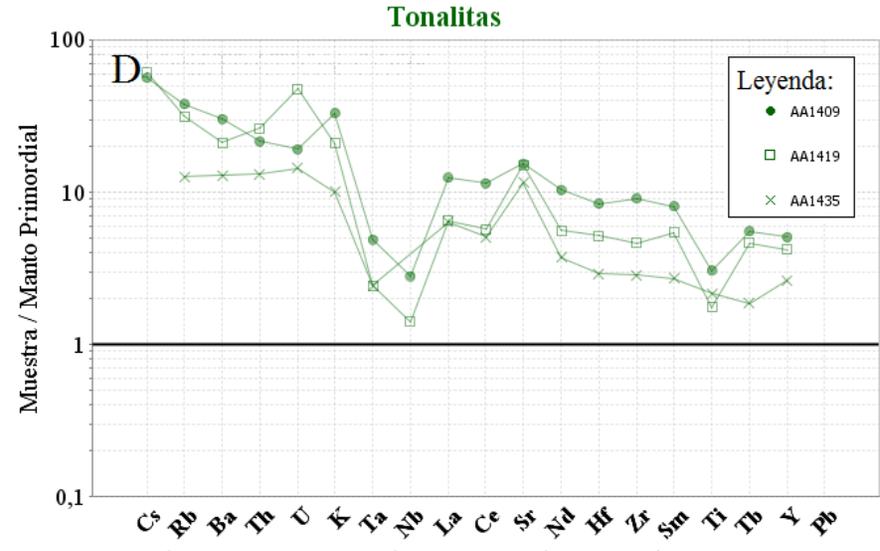
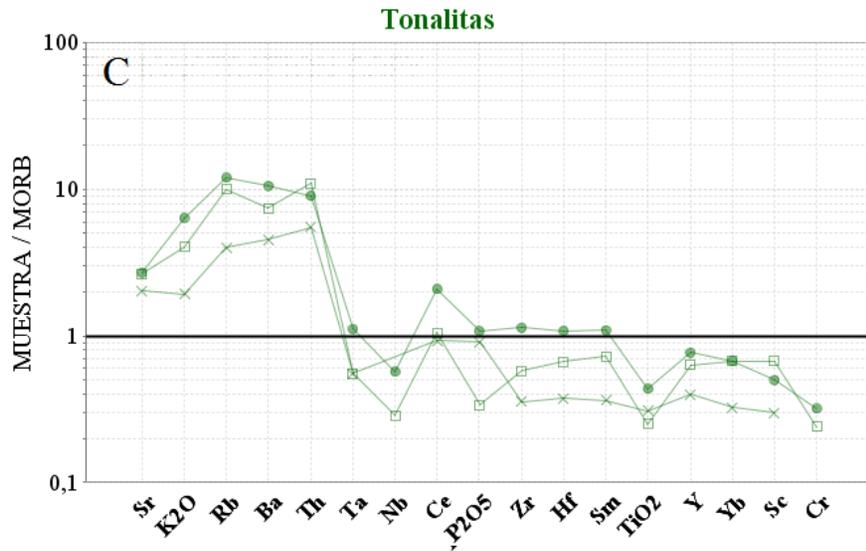
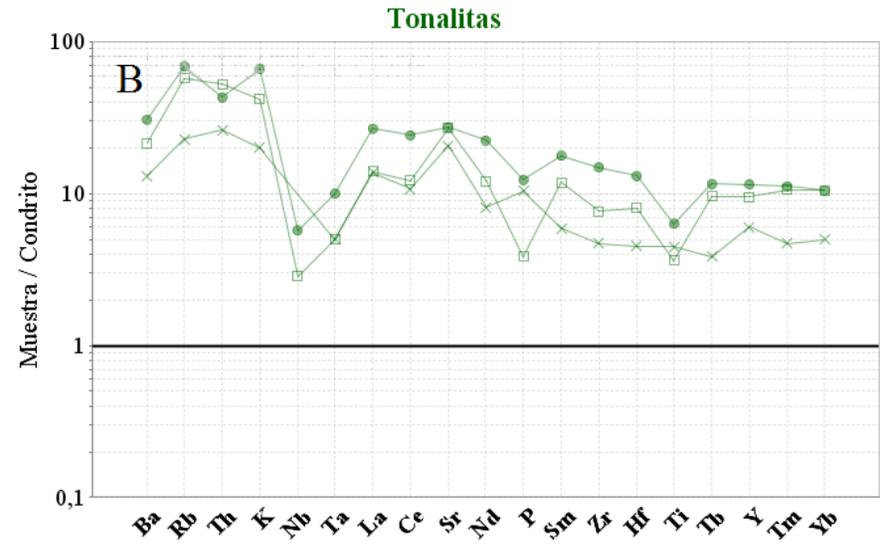
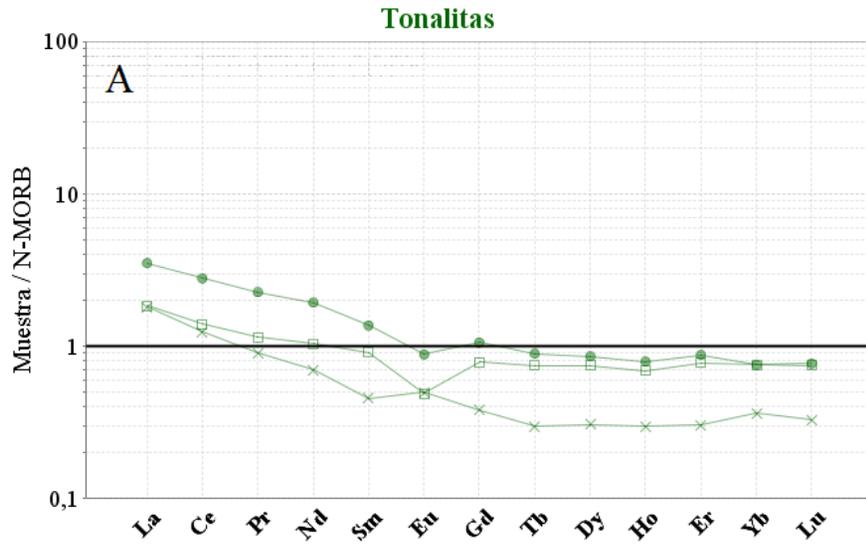


Figura 4-28: Para las muestras de tonalitas del presente estudio. A. Aracnograma de REE normalizado a N-MORB (Sun y McDonough, 1989). B. Diagrama de multielementos normalizado a condrito (Thompson, 1982). C. Diagrama multielemento normalizado a MORB (Pearce, 1983). D. Diagrama multielemento normalizado a manto primordial (McDonough, 1992)

#### 4.2.5.4. Granodioritas

La Figura 4-29 presenta el diagrama de REE normalizado a N-MORB (según SUN Y MCDONOUGH, 1989) y los diagramas de multielementos normalizados a condrito (según THOMPSON, 1982), MORB (según PEARCE, 1983) y manto primordial (según MCDONOUGH, 1992) para el grupo de rocas correspondiente a granodioritas.

En el diagrama de REE normalizado a N-MORB (Figura 4-29A, Tabla 4-11) se observa un empobrecimiento general de HREE con respecto a este último, encontrándose todos los patrones asociados a estas REE por debajo del valor igual a 1. El caso de las LREE es diferente al anterior, encontrándose estas por sobre este valor.

Los patrones de estediagrama muestran además un fraccionamiento entre tierras raras livianas (LREE) con respecto a las pesadas (HREE) con una razón  $(La/Yb)_N$  promedio de 9,1, lo que indica un mayor enriquecimiento en las primera. Las pendientes de las LREE están asociadas a una razón promedio  $(La/Sm)_N$  de 4,52 en contraste con las trayectorias planas asociadas a las HREE que presentan una razón promedio  $(Dy/Yb)_N$  igual a 1,0. Lo que es una característica común para las rocas del presente estudio como ya se ha descrito anteriormente. Es posible apreciar además, un anomalía negativa de Eu por retención de plagioclasa cálcica en la fuente para todas las muestras a excepción de la muestra AA1425.

El diagrama de multielementos normalizado a condrito (Figura 4-29B) presenta principalmente anomalías negativas de Ti, P y Sr que responderían a la retención de óxidos de Fe-Ti, apatito y plagioclasas cálcicas en la fuente y anomalías negativas de Nb-Ta con respecto a valores enriquecidos de Ba, Rb, Th y K que reflejan una influencia de ambiente de subducción asociado a la génesis de estas rocas (exceptuando la muestra AA1424, la cual no presenta lecturas de los elementos Nb y Ta por estar bajo del límite de detección).

El diagrama de multielementos normalizado a MORB (Figura 4-29C) presenta las ya mencionadas anomalías negativas de Ti y P y las correspondientes a procesos de subducción asociados (anomalía negativa de Ta-Nb con respecto a los elementos móviles que acompañan al Ba). Además, existe una leve anomalía negativa de Sc (elemento que se fracciona en la fase piroxeno) y anomalía positiva de Ce para todas las muestras a excepción de la muestra AA1424.

Por último, el diagrama de multielementos normalizado a Manto Primordial (Figura 4-29 D) confirma las anomalías propuestas por los otros diagramas y deja en evidencia el comportamiento desigual, pero no por eso descartable de este grupo de rocas, de la muestra AA1424.

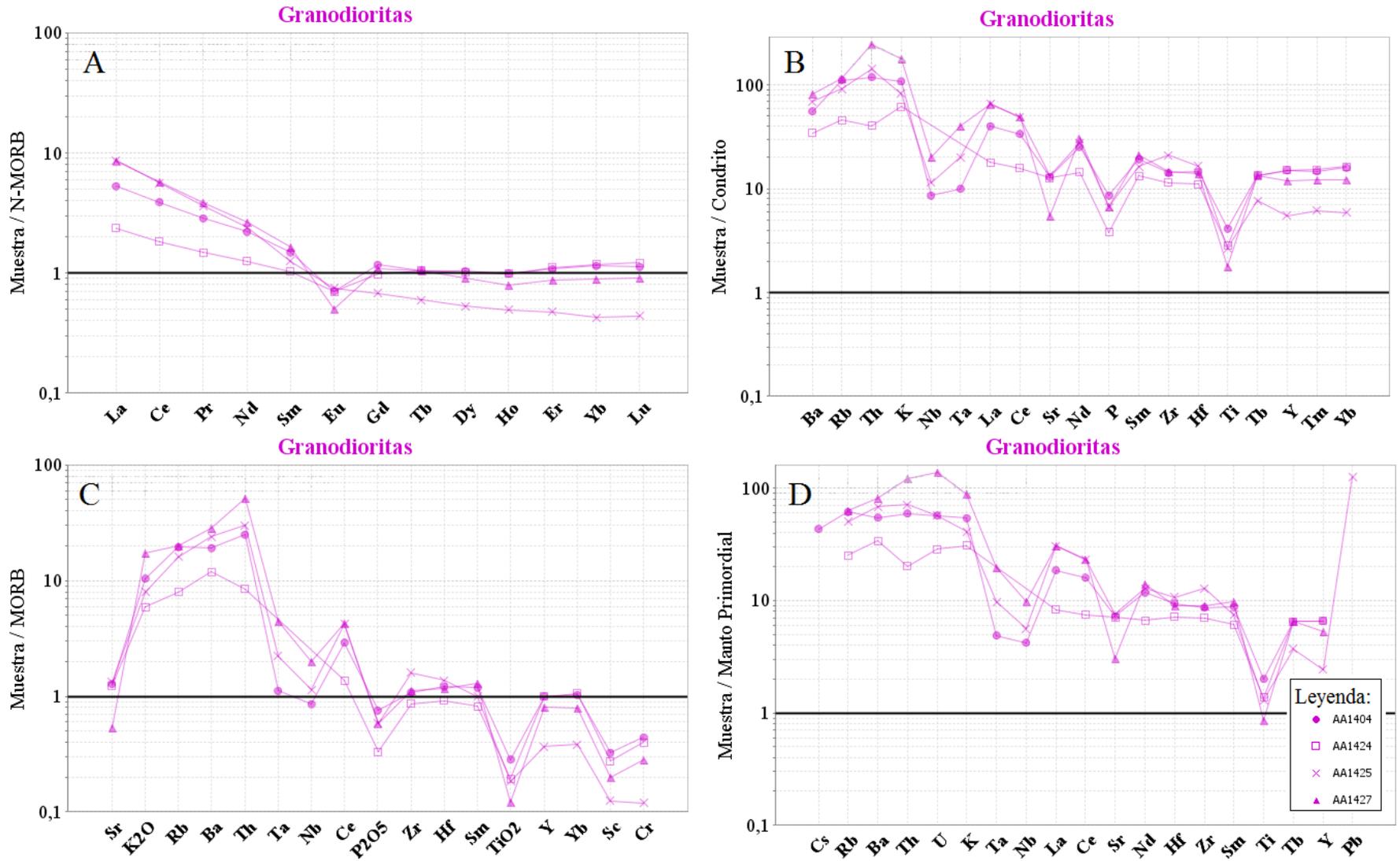


Figura 4-29: Muestras de granodioritas del presente estudio. A. Aracnograma de REE normalizado a N-MORB (Sun y McDonough, 1989). B. Diagrama de multielementos normalizado a condrito (Thompson, 1982). C. Diagrama multielemento normalizado a MORB (Pearce, 1983). D. Diagrama multielemento normalizado a manto primordial (McDonough, 1992)

#### 4.2.5.5. Basaltos

La Figura 4-30 presenta el diagrama de REE normalizado a N-MORB (según SUN Y MCDONOUGH, 1989) y los diagramas de multielementos normalizados a condrito (según THOMPSON, 1982), MORB (según PEARCE, 1983) y manto primordial (según MCDONOUGH, 1992) para el grupo de rocas de diques correspondientes a basaltos.

En el diagrama de REE normalizado a N-MORB (Figura 4-30A, Tabla 4-11) se observa un empobrecimiento general de HREE con respecto a este último, encontrándose todos los patrones asociados a estas REE por debajo del valor igual a 1. El caso de las LREE es diferente al anterior, encontrándose algunas de estas por sobre este valor.

Los patrones de este diagrama muestran además un fraccionamiento entre tierras raras livianas (LREE) con respecto a las pesadas (HREE) con una razón  $(La/Yb)_N$  promedio de 6,5, lo que indica un mayor enriquecimiento en las primeras. Las pendientes de las LREE están asociadas a una razón promedio  $(La/Sm)_N$  de 2,9 en contraste con las trayectorias planas asociadas a las HREE que presentan una razón promedio  $(Dy/Yb)_N$  igual a 1,2 (característica común para las rocas del presente estudio como ya se ha descrito anteriormente). Cabe destacar la similitud en el contenido de HREE que poseen estas muestras para este diagrama.

El diagrama de multielementos normalizado a condrito (Figura 4-30B) presenta una poca clara (debido a la falta de lectura de los elementos Nb y/o Ta para algunas de las muestras por estar debajo del límite de detección) anomalía de elementos correspondientes a procesos de subducción (negativa de Nb-Ta con respecto a LILE) y deja en evidencia un comportamiento dual, en donde tres de las muestras (AA1405, AA1415 y AA1439) presentan anomalías positivas de Sr (fraccionamiento de plagioclasas cálcicas) y negativas de Zr y Hf que dan indicios de procesos de subducción debido a la retención (por parte de la fuente) de fases como circón y rutilo residuales que provienen de la corteza subductada (y a los cuales se fraccionan los HFSE como lo son el Zr y el Hf.) y que controlan de esta manera la composición de los fluidos/fundidos liberados en zonas de subducción. No es raro que la anomalía negativa de Zr-Hf este acompañada por una anomalía negativa de Ti como ocurre en la muestra en una de las muestras de Basaltos (AA1405) debido a que este elemento se fracciona o es compatible con fases como el rutilo, aunque también lo es con otras fases (titanomagnetita).

El diagrama de multielementos normalizado a MORB (Figura 4-30C) deja en evidencia las anomalías negativas de Zr y Hf mencionadas anteriormente. La muestra de basalto AA1426 en este diagrama es la única que presenta una clara y completa anomalía negativa de Ta-Nb.

Finalmente, el diagrama de multielementos normalizado a manto primordial (Figura 4-30 D) confirma las anomalías propuestas por los otros diagramas y deja en evidencia el comportamiento desigual en cuanto a los elementos más móviles que tiene la muestra AA1439, la cual presenta un menor contenido de estos elementos en comparación al resto de las rocas que conforman este grupo.

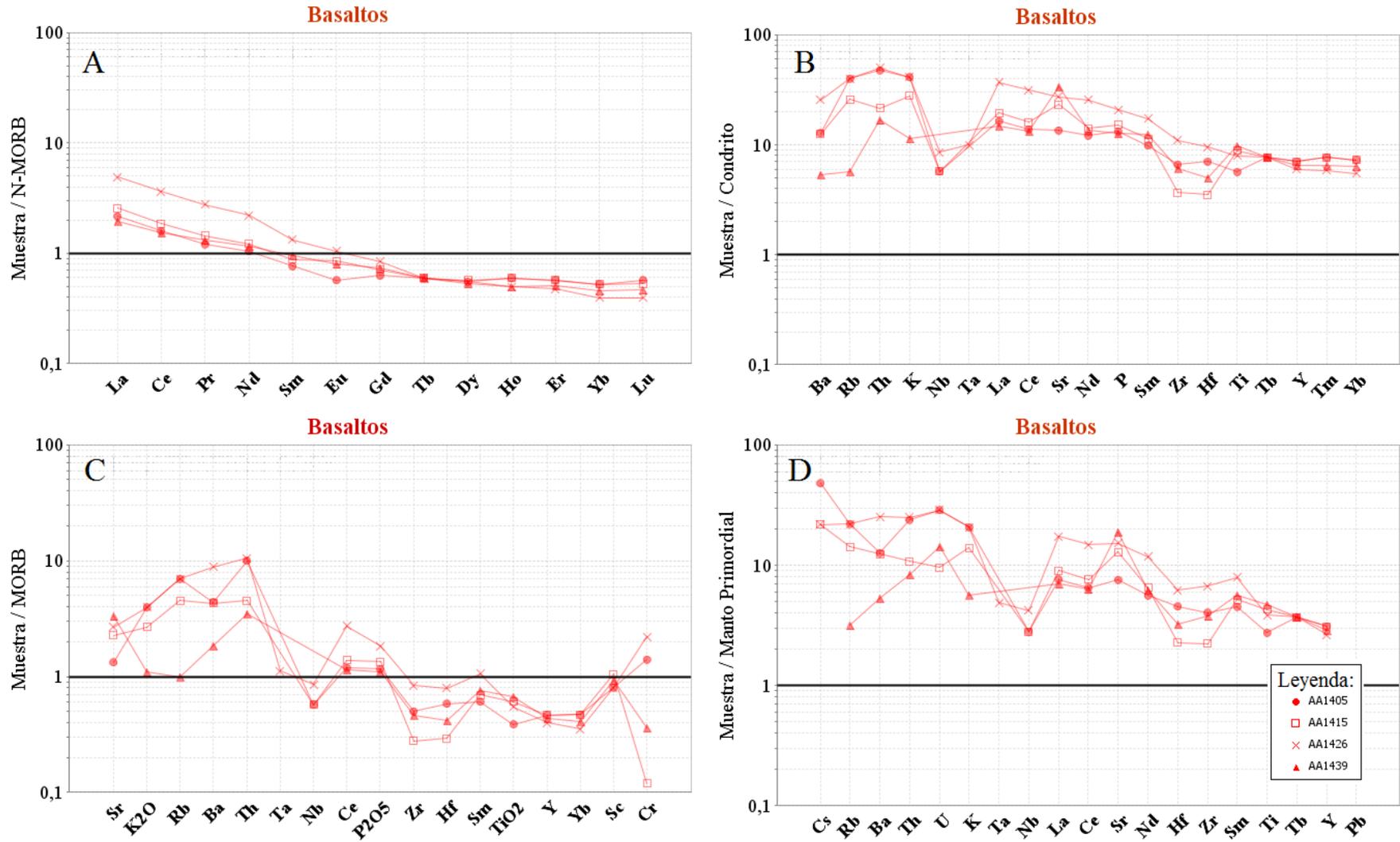


Figura 4-30: Para las muestras de basalto del presente estudio. A. Aracnograma de REE normalizado a N-MORB (Sun y McDonough, 1989). B. Diagrama de multielementos normalizado a condrito (Thompson, 1982). C. Diagrama multielemento normalizado a MORB (Pearce, 1983). D. Diagrama multielemento normalizado a manto primordial (McDonough, 1992)

#### 4.2.5.6. Riolita

La Figura 4-31 presenta el diagrama de REE normalizado a N-MORB (según SUN Y MCDONOUGH, 1989) y los diagramas de multielementos normalizados a condrito (según THOMPSON, 1982), MORB (según PEARCE, 1983) y manto primordial (según MCDONOUGH, 1992) para la muestra de dique correspondiente a una riolita (muestra AA1421).

En el diagrama de REE normalizado a N-MORB (Figura 4-31 A, Tabla 4-11) se observa un empobrecimiento general de HREE con respecto a este último, encontrándose todos los valores asociados a estas REE por debajo del valor unitario. El caso de las LREE es diferente al anterior, encontrándose algunas de estas por sobre este valor.

El patrón de este diagrama muestra además un fraccionamiento entre tierras raras livianas (LREE) con respecto a las pesadas (HREE) con una razón  $(La/Yb)_N$  promedio de 11,4, lo que indica un mayor enriquecimiento en las primeras. Las pendientes de las LREE están asociadas a una razón promedio  $(La/Sm)_N$  de 7,7 en contraste con las trayectorias planas asociadas a las HREE que presentan una razón promedio  $(Dy/Yb)_N$  igual a 0,9 (característica común para las rocas del presente estudio como ya se ha descrito anteriormente). Una anomalía negativa de Eu debido a retención de plagioclasa cálcica en la fuente es posible observar también en el diagrama.

El diagrama de multielementos normalizado a condrito (Figura 4-31B) muestra un enriquecimiento general en los elementos traza con respecto a las rocas descritas anteriormente, sobre todo en aquellos elementos más móviles del diagrama (Ba, Rb, Th y K). También es posible ver anomalías negativas de Nb, Sr (compatible con anomalía negativa de Eu), P (fraccionamiento de apatito en la fuente) y Ti (fraccionamiento de óxidos de Fe-Ti en la fuente).

El diagrama de multielementos normalizado a MORB (Figura 4-31C) deja en evidencia una anomalía negativa de Nb-Ta con respecto a elementos móviles como el Ba lo que se asocia a procesos magmáticos en un ambiente de subducción relacionables con la génesis de esta roca.

Finalmente, el diagrama de multielementos normalizado a Manto Primordial (Figura 4-31 D) confirma las anomalías descritas anteriormente presentando además una anomalía negativa del elemento U.

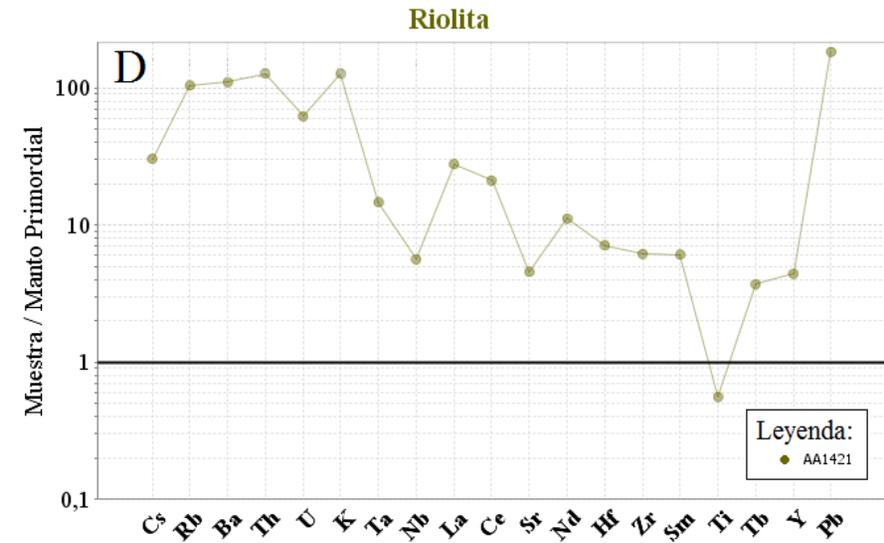
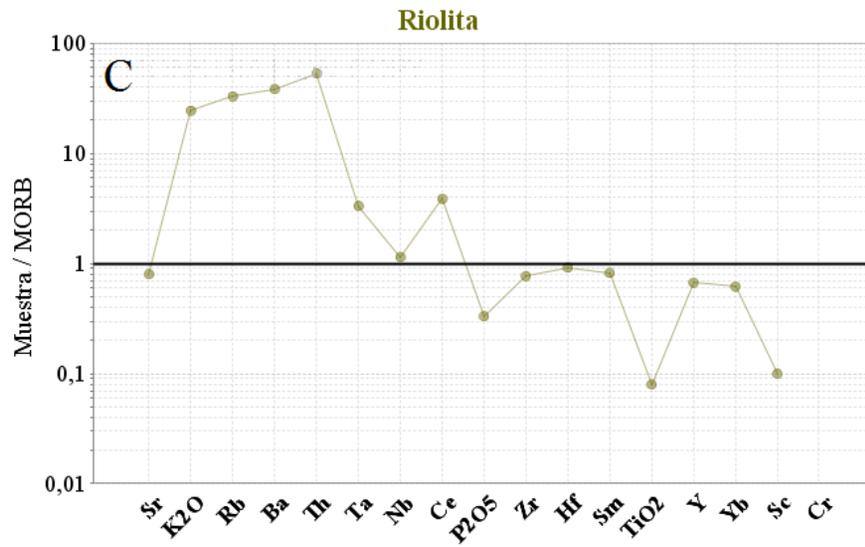
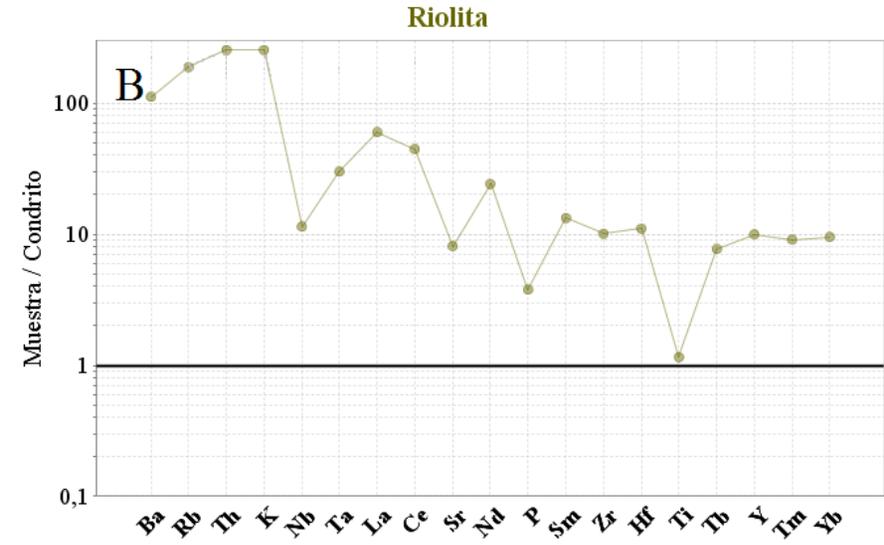
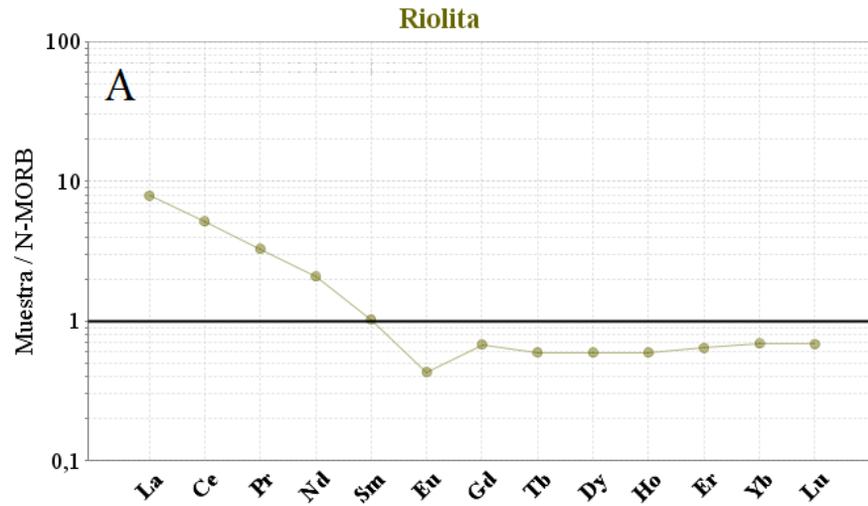


Figura 4-31: Para la muestra de riolita del presente estudio. A. Aracnograma de REE normalizado a N-MORB (Sun y McDonough, 1989). B. Diagrama de multielementos normalizado a condrito (Thompson, 1982). C. Diagrama multielemento normalizado a MORB (Pearce, 1983). D. Diagrama multielemento normalizado a manto primordial (McDonough, 1992)

Tabla 4-11: Datos geoquímicos de tierras raras (REE) normalizados a N-MORB según Sun y McDonough (1989), en ppm para análisis de roca total. Valores por debajo del límite de detección no son presentados en la tabla.

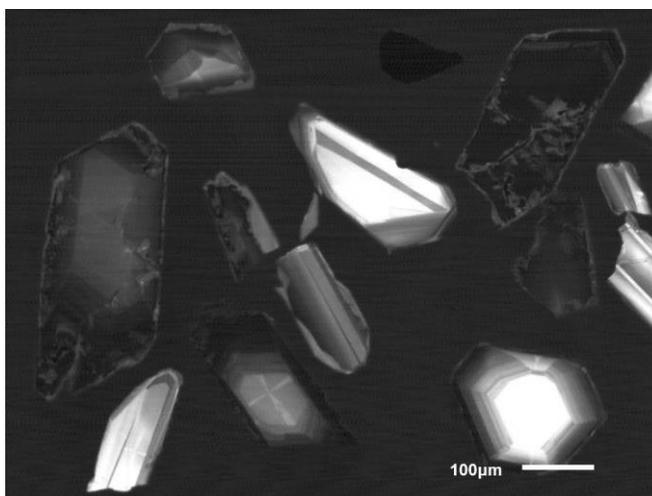
Muestra	Tipo	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
AA1402	gabro/diorita	0,52	0,37	0,32	0,30	0,30	0,44	0,27	0,30	0,26	0,30	0,27	0,26	0,26
AA1418	gabro/diorita	0,36	0,23	0,19	0,15	0,15	0,29	0,11		0,09		0,07	0,07	
AA1430	gabro/diorita	0,16	0,11	0,11	0,10	0,11	0,19	0,14	0,15	0,18	0,20	0,17	0,16	0,18
AA1431	gabro/diorita	0,56	0,33	0,27	0,19	0,19	0,27	0,19	0,15	0,20	0,20	0,20	0,20	0,22
AA1437	gabro/diorita	0,44	0,16	0,05	0,04		0,07	0,03		0,02				
AA1406	qz-gabro/diorita	1,28	0,93	0,76	0,66	0,49	0,64	0,46	0,45	0,44	0,40	0,44	0,39	0,37
AA1422	qz-gabro/diorita	1,56	1,13	0,83	0,67	0,53	0,42	0,43	0,45	0,46	0,40	0,44	0,43	0,44
AA1428	qz-gabro/diorita	1,12	0,77	0,58	0,42	0,27	0,23	0,19	0,15	0,15	0,20	0,17	0,20	0,20
AA1409	tonalita	3,52	2,79	2,26	1,93	1,37	0,88	1,06	0,90	0,86	0,79	0,88	0,75	0,77
AA1419	tonalita	1,84	1,40	1,14	1,04	0,91	0,49	0,79	0,75	0,75	0,69	0,77	0,75	0,75
AA1435	tonalita	1,80	1,24	0,90	0,70	0,46	0,50	0,38	0,30	0,31	0,30	0,30	0,36	0,33
AA1404	granodiorita	5,28	3,89	2,85	2,19	1,48	0,71	1,17	1,04	1,03	0,99	1,08	1,15	1,12
AA1424	granodiorita	2,36	1,83	1,48	1,25	1,03	0,70	0,98	1,04	1,01	0,99	1,11	1,18	1,21
AA1425	granodiorita	8,68	5,60	3,60	2,38	1,25	0,75	0,68	0,60	0,53	0,50	0,47	0,43	0,44
AA1427	granodiorita	8,60	5,71	3,86	2,64	1,63	0,50	1,09	1,04	0,90	0,79	0,88	0,89	0,90
AA1405	basalto	2,16	1,59	1,20	1,04	0,76	0,57	0,63	0,60	0,55	0,59	0,57	0,52	0,57
AA1415	basalto	2,56	1,85	1,44	1,22	0,87	0,85	0,71	0,60	0,57	0,59	0,57	0,52	0,53
AA1426	basalto	4,88	3,63	2,76	2,21	1,33	1,05	0,84	0,60	0,55	0,50	0,47	0,39	0,40
AA1439	basalto	1,96	1,53	1,32	1,16	0,95	0,79	0,73	0,60	0,53	0,50	0,51	0,46	0,46
AA1421	riolita	7,88	5,15	3,29	2,08	1,03	0,43	0,68	0,60	0,59	0,59	0,64	0,69	0,68

### 4.3. GEOCRONOLOGÍA DE U-PB EN CIRCONES

La muestra de tonalita datada (AA1419), representa una roca cuya cristalización define una etapa tardía en el proceso de solidificación de un gabro/diorita (AA1418). La particular manera de aflorar de la muestra de tonalita, referente a un cuerpo elipsoidal que cristalizó a partir de fundidos diferenciados (ver Figura 3-3 A), permite entender que la edad a obtener mediante el método de datación elegido (U-Pb en circones) corresponderá a la edad más joven de cristalización del intrusivo máfico al cual está asociado.

El circón, es una fase mineral reconocida para la utilización en métodos geocronológicos. Actúa como geocronómetro en base a la desintegración que sufre el U (como isótopo padre) a Pb (como isótopo hijo), pasando por Th. Es importante mencionar, que los circones son además una fase mineral refractaria capaz de registrar diferentes procesos a los que se ven expuestas las rocas que los contienen durante su historia geológica. Lo anterior es debido a que estos procesos producen variaciones composicionales locales como también variaciones en la estructura cristalina de los circones a medida que estos se desarrollan bajo contextos magmáticos y/o metamórficos-sedimentarios que ocurren en los ciclos formadores de rocas.

La morfología de los cristales de circón puede ser obtenida mediante el uso del método de catodoluminiscencia, el cual consiste en un bombardeo con un haz de electrones de alta energía a la fase mineral en cuestión que por lo general responde emitiendo luz. La Figura 4-32 muestra la imagen de catodoluminiscencia para algunos de los circones de la muestra de tonalita (AA1419).



*Figura 4-32: Imagen de catodoluminiscencia de circones en tonalita (AA1419) del presente estudio.*

Los circones son de tamaño entre 100-300 micrómetros, de formas elongadas a equidimensionales, euhedrales, y muchos de ellos presentan terminaciones piramidales. Existe un rango de variación entre granos muy claros bajo luz transmitida, en contraste con aquellos que se ven muy oscuros, fuertemente fisurados, presentando algunos áreas metamórficas (cristalinidad del circón alterada debido a la presencia de elementos radioactivos). La imagen de

catodoluminiscencia (Figura 4-32) muestra estructuras ígneas típicas para circones ígneos máficos, es decir, zonaciones amplias a débiles, zonaciones sectorizadas o zonaciones amplias paralelas al largo del cristal. Algunos granos presentan bordes catodoluminiscentes muy oscuros que en ciertos casos encierran a sectores centrales con bajos contenidos de U.

Para el presente estudio, 30 áreas fueron analizadas en 26 granos de circón. El contenido de U es notablemente variable, lo que se ve reflejado en las imágenes de catodoluminiscencia (CL). Las áreas de CL oscuras presentan entre ~1190 ppm hasta ~5220 ppm de U, mientras que aquellas más claras tienen un rango de entre ~155 a ~630 ppm. Las concentraciones de Th varían análogamente a las de U y por lo tanto las razones de Th/U se encuentran en un rango altamente restringido (dadas las variaciones de U y Th) entre ~0,35 y ~0,88 con excepción de un grano que presenta una razón de 1,29. Los valores mencionados anteriormente caen dentro de los valores normales establecidos para circones ígneos.

Las áreas analizadas son dominadas por Pb radiogénico y por tanto son consistentes (considerando el error) con la línea de concordia de Tera-Wasserburg, como se ve en la Figura 4-33 A. El diagrama de densidad de probabilidad de las edades correspondientes a la razón radiogénica  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  muestra una distribución irregular que parece reflejar dos edades *peaks* cercanos el uno del otro (Figura 4-33 B). Dados los altos contenidos de U (y Th) que presentan los circones de la muestra en cuestión, se podría pensar en una correlación entre el contenido de U y la edad reportada. Sin embargo, este no es el caso, como se puede ver en la Figura 4-33 C, en donde, particularmente para los granos con altos contenidos de U (en ppm), no se observan edades anómalamente altas, como es común en los análisis de tipo SHRIMP. El diagrama *weighted mean* para el total de las lecturas realizadas (30 análisis) tiene un MSWD de 2.7 (Figura 4-33 D), indicando un exceso de dispersión en los datos, lo cual es en gran parte atribuible a la gran edad que presenta el análisis de una de las muestras de 127,4 Ma en comparación a otras muestras que presentan edades más jóvenes de ~117 Ma y ~119,4 Ma. Excluyendo estos 3 valores con edades extremas (considerando 27 análisis en vez de 30), el diagrama *weighted mean* de  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  (Figura 4-33 E) da una edad de  $122,88 \pm 0,69$  con un MSWD de 1,5, lo cual refiere a una dispersión un poco menor, que podría ser una consecuencia de la falta de circones de edades mayores junto a sutiles pérdidas de Pb radiogénico. Finalmente, la edad calculada sería de  $122,88 \pm 0,69$  Ma y correspondería entonces a la cristalización de circones ígneos en un cuerpo félsico atribuible a una etapa tardía en la cristalización de un gabro de piroxeno y hornblenda.

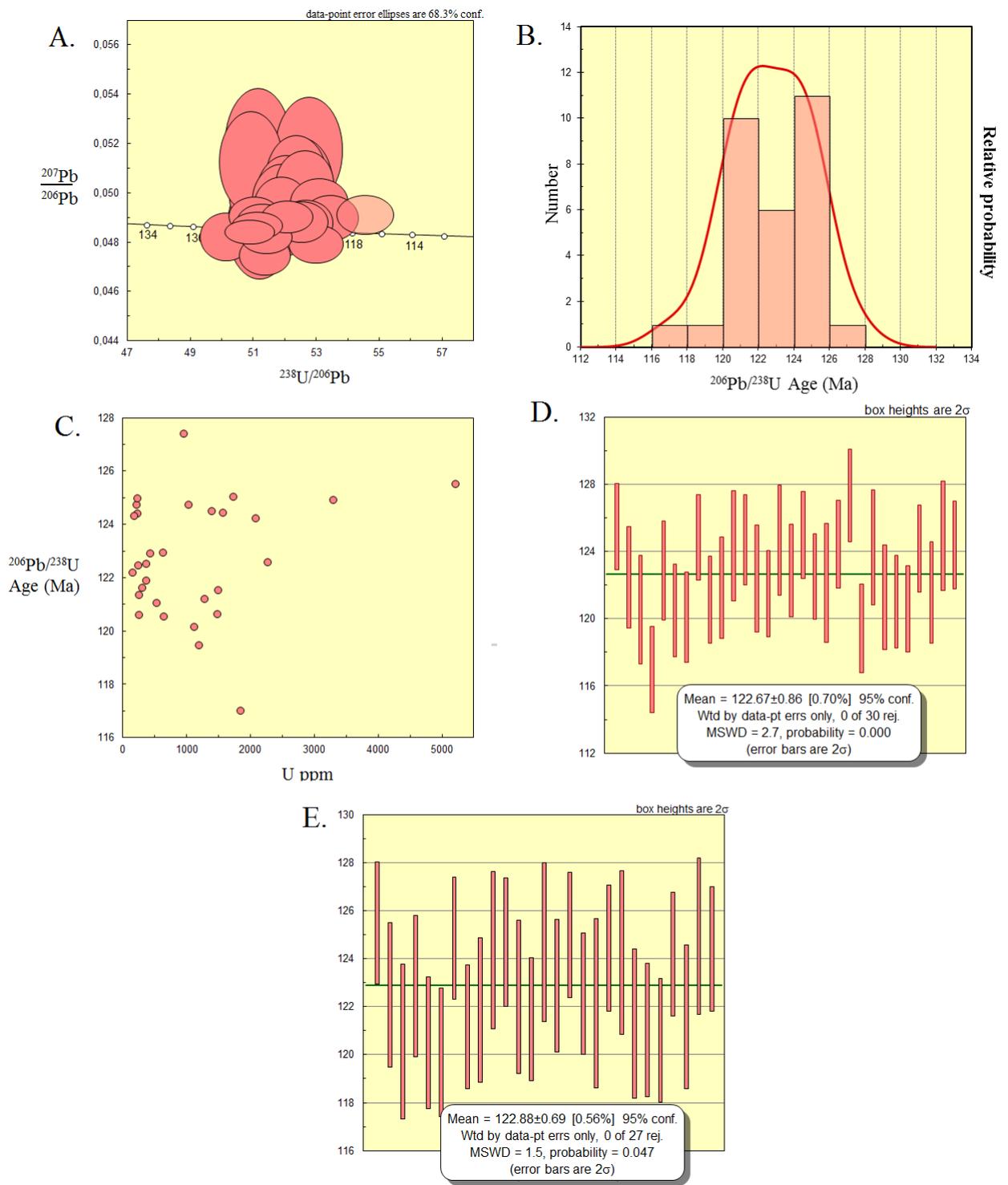


Figura 4-33: Análisis de datación U-Pb para la muestra de tonalita (AA1419). A. Diagrama de Terra-Wasserburg. B. Diagrama de densidad de probabilidad de edades. Diagrama de edad  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  versus U ppm. D. Diagrama weighted mean para el total de análisis realizados (30 análisis). E. Diagrama weighted mean para 27 análisis.

## 5. APARTADO GEOLOGÍA ECONÓMICA

La motivación de un estudio de geología económica para las rocas del presente estudio surge de tener un mayor entendimiento de las fases minerales que componen las muestras así como también de la idea de poner a disposición la información de mineralización metálica en la zona de estudio. Si bien hasta ahora los resultados de las prospecciones realizadas no han dado respuestas positivas, debe considerarse, por un lado, el hecho de que se ha estudiado una parte reducida de los afloramientos costeros y, además, el hecho de que existen ambientes de formación de rocas asociadas a mineralización metálica de carácter económico como lo es por ejemplo el Complejo Tortuga que, al ser comparable con la parte superior de una ofiolita, podría estar asociado a la existencia de depósitos estratiformes de sulfuros masivos (SUAREZ *ET AL*, 1985). Aunque actualmente no existe actividad minera en la zona, se sabe de la existencia de placeres auríferos en las islas Hoste y Navarino, así como en las islas Lenox y Nueva, al este de la zona de estudio. También ha habido prospectos cupríferos en las cercanías de la zona de estudio (Bahía Yendegaia en la costa norte del canal Beagle) aunque han sido catalogados como prospectos sin expectativas económicas favorables (STAMBUCK, 1970). También se ha descrito una muy reducida mineralización cuprífera en granitoides expuestos en las islas Morton, Henderson e Hind (ENDTER, 1912), en rocas del complejo Tortuga, en el cerro homónimo, y manifestaciones, también sin valor económico, en otros lugares de la región (CRUZAT *ET AL*, 1970).

Los depósitos minerales metálicos se caracterizan por tener concentraciones anómalas de uno o más elementos que son útiles de alguna u otra manera para la industria. Ahora bien, para que uno o más de estos elementos alcance(n) a constituir un yacimiento explotable económicamente, este debe estar concentrado muy por encima de su abundancia media en la corteza terrestre. El grado de enriquecimiento para cada uno de los elementos es variable según las condiciones del mercado y del valor de cada metal. La Tabla 5-1 muestra los principales elementos (metales) utilizados en la industria minera, su contenido promedio en la corteza, su ley promedio mínima explotable y el factor de enriquecimiento o concentración para cada metal según EVANS (1980).

Tabla 5-1: Concentración mínima de elementos metálicos para constituir yacimientos. (Evans, 1980)

Elemento	Contenido promedio en la corteza	Ley promedio mínima explotable	Factor de concentración.
Al	8%	30%	3,75
Fe	5%	25%	5
Cu	50 ppm	0,4%	80
Ni	70 ppm	0,5%	71
Zn	70 ppm	4,0%	571
Mn	900 ppm	35%	389
Sn	2 ppm	0,5%	2500
Cr	100 ppm	30%	3000
Pb	10 ppm	4,0%	4000
Au	4 ppb	1 g/t	250

En consideración de la geoquímica de roca total realizada en el presente estudio, se realizaron los diagramas de la Figura 5-1 que muestran los contenidos (en partes por millón o porcentaje en peso según corresponda) de los elementos mencionados en la Tabla 5-1. La Figura 5-1 muestra además, los valores del contenido promedio en la corteza para cada uno de estos elementos (líneas azules) y la ley promedio mínima explotable propuestos por la Tabla 5-1 (líneas rojas). Como se observa en la Figura 5-1, ninguna de las rocas analizadas por geoquímica de roca total muestran valores enriquecidos de los metales propuestos como para considerarse un depósito mineral, siendo estos valores bastante acordes a los promedios encontrados en la corteza terrestre (líneas azules) o incluso por debajo de estos.

En la tabla de resultados de fluorescencia de rayos X (Sección Anexo 9.5 D: Fluorescencia de rayos X) se pueden observar los datos obtenidos según los análisis de fluorescencia de rayos X que fueron hechos a todas las rocas del presente estudio con la utilización del instrumento NITON. La Figura 5-2 muestra los diagramas análogos a los realizados con los datos obtenidos a partir de los análisis de geoquímica de roca total pero esta vez para el total de las muestras utilizando fluorescencia de rayos X. Los diagramas para el elemento Au no están en las Figuras 5-1 y 5-2 debido a que este elemento se encuentra por debajo del límite de detección de ambos métodos. Además, el elemento Al no es determinado por el método de fluorescencia por lo que también no aparece en la Figura 5-2.

Como se observa en la Figura 5-2, los valores de concentraciones de los elementos analizados concuerdan con los valores promedio de esos elementos en la corteza terrestre (valores de la Tabla 5-1). Dado lo anterior, ninguna de las muestras presenta valores significativos de los elementos metálicos propuestos y por tanto carecen de un valor económico a considerar.

Se realizaron estudios calcográficos a 14 muestras (plutones faneríticos y diques) que presentan altos contenidos de minerales opacos en secciones transparentes. Las fases opacas que se encuentran en el total de las muestras analizadas representan entre un 1 a un 7% del total de la muestra. Las fases más comunes corresponden a magnetita e ilmenita anhedrales, masivas, equigranulares, de hasta 1,6 mm, con un estilo de mineralización principalmente diseminado pero también como inclusiones dentro de silicatos claros (hornblenda, piroxenos, etc), en vetillas, fracturas e incluso en textura simplectítica dentro de cristales de piroxeno (ver Figura 5-3). También se describe escasa pirita (hasta un 2% pero generalmente en trazas) anhedral a euhedral, de hábito masivo a cúbico, inequigranular, de hasta 1,9 mm, con un estilo de mineralización diseminado, en cúmulos, como inclusión dentro de cristales de esfalerita y en vetillas (<2mm) y vetas (<3cm) (Figura 5-4). Menor esfalerita (siempre en trazas), anhedral, de hábito masivo, tanto equigranular como inequigranular, de hasta 0,5 mm, con un estilo de mineralización diseminado pero también dentro de vetillas de 1 mm de espesor aproximadamente y en exsoluciones de esfalerita y calcopirita (Figura 5-5A). Finalmente se encontraron trazas de pirrotina, calcopirita y covelina, anhedrales, de hábito masivo e inequigranulares y de tamaños variables (<0,3 y <0,1 mm respectivamente) (Figura 5-5B).

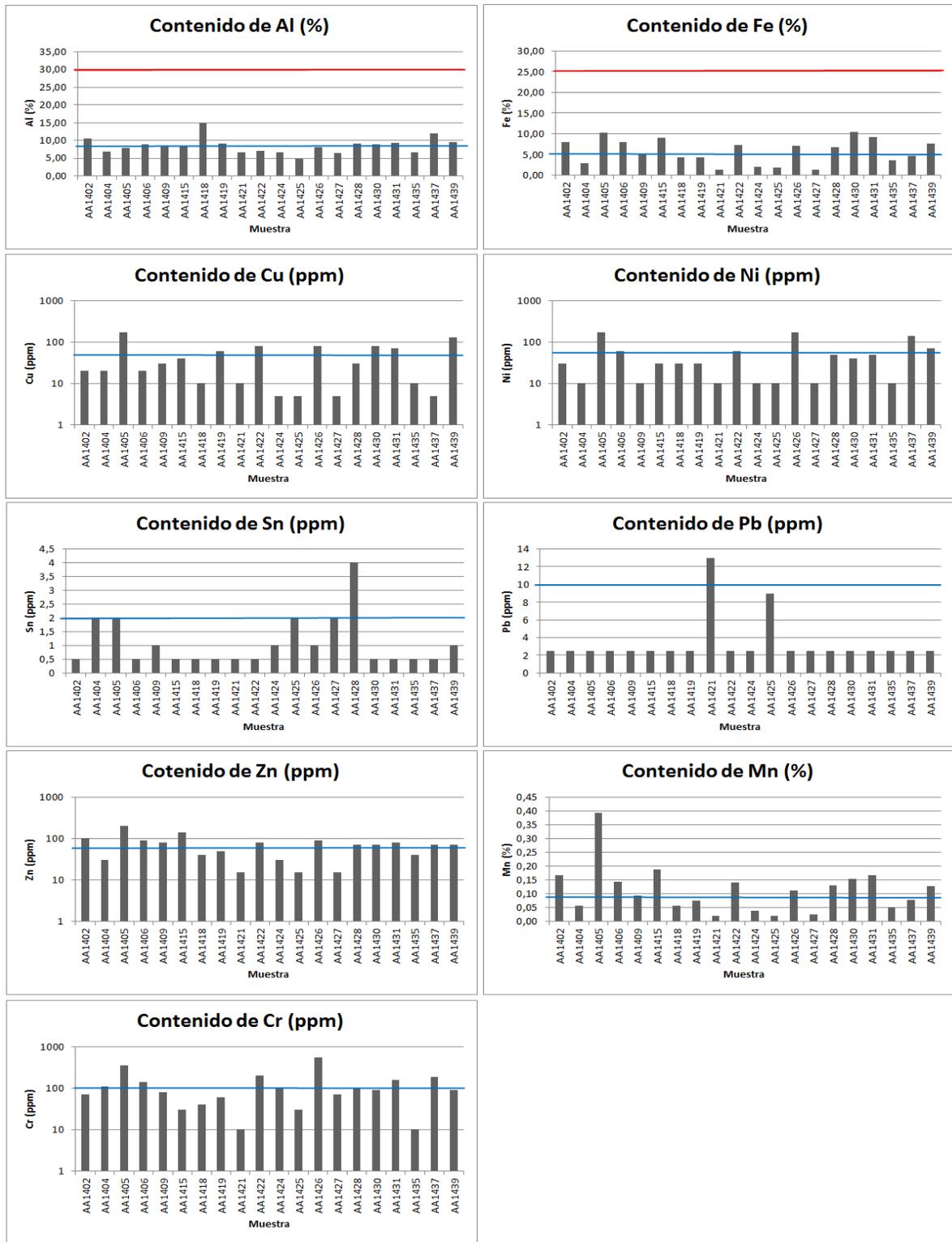


Figura 5-1: Concentraciones de elementos metálicos de consideración económica en las rocas del presente estudio a las cuales se les hizo geoquímica de roca total. En líneas azules se presentan los valores promedios para los respectivos elementos en la corteza según la Tabla 5-1. En líneas rojas se presentan aquellas concentraciones que podrían referir a un depósito mineral (estas pueden no estar debido a que se encuentran muy por encima de los valores medidos).

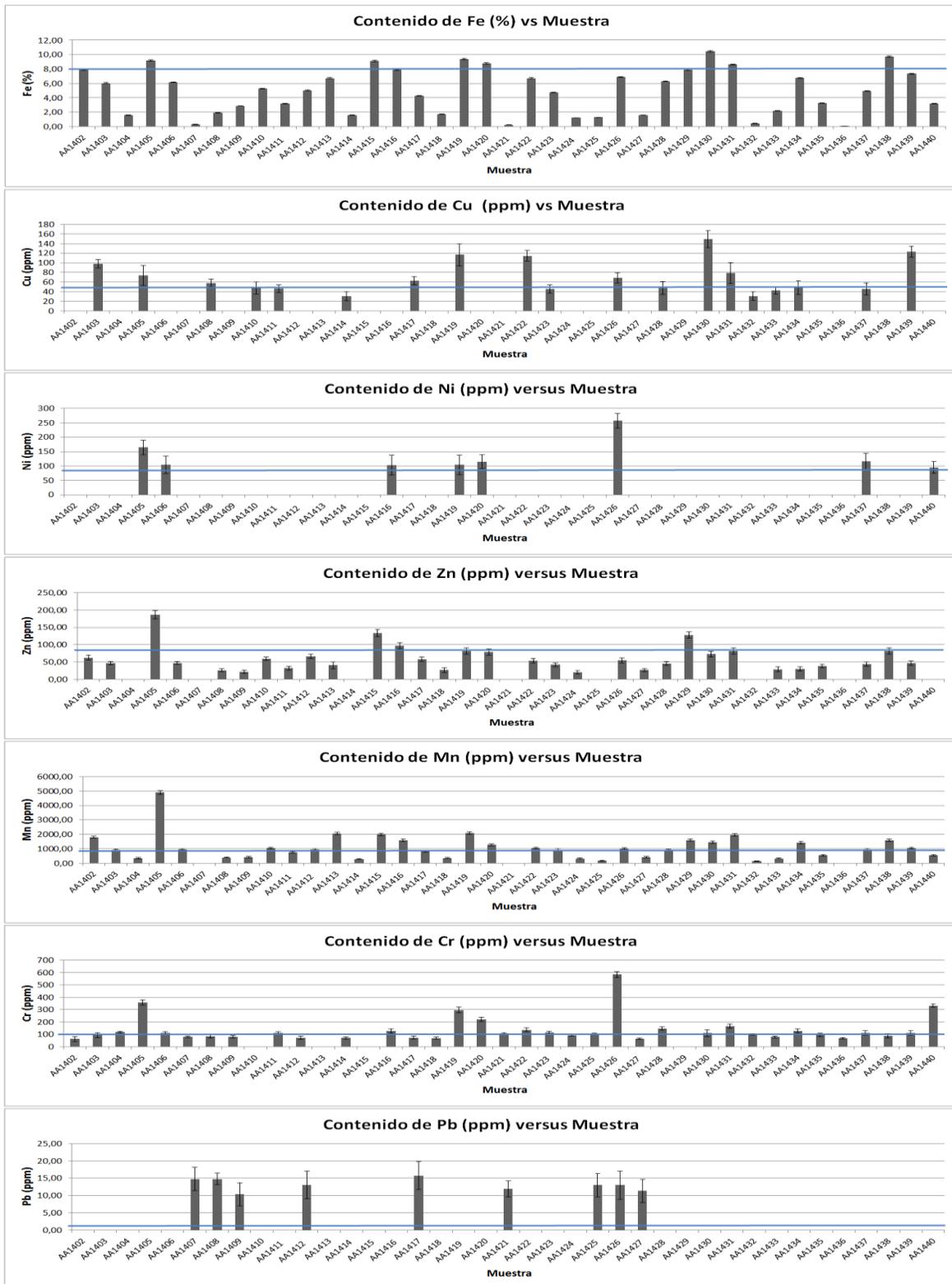


Figura 5-2: Concentraciones de elementos metálicos de consideración económica en todas las rocas del presente estudio a las cuales se les hizo fluorescencia de rayos X. En líneas azules se presentan los valores promedios para los respectivos elementos en la corteza según la Tabla 5-1.

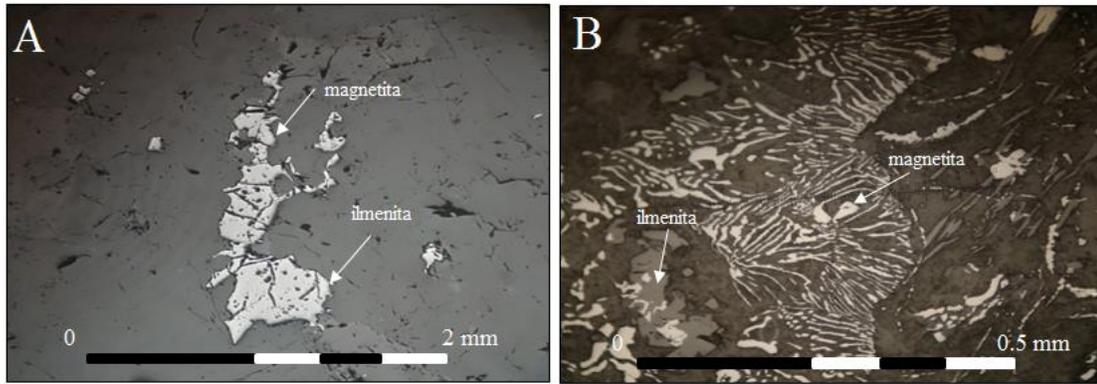


Figura 5-3: A. Microfotografía a luz reflejada a nicols paralelos con aumento de 5x de muestra de gabro de piroxeno y hornblenda (AA1418). Cristales de magnetita e ilmenita en equilibrio textural. B. Microfotografía a luz reflejada a nicols paralelos con aumento de 20x de diorita de piroxeno y hornblenda (AA1406). Textura simplectítica y poiquilítica de cristales anhedrales de magnetita en cristales de piroxeno, también ilmenita.

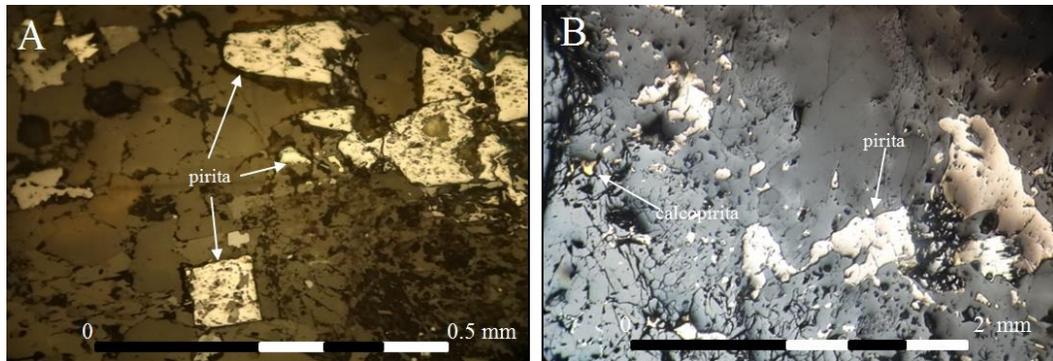


Figura 5-4: A. Microfotografía a luz reflejada a nicols paralelos con aumento de 20x de basalto de hornblenda (AA1415). Mineralización de piritas euhedrales, subhedrales y anhedrales diseminadas. B. Microfotografía a luz reflejada a nicols paralelos con aumento de 5x de muestra de gabro de olivino (AA1437). Cúmulo de cristales de pirita, pirita diseminada y menor mineralización de calcopirita.

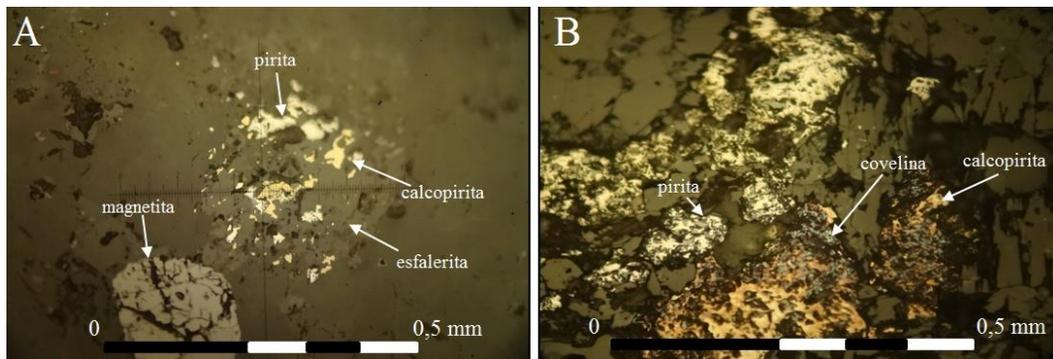


Figura 5-5: A. Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 20x de muestra de tonalita de hornblenda y biotita (AA1433). Mineralización de magnetita, pirita, calcopirita y esfalerita (exsolución de calcopirita y esfalerita). B. Microfotografía a luz reflejada a nicols paralelos con aumento de 20x de muestra de basalto de hornblenda (AA1415). Mineralización en cúmulo de pirita calcopirita y covellina.

## **6. DISCUSIÓN**

### **6.1. GENERAL**

En este capítulo se discutirá esencialmente la petrogénesis de las rocas de gabros/dioritas y cuarzo-gabros/dioritas además de los diques basálticos muestreados en terreno. Para esto, se utilizarán comparaciones químicas con rocas idóneas seleccionadas según sus características petrográficas, espaciales y etarias. También se discutirá el ambiente de formación a partir del cual se generaron las rocas del presente estudio utilizando la información obtenida en la sección Resultados del presente texto como por ejemplo la edad U-Pb de la muestra de gabro/diorita (AA1419).

### **6.2. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL**

Dada la ubicación de las muestras del presente estudio, las cuales se ubican al sur de los 54°S (Figura 3-1), se hace necesario relacionar y comparar los cuerpos gabroicos y dioríticos muestreados aquí con litologías de carácter máfico descritas en la zona. Las cuales se relacionan con cuerpos asociados tanto al Batolito Fueguino (Complejo de Gabros) como al Complejo Ofiolítico Tortuga (Figura 2-1).

### **6.3. PETROGRAFÍA Y MINERALOGÍA (PRIMARIA Y SECUNDARIA)**

La Tabla 6-1 presenta una comparación general en términos petrográficos, mineralógicos, texturales y en el modo de aflorar de los cuerpos máficos a comparar según lo discutido en el párrafo anterior. En esta tabla es posible apreciar las similitudes y diferencias en términos de modo de aflorar, mineralogía primaria, secundaria y de minerales opacos de los 3 grupos en cuestión (Complejo de Gabros en estudio, Complejo de Gabros del Batolito Fueguino y Complejo Ofiolítico Tortuga) además de las variaciones texturales que han sido descritas según los estudios correspondientes mencionados en la misma tabla.

En cuanto al modo de ocurrencia, es posible apreciar que la manera de aflorar de los cuerpos gabroicos del presente estudio es similar a la de los cuerpos asociados al Complejo de Gabros del Batolito Fueguino. Aunque es necesario recalcar que el Complejo de Gabros se encuentra en una zona en donde las tendencias espaciales tanto del Complejo de Gabros del Batolito Fueguino (afloramientos en NO-SE) como las rocas del Complejo Ofiolítico Tortuga (afloramientos en la E-O) son consistentes, y por tanto el primero se ubica en un punto de encuentro. En términos de mineralogía primaria, se ha descrito un mayor número de fases minerales para el Complejo de Gabros en estudio y del Batolito en comparación a las rocas del Complejo Ofiolítico Tortuga, el cual carece de fases como cuarzo y biotita. En términos de la mineralogía secundaria descrita para los 3 grupos, se observa una mayor correspondencia entre los grupos de rocas que pertenecen a este estudio y aquellos asociables al Complejo Ofiolítico Tortuga. Finalmente, para los 3 grupos en cuestión se han descrito texturas cumuladas representadas principalmente como estratificaciones internas en las rocas asociadas a acumulaciones de piroxenos.

Tabla 6-1: Tabla comparativa según características petrográficas, mineralógicas, texturales y en el modo de aflorar para cuerpos de gabros/dioritas y cuarzo gabros/dioritas del presente estudio, Complejo de Gabros del Batolito Patagónico y gabros del Complejo Ofiolítico Tortuga.

Nombre	Estudio	Ocurrencia (modo de aflorar)	Mineralogía primaria	Minerales Opacos	Mineralogía Secundaria	Texturas
Cuerpos de Gabro/Dioritas y Cuarzo Gabros Dioritas	Este estudio	<ul style="list-style-type: none"> <li>Núcleos Aislados de envergadura variable.</li> <li>Roof Pendants.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plagioclasa</li> <li>Clinopiroxeno</li> <li>Ortopiroxeno</li> <li>Hornblenda</li> <li>Olivino</li> <li>± Biotita</li> <li>± Cuarzo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Magnetita</li> <li>Ilmenita</li> <li>Pirita</li> <li>±Calcopirita</li> <li>±Esfalerita</li> <li>±Pirrotina</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Albita</li> <li>Actinolita</li> <li>Epidota</li> <li>Clorita</li> <li>Cuarzo</li> <li>Titanita</li> <li>Stilpnomelano</li> <li>Esmectita</li> <li>Arcillas</li> <li>Sericita</li> <li>Óxidos de Fe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Poiquilitica</li> <li>Cumulada</li> <li>Fanerítica</li> <li>Coronítica</li> <li>Glomeroporfídica</li> <li>Porfídica</li> <li>Simplectítica</li> </ul>
Complejo de Gabros	Hervé <i>et al.</i> , 1984	<ul style="list-style-type: none"> <li>Núcleos aislados esporádicos a lo largo del batolito.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plagioclasa (Labradorita)</li> <li>Hornblenda</li> <li>Clinopiroxeno</li> <li>Ortopiroxeno</li> <li>± Olivino</li> <li>± Biotita</li> <li>± Cuarzo</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Anfibola</li> <li>Clorita</li> <li>Calcita</li> <li>Esfeno</li> <li>Epidota</li> <li>Anhidrita</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cumulada</li> <li>Ofítica</li> </ul>
Gabros COT (Complejo Ofiolítico Tortuga)	Avendaño, 2008	<ul style="list-style-type: none"> <li>Banda central este-oeste en isla Milne Edwards con un ancho de 3 Kms.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plagioclasa</li> <li>Olivino</li> <li>Clinopiroxeno</li> <li>Hornblenda</li> <li>± Ortopiroxeno</li> </ul>	Ferromagnesianos en Olivino.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sericita</li> <li>Arcillas</li> <li>Titanita</li> <li>Epidota</li> <li>Actinolita</li> <li>Clorita</li> <li>Clinozoisita</li> <li>Esmectita</li> <li>Biotita</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cumulada</li> <li>Poiquilitica</li> <li>Intergranular</li> <li>Coronítica</li> <li>Quelifítica</li> <li>Ofítica</li> <li>Subofítica</li> </ul>

## 6.4. GEOQUÍMICA DE ROCA TOTAL

Debido a lo discutido anteriormente (antecedentes generales, distribución espacial, petrografía) se hace necesario comparar la química de los gabros/dioritas y cuarzo-gabros/dioritas con la química de los gabros estudiados en el Complejo Ofiolítico Tortuga, así como también de los cuerpos máficos que pertenecen al Batolito Fueguino. Todo esto con el fin de asociar o descubrir información en cuanto a los procesos petrogenéticos de las rocas en cuestión. Además, en la presente sección se analizarán los diques basálticos comparándolos con rocas del Complejo Ofiolítico Tortuga y con muestras de las Formaciones Yahgán y Hardy.

### 6.4.1. Gabros/dioritas y cuarzo-gabros/dioritas, gabros del Complejo Ofiolítico Tortuga y cuerpos gabroicos del Batolito Fueguino

En esta sección se comparará la química obtenida para las muestras de gabro/diorita, cuarzo-gabro/diorita con aquellas muestras de gabro (principalmente) asociadas tanto al Complejo Ofiolítico Tortuga como al Batolito Fueguino.

La Tabla 6-2 presenta los gabros/dioritas y cuarzo-gabros/dioritas del Complejo de Gabros así como también las muestras utilizadas para su comparación en conjunto con razones elementales relevantes para esta (normalizadas en base a condrito según SUN Y MCDONOUGH, 1989).

En esta tabla se presentan 3 grupos de muestras de distintos estudios y naturaleza. Rocas del Complejo de Gabros (grupos Ia y Ib), muestras del Complejo Ofiolítico Tortuga (grupo II) y muestras del Batolito Fueguino clasificadas según edad: previas a la inversión de la cuenca de Rocas Verdes (grupo IIIa), posteriores a la inversión de esta (grupo IIIb) e intrusivos máficos del Batolito sin información etaria (grupo IIIc).

Al comparar los grupos Ia (gabros/dioritas), Ib (cuarzo-gabros/dioritas) y II (gabros del Complejo Ofiolítico Tortuga tomados de AVENDAÑO, 2008) presentes en la Tabla 6-2, es posible apreciar una similitud en el contenido de  $\text{SiO}_2$  en los grupos Ia y II, con valores entre 44,47-48,22% y 43,67-49,04% respectivamente. El  $\#Mg$  para estos tres grupos varía en un rango entre 81-94, evidenciando el carácter primitivo de las muestras, consistente con el hecho de que sean rocas máficas, formadas tempranamente durante la cristalización fraccionada de la cámara magmática. La razón  $(La/Sm)_N$  es  $<1$  para todas las muestras del grupo II (característica común, aunque con excepciones, para todas las rocas del Complejo Tortuga), y  $>1$  para las muestras de los grupos Ia y Ib (muestras de este estudio). Los valores de esta razón para el grupo II indican una fuente deprimida asociada a N-MORB, la cual contiene valores similares o menores de esta razón. Para el resto de los grupos (Ia y Ib) se infiere una fuente con un mayor enriquecimiento asociada a un ambiente de arco volcánico, como se puede ver en la Figura 4-20, en donde al menos el grupo Ib cae dentro de los campos definidos para este tipo de ambiente. Las muestras de gabro/diorita no se encuentran presentes en este diagrama posiblemente debido a que son rocas acumuladas que han sufrido cambios en su mineralogía primaria debido a procesos metasomáticos.

La razón Zr/Nb utiliza el hecho de que el Nb es más incompatible que el Zr, por lo que la fusión parcial de una fuente mantélica dejará residuos con mayores razones de Zr/Nb. En la Tabla 6-2 es posible apreciar que el grupo de gabros/dioritas (Ia) no posee valores para esta razón debido a que ambos elementos se encuentran por debajo de los límites de detección respectivos (4ppm para Zr y 1 ppm para el Nb). El grupo de cuarzo-gabros/dioritas (Ib) presenta valores entre 11,5-20, mientras que el grupo de gabros del Complejo Ofiolítico Tortuga (grupo II) presenta valores entre 12,12-82,35, el cual es un rango considerablemente amplio como para concluir. La Figura 6-1 muestra diagramas comparativos de REE normalizados a condrito según SUN Y MCDONOUGH (1989). Existe un enriquecimiento de LREE de los gabros/dioritas y cuarzo-gabros/dioritas (Figura 6-1) que se ve reflejado también en las razones de  $(La/Sm)_N$  mostradas en la Tabla 6-2, en donde los valores para esta razón, en general, son  $>1$  para el grupo Ia y Ib y  $<1$  para el grupo II. Esta depresión en LREE para los gabros del Complejo Tortuga refleja la naturaleza del líquido que los generó, el cual habría estado deprimido en estos elementos y por tanto fue un fundido pobre en elementos trazas incompatibles (AVENDAÑO, 2008). Ahora bien, si se considera una fuente mantélica heterogénea que habría experimentado procesos de fusión fraccionada variables y la cual originó fluidos cada vez más deprimidos y que estarían en equilibrio con el manto, existe la posibilidad de que los primeros fundidos formados hayan estado mayormente enriquecidos en LREE por ser los primeros y por tener seguramente menores grados de fusión parcial que sus sucesores. En cuanto a las HREE, es posible observar trayectorias planas y enriquecimientos comparables para todas las muestras en cuestión, lo que puede verse también en la similitud en las razones de  $(Gd/Yb)_N$ , la cual tiene valores de entre 0,8-1,7 para los gabros/dioritas (grupo Ia), 0,9-1,2 para los cuarzo-gabros/dioritas (grupo Ib) y de 0,8-1,3 para las rocas del Complejo Tortuga.

La razón  $(Nd/Yb)_N$  está definida para el manto primitivo con un valor de 0,998 según HOFMANN (1988), es por esto, que sirve para estimar procesos de contaminación cortical en la cristalización de intrusivos con fuentes mantélicas. Los gabros del Complejo Ofiolítico Tortuga están asociados a una fuente sin contaminación cortical con valores de  $(Nd/Yb)_N$  entre 0,60-1,17 (AVENDAÑO, 2008), lo que es contrario a lo observado para el grupo de cuarzo-gabros/dioritas (grupo Ib), el cual presenta altos valores de la razón  $(Nd/Yb)_N$  (valores entre 1,37-1,88) en comparación a los gabros del grupo II. El grupo Ia (gabros/dioritas) presenta valores disímiles en cuanto a esta razón, los cuales están en el rango entre 0,5-2,0. Finalmente, algunos de los factores comunes que presentan los tres grupos en cuestión, es el empobrecimiento general de REE con respecto a N-MORB (ver Figura 4-27 A Figura 4-26 A) y anomalías positivas y nulas de Eu como patrón general (Tabla 6-2).

Los grupos IIIa y IIIb que presenta la Tabla 6-2 corresponden a intrusivos del Batolito Fueguino con contenidos menores al 58,87% de  $SiO_2$ . El grupo IIIa contiene muestras de este Batolito con edades entre 154,2-109,4 Ma. Es decir, edades previas a la inversión de la cuenca de Rocas Verdes, la cual ocurrió en el Cretácico Medio entre los 105-80 Ma (RAPALINI *ET AL*, 2008; CALDERÓN *ET AL.*, 2013).

Tabla 6-2: Tabla resumen comparativa para las muestras de gabro/diorita y cuarzo-gabro/diorita del presente estudio, gabros del Complejo Ofiolítico Tortuga del estudio de Avendaño (2008) y cuerpos gabroicos de Hervé et al in prep. Las razones elementales de elementos traza se encuentran normalizadas en base a condrito según Sun y McDonough (1989). Los recuadros en blanco corresponden a cocientes con alguno de los elementos en cuestión bajo el límite de detección del instrumento analizador. Abreviaciones: COT: Complejo Ofiolítico Tortuga. BF: Batolito Fuegoño. Cpx: clinopiroxeno. Opx: ortopiroxeno. Ol: olivino. Qz: cuarzo.

Muestra		Estudio	Localidad	Tipo	SiO <sub>2</sub> (%)	#Mg	Gd/Yb	La/Sm	Zr/Nb	La/Yb	Nd/Yb	EuN/Eu*N	Anomalía Eu
AA1402	Ia	Este estudio	Isla Caroline	gabro/diorita	48,22	82,75	1,03	1,05		1,17	1,00	1,54	+
AA1418		Este estudio	Isla Thomas	gabro/diorita	45,50	81,29	1,65	1,45		3,23	2,00	2,29	+
AA1430		Este estudio	Isla London	gabro/diorita	44,47	83,65	0,83	0,86		0,57	0,51	1,50	+
AA1431		Este estudio	Isla London	gabro/diorita	46,48	85,50	0,97	1,81		1,67	0,85	1,45	+
AA1437		Este estudio	Isla London	gabro/diorita	44,47	94,44							
AA1406	Ib	Este estudio	Isla Caroline	qz-gabro/diorita	50,80	87,99	1,17	1,59	15	1,91	1,46	1,34	+
AA1422		Este estudio	Isla London	qz-gabro/diorita	54,63	88,30	1,02	1,80	11,5	2,15	1,37	0,88	-
AA1428		Este estudio	Isla Sidney	qz-gabro/diorita	51,25	90,58	0,97	2,58	20	3,35	1,88	1,00	Nula
TN0722A	II	Avendaño, 2008	COT	troctolita (cpx)	44,06	89,07	1,29	0,14	44,44	0,20	1,42	1,02	Nula
TN0722F		Avendaño, 2008	COT	gabro	48,81	91,18	1,04	0,15	77,78	0,15	1,04	1,00	Nula
TN0723B		Avendaño, 2008	COT	gabro	48,64	90,13	1,11	0,32	33,33	0,38	1,17	1,41	+
TN0725GL		Avendaño, 2008	COT	gabro (opx, ol)	46,92	93,23	1,03	0,26	55,56	0,26	0,98	1,04	Nula
TN0725H		Avendaño, 2008	COT	gabro	49,04	89,59	0,98	0,18	82,35	0,17	0,88	0,85	-
TN0726A1		Avendaño, 2008	COT	gabro (ol)	46,76	92,51	0,80	0,65	12,12	0,48	0,60	1,83	+
FO0671	IIIa	Montes, 2013	BF	gabro	52,78	20,86	1,21	1,84	22,93	2,73	1,96	0,86	-
FO0648		Montes, 2013	BF	cuarzo diorita	53,94	38,55	1,26	1,74	53,83	2,62	1,74	0,95	Nula
FO0843		Montes, 2013	BF	cuarzo diorita	57,08	59,11	1,62	2,85		5,47	3,81	1,17	+
FO0650		Montes, 2013	BF	cuarzo diorita	58,87	31,14	1,53	2,09	19,57	4,13	2,82	0,99	Nula
FO0544	IIIb	Montes, 2013	BF	gabro/diorita	52,90	28,35	1,60	2,60	26,26	5,85	3,60	0,93	Nula
FO0736		Montes, 2013	BF	cuarzo diorita	55,31	58,01	2,15	3,00		11,30	7,48	0,92	Nula
FO0822		Montes, 2013	BF	gabro/diorita	49,13	60,96	1,42	2,09		3,61	3,14	1,35	+
FO0716		Montes, 2013	BF	Intrusivo Máfico	50,61	70,40	1,26	1,16		1,55	2,07	0,89	-
FO0723		Montes, 2013	BF	Intrusivo Máfico	47,74	48,86	1,81	3,25		9,82	5,42	0,96	Nula
FO0748	IIIc	Montes, 2013	BF	Intrusivo Máfico	51,26	43,44	1,32	1,12		1,55	1,74	0,84	-
FO0749		Montes, 2013	BF	Intrusivo Máfico	48,24	86,43	1,01	1,18		1,21	1,39	1,00	Nula
FO0826		Montes, 2013	BF	Intrusivo Máfico	50,66	79,75	1,22	0,85		1,05	1,50	1,03	Nula
FO0842		Montes, 2013	BF	Intrusivo Máfico	50,58	65,31	1,46	2,01		4,69	3,33	1,03	Nula

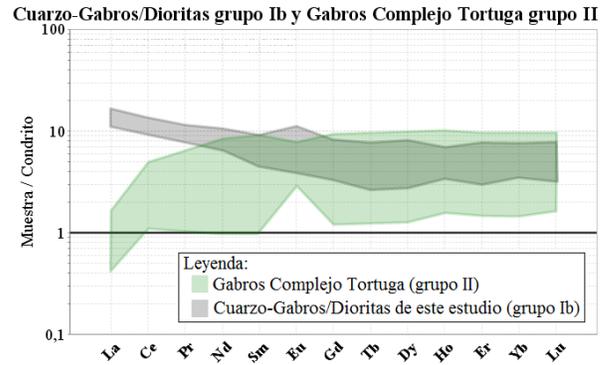
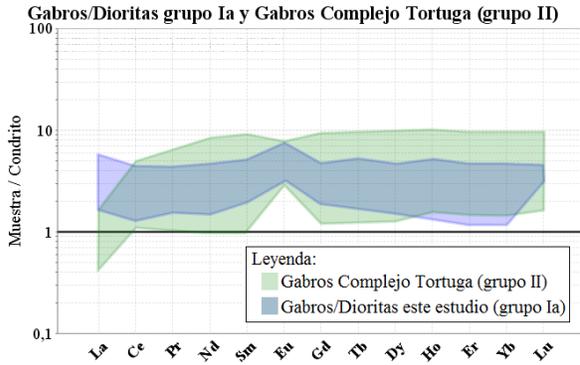


Figura 6-1: Diagramas comparativos de REE normalizados a condrito según Sun y McDonough (1989). A la izquierda: comparación entre gabros/dioritas (grupo Ia, Tabla 6-2) y gabros del Complejo Ofiolítico Tortuga (grupo II, Tabla 6-2). La muestra de gabro/diorita AA1437 no fue considerada como parte del grupo Ia para este diagrama por presentar un gran número de REE con concentraciones menores a sus respectivos límites de detección. A la derecha: comparación entre cuarzo-gabros/dioritas (grupo Ib, Tabla 6-2) y gabros del Complejo Ofiolítico Tortuga (grupo II, Tabla 6-2).

Por otra parte, el grupo IIIb contiene muestras del Batolito con edades entre 89,3-64,7 Ma, es decir, edades posteriores a la inversión de la cuenca y el grupo IIIc contiene rocas del Batolito Fuegoquino con concentraciones de SiO<sub>2</sub> menores al 51,26% y edades desconocidas. La Figura 6-2 muestra un diagrama comparativo de REE entre las rocas de los grupos Ia, Ib y IIIa definidos en la Tabla 6-2. En esta figura, es posible observar un enriquecimiento en REE por parte de las rocas del Batolito en comparación a los intrusivos del presente estudio. La diferenciación mayor que presentan las rocas de este grupo (IIIa), con contenidos de SiO<sub>2</sub> entre 52,78-58,87% y #Mg entre 21-59, que contrastan con los valores análogos de 44,47-54,63% y 81,29 y 94,44 para las rocas de los grupos Ia y Ib, sería la causa de este enriquecimiento comparativo, lo que es consecuente también con la mayor contaminación cortical asociada a las rocas del Batolito evidenciada por los mayores valores de las razones de (Nd/Yb)<sub>N</sub>. Existe un mayor enriquecimiento en LREE con respecto a HREE por parte de las rocas del grupo IIIa, evidenciado por los valores de la razón (La/Yb)<sub>N</sub>, los cuales se encuentran en un rango entre 2,6 a 5,5 en contraste con los menores valores de 0,6-3,7 (para el grupo Ia) y 1,9-3,4 (para el grupo Ib).

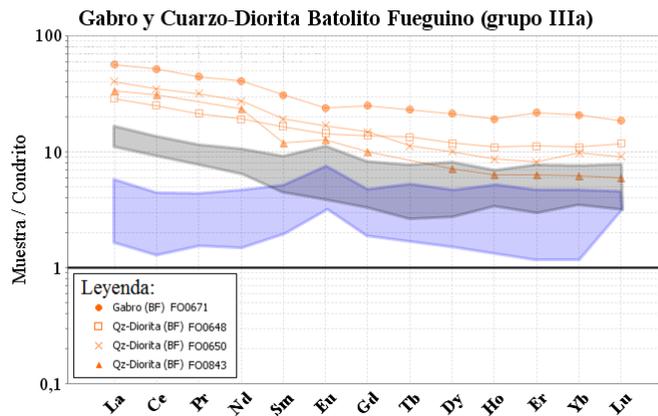


Figura 6-2: Diagrama comparativo de REE normalizado a condrito según Sun y McDonough (1989) para intrusivos del Batolito Fuegoquino con edades anteriores a la inversión de la cuenca de Rocas Verdes (grupo IIIa en Tabla 6-2). En polígono gris se

muestra la tendencia de cuarzo-gabro/diorita del presente estudio (grupo Ib) y en polígono azul el análogo de gabro/diorita del presente estudio (grupo Ia).

La Figura 6-3 y la Figura 6-4 muestran comparaciones entre los(as) gabros/dioritas y cuarzo –gabros/dioritas con intrusivos de edades posteriores a la inversión de la cuenca Rocas Verdes e intrusivos de edades desconocidas respectivamente, todos ellos del Batolito Fueguino.

En la Figura 6-3, es posible observar el enriquecimiento general de REE que presentan las rocas del Batolito Fueguino con edades más jóvenes a la inversión de la cuenca de Rocas Verdes con respecto a las rocas del presente estudio, lo que es esperable por el mayor grado de diferenciación que presentan las primeras con respecto a las segundas si se considera el %SiO<sub>2</sub> y el #Mg (ver Tabla 6-2). Las rocas del presente estudio presentan una razón (Gd/Yb)<sub>N</sub> que varía en un rango de valores de entre 0,8-1,7, mientras que las rocas del grupo IIIb de la Tabla 6-2 presentan un rango de valores variable entre 1,6-2,2 para la misma razón, indicando un mayor grado de fraccionamiento en HREE para estas rocas. La razón (La/Yb)<sub>N</sub> varía en un rango de valores de entre 0,6-3,4 para las rocas del grupo Ia y Ib y de entre 3,6-11,3 para las rocas del grupo IIIb indicando un mayor fraccionamiento entre LREE y HREE para las rocas del Batolito Fueguino. Los valores levemente mayores de la razón (La/Sm)<sub>N</sub> para el grupo IIIb son correspondidos también con mayores valores para la razón (Nd/Yb)<sub>N</sub> para este grupo en comparación a las rocas del presente estudio, indicando diferencias en la fuente que produjo los diferentes tipos de roca, en donde para las rocas del Batolito Fueguino se esperaría un origen con mayor aporte cortical (mayor contaminación cortical) en comparación a las rocas del presente estudio.

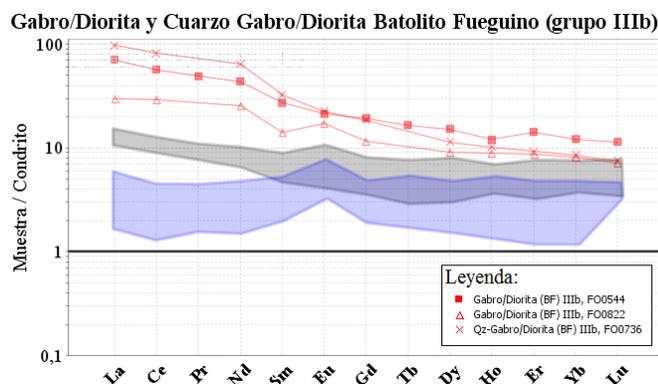


Figura 6-3: Diagrama comparativo de REE normalizado a condrito según Sun y McDonough (1989) para intrusivos del Batolito Fueguino con edades posteriores a la inversión de la cuenca de Rocas Verdes (grupo IIIb en Tabla 6-2). En polígono gris se muestra la tendencia de cuarzo-gabro/diorita del presente estudio (grupo Ib) y en polígono azul el análogo de gabro/diorita del presente estudio (grupo Ia).

Finalmente, la Figura 6-4 muestra la comparación química de REE normalizadas a condrito entre las rocas de gabro/diorita (grupo Ia) y cuarzo-gabro/diorita (grupo Ib) con rocas máficas del Batolito Fueguino de edad desconocida (grupo IIIc en Tabla 6-2). En tal diagrama, es posible nuevamente apreciar el enriquecimiento relativo general de REE que presentan las rocas del Batolito, lo cual es consistente con el mayor grado de diferenciación evidenciado

principalmente por el número de Mg. El fraccionamiento entre LREE y HREE, determinado por la razón  $(La/Yb)_N$  es variable según cada grupo. Los valores para esta razón corresponden a los rangos 0,6-3,2 para las rocas del grupo Ia, 1,9-3,4 para las rocas del grupo Ib y 1,0-9,8 para las rocas del grupo IIIc. Por lo tanto, el fraccionamiento propuesto es mayor para las rocas del grupo IIIc. En contraste, las razones de  $(Gd/Yb)_N$ , que proponen el fraccionamiento entre HREE, parece ser más afín, en donde los valores están en los rangos 0,8-1,7 para el grupo Ia, 1,0-1,2 para el grupo Ib y 1,0-1,8 para el grupo IIIc. Finalmente, Es posible apreciar la naturaleza asociada a una mayor contaminación cortical que presentan las rocas del grupo IIIc debido a los valores comparativamente altos que presenta su razón  $(Nd/Yb)_N$ , los cuales están en el rango entre 1,4-5,4, en contraste con los valores de 0,5-2,1 para el grupo Ia y 1,4-1,9 para el grupo Ib (lo que es respaldado también por los valores de la razón  $(La/Sm)_N$ , en donde el grupo IIIc presenta los mayores valores para esta, con cifras en el rango de 0,9-3,3, que contrastan con los menores valores del grupo Ib y con los aún menores valores del grupo Ia).

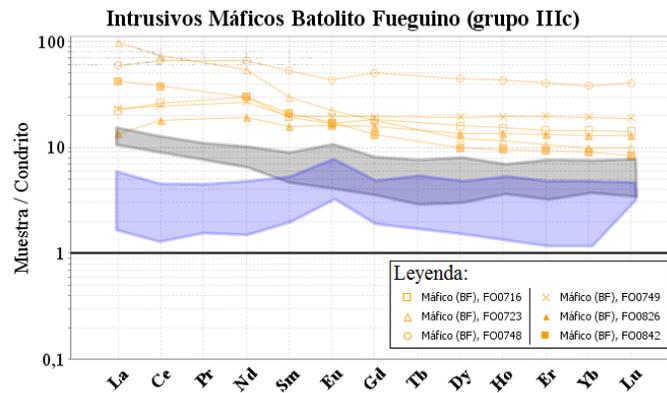


Figura 6-4: Diagrama comparativo de REE normalizado a condrito según Sun y McDonough (1989) para intrusivos máficos del Batolito Fueguino con edades desconocidas (grupo IIIc en Tabla 6-2). En polígono gris se muestra la tendencia de cuarzo-gabro/diorita del presente estudio (grupo Ib) y en polígono azul el análogo de gabro/diorita del presente estudio (grupo Ia).

#### 6.4.2. Diques máficos (Basaltos), Diques y Basaltos de la Formaciones Yahgán y Hardy y diques del Complejo Ofiolítico Tortuga

En esta sección se comparará la composición química de los diques basálticos (AA1405, AA1415, AA1426 y AA1439) y riolítico (AA1421) con rocas tanto del Complejo Ofiolítico Tortuga (muestras de basaltos, diques máficos, diabasas) y rocas de las formaciones Hardy y Yahgán (basaltos). Todo esto con el fin de poder relacionar los diques basálticos y la muestra de riolita a un ambiente de formación y generar un mejor entendimiento de la génesis de estos.

La Tabla 6-3 presenta tanto las muestras de dique del presente estudio como las muestras utilizadas para dicha comparación en conjunto con razones elementales relevantes para esta (normalizadas en base a Condritos según SUN Y MCDONOUGH, 1989). Los datos a comparar fueron tomados de la memoria “*Petrología del Complejo Ofiolítico Tortuga, Magallanes Chile: Evidencias de un metamorfismo Cretácico Inferior*” (AVENDAÑO, 2008). Esta tabla además, divide las muestras en cuatro subgrupos los cuales son: Ia y Ib. Diques del presente estudio, II: basaltos, diabasas y diques máficos consistentes con una fuente mantélica deprimida y con patrones de REE similares a N-MORB que no presentan indicios de contaminación cortical ni influencia de fluidos de la placa subductante. III. basaltos y dique de las Formaciones Yahgán y Hardy que presentan una fuente distinta a las del grupo II, con enriquecimiento en LREE con respecto a este y asociados a una fuente más cercana al arco (influencias de la placa subductante y niveles medios de contaminación cortical).

Al comparar los grupos I (presente estudio) y II (rocas máficas del Complejo Ofiolítico Tortuga) es posible apreciar que las muestras de basalto del primero presentan grados de diferenciación similares a las del segundo, en donde los contenidos de sílice varían entre 48,8-51,1% con #Mg entre 81-90 para el grupo I y 45,61-49,64% con #Mg entre 76-93 para el grupo II. La razón  $(La/Sm)_N$  es utilizada por muchos autores (e. g. SCHILLING, 1985) como una medida de la depresión o enriquecimiento de la fuente, donde consideran  $(La/Sm)_N < 1$  como N-MORB derivado desde fuentes deprimidas con similar o más bajas proporciones de esta razón. Rocas del Complejo Ofiolítico Tortuga presentan razones  $(La/Sm)_N < 1$  cumpliéndose esta regla para todas las rocas del grupo II (Tabla 6-3), que contrastan con los valores de  $(La/Sm)_N > 1$  que presentan todas las rocas del grupo I. Esto es consistente con los diagramas de discriminación tectónica para las muestras de dique de composición basáltica propuestos en la Figura 4-21 (con la excepción del diagrama Zr-Nb-Y de MESCHÉDE, 1986) en donde se observa que las muestras del presente estudio escapan a los campos definidos para derivados de ambientes tipo MORB. Por otra parte, la razón Zr/Nb utiliza el hecho de que el Nb es más incompatible que el Zr, por lo que la fusión parcial de una fuente mantélica dejará residuos con mayores razones de Zr/Nb. Los valores de esta razón para el grupo I son de 12,5 a 25,0 (obviando el valor de la muestra AA1439), los que contrastan con los valores más altos del grupo II, los cuales presentan un rango de valores entre 28,7-52,9.

La Figura 6-5 muestra diagramas comparativos de REE normalizados a condrito (SUN Y MCDONOUGH, 1989) y de multielementos normalizados a MORB (PEARCE, 1983) para los grupos

Ia y II (rocas del Complejo Tortuga) definidos en la Tabla 6-3. En esta figura es posible apreciar que los basaltos (grupo Ia) se encuentran enriquecidos en LREE con respecto a las rocas del Complejo Tortuga (grupo II), las cuales presentan incluso empobrecimientos en estas REE y que es posible observar también en los diferentes valores para las razones de  $(La/Sm)_N$  que presentan ambos grupos. La depresión en REE, con patrones constantes en HREE, visible en las razones  $(La/Sm)_N < 1$  y  $(Gd/Yb)_N \sim 1$  respectivamente para las rocas del Complejo Tortuga (y que contrastan con los valores de  $(La/Sm)_N > 1$  y  $(Gd/Yb)_N \neq 1$  que presentan los basaltos de este estudio), sumado a los altos valores de Zr/Nb para estas rocas indicarían una fuente mantélica deprimida asociada a la génesis de las muestras del Complejo Tortuga (N-MORB) y descartarían una fuente similar para la génesis de los diques de composición basáltica del presente estudio. Además, la razón  $(Nd/Yb)_N$  presenta un valor de 0,998 para el manto primitivo (HOFMANN, 1988). Este valor, para las rocas del grupo Ia dista del propuesto por HOFMANN (1988) para tal fuente, con valores asociados entre 1,73-4,88 lo que implica posiblemente procesos de contaminación cortical asociado a la génesis de estos basaltos. Contrariamente, los valores de la razón  $(Nd/Yb)_N$  para las rocas del grupo II se encuentran cercanos los propuestos por Hofmann para el manto primitivo (valores en el rango 1,03-1,12, Tabla 6-3), por lo que la fuente asociada a estas rocas sería una fuente mantélica sin procesos de contaminación cortical asociados. En los diagramas multielementales normalizados a MORB (PEARCE, 1983) de la Figura 6-5 es posible observar un enriquecimiento en elementos litófilos de alta carga (LILE) con respecto a Ta y Nb para algunas de las muestras de ambos grupos, esto propone la influencia de fluidos provenientes de la placa subductante en la génesis de los mágmas que originaron las rocas. Posiblemente esta influencia fue mayor en las rocas del grupo Ia debido al mayor enriquecimiento en LILE que muestran con respecto a las rocas del Complejo Tortuga en conjunto con las anomalías de Zr-Hf (también asociadas a procesos de subducción) presentes en todas las muestras de diques de composición basáltica del grupo I (rasgos no presentes en las rocas del grupo II).

Por otra parte, la muestra de Riolita de este estudio (AA1421) presenta altos contenidos de  $SiO_2$  (76,74%, Tabla 6-3) y un gran grado de diferenciación con un  $\#Mg=13,43$ . Sus contenidos de LREE son los más altos del grupo I y presenta una marcada anomalía negativa de Eu respaldada por la razón  $Eu_N/Eu^*_N=0,52$ , dejando en evidencia un fraccionamiento de plagioclasa cálcica en su fuente la cual se caracterizaría también por contener fases como anfíbola y/o granate indicado por una fuerte depresión en HREE con respecto a las LREE (Figura 4-31 A). Esta muestra fue catalogada como una riolita calcoalcalina con altos contenidos de K y formada bajo el contexto de un arco magmático asociado a subducción (con una anomalía de Ta-Nb respecto a Th y LILE, Figura 4-31 D).

Tabla 6-3: Tabla resumen comparativa para las muestras de diques, basaltos, diabasas y lamprófidos del presente estudio y el estudio de Avendaño (2008). Las razones elementales de elementos traza se encuentran normalizadas en base a Condrito según Sun y McDonough (1989). Dato en subrayado fue calculado asumiendo la concentración de Nb igual a 0,9 ppm debido a que la concentración de este elemento para esta muestra se encontraba por debajo del límite de detección del instrumento analizador (1 ppm).

Muestra		Estudio	Localidad	Tipo	SiO <sub>2</sub> (%)	#Mg	Gd/Yb	La/Sm	Zr/Nb	La/Yb	Nd/Yb	EuN/ Eu*N	Anomalía Eu
AA1405	Ia	Este estudio	Isla Caroline	Dique (Basalto)	50,93	84,06	1,19	1,74	22,50	2,42	1,73	0,83	-
AA1415		Este estudio	Isla Thomas	Dique (Basalto)	51,09	81,07	1,34	1,80	12,50	2,87	2,02	1,09	Nula
AA1426		Este estudio	Isla Sidney	Dique (Basalto)	50,91	90,14	2,14	2,25	25,00	7,29	4,88	0,99	Nula
AA1439		Este estudio	Isla London	Dique (Basalto)	48,75	87,43	1,60	1,27	<u>46,67</u>	2,51	2,21	0,95	Nula
AA1421		Ib	Este estudio	Isla Thomas	Dique (Riolita)	76,74	13,43	0,98	4,71	17,25	6,73	2,63	0,52
TN0706B	II	Avendaño, 2008	Complejo Tortuga	Basalto	47,41	87,44	1,01	0,61	28,68	0,58	1,09	0,98	Nula
TN0717		Avendaño, 2008	Complejo Tortuga	Diabasa	46,53	85,20	0,98	0,36	47,50	0,35	1,03	0,94	Nula
TN0722B		Avendaño, 2008	Complejo Tortuga	Lamprófido	45,61	92,55	1,15	0,64	31,91	0,77	1,10	0,91	Nula
TN0725C		Avendaño, 2008	Complejo Tortuga	Dique máfico	45,97	76,14	1,14	0,55	52,89	0,60	1,12	1,00	Nula
TN0716		Avendaño, 2008	Complejo Tortuga	Diabasa	49,64	85,51	0,99	0,52	51,06	0,52	1,08	0,82	-
TN0728B	III	Avendaño, 2008	Fm. Yahgán	Basalto	46,74	82,07	1,52	1,02	19,08	1,66	2,06	0,90	Nula
TN0728E		Avendaño, 2008	Fm. Yahgán	Basalto	51,47	37,53	1,47	1,20	20,12	2,05	2,19	0,93	Nula
TN0729A		Avendaño, 2008	Fm. Hardy	Basalto	49,90	82,32	1,52	1,26	35,40	1,81	2,00	0,96	Nula
TN07231		Avendaño, 2008	Fm. Hardy	Basalto	51,53	40,15	1,18	1,86	29,19	2,97	2,05	0,91	Nula
TN0730B		Avendaño, 2008	Fm. Hardy	Dique	52,70	54,60	1,52	1,74	24,40	3,20	2,49	0,85	-
TN0732B		Avendaño, 2008	Fm. Hardy	Basalto	53,11	41,59	1,20	1,13	43,52	1,48	1,80	1,07	Nula

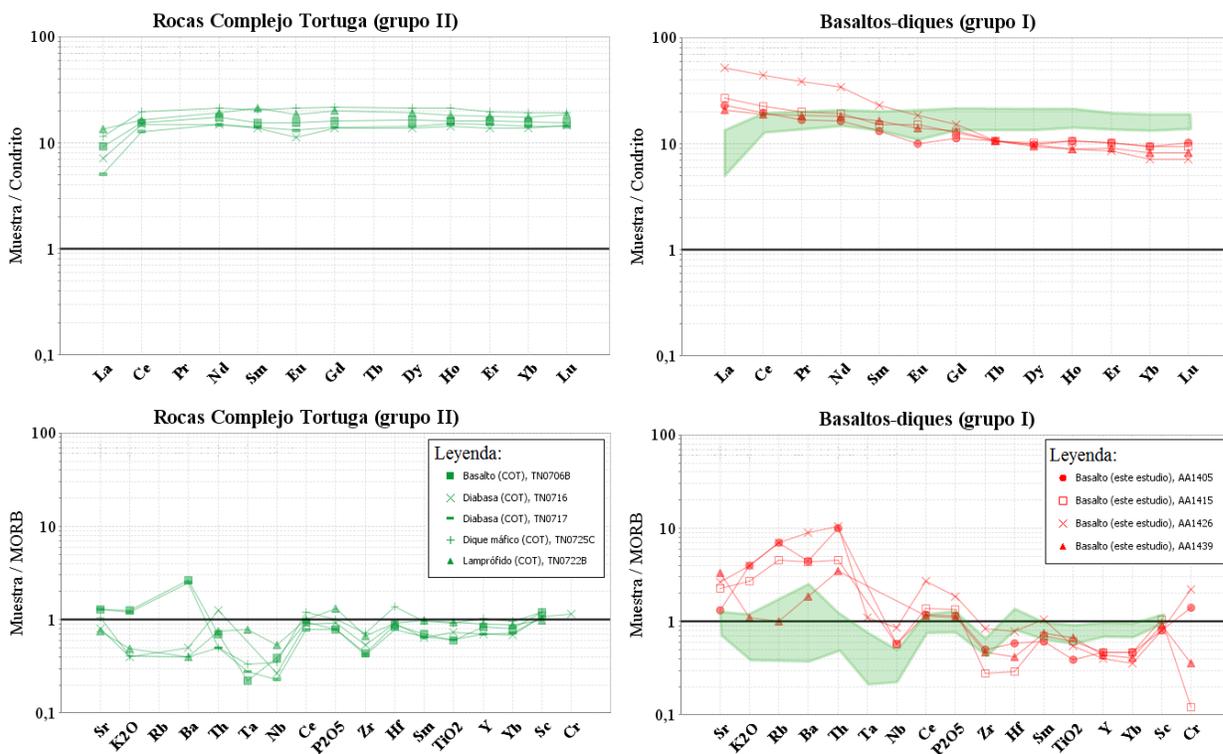


Figura 6-5: Arriba a la izquierda: Diagramas de REE normalizadas a condrito (Sun y McDonough, 1989) para muestras de basalto, diabasa, dique y lamprófido del Complejo Tortuga (grupo II definido en la Tabla 6-3 ). Arriba a la derecha: Diagrama de REE normalizadas a condrito (Sun y McDonough, 1989) para basaltos (diques) de este estudio (grupo Ia definido en la Tabla 6-3). En polígono verde se muestra la tendencia del grupo II. Abajo a la izquierda: Diagrama de multielementos normalizados a MORB (Pearce, 1983) para el grupo II definido en la Tabla 6-3. Abajo a la derecha: Diagrama de multielementos normalizados a MORB (Pearce, 1983) para el grupo Ia definido en la Tabla 6-3 (basaltos de este estudio). En polígono verde se muestra la tendencia del grupo II

Finalmente, se realiza la comparación entre los grupos Ia y III definidos en la Tabla 6-3, los cuales corresponden a los diques (Basaltos) de este estudio y a basaltos y diques de las formaciones Hardy y Yahgán respectivamente. Al comparar ambos grupos, es posible apreciar una muy buena correlación en cuanto al contenido  $\text{SiO}_2$  (rangos entre 48,75-50,93% para el grupo Ia y entre 46,74-53,11% para el grupo III), no siendo así para el grado de diferenciación de las muestras denotado por el #Mg, el cual varía entre 81,07-90,14 para el grupo Ia y 37,53-82,32 para el grupo III.

La razón  $(\text{La}/\text{Sm})_N$  es mayor que 1 para todas las muestras de ambos grupos indicando cierto grado de enriquecimiento en la fuente que generó las rocas y por tanto descartando una similitud en el origen con las rocas del Complejo Tortuga (grupo II), las cuales presentan una fuente deprimida N-MORB como se discutió anteriormente. Es posible relacionar ambos grupos de roca (Ia y III) en cuanto a su génesis y considerando los particulares valores que presenta la muestra de basalto AA1426 tanto en las razones elementales como en #Mg (el cual es alto en comparación al resto de su grupo posiblemente debido a la mineralogía encontrada en secciones transparentes, presentando pseudomorfos de olivino reemplazados por carbonatos, Ver sección Anexo 9.1. La Figura 6-6 muestra la correlación de ambiente tectónico según CABANIS Y

LECOLLE (1989) para ambos grupos de muestras. Es posible apreciar aquí la afinidad que tienen las rocas del grupo III (rocas de las Formaciones Yahgán y Hardy) por ambientes de arco transicionales y/o tholeiítas de arco y la afinidad de las rocas de este estudio por ambientes de arco transicional o arco calcoalcalino. En consideración de lo anterior y sumado a los diagramas de la Figura 4-21, los cuales proponen también un ambiente tipo IAT como una posible opción para las rocas del grupo I (Figura 4-21, diagramas de SHERVAIS, 1982 y PEARCE Y CANN, 1973), es posible hacer una correlación entre ambos grupos de muestras, los cuales tendrían en común su ambiente de formación, siendo este tipo IAT o de Arco transicional.

La Figura 6-7 muestra los diagramas de REE normalizados a condrito (SUN Y MCDONOUGH, 1989) y de multielementos normalizados a MORB (PEARCE, 1983) para los grupos Ia (basaltos este estudio) y III (muestras de Formaciones Hardy y Yahgán) definidos en la Tabla 6-3. En esta figura, es posible observar la similitud en enriquecimiento en REE que tienen ambos tipos de muestras, lo que sugiere fuentes con enriquecimientos similares e incluso grados de fusión parcial comparables. Además, ambos grupos (Ia y III) contienen muestras que presentan leves anomalías negativas de Eu. Sin embargo, el caso general corresponde a una anomalía nula en cuanto a este elemento concierne (ver Tabla 6-3) simulando una cristalización de plagioclasa cálcica en equilibrio con el fundido. Excluyendo la muestra AA1426, la cual al parecer tiene claras influencias de subducción en un margen convergente clásico de tipo calcoalcalino, ambiente que difiere al del resto de las muestras analizadas (ver Figura 6-6), lo cual queda evidenciado también por los valores de razones elementales disímiles propuestos por la Tabla 6-3 para esta muestra, es posible hacer una analogía entre los basaltos del grupo Ia y las rocas correspondientes al grupo III. Aunque la razón  $(La/Yb)_N$  que presenta el grupo Ia refleja un mayor

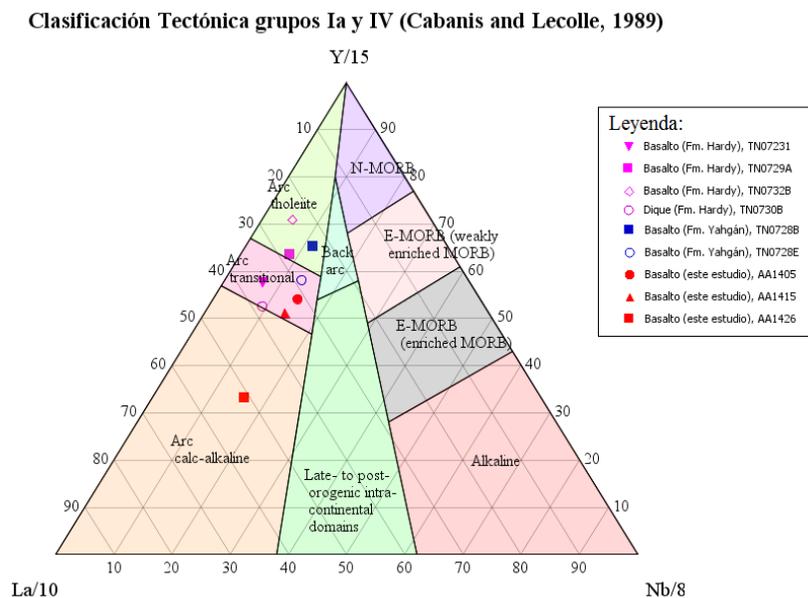


Figura 6-6: Diagrama de discriminación tectónica según Cabanis y Lecolle (1989) para rocas del grupo Ia (diques-basaltos del presente estudio) y III (basaltos y dique de formaciones Hardy y Yahgán).

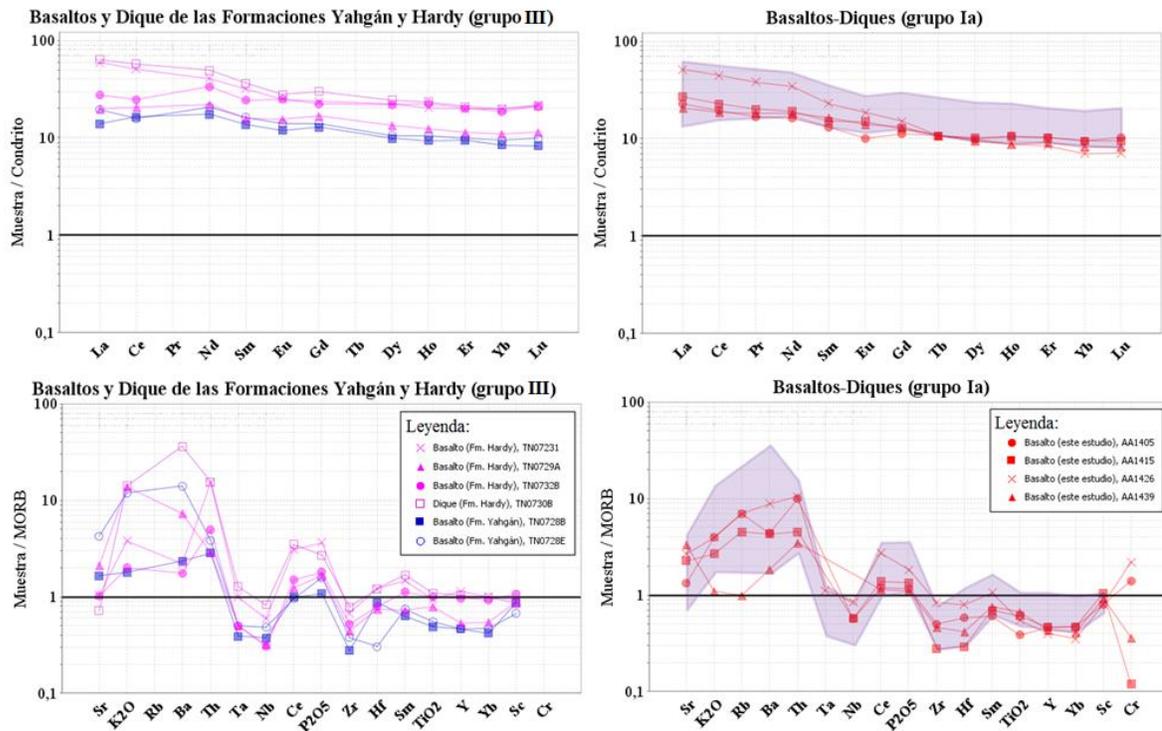


Figura 6-7: Arriba a la izquierda: Diagramas de REE normalizadas a condrito (Sun y McDonough, 1989) para muestras de basaltos y dique de las formaciones Yahgán y Hardy (grupo III definido en la Tabla 6-3). Arriba a la derecha: Diagrama de REE normalizadas a condrito (Sun y McDonough, 1989) para basaltos (diques) de este estudio (grupo Ia definido en la Tabla 6-3). En polígono lila se muestra la tendencia del grupo III. Abajo a la izquierda: Diagrama de multielementos normalizados a MORB (Pearce, 1983) para el grupo III definido en la Tabla 6-3. Abajo a la derecha: Diagrama de multielementos normalizados a MORB (Pearce, 1983) para el grupo Ia definido en la Tabla 6-3 (basaltos de este estudio). En polígono lila se muestra la tendencia del grupo III.

fraccionamiento entre HREE y LREE, con valores entre 2,4-2,9 (y con un valor promedio de 3,8), en contraste con el rango de valores entre 1,5-3,2 (y valor promedio de 2,2) para las rocas del grupo III, el enriquecimiento en REE para ambos grupos es comparable, al igual que el fraccionamiento de HREE reflejado por la razón  $(Gd/Yb)_N$ , la cual presenta valores de entre 1,19-1,60 para las rocas del grupo Ia (excluyendo la muestra AA1426) y entre 1,18-1,52 para las rocas del grupo III. Lo anterior, podría significar un menor grado de fusión parcial para los basaltos del presente estudio implicando un mayor enriquecimiento en LREE con respecto a las rocas de las Formaciones Yahgán y Hardy. La razón  $(Nd/Yb)_N$  para ambos grupos es bastante similar con valores que en general distan del propuesto por HOFMANN (1988) que corresponde a una valor de 0,998 para fuentes mantélicas sin contaminación cortical, implicado participación de la corteza en la génesis de las rocas en cuestión. Finalmente, los diagramas multielementos normalizados a MORB según Pearce (1983) muestran una correlación entre ambos grupos en donde destacan las anomalías negativas de Ta-Nb con respecto a Th y otros elementos móviles y la anomalía negativa de Zr-Hf que poseen las muestras de ambos grupos (Figura 6-7). Es importante destacar que la anomalía de Ta-Nb sólo es clara para la muestra AA1426 en el grupo de basaltos del presente estudio (grupo Ia), no ocurriendo así con la anomalía negativa de Zr-Hf que ocurre para todas las muestras del grupo, confirmando un ambiente de subducción asociado a la génesis de

las muestras tanto de los grupos Ia y III. Aunque los enriquecimientos de los elementos móviles LILE (K, Rb, Sr; Ba) es un poco diferente en ambos grupos, es necesario recordar que los basaltos del presente estudio presentan una marcada alteración y por tanto han sufrido procesos metamórficos que pudieron haber cambiado las concentraciones originales de estos elementos.

## 6.5. GEOCRONOLOGÍA DE U-Pb

Es importante recalcar que la muestra datada (AA1419) si bien corresponde a una tonalita y no a una muestra de gabro/diorita o cuarzo-gabro/diorita, su particular manera de aflorar (Figura 3-3A) y su patrón de REE relativo al de su roca encajante (Figura 6-8) permiten dilucidar que la edad obtenida mediante el método de U-Pb en circones magmáticos correspondiente a  $122,88 \pm 0,69$  Ma es necesariamente la edad más joven de cristalización de la muestra de gabro/diorita (AA1418). Tal edad, referente al período Cretácico Inferior - aptiano, es una edad que refiere a una configuración tectónica del lugar de estudio tal y como se muestra en la Figura 6-9. Esta figura muestra principalmente la formación de una cuenca marginal ubicada detrás de un arco activo creado a partir de un contexto de subducción causado por la apertura del océano Atlántico. En tal contexto, la generación de rocas tipo gabro/diorita y cuarzo-gabro/diorita como las muestreadas en el presente estudio puede ser variada y causada a partir de diferentes procesos petrogenéticos. A continuación se discuten estos diferentes procesos asociados a ambientes desiguales pero que funcionaron en conjunto para la época en cuestión.

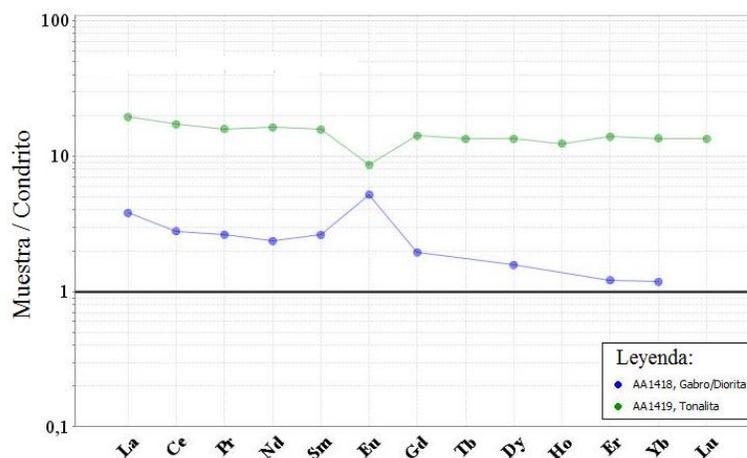


Figura 6-8: Diagramas de REE normalizadas a condrito según Sun y McDonough (1989) para gabro encajante (AA1418) y tonalita datada (AA1419). En el diagrama es posible observar un mayor enriquecimiento en el contenido de REE por parte de la muestra de tonalita coherente con el mayor grado de diferenciación que presenta esta respecto a su roca encajante. Además, se observa una relación "espejo" entre ambas líneas que refleja el contexto cogenético entre ambas muestras. Una anomalía positiva de Eu para la muestra de gabro refleja la acumulación de plagioclasa cálcica mientras que una anomalía negativa de Eu en su diferenciado magmático (muestra de tonalita AA1419) dejaría en evidencia la escasez de Eu debido a la retención de este por parte de la fuente (retención de Eu en plagioclasas cálcicas en gabro).

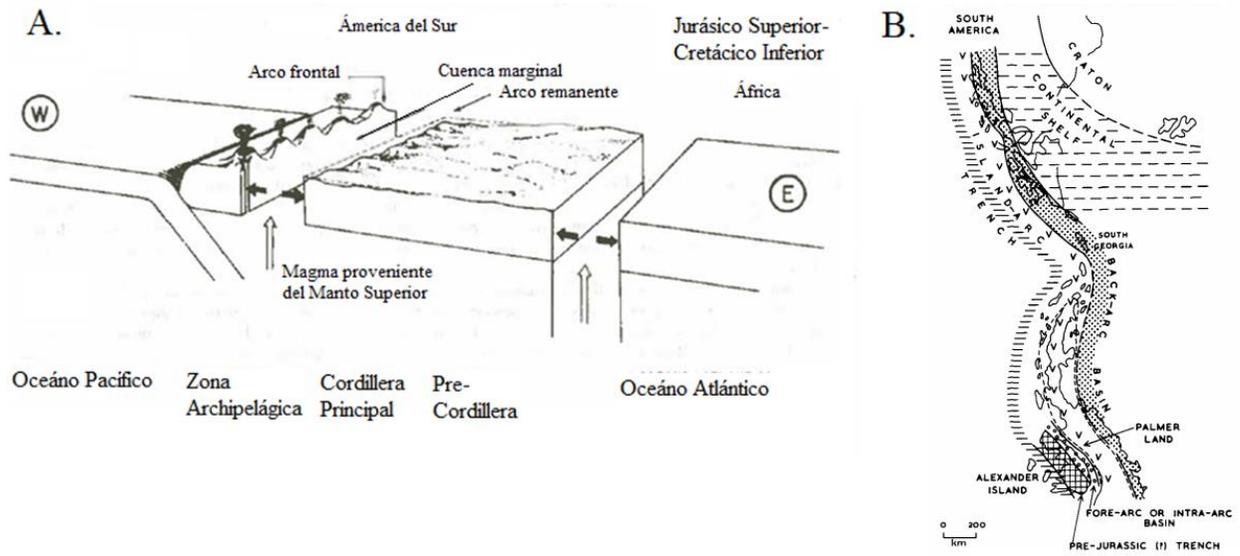


Figura 6-9: A. Representación esquemática de la región sur-occidental de Gondwana. Partición de la cadena volcánica calcoalcalina y creación de una cuenca marginal con fondo de corteza semi-oceánica. Alejamiento del arco frontal activo del arco remanente extinto y adosado al continente. Apertura del Atlántico sur también está esbozada. Tomado de Suarez (1977). B. Interpretación paleogeográfica de los Andes sur y la Península Antártica para el Jurásico Tardío – Cretácico Temprano (Suárez, 1976).

## 6.6. MODELOS PETROGENÉTICOS

### 6.6.1. Cuenca de trasarco y generación de ofiolita.

Las cuencas de trasarco localizadas detrás de un arco volcánico activo a lo largo de un margen convergente de placas tienen en común evidencias geológicas y geofísicas que sugieren un origen extensional involucrando procesos similares a los que ocurren en dorsales de expansión oceánica (KARIG, 1971).

La cuenca de Rocas Verdes, asociada al desarrollo de una cuenca de trasarco extensional posee rocas interpretadas como remanentes de la porción máfica del suelo de esta cuenca. Estas rocas, poseen una química variable según las condiciones y tiempo en que se emplazaron en una cuenca marginal (STERN, 1980, CALDERÓN ET AL., 2007B) que tuvo magmatismo de fondo oceánico activo desde los 152 Ma hasta por lo menos los 141-137 Ma (CALDERÓN ET AL., 2007) e incluso pudiendo llegar hasta los 120 Ma en zonas más australes, donde fue más prominente y en donde se encuentran las rocas del Complejo Ofiolítico Tortuga, las cuales presentan una química de ambiente y magmatismo tipo MORB.

Los gabros/dioritas y cuarzo-gabros/dioritas se ubican en el campo tholeiítico (Figura 4-15), al igual que lo hacen los gabros de la cuenca marginal y diques doleríticos emplazados lateralmente reportados en la literatura (SUAREZ, 1977; SAUNDERS ET AL., 1979; STERN, 1979). En contraste, rocas de la Fm. Hardy siguen una tendencia calcoalcalina y representan el arco magmático contemporáneo para la época en cuestión (MILLER ET AL, 1994). La afinidad tholeiítica del complejo en estudio esta apoyada también por el incremento en FeO<sub>t</sub> respecto a SiO<sub>2</sub> mostrado en la Figura 4-19 para las rocas más básicas, en la cual también se puede observar un aumento del contenido de TiO<sub>2</sub> con respecto a SiO<sub>2</sub>, lo cual es característico de magmas tholeiíticos durante las primeras etapas de diferenciación debido a que no fraccionan titanomagnetita (es posible ver también que existe una correlación positiva entre V y SiO<sub>2</sub> para el Complejo de Gabros (Ver sección 9.3 Anexo C1 ). Como el V es un elemento que se incorpora fácilmente a la fase de titanomagnetita, esta correlación indica nuevamente que los óxidos de Fe-Ti no constituyen una fracción importante de la paragénesis fraccionante y por tanto respalda el carácter tholeiítico de las rocas). Las evidencias petrográficas recolectadas en el presente estudio indican una gran similitud tanto en las fases primarias como secundarias para los gabros/dioritas y cuarzo-gabros/dioritas con gabros del Complejo Ofiolítico Tortuga. En ambas suites, se reconocen minerales asociables a la facies esquistos verdes con aparición de clinozoisita (epidota sin Fe), la cual puede ocurrir en condiciones de alta temperatura y baja presión (como metamorfismo de contacto) y/o en rocas con bajos contenidos de hierro. En ambas suites además, cloritas y actinolitas poseen bajos colores de interferencia y escaso pleocroísmo, evidenciando que la formación de estos minerales ocurrió a partir de la alteración de minerales primarios de composición magnésica. Finalmente, es posible observar una correlación entre las texturas (cómo así también en el modo de aflorar) de ambos tipos litológicos (Tabla 6-1), en donde texturas poiquilíticas, cumuladas y coroníticas son comunes.

En la Figura 6-10a se grafica el contenido de Ti frente al de Zr para 4 muestras del Complejo de Gabros y para unidades de la cuenca marginal y arco magmático a comparar. Este diagrama se ha utilizado para basaltos de diferentes ambientes tectónicos (PEARCE Y CANN, 1973) y en él se distinguen muy bien las tendencias divergentes tholeiítica de las ofiolitas chilenas (SUÁREZ, 1977, SAUNDERS ET AL, 1979, STERN, 1979, 1980) y calcoalcalina del arco magmático (Formación Hardy; MILLER ET AL., 1994). Aquí se evidencia que los gabros muestran una similitud composicional con gabros del Complejo Tortuga. Sin embargo, esta tendencia sólo se ve reflejada también en el diagrama de Y versus Zr no ocurriendo de la misma manera para los diagramas b) y c) de la Figura 6-10. Los diagramas de esta figura están validados dado que STERN Y ELTHON (1979) y STERN (1980) indicaron que el metamorfismo que afectó a la lavas y enjambres de diques de los complejos ofiolíticos y los diques laterales de la cuenca marginal Rocas Verdes provocó removilización de  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ , Rb y Sr, pero con una mínima a nula variación de  $\text{FeOt/MgO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , Zr, Y y elementos de las tierras raras (REE), comportamiento que está de acuerdo, a su vez, con la aceptación más generalizada de que los últimos elementos mencionados son considerados inmóviles durante procesos de metamorfismo en facies esquistos verdes (e.g., ROLLINSON, 1993).

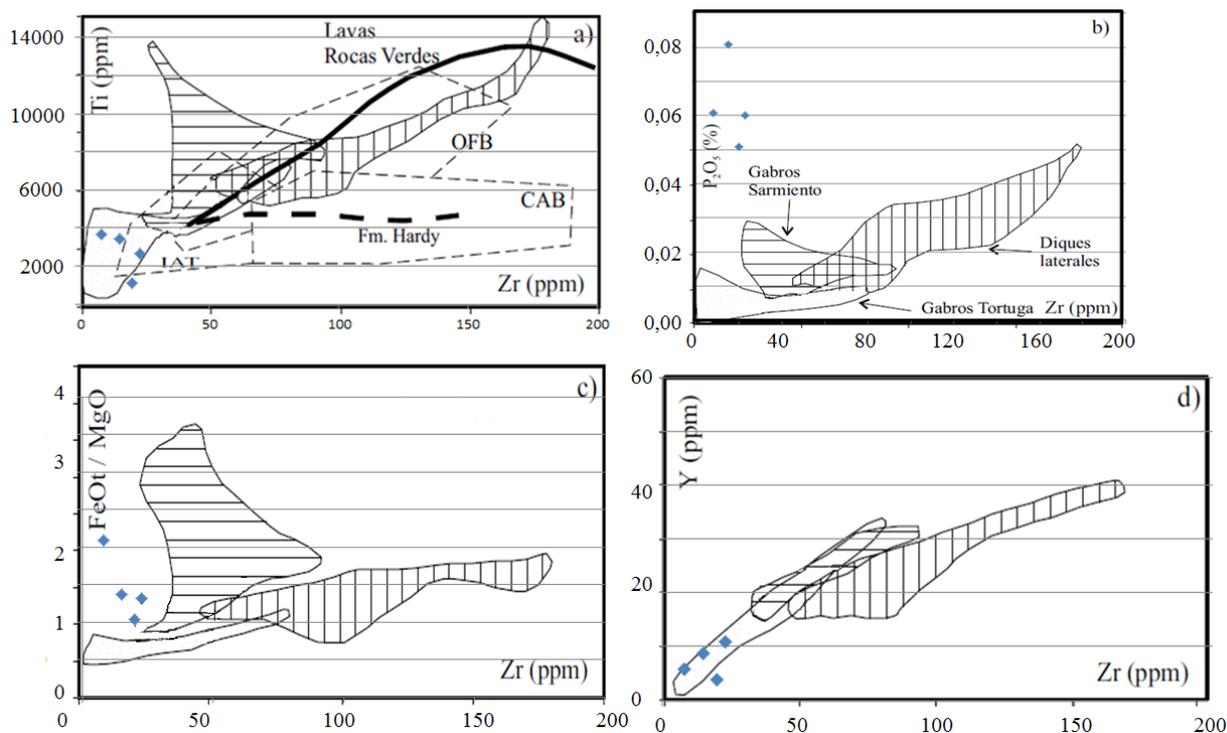


Figura 6-10: Diagramas de variación de (a) Ti, (b)  $\text{P}_2\text{O}_5$ , (c)  $\text{FeOt/MgO}$  y (d) Y frente a Zr para el Complejo de Gabros del presente estudio, gabros de los complejos Sarmiento (Saunders et al., 1979, Stern, 1979) y Tortuga (Suarez, 1977, Stern, 1979), y diques laterales respecto al eje de la cuenca marginal (Suarez, 1977, Saunders et al., 1979, Stern, 1980. En a) se indican además las tendencias tholeiíticas de las lavas de la cuenca marginal (Rocas verde; Stern, 1979), calcoalcalina del arco magmático (Formación Hardy; Miller et al., 1994) y los campos IAT (tholeiitas de arco insular), OFB (basaltos de fondo oceánico) y CAB (basaltos calcoalcalinos) de Pearce y Cann (1973). Imágenes modificadas de Gonzalez-Guillot (2010).

Dado que existen argumentos que favorecen la hipótesis de que estas rocas si pertenecen al Complejo Ofiolítico Tortuga (tipos de afloramientos, carácter tholeiítico, similitud mineralógica primaria y secundaria, tipo de metamorfismo asociado, edad estimada de uno de los gabros del complejo en estudio y diagramas de variación de Ti e Y versus Zr) pero que aún no son suficientes como para afirmarlo debido a que no son argumentos del todo poderosos y debido a que aún existen disyuntivas en cuanto a la química de las rocas del Complejo de Gabros (diagramas de variación de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y FeO/MgO versus contenido de Zr, razones desiguales de (La/Sm)<sub>N</sub> y (Nd/Yb)<sub>N</sub>), se hace imprescindible la comparación de los diagramas de REE propuestos en la Figura 6-1, ya que es aquí donde es posible apreciar información acerca de los distintos procesos petrogenéticos que han actuado en las rocas asumiendo que, como se mencionó anteriormente, las REE han permanecido inmóviles durante el metamorfismo en facies esquistos verdes que las afectó.

La Figura 6-1 muestra que los patrones de REE del grupo de gabros/dioritas y cuarzo-gabros/dioritas son desiguales a pesar de que las cantidades de Zr (rango entre <4-23ppm para el Complejo de Gabros y entre 3-14 ppm para gabros del Complejo Ofiolítico Tortuga) para ambos grupos son comparables, eliminando así procesos de diferenciación o variaciones en los grados de fusión parcial que formaron las rocas. En este diagrama y como se presentó anteriormente, la mayor diferencia radica en el empobrecimiento en LREE que presentan las rocas del Complejo Tortuga, característica que contrasta con los enriquecimientos relativos en estos elementos que presentan en general las rocas del Complejo de Gabros (evidenciado en las razones (La/Yb)<sub>N</sub>). Otro aspecto a considerar es el comportamiento anómalo y sutil enriquecimiento en LILE que presentan los gabros/dioritas y cuarzo-gabros/dioritas (Figura 4-26 y Figura 4-27) y su composición no afín con basaltos del tipo N-MORB (los cuales tienen afinidad con las rocas del Complejo Tortuga). Este hecho podría deberse a diferentes factores, como removilización metamórfica (e.g., STERN Y ELTHON, 1979), contaminación cortical, o bien podría reflejar una fuente enriquecida para los magmas parentales respecto al Complejo Tortuga y a N-MORB. Con el número de análisis disponibles de elementos traza no puede descartarse ninguno de estos tres factores, y es posible que todos hubieran actuado en conjunto. Los procesos de contaminación cortical pueden quedar evidenciados tanto por las razones de (Nd/Yb)<sub>N</sub> para las rocas en estudio, las cuales difieren de los valores calculados por HOFMANN (1988) para el manto primitivo y de los valores que presentan las rocas del Complejo Tortuga, como también por los bajos valores de #Mg (comparativamente) que presentan algunas rocas de gabros/dioritas a pesar de sus bajos contenidos de SiO<sub>2</sub>. La aparente y además incompleta anomalía negativa de Nb-Ta presente en las rocas del grupo de cuarzo-gabro/diorita visibles en la Figura 4-27 hacen pensar en una fuente metasomatisada con influencia de un ambiente de subducción, con aporte de LILE (enriquecimiento en elementos como Sr, K, Rb, Ba) y retención de Nb y Ta en fases refractarias en la zona de fusión parcial (e.g. WILSON, 1989). Esta característica no es de gran ayuda a la hora de discriminar el tipo de ambiente en el cual se generaron las rocas debido a que (i) se han reportado anomalías de Nb, Ta y Ti en complejos ofiolíticos (Sarmiento) y otros diques emplazados *off-axis* respecto a la cuenca marginal (BRUHN ET AL., 1978, SAUNDERS ET AL., 1979, MILLER ET AL., 1994, CALDERÓN ET AL., 2007B).(ii) La impronta de componentes de subducción es característica de cuencas marginales inmaduras (como por ejemplo la que refleja el complejo

Sarmiento) y más aún en ofiolitas asociadas a zonas de suprasubducción (SAUNDERS ET AL., 1979, STERN, 1980, STERN Y DE WIT, 2003). (iii) Previo a la apertura de la cuenca y durante su desarrollo existió un arco magmático activo (SUAREZ ET AL., 1985, MILLER ET AL., 1994)

A pesar de que con la argumentación previa, una relación de los gabros/dioritas y cuarzo-gabros/dioritas con rocas gabroicas pertenecientes al Complejo Ofiolítico no es descartable, si hasta el momento es muy poco probable. A continuación se presentan algunas recomendaciones para poder definir una mejor y más completa caracterización de las rocas del Complejo de Gabros y también se propone un ambiente de generación que cumple con las especificaciones descritas y que es, probablemente, el ambiente en el cual se generaron las rocas en cuestión.

#### *6.6.1.1.Recomendaciones.*

- Análisis a través del método de microsonda electrónica a fases frescas primarias de piroxenos y comparación composicional con datos ya estudiados de estas fases. (CALDERÓN ET AL, 2007; AVENDAÑO, 2008; GONZALEZ-GUILLOT ET AL., 2010).
- Análisis a través del método de microsonda electrónica a fases frescas primarias de plagioclasa tanto a muestras de gabros/dioritas como a muestras de cuarzo-gabros/dioritas con el fin de tener un mejor entendimiento de la relación entre estos dos grupos.
- Estudio de razones isotópicas iniciales de Sr y Nd en plagioclasas y clinopiroxenos relativamente frescos de los gabros acumulados que permitan una mejor clasificación y comparación de estos con gabros ofiolíticos (STERN Y DE WIT, 2003)
- Utilizar modelos de cristalización fraccionada y/o fusión parcial que aporten información sobre la fuente de estas rocas mediante los patrones de REE y permitan un mejor entendimiento los gabros/dioritas y cuarzo-gabros/dioritas del Complejo de Gabros aquí estudiado. Fuentes como las propuestas en STERN (1980) deben ser tomadas en consideración.
- Exploraciones científicas y estudios de islas de la franja NW-SE en donde se encuentran las islas Carolina, Sidney, Thomas y London y actualización de la Hoja Isla Hoste e Islas Adyacentes. Poca atención científica ha sido puesta en ofiolitas como Tortuga en comparación a otras ofiolitas del mundo según STERN Y DE WIT (2003) posiblemente debido a su remota locación y las dificultades logísticas presentes al momento de estudiarlas.

#### **6.6.2. Ambiente de Subducción: proto-placa oceánica bajo una corteza continental adelgazada.**

A partir de las diferencias químicas entre las rocas del complejo en estudio y las rocas del Complejo Tortuga mencionadas anteriormente, se hace necesario explicar otro posible origen para las rocas acumuladas.

Dada la configuración predominante en la zona de estudio para la edad obtenida de la muestra datada con el método de U-Pb (Ver 4.3 Geocronología de U-Pb en circones para tonalita

AA1419) mostrada en la Figura 6-9, se hace obligatorio pensar en si los gabros/dioritas y cuarzo-gabros/dioritas podrían haberse formado debido a la subducción de placa oceánica de la época bajo el margen continental Sudamericano.

La Figura 4-20 muestra la correlación del grupo de cuarzo-gabro/diorita del presente estudio con distintos ambientes tectónicos descritos en la literatura, aquí se puede apreciar que existen campos definidos para granitoides de arco volcánico en los que se grafican tanto las rocas antes mencionadas como las muestras más ácidas (tonalitas y granodioritas) y en donde se grafican también rocas pertenecientes al Batolito Fueguino (MONTES, 2013).

A pesar de que las rocas máficas en estudio están definidas por un carácter tholeiítico, esto no define ni restringe su ambiente de formación. BAKER (1973) por ejemplo, sugiere que arcos volcánicos maduros progresan desde una fase tholeiítica temprana hacia una fase eruptiva de magmas predominantemente calcoalcalinos. Adicionalmente, en un régimen de subducción y en condiciones hidratadas, es posible que dentro de una cámara magmática existan procesos de diferenciación magmática y cristalización fraccionada que den como resultado acumulados de minerales máficos formando rocas de composición más básica que el resto de la cámara magmática y originando así rocas con diferencias importantes entre el acumulado, rico en minerales máficos y localmente anhidro, y el resto de la cámara, que a su vez queda, relativamente empobrecida en elementos pesados y enriquecida en volátiles (Figura 6-11). El proceso anteriormente descrito, permite la formación de acumulados máficos enriquecidos en Fe y empobrecidos en álcalis que en definitiva adquieren un carácter tholeiítico (como el de las rocas del complejo en estudio) y permite además formar rocas calcoalcalinas al mismo tiempo. Además, cabe destacar que rocas acumuladas de carácter tholeiítico han sido descritas para el Batolito Fueguino (FO0819: gabro de olivino y clinopiroxeno de 69,6 Ma y FO0822: diorita de clinopiroxeno y hornblenda de 64,7 Ma; MONTES, 2013). La hipótesis de generación de rocas acumuladas con carácter tholeiítico a partir de los procesos descritos anteriormente tiene como evidencia visual justamente las texturas acumuladas que presentan las rocas en cuestión (Figura 3-2D), soportando así esta hipótesis (GILL, 2011). En términos petrográficos, existe una gran correlación entre la mineralogía primaria y secundaria descrita tanto para el Complejo de Gabros (HERVÉ ET AL., 1984) como para el Complejo de Gabros del presente estudio (Tabla 6-1). El comportamiento anómalo y sutil enriquecimiento de elementos móviles (Sr, K, Rb, Ba) que se puede observar en los distintos diagramas de las figuras Figura 4-26 y Figura 4-27 podría deberse a una fuente de contaminación debido a sedimentos subductados y fundidos parcialmente en profundidad que luego acarrear su signatura isotópica en la cuña mantélica suprayacente o bien podría deberse a una contaminación cortical debido al emplazamiento de estos líquidos poco diferenciados o incluso podría reflejar la signatura de la corteza oceánica que está siendo subductada, la cual puede venir alterada y metasomatizada previamente a su subducción por procesos de alteración hidrotermal de suelo oceánico. Cualquiera fuese el caso, la contaminación que presentan las muestras es plausible debido tanto a los patrones anómalos que presentan los diagramas de variación antes mencionados como también a los valores de las razones de  $(Nd/Yb)_N$  que presentan las muestras del complejo en estudio, los cuales son consistentemente mayores a los reportados para el manto primitivo (Tabla 6-2).

Al comparar los diagramas de REE de rocas pertenecientes al Batolito Fueguino con las muestras del presente estudio (Figura 6-2, Figura 6-3 y Figura 6-4) es necesario considerar que los procesos de diferenciación y variación en los grados de fusión parcial no pudieron ser eliminados del todo (aspecto visible en términos de #Mg y contenido de Zr para las muestras a comparar). Teniendo esto en consideración, parece haber una mejor correlación con las muestras del presente estudio en cuanto a la razón  $(La/Yb)_N$  para aquellas rocas pertenecientes al grupo IIIa de la Figura 6-2, las cuales corresponden a rocas con edades anteriores a la inversión de la cuenca de rocas verdes y que se correlacionan bien con la edad obtenida para el complejo de gabros en estudio.

Finalmente, las sutiles e incompletas anomalías de Nb-Ta y Zr-Hf del complejo del Complejo de Gabros en estudio simplemente reflejarían la impronta de un ambiente de subducción, mientras que la fuerte anomalía positiva de Sr indicaría la cristalización de plagioclasa cálcica como resultado de un proceso de acumulación de cristales como este y otros (e.g. piroxenos).

No es posible, mediante la química obtenida aquí, descartar ninguno de los modelos petrogenéticos para las rocas en cuestión. Aún así, en términos de probabilidad, un ambiente de generación asociado a la subducción y a procesos metasomáticos de contaminación parece ser una mejor opción. Sin embargo, existen otros procesos que deben tomarse en consideración debido a la multiplicidad de eventos que se describen en la zona de estudio para el tiempo correspondiente a la edad de la muestra datada. Generación de fundidos debido a procesos de subducción hacia el O como propone KLEPEIS ET AL. (2010) deben ser tomados en consideración y por eso es tan importante la formulación de modelos de variación de elementos (REE) basados en procesos de cristalización fraccionada y fusión parcial de fuentes conocidas (como las que reporta STERN, 1980) que permitan entender mejor manera la roca parental de los gabros/dioritas y cuarzo-gabros/dioritas del presente estudio. Sin embargo, hasta el momento los datos aquí expuestos parecen ser lo suficientemente concluyentes como para denotar que el Complejo de Gabros se habría emplazado producto de la subducción de una proto-placa oceánica bajo una corteza continental particularmente adelgazada en etapas tardías del desarrollo de la cuenca marina marginal de Rocas Verdes tal y como muestra la Figura 6-11.

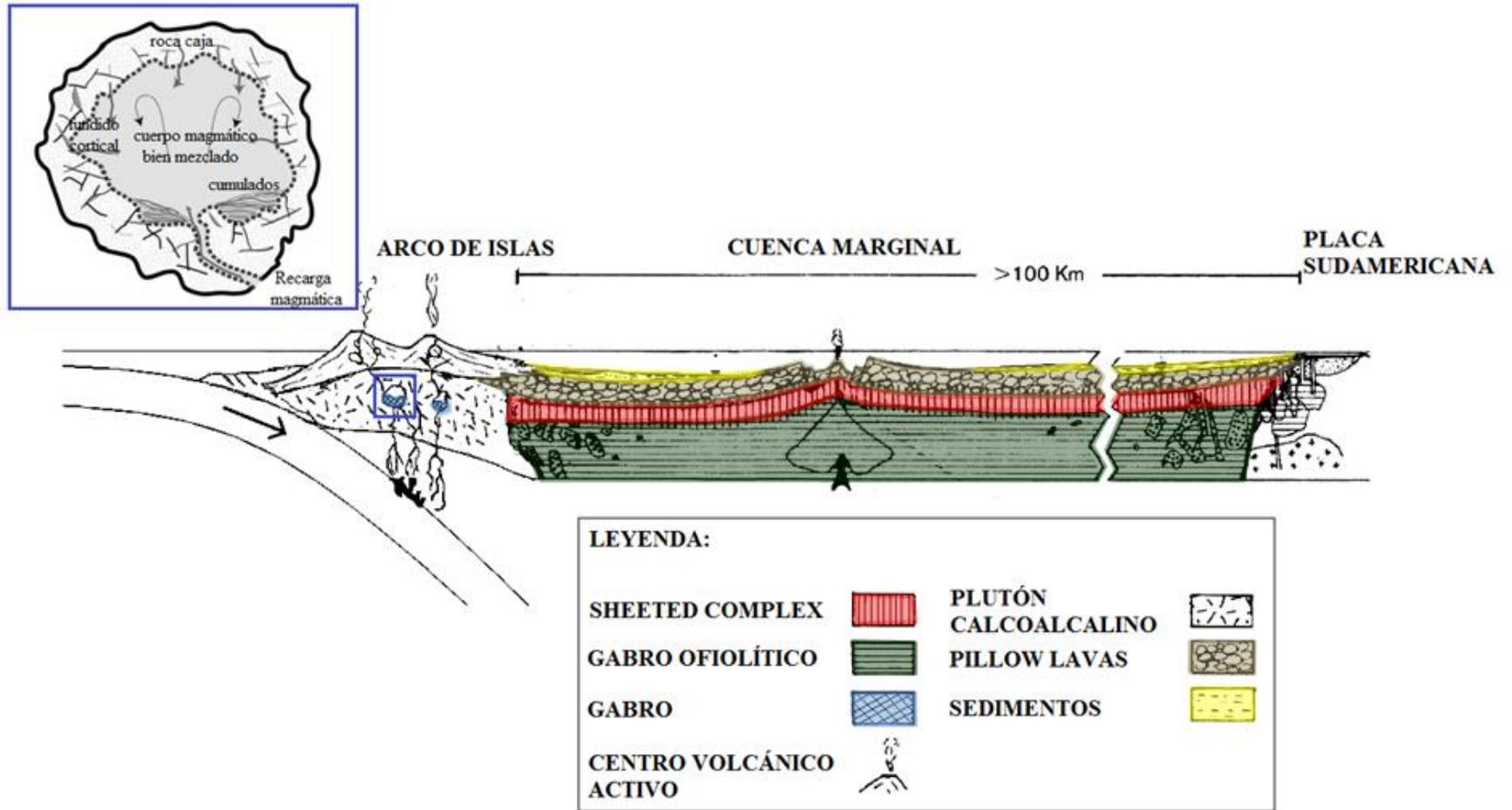


Figura 6-11: Perfil esquemático de la cuenca de Rocas Verdes en el Cretácico Temprano, modificado de Stern y De Wit (2003) y Montes (2013). Probable ambiente de formación de las rocas del Complejo de Gabros: subducción de una proto-placa oceánica bajo una corteza continental particularmente adelgazada.

## 7. CONCLUSIÓN

Las rocas gabroicas (gabros/dioritas y cuarzo-gabros/dioritas) intruyen y/o son intruidas por rocas de composiciones más ácidas en todas las islas estudiadas (islas Caroline, Thomas, Sidney y London del extremo austral de Chile y Sudamérica). Los granitoides (tonalitas y granodioritas) en tanto, presentan características e improntas claras de un ambiente de subducción (anomalías negativas de Ta-Nb y Ti) y pertenecen a afloramientos del Batolito Fueguino. El emplazamiento del complejo de gabros es también previo a la intrusión de diques de variadas morfologías y de composiciones basáltica y riolítica, los cuales cortan cuerpos intrusivos tanto de composiciones ácidas como básicas en la zona. Los diques de composiciones más máficas corresponden a basaltos de carácter calcoalcalino altamente alterados (actinolitizados) relacionados genéticamente con el volcanismo de las Formaciones Yaghán y Hardy.

Las fases minerales primarias para el complejo gabroico corresponden a plagioclasa, clinopiroxeno, ortopiroxeno, hornblenda, olivino y en menor medida biotita y cuarzo. Sus minerales opácos son magnetita, ilmenita, pirita, calcopirita, pirrotina y esfalerita y ninguno de ellos constituye mena para sus respectivos elementos debido a las bajas concentraciones obtenidas para estos utilizando los métodos de ICP-AES y fluorescencia de rayos X. La mineralogía secundaria del complejo hace referencia a la facies de esquistos verdes con la asociación mineral compuesta por: albita- actinolita-clorita-epidota-±stilpnomelano-±titanita.

Las texturas ígneas más comunes presentes en las rocas del Complejo de Gabros son poiquilítica, cumulada, fanerítica, coronítica, glomeroporfirica, porfídica y simplectítica.

El cuerpo de tonalita datado mediante el método de U-Pb en circones corresponde efectivamente a un segregado magmático que tiene a un gabro/diorita como roca parental, por lo que la edad obtenida de  $122,88 \pm 0,69$  Ma correspondiente al Cretácico Inferior - aptiano corresponde efectivamente a la edad mínima de cristalización de un gabro/diorita perteneciente al Complejo de Gabros.

Las rocas máficas (gabros/dioritas, cuarzo-gabros/dioritas y basaltos) tienen un carácter tholeiítico, son metaluminosas y presentan todos altos contenidos de CaO (>9,8%).

Los diagramas de REE normalizados a N-MORB, REE normalizados a condrito y los diagramas multielementos normalizados a MORB y Manto Primordial de las rocas del Complejo de Gabros indican bajos contenidos de REE con respecto a MORB, anomalías positivas de Sr referente al fraccionamiento (cristalización temprana y acumulación en condiciones anhidras) de plagioclasa cálcica en la roca, indicios de improntas de un ambiente de subducción con anomalías incompletas y sutiles de Nb-Ta y Zr-Hf y comportamientos anómalos y leves enriquecimientos en elementos del tipo LILE indican procesos de metasomatización y removilización asociados a las rocas.

Comparaciones de afinidades químicas, mineralógicas, texturales y de contenidos de REE normalizadas a condrito parecen descartar una relación cogenética con las rocas pertenecientes a la cuenca de Rocas Verdes (Complejos Tortuga y Sarmiento, además de diques laterales pertenecientes a esta cuenca) dándole a un modelo petrogenético del tipo subducción una mayor probabilidad de ser el ambiente formador de las rocas máficas muestreadas. Sin embargo, un mayor estudio de la zona debido a la falta de actualización de datos y complejidad geológica que contiene la misma, siempre será de gran utilidad. Es por esto, que análisis de fases primarias como piroxenos o plagioclasas mediante el método de microsonda electrónica en las rocas del Complejo de Gabros, modelos de cristalización fraccionada y/o fusión parcial que aporten información sobre la fuente de los mismos, estudios isotópicos de Sr y Nd en fases tempranas de las rocas (plagioclasa y clinopiroxeno) y una exploración más detallada de la franja en la cual se ubican las islas Caroline, Thomas, Sidney y London, son recomendaciones válidas para refinar la verdadera génesis de los gabros/dioritas y cuarzo-gabros/dioritas.

Finalmente, se concluye que los datos aquí expuestos parecen ser lo suficientemente indicativos como para denotar que el Complejo de Gabros se habría emplazado producto de la subducción de una proto-placa oceánica bajo una corteza continental particularmente adelgazada en etapas tardías del desarrollo de la cuenca marina marginal de Rocas Verdes.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Avendaño, V. 2008. Petrología del Complejo Ofiolítico Tortuga, Magallanes Chile: Evidencias de un metamorfismo Cretácico Inferior. Memoria de Título. Universidad de Chile. Departamento de Geología. Santiago.
- Baker, P. E. 1973. Volcanism at destructive plate margins. *F. Earth Science. Leeds* 8. 183-195.
- Barton, M.D., Young, S. 2002. Non-pegmatitic deposits of beryllium: mineralogy, geology, phase equilibria and origin in E.S. Grew, ed., *Beryllium: Mineralogy, Petrology and Geochemistry: Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, v. 50, p. 591-691.
- Best, M. G. 2009. *Igneous and metamorphic petrology*. Wiley–Blackwell.
- Beccaluva, L.; Macciotta, G.; Messiga B.; Piccardo, G.B. 1979. Petrology of the Blue Schists/metamorphic ophiolites of the Montenotte nappe (Western Liguria – Italia). *Offioliti* 4: 239-268.
- Bruhn, R.; Stern, C.R.; De Wit, M.J. 1978. Field and geochemical data bearing on the development of a Mesozoic volcano-tectonic rift zone and back-arc basin in southernmost South America. *Earth and Planetary Science Letters*. Volumen 41, p. 32-46.
- Cabanis, B., and Lecolle, M. 1989. Le diagramme La/10–Y/15–Nb/8: un outil pour la discrimination des series volcaniques et mise en evidence des processus de mélange et/ou de contamination crustale. *C.R.Academic. Science. S.II*,309: 2023–2029.
- Calderón, M.; Fosdick, J.C.; Warren, C.; Massone, H.J.; Fanning, C.M.; Fadel Cury, L.; Schwanethal, J.; Fonseca, P.E.; Galaz, G.; Gaytán, D.; Hervé, F. 2012. The low-grade Canal de las Montañas Shear Zone and its role in the tectonic emplacement of the Sarmiento Ophiolitic Complex and Late Cretaceous Patagonian Andes orogeny, Chile. *Tectonophysics*. Volumes 524-525. Págs. 165-185.
- Calderón, M.; Fildani, A.; Hervé, F.; Fanning, C.M., Weislogel, A.; Cordani, U. 2007a. Late Jurassic bimodal magmatism in the northern seafloor remnant of the Rocas Verdes basin, southern Patagonian Andes: *Journal of Geological Society*. 164(5).1011-1022.
- Calderón, M., Hervé, F., Cordani, U., Massonne, H., 2007b, Crustmantle interactions and generation of silicic melts: insights from the Sarmiento Complex, southern Patagonian Andes: *Revista Geológica de Chile*, 34(2), 249-275.
- Calderón, M., Hervé, F., Massonne, H. J., Tassinari, C. G., Pankhurst, R. J., Godoy, E., Theye, T. 2007c. Petrogenesis of the Puerto Edén Igneous and Metamorphic Complex, Magallanes, Chile: Late Jurassic syn–deformational anatexis of metapelites and granitoid magma genesis. *Lithos*, volumen 93, p. 17–38.

- Cox, K. G., Bell, J. D. & Pankhurst, R. J. (1979). *The Interpretation of Igneous Rocks*. George Allen & Unwin.
- Cruzat, A.; Fuenzalida, R.; Page, B.; *et al.* 1970. Estudio geológico de la comuna de Navarino. Inst. Invest. Geol. (Inédito). Santiago.
- Dalziel, I.W.D. 1981. Back-arc extension in the southern Andes: A review and critical reappraisal. *Royal Society of London Philosophical Transactions, series A 300*: 319-335.
- Dalziel, I. W. D. 1986. Collision and Cordilleran orogenesis: an Andean perspective. *Geological Society, London, Special Publications, volumen 19*, 389–404.
- Dalziel, I.W.D., Brown, R.L., 1989, Tectonic denudation of the Cordillera Darwin metamorphic core complex in the Andes of Tierra del Fuego, southernmost Chile: Implications for Cordilleran Orogenesis, *Geology*, 17, 699-703.
- Dalziel, I., de Wit, M., Maarte,J., Palmer, K. 1974. Fossil marginal basin in the southern Andes. *Nature*, 250, p. 291-294.
- Dalziel, I., Lawver, L., Norton, I., Gahagan, L. 2013. The Scotia Arc: Genesis, evolution, global significance. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences, volumen 41*, 767–793.
- De La Roche, H., Leterrier, J., Grandclaude, P., Marchal, M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1R2-diagram and major element analyses – its relationships with current nomenclature. *Chemical Geology 29*, 183–210.
- De Wit, M.J.; Stern, C.R. 1976. A model for ocean floor metamorphism, seismic layering and magnetism. *Nature 264*: 615-619.
- Elthon D.; Stern, C. 1978. Metamorphic petrology of the Sarmiento ophiolite complex, Chile. *Geology 6*: 464-468.
- Endter, A. 1912. Informe preliminar referente a la ocurrencia de depósitos de cobre en las islas Hind, Morton, Henderson, en el territorio de Magallanes, Chile. (Inédito, particular) Archivo, Servicio Nacional de Geología y Minería. (Chile). Santiago.
- Evans, A.M. 1980. An introduction to Ore Geology. *Geoscience Text. Volumen 2*, p. 4.
- Faundez, V., Hervé, F., Lacassie, J.P. 2002. Provenance and depositional setting of pre-Late Jurassic turbidite complexes in Patagonia, Chile. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics, volumen 45*, 411-425.

- Fildani, A., Cope, T. D., Graham, S. A., & Wooden, J. L. 2003. Initiation of the Magallanes foreland basin: Timing of the southernmost Patagonian Andes orogeny revised by detrital zircon provenance analysis. *Geology*, volumen 31(12), 1081–1084.
- Forsythe, R.; Mpodozis, C. 1983. Geología del basamento pre-Jurásico Superior en el archipiélago Madre de Dios, Magallanes, Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín 39: 63 p.
- Frost, B., Barnes, C., Collins, W., Arculus, R., Ellis, D., Frost, C. 2001. A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology*, volumen 42, number 11, 2033–2048.
- Gill, R. 2011. *Igneous rocks and processes: a practical guide*. Wiley–Blackwell.
- González-Guillot, M., Acevedo, R., Escayola, M., 2010, El Gabro Rancho Lata: Magmatismo mesozoico off-axis de la cuenca marginal Rocas Verdes en los Andes Fueguinos de Argentina: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 27, núm. 3, p. 431-448.
- Harambour, S. M. 2002 b. Mega backfolding in the inner part of Magallanes fold and thrust belt, Gajardo Channel, Magallanes, Chile. 15o Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 230-231.
- Hastie, A. R., Kerr, A. C., Pearce, J. A. & Mitchell, S. F. 2007. Classification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements: development of the Th Co discrimination diagram. *Journal of Petrology* 48, 2341–2357.
- Hervé, F., Calderón, M., Fanning, M., Kraus, S., Pankhurst, R. 2010. SHRIMP chronology of the Magallanes Basin basement, Tierra del Fuego: Cambrian plutonism and Permian high-grade metamorphism. *Andean Geology*, volume 37, p. 253-275.
- Hervé, F., Greene, F., Pankhurst, R.J. 2003. Metamorphosed fragments of oceanic crust in the upper Paleozoic Chonos accretionary complex, southern Chile. *Journal of South American Earth Sciences*. Volumen 7, 263-267.
- Hervé, F., Nelson, E., Kawashita, K., Suárez, M. 1981. New isotopic ages and the timing of orogenic events in the Cordillera Darwin, southernmost Chilean Andes. *Earth and Planetary Science Letters*, volumen 55, 257–265.
- Hervé, F., Pankhurst, R. J., Fanning, C. M., Calderón, M., Yaxley, G. M. 2007. The South Patagonian batholith: 150 my of granite magmatism on a plate margin. *Lithos*, volumen 97, 373–394.
- Hervé, M.; Suárez, M.; Puig, A. 1984. The patagonian batholith south of Tierra del Fuego, Chile: timing and tectonic implications. *Geological Society of London, Journal* 141: 909-917.

- Hofmann, A.W. 1988. Chemical differentiation of the Earth: The relationship between mantle, continental crust, and oceanic crust. *Earth and Planetary Science Letters* 90: 297-314
- Irvine, T. N. & Baragar, W. R. A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences* 8, 523–548.
- Karig, D. 1971. Origin and development of marginal basins in the western Pacific. *Journal of Geophysical Research*. N°76. 2545-2561.
- Katz, H.R.; Watters, W.A. 1966. Geological investigation of the Yahgan formation (Upper Mesozoic) and associated igneous rocks of Navarino Island, southern Chile. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics* 9: 323-359.
- Klepeis, K., Austin, J. 1997. Contrasting styles of superposed deformation in the southernmost Andes. *Tectonics*, volumen 16, número 5, p. 755-776.
- Klepeis, K., Betka, P., Clarke, G., Fanning, M., Hervé, F., Rojas, L., Mpodozis, C., Thomson, S. 2010. Continental underthrusting and obduction during the Cretaceous closure of the Rocas Verdes rift basin, Cordillera Darwin, Patagonian Andes. *Tectonics*, volumen 29.
- Kraemer, P. E. 2003. Orogenic shortening and the origin of the Patagonian orocline (56° S.Lat). *Journal of South American Sciences* 15: 731-748.
- Le Maitre, R. W. 1989. *A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Recommendations of the IUGS Commission on the Systematics of Igneous Rocks.* Oxford: Blackwell.
- Lodolo, E., Civile, D., Vuan, A., Tassone, A., Geletti, R. 2010. The Scotia-Antarctica plate boundary from 35°W to 45°W. *Earth and Planetary Science Letters*, volumen 293, 200-215.
- McDonough, W.F.; Sun, S.S.; Ringwood, A.E.; Jagoutz, E; Hofmann, A.W. 1992. Potassium, Rubidium and Cesium in the Earth and Moon and the evolution of the mantle of the Earth. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 56: 1,001-1,012.
- Mercer, J. H. 1970. Variations of some Patagonian glaciers since the Late-Glacial; II. *American Journal of Science*, volumen 269, 1–25.
- Meschede, M. (1986). A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb–Zr–Y diagram. *Chemical Geology* 56, 207–218.
- Miller, C.A., Barton, M., Hanson, R.E., Fleming, T.H., 1994, An Early Cretaceous volcanic arc marginal basin transition zone, Peninsula Hardy, southernmost Chile: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 63(1-2), 33-58.

- Montes, M. 2013. Evolución Magmática del Batolito Fueguino, XII Región de Magallanes y de la Antártica Chilena, Chile. Memoria de Título. Universidad de Chile. Departamento de Geología. Santiago.
- Mpodozis, C. 1980. Islas Ildefonso, Tierra del Fuego: Depósitos de ante arco del sistema Magallánico. *Revista Geológica de Chile* N°11. Págs. 91-99.
- Nockolds, S.R.; Allen, R. 1956. The Geochemistry of some igneous rock series-III. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. Volume 9, Issues 1-2. p. 34-77
- Pankhurst, R.J.; Tiley, T.R.; Fanning, C.M.; Kelley, S.P. 2000. Episodic silicic volcanism in Patagonia and Antarctic Peninsula: Chronology of magmatism associated with the break-up of Gondwana. *Journal of Petrology* 41: 605-625.
- Pearce, J.A., Cann, J.R., 1973, Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace elements analysis: *Earth and Planetary Science Letters*, 19(2), 290-300.
- Pearce, J. A., Harris, N. W. & Tindle, A. G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology* 25, 956–983.
- Pearce, J.A.; Norry, M.J. 1979. Petrogenetic implications of Ti, Zr and Nb variations in volcanic rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 32: 33-47.
- Poblete, F.; Roperch, P.; Hervé, F.; Diraison, M.; Espinoza, M.; Arriagada, C. 2015. The curved Magallanes fold and thrust belt: Tectonic insights from a paleomagnetic and anisotropy of magnetic susceptibility study.
- Prades, C. Petrología y metamorfismo de las rocas basálticas en las isla Capitán Aracena, isla Carlos III, y estero La Pera, Región de Magallanes, Chile. Memoria de Título (2008). Universidad de Chile. Departamento de Geología. Santiago.
- Rapalini, A.E.; Calderón, M.; Singer, S.; Hervé, F.; Cordani, U. 2008. Tectonic implications of a paleomagnetic study of the Sarmiento Ophiolitic Complex, Southern Chile. *Tectonophysics*. Volume 452. Issues 1-4. Pages 29-41.
- Rollinson, H.R. 1993. *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Essex: Longman Scientific & Technical, volume 352.
- Saunders, A.D., Tarney, J., Stern, C.R., Dalziel, I.W.D., 1979, Geochemistry of Mesozoic marginal basin floor igneous rocks from southern Chile: *Geological Society of America Bulletin*, 90(3), 237-258.
- Schilling, J.G. 1985. Upper mantle heterogeneities and dynamics. *Nature* 314: 62-67.

- Shervais, J. W. 1982. Ti–V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas. *Earth and Planetary Science Letters* 59, 101–118.
- Stambuk, V. 1970. Estudio geológico, económico y geoquímico del área Yendegaia, comuna de Navarino, Provincias de Magallanes. Memoria de Título. Universidad de Chile. Departamento de Geología. p. 114. Santiago.
- Stern, C.R. 1979. Open and closed system igneous fractionation within two Chilean ophiolites and the tectonic implications. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 68: 243-258.
- Stern, C.R. 1980. Geochemistry of Chilean Ophiolites: Evidence for the compositional evolution of the mantle source of back-arc basin basalts. *Journal of Geophysical Research*. Vol.85. N° B2. 955-966.
- Stern, C.R.; De Wit, M.J.; Lawrence, J.R. 1976. Igneous and metamorphic processes associated with the formation of Chilean ophiolites and their implications for ocean floor metamorphism, seismic layering, and magnetism. *Journal of Geophysical Research* 81, 23: 4370-4380.
- Stern, C.R.; de Wit, M.J. 2003. Rocas Verdes ophiolites, southernmost South America: remnants of progressive stages of development on oceanic-type crust in a continental margin back-arc basin. In *Ophiolites in Earth History* (Dilek, Y.; Robinson, P.T.; editors), Geological Society, London, Special Publications 218: 1-19.
- Stern, C.R.; Elthon, D. 1979. Vertical variations in the effects of hydrothermal metamorphism in Chilean ophiolites: their implications for ocean floor metamorphism. *Tectonophysics* 55: 179-213.
- Streckeisen, A. 1974. Classification and nomenclature of plutonic rocks. *Geologische Rundschau* 63, 773–786.
- Suarez, M. 1976. Plate-tectonic model for southern Antarctic Peninsula and its relation to southern Andes. *Geological Society of America*. Págs. 211-214.
- Suarez, M. 1977. Aspectos Geoquímicos del Complejo Ofiolítico Tortuga. En la cordillera Patagónica del sur, Chile. *Revista Geológica de Chile* N°4, pp, 3-14.
- Suarez, M., Hervé M., Puig, A. 1985. Basic Magmas in the early evolution of the Southernmost Patagonian Batholith, Chile. *Geologische Rundschau* 74/2, 337–342.
- Suarez, M., Hervé, M., Puig, A. 1985. Hoja Isla Hoste e Islas Adyacentes, XII Región. *Cartageológica de Chile, Servicio Nacional de Geología y Minería*, número 65.

- Suarez, M. 1978. Geología del área al sur del Canal Beagle: region Magallanes y Antártica Chilena, escala 1:500.000. IIG, Carta Geológica de Chile (n.36): 48 p., il., 1 mapa, Santiago.
- Sun, S.S. and McDonough, W.F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes. In: Magmatism in the ocean basins. Saunders, A.D. and Norry, M.J. (Editors), Geological Society of London, London. 42: 313-345.
- Thompson, R.N. 1982. British Tertiary volcanic province. *Scott. F. Geol.*, 18, 49-107.
- Thomson, S.N., Hervé, F. 2002. New time constraints for the age of metamorphism at the ancestral Pacific Gondwana margin of southern Chile (42-52°S). *Revista Geológica de Chile* 29 (2): 255-271.
- Uliana, M.A., Biddle, K.T., Cerdan, J., 1989. Mesozoic extension and the formation of Argentine sedimentary basins, in: Tankard, A.J., Balkwill, H.R. (Eds.), *Extensional tectonics and stratigraphy of the North Atlantic margins*, AAPG Memoir 46, American Association of Petroleum Geologists, pp. 599-614.
- Watters, W.A. 1965. Prehnitization in the Yahgan formation of Navarino island, southernmost Chile. *Mineralogical Magazine* 268: 517-527.
- Wilson, M. 1989. *Igneous Petrogenesis*. London, Unwin Hyman. 466.
- Wilson, T.J. 1991. Transition from back-arc to foreland basin development in southernmost Andes: Stratigraphic record from the Ultima Esperanza District, Chile. *Geological Society of America Bulletin* 103: 98-111.
- Winslow, M.A. 1982. The structural evolution of the Magallanes basin and neotectonics in the southernmost Andes. In *Antarctic Geosciences, Symposium on Antarctic Geology and Geophysics* (Craddock, C.; editor). University of Wisconsin Press, p. 143-154, Madison.



## 9. ANEXOS

### 9.1. ANEXO A: DESCRIPCIONES PETROGRÁFICAS EN LÁMINA DELGADA

**Muestra N°: AA1402**

Clasificación petrográfica : **gabro de clinopiroxeno y hornblenda**

Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas

Roca fanerítica, de grano fino a medio (0.3 - 4 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isótropa, homogénea. Texturas cumulada, poiquilitica (cristales subhedrales a anhedrales de plagioclasa como inclusiones en cristales de hornblenda). Mesocrática (40% de minerales máficos). Reemplazo de hornblenda por actinolita leve a medio y uralitización (hidratación de piroxenos a hornblenda o actinolita). Baja presencia de minerales de alteración epidota y clorita. Asociación mineral de fases de alteración en equilibrio corresponde a albíta-actinolita-clorita-epidota (facies esquistos verdes). Sericitización leve y selectiva en plagioclasas y albitización. No se observan vetillas ni estructuras de deformación (metamorfismo dinámico).

Fotografía de la muestra (aspecto general)



**AA1402:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de plagioclasa y anfíbol. Menor óxidos de Hierro. Presenta Magnetismo intenso.

Microfotografía (aspecto general)



**Muestra AA1402:** Microfotografía a nicoles cruzados con aumento de 2x. Se observan plagioclasas no orientadas y cristales de hornblenda y actinolita crecidos intersticialmente.

Observaciones microscópicas

Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	65	Albitización y actinilitización leve a media. Sericitización leve.	Subhedral. Tabular. Inequigranular (0.3 - 4 mm). Diseminadas y como inclusión en cristales de anfíbol. Macla albíta y periclina, algunas zonadas. An60.
Clinopiroxeno	5	Uralitización a hornblenda fibroso y/o actinolita.	Anhedral. Masivo. Inequigranular (0.5 - 2 mm). Diseminado e intercrecido con hornblenda y actinolita.
Hornblenda	30	Actinolitización leve a intensa	Subhedral a Anhedral. Prismático y Masivo. Inequigranular. (0.2 - 3 mm). Diseminado con relictos de piroxeno y cristales de plagioclasa como inclusiones y común intersticialmente entre cristales de plagioclasa.

Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)

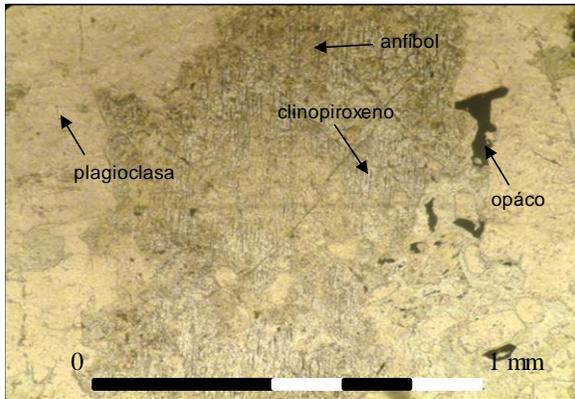
Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Actinolita	20	Subhedral. Acicular y masiva. Inequigranular (< 2 mm). Diseminado y como reemplazo de plagioclasas y hornblenda.
Epidota	2	Subhedral. Granular. Inequigranular (<0.1 mm). Diseminada. Variedades zoisita y pistacita.
Clorita	2	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.3 mm). Diseminado, en cúmulos y como reemplazo de hornblenda.
Sericita	1	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.1 mm). Diseminado y reemplazando a plagioclasas.

Asociación mineral en equilibrio textural: albíta + actinolita + epidota + clorita

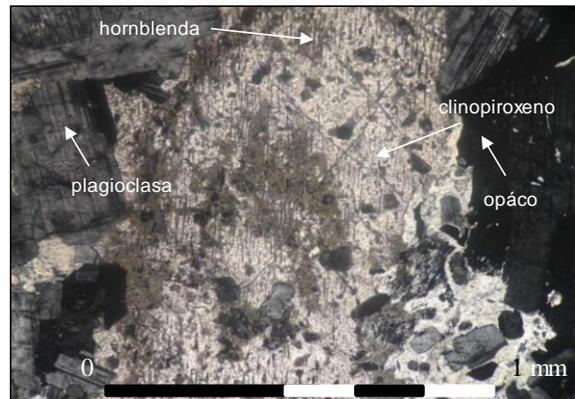
**Minerales opácos**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Opácos	5	Magnetismo intenso en la muestra (magnetita?).
Óxidos de Hierro	1	Observable en rechazo.

**Selección de Microfotografías**



**Muestra AA1402:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 10x. Cristal de clinopiroxeno intercrecido con hornblenda (uralitización). También se observan cristales de plagioclasa y opácos.



**Muestra AA1402:** Microfotografía a nicols cruzados con aumento de 10x. Cristal de clinopiroxeno intercrecido con hornblenda (uralitización). También se observan cristales de hornblenda (textura poiquilítica).

**Muestra N°: AA1403**

Clasificación petrográfica : gabro de clinopiroxeno y hornblenda.

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

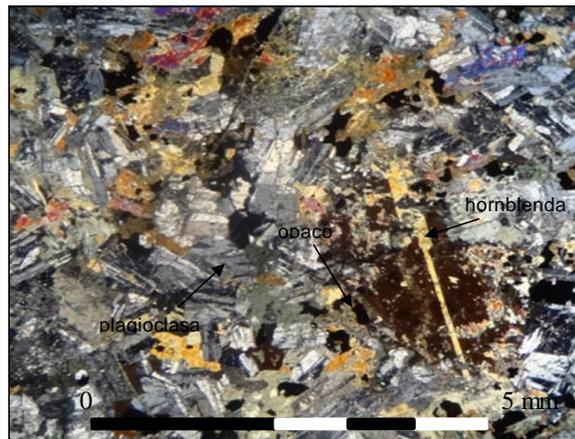
Roca fanerítica, de grano fino a medio (0.3 - 4 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isótropa, homogénea. Texturas cumulada, poiquilítica (cristales de piroxeno, plagioclasas y opácos como inclusiones en cristales de hornblenda). Mesocrática (40% de minerales máficos). Actinolitización de hornblenda medio a intenso y uralitización intensa (piroxenos reemplazados casi totalmente por anfíbol). Minerales de alteración epidota (pistacita y zoicita), cuarzo, actinolita, clorita y stilpnomelano (facies esquistos verdes). Vetilla de ~1.5 mm de espesor, recta, continua, con halo de sericita y de bordes nítidos rellena con epidota, cuarzo, actinolita, clorita y opácos cortada por vetillas de ~0.05 mm de espesor, sinuosas, discontinuas, sin halo y de bordes nítidos rellenas con stilpnomelano.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1403:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de plagioclasa y anfíbol. Vetillas de espesores variables (~0,1-~2 mm) rellenas con epidota, cuarzo, actinolita, clorita y opácos.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra AA1403:** Microfotografía a nicols cruzados con aumento de 2x. Se observan cristales de plagioclasa no orientadas con sericitización leve y albitización, hornblenda.

**Observaciones microscópicas**

**Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$**

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	65	Actinolitización media a intensa. Sericitización leve a media. Albitización y Argilización media.	Subhedral. Tabular. Inequigranular (0.3 - 4 mm). Diseminado. Macla carlsbad-albita. An55.
Clinopiroxeno	5	Uralitización intensa a hornblenda y/o actinolita.	Anhedral. Masivo. Inequigranular (0.5 - 2 mm). Diseminado. Reemplazado por hornblenda actinolitzado.
Hornblenda	30	Actinolitización media a intensa	Subhedral. Prismática. Inequigranular (0.1 - 2 mm). Diseminado.

**Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)**

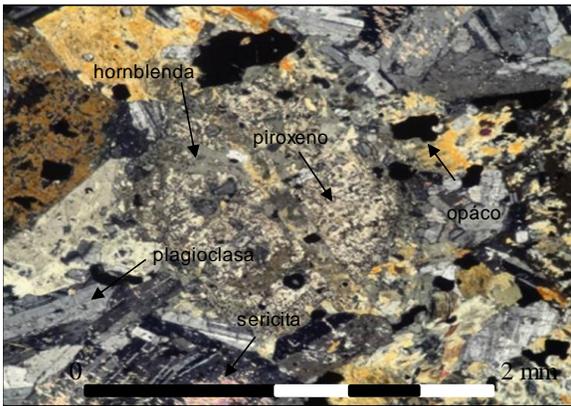
Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Actinolita	20	Subhedral. Acicular y masivo. Inequigranular (0.1- 2 mm). Como reemplazo de plagioclasa y hornblenda y en vetilla de ~ 1.5 mm.
Epidota	2	Subhedral. Granular. Inequigranular (<0.1 mm). Diseminado y en vetilla de ~ 1.5 mm. Variedades pistacita y zoisita.
Stilpnomelano	1	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.3 mm). En cúmulos, como reemplazo de hornblenda, plagioclasa y en vetillas de ~0.05 mm.
Cuarzo	2	Anhedral. Masivo. Inequigranular (< 0.25 mm). En vetilla de ~ 1.5 mm.
Sericita	3	Subhedral. Micáceo. Inequigranular (<0.1 mm). Diseminado y reemplazando a plagioclasas.
Clorita	tr	Subhedral. Inequigranular (<0.1 mm). En cúmulos, reemplazando a plagioclasas y en vetilla de ~ 1.5 mm.
Arcillas	3	<< 0.1 mm. Reemplazando selectivamente a plagioclasas.

**Asociación mineral en equilibrio textural: albita+actinolita+clorita+epidota+cuarzo**

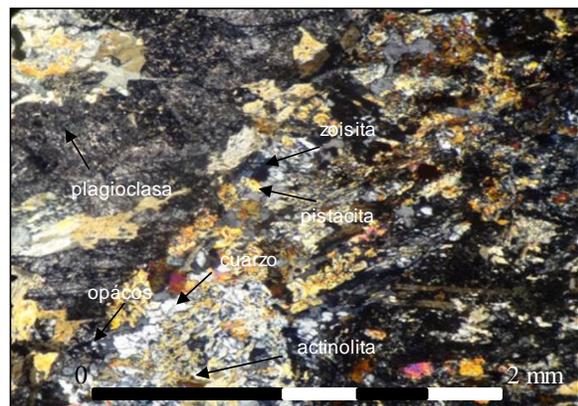
**Minerales opácos**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Opácos	6	Diseminado. Ver descripción petrográfica de minerales opácos de este corte.
Oxidos de Hierro	1	Observable en rechazo.

**Selección de Microfotografías**



**Muestra AA1403:** Microfotografía a niclos cruzados con aumento de 5x. Cristal de piroxeno intercrecido con cristal de hornblenda. También se observan cristales de plagioclasa con sericitización y albitización y opácos.



**Muestra AA1403:** Microfotografía a niclos cruzados con aumento objetivo de 5x. Vetilla de ~1.5 mm de espesor, continua, recta, con halos de sericitita diseminada, rellena con cristales de epidota en fases pistacita y zoisita, cuarzo, actinolita, clorita (no en imagen) y opácos.

**Muestra N°: AA1404**

Clasificación petrográfica : **monzo-granito de hornblenda.**

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

Roca fanerítica, de grano fino a medio (< 4 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isótropa, homogénea. Textura aplítica y Textura gráfica (intercrecimiento entre cuarzo y feldespato). Leucocrática (15% de minerales máficos). Cloritización media de máficos (anfíbol). Actinolitización media de feldespatos. Presenta plagioclasas zonadas concéntricamente. Vetillas de espesor variable pero menor a ~0,2 mm rellenas con epidota (pistacita y zoisita), semi-rectas, discontinuas, sin halo y de bordes nítidos. Los minerales de alteración corresponden a stilpnomelano, epidota, clorita, actinolita y menor contenido de arcillas. la asociación mineral en equilibrio textural es albita-actinolita-clorita-epidota-stilpnomelano (facies esquistos verdes).

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1404:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de feldespato, anfíboles, cuarzo y microvetilla semirecta, discontinua sin halo, de bordes nítidos rellena con epidota.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra AA1404:** Microfotografía a nicoles cruzados con aumento de 2x. Se observan cristales de feldespato potásico con sericitización media, cuarzo, hornblenda, clorita y vetillas rellenas con epidota.

**Observaciones microscópicas**

Componentes minerales:  $\Sigma = 100\%$

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Feldespato	15	Actinolitización media	Anhdral. Masivo. Inequigranular (1 - 2.3 mm). Diseminado. No presenta maclas.
Plagioclasa	25	Albitización media Actinolitización media	Subhedral. Masivo. Inequigranular. ( 1 - 2 mm). Diseminado. Macla Periclina y Albita. Algunas zonadas concéntricamente
Cuarzo	45		Anhedrales. Masivo. Inequigranular (<0.1-4 ). Diseminado.
Hornblenda	15	cloritización leve a media.	Subhedral. Prismático. Inequigranular (0.5 - 1 mm). Diseminado y en cúmulos.

**Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)**

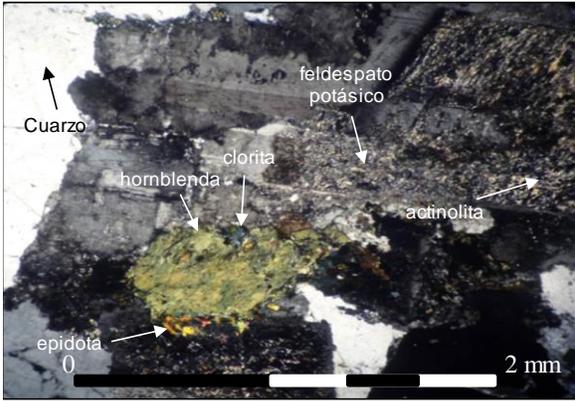
Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Epidota	7	Subhedral. Granular. inequigranular (<0.1 mm). Diseminado y en vetillas de espesor variable ~ 0.2 mm. Variedades zoisita y pistacita.
Clorita	15	Subhedral. Laminar. Inequigranular (0.1 - 1 mm). Diseminado y en cúmulos como reemplazo de hornblenda.
Stilpnomelano	2	Subhedral. Fibroso. Inequigranular (0.1 - 0.5 mm). Intercrecido con cristales de clorita y hornblenda.
Actinolita	10	Subhedral. Acicular. Inequigranular (<0.1 mm). Como reemplazo selectivo de plagioclasas y feldespatos.
Arcillas	tr	<<0.1 mm. Como reemplazo selectivo de plagioclasas y feldespatos.

asociación mineral en equilibrio textural: albita-actinolita-clorita-epidota-stilpnomelano

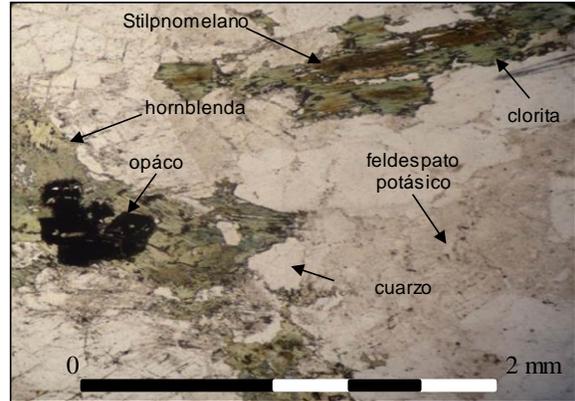
**Minerales opacos**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Opacos	4	Magnetismo medio en la muestra (magnetita).

**Selección de Microfotografías**



**Muestra AA1404:** Microfotografía a nicols cruzados con aumento de 5x. Se observan cristales de cuarzo, hornblenda, clorita, feldespato actinolítico, epidota (pistacita).



**Muestra AA1404:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 5x. Se observa intercrecimiento de cristales de clorita y stilpnomelano, cristales anhedral de cuarzo, feldespato potásico con sericitización media, opacos y hornblenda.

**Muestra N°: AA1405**

Clasificación petrográfica : metabasalto de actinolita

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

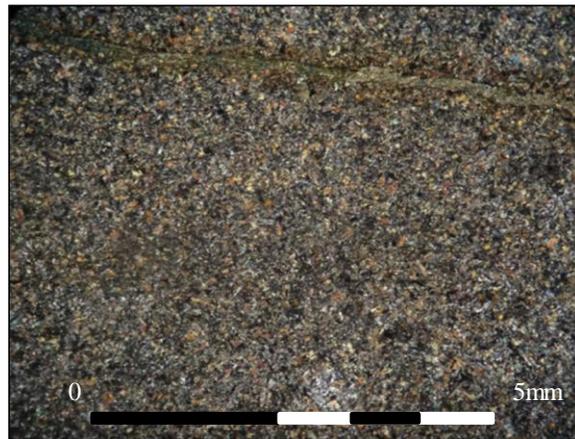
Roca perteneciente a un dique de textura afanítica holocristalina, de grano fino (<0.5 mm), homométrica, hipidiomórfica, fábrica isotropa, homogénea. Melanocrática (85% de minerales máficos completamente actinolíticos). Actinolitas equigranulares dispuestas masivamente en la roca, intersticialmente se encuentran plagioclasas albitizadas equigranulares no orientadas. Biotita de <0,5 mm equigranulares anhedral en contacto con opácos diseminadas en la roca. Vetillas de 0.2 mm continuas, sinuosas, sin halo y de bordes nítidos rellenas con clorita y epidota y vetillas de espesor < 0.1 mm continuas, sinuosas, sin halo y de bordes nítidos rellenas con clorita y clorita-esmectita. Asociación mineral de mínima varianza en equilibrio textural corresponde a albita-actinolita-clorita-epidota (pistacita)-biotita-cuarzo-clorita-esmectita (facies esquistos verdes con metamorfismo retrógrado)

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1405:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Roca de textura afanítica perteneciente a un dique.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra AA1405:** Microfotografía a nicols cruzados con aumento de 2x. Se observa un agregado microcristalino de actinolita, plagioclasa y una vetilla rellena con minerales de clorita y epidota.

**Observaciones microscópicas**

Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	15	Albitización	Subhedral. Tabular. Equigranular (0.15 mm). Algunas con macla de albita. No orientadas.
Silicatos máficos	85	completamente actinolíticos.	

**Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)**

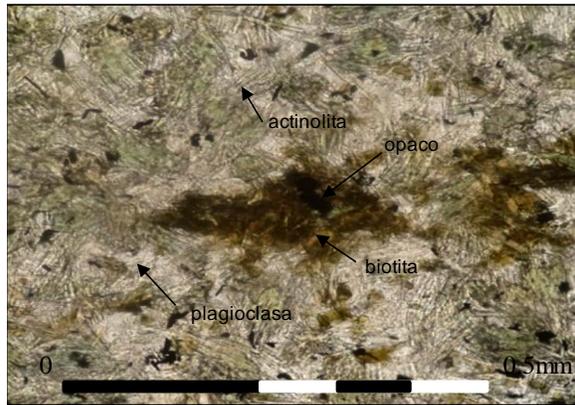
Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Actinolita	85	Subhedral. Acicular. Inequigranular (<0.1 - 0.5 mm). Dispuesta masivamente en la roca.
Biotita	7	Subhedral. Laminar. Equigranular (0.4 mm). En actinolitas, diseminada y comúnmente en contacto con opácos.
Epidota	2	Subhedral. Granular. Inequigranular (<0.1 mm). En vetillas asociada a clorita. Variedad pistacita.
Clorita	4	Anhdral. Masivo. Equigranular (<0.1 mm). Agregado microcristalino en vetilla asociado a epidota.
Clorita-Esmectita	1	Anhdral. Masivo. Equigranular (<0.1 mm). Agregado microcristalino en vetilla asociado a clorita y epidota.
Cuarzo	1	Anhdral. Masivo. Equigranular (<0.1 mm). Diseminado y en cúmulos.

**Asociación mineral en equilibrio: albita-actinolita-clorita-epidota-biotita-cuarzo-clorita/esmectita**

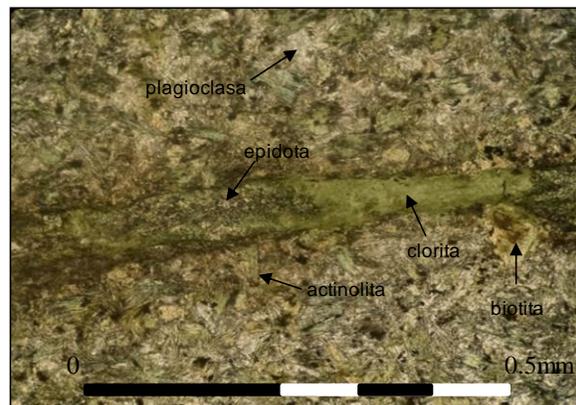
**Minerales opácos**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Magnetita	2	Magnetismo leve en la muestra. Diseminada.

**Selección de Microfotografías**



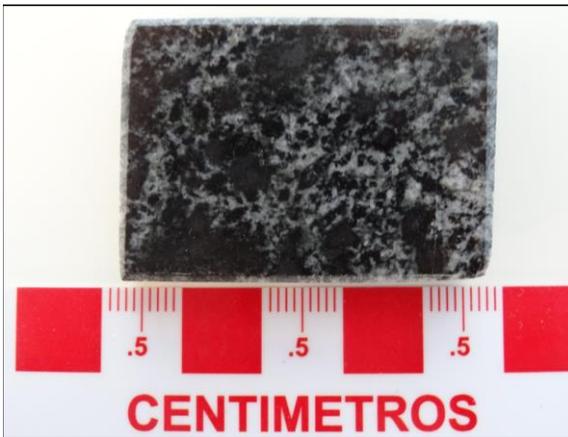
**Muestra AA1405:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 20x. Se observan cristales de biotita, actinolita, plagioclasa y opácos.



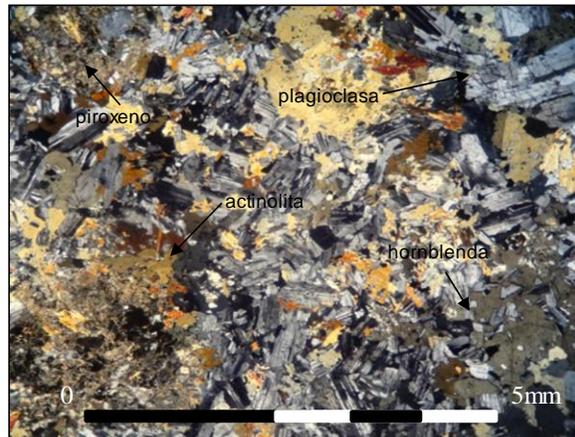
**Muestra AA1405:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 20x. Vetilla de ~0.2 mm, continua, sin halo y de bordes nítidos rellena con minerales de epidota (pistacita) y clorita que corta a agregado microcristalino de actinolita y plagioclasa.

**Muestra N°: AA1406**Clasificación petrográfica : **diorita de piroxeno y hornblenda.****Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

Roca fanerítica, de grano fino a medio (<0.1 - 3.5 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isótropa, homogénea. Texturas cumulada, poiquilitica (cristales de plagioclasa subhedral y opácos como inclusiones en cristales de anfíbol y opácos como inclusión en cristales de biotita), simplectítica de magnetita en piroxenos. Mesocrática (45% de minerales máficos). Intercrecimiento de cristales de plagioclasa, piroxeno, hornblenda, cuarzo, biotita, feldespato. Los cristales de piroxeno se encuentran intensamente fracturados y alterados a tremolita (talco?). Los minerales de alteración corresponden a clorita, actinolita, arcillas, epidota (pistacita) y stilpnomelano no todos ellos en equilibrio textural (facies esquistos verdes). Vetillas ~0.1 mm discontinuas, semi rectas, con halos de actinolita y rellenas con clorita.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**

**AA1406:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de feldespato, anfíbol, cuarzo y vetilla semirecta, discontinua, de bordes nítidos rellena con clorita.

**Microfotografía (aspecto general)**

**Muestra AA1406:** Microfotografía a nicos cruzados con aumento de 2x. Textura fanerítica con cristales de plagioclasa, piroxeno, anfíbol y biotita. También se observan cristales de actinolita.

**Observaciones microscópicas**Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$ 

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	48	Actinolización muy leve. Albitización leve	Subhedral. Tabular. Inequigranular (0.2 - 2.2 mm). Macla Albita, Periclina y Carlsbad-Albita y zonaciones concéntricas. An40.
Piroxeno	10	Alteración intensa a tremolita (talco?).	Anhedral. Masivo. Inequigranular (2 - 4 mm). Con fracturamiento intenso y asociados a opácos con textura simplectítica.
Hornblenda	30	Actionolización leve.	Subhedral. Prismático. Inequigranular (<0.1 - 3.5 mm). Con cristales de plagioclasa y/o opácos como inclusión (textura poiquilitica).
Biotita	5	Cloritización leve a media.	Subhedral. Laminar. Inequigranular (0.1 - 1 mm). Diseminado y en cúmulos.
Feldespato potásico	5	Argilización leve	Anhedral. Masivo. Inequigranular (0.2 - 0.4 mm). Diseminado.
Cuarzo	2		Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.1 - 0.8 mm). Diseminado y en cúmulos.
Zircon	tr		Subhedral. Prismático. Equigranulares (<0.1 mm). Diseminado.

**Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Clorita	2	Anhedral. Masivo. Agregado microcristalino equigranular (<0.1 mm). Diseminado. En vetilla de ~0.1 mm.
Actinolita	1	Subhedral. Acicular. Agregado microcristalino equigranular (<0.1 mm). Diseminado. Como halo en vetillas de clorita.
Arcilla	2	<<0.1 mm. Como reemplazo de feldespatos.
Epidota	tr	Subhedral. Granular. Inequigranular (<0.1 mm). Diseminado. Variedad pistacita.
Stilpnomelano	tr	Subhedral. Fibroso. Inequigranular (<0.2 mm). Dentro de cristales de hornblenda.

asociación mineral en equilibrio textural: albita-actinolita-clorita-epidota

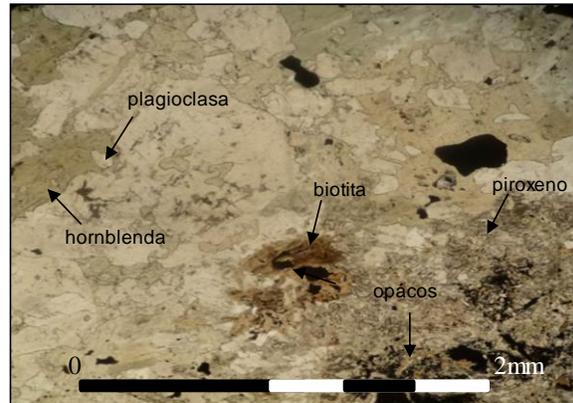
**Minerales opacos**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Opácos	5	Diseminado. Ver descripción petrográfica de minerales opácos para este corte.

**Selección de Microfotografías**



**Muestra AA1406:** Microfotografía a nicoles cruzados con aumento de 5x. Cristal de piroxeno alterado intensamente a tremolita (talco?), hornblenda, plagioclasa, cuarzo, actinolita y clorita (en vetilla).



**Muestra AA1406:** Microfotografía a nicoles paralelos con aumento de 5x. Textura poiquilítica de opácos como inclusiones en cristales de biotita y plagioclasa y opácos como inclusiones en cristales de hornblenda. Textura simplectítica de opacos en piroxenos relictos.

**Muestra N°: AA1407**

**Clasificación petrográfica :** dacita de biotita.

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

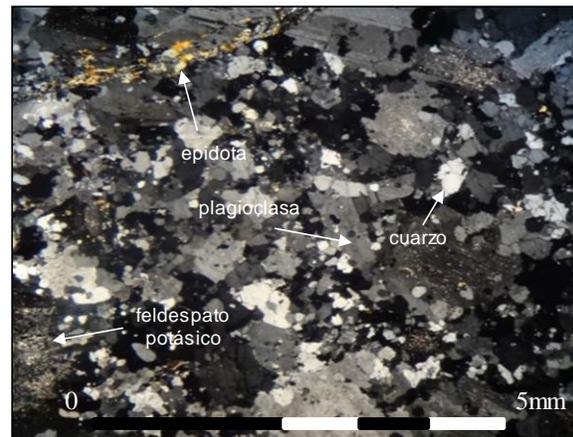
Roca perteneciente a un dique de texturas fanerítica, felsítica, aplítica y coronítica (cristal de biotita cloritizada que rodea a epidota), de grano fino a medio (< 3 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isótropa, homogénea. Leucocrática (5% de minerales máficos). Cristales de cuarzo, feldespato potásico con sericitización media y actinolitización leve, plagioclasas con sericitización, argilización, albitización leves y actinolitización media. Máficos totalmente cloritizados. Los minerales de alteración corresponden actinolita, epidota, clorita, cuarzo, sericita y arcillas. La asociación mineral en equilibrio corresponde a: clorita+epidota+cuarzo. Presenta vetilla de espesor variable (0.1-0.5 mm) discontinua, recta, sin halo, de bordes nítidos y rellenas con epidota en fase pistacita y zoisita. También epidota diseminada.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1407:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Roca de textura fanerítica perteneciente a un dique. Se aprecian cristales macroscópicos de plagioclasa, feldespato potásico, cuarzo y biotita.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra AA1407:** Microfotografía a nicoles cruzados con aumento objetivo 2x. Agregado de cristales de plagioclasa, feldespato potásico (actinolitizado), cuarzo, clorita (no en imagen) y una vetilla rellena con epidota.

**Observaciones microscópicas**

**Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$**

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	55	sericitización y argilización leves cloritización leve actinolitización media albitización leve	Subhedral. Tabular. Inequigranular (0.4 - 3 mm). Diseminado. No orientadas. Algunas con macla de albita carlsbad y carlsbad-albita.
Feldespato potásico	5	sericitización media actinolitización leve argilización leve	Subhedral. Prismático. Inequigranular (0.2 - 1.5 mm). Diseminado.
Cuarzo	35		Anhedral. Masivo. Inequigranular (0.2 - 1 mm). Diseminado.
Biotita	5	casi completamente cloritizadas	Subhedral. Laminar. Inequigranular (0.5 - 1.2 mm). Diseminado.
zircón	tr		Subhedral. Prismático. Equigranular (<0.1 mm.). Diseminado.

**Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)**

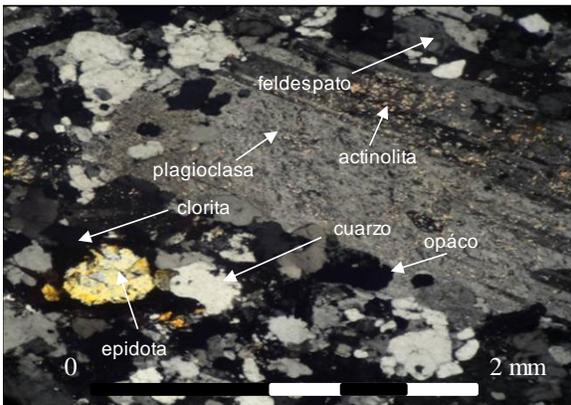
Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Actinolita	tr	Subhedral. Acicular. Equigranular (0.3 mm). Selectivo en feldespato.
Epidota	3	Subhedral. Granular. Inequigranular (0.1 - 0.5 mm). En vetillas y diseminado. Fases zoisita y pistacita presentes
Clorita	5	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.1 - 1.2 mm). Como reemplazo total de silicatos máficos y biotita, también diseminado.
Sericita	5	Subhedral. Micáceo. Agregado microcristalino (<<0.1 mm). Selectivamente en feldespatos.
Cuarzo	10	Subhedral. Masivo. Equigranular (<0.2 mm). Diseminado y en cúmulos, también en suturas de granos mayores de cuarzo.

**asociación mineral en equilibrio: clorita+epidota+cuarzo**

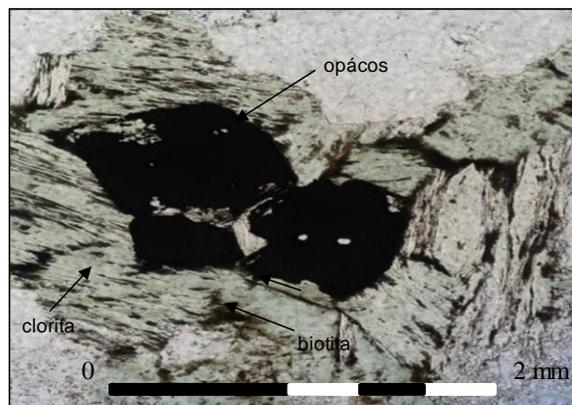
**Minerales opacos**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Magnetita	tr	Magnetismo medio en la muestra. Diseminada.

**Selección de Microfotografías**



**Muestra AA1407:** Microfotografía a nicols cruzados con aumento de 5x. Se observa un cristales de plagioclasa con actinolitización media, feldespato, cuarzo, epidota, clorita y opácos. Textura coronítica (cristal de clorita rodeando a epidota).



**Muestra AA1407:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 20x. Se observan cristales de biotita casi totalmente cloritizados y asociados a minerales opácos.

**Muestra N°: AA1408**

Clasificación petrográfica : **cuarzo-diorita de hornblenda.**

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

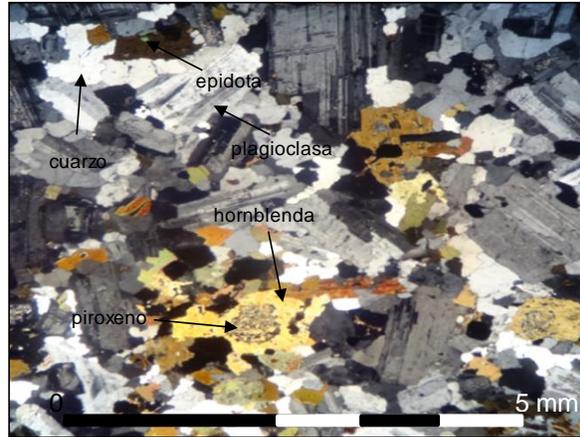
Roca de texturas fanerítica, cumulada, poiquilitica (cristales de piroxeno como inclusión en cristal de hornblenda (uralitización) y cristales de plagioclasa como inclusiones en cristales de hornblenda). De grano fino a medio (<0.1 - 5 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isótropa, homogénea. Leucocrática (20% de minerales máficos). Los minerales de alteración corresponden a clorita, epidota, actinolita, titanita y sericita. cloritización de biotita. epidota diseminada y trazas de titanita. Actinolita selectiva en plagioclasas y hornblenda. La asociación mineral en equilibrio corresponde a: clorita+epidota. No presenta vetillas.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1408:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de feldespato, anfíbol, piroxeno, opacos y cuarzo.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra AA1408:** Microfotografía a nicoles cruzados con aumento de 2x. Se observan cristales de piroxeno como inclusiones en cristales de hornblenda, plagioclasa, biotita, cuarzo, clorita y epidota.

**Observaciones microscópicas**

Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	65	Actinolitización leve.	Subhedral. Tabular. Inequigranular (0.5-5 mm). Diseminado y como inclusión en cristal de hornblenda. Algunas con macla de albita y carlsbad-albita.
Piroxeno	3	Uralitización intensa	Anhedral a Subhedral. Masivo y Prismático. Inequigranular (0.5-0.7 mm). Como inclusión en cristales de hornblenda.
Hornblenda	7		Subhedral a Anhedral. Prismático y Masivo. Inequigranular (<0.1-3 ). Diseminado.
Biotita	10	Cloritización leve a media	Subhedral. Laminar. Inequigranular (0.2 - 1.2 mm). Diseminado.
Cuarzo	12		Anhedral. Masivo. Inequigranular (0.3 - 1.8 mm). Diseminado.
Feldespato	3	Actionolitización leve.	Anhedral. Masivo. Inequigranular (0.2 - 1 mm). Diseminado.

**Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)**

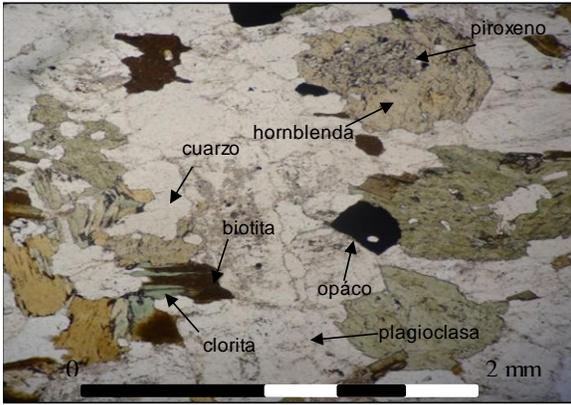
Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Clorita	3	Subhedral. Laminar. Inequigranular (0.2 - 0.5 mm). Selectivamente reemplazando a biotita.
Epidota	tr	Subhedral a Anhedral. Granular a Masivo. Inequigranular (<0.1-0.6 mm). Diseminado.
Actinolita	5	Subhedral. Acicular. Inequigranular(<0.2 mm). Selectivamente reemplazando a plagioclasas y hornblenda.
Sericita	tr	Subhedral. Micáceo. Agregado microcristalino (<<0.1 mm). Diseminado y selectivamente reemplazando a plagioclasas.
titanita	tr	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<01-0.5 mm). Diseminado.

**Asociación mineral en equilibrio: clorita+epidota**

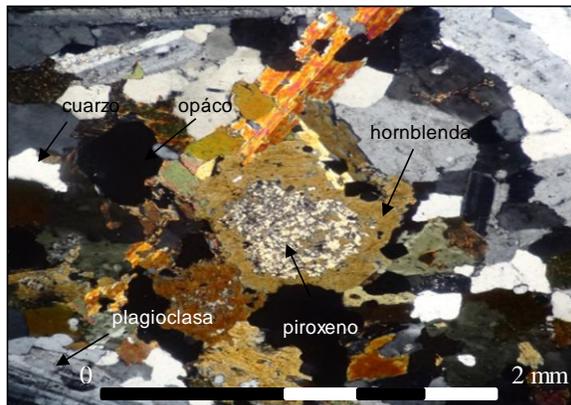
**Minerales opacos**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Opácos	3	Diseminado. Ver descripción petrográfica de minerales opácos de este corte.

**Selección de Microfotografías**



**Muestra AA1408:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento objetivo a 5x. Se observan cristales de piroxeno como inclusión en cristal de hornblenda, plagioclasa, biotita parcialmente cloritizadas, cuarzo y opácos.



**Muestra AA1408:** Microfotografía a nicols cruzados con aumento de 5x. Textura coronítica de cristal piroxeno como inclusión en cristal de hornblenda (uralitización). También se observan cristales de plagioclasa, hornblenda y cuarzo.

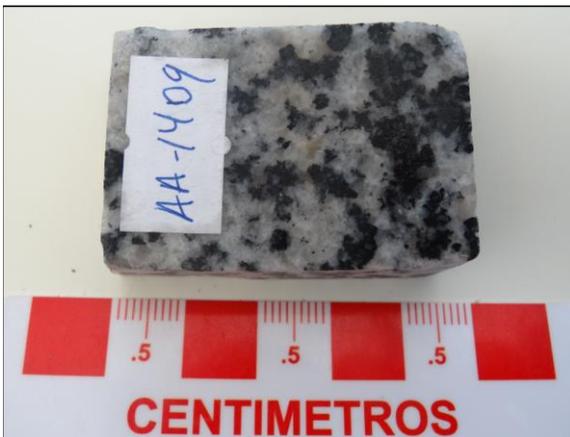
**Muestra N°: AA1409**

Clasificación petrográfica : **tonalita de hornblenda**

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

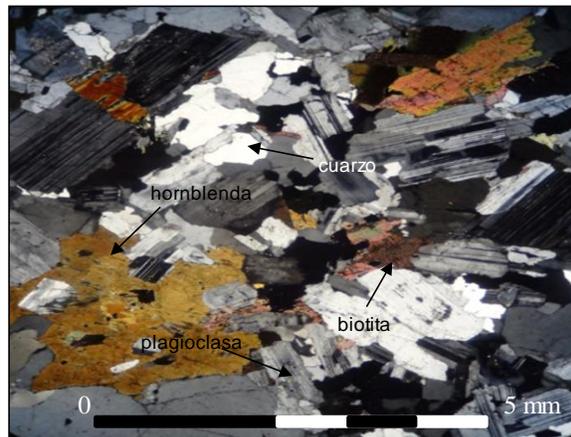
Roca de texturas fanerítica, cumulada y poquilítica (opácos, plagioclasas y cuarzo como inclusiones en cristales de hornblenda), de grano fino a grueso (<0.1 - 5.1 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isotropa, homogénea. Leucocrática (30% de minerales máficos). Los minerales de alteración corresponden a clorita, epidota, actinolita, titanita y sericita (facies esquistos verdes). cloritización leve a intensa de biotita. Sericitización y actinolitización leve de plagioclasas. trazas de epidota diseminada. La asociación mineral en equilibrio corresponde a:albita-actinolita-clorita-epidota-titanita. No se observan vetillas.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1409:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de feldespato, hornblenda, plagioclasa, cuarzo y vetilla semirecta, discontinua sin halo, de bordes nítidos rellena con epidota.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra AA1409:** Microfotografía a nicols cruzados con aumento de 2x. Se observan cristales plagioclasa, hornblenda, biotita, cuarzo y opacos.

### Observaciones microscópicas

Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	45	Albitización leve sericitización leve actinolitización leve	Subhedral. Tabular. Inequigranular (0.2-4 mm). Algunas con macla de albita y carlsbad-albita.
Hornblenda	15		Subhedral. Prismático. Inequigranular (0.2 - 5.1 mm). Diseminado. Color verde amarillento a verde.
Biotita	15	cloritización leve	Subhedral. Laminar. Inequigranular (0.15 - 2 mm). Diseminado.
Cuarzo	25		Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.1 - 4 mm). Diseminado.
Feldespato	3	sericitización leve a media	Anhedral. Masivo. Inequigranular (0.3 - 0.4 mm). Diseminado.

### Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)

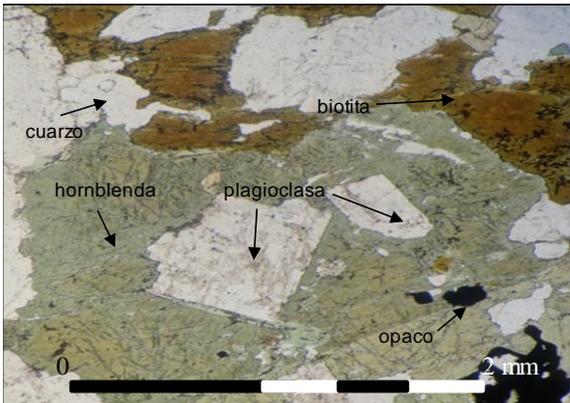
Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Clorita	2	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.1 - 0.4 mm). Selectivamente reemplazando a biotita y diseminado.
Epidota	tr	Subhedral. Granular. Inequigranular (<0.1 mm). Diseminado.
Actinolita	2	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.1'-.25 mm). Selectivamente reemplazando a plagioclasas.
Sericita	tr	Subhedral. laminar. Agregado microcristalino (<<0.1 mm). Diseminado y selectivamente reemplazando a feldespatos
Titanita	tr	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.2 mm). Diseminado.

Asociación mineral en equilibrio: albita-actinolita-clorita-epidota-titanita

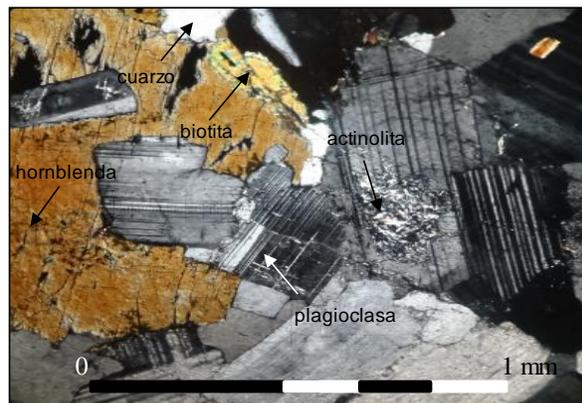
### Minerales opacos

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Magnetita	4	Magnetismo intenso en la muestra.

### Selección de Microfotografías



**Muestra AA1409:** Microfotografía a nicole paralelos con aumento de 5x. Textura piquilítica de cristales de plagioclasa como inclusiones en cristal de hornblenda. También se observan cristales de biotita, cuarzo y opacos.



**Muestra AA1409:** Microfotografía a nicole cruzados con aumento de 10x. Se observan cristales de plagioclasa, hornblenda, biotita y cuarzo. Cúmulo de actinolita selectiva en plagioclasa.

**Muestra N°: AA1410**

Clasificación petrográfica : **cuarzo-diorita de hornblenda.**

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

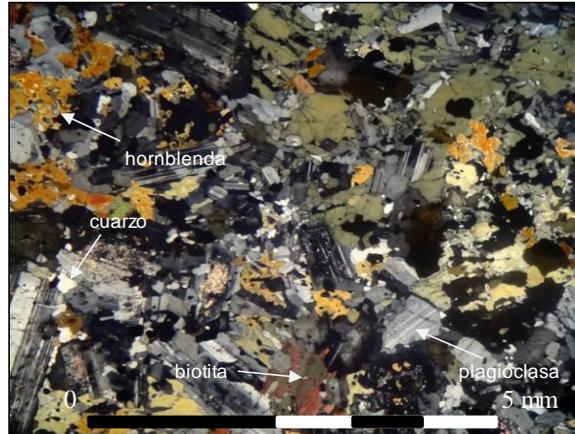
Roca de texturas fanerítica, poiquilítica (opácos, plagioclasas, biotita, cuarzo como inclusiones en cristales de hornblenda, también hornblenda como inclusión en cristal de plagioclasa). De grano fino a medio (<0.1 - 3.5 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isotropa, homogénea. Mesocrática (35% de minerales máficos). Los minerales de alteración corresponden a clorita, sericita y trazas de actinolita. Asociación mineral en equilibrio textural para fases secundarias: actinolita-clorita. cloritización leve de biotita. Sericitización media en plagioclasas. No se observan vetillas.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1410:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de plagioclasa, anfíbol, cuarzo y vetilla semirecta, discontinua sin halo, de bordes nítidos rellena con epidota.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra AA1410:** Microfotografía a nicoles cruzados con aumento de 2x. Se observa un agregado de cristales plagioclasa sericitizada, hornblenda, biotita, cuarzo y opácos.

**Observaciones microscópicas**

Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	60	sericitización leve a media	Subhedral. Tabular. Inequigranular (0.1 - 2.7 mm). Diseminado y como inclusión en cristal de hornblenda. Algunas con macla de albita y carlsbad-albita.
Hornblenda	23		Subhedral. Prismático. Inequigranular (<0.1 - 3.5 mm). Diseminado y como inclusión en cristal de plagioclasa. Color verde amarillento a verde.
Biotita	12	cloritización leve	Subhedral. Laminar. Inequigranular (0.17 - 3 mm). Diseminado y como inclusión en cristal de hornblenda.
Cuarzo	5		Anhedral. Masivo. Inequigranular (0.1 - 0.4 mm). Diseminado y como inclusión en cristal de hornblenda.
Apatito	tr		Subhedral. Prismático. Equigranular (<<0.1 mm). Diseminado.

**Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)**

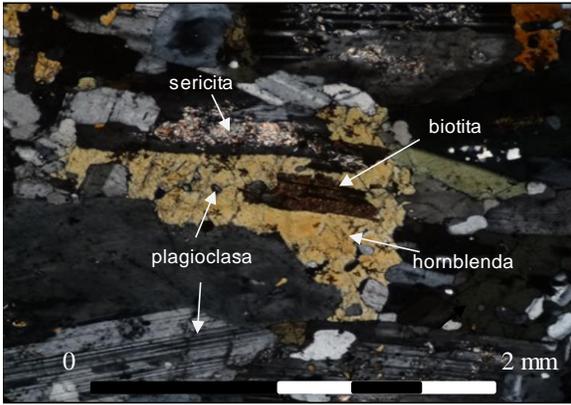
Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Clorita	1	subhedral, laminar, inequigranular (0.2 - 0.3 mm), selectivamente reemplazando a biotita.
Sericita	2	Subhedral, laminar, (<0.1 mm). Diseminada y selectivamente reemplazando a plagioclasas.
Actinolita	tr	Subhedral. Acicular. Microcristalina (<<0.1 mm). Diseminado.

**Asociación mineral en equilibrio: clorita+actinolita**

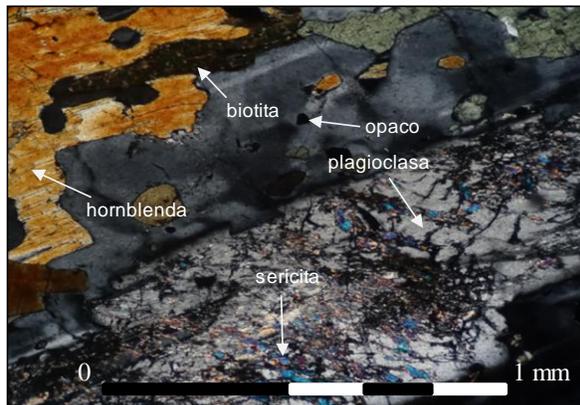
**Minerales opacos**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Opácos	2	Diseminado. Ver descripción petrográfica de minerales opácos de este corte.

**Selección de Microfotografías**



**Muestra AA1410:** Microfotografía a nicoles cruzados con aumento de 5x. Textura poiquilitica de cristales de plagioclasa y biotita como inclusiones en cristal de hornblenda. También se observa sericitización media de plagioclasas.



**Muestra AA1410:** Microfotografía a nicoles cruzados con aumento de 10x. Se observan cristales de biotita, hornblenda, opacos y plagioclasa con sericitización media. Textura poiquilitica de cristales hornblenda y opacos como inclusiones en cristal de plagioclasa.

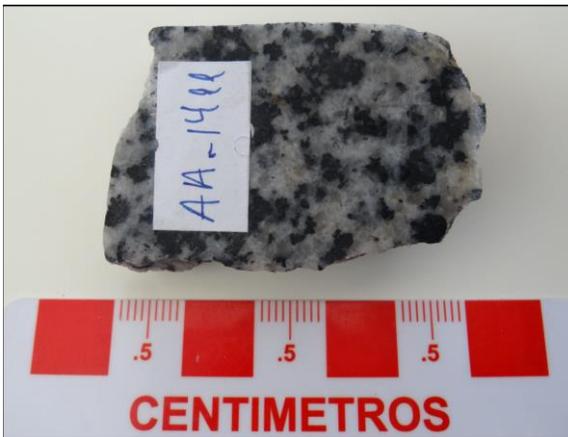
**Muestra N°: AA1411**

Clasificación petrográfica : **cuarzo-diorita de hornblenda y biotita**

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

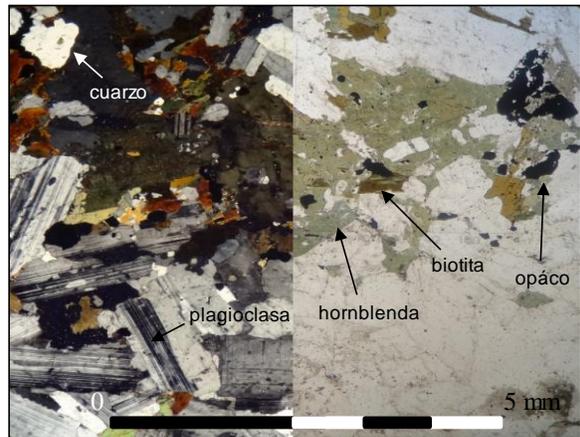
Roca de texturas fanerítica y poiquilitica (cristales de plagioclasa, biotita y cuarzo como inclusiones en cristales de hornblenda). De grano fino a medio (0.1 - 5 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isotropa, homogénea. Leucocrática (25% de minerales máficos). Los minerales de alteración corresponden a clorita, epidota y sericita ninguno de ellos como asociación mineral en equilibrio textural. Cloritización leve de biotitas, sericitización media y selectiva a algunas plagioclasas. Trazas de epidota diseminada. No se observan vetillas.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1411:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de plagioclasa y hornblenda. Menor óxidos de Hierro. Presenta Magnetismo.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra AA1411:** Microfotografía a nicoles cruzados (izquierda) y nicoles paralelos (derecha) con aumento de 2x. Se observan cristales de plagioclasa, hornblenda, biotita y cuarzo principalmente.

**Observaciones microscópicas**

**Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$**

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	70	sericitización media en algunas.	Subhedral. Tabular. Inequigranular (0.2-5 mm). Diseminado y como inclusión en cristales de hornblenda. Algunas presentan macla polisintética. Algunas zonadas.
Hornblenda	13		Subhedral. Prismático. Inequigranular (<0.1 - 4 mm). Diseminado. Verde amarillento a verde.
Biotita	7	Cloritización leve	Subhedral. Laminar. Inequigranular (0.1 - 4 mm). En cúmulos.
Cuarzo	10		Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.1 - 1.2 mm). Diseminado.

**Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)**

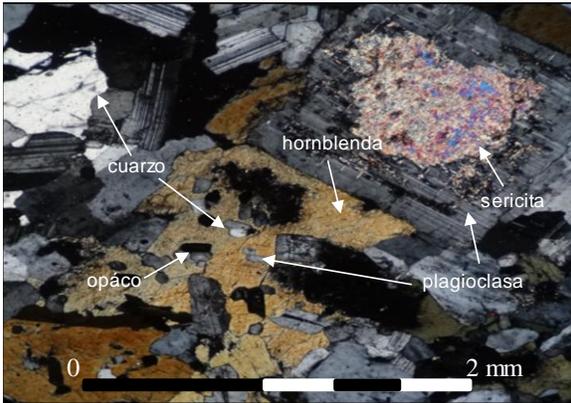
Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Clorita	1	Subhedral. Laminar. Inequigranulares (<0.2 mm). Reemplazando selectivamente a biotita.
Epidota	tr	Subhedral. Granular. Inequigranular (<0.1 mm). Diseminado.
Sericita	1	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.1 mm). Reemplazando selectivamente a plagioclasas

**Asociación mineral en equilibrio textural: No tiene.**

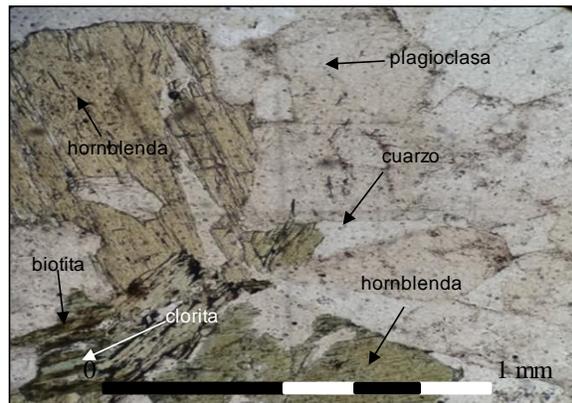
**Minerales opacos**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Magnetita	3	Magnetismo intenso en la muestra.
Oxidos de Hierro	1	Observable en rechazo.

**Selección de Microfotografías**



**Muestra AA1411:** Microfotografía a nicoles cruzados con aumento de 5x. Textura poiquilitica de cristales de plagioclasa, cuarzo y opácos como inclusiones en cristal de hornblenda. También plagioclasas con sericitización media.



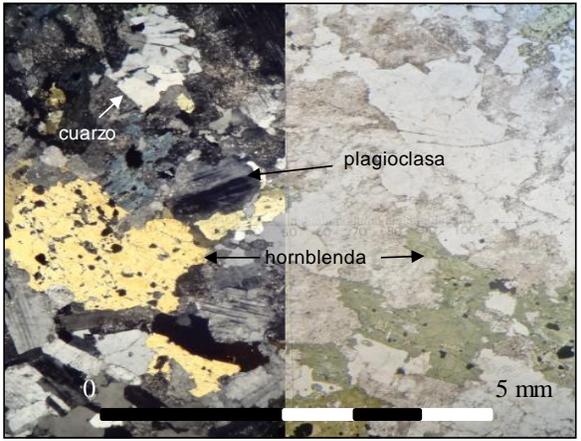
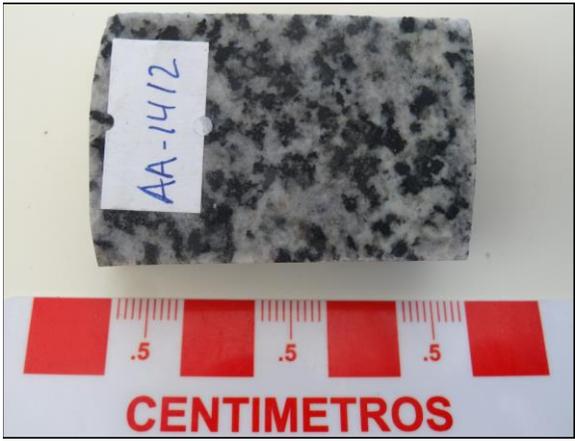
**Muestra AA1411:** Microfotografía a nicoles paralelos con aumento de 10x. Se observan cristales de plagioclasa, hornblenda, cuarzo y un interestratificado de biotita y clorita.

**Muestra N°: AA1412**

Clasificación petrográfica : **tonalita de hornblenda y biotita**

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**  
 Roca de texturas fanerítica, poiquilítica (cristales de feldespato, cuarzo y opácos como inclusiones en cristales de hornblenda y opácos en biotita), de grano fino a medio (0.1 - 3.8 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isotropa, homogénea. Leucocrática (20% de minerales máficos). sericitización leve a media de plagioclasas. minerales de alteración clorita y epidota (pistacita y zoicita) diseminados y actinolita como reemplazo selectivo de plagioclasas. La asociación mineral en equilibrio corresponde a clorita+epidota. No se observan vetillas.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)      Microfotografía (aspecto general)**



**AA1412:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de plagioclasa y anfíbol. Menor óxidos de Hierro. Presenta Magnetismo.

**Muestra AA1412:** Microfotografía a niclos cruzados (izquierda) y paralelos (derecha) con aumento de 2x. Se observan cristales de plagioclasa, hornblenda y cuarzo. También clorita y opácos.

**Observaciones microscópicas**

**Componentes minerales: Σ=100%**

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	60	sericitización leve a media argilización leve actinolización leve	Subhedral. Tabular. Inequigranular (0.2 -2 mm). Diseminado. Macla albita y carlsbad-albita. Algunas zonadas. An33
Hornblenda	15	cloritización común	Subhedral. Prismático. Inequigranular (0.1 - 3.8 mm). Diseminado. Verde a verde amarillento.
Biotita	5	Cloritización media	Subhedral. Laminar. Inequigranular (0.5 - 1.2 mm). Diseminado.
Cuarzo	20		Anhedral. Masivo. Inequigranular (0.1 - 3 mm). Diseminado.
Circón	tr		Subhedral. Prismático. <0.1mm. Diseminado.

**Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Clorita	10	Subhedral. Laminar. Inequigranular (0.1-2mm). Reemplazando a biotita como interestratificado, como cúmulos y diseminado.
Epidota	tr	Subhedral. Granular. Inequigranular (<0.1 mm). Diseminada.
Actinolita	tr	Subhedral. Prismática y Acicular. Inequigranular (<0.1 mm). Reemplazando selectivamente a plagioclasas.
Arcillas	1	< 0.1 mm. Reemplazando selectivamente a plagioclasas.
Sericita	2	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.1 mm). Reemplazando selectivamente a plagioclasas

**Asociación mineral en equilibrio: clorita+epidota**

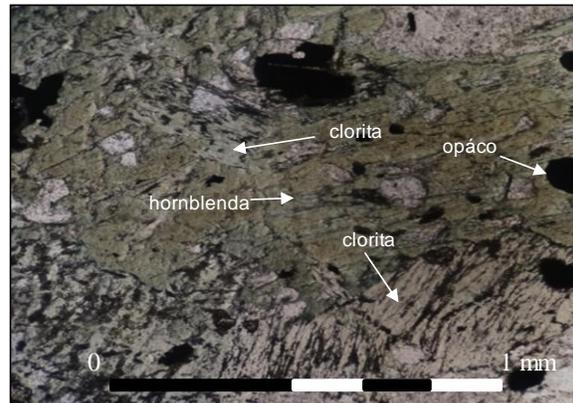
**Minerales opacos**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Magnetita	<3	Magnetismo leve en la muestra.

**Selección de Microfotografías**



**Muestra AA1412:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 10x. Se observan cristales de plagioclasa, hornblenda, cuarzo, opácos y una interstratificación de biotita y clorita.



**Muestra AA1412:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 10x. Se observan cristales de hornblenda, clorita y opácos.

**Muestra N°: AA1413**

Clasificación petrográfica : [metadacita de actinolita](#)

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

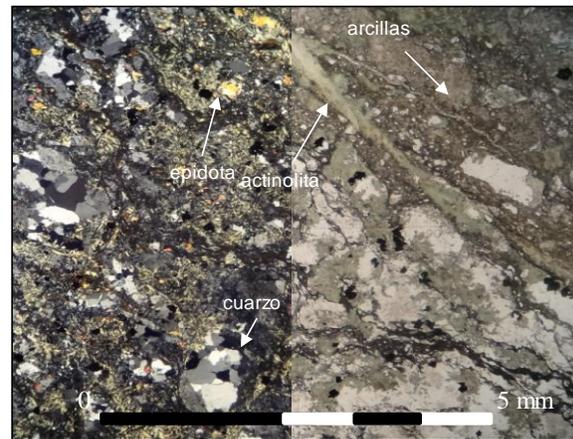
Roca obliterada que contiene textura coronítica de epidota rodeando opácos. holocristalina, de grano fino a medio (<2.5 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isótropa, homogénea. Se reconocen solamente los granos de cuarzo y plagioclasa como minerales primarios. Leucocrática? (minerales máficos reemplazados totalmente por actinolitas, epidota y clorita). Los minerales de alteración corresponden actinolita, albita, clorita, epidota y arcillas. Asociación mineral en equilibrio es actinolita-albita-epidota-clorita (facies esquistos verdes). Presenta vetilla sinuosa, discontinua, sin halo, de bordes nítidos, de espesor variable entre 0.1-0.5 mm de espesor, rellena con actinolita y epidota. También vetillas de espesor variable (<0.1-0.5mm), continuas, sinuosas, de bordes nítidos, sin halo, rellenas con epidota. Posiblemente corresponde a una muestra alterada de protolito asociado a la muestra AA1412 (debido a la cercanía de sus muestreos).

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1413:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de plagioclasa y cuarzo visibles y actinolita y epidota dispuestos masivamente en un sector de la muestra.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra AA1413:** Microfotografía a nicols cruzados (izq.) y paralelos (der) con aumento de 2x. Se observan plagioclasas argilizadas y cristales de cuarzo. Gran cantidad de actinolita (vetilla) y epidota.

### Observaciones microscópicas

#### Componentes minerales:

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Cuarzo	50?		Anhedral. Masivo. Inequigranulares (<0.1-2.1 mm). Diseminado.
Plagioclasa	50?	Albitización media Argilización media a intensa	Subhedral a Anhedral. Tabular y Masivo. Inequigranular (0.5 - 3.4 mm). Diseminado. Maclas carlsbad-albita y albita.

#### Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)

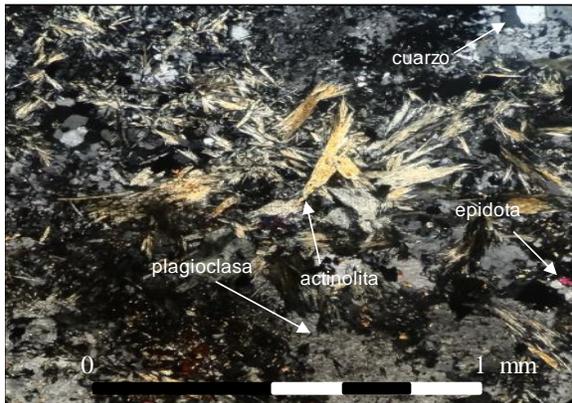
Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Actinolita	20	Subhedral. Acicular. Inequigranular (<0.4 mm). Dispuestas masivamente en la roca, en vetillas y en cúmulos reemplazando a silicatos máficos del protolito.
Clorita	2	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.1 mm). En cúmulos y diseminado.
Epidota	80	Subhedral. Granular. Inequigranular (<0.2 mm). Dispuesto masivamente en la roca. También en vetillas. Variedades Zosita y pistasita son comunes.
Arcilla	15	<<0.1 mm. Como reemplazo selectivo de plagioclasas.

#### Asociación mineral en equilibrio: albita-actinolita-epidota-clorita

#### Minerales opacos

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Magnetita	tr	Magnetismo en la muestra.

#### Selección de Microfotografías



**Muestra AA1413:** Microfotografía a nicols cruzados con aumento de 10x. Cristales aciculares de actinolita y epidota diseminada.



**Muestra AA1413:** Microfotografía a nicols cruzados con aumento de 5x. Se observan plagioclasas argilizadas y cristales de cuarzo. Gran cantidad de actinolita diseminada y en vetillas, clorita en cúmulos y en vetillas y epidota diseminada.

**Muestra N°: AA1414**

Clasificación petrográfica : **tonalita de hornblenda**

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

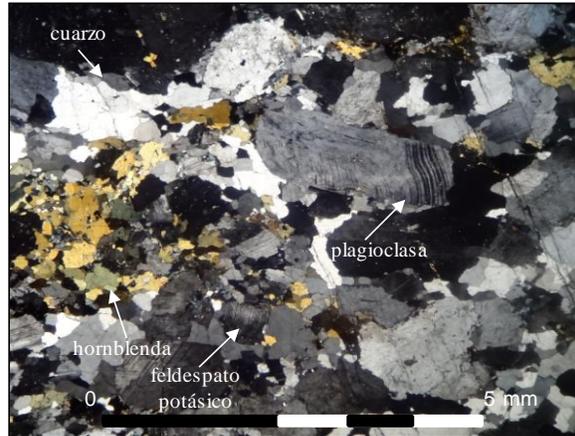
Roca de texturas fanerítica, poiquilitica (cristales de cuarzo y opacos como inclusiones en cristales de anfíbol) y consertal. De grano fino a medio (<0.1 - 2.9 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isotropa, homogénea. Leucocrática (15% de minerales máficos). Sericitización leve de plagioclasas y feldespatos. Minerales de alteración en equilibrio corresponden a clorita y epidota diseminados y stilpnomelano en microvetillas y cúmulos. Algunas maclas de plagioclasas presentan microplegamiento (metamorfismo de muy bajo grado). Microvetillas rellenas con cuarzo secundario y microvetillas irregulares rellenas con stilpnomelano son comunes.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1414:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de plagioclasa, feldespato potásico, hornblenda y cuarzo. Óxidos de Hierro visibles y presencia de magnetismo.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra AA1414:** Microfotografía a nicoles cruzados con aumento de 2x. Se observan plagioclasas con microbandeamiento de maclas (metamorfismo dinámico), hornblenda, feldespato potásico y cuarzo.

**Observaciones microscópicas**

Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	50	sericitización leve	Subhedral. Tabular. Inequigranular (0.1 -2.9 mm). Diseminado. Macla albita. An30
Hornblenda	10	cloritización leve	Subhedral. Prismático. Inequigranular (<0.1 - 1 mm). Diseminado. Café amarillento a verde.
Feldespato-K	5	argilización leve sericitización leve	Subhedral. Prismático. Inequigranular (<0.8mm). Diseminado.
Cuarzo	35		Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.1 - 1.7 mm). Diseminado y en microvetillas

**Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)**

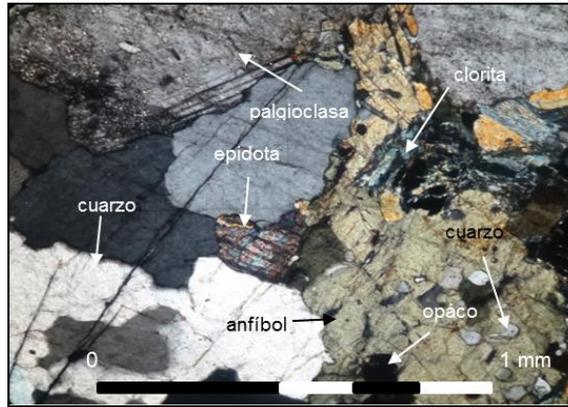
Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Clorita	3	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.1-1mm). Asociado siempre a anfíboles. Diseminado.
Stilpnomelano	0.1	Anhedral. Masivo. Inequigranular <<0.1 mm. En microvetillas, microf racturas, en cúmulos asociado a clorita y epidota
Epidota	tr	Subhedral. Granular. Inequigranular (<0.2 mm). Diseminado. Variedades pistacita y zoisita.
arcillas	tr	< 0.1 mm. Reemplazando selectivamente a plagioclasas y feldespatos.
Sericita	tr	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.1 mm). Reemplazando selectivamente a plagioclasas

**Asociación mineral en equilibrio: clorita+epidota+stilpnomelano**

**Minerales opacos**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Opacos	3	Diseminado. Ver descripción petrográfica de minerales opacos de este corte.

Selección de Microfotografías



**Muestra AA1414:** Microfotografía a nicoles cruzados con aumento de 10x. Se observan cristales de plagioclasa, anfíbol (hornblenda), cuarzo y opácos y minerales de alteración clorita y epidota. Textura poiquilitica de cuarzo y opácos en anfíbol (hornblenda).

**Muestra N°: AA1415**

Clasificación petrográfica : **basalto de hornblenda**

Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas

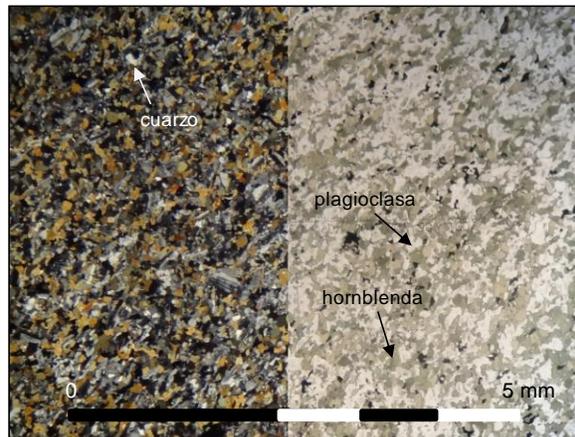
Roca perteneciente a un dique de textura afanítica holocristalina, de grano fino (<0.2 mm), homométrica, hipidiomórfica, fábrica isotropa, homogénea. Mesocrática (50% de minerales máficos). Agregado microcristalino de minerales de plagioclasa, hornblenda y menor cuarzo. Los minerales de alteración presentes corresponden a trazas de epidota, clorita, sericita, arcillas y hidroxidos de hierro. La asociación mineral en equilibrio textural corresponde a albita-actinolita-epidota-clorita-cuarzo (facies esquistos verdes). Presenta vetilla de 3 mm. recta, continua, sin halo, rellena con hornblenda de mayor tamaño (~1mm), clorita, epidota, actinolitas, plagioclasas con argilización media a intensa, cuarzo cortada por vetillas de <1mm, recta, continua, sin halo, rellena con epidota en sus variedades zoisita y pistacita.

Fotografía de la muestra (aspecto general)



**AA1415:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Roca de textura afanítica perteneciente a un dique. Cristales de plagioclasa, anfíboles y cuarzo visibles y vetilla de 3 mm. La muestra presenta magnetismo.

Microfotografía (aspecto general)



**Muestra AA1415:** Microfotografía a nicoles cruzados (izq.) y paralelos (der.) con aumento objetivo 2x. Se observa un agregado microcristalino de anfíboles (hornblenda), plagioclasa, cuarzo y opácos.

**Observaciones microscópicas**

**Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$**

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	35	Albitización leve, argilización leve a media, sericitización leve a media.	Subhedral. Tabular. Inequigranular (<0.1-1 mm). Diseminado y en vetillas (las de vetillas presentan mayor alteración). Maclas albita y periclina.
Hornblenda	50		Subhedral. Prismático. Inequigranular (<0.1 - 0.5 mm). Diseminado y en vetilla. Amarillo a verdes.
Cuarzo	5		Anhedral. Masivo. Inequigranular <0.6 mm. Diseminado y en vetilla.

**Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Actinolita	1	Subhedral. Prismático. Inequigranular (0.1 - 1.2 mm). En vetilla de 3 mm.
Epidota	1	Subhedral. Granular. Inequigranular (<0.1-0.4 mm). En vetillas de < 1mm y en vetilla de 3 mm.
Cuarzo	8	Anhedral. Masivo. Inequigranular <0.6 mm. En vetilla.
Clorita	1	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.2mm). En vetilla de 3 mm.
hidroxidos de hierro	tr	Anhedral. Inequigranular <0.1 mm. Diseminado.

**Asociación mineral en equilibrio: albita+epidota+clorita+actinolita+cuarzo**

**Minerales opácos**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Opácos	2	Diseminados y en cúmulos en la muestra. Ver descripción petrográfica de minerales opácos de este corte.

**Muestra N°: AA1416**

**Clasificación petrográfica :** basalto de hornblenda

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

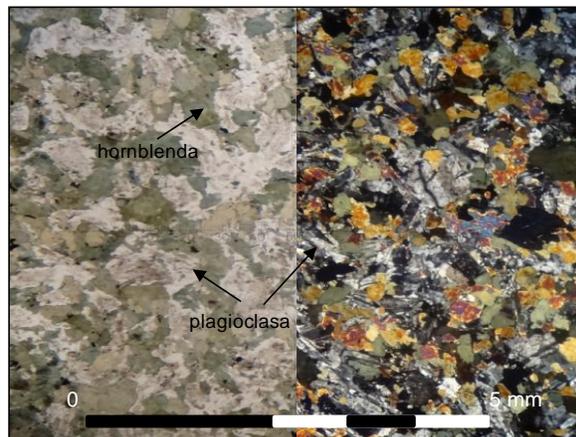
Roca perteneciente a un dique de textura fanerítica holocristalina, de grano fino (<2 mm), homométrica, hipidiomórfica, fábrica isotropa, homogénea. Mesocrática (60% de minerales máficos). Agregado microcristalino de hornblenda y plagioclasa con argilización leve a intensa asociado a estas últimas. Los minerales de alteración presentes son arcillas que reemplazan selectivamente a las plagioclasa, epidota granular diseminada y en vetillas en sus variedades pistasita y zoisita y trazas de hidróxidos de hierro. Vetilla recta, discontinua, sin halo, de 2,5 mm de espesor, rellena con epidota (zoisita y pistasita) cortada por vetilla de espesor variable (0,5 - 2 mm), recta, continua, sin halo rellena con epidota en variedades

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1416:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Roca de textura afanítica perteneciente a un dique. Se observan cristales de plagioclasa y hornblenda y vetillas de espesor variable rellenas con epidota.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra AA1416:** Microfotografía a nicols cruzados (der.) y paralelos (izq.) con aumento de 2x. Agregado cristalino de hornblenda y plagioclasa con menor epidota y trazas de opacos.

**Observaciones microscópicas**

**Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$**

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	40	argilización leve a intensa	Subhedral. Tabular. Inequigranular (0.4-1.9 mm). Diseminado. Algunas con macla albita.
Hornblenda	60		Subhedral. Prismático. Inequigranular. (<0.1 - 1.1 mm). Diseminado. Verde a verde amarillento.

**Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Epidota	2	Subhedral. Granular. Inequigranular (<0.2 mm). Diseminado y en vetillas. En sus variedades zoisita y pistacita.
Arcillas	1	<0.1 mm. Reemplazando selectivamente a plagioclasas.
Óxidos de Fe.	tr	Subhedral. Granular. Inequigranular (<0.1 mm). Diseminado.

Asociación mineral en equilibrio: No tiene.

**Minerales opacos**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Opacos	2	La muestra no presenta magnetismo.

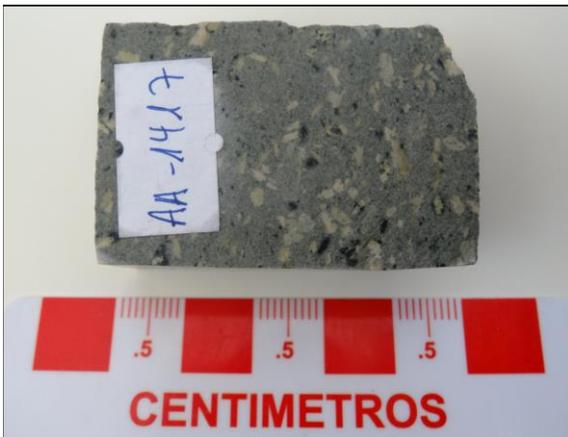
**Muestra N°: AA1417**

Clasificación petrográfica : andesita

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

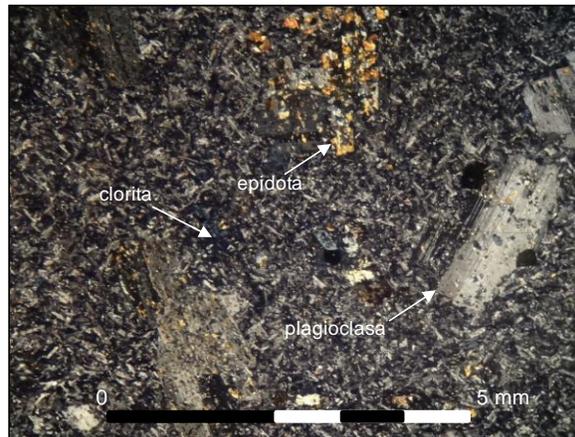
Roca perteneciente a un dique de textura porfídica y glomeroporfírica, holocristalina, de grano fino a medio (<0.1-4 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isotropa, homogénea. Leucocrática (15% de minerales máficos). Agregado cristalino de fenocristales de plagioclasa inmersos en una masa fundamental de plagioclasas (no orientadas). Los minerales de alteración presente son epidotas (zoisita y pistacita) inequigranulares diseminada y en cúmulos selectivos a los fenocristales de plagioclasa, cloritas inequigranulares diseminadas tanto en masa fundamental como en fenocristales, trazas de óxi-hidroxi de Fe. Vetilla sinuosa, de 0.1 mm de espesor, sin halo, discontinua, rellena con yeso y sin relaciones de corte.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1417:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Roca de textura porfídica con fenocristales de plagioclasa epidotizadas y silicatos máficos con cloritización total.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra AA1417:** Microfotografía a nicoles cruzados con aumento de 2x. Se observan fenocristales de plagioclasa con procesos de epidotización y clorita reemplazando a silicatos máficos totalmente.

**Observaciones microscópicas**

**Componentes minerales**

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	40	epidotización leve	Subhedral. Tabular. Inequigranular (<0.1 - 4 mm). Diseminado. Algunos fenocristales presentan macla albita. No orientadas.
Silicatos máficos	60	cloritización total	Subhedral. Inequigranular (<0.1-1.1 mm). Diseminado.

**Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Epidota	8	Subhedral. Granular. Inequigranular (<0.1-0.3). Diseminado y selectivo en plagioclasas. En variedades zoisita y pistacita.
Clorita	60	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.1-1.3 mm). Como reemplazo total y selectivo de silicatos máficos.
Yeso	tr	Anhedral. Masivo. <<0.1 mm. En vetilla de espesor 0.1 mm.
Óxidos de Fe.	tr	Subhedral. Granular. Inequigranular (<0.1 mm.). Diseminado.

**Asociación mineral en equilibrio: epidota+clorita**

**Minerales opacos**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Magnetita	1	La muestra presenta magnetismo leve

**Muestra N°: AA1418**

**Clasificación petrográfica :** gabro de piroxeno y hornblenda

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

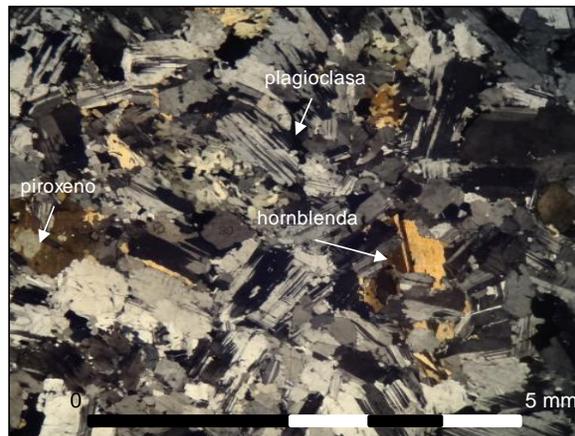
Roca de texturas fanerítica, poiquilitica (plagioclasa como inclusión en cristal de anfíbol). De grano fino a medio (0.1 - 3.2 mm), homométrica, hipidiomórfica, fábrica isotropa, homogénea. Leucocrática (30% de minerales máficos). Agregado de cristales de plagioclasas inequigranulares con crecimientos intersticiales de anfíboles, piroxenos altamente alterados y reemplazados por anfíboles. También se observan cristales de biotita (primaria y posiblemente secundaria) y opácos. Los minerales de alteración corresponden a arcillas que reemplazan selectiva y levemente a plagioclasas y trazas de epidota y sericita diseminada. No se observan vetillas en el corte.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1418:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de plagioclasa, piroxenos, hornblenda y biotita. Presenta Magnetismo.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra AA1418:** Microfotografía a nicoles cruzados con aumento de 2x. Se observan plagioclasas no orientadas y cristales de anfíbol. Menor magnetita.

**Observaciones microscópicas**

**Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$**

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	70	argilización muy leve	Subhedral. Tabular. Inequigranular (0.15 - 3.2 mm). Diseminado y como inclusión en cristal de hornblenda. Macla albita y periclina. An60
Piroxeno	tr	deuterica intensa a anfíbol.	Anhedral. Masivo. Equigranular (~0.4 mm). Diseminado. Café amarillento a amarillo.
Hornblenda	26		Subhedral. Prismático. Inequigranular (0.1-0.9 mm). Diseminado e intersticialmente entre granos de plagioclasa.
Biotita	2		Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.1 - 0.2 mm). En cúmulo.

**Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Epidota	1	Subhedral. Granular. Inequigranular (<0.1 mm). Diseminado.
Clorita	tr	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.1 mm). Diseminado.
Arcillas	tr	< 0.1 mm. Reemplazando selectivamente a plagioclasas.
Sericita	tr	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.1 mm). Diseminado.

**Asociación mineral en equilibrio: epidota+clorita.**

**Minerales opácos**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Magnetita	3	Diseminado. Ver descripción petrográfica de minerales opácos de este corte.

**Muestra N°: AA1419**

**Clasificación petrográfica :** tonalita de hornblenda y biotita

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

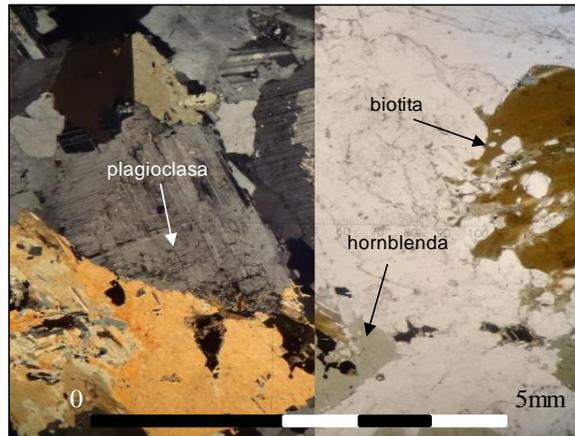
Roca de texturas fanerítica, poiquilitica (cristales de plagioclasa, cuarzo y anfíbol como inclusiones en cristales de biotita y cristales de plagioclasa y cuarzo como inclusiones en cristales de anfíboles), coronítica (epidota rodeando opácos). De grano fino a grueso (<0.1 - 8 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isotropa, homogénea. Leucocrática (20% de minerales máficos). Agregado de cristales de plagioclasa, anfíboles, biotita y cuarzo. Los minerales de alteración corresponden a sericita (sericitización leve de plagioclasas), actinolita, clorita (interestratificado de biotita-clorita), epidota y arcillas (argilización de plagioclasas). La asociación mineral en equilibrio textural corresponde a clorita+epidota. No presenta vetillas.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1419:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Roca de textura fanerítica. Se observan cristales de plagioclasa, anfíbol, biotita y cuarzo. Menor actinolita, epidota y clorita.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra AA1419:** Microfotografía a nicoles cruzados (izq.) y paralelos (der.) con aumento objetivo 2x. Agregado de cristales de plagioclasa, hornblenda y biotita. Textura poiquilitica de cuarzo en biotita.

**Observaciones microscópicas**

**Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$**

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	50	sericitización leve argilización leve cloritización leve	Subhedral. Tabular. Inequigranular (<0.1 - 8 mm). Diseminado. Algunas con macla albita y periclina. An40.
Anfíbol (hornblenda)	10		Subhedral. Prismático. Inequigranular (0.2 - 5 mm). Diseminado. Café pálido a verde.
Biotita	10	interestratificado con clorita	Subhedral a Anhedral. Laminar. Inequigranular ( 0.2 - 3,6 mm). Diseminado.
Cuarzo	30		Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.1 - 3 mm). Diseminado.
Rutilo?	tr		Subhedral. Prismático. 0.25 mm. Diseminado.
Circón	tr		Subhedral. Prismático. Equigranular (< 0.1 mm). Diseminado.

**Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)**

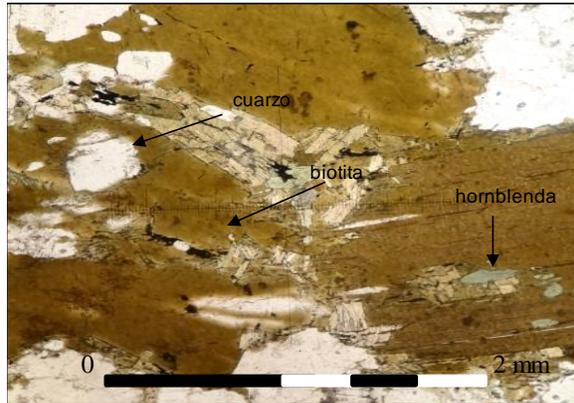
Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Actinolita	1	Subhedral. Prismático. Equigranular (<0.3 mm). En cúmulos.
Epidota	tr	Subhedral. Granular. Inequigranular (<0.15 mm). Diseminado asociado a minerales máficos y plagioclasas.
Clorita	tr	Subhedral. Laminar. Inequigranular (0.1-3 mm). En interstratificado biotita-clorita
Sericita	tr	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.1 mm). Agregado microcristalino reemplazando a plagioclasas.
Arcillas	tr	<<0.1 mm. Agregado microcristalino reemplazando selectivamente a plagioclasas.

**Asociación mineral en equilibrio: clorita+epidota**

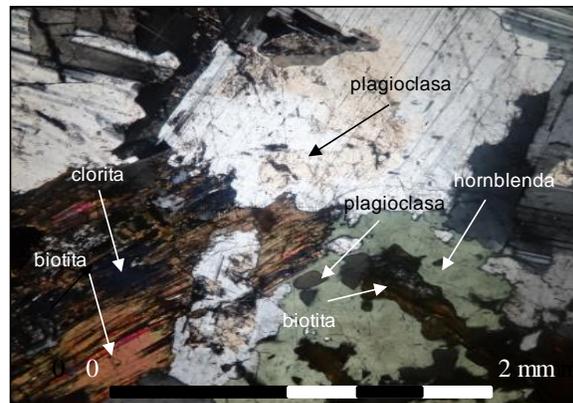
**Minerales opácos**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Magnetita	1	Magnetismo intenso en la muestra. Diseminada.

**Selección de Microfotografías**



**Muestra AA1419:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 5x. Se observan cristales de biotita de grano medio con cristales de hornblenda y cuarzo como inclusión (textura poiquilítica).



**Muestra AA1419:** Microfotografía a nicols cruzados con aumento de 5x. Se observan cristales hornblenda con cristales de plagioclasa como inclusión (textura poiquilítica), plagioclasa, interstratificado de clorita-biotita.

**Muestra N°: AA1420**

Clasificación petrográfica : **gabro de clinopiroxeno y hornblenda**

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

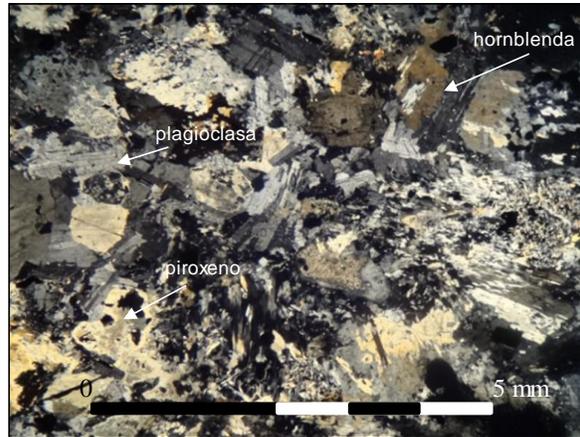
Roca de texturas fanerítica, poiquilítica (cristales de plagioclasa como inclusión en cristales de piroxenos y cristales de piroxenos como inclusiones en cristales de hornblenda). De grano fino a medio (<0.1 - 1.7 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isotropa, homogénea. Melanocrática (75% de minerales máficos). Agregado de cristales de plagioclasas, piroxenos, hornblenda. Los minerales de alteración corresponden a arcillas que reemplazan selectiva y levemente a plagioclasas, epidota (zoisita y pistacita) y clorita. La asociación mineral en equilibrio textural corresponde a clorita-epidota. No se observan vetillas en el corte.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1420:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de plagioclasa, piroxenos y anfíboles. El rechazo presenta magnetismo.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra AA1420:** Microfotografía a nicos cruzados con aumento objetivo 2x. Se observan cristales de plagioclasa, hornblenda y piroxenos.

**Observaciones microscópicas**

Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	35	argilización muy leve	Subhedral. Tabular. Inequigranular (0.15 - 1.7 mm). Diseminado. Macia albita y periclina. An55
Clinopiroxeno	25	deuterica intensa a hornblenda	Anhedral. Masivo. Inequigranular (0.4 - 1.7mm). Diseminado. Café verdoso.
Anfibol (Hornblenda)	40		Subhedral a Anhedrales. Prismático y Masivo. Inequigranular (<0.1-1.7 mm). Masivo.

**Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Clorita	5	Subhedral. Laminar. Equigranular (<0.4 mm). En cúmulos.
Epidota	tr	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.1 mm). Diseminado. Variedades zoisita y pistacita.
Arcillas	tr	<< 0.1 mm. Reemplazando selectivamente a plagioclasas.

Asociación mineral en equilibrio: clorita-epidota

**Minerales opácos**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Magnetita	2	Magnetismo intenso en la muestra.

**Muestra N°: AA1421**

Clasificación petrográfica : dacita de biotita.

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

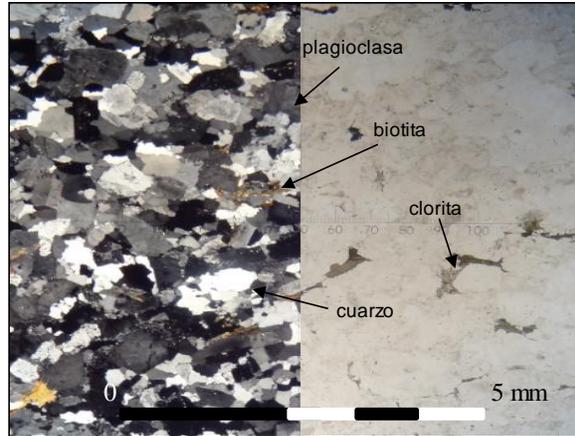
Roca de texturas microfanerítica, aplítica, y mirmequítica (cristales de cuarzo dentro de cristales de plagioclasa y feldespato potásico). Holocristalina, de grano fino a medio (<1.2 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isótropa, homogénea. Leucocrática (3% de minerales máficos). Agregado microcristalino de cristales de plagioclasa, feldespato, cuarzo y biotita. Los minerales de alteración son clorita como reemplazo de biotita (cloritización) y sericita como reemplazo de plagioclasa (sericitización). No tiene un asociación mineral en equilibrio para las fases minerales de alteración. Se observan recristalización de cuarzo en bordes de grano. No presenta vetillas.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1421:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de feldespato potásico, plagioclasa, cuarzo y biotita. El sector izquierdo del rechazo es el representativo del afloramiento.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra AA1421:** Microfotografía a nicoles cruzados (izq.) y nicoles paralelos (der.) con aumento de 2x. Se observan cristales de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, biotita y clorita.

**Observaciones microscópicas**

**Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$**

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Feldespato potásico	7		Anhdral. Masivo. Equigranular (~6 mm). Diseminado.
Plagioclasa	35	Sericitización leve	Subhedral. Tabular. Inequigranular (0.4-1 mm). Macla albita.
Cuarzo	55		Anhdral. Masivo. Inequigranular (<0.1-1.2 mm). Diseminado.
Biotita	3	cloritización media a intensa	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.1 - 0.6 mm). Diseminado.

**Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Clorita	1	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.1 - 1.2 mm). Como reemplazo de cristales de biotita.
Sericita	tr	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.1 mm). Diseminado y reemplazando a plagioclasa y feldespato potásico.

Asociación mineral en equilibrio: **No tiene.**

**Minerales opacos**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Desconocido	tr	La muestra no presenta magnetismo

**Muestra N°: AA1422**

Clasificación petrográfica : **tonalita de clinopiroxeno y hornblenda**

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

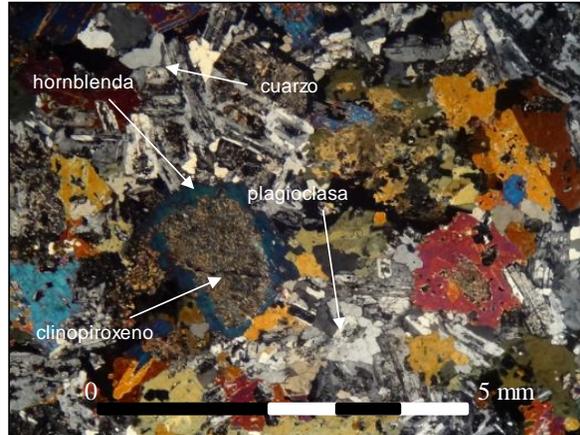
Roca de texturas fanerítica, poiquilítica (cristales subhedrales a anhedrales de piroxenos, plagioclasa, cuarzo y opácos como inclusiones en cristales de anfíbol), coronítica (cristales de clinopiroxenos rodeados por cristales de anfíbol). De grano fino a medio (<0.1 - 3.8 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isótropa, homogénea. Agregado cristalino de clinopiroxenos, plagioclasa, hornblenda y cuarzo. Melanocrática (85% de minerales máficos). Los minerales de alteración corresponden a actinolita, clorita, epidota, sericita. La asociación mineral en equilibrio corresponde a clorita-epidota. No se observan vetillas.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1422:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales plagioclasa, piroxeno, anfíbol, biotita y cuarzo. El rechazo presenta magnetismo leve.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra AA1422:** Microfotografía a nicols cruzados con aumento de 2x. Se observan plagioclasa, clinopiroxeno, hornblenda y cuarzo. También opácos. Textura coronítica de hornblenda rodeando piroxeno.

**Observaciones microscópicas**

**Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$**

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	15	Albitización media epidotización leve a media sericitización leve	Subhedral. Tabular. Inequigranular (0.1-2 mm). Diseminado y como inclusión en cristales de hornblenda. Macla albita, carls-albita. Algunas presentan zonación. An70.
Clinopiroxeno	20	uralitización a anfíbol leve a intensa	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<3.8 mm). Diseminado y como inclusiones en cristales de hornblenda.
Anfíbol (hornblenda)	55	actinolización leve	Subhedral. Prismático. Inequigranular (1 - 4.8 mm). Diseminado. Algunas presentan macla. Amarillo, café y verde.
Biotita	2	cloritización leve.	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.3 mm). Diseminado.
Cuarzo	8		Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.1 - 1.6). Diseminado y como inclusión en cristales de hornblenda
Circón	tr		Subhedral a Anhedral. Prismático, Masivo. Inequigranular (<0.1 mm). Diseminado.

**Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Actinolita	7	Subhedral a Anhedral. Prismático y Masivo. Inequigranular (0.4 - 2.2m). Diseminado y como reemplazo de hornblenda.
Epidota	3	Subhedral. Granular. Inequigranular. (<0.1 mm). Diseminado y selectivo a plagioclasas. Variedad pistacita.
Clorita	2	Subhedral. Laminar. Inequigranular (0.1 - 0.3 mm). Interestratificado clorita-biotita
Sericita	1	Subhedral (<0.1 mm). Diseminada. Reemplazando a plagioclasas.

**Asociación mineral en equilibrio: clorita-epidota.**

**Minerales opácos**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Magnetita	1	Magnetismo en la muestra.

**Muestra N°: AA1423**

Clasificación petrográfica : **basalto de piroxeno y hornblenda**

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

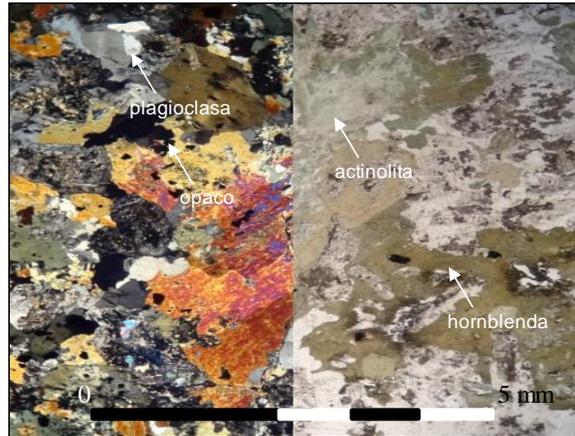
Roca de texturas microfanerítica, poiquilítica (cristales subhedrales a anhedrales de piroxenos, plagioclasa, cuarzo y opácos como inclusiones en cristales de hornblenda), coronítica de anfíbol rodeando clinopiroxenos. Holocristalina, de grano fino a medio (<0.1 - 4.8 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isotrópica, homogénea. Agregado cristalino de clinopiroxenos, plagioclasas, hornblenda y cuarzo. Melanocrática (75% de minerales máficos). Los minerales de alteración corresponden a epidota, actinolita, sericita. La asociación mineral en equilibrio corresponde a epidota-sericita. No se observan vetillas.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1423:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de plagioclasa, anfíboles y piroxenos.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra AA1423:** Microfotografía a nicoles cruzados (izq.) y paralelos (der.) con aumento de 2x. Se observan cristales de plagioclasa, anfíbol y cuarzo. También arcillas y opácos.

**Observaciones microscópicas**

Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	20	epidotización media a intensa sericitización media	Subhedral. Tabular. Inequigranular (0.75-1.6 mm). Diseminado y como inclusión en cristales de hornblenda. Macla albita.
Clinopiroxeno	15	uralitización intensa a anfíbol.	Anhedral. Masivo. Inequigranular (1.4mm). Como inclusiones en cristales de anfíbol.
Anfíbol (hornblenda)	60		Subhedral. Prismático. Inequigranular (1-4.8 mm). Diseminado. Algunas macladas. Amarillo, café y verde.
Cuarzo	5		Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.1-0.8). Diseminado y como inclusión en cristales de hornblenda.

**Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Actinolita	7	Subhedral a Anhedral. Prismático, Masivo. Inequigranular (0.1-3mm). Diseminado y como reemplazo de hornblenda.
Epidota	10	Subhedral. Granular. Inequigranular (<0.6 mm). Diseminado y selectivo a plagioclasas. Variedad zoisita es más común
Sericita	4	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.1 mm). Diseminado y reemplazando a plagioclasas.

Asociación mineral en equilibrio: epidota-sericita

**Minerales opácos**

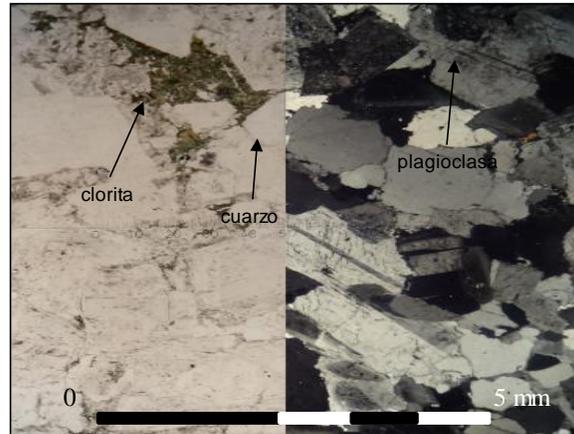
Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Magnetita	<1	Magnetismo en la muestra.

**Muestra N°: AA1424**Clasificación petrográfica : **tonalita de biotita****Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

Roca de texturas fanerítica, aplítica, mirmequítica. De grano fino a medio (<0.1 - 5.4 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isótropa, homogénea. Leucocrática (10% de minerales máficos). Agregado microcristalino de cristales de plagioclasa, feldespato, cuarzo y biotita. Los minerales de alteración son clorita como reemplazo de biotita (cloritización) y sericita como reemplazo de plagioclasas (sericitización), además existe epidota diseminada y argilización de plagioclasa y feldespato potásico. La asociación mineral en equilibrio corresponde a clorita-epidota-sericita. No se observan vetillas.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**

**AA1424:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de plagioclasa, cuarzo y biotita. El rechazo presenta magnetismo leve.

**Microfotografía (aspecto general)**

**Muestra AA1424:** Microfotografía a nicoles cruzados (der.) y paralelos (izq.) con aumento de 2x. Se observan cristales de cuarzo, plagioclasa y biotita. También clorita como reemplazo de biotita.

**Observaciones microscópicas****Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$** 

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Feldespato-K	2	argilización media	Anhedral. Masivo. Equigranular (~2 mm). Diseminado.
Plagioclasa	50	Sericitización leve argilización leve	Subhedral. Tabular. Inequigranular (1-3 mm). Diseminado. Macla albita. Algunas zonadas.
Cuarzo	45		Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.1-5.4 mm). Diseminado.
Biotita	3	cloritización leve a media	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.1 - 0.5 mm). En cúmulos.

**Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Clorita	2	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.1 - 0.3 mm). Como reemplazo de cristales de biotita.
Epidota	tr	Subhedral. Granular. Inequigranular (<0.15 mm). Diseminado. Variedad pistacita.
Arcillas	tr	<<0.1 mm. Como reemplazo de plagioclasas y feldespato.
Sericita	tr	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.1 mm). Diseminado y reemplazando a plagioclasas y feldespatos.

**Asociación mineral en equilibrio: clorita-epidota-sericita****Minerales opacos**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Magnetita	1	La muestra presenta magnetismo leve.

**Muestra N°: AA1425**

Clasificación petrográfica : **ganitoide cuarcífero de biotita**

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

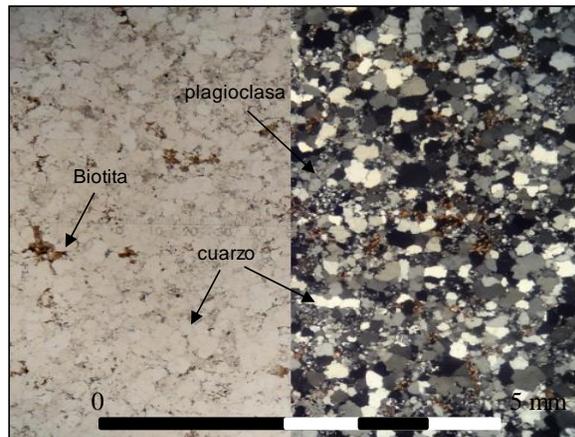
Roca de texturas fanerítica, felsítica y sacaroidal para los granos de cuarzo. De grano fino (<0.1-0.5 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isotropa, homogénea. Leucocrática (5% de minerales máficos). Agregado microcristalino de cristales de plagioclasa, cuarzo y biotita. También es posible observar cúmulos de granos finos de cuarzo. Los minerales de alteración son clorita como reemplazo de biotita (cloritización) y arcillas selectivas en plagioclasa (argilización). También trazas de actinolita. No presenta una asociación mineral en equilibrio. No presenta vetillas.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1425:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de plagioclasa, cuarzo y biotita.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra AA1425:** Microfotografía a nicoles cruzados (der.) y paralelos (izq) con aumento de 2x. Se observan cristales de plagioclasa, cuarzo y biotita diseminados.

**Observaciones microscópicas**

Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	35	argilización leve actinolitización leve	Subhedral. Tabular. Inequigranular (<0.1-0.6 mm). Diseminado. Algunos presentan macla albita.
Cuarzo	60		Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.1- 0.6 mm). Diseminado y en cúmulos para los granos menores.
Biotita	5	cloritización parcial a total	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.1 - 0.2 mm). Diseminado.

**Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Clorita	2	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.1 - 0.2 mm). Como reemplazo de cristales de biotita.
Arcillas	tr	<<0.1 mm. Diseminado y como reemplazo selectivo de plagioclasas (argilización).
Actinolita	tr	Subhedral. Prismático. Inequigranular (<0.1 mm). Como reemplazo selectivo de plagioclasas.

Asociación mineral en equilibrio: **No tiene.**

**Minerales opacos**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Magnetita	tr	La muestra presenta magnetismo leve.

**Muestra N°: AA1426**

Clasificación petrográfica : **basalto de piroxeno**

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

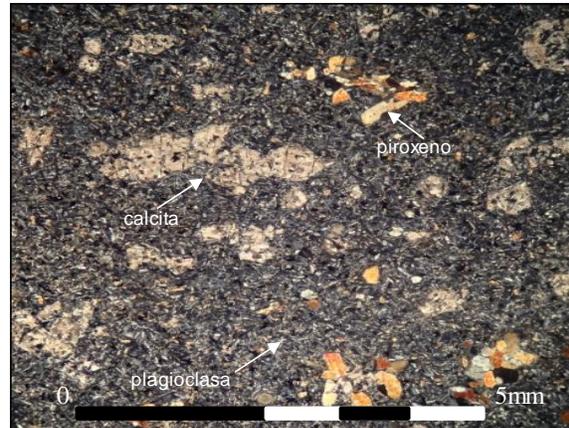
Roca perteneciente a un dique de textura microporfídica, holocristalina, de grano fino (<0.7 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isotropa, homogénea. Melanocrática (70% de minerales máficos). Fenocristales de piroxeno y pseudomorfos de olivino rellenos con esmectita y carbonatos dispuestos en una matriz de microlitos de piroxeno, plagioclasa y biotita?. Los minerales de alteración corresponden a arcillas (argilización de plagioclasas), y esmectita y carbonatos (calcita) que reemplazan a cristales de olivino. La asociación mineral es esmectita-calcita. No presenta vetillas.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1426:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Roca de textura porfírica. Se observan fenocristales de plagioclasa y piroxeno.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra AA1426:** Microfotografía a nicos cruzados con aumento de 2x. Se observan fenocristales de piroxeno, plagioclasa y pseudomorfos de olivino a calcita.

**Observaciones microscópicas**

Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	30	argilización leve	Subhedral. Tabular. Equigranular (0.15 mm). Diseminado. No orientadas. Algunas con macla de albita.
Olivino	0(*)	reemplazados totalmente por carbonatos y esmectita	Subhedral. Granular. Inequigranular (0.3-0.7). Diseminado. Pseudomorfos de olivino reemplazados. (*):porcentaje de minerales de reemplazo: carbonatos y esmectita.
Piroxeno	67		Subhedral. Prismático. Inequigranular (<0.4 mm). Diseminado. Como fenocristal y en masa fundamental como microlito.
Biotita?	3		Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.1 mm). Diseminado

**Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Carbonatos	8	Anhedral. Masivo. Inequigranular (0.3 - 0.7 mm). Como reemplazo de cristales de olivino formando pseudomorfo junto a esmectita
Esmectita	2	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.3 mm). Como reemplazo de cristales de olivino formando pseudomorfo. Junto a carbonatos (calcita).
arcillas	tr	<<0.1 mm. Como reemplazo selectivo de plagioclasas.

**Asociación mineral en equilibrio: carbonatos-esmectita**

**Minerales opacos**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Magnetita	1	Diseminado. Ver descripción petrográfica de minerales opacos de este corte.

**Muestra N°: AA1427**

Clasificación petrográfica : **granodiorita de biotita**

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

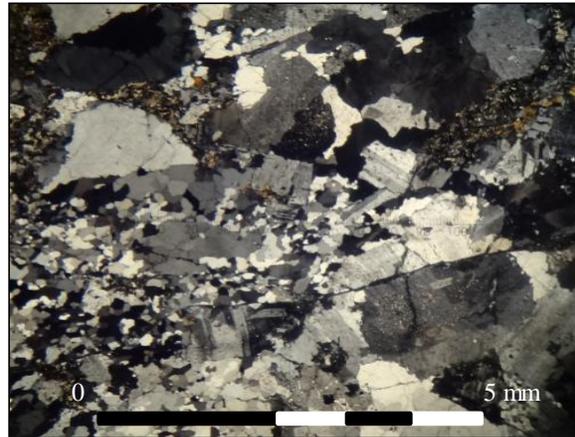
Roca de texturas fanerítica, aplítica, consertal, mirmequítica y sacaroidal para los granos de cuarzo. De grano fino a grueso (<0.1 - 5.2 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isótropa, homogénea. Agregado cristalino de minerales de plagioclasa, feldespato potásico, biotita y cuarzo. Algunas plagioclasas presentan maclas afectas a metamorfismo dinámico (bandeamiento de maclas). Leucocrática (6% de minerales máficos). Los minerales de alteración presentes son titanita, clorita, arcillas y menor epidota y actinolita. La asociación mineral en equilibrio corresponde a albita-actinolita-clorita-epidota-titanita (facies esquistos verdes). No presenta vetillas.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1427:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de plagioclasa, feldespato potásico, biotita y cuarzo. Trazas de clorita y opácos.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra AA1427:** Microfotografía a nicoles cruzados con aumento de 2x. Se observan cristales de plagioclasa, biotita y cuarzo.

**Observaciones microscópicas**

Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	40	sericitización leve. Albitización y Argilización leve	Subhedral a anhedral, tabulares y masivas, inequigranulares (0.3-5 mm), macla polisintética y macla albita. Diseminada.
Feldespato-K	15	argilización leve a media.	Anhedral, masivo, equigranular (~2 mm). Diseminado
Biotita	5	cloritización leve	Subhedral, laminar, inequigranular (0.1 - 1.8 mm). Diseminado.
Cuarzo	40		Anhedral, masivo, inequigranular (0.1 - 0.5 mm). Diseminado.
Circón	tr		Subhedral. Prismático. Equigranular (<0.1 mm). Diseminado.

**Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Clorita	1	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.2 mm). Diseminado y reemplazando parcial y selectivamente a biotita.
Sericita	1	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.1 mm). Como reemplazo de plagioclasas.
Arcillas	tr	<<0.1 mm. Como reemplazo de plagioclasas y feldespatos.
Epidota	tr	Subhedral. Granular. Inequigranular (<0.1 mm). Diseminado.
Actinolita	tr	Subhedral. Prismático. Inequigranular (<0.1 mm). En cúmulos asociados a biotita.
Titanita	0,1	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.5 mm). Diseminado.

Asociación mineral en equilibrio: albita+titanita+clorita+actinolita+epidota.

**Minerales opacos**

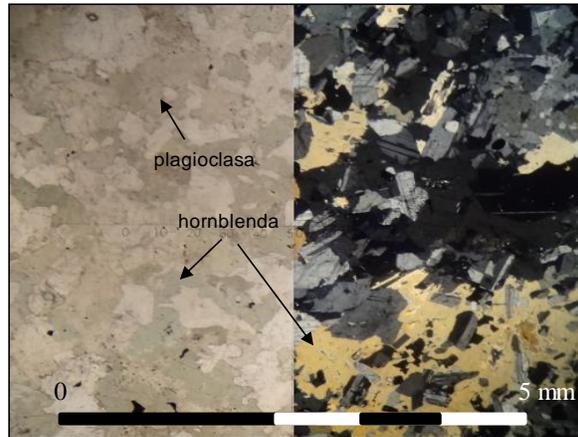
Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Opácos	tr	La muestra no presenta magnetismo

**Muestra N°: AA1428**Clasificación petrográfica : **gabro de piroxeno y hornblenda****Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

Roca de texturas fanerítica, poiquilítica (cristales subhedrales a anhedrales de plagioclasa y cristales anhedrales de piroxenos como inclusiones en cristales de anfíboles y actinolita). De grano fino a medio (<0.1 - 5 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isótropa, homogénea. Agregado cristalino de piroxenos, plagioclasas y anfíbol (hornblenda y actinolita) que rodean parcialmente a cristales de plagioclasa. Mesocrática (50% de minerales máficos). Los minerales de alteración corresponden a actinolita y arcillas. No tiene una asociación mineral en equilibrio textural de las fases de alteración y no presenta vetillas.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**

**AA1428:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de plagioclasa, piroxeno y anfíboles.

**Microfotografía (aspecto general)**

**Muestra AA1428:** Microfotografía a nicoles paralelos (izq.) y cruzados (der.) con aumento de 2x. Se observan cristales de plagioclasa y hornblenda. Texturas fanerítica, poiquilítica.

**Observaciones microscópicas****Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$** 

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	65	argilización leve	Subhedral. Tabular. Inequigranular (<0.1 - 5 mm). Diseminado y como inclusión en cristales de hornblenda y actinolita. Macla albita y macla periclina. An65
Ortopiroxeno	5	uralitización intensa	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.5 mm). Como inclusiones en cristales de hornblenda y actinolita.
Hornblenda	25	actinolitización media	Subhedral. Prismático. Inequigranular (1 - 2.3 mm). Diseminado. Algunas macladas. Amarillas y verdes.

**Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Actinolita	15	Subhedral. Prismático, Masivo. Inequigranular (0.1 - 4.8mm). Diseminado y como reemplazo de hornblenda. Crecimiento intersticial entre los granos de plagioclasa.
Arcillas	tr	<<0.1 mm, como reemplazo de plagioclasas.
Sericita	tr	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.1 mm). Diseminado.

**Asociación mineral en equilibrio: No tiene.****Minerales opacos**

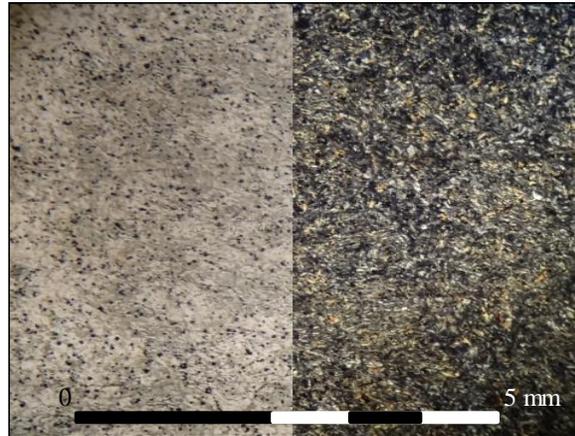
Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Magnetita	<1	Magnetismo en la muestra.
Oxi-hidroxi de Fe	tr	<0,1 mm. Diseminado.

**Muestra N°: AA1429**Clasificación petrográfica : **metabasalto de actinolita****Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

Roca perteneciente a un dique de textura afanítica holocristalina, de grano fino (<0.5 mm), homométrica, hipidiomórfica, fábrica isotropa, homogénea. Mesocrática (50% de minerales máficos completamente actinolizados). Actinolitas equigranulares dispuestas masivamente en la roca, intersticialmente se encuentran plagioclasas albitizadas equigranulares no orientadas. Biotita de 0.1 mm equigranulares anhedral diseminada en la roca. vetillas de <<0.1 mm de espesor, rectas, discontinuas, sin halo y de bordes nítidos rellenas con biotita y opacos. No tiene asociación mineral en equilibrio.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**

**AA1429:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Roca de textura afanítica perteneciente a un dique.

**Microfotografía (aspecto general)**

**Muestra AA1429:** Microfotografía a nicols paralelos (izq.) y cruzados (der.) con aumento de 2x. Se observa un agregado microcristalino de plagioclasa, biotita y silicatos máficos totalmente actinolizados.

**Observaciones microscópicas**Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$ 

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	50	Albitización	Subhedral. Tabular. Equigranular (0.2 mm). Diseminado. Algunas con macla de albita. No orientadas.
Biotita	5		Subhedral. Laminar. Equigranular (<0.1 mm). Diseminado y en vetillas.
Silicatos máficos	45	completamente actinolizados	

**Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Actinolita	45	Subhedral. Acicular, Prismático. Inequigranular (<0.1 - 0.3 mm). Dispuesto masivamente en la roca y a veces en cúmulos.

**Asociación mineral en equilibrio: No tiene.****Minerales opacos**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Magnetita	4	Magnetismo intenso en la muestra. Diseminado.

**Muestra N°: AA1430**

Clasificación petrográfica : **cuarzo-gabro de piroxeno y hornblenda**

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

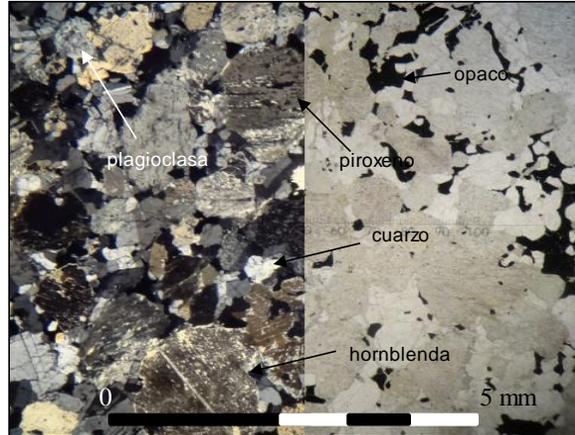
Roca de texturas fanerítica, poiquilítica (cristales anhedrales de piroxenos como inclusiones en cristales de hornblenda) y coronítica (cristales de actinolita que bordean a cristales de hornblenda). De grano fino a medio (0.1 - 5 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isótropa, homogénea. Agregado cristalino de piroxenos, plagioclasas, hornblenda y cuarzo. Mesocrática (55% de minerales máficos). Los minerales de alteración corresponden a actinolita, epidota, sericita, esmectita, arcillas e óxidos e hidróxidos de Fe. No hay una asociación mineral en equilibrio textural para las fases secundarias. Vetillas de <0.1 mm de espesor, discontinuas, semirectas, sin halo de alteración y con bordes nítidos rellenas con actinolita. También vetillas de igual características rellenas con óxidos e hidróxidos de Fe.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1430:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de plagioclasa, anfíboles, piroxenos y cuarzo. Vetilla <0,1 mm rellena con actinolita. Presenta Magnetismo.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra AA1430:** Microfotografía a nicoles cruzados (izq.) y paralelos (der.) con aumento de 2x. Se observan cristales de plagioclasa, piroxeno, hornblenda y cuarzo. También opácos.

**Observaciones microscópicas**

Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	40	Argilización leve. Sericitización nula a leve.	Subhedral. Tabular. Inequigranular (0.1-1.6 mm). Diseminado. Macla albita, periclina, macla carlsbad-albita. An60
Piroxeno	25	uralitización intensa a anfíbol y actinolita	Anhedral. Masivo. Inequigranular (0.3 - 1mm). Como inclusiones en cristales de hornblenda.
Hornblenda	30	Actinolitización leve	Subhedral. Prismático. Inequigranular ( 0.3 - 5 mm). Diseminado. Algunas macladas. Amarillo, café y verde.
Cuarzo	5		Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.1). Diseminado.

**Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Actinolita	10	Subhedral a Anhedral. Prismático, Masivo. Inequigranular (<0.1 - 0.6mm). Como reemplazo de hornblenda y en vetilla.
Epidota	1	Subhedral a Anhedral. Granular, Masivo. Inequigranular (<0.1 mm). Diseminado. Variedades pistacita y zoisita.
Oxi-hidroxi de Fe.	tr	<0.1 mm. Diseminado y en vetillas.
Esmectita	tr	<<0.1 mm. Como reemplazo de anfíbol.
Arcillas	tr	<<0.1 mm. Como reemplazo selectivo de plagioclasas.
Sericita	tr	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.1 mm). Diseminado.

**Asociación mineral en equilibrio: No tiene.**

**Minerales opacos**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Opacos	7	Diseminado. Ver descripción calcográfica de este corte.

**Muestra N°: AA1431**

Clasificación petrográfica : **gabro de piroxeno y hornblenda**

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

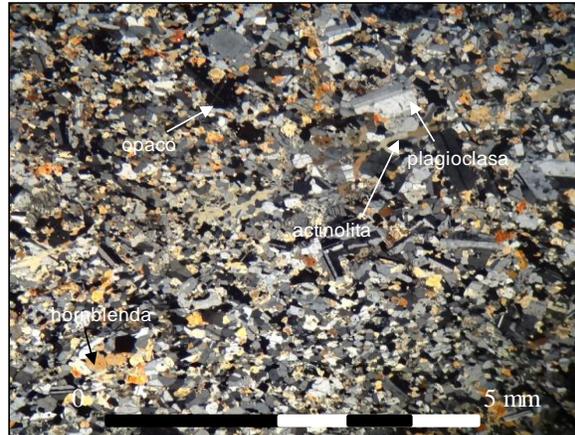
Roca de texturas porfídica, glomeroporfírica, poiquilítica (cristales subhedrales de plagioclasa, piroxeno y opacos como inclusiones en cristales de hornblenda). De grano fino a medio (<0.1 - 3 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isotropa, homogénea. Agregado cristalino de fenocristales de plagioclasa y hornblenda (los cuales rodean parcialmente a cristales de plagioclasa) con una matriz compuesta por las mismas fases. Mesocrática (40% de minerales máficos). Los minerales de alteración corresponden actinolita, epidota y arcillas ninguno de los cuales se encuentra en equilibrio textural. Presenta una vetilla recta, continua, sin halo, de bordes nítidos, de 0.05 mm de espesor, rellena con anfíbol.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1431** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de plagioclasa inmersos en una masa fundamental oscura. El rechazo presenta magnetismo intenso.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra AA1431:** Microfotografía a nicóles cruzados con aumento de 2x. Se observan plagioclasas no orientadas y cristales de hornblenda crecidos intersticialmente y en vetilla.

**Observaciones microscópicas**

Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	65	epidotización leve argilización leve	Subhedral. Tabular. Inequigranular (<0.1-3 mm). Diseminado y como inclusión en cristales de hornblenda y actinolita. Macla albita y periclina.
piroxenos	5	uralitización a anfíbolos	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.2 mm). Como inclusiones en cristales de hornblenda.
Anfíbol (hornblenda)	30	actinolitización leve	Subhedral. Prismático. Inequigranular (<0.4 mm). Diseminado y en vetillas. Amarillo, verde pálido.

**Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)**

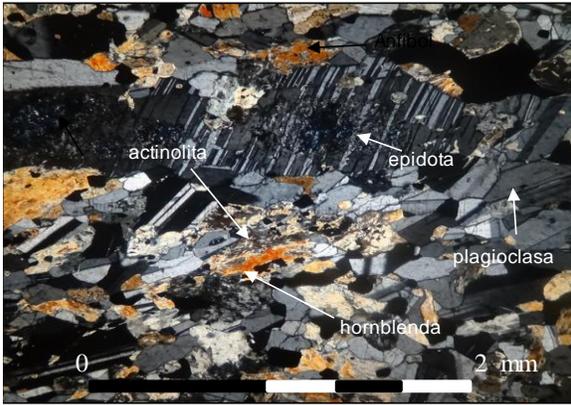
Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Actinolita	tr	Subhedral. Masivo. Inequigranular (<0.45 mm). Diseminado y como reemplazo de hornblenda.
Epidota	tr	Subhedral. Granular. Inequigranular (<0.1 mm). En cúmulos selectivos a fenocristales de plagioclasa. Variedad zoisita.
Arcilla	tr	<<0.1 mm. Como reemplazo selectivo de plagioclasas.

Asociación mineral en equilibrio: **No tiene.**

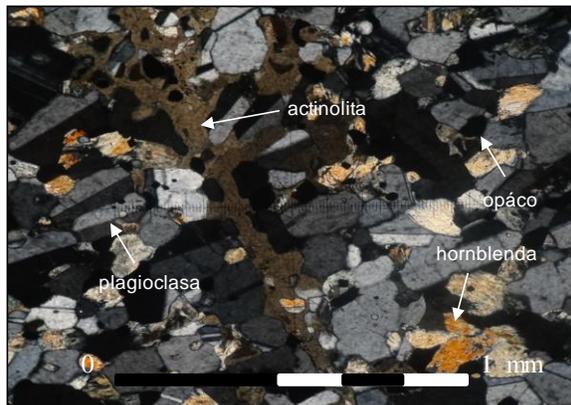
**Minerales opácos**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Magnetita	4	Magnetismo intenso en la muestra.

**Selección de Microfotografías**



Muestra AA1431: Microfotografía a nicoles cruzados con aumento de 5x. Plagioclasa con epidotización selectiva en variedad zoisita, actinolita y cristales de hornblenda con actinolización parcial.



Muestra AA1431: Microfotografía a nicoles cruzados con aumento de 10x. Vetilla de ~0,1 mm de espesor rellena con actinolita. Cristales primarios de plagioclasa y hornblenda.

**Muestra N°: AA1432**

Clasificación petrográfica : **meta-tonalita de actinolita**

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

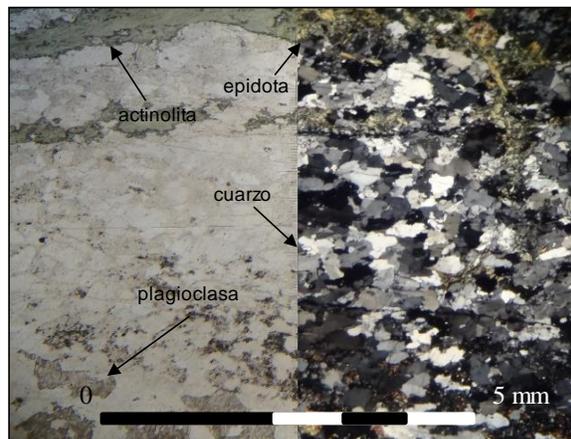
Roca de texturas fanerítica y consertal, de grano fino (<2 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isótropa, homogénea. Leucocrática (20% de minerales máficos). Agregado cristalino de minerales de plagioclasa y cuarzo. Los minerales de alteración presentes corresponden a albita, actinolita, clorita, epidota y stilpnomelano que se encuentran dispuestos en una patina de al menos 5 mm de espesor en la roca (asociación mineral en equilibrio textural). También hay actinolita diseminada como modo de ocurrencia de este mineral. Vetilla de espesor variable <1 mm, rectas, de bordes nítidos, sin halo de alteración, discontinua y rellena con actinolita y epidota. También vetillas <0.1 mm y de las mismas características que la anterior pero rellenas únicamente con epidota.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



AA1432: Aspecto general de la muestra en rechazo. Se observan cristales de plagioclasa y cuarzo y pátina de alteración con minerales de actinolita, clorita y epidota.

**Microfotografía (aspecto general)**



Muestra AA1432: Microfotografía a nicoles paralelos (izq.) y cruzados (der.) con de 2x. Se observa un agregado microcristalino de cuarzo y plagioclasa y pátina de alteración con actinolita y epidota.

### Observaciones microscópicas

Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	45	Albitización media Argilización leve	Subhedrales a anhedrales, tabulares, inequigranulares (0.2 - 1.2 mm). Escazamente macladas (polisintética)
Cuarzo	55		Anhedral, masivo, Inequigranular (< 2 mm), diseminado.

### Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)

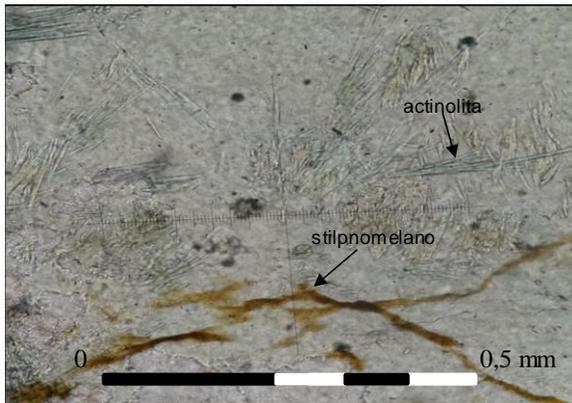
Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Actinolita	15	Subhedral. Acicular, Fibroso. Inequigranular (<0.6 mm). Diseminado, en vetillas y principalmente en pátina de al menos 5 mm.
Epidota	5	Subhedral. Granular. Inequigranular (<0.2 mm). En vetillas, diseminado y principalmente en pátina de al menos 5 mm. Variedades zoisita y pistacita son comunes.
Clorita	tr	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.7 mm). Diseminado.
Stilpnomelano	tr	Subhedral. Fibroso. Inequigranular (<0.8 mm). Diseminado.

Asociación mineral en equilibrio: albita + actinolita+epidota+clorita+stilpnomelano

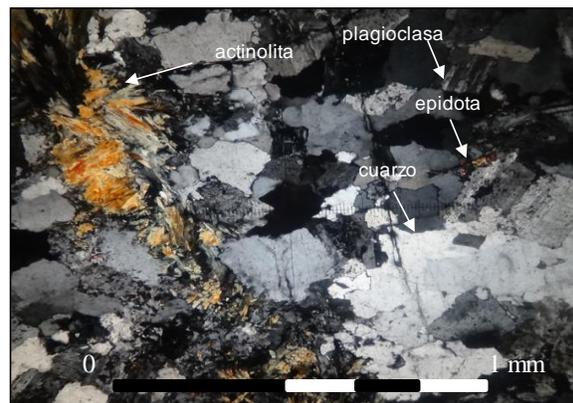
### Minerales opacos

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Opaco	tr	La muestra no presenta magnetismo. Diseminado y en vetillas.

### Selección de Microfotografías



**Muestra AA1432:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 20x. Se observan cristales de actinolita y stilpnomelano en equilibrio textural.



**Muestra AA1432:** Microfotografía a nicols cruzados con aumento de 10x. Vetilla de ~0,25 mm rellena con actinolita y epidota diseminada. plagioclasa y cuarzo.

**Muestra N°: AA1433**

Clasificación petrográfica : **tonalita de hornblenda y biotita**

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

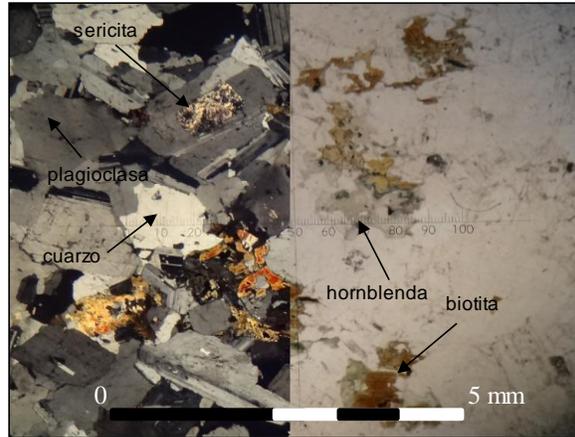
Roca de textura fanerítica, poiquilitica (cristales de plagioclasa como inclusión en cristales de anfíbol). De grano fino (<2 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isotropa, homogénea. Leucocrática (5% de minerales máficos). Agregado microcristalino de cristales de plagioclasa, hornblenda, cuarzo y biotita. Escasos minerales de alteración que corresponden a actinolita como reemplazo de hornblenda, clorita en interestratificado de clorita-biotita, muy baja cantidad de granos de epidota diseminada, arcillas y sericita selectiva en plagioclasas. La asociación mineral en equilibrio corresponde a actinolita-clorita. No presenta vetillas.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1433:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de plagioclasa, hornblenda, cuarzo y biotita con menor clorita, epidota y actinolita como minerales de alteración.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra AA1433:** Microfotografía a nicols cruzados (izq.) y paralelos (der.) con aumento de 2x. Se observan cristales de plagioclasa, hornblenda, cuarzo y biotita cloritizada parcialmente. Menor sericita en plagioclasa.

**Observaciones microscópicas**

**Componentes minerales: Σ=100%**

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	40	Argilización leve	Subhedral. Tabular. Inequigranular (0.1-1.8 mm). Diseminado. Algunos presentan macla albita, carlsbad, albita-carlsbad. An50
Cuarzo	55		Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.1- 2 mm). Diseminado.
Hornblenda	1	Actinolitización leve a intensa	Anhedral. Masivo. Inequigranular (0.1- 1 mm). Diseminado.
Biotita	4	Cloritización parcial	Subhedral. Laminar. Inequigranular (0.1 - 1 mm). Diseminado.

**Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)**

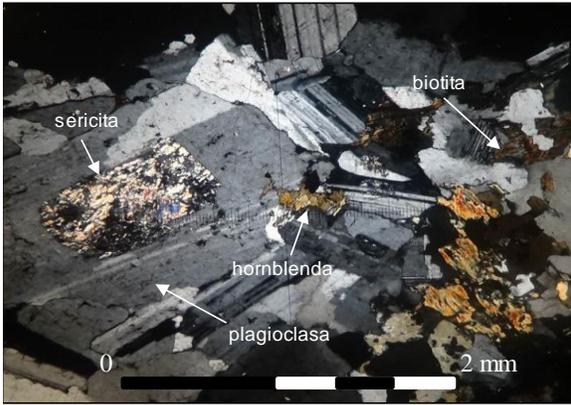
Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Clorita	1	Subhedral. Laminar. Inequigranular (0.1 - 1 mm). Interestratificado de clorita-biotita.
Epidota	tr	Subhedral. Granular. Inequigranular (<0.1 mm). Diseminado. Variedad pistacita.
Arcillas	tr	<<0.1 mm. Diseminado y como reemplazo selectivo de plagioclasas (argilización).
Sericita	tr	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.1 mm). Como reemplazo selectivo de plagioclasa.
Actinolita	tr	Subhedral. Acicular-Prismático. Inequigranular (<0.1 mm). Como reemplazo de anfíboles.

**Asociación mineral en equilibrio: actinolita-clorita**

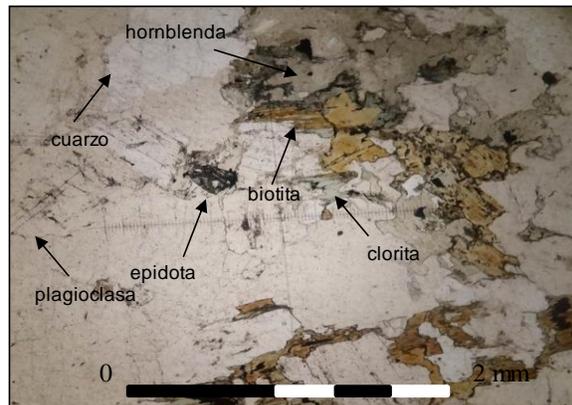
**Minerales opácos**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Opácos	tr	Diseminado y en microvetillas. Ver descripción petrográfica de minerales opácos de este corte.

**Selección de Microfotografías**



**Muestra AA1433:** Microfotografía a nicoles cruzados con aumento de 5x. Se observan cristales de plagioclasa con sericitización selectiva, hornblenda y biotita.



**Muestra AA1433:** Microfotografía a nicoles paralelos con aumento de 5x. Se observan cristales de plagioclasa, hornblenda, biotita con clorización parical y epidota.

**Muestra N°: AA1434**

Clasificación petrográfica : **tonalita de hornblenda**

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

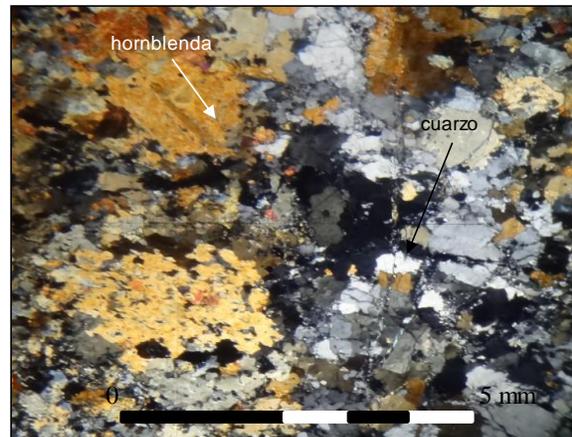
Roca obliterada con presencia de textura poiquilitica de cuarzo como inclusión en cristales de hornblenda. Holocristalina, de grano fino (<2 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isotropa, homogénea. Mesocrática (50% de minerales máficos). Agregado cristalino de minerales de plagioclasa, hornblenda y cuarzo. Los minerales de alteración presentes corresponden a epidota en sus variedades pistasita y zoisita, actinolita, arcillas y hidroxidos de hierro. La asociación mineral en equilibrio corresponde a actinolita-epidota. Vetilla de 0.15 mm. semi-recta, continua, sin halo, de bordes nítidos, rellena con actinolita, epidota y oxidos e hidroxidos de Fe. vetillas de similar características de 0.5 mm rellenas con epidota solamente y con actinolita solamente.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1434:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Roca de textura obliterada.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra AA1434:** Microfotografía a nicoles cruzados con aumento de 2x. Se observa un agregado cristalino de cuarzo y hornblenda remanentes del protolito.

### Observaciones microscópicas

Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	50?	Argilización leve a media	Ahedral. Masivo. Inequigranular (0.2 - 2 mm). Diseminado.
Anfiboles	20?	Asociadas a epidota y actinolita	Subhedral. Prismático. Inequigranular (0.5 - 1 mm). Diseminado. Algunas macladas. Verde.
Cuarzo	30?		Anhedral, masivo, Inequigranular (<0.1 - 2 mm), diseminado.

Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Actinolita	30	Subhedral. Acicular, Prismático. Inequigranular (<0.4 mm). Diseminado y en vetillas.
Epidota	40	Subhedral. Granular, Prismático, Masivo. Inequigranular (<0.9 mm). En vetillas. Variedades zoisita y pistacita son comunes.

Asociación mineral en equilibrio: actinolita-epidota

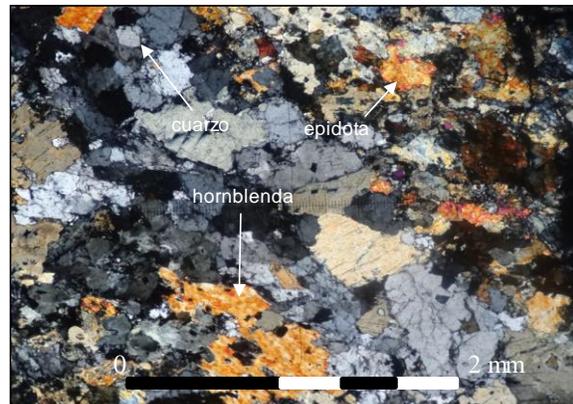
Minerales opacos

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Opáco	tr	La muestra no presenta magnetismo. Diseminado y en vetillas.

### Selección de Microfotografías



**Muestra AA1434:** Microfotografía a nicoles cruzados con aumento de 10x. Se observan cristales de actinolita y epidota en su variedad zoisita en equilibrio textural.



**Muestra AA1434:** Microfotografía a nicoles cruzados con aumento de 5x. Cristales de epidota en sus variedades zoisita y pistacita, hornblenda y cuarzo.

**Muestra N°: AA1435**

Clasificación petrográfica : **tonalita de hornblenda y biotita**

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

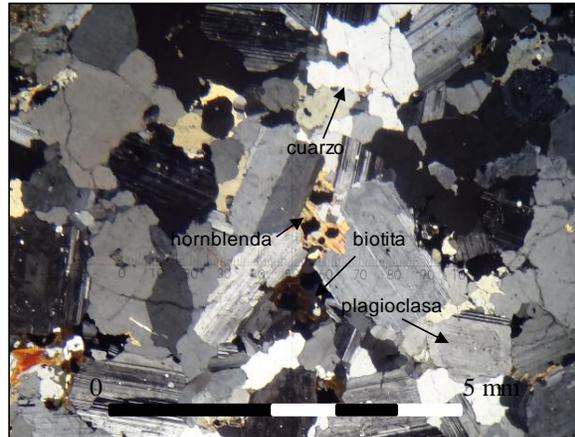
Roca de texturas fanerítica, poiquilitica (cristales de plagioclasa, cuarzo y opacos como inclusiones en cristales de anfíbol, cuarzo como inclusión en cristales de plagioclasa y magnetita como inclusión en cristales de biotita). De grano fino a medio (<0.1 - 3.8 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isotropa, homogénea. Agregado de cristales de plagioclasa, anfíbol intersticial, biotita y cuarzo. Leucocrática (7% de minerales máficos). sericitización y argilización escasas en plagioclasas, interestratificado de clorita y biotita. No hay asociación mineral en equilibrio para las fases de alteración. No presenta vetillas.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1435:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de plagioclasa, hornblenda, biotita y cuarzo. El rechazo presenta magnetismo intenso.

**Fotomicrografía (aspecto general)**



**Muestra AA1435:** fotomicrografía a nicoles cruzados con aumento de 2x. Se observan plagioclasas, cuarzo y cristales de hornblenda y biotita.

**Observaciones microscópicas**

**Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$**

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	50	Sericitización nula a intensa Argilización leve	Subhedral. Tabular. Inequigranular (0.2 - 3.8 mm). Macla albita y carlsbad-albita. Diseminado y como inclusión en cristales de anfíbol. An35
Anfíbol (hornblenda)	5	Actinolitización leve	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.15 - 3.8 mm). Diseminado. Verde
Biotita	2	Interestratificado con clorita	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<1 mm). Diseminado.
Cuarzo	43		Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.1 - 3 mm). Diseminado.

**Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)**

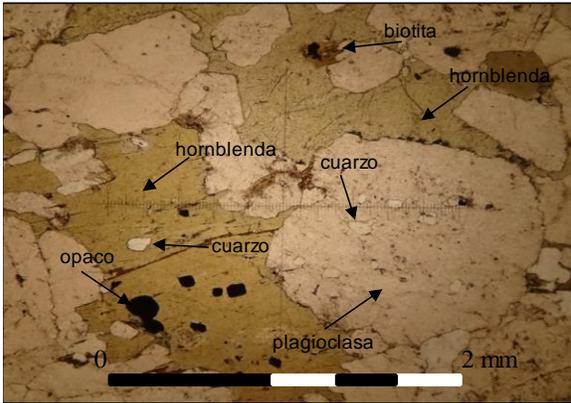
Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Clorita	1	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.1-1mm). Interestratificado clorita-biotita.
arcillas	tr	<< 0.1 mm. Reemplazando selectivamente a plagioclasas.
Sericita	tr	Anhedral a Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.2 mm). Reemplazando selectivamente a plagioclasas

**Asociación mineral en equilibrio: No tiene.**

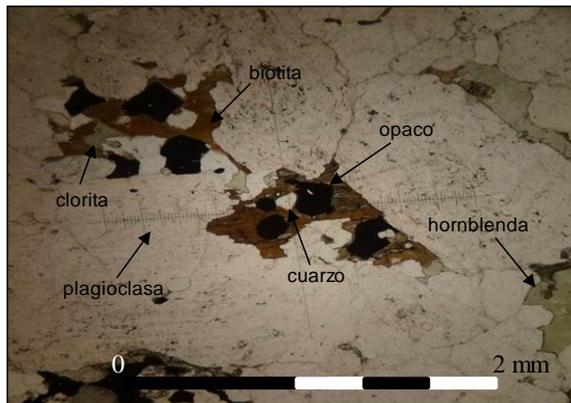
**Minerales opacos**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Opacos	3	Diseminado. Ver descripción petrográfica de minerales opacos de este corte.

**Selección de fotomicrografías**



**Muestra AA1435:** fotomicrografía a nicoles paralelos con aumento de 5x. Se observan cristales de plagioclasa, hornblenda, cuarzo y opácos. Textura poiquilítica de cuarzo como inclusión en cristales de plagioclasa y hornblenda y opácos como inclusión en cristal de hornblenda.



**Muestra AA1435:** fotomicrografía a nicoles paralelos con aumento de 5x. Se observan cristales de plagioclasa, hornblenda, biotita cloritizada parcialmente, cuarzo y opácos.

**Muestra N°: AA1436**

Clasificación petrográfica : **dacita**

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

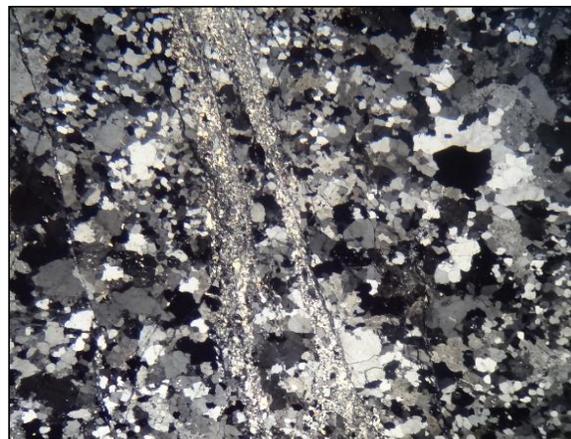
Roca de texturas afanítica y aplítica. De grano fino (<2 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isótropa, homogénea. Agregado cristalino de minerales de plagioclasa y cuarzo. Leucocrática (trazas de minerales máficos). Vetillas de ~1.3 mm de espesor, semirectas, discontinuas, sin halos de alteración y de bordes nítidos rellenas con prehnita y cuarzo. Vetillas ~0.1 mm de espesor, discontinuas, de bordes nítidos, sin halo de alteración y rellenas con epidota (zoisita) que son cortadas por vetillas anteriormente descritas. Existe abundante argilización de plagioclasas y muy escasa clorita. No hay una asociación mineral en equilibrio para las fases de alteración.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1436:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales cuarzo principalmente. También microvetillas rellenas con clorita y epidota y venillas rellenas con óxidos de Fe.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra AA1436:** Microfotografía a nicoles cruzados con aumento de 2x. Se observan cristales de plagioclasa y cuarzo y vetilla rellena con cristales de prehnita.

### Observaciones microscópicas

Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	40	argilización leve a media	Subhedral a Anhedral. Tabular, Masivo. Inequigranular (<2 mm). Diseminado. Macra albita y carlsbad-albita.
Cuarzo	60	cloritización leve	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<2 mm). Diseminado y en vetillas de ~1.3 mm.

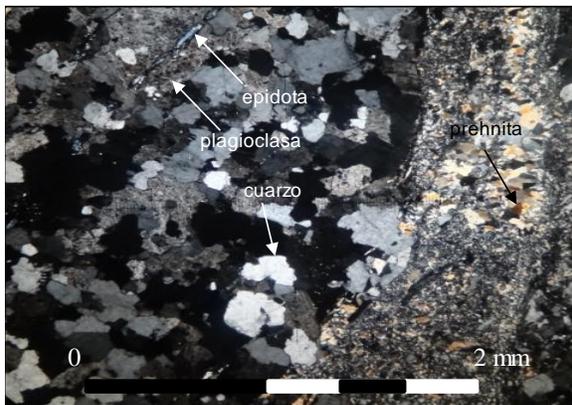
### Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Prehnita	1	Subhedral. Prismático. Inequigranular (<0.6 mm). En vetilla de ~1.3 mm.
Epidota	<1	Subhedral a Anhedral. Granular, Masivo. Inequigranular (<0.1 mm). En vetilla de ~0.1 mm y selectiva en plagioclasas.
Clorita	tr	Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.2 mm). Diseminado.
Arcillas	tr	<<0.1 mm. Como reemplazo de plagioclasas.

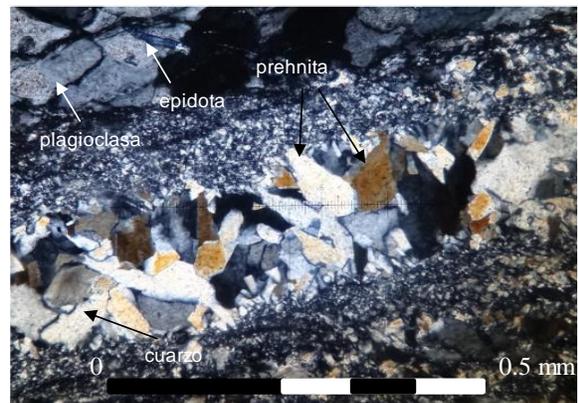
### Asociación mineral en equilibrio: prehnita-cuarzo

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
opácos	0	No contiene

### Selección de Microfotografías



Muestra AA1436: Microfotografía a nicols cruzados con aumento de 5x. Agregado cristalino de grano fino de cuarzo y plagioclasa. Epidota selectiva en plagioclasas. Vetilla de ~1.3 mm de espesor rellena con prehnita y cuarzo.



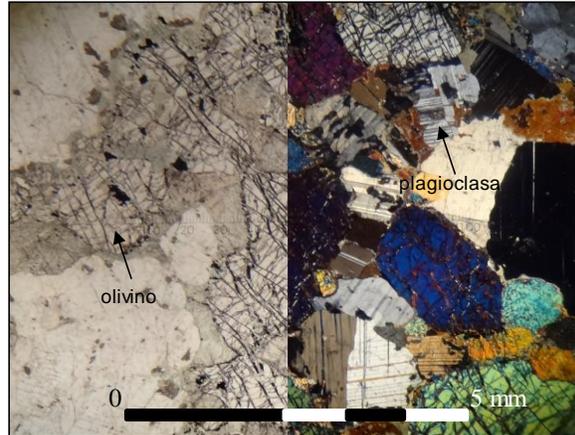
Muestra AA1436: Microfotografía a nicols cruzados con aumento de 20x. Vetilla de ~0.4 mm de espesor rellena con prehnita y cuarzo.

**Muestra N°: AA1437**Clasificación petrográfica : **gabro de olivino.****Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

Roca de texturas fanerítica, poiquilítica (cristales anhedrales de piroxenos como inclusiones en cristales de hornblenda y cristales anhedrales de plagioclasa como inclusiones en cristales de olivino) y coronítica de cristales de hornblenda rodeando cristales de olivino y piroxeno. De grano fino a grueso (0.1 - 6 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isotropa, homogénea. Agregado cristalino de plagioclasa, olivino, piroxeno, hornblenda. Textura Mesocrática (40% de minerales máficos). Los olivinos se encuentran fracturados en gran medida y alterados a esmectita. Los piroxenos (ortopiroxenos y clinopiroxenos) se encuentran alterados por procesos de uralitización (hidratación a hornblenda) y cloritización. Plagioclasas muestran argilización leve.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**

**AA1437:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de plagioclasa, olivino, piroxeno y hornblenda. También menor contenido de pirita.

**Microfotografía (aspecto general)**

**Muestra AA1437:** Microfotografía a nicoles paralelos (izq.) y cruzados (der.) con aumento de 2x. Se observan cristales de plagioclasa y olivino principalmente.

**Observaciones microscópicas**Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$ 

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	65	argilización leve	Subhedral. Tabular. Inequigranular (0.6-6 mm). Diseminado. Macla albita y macla periclina.
Olivino	20	reemplazo parcial-total a esmectita	Subhedral. Granular. Inequigranular (0.45-2 mm). Diseminado. Intensamente fracturado.
Piroxeno	5	uralitización intensa a anfíbol cloritización leve	Anhedral. Masivo. Inequigranular (0.5-1.2mm). Diseminado.
Hornblenda	10		Subhedral. Prismático. Inequigranular (0.15-1.5 mm). Diseminado. Verde.

**Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Arcillas	tr	<<0.1 mm. Reemplazando leve y selectivamente a plagioclasas
Epidota	tr	Subhedral. Granular. Inequigranular (<0.2 mm). Diseminado selectivo en plagioclasas. Variedad zoisita.
Clorita	tr	Subhedral a Anhedral. Laminar y Masiva. Inequigranular (<0.5 mm). Reemplazando selectivamente a piroxenos.
Esmectita	tr	Subhedral. Laminar. Inequigranular <0.1 mm. Reemplazando parcial o totalmente a cristales olivino.
Sericita	tr	Subhedral. Laminar. Equigranular (<0.1 mm). Selectiva a plagioclasas.

Asociación mineral en equilibrio: **No tiene****Minerales opacos**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Opacos	2	Diseminados y en cúmulos. Ver descripción petrográfica de minerales opacos de este corte.

**Muestra N°: AA1438**

Clasificación petrográfica : **basalto de piroxeno y hornblenda**

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

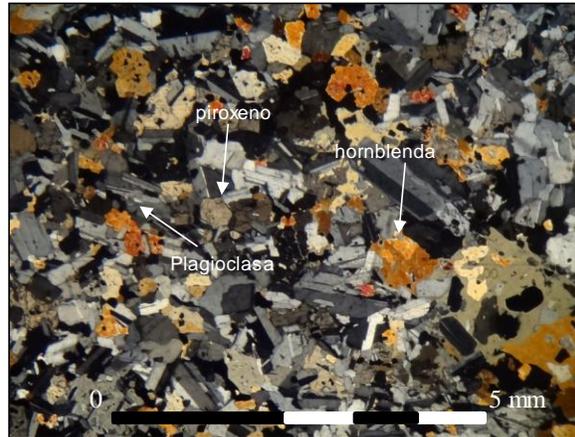
Roca de texturas microfanerítica, poiquilitica (cristales subhedrales a anhedrales de plagioclasa y opácos como inclusiones en cristales de hornblenda y piroxeno. holocristalina, de grano fino a medio (<1.9 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isotropa, homogénea. Mesocrática (50% de minerales máficos). Agregado cristalino de piroxeno, plagioclasa, hornblenda con crecimiento intersticial, biotita. Vetilla de ~1 mm, continua, recta, sin bordes nítidos, con halo de alteración de ~1 mm de espesor (hornblenda), rellena con hornblenda, epidota y opácos y cortada por vetillas de 0.1 mm de espesor, discontinuas, de bordes nítidos, semi-rectas, sin halo, rellenas con esmectita y yeso. Los minerales de alteración corresponden a actinolita, clorita, epidota, esmectita y yeso.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1438:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de plagioclasa, piroxeno y hornblenda.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra AA1438:** Microfotografía a nicoles cruzados con aumento de 2x. Se observan plagioclasa no orientadas, piroxeno y cristales de hornblenda crecidos intersticialmente.

**Observaciones microscópicas**

Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	50	Albitización leve argilización leve a media	Subhedral. Tabular. Inequigranular (<1.9 mm). macla albíta y macla carlsbad. Diseminada y como inclusión en cristales de hornblenda y piroxeno. An65
Ortopiroxeno	35	uralitización a anfíbol nula a leve	Subhedral a Anhedral. Inequigranular (0.4 - 1.4mm). Diseminado y como inclusión en cristal de hornblenda.
Anfíbol (hornblenda)	15	actinolitización nula a total. Cloritización leve.	Subhedral. Prismático. Inequigranular (<1.4 mm). Diseminado. Algunas macladas.
Biotita	tr		Anhedral a Subhedral. Laminar. Inequigranular (<0.45 mm). Diseminado.

**Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)**

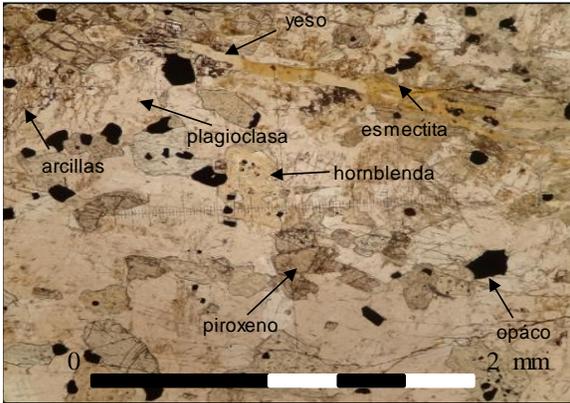
Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Actinolita	2	Subhedral. Prismático, Acicular. Inequigranular (0.5-1.3m). Como reemplazo total de cristales de hornblenda.
Epidota	tr	Subhedral. Granular. Inequigranular (<0.3 mm). Diseminado. Variedad zoisita y pistacita.
Esmectita	tr	Agregado microcristalino <<0.1 mm. En vetillas asociada a yeso.
Yeso	tr	Agregado microcristalino <<0.1 mm. En vetillas asociado a esmectita.
Clorita	tr	Agregado microcristalino <0.1 mm. Como reemplazo de hornblenda.

Asociación mineral en equilibrio: esmectita-yeso

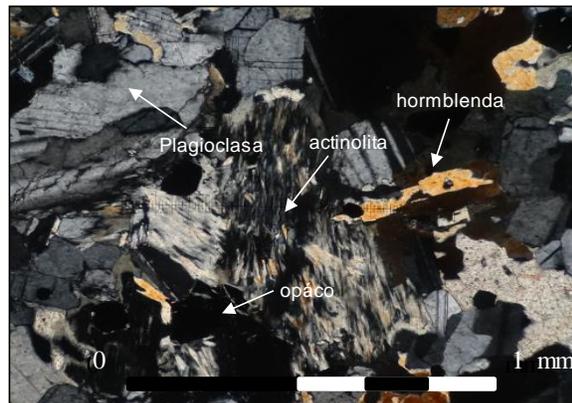
**Minerales opacos**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Magnetita	3	Diseminado y en vetilla de ~1 mm. Ver descripción petrográfica de minerales opácos de este corte.

**Selección de Microfotografías**



**Muestra AA1438:** Microfotografía a nicolos paralelos con aumento de 5x. Vetilla de ~0.1 mm de espesor rellena con esmectita y yeso. Cristales de hornblenda y piroxenos. Opacos diseminados y argilización de plagioclasas.



**Muestra AA1438:** Microfotografía a nicolos cruzados con aumento de 10x. Cristales de actinolita aciculares, cristales de hornblenda, plagioclasa y opacos diseminados.

**Muestra N°: AA1439**

Clasificación petrográfica : basalto de hornblenda

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

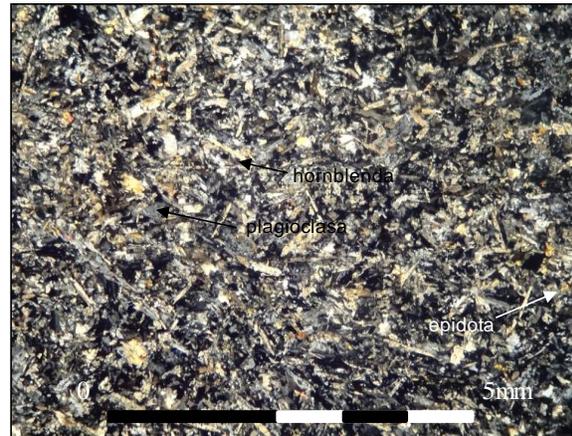
Roca perteneciente a un dique de textura afanítica, holocristalina, de grano fino (<1.2 mm), homométrica, hipidiomórfica, fábrica isotrópica, homogénea. Mesocrática (40% de minerales máficos). Agregado microcristalino de anfíboles y plagioclasas. Los minerales de alteración presentes son epidota diseminada en su variedad zoisita y pistasita y oxihidróxidos de hierro. No presenta vetillas.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1439:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Roca de textura afanítica perteneciente a un dique. Se observan microcristales de plagioclasa y hornblenda.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra AA1439:** Microfotografía a nicolos cruzados con aumento de 2x. Se observa un agregado microcristalino de plagioclasa y hornblenda además de vidrio y epidota.

### Observaciones microscópicas

Componentes minerales:  $\Sigma=100\%$

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	57	argilización leve	Subhedral a Anhedral. Tabular, Masivo. Inequigranular (<0.9 mm). Diseminado. Algunas con macla de albita. No orientadas.
Hornblenda	40	completamente actinolitizados.	Subhedral. Prismático. Inequigranular (<1.2 mm). Diseminado. Café. Algunos conservan macla
Vidrio	3		

### Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)

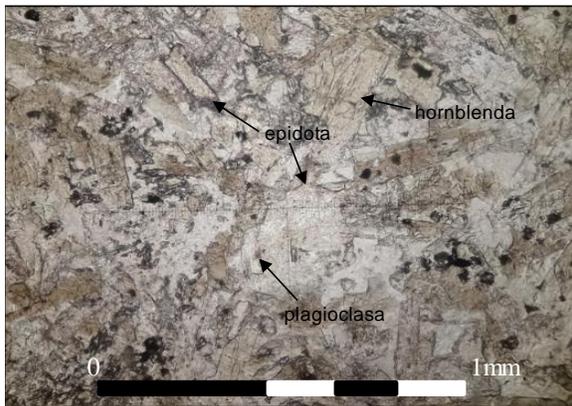
Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Epidota	10	Subhedral. Granular. inequigranular (<0.2 mm). Diseminado. Variedad zoisita y pistacita.
Arcillas	tr	<<0.1 mm. Como reemplazoselectivo de plagioclasas.
Oxi-hidroxidos de Fe	tr	<0.1 mm. Diseminado.

Asociación mineral en equilibrio: No tiene.

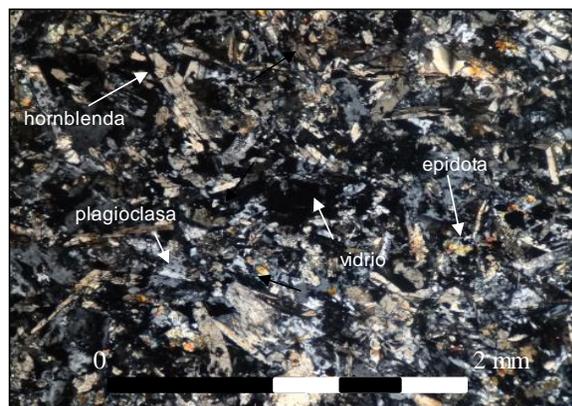
### Minerales opacos

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Opaco	tr	La muestra no presenta magnetismo. Diseminado.

### Selección de Microfotografías



Muestra AA1439: Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 10x. Se observan cristales de hornblenda y plagioclasa diseminados y epidota diseminada.



Muestra AA1439: Microfotografía a nicols cruzados con aumento de 5x. Cristales de plagioclasa y hornblenda de grano fino diseminados. También se observa epidota diseminada y menor vidrio.

**Muestra N°: AA1440**

Clasificación petrográfica : **gabro de piroxeno y hornblenda**

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

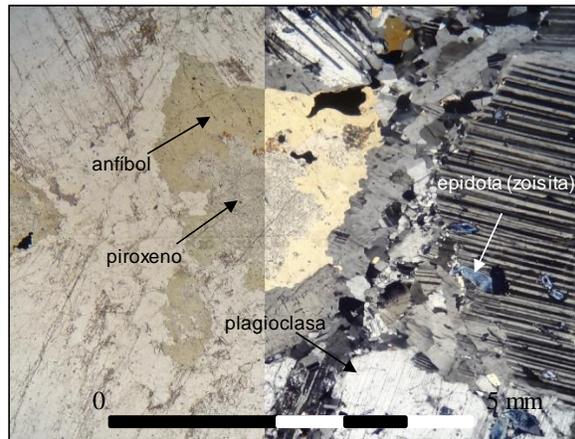
Roca de texturas fanerítica, poiquilítica (cristales anhedrales de piroxeno, plagioclasa y opacos como inclusiones en cristales de hornblenda y cristales anhedrales de hornblenda como inclusión en cristales de plagioclasa) y coronítica (piroxeno rodeado por hornblenda). De grano fino a grueso (0.1 - 11.6 mm), heterométrica, hipidiomórfica, fábrica isótropa, homogénea. Agregado cristalino de piroxeno, plagioclasa, hornblenda. Mesocrática (40% de minerales máficos). Los minerales de alteración corresponden a epidota diseminada y selectiva en plagioclasas y arcilla selectiva en plagioclasas. Una veta de 3 cm de espesor corta a la roca. Los cristales que la componen son: plagioclasas (subhedrales, tabulares, inequigranulares < 1 mm, macla albita, polisintética, carlsbad-albita, diseminados 70%), piroxeno (anhedrales, inequigranulares, < 0.5 mm, 15%), hornblenda (subhedrales, inequigranulares, <0.5 mm, 10%), opacos (5%). Los minerales de alteración corresponden a epidota y arcillas y no se encuentran en equilibrio textural.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1440:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de plagioclasa, piroxeno y hornblenda. También opacos.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra AA1440:** Microfotografía a nicols cruzados con aumento de 2x. Se observan plagioclasas, cristal de piroxenos rodeado por hornblenda (textura coronítica), menor epidota (zoisita).

**Observaciones microscópicas**

**Componentes minerales**

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Plagioclasa	58	argilización leve. Epidota diseminada	Subhedral. Tabular. Inequigranular (<0.1 - 11.6 mm). Macla albita y periclina. Diseminado y como inclusión en cristales de hornblenda. An55
Piroxeno	20	Uralitización a anfíbol leve a intensa	Anhedral. Masivo. Inequigranular (2 - 7.2mm). Diseminado. Como inclusión en cristales de hornblenda. (también en veta de 3 cm, inequigranular <0.4 mm).
Anfíbol (Hornblenda)	20		Subhedral. Prismático. Inequigranular (0.2 - 8.6 mm). Diseminado. Amarillo, café y verde. Algunas macladas.
Cuarzo	2		Anhedral. Masivo. Inequigranular (0.2-0.6 mm). Diseminado.

**Minerales de alteración (de origen hidrotermal y supérgeno)**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Epidota	tr	Subhedral (<0.4 mm). Granular. Diseminada y selectiva en plagioclasas. Variedad zoisita.
Arcillas	tr	<<0.1 mm. Reemplazando selectivamente a plagioclasas.

Asociación mineral en equilibrio: No tiene.

**Minerales opacos**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
Opacos	1	Diseminados, en microvetillas y en veta. Ver descripción petrográfica de minerales opacos de este corte.

## Selección de Microfotografías



Muestra AA1440: Microfotografía a nicols cruzados con aumento de 5x. Cristal de piroxeno como inclusión en cristal de hornblenda. También se observan cristales de plagioclasa, opácos y cuarzo.



Muestra AA1440: Microfotografía a nicols cruzados con aumento de 5x. Contacto de veta de grano fino con cristal de plagioclasa de grano grueso. Epidota selectiva en plagioclasas.

## 9.2 ANEXO B: DESCRIPCIONES CALCOGRÁFICAS CORTES PULIDOS.

**Muestra N°: AA1403**

Clasificación petrográfica : gabro de clinopiroxeno y hornblenda.

### Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas

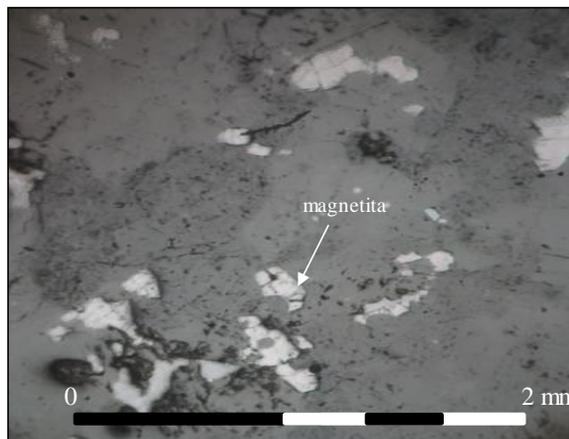
Gabro de clinopiroxeno y hornblenda con mineralización metálica de magnetita diseminada. En vetilla de ~1.5 mm se encuentran cristales de pirita y calcopirita como inclusiones en cristales de pirrotina.

#### Fotografía de la muestra (aspecto general)



AA1403: Aspecto general de la muestra en rechazo.

#### Microfotografía (aspecto general)



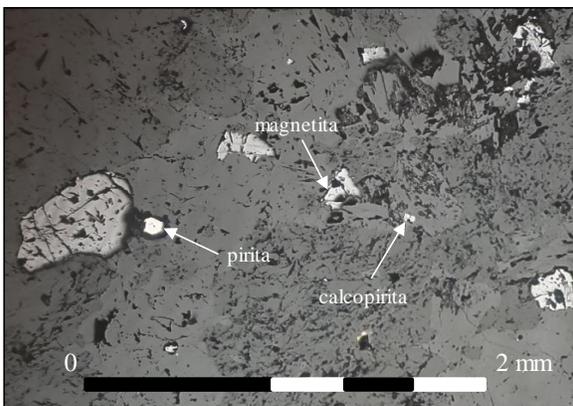
Muestra AA1403: Microfotografía a nicols paralelos con aumento objetivo de 5x Mineralización de magnetita diseminada.

### Observaciones microscópicas

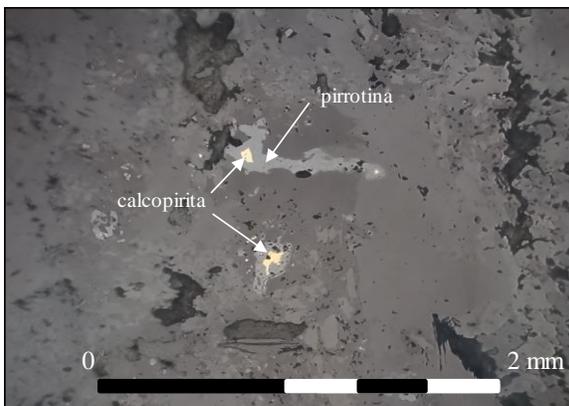
#### Componentes minerales

Mineral	%	Características	Características/ Modo de Ocurrencia
Magnetita	6	Anhedrales, masivo. Inequigranular (<0.5 mm)	Diseminado en la muestra ausente en vetilla de ~1.5 mm.
Pirita	tr	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.3 mm)	Diseminado en la muestra y también como inclusión dentro de cristal de pirrotina (tanto en la muestra como en vetilla de ~1.5 mm).
Pirrotina	tr	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.4 mm)	Diseminado en la muestra.
Calcopirita	tr	Anhedral, masivo. Inequigranular (<0.1 mm)	Como inclusión en cristales de pirrotina.

#### Selección de Microfotografías



Muestra AA1403: Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 5x. Cristales de magnetita, pirita y calcopirita diseminados.



Muestra AA1403: Fotomicrografía a nicols paralelos con aumento objetivo 5x. Inclusiones de calcopirita dentro de cristales de pirrotina en dominio de vetilla de 1 mm de espesor.

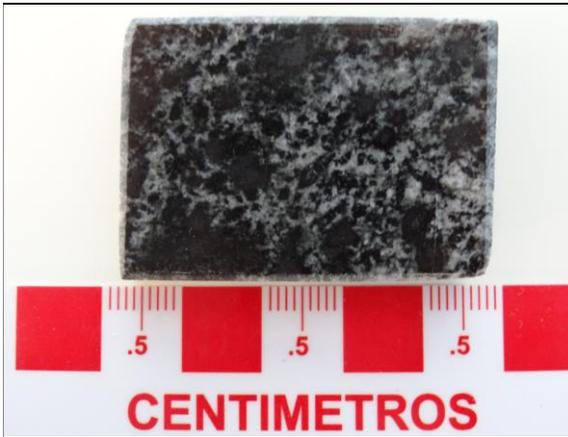
**Muestra N°: AA1406**

Clasificación petrográfica : **diorita de piroxeno y hornblenda**

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

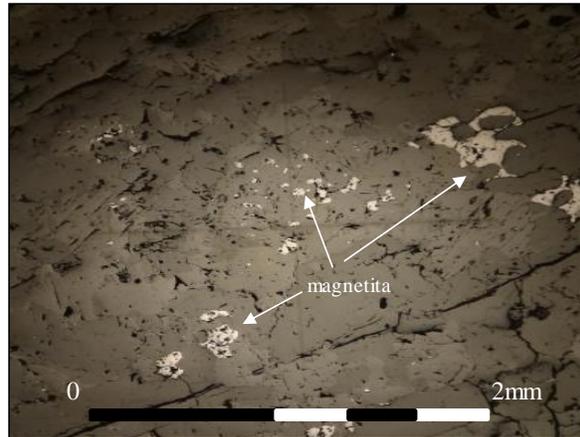
Diorita de piroxeno y hornblenda con mineralización metálica de magnetita e ilmenita y menor pirita asociada a pirrotina.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1406:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de plagioclasa, anfíbol y piroxenos. El rechazo presenta magnetismo intenso.

**Microfotografía (aspecto general)**



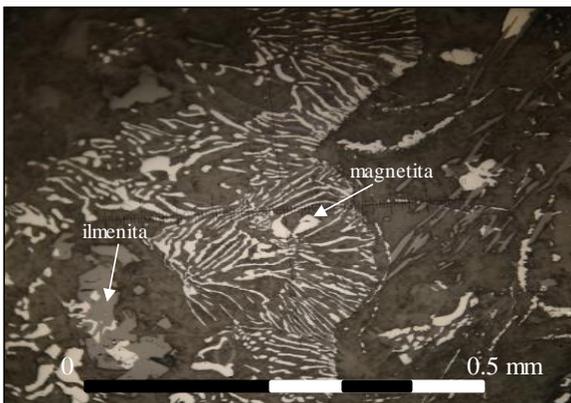
**Muestra AA1406:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 5x. Mineralización inequigranular de magnetita diseminada.

**Observaciones microscópicas**

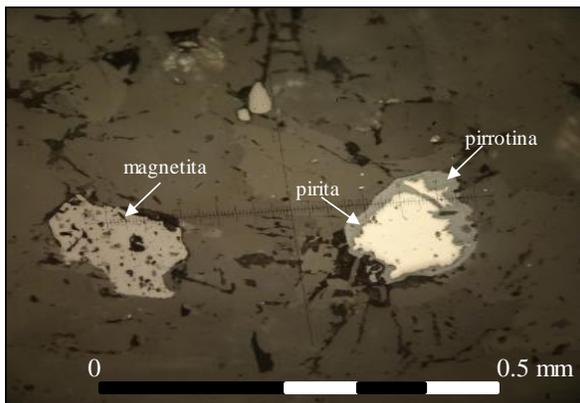
**Componentes minerales**

Mineral	%	Características	Modo de Ocurrencia
Magnetita	5	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.6 mm)	Diseminado y como inclusión dentro de cristales de piroxeno.
Ilmenita	tr	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.2 mm)	Diseminado y como lamelas de exsolución en cristales de magnetita.
Pirita	tr	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.15 mm)	Como inclusión dentro de cristal de pirrotina
Pirrotina	tr	Anhedral. Masivo. Equigranular (0.2 mm)	Diseminado asociado a pirita.

**Selección de Microfotografías**



**Muestra AA1406:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 20x. Textura simplectica y poiquilitica de cristales anhedrales de magnetita en cristales de piroxeno.



**Muestra AA1406:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 20x. Cristal anhedral de pirita como inclusión en cristal de pirrotina. También mineralización de magnetita.

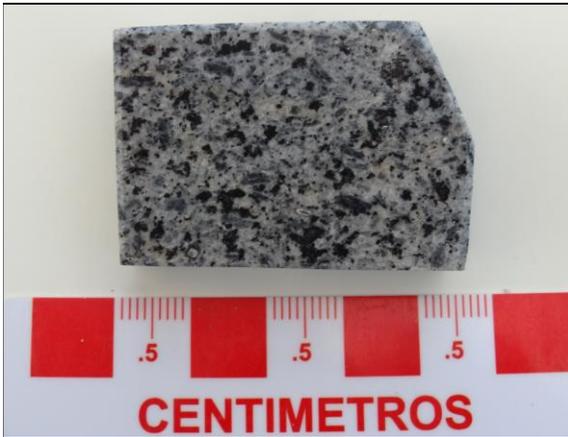
**Muestra N°: AA1408**

Clasificación petrográfica : cuarzo-diorita de hornblenda

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

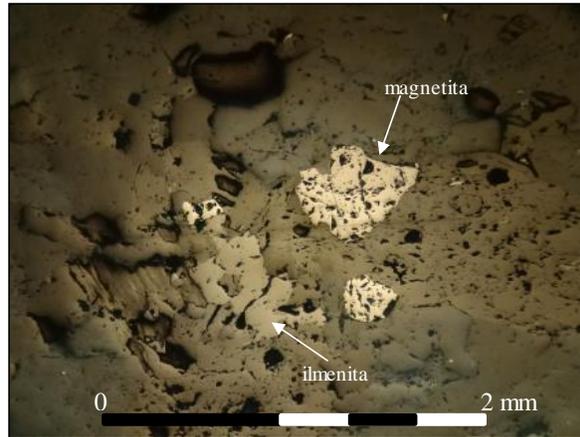
Cuarzo diorita de hornblenda con mineralización metálica de magnetita, ilmenita y trazas de calcopirita diseminadas.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1408:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de feldespato, anfíboles, piroxeno, opácos y cuarzo. Magnetismo intenso en la muestra.

**Microfotografía (aspecto general)**



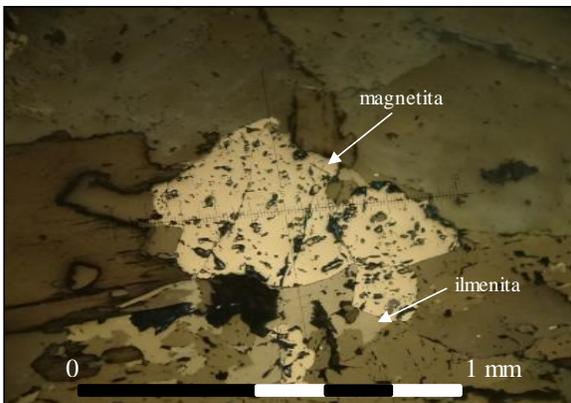
**Muestra AA1408:** Microfotografía a niclos paralelos con aumento objetivo de 5x. Mineralización diseminada de magnetita y ilmenita.

**Observaciones microscópicas**

**Componentes minerales**

Mineral	%	Características	Modo de Ocurrencia
Magnetita	2	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<1.1 mm).	Diseminado.
ilmenita	1	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.5 mm).	Diseminado.
Calcopirita	tr	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<<0.1)	Como inclusión en silicato claro.

**Selección de Microfotografías**



**Muestra AA1408:** Microfotografía a niclos paralelos con aumento de 10x. Cristales de magnetita y ilmenita diseminados.



**Muestra AA1408:** Microfotografía a niclos paralelos con aumento de 20x. Cristal de calcopirita como inclusión en silicato claro.

**Muestra N°: AA1410**

Clasificación petrográfica : **cuarzo-diorita de hornblenda**

Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas

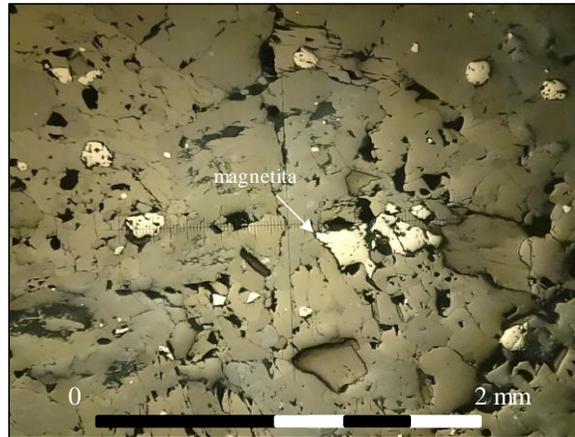
Cuarzo-diorita de hornblenda con mineralización metálica de magnetita y trazas de ilmenita.

Fotografía de la muestra (aspecto general)



**AA1410:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales plagioclasas y anf. bol. El rechazo presenta magnetismo.

Microfotografía (aspecto general)



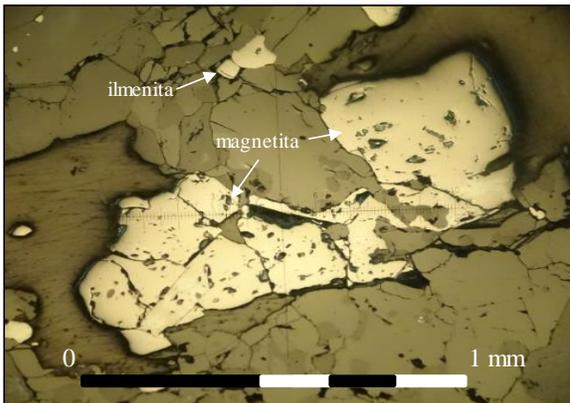
**Muestra AA1410:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento objetivo de 5x. Mineralización disseminada de magnetita.

Observaciones microscópicas

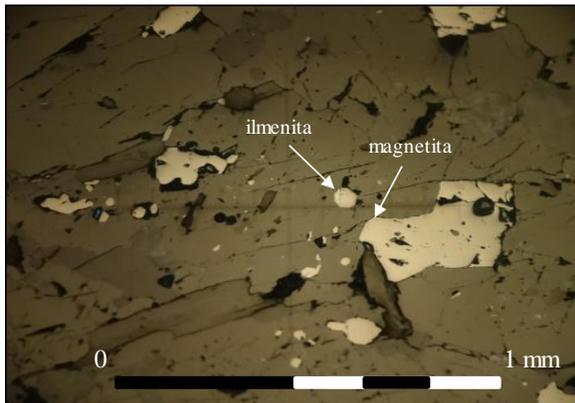
Componentes minerales

Mineral	%	Características	Modo de Ocurrencia
Magnetita	2	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<1 mm)	Diseminado.
Ilmenita	tr	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0,5 mm)	Diseminado.

Selección de Microfotografías



**Muestra AA1410:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 10x. Cristal de magnetita (~1 mm) e ilmenita disseminada.



**Muestra AA1410:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 10x. Mineralización disseminada de magnetita e ilmenita.

**Muestra N°: AA1414**

Clasificación petrográfica : **tonalita de hornblenda**

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

Tonalita de hornblenda con mineralización metálica de magnetita y pirita diseminada.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1414:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de plagioclasa, feldespato potásico, anfíboles y cuarzo. Óxidos de Hierro visibles y presencia de magnetismo.

**Microfotografía (aspecto general)**



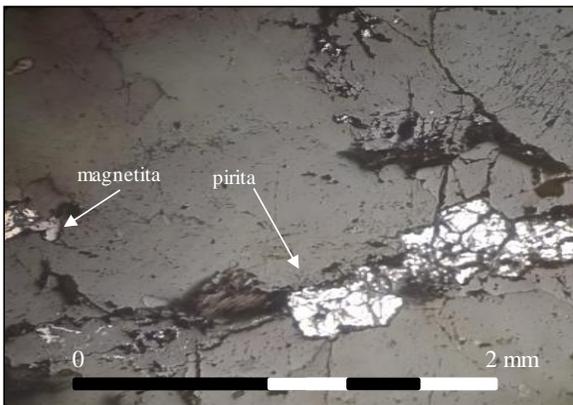
**AA1414:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 5x. Mineralización de magnetita diseminada.

**Observaciones microscópicas**

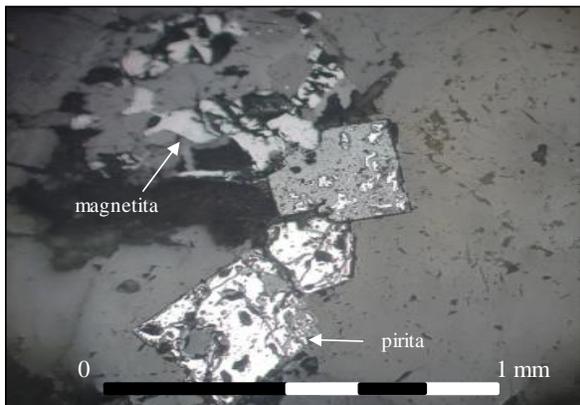
**Componentes minerales**

Mineral	%	Características	Modo de Ocurrencia
Magnetita	1	Anhedral. Masivo. Inequigranular (< 0.85 mm)	Diseminado.
Pirita	2	Anhedral a Subhedral. Masivo y cúbico. Inequigranular (<1.9 mm)	Diseminado.

**Selección de Microfotografías**



**Muestra AA1414:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 5x. Mineralización de pirita de 1.9 mm y magnetitas menores a 0.2 mm diseminadas.



**Muestra 1414:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 10x. Mineralización de magnetita anhedral y pirita subhedral. Pseudomorfo de pirita parcialmente reemplazado por un silicato claro.

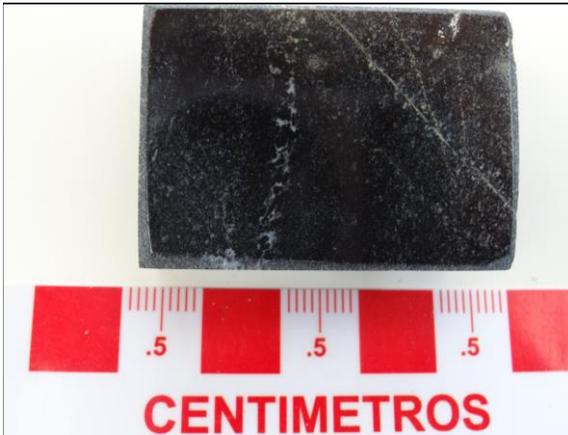
**Muestra N°: AA1415**

Clasificación petrográfica : **basalto de hornblenda**

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

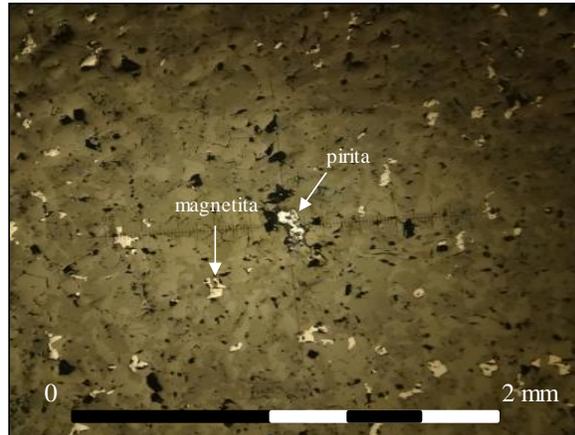
Basalto de hornblenda con mineralización metálica de magnetita e ilmenita diseminadas, menor pirita diseminada y en cúmulo y calcopirita en cúmulo. Trazas de covelina.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1415:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de plagioclasa, anfíbol y cuarzo. Vetillas de distinta naturaleza. El rechazo presenta magnetismo.

**Microfotografía (aspecto general)**



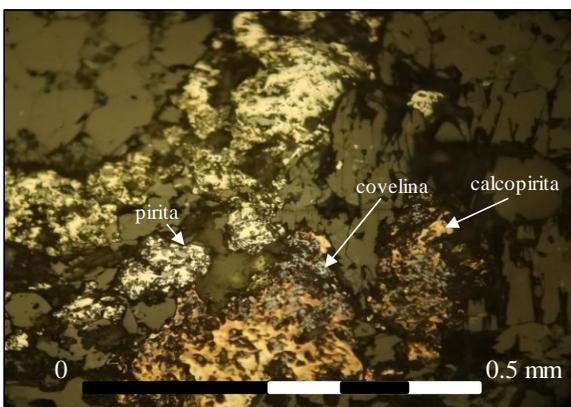
**Muestra AA1415:** Microfotografía a nicóles paralelos con aumento objetivo de 5x. Mineralización diseminada de magnetita y pirita en la muestra.

**Observaciones microscópicas**

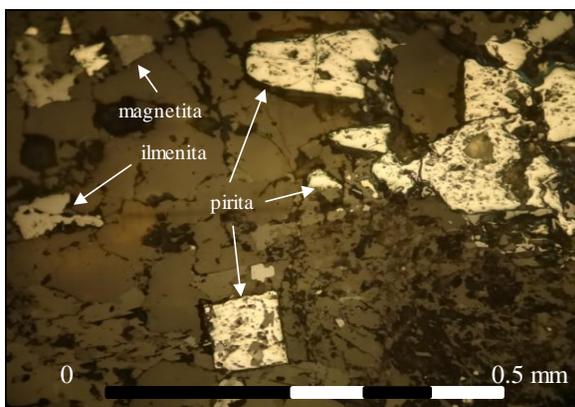
**Componentes minerales**

Mineral	%	Características	Modo de Ocurrencia
Magnetita	2	Anhedral, masivo, inequigranular (<0.2 mm)	Diseminado.
Ilmenita	tr	Anhedral, masivo, inequigranular (<0.2 mm)	Diseminado y en microvenillas discontinuas.
Pirita	tr	Anhedral a euhedral, masivo, inequigranular (<0.3 mm)	Cúmulo y menor diseminado
Calcopirita	tr	Anhedral, masivo, inequigranular (<0.3 mm)	Cúmulo asociada a covelina y menor diseminado.
Covelina	tr	Anhedral, masivo, inequigranular (<<0.1 mm)	Cúmulo asociado a calcopirita.

**Selección de Microfotografías**



**Muestra AA1415:** Microfotografía a nicóles paralelos con aumento de 20x. Mineralización en cúmulo de pirita calcopirita y covelina.



**Muestra AA1415:** Microfotografía a nicóles paralelos con aumento de 20x. Mineralización de piritas euhedrales, subhedrales y anhedrales diseminadas.

**Muestra N°: AA1418**

Clasificación petrográfica : gabro de piroxeno y hornblenda

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

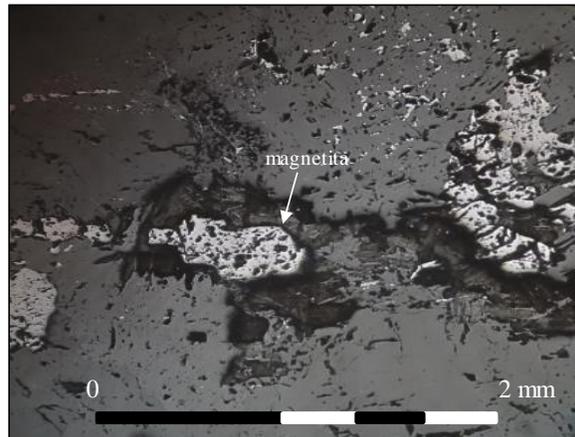
Gabro de piroxeno y hornblenda con mineralización metálica de magnetita e ilmenita diseminadas y trazas de pirita y calcopirita diseminada.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1418:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de plagioclasa, piroxeno, hornblenda y biotita. El rechazo presenta magnetismo.

**Microfotografía (aspecto general)**



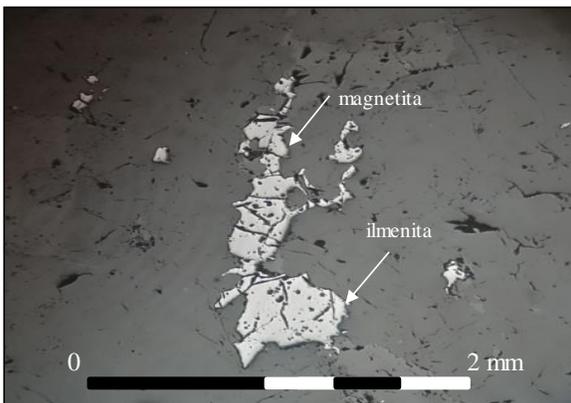
**AA1418:** Microfotografía a nicoles paralelos con aumento de 5x. Mineralización de magnetita inequigranular diseminada en la muestra.

**Observaciones microscópicas**

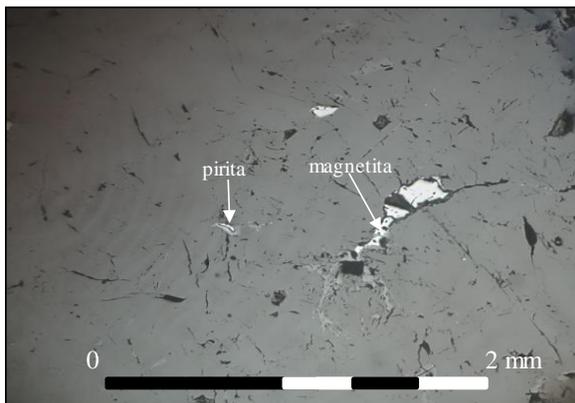
**Componentes minerales**

Mineral	%	Características	Modo de Ocurrencia
Magnetita	2	Anhedral, masivo, inequigranular (<1.6mm)	Diseminado.
Ilmenita	1	Anhedral, masivo, inequigranular (<1.6mm)	Diseminado.
Pirita	tr	Anhedral, masivo, inequigranular (<0.1 mm)	Diseminado.
Calcopirita	tr	Anhedral, masivo, inequigranular (<<0.1 mm)	Diseminado.

**Selección de Microfotografías**



**Muestra AA1418:** Microfotografía a nicoles paralelos con aumento de 5x. Cristal de magnetita en contacto con cristal de ilmenita.



**Muestra AA1418:** Microfotografía a nicoles paralelos con aumento de 5x. Mineralización de magnetita diseminada y trazas de pirita diseminada.

**Muestra N°: AA1426**

Clasificación petrográfica : **basalto de piroxeno**

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

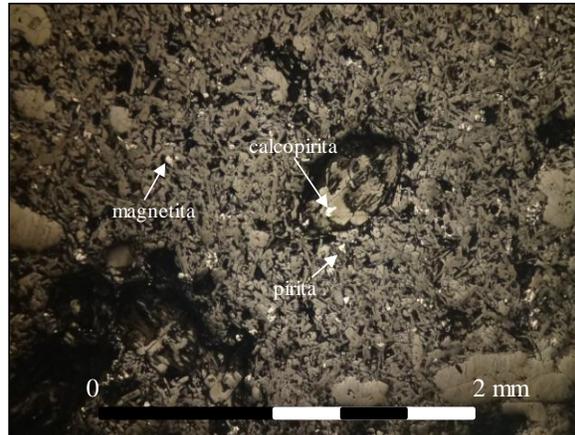
Basalto de piroxeno con mineralización metálica de magnetita diseminada y menor calcopirita y pirita diseminadas.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1426:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de plagioclasa y piroxeno inmersos en una masa fundamental. También cúmulos de carbonatos.

**Microfotografía (aspecto general)**



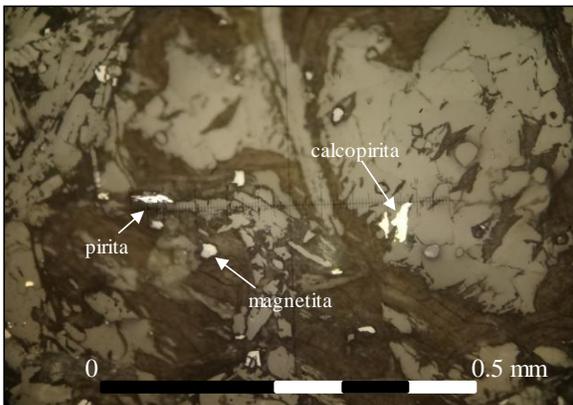
**Muestra AA1426:** Microfotografía a nicoles paralelos con aumento objetivo de 5x. Mineralización diseminada de cristales de magnetita y menor pirita y calcopirita.

**Observaciones microscópicas**

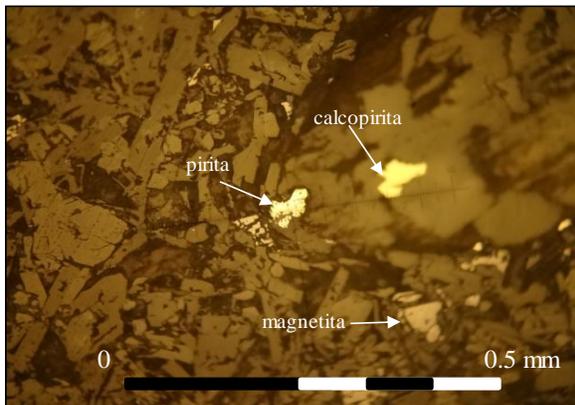
**Componentes minerales**

Mineral	%	Alteración	Características/ Modo de Ocurrencia
Magnetita	1	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.12 mm)	Diseminado.
Pirita	tr	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.08 mm)	Diseminado.
Calcopirita	tr	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.08 mm)	Diseminado.

**Selección de Microfotografías**



**Muestra AA1426:** Microfotografía a nicoles paralelos con aumento de 20x. Mineralización diseminada de cristales de magnetita, pirita y calcopirita.



**Muestra AA1426:** Microfotografía a nicoles paralelos con aumento de 20x. Mineralización diseminada de cristales de magnetita, pirita y calcopirita.

**Muestra N°: AA1430**

Clasificación petrográfica : **cuarzo-gabro de piroxeno y hornblenda**

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

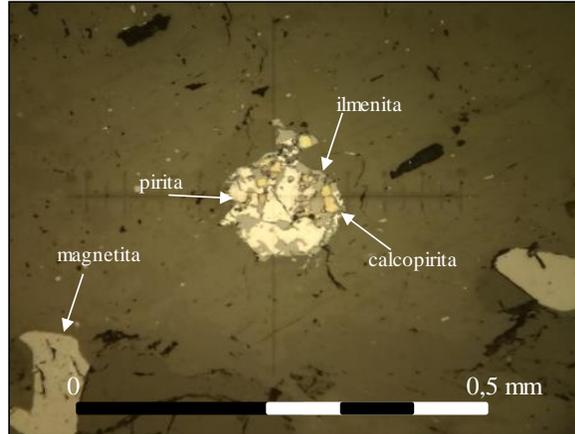
Cuarzo-gabro de piroxeno y hornblenda con mineralización metálica de magnetita, ilmenita, pirita y calcopirita diseminadas.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1430:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de plagioclasa, anfíbol (hornblenda), piroxeno y cuarzo. Vetilla <0,1 mm rellena con actinolita. Presenta Magnetismo.

**Microfotografía (aspecto general)**



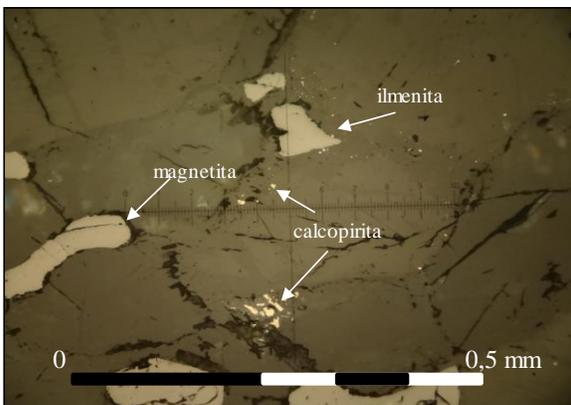
**Muestra AA1430:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 20x. Mineralización de calcopirita y pirita en grano de ilmenita.

**Observaciones microscópicas**

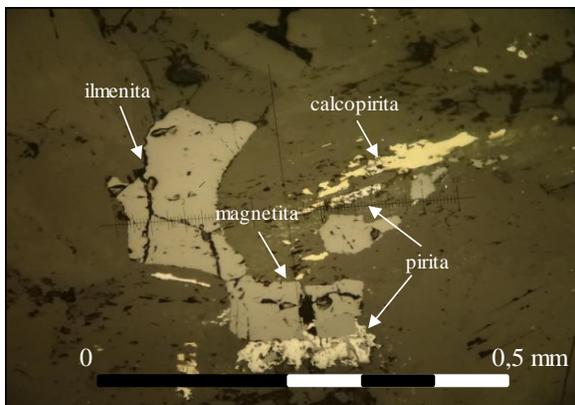
**Componentes minerales**

Mineral	%	Características	Modo de Ocurrencia
Magnetita	5	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<1.1 mm)	Diseminado.
Ilmenita	2	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<1.1 mm)	Diseminado.
Pirita	tr	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.2 mm)	Diseminado y como inclusión en cristal de esfalerita.
Calcopirita	tr(*)	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.2)	Diseminado. Como inclusión en cristal de esfalerita.(*): trazas significativas.
Esfalerita	tr	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.3 mm)	Diseminado

**Selección de Microfotografías**



**Muestra AA1430:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 20x. Mineralización diseminada de magnetita, ilmenita y calcopirita.



**Muestra AA1430:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 20x. Mineralización de calcopirita, pirita, ilmenita y magnetita diseminadas.

**Muestra N°: AA1433**

Clasificación petrográfica : **tonalita de hornblenda y biotita**

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

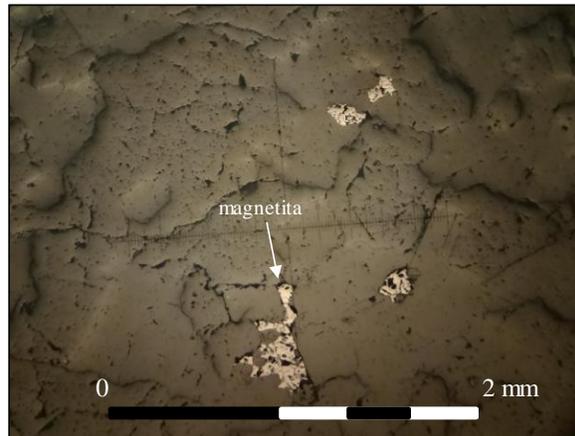
Tonalita de hornblenda y biotita con mineralización metálica de magnetita e ilmenita diseminadas en trazas y menor calcopirita, pirita y pirrotina.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1433:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de plagioclasa, anfíboles, cuarzo y biotita con menor clorita, epidota y actinolita como minerales de alteración. Magnetismo leve.

**Microfotografía (aspecto general)**



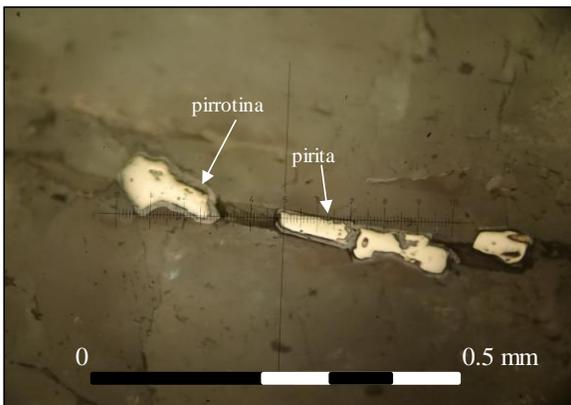
**Muestra AA1433:** Microfotografía a niclos paralelos con aumento de 5x. Mineralización de magnetita diseminada.

**Observaciones microscópicas**

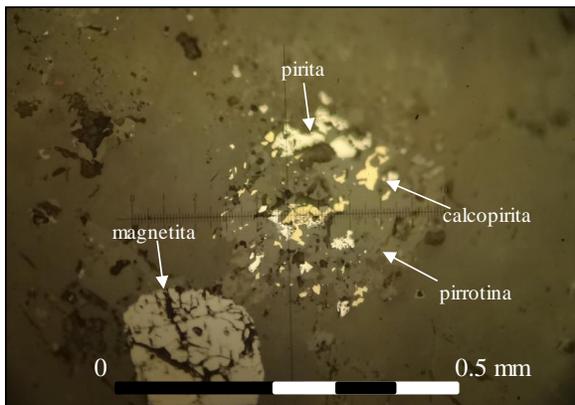
**Componentes minerales**

Mineral	%	Características	Modo de Ocurrencia
Magnetita	tr	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.5 mm)	Diseminado.
Ilmenita	tr	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.2 mm)	Diseminado.
Pirita	tr	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.09 mm)	Diseminado y en microvetillas.
Pirrotina	tr	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.09 mm)	En vetilla y diseminado asociada a calcopirita, pirita y magnetita.
Calcopirita	tr	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.15 mm)	diseminado y como inclusión en cristales de pirrotina.

**Selección de Microfotografías**



**Muestra AA1433:** Microfotografía a niclos paralelos con aumento de 20x. Mineralización de pirita en microvetilla.



**Muestra AA1433:** Microfotografía a niclos paralelos con aumento de 20x. Mineralización de magnetita, pirita, calcopirita y pirrotina.

**Muestra N°: AA1435**

Clasificación petrográfica : **tonalita de hornblenda y biotita**

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

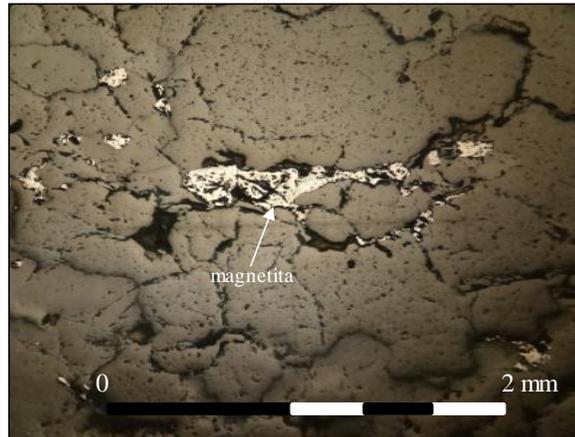
Tonalita de hornblenda y biotita con mineralización metálica de magnetita diseminada y trazas de ilmenita.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1435:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de plagioclasa, hornblenda, biotita y cuarzo. El rechazo presenta magnetismo intenso.

**Microfotografía (aspecto general)**



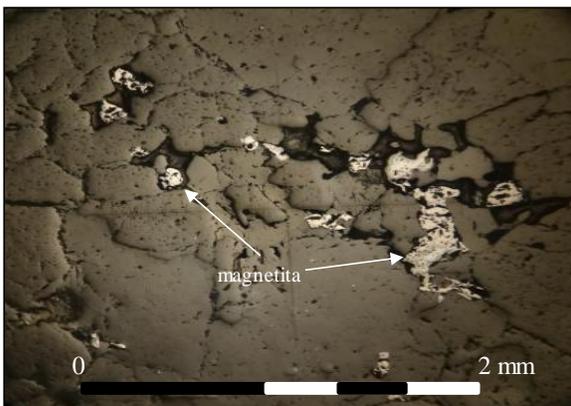
**AA1435:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 5x. Mineralización de magnetita diseminada.

**Observaciones microscópicas**

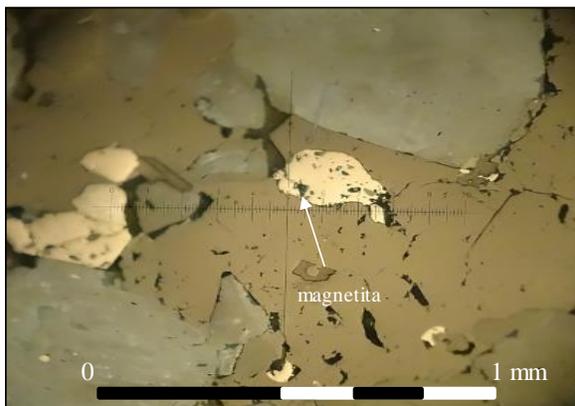
**Componentes minerales**

Mineral	%	Características	Modo de Ocurrencia
Magnetita	3	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<1.2 mm)	Diseminado.
Ilmenita	tr	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0,2 mm)	Como lamelas de exsolución en cristales de magnetita.

**Selección de Microfotografías**



**Muestra 1435:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 5x. Mineralización diseminada de magnetita.



**Muestra 1435:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 10x. Mineralización diseminada de magnetita.

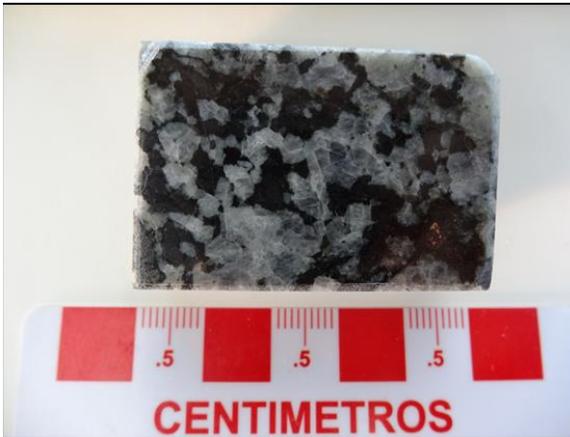
**Muestra N°: AA1437**

Clasificación petrográfica : **gabro de olivino**

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

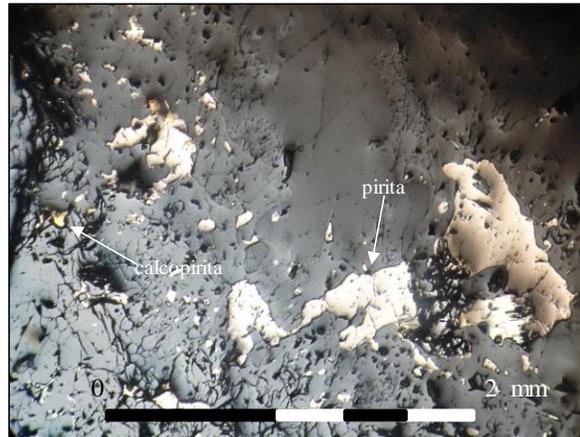
Gabro de olivino con mineralización metálica de magnetita y pirita diseminadas y trazas de calcopirita asociada a pirita.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1437:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de plagioclasa, olivino, piroxeno y anfíbol. También menor contenido de pirita.

**Microfotografía (aspecto general)**



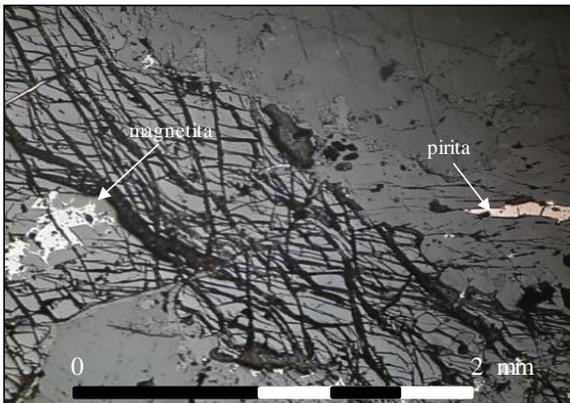
**AA1437:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 5x. Cúmulo de cristales de pirita y mineralización de calcopirita diseminada.

**Observaciones microscópicas**

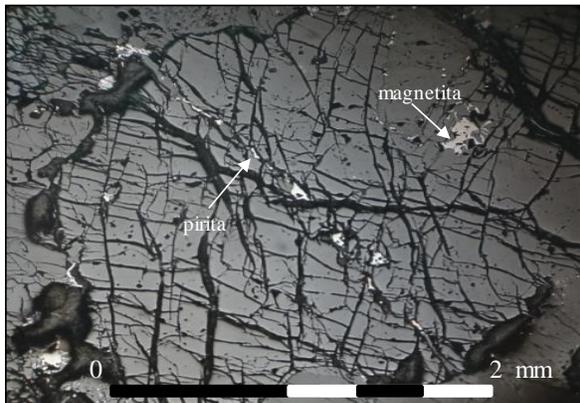
**Componentes minerales**

Mineral	%	Características	Modo de Ocurrencia
Magnetita	2	Anhedral, masivo. Inequigranular (<0.8mm)	Como inclusión y en fracturas de cristales de anfíbolos, piroxenos y olivinos. Diseminado.
Pirita	<<1	Anhedral, masivo. Inequigranular (<1.2mm)	Diseminado, en cúmulos y en fracturamiento de cristales de olivino.
Calcopirita	tr	Anhedral, masivo. Inequigranular (<0.1 mm)	Asociado a cristales de pirita.

**Selección de Microfotografías**



**Muestra 1437:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 5x. Mineralización metálica de magnetita como inclusión en cristal fracturado de olivino (textura poiquilitica) y pirita diseminada.



**Muestra 1437:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 5x. Mineralización metálica de magnetita y pirita que aprovecha el fracturamiento de un cristal de olivino.

**Muestra N°: AA1438**

**Clasificación petrográfica : Basalto de piroxeno y hornblenda**

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

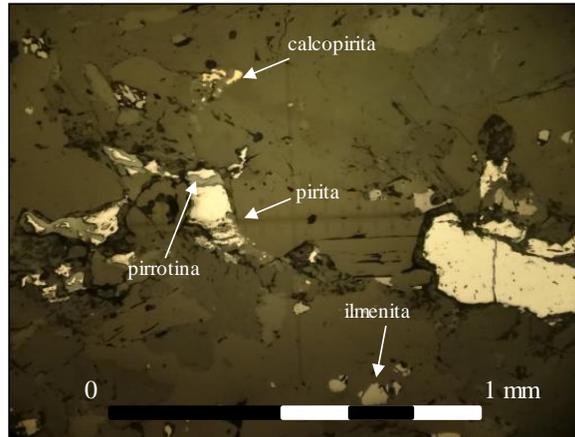
Basalto de piroxeno y hornblenda con mineralización metálica de magnetita e ilmenita diseminadas y calcopirita como inclusión en cristales de pirrotina y diseminada.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1438:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de plagioclasa, piroxeno y hornblenda. Magnetismo intenso en la muestra.

**Microfotografía (aspecto general)**



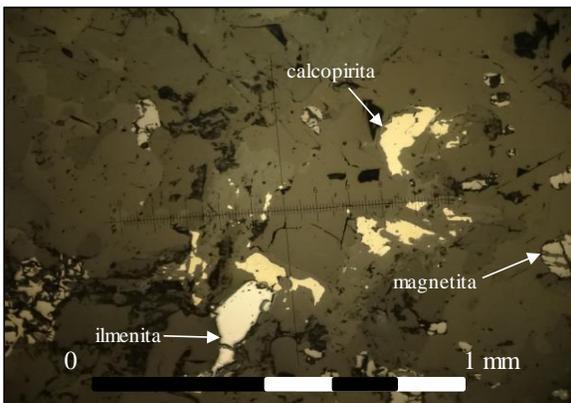
**Muestra AA1438:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 10x. Mineralización metálica de pirita en vetilla de ~1 mm. Acompañada de calcopirita y pirrotina.

**Observaciones microscópicas**

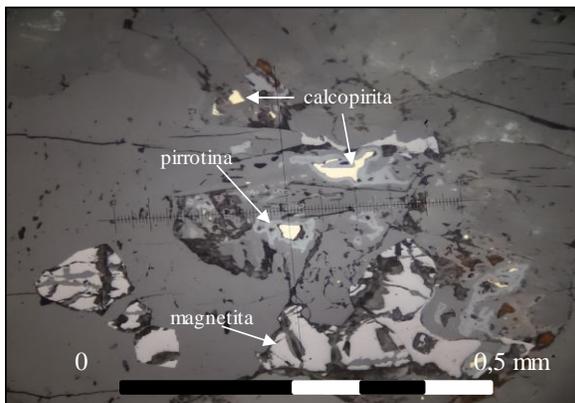
**Componentes minerales**

Mineral	%	Características	Modo de Ocurrencia
Magnetita	3	Anhedral, masivo. Inequigranular (<0.4 mm)	Diseminado.
Ilmenita	1	Anhedral, masivo. Inequigranular (<0.3 mm)	Diseminado.
Pirita	tr	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.5 mm).	En vetilla de ~1 mm.
Calcopirita	tr	Anhedral, masivo. Inequigranular (<0.2 mm)	Diseminado y como inclusión en cristales de pirrotina dentro de vetilla de ~1 mm.
Pirrotina	tr	Anhedral. Masivo. Inequigranular (<0.15 mm)	Diseminado dentro de vetilla de ~1mm.

**Selección de Microfotografías**



**Muestra AA1438:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 10x. Mineralización metálica de calcopirita y magnetita diseminadas. También ilmenita diseminada.



**Muestra AA1438:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 20x. Mineralización metálica de calcopirita y como inclusión en cristales de pirrotina. Magnetita

**Muestra N°: AA1440**

Clasificación petrográfica : **gabro de piroxeno y hornblenda**

**Descripción general mediante observaciones mesoscópicas y microscópicas**

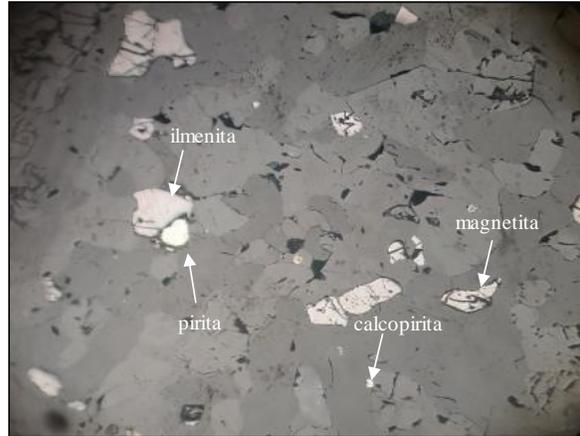
Gabro de piroxeno y hornblenda con mineralización metálica de trazas de magnetita, pirita e ilmenita y menor calcopirita diseminadas. En la veta de 3 cm se encuentra también trazas de pirita y mayor magnetita (1%) diseminadas. La pirita en este dominio también se encuentra en microvetillas de 2 mm aproximadamente.

**Fotografía de la muestra (aspecto general)**



**AA1440:** Aspecto general de la muestra en rechazo. Se aprecian cristales de plagioclasa, piroxeno y hornblenda. También opacos. Magnetismo leve en rechazo.

**Microfotografía (aspecto general)**



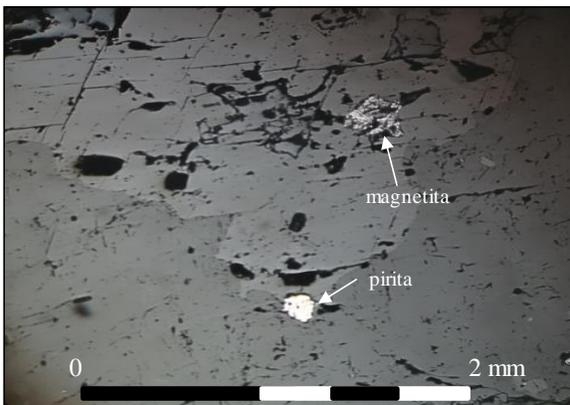
**AA1440:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 5x. Mineralización de magnetita, ilmenita, pirita y menor calcopirita diseminada.

**Observaciones microscópicas**

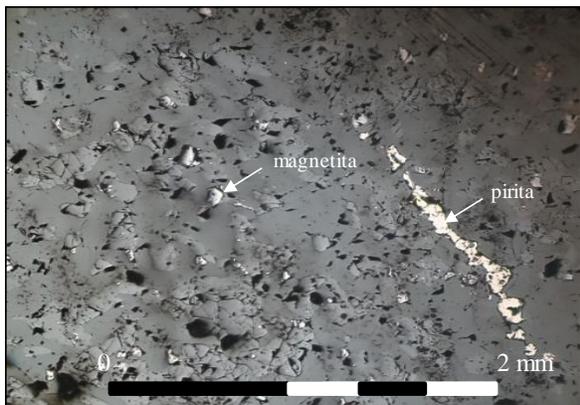
**Componentes minerales**

Mineral	%	Características	Modo de Ocurrencia
Magnetita	1	Anhedral, masiva, inequigranular (<0.5 mm).	Diseminada en roca y veta de 3 cm.
Pirita	<<1	Anhedral, masiva, inequigranular (<0.3 mm).	Diseminada en roca. Diseminada y en microvetillas de 2 mm. En veta de 3 cm.
Ilmenita	tr	Anhedral, masiva, inequigranular (<0.4 mm).	Diseminada en roca.
Calcopirita	tr	Anhedral, masiva, equigranular (<0.05 mm)	Diseminada y en microvetillas en roca y veta.

**Selección de Microfotografías**



**Muestra AA1440:** Microfotografía a nicols paralelos con aumento de 5x. Magnetita y Pirita diseminada en cristal de plagioclasa.



**Muestra AA14140:** Foromicrografía a nicols paralelos con aumento de 5x. Microvetilla de 1.5 mm de largo rellena con pirita y magnetita diseminada en dominio de veta de 3 cm que presenta la muestra.

### 9.3 ANEXO C1: GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS TRAZA

Report Number: A14-06974

Report Date: 20/10/2014

Analyte Symbol	SiO2	Al2O3	Fe2O3(T)	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	LOI	Total	Sc	Be	V	Ba	Sr
Unit Symbol	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Detection Limit	0,01	0,01	0,01	0,001	0,01	0,01	0,01	0,01	0,001	0,01		0,01	1	1	5	3	2
Analysis Method	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP
AA1402	47,62	19,82	11,15	0,212	5,35	10,82	2,13	0,99	0,606	0,06	1,5	100,3	43	< 1	355	137	300
AA1404	72,38	12,93	4,18	0,071	0,81	3,11	3,73	1,55	0,424	0,09	0,65	99,93	13	< 1	50	383	153
AA1405	51,31	14,99	14,7	0,51	7,75	7,49	2,66	0,6	0,587	0,14	0,09	100,8	32	< 1	278	88	159
AA1406	50,25	16,62	11,23	0,184	8,23	9,74	1,87	0,15	0,567	0,08	0,77	99,71	36	< 1	250	60	277
AA1409	63,15	16,03	7,05	0,122	2,72	6,22	3,24	0,96	0,657	0,13	0,52	100,8	20	< 1	160	211	323
AA1415	50,79	15,88	12,89	0,242	5,52	10,51	2,12	0,4	0,91	0,16	0,81	100,2	42	< 1	400	86	272
AA1418	45,76	28,34	6,1	0,073	2,65	15,88	1,25	0,09	0,399	0,04	0,33	100,9	15	< 1	219	18	522
AA1419	61,05	16,9	6,09	0,094	3,47	7,85	2,58	0,6	0,372	0,04	1,11	100,2	27	< 1	162	148	318
AA1421	77,26	12,7	1,79	0,025	0,25	1,15	3,64	3,7	0,12	0,04	0,24	100,9	4	1	12	768	96
AA1422	54,58	13,47	10,49	0,181	7,92	10,8	1,64	0,32	0,44	0,06	1,01	100,9	54	< 1	331	67	186
AA1424	76,16	12,5	2,84	0,048	0,5	2,72	4,22	0,89	0,293	0,04	0,56	100,8	11	< 1	36	237	149
AA1425	82,1	8,91	2,57	0,024	0,48	0,87	3,32	1,19	0,277	0,07	0,32	100,1	5	1	42	479	159
AA1426	48,68	14,59	9,62	0,138	8,79	10,1	2,14	0,57	0,784	0,21	5,06	100,7	32	< 1	262	177	321
AA1427	77,05	12,14	1,85	0,032	0,43	0,79	4,79	2,57	0,183	0,07	0,51	100,4	8	1	17	565	64
AA1428	50,32	16,83	9,5	0,166	9,13	11,13	0,74	0,13	0,181	0,05	0,92	99,11	45	< 1	173	42	183
AA1430	44,59	16,89	14,89	0,199	7,62	14,49	0,73	0,03	0,806	0,03	0,58	100,8	68	< 1	794	7	202
AA1431	46,52	17,56	13,09	0,214	7,72	13,51	0,92	0,03	0,471	0,06	0,49	100,6	57	< 1	421	17	205
AA1435	72,82	12,65	5,19	0,066	1,21	5,05	2,6	0,29	0,465	0,11	0,5	100,9	12	< 1	128	90	243
AA1437	44	22,19	6,65	0,098	11,29	14,17	0,42	0,05	0,051	0,03	1,61	100,6	14	< 1	47	13	219
AA1439	47,58	17,56	10,52	0,159	7,32	9,79	3,4	0,16	0,979	0,13	3,37	101	37	< 1	348	37	398

Report Number: A14-06974

Report Date: 20/10/2014

Analyte Symbol	Y	Zr	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Rb	Nb	Mo	Ag	In	Sn	Sb
Unit Symbol	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Detection Limit	2	4	20	1	20	10	30	1	1	5	2	1	2	0,5	0,2	1	0,5
Analysis Method	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-MS														
AA1402	6	8	70	32	30	20	100	21	2	15	33	< 1	< 2	< 0.5	< 0.2	< 1	1,7
AA1404	30	97	110	6	< 20	20	30	16	2	< 5	39	3	13	< 0.5	< 0.2	2	< 0.5
AA1405	14	45	350	45	170	170	200	19	2	17	14	2	< 2	< 0.5	< 0.2	2	1,2
AA1406	9	15	140	46	60	20	90	18	1	5	4	1	< 2	< 0.5	< 0.2	< 1	0,6
AA1409	23	102	80	17	< 20	30	80	20	1	< 5	24	2	< 2	< 0.5	< 0.2	1	0,5
AA1415	14	25	30	36	30	40	140	20	2	< 5	9	2	< 2	< 0.5	< 0.2	< 1	0,6
AA1418	< 2	< 4	40	16	30	10	40	22	< 1	< 5	2	< 1	< 2	< 0.5	< 0.2	< 1	0,7
AA1419	19	52	60	19	30	60	50	18	1	< 5	20	1	< 2	< 0.5	< 0.2	< 1	0,5
AA1421	20	69	< 20	2	< 20	10	< 30	13	1	< 5	66	4	< 2	< 0.5	< 0.2	< 1	< 0.5
AA1422	11	23	200	38	60	80	80	15	2	< 5	6	2	< 2	< 0.5	< 0.2	< 1	0,6
AA1424	30	78	100	4	< 20	< 10	30	14	2	< 5	16	< 1	< 2	< 0.5	< 0.2	1	0,5
AA1425	11	144	30	6	< 20	< 10	< 30	11	< 1	< 5	32	4	< 2	0,5	< 0.2	2	0,6
AA1426	12	75	550	40	170	80	90	18	1	< 5	14	3	< 2	< 0.5	< 0.2	1	0,9
AA1427	24	100	70	3	< 20	< 10	< 30	12	< 1	< 5	40	7	< 2	< 0.5	< 0.2	2	0,8
AA1428	4	20	100	41	50	30	70	14	1	< 5	4	1	< 2	< 0.5	< 0.2	4	0,7
AA1430	4	< 4	90	42	40	80	70	19	1	< 5	< 2	< 1	< 2	< 0.5	< 0.2	< 1	0,7
AA1431	4	< 4	160	39	50	70	80	18	1	6	< 2	1	< 2	< 0.5	< 0.2	< 1	0,7
AA1435	12	32	< 20	9	< 20	10	40	15	< 1	< 5	8	< 1	< 2	< 0.5	< 0.2	< 1	< 0.5
AA1437	< 2	< 4	190	48	140	< 10	70	12	< 1	< 5	< 2	< 1	< 2	< 0.5	< 0.2	< 1	0,5
AA1439	13	42	90	36	70	130	70	19	1	30	2	< 1	< 2	< 0.5	< 0.2	1	< 0.5

Report Number: A14-06974

Report Date: 20/10/2014

Analyte Symbol	Cs	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta
Unit Symbol	ppm																
Detection Limit	0,5	0,1	0,1	0,05	0,1	0,1	0,05	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,05	0,1	0,04	0,2	0,1
Analysis Method	FUS-MS																
AA1402	2,6	1,3	2,8	0,42	2,2	0,8	0,45	1	0,2	1,2	0,3	0,8	0,12	0,8	0,12	< 0,2	< 0,1
AA1404	1	13,2	29,2	3,76	16	3,9	0,72	4,3	0,7	4,7	1	3,2	0,5	3,5	0,51	2,9	0,2
AA1405	1,1	5,4	11,9	1,59	7,6	2	0,58	2,3	0,4	2,5	0,6	1,7	0,26	1,6	0,26	1,4	< 0,1
AA1406	0,9	3,2	7	1	4,8	1,3	0,65	1,7	0,3	2	0,4	1,3	0,2	1,2	0,17	0,4	< 0,1
AA1409	1,3	8,8	20,9	2,98	14,1	3,6	0,9	3,9	0,6	3,9	0,8	2,6	0,38	2,3	0,35	2,6	0,2
AA1415	0,5	6,4	13,9	1,9	8,9	2,3	0,87	2,6	0,4	2,6	0,6	1,7	0,26	1,6	0,24	0,7	< 0,1
AA1418	< 0,5	0,9	1,7	0,25	1,1	0,4	0,3	0,4	< 0,1	0,4	< 0,1	0,2	< 0,05	0,2	< 0,04	< 0,2	< 0,1
AA1419	1,4	4,6	10,5	1,51	7,6	2,4	0,5	2,9	0,5	3,4	0,7	2,3	0,36	2,3	0,34	1,6	0,1
AA1421	0,7	19,7	38,6	4,34	15,2	2,7	0,44	2,5	0,4	2,7	0,6	1,9	0,31	2,1	0,31	2,2	0,6
AA1422	< 0,5	3,9	8,5	1,1	4,9	1,4	0,43	1,6	0,3	2,1	0,4	1,3	0,2	1,3	0,2	0,7	< 0,1
AA1424	< 0,5	5,9	13,7	1,95	9,1	2,7	0,71	3,6	0,7	4,6	1	3,3	0,52	3,6	0,55	2,2	< 0,1
AA1425	< 0,5	21,7	42	4,75	17,4	3,3	0,76	2,5	0,4	2,4	0,5	1,4	0,21	1,3	0,2	3,3	0,4
AA1426	0,5	12,2	27,2	3,64	16,1	3,5	1,07	3,1	0,4	2,5	0,5	1,4	0,2	1,2	0,18	1,9	0,2
AA1427	< 0,5	21,5	42,8	5,09	19,3	4,3	0,51	4	0,7	4,1	0,8	2,6	0,41	2,7	0,41	2,8	0,8
AA1428	< 0,5	2,8	5,8	0,77	3,1	0,7	0,23	0,7	0,1	0,7	0,2	0,5	0,08	0,6	0,09	0,4	< 0,1
AA1430	< 0,5	0,4	0,8	0,15	0,7	0,3	0,19	0,5	0,1	0,8	0,2	0,5	0,08	0,5	0,08	< 0,2	< 0,1
AA1431	< 0,5	1,4	2,5	0,36	1,4	0,5	0,28	0,7	0,1	0,9	0,2	0,6	0,09	0,6	0,1	< 0,2	< 0,1
AA1435	< 0,5	4,5	9,3	1,19	5,1	1,2	0,51	1,4	0,2	1,4	0,3	0,9	0,16	1,1	0,15	0,9	0,1
AA1437	< 0,5	1,1	1,2	0,06	0,3	< 0,1	0,07	0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,05	< 0,1	< 0,04	< 0,2	< 0,1
AA1439	< 0,5	4,9	11,5	1,74	8,5	2,5	0,81	2,7	0,4	2,4	0,5	1,5	0,22	1,4	0,21	1	< 0,1

Report Number: A14-06974

Report Date: 20/10/2014

Analyte Symbol	W	Tl	Pb	Bi	Th	U
Unit Symbol	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Detection Limit	1	0,1	5	0,4	0,1	0,1
Analysis Method	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS
AA1402	1	0,3	< 5	< 0.4	0,2	< 0.1
AA1404	< 1	0,2	< 5	< 0.4	5	1,2
AA1405	2	0,2	< 5	< 0.4	2	0,6
AA1406	< 1	< 0.1	< 5	< 0.4	0,5	0,1
AA1409	< 1	0,1	< 5	< 0.4	1,8	0,4
AA1415	1	< 0.1	< 5	< 0.4	0,9	0,2
AA1418	< 1	< 0.1	< 5	< 0.4	0,1	< 0.1
AA1419	< 1	0,1	< 5	< 0.4	2,2	1
AA1421	< 1	0,2	13	< 0.4	10,7	1,3
AA1422	1	< 0.1	< 5	< 0.4	0,7	0,2
AA1424	< 1	< 0.1	< 5	< 0.4	1,7	0,6
AA1425	< 1	0,2	9	< 0.4	6	1,2
AA1426	< 1	< 0.1	< 5	< 0.4	2,1	0,6
AA1427	1	0,2	< 5	< 0.4	10,3	2,9
AA1428	< 1	< 0.1	< 5	< 0.4	0,7	0,1
AA1430	< 1	< 0.1	< 5	< 0.4	< 0.1	< 0.1
AA1431	< 1	< 0.1	< 5	< 0.4	0,5	< 0.1
AA1435	< 1	< 0.1	< 5	< 0.4	1,1	0,3
AA1437	< 1	< 0.1	< 5	< 0.4	< 0.1	< 0.1
AA1439	< 1	< 0.1	< 5	< 0.4	0,7	0,3

## 9.4 ANEXO C2: GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS TRAZA – CONTROL DE CALIDAD

Report Number: A14-06974

Report Date: 20/10/2014

AnalYTE Symbol	SiO2	Al2O3	Fe2O3(T)	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	LOI	Total	Sc	Be	V	Ba	Sr
Unit Symbol	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Detection Limit	0,01	0,01	0,01	0,001	0,01	0,01	0,01	0,01	0,001	0,01		0,01	1	1	5	3	2
Analysis Method	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP
NIST 694 Meas	11,1	1,91	0,74	0,013	0,34	42,96	0,85	0,54	0,118	30,08					1654		
NIST 694 Cert	11,2	1,8	0,79	0,0116	0,33	43,6	0,86	0,51	0,11	30,2					1740		
DNC-1 Meas	46,88	18,54	9,91	0,148	10,02	11,42	1,89	0,22	0,48	0,09			31		154	105	143
DNC-1 Cert	47,15	18,34	9,97	0,150	10,13	11,49	1,890	0,234	0,480	0,070			31		148	118	144,0
GBW 07113 Meas	72,08	12,85	3,2	0,139	0,14	0,59	2,47	5,41	0,278	0,06			5	4	< 5	494	40
GBW 07113 Cert	72,8	13	3,21	0,14	0,16	0,59	2,57	5,43	0,3	0,05			5	4	5	506	43
LKSD-3 Meas																	
LKSD-3 Cert																	
TDB-1 Meas																	
TDB-1 Cert																	
W-2a Meas	52,56	15,3	10,81	0,167	6,37	11,02	2,2	0,61	1,064	0,2			36	< 1	282	173	195
W-2a Cert	52,4	15,4	10,7	0,163	6,37	10,9	2,14	0,626	1,06	0,13			36	1,3	262	182	190
SY-4 Meas	49,79	20,84	6,29	0,108	0,52	8,11	6,98	1,66	0,287	0,13			1	3	7	349	1201
SY-4 Cert	49,9	20,69	6,21	0,108	0,54	8,05	7,10	1,66	0,287	0,131			1,1	2,6	8,0	340	1191
CTA-AC-1 Meas																	
CTA-AC-1 Cert																	
BIR-1a Meas	47,61	15,51	11,19	0,171	9,49	13,41	1,8	0,02	0,958	0,02			43	< 1	342	8	107
BIR-1a Cert	47,96	15,50	11,30	0,175	9,700	13,30	1,82	0,030	0,96	0,021			44	0,58	310	6	110
NCS DC86312 Meas																	
NCS DC86312 Cert																	
ZW-C Meas																	
ZW-C Cert																	
NCS DC70009 (GBW07241) Meas																	
NCS DC70009 (GBW07241) Cert																	
OREAS 100a (Fusion) Meas																	
OREAS 100a (Fusion) Cert																	
OREAS 101a (Fusion) Meas																	
OREAS 101a (Fusion) Cert																	
OREAS 101b (Fusion) Meas																	
OREAS 101b (Fusion) Cert																	
JR-1 Meas																	
JR-1 Cert																	
AA1427 Orig	77,14	12,37	1,88	0,032	0,44	0,8	4,78	2,57	0,189	0,07	0,51	100,8	8	1	17	571	66
AA1427 Dup	76,95	11,91	1,81	0,032	0,43	0,78	4,8	2,57	0,178	0,07	0,51	100	7	1	16	559	62
Method Blank																	

Report Number: A14-06974

Report Date: 20/10/2014

Analyte Symbol	Y	Zr	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Rb	Nb	Mo	Ag	In	Sn	Sb
Unit Symbol	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Detection Limit	2	4	20	1	20	10	30	1	1	5	2	1	2	0,5	0,2	1	0,5
Analysis Method	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS
NIST 694 Meas																	
NIST 694 Cert																	
DNC-1 Meas	13	34		61		100	80										
DNC-1 Cert	18,0	38		57		100	70										
GBW 07113 Meas	46	389															
GBW 07113 Cert	43	403															
LKSD-3 Meas				31		30					80		< 2	2,7			
LKSD-3 Cert				30		35					78		2	2,7			
TDB-1 Meas			260		100	340	160				21						
TDB-1 Cert			251		92	323	155				23						
W-2a Meas	19	85															
W-2a Cert	24	94															
SY-4 Meas	119	540															
SY-4 Cert	119	517															
CTA-AC-1 Meas						50											
CTA-AC-1 Cert						54,0											
BIR-1a Meas	12	16		55	180	120											
BIR-1a Cert	16	18		52	170	125											
NCS DC86312 Meas																	
NCS DC86312 Cert																	
ZW-C Meas							1040	101				196					
ZW-C Cert							1050.000	99				198					
NCS DC70009 (GBW07241) Meas						1050	110							1,7			
NCS DC70009 (GBW07241) Cert						960	100							1,8			
OREAS 100a (Fusion) Meas				19		180											
OREAS 100a (Fusion) Cert				18,1		169											
OREAS 101a (Fusion) Meas				49		420						22					
OREAS 101a (Fusion) Cert				48,8		434						21,9					
OREAS 101b (Fusion) Meas				47	< 20	410						21					
OREAS 101b (Fusion) Cert				47	9	416						20,9					
JR-1 Meas					< 20		30				271	15	3	1,3	< 0,2	3	1,1
JR-1 Cert					1,67		30,6				257	15,2	3,25	0,031	0,028	2,86	1,19
AA1427 Orig	25	97	70	3	< 20	< 10	30	12	< 1	< 5	40	7	< 2	< 0,5	< 0,2	2	0,9
AA1427 Dup	24	104	70	3	< 20	< 10	< 30	12	< 1	< 5	40	6	< 2	< 0,5	< 0,2	2	0,6
Method Blank			< 20	< 1	< 20	< 10	< 30	< 1	< 1	< 5	< 2	< 1	< 2	< 0,5	< 0,2	< 1	< 0,5

Report Number: A14-06974

Report Date: 20/10/2014

Analyte Symbol	Cs	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta
Unit Symbol	ppm																
Detection Limit	0,5	0,1	0,1	0,05	0,1	0,1	0,05	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,05	0,1	0,04	0,2	0,1
Analysis Method	FUS-MS																
NIST 694 Meas																	
NIST 694 Cert																	
DNC-1 Meas		3,7			5,1		0,62							2			
DNC-1 Cert		3,6			5,20		0,59							2,0			
GBW 07113 Meas																	
GBW 07113 Cert																	
LKSD-3 Meas	2,5	47,4	90,5		44,2	8,1	1,49			5,3				2,8		4,4	0,7
LKSD-3 Cert	2,3	52	90		44	8	1,5			4,9				2,7		4,8	0,7
TDB-1 Meas		16,6	39,1		24,7		2							3,3			
TDB-1 Cert		17	41		23		2,1							3,4			
W-2a Meas																	
W-2a Cert																	
SY-4 Meas																	
SY-4 Cert																	
CTA-AC-1 Meas		> 2000	> 3000		1150	172	48	130	14,5					11,1			
CTA-AC-1 Cert		2176	3326		1087	162	46,7	124	13,9					11,4			
BIR-1a Meas					2,7	1,2	0,54	2,1						1,8	0,28		
BIR-1a Cert					2,5	1,1	0,55	2,0						1,7	0,3		
NCS DC86312 Meas		> 2000	178		1600				31,8	187	35,7	105	13,9	87,8	12,6		
NCS DC86312 Cert		2360	190		1600				34,6	183	36	96,2	15,1	87,79	11,96		
ZW-C Meas	267																80,2
ZW-C Cert	260																82
NCS DC70009 (GBW07241) Meas		24,3	61,4	8,3	33,9	13,4		16,1	3,2	22,7	4,6						
NCS DC70009 (GBW07241) Cert		23,7	60,3	7,9	32,9	12,5		14,8	3,3	20,7	4,5						
OREAS 100a (Fusion) Meas		278	505	50,1	161		3,92	22,5	3,7	24,6	5,1		2,49	16,2	2,46		
OREAS 100a (Fusion) Cert		260	463	47,1	152		3,71	23,6	3,80	23,2	4,81		2,31	14,9	2,26		
OREAS 101a (Fusion) Meas		824	1350	134	401		8,45			33,2	6,6	21,1	2,98	18,9	2,8		
OREAS 101a (Fusion) Cert		816	1396	134	403		8,06			33,3	6,46	19,5	2,90	17,5	2,66		
OREAS 101b (Fusion) Meas		786	1350	129	392	50,1	8,02		5,4	32,3	6,4	20,4	2,84	18,5	2,6		
OREAS 101b (Fusion) Cert		789	1331	127	378	48	7,77		5,37	32,1	6,34	18,7	2,66	17,6	2,58		
JR-1 Meas	21,7	20,7	48,5		23,7	6	0,28		1				0,72		0,74	4,6	1,8
JR-1 Cert	20,8	19,7	47,2		23,3	6,03	0,30		1,01				0,67		0,71	4,51	1,86
AA1427 Orig	< 0,5	22,9	44,2	5,23	20,1	4,4	0,54	4,1	0,7	4,2	0,8	2,6	0,42	2,8	0,41	2,7	0,8
AA1427 Dup	< 0,5	20	41,4	4,95	18,6	4,2	0,47	4	0,7	4	0,8	2,6	0,4	2,7	0,41	2,9	0,8
Method Blank	< 0,5	< 0,1	< 0,1	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,05	< 0,1	< 0,04	< 0,2	< 0,1

Report Number: A14-06974

Report Date: 20/10/2014

Analyte Symbol	W	Tl	Pb	Bi	Th	U
Unit Symbol	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Detection Limit	1	0,1	5	0,4	0,1	0,1
Analysis Method	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS
NIST 694 Meas						
NIST 694 Cert						
DNC-1 Meas						
DNC-1 Cert						
GBW 07113 Meas						
GBW 07113 Cert						
LKSD-3 Meas					11,1	4,7
LKSD-3 Cert					11,4	4,6
TDB-1 Meas					2,8	
TDB-1 Cert					2,7	
W-2a Meas						
W-2a Cert						
SY-4 Meas						
SY-4 Cert						
CTA-AC-1 Meas						4,4
CTA-AC-1 Cert						4,4
BIR-1a Meas						
BIR-1a Cert						
NCS DC86312 Meas					25,7	
NCS DC86312 Cert					23,6	
ZW-C Meas	333	32,4				
ZW-C Cert	320	34				
NCS DC70009 (GBW07241)						
Meas	2420	1,9				
NCS DC70009 (GBW07241)						
Cert	2200	1,8				
OREAS 100a (Fusion) Meas					56,1	148
OREAS 100a (Fusion) Cert					51,6	135
OREAS 101a (Fusion) Meas					38,1	458
OREAS 101a (Fusion) Cert					36,6	422
OREAS 101b (Fusion) Meas					36,6	402
OREAS 101b (Fusion) Cert					37,1	396
JR-1 Meas			19	0,5	28,1	9,3
JR-1 Cert			19,3	0,56	26,7	8,88
AA1427 Orig	1	0,2	< 5	< 0,4	10,4	2,9
AA1427 Dup	1	0,2	< 5	< 0,4	10,1	2,9
Method Blank	< 1	< 0,1	< 5	< 0,4	< 0,1	< 0,1

## 9.5 ANEXO D: FLUORESCENCIA DE RAYOS X

Analyte Symbol	Mo	Mo Error	Zr	Zr Error	Sr	Sr Error	U	U Error	Rb	Rb Error	Th	Th Error	Pb	Pb Error	Au	Au Error
Unit Symbol	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Analysis Method	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX
AA1402	0,05	7,04	5,57	150000,00	282,70	9,66	0,05	150000,00	8,59	2,27	0,05	150000,00	0,05	150000,00	0,05	150000,00
AA1403	4,49	4,87	0,05	5,95	356,39	8,37	0,05	9,54	40,94	3,21	0,05	4,82	0,05	5,78	0,05	5,59
AA1404	0,05	6,03	130,05	6,49	182,63	6,60	0,05	12,72	96,63	5,41	6,80	5,42	0,05	6,14	0,05	10,18
AA1405	6,09	150000,00	45,03	5,12	134,63	7,00	0,05	212132,03	6,65	2,15	0,05	212132,03	0,05	212132,03	0,05	212132,03
AA1406	3,53	4,92	9,33	4,45	343,29	8,27	0,05	7,77	0,05	2,51	0,05	4,77	0,05	5,63	0,05	6,27
AA1407	7,23	4,87	60,35	4,60	146,94	5,61	0,05	10,43	75,95	4,50	4,91	4,92	14,75	6,74	0,05	5,72
AA1408	12,13	4,35	160,53	6,48	604,90	9,77	0,05	10,18	60,85	3,57	0,05	5,08	18,72	5,63	0,05	7,18
AA1409	13,29	4,50	69,95	5,91	430,44	9,96	0,05	9,24	7,56	2,00	0,05	4,79	10,36	6,71	0,05	6,20
AA1410	10,51	4,67	14,97	4,16	489,36	9,52	0,05	8,24	9,10	2,12	0,05	4,72	0,05	5,91	0,05	5,47
AA1411	7,42	5,45	89,97	6,37	396,88	9,87	0,05	9,33	8,41	2,18	4,58	5,23	0,05	6,74	0,05	10,82
AA1412	12,06	4,76	81,17	6,44	368,27	9,87	0,05	10,31	19,79	2,79	0,05	5,62	13,03	7,98	0,05	6,84
AA1413	0,05	212132,03	57,10	7,69	763,00	23,84	0,05	212132,03	0,05	212132,03	0,05	212132,03	0,05	150000,00	0,05	212132,03
AA1414	4,65	4,11	13,48	2,97	235,32	5,79	0,05	6,22	6,98	1,49	0,05	3,75	0,05	4,52	0,05	4,36
AA1415	0,05	212132,03	22,86	4,99	232,03	9,96	0,05	212132,03	8,44	2,38	0,05	212132,03	0,05	212132,03	0,05	212132,03
AA1416	0,05	150000,00	19,91	4,93	260,04	10,52	0,05	212132,03	24,92	3,32	0,05	212132,03	0,05	212132,03	0,05	212132,03
AA1417	11,78	4,80	225,61	8,94	395,89	10,22	0,05	12,94	62,66	4,47	16,49	5,28	15,75	8,16	0,05	6,61
AA1418	0,05	6,00	0,05	8,72	590,83	12,44	0,05	9,90	0,05	3,50	0,05	4,91	0,05	6,90	0,05	6,14
AA1419	6,58	150000,00	26,56	4,35	87,51	5,52	0,05	212132,03	7,72	2,25	0,05	212132,03	0,05	150000,00	0,05	150000,00
AA1420	0,05	150000,00	0,05	212132,03	196,25	8,78	0,05	212132,03	0,05	212132,03	0,05	212132,03	0,05	212132,03	0,05	212132,03

Analyte Symbol	Se	Se Error	As	As Error	Hg	Hg Error	Zn	Zn Error	W	W Error	Cu	Cu Error	Ni	Ni Error	Co	Co Error
Unit Symbol	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Analysis Method	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX
AA1402	0,05	150000,00	0,05	150000,00	0,05	150000,00	62,66	14,57	0,05	150000,01	0,05	150000,00	0,05	64,23	0,05	150000,11
AA1403	0,05	3,50	4,84	4,52	0,05	9,15	46,23	10,39	0,05	65,07	97,83	17,22	0,05	49,08	0,05	195,92
AA1404	0,05	3,64	0,05	5,26	0,05	8,63	0,05	13,15	0,05	61,50	0,05	20,64	0,05	44,62	0,05	100,11
AA1405	0,05	212132,03	0,05	150000,00	0,05	212132,03	187,00	23,60	0,05	212132,03	73,80	41,09	164,36	50,26	0,05	212132,03
AA1406	0,05	3,49	0,05	4,27	0,05	8,89	47,20	9,62	0,05	61,46	0,05	21,04	104,00	61,43	0,05	201,40
AA1407	0,05	3,13	0,05	5,23	0,05	8,11	0,05	9,39	0,05	58,07	0,05	17,73	0,05	39,50	0,05	53,96
AA1408	0,05	2,97	0,05	5,24	0,05	7,57	26,07	7,99	0,05	51,63	57,95	16,13	0,05	38,34	0,05	90,56
AA1409	0,05	3,88	0,05	5,21	0,05	9,28	21,44	9,61	0,05	63,51	0,05	19,85	0,05	44,63	0,05	134,24
AA1410	0,05	3,35	0,05	5,18	0,05	8,70	59,44	10,07	0,05	60,97	47,40	25,32	0,05	45,81	0,05	176,25
AA1411	0,05	3,71	0,05	5,35	0,05	9,68	32,00	11,09	67,11	62,59	46,57	15,78	0,05	47,24	0,05	146,24
AA1412	0,05	3,91	0,05	6,34	0,05	10,20	66,05	12,23	0,05	69,85	0,05	21,89	0,05	57,01	0,05	208,07
AA1413	0,05	212132,03	17,37	6,23	0,05	212132,03	40,47	20,80	0,05	150000,02	0,05	212132,03	0,05	212132,03	0,05	212132,03
AA1414	0,05	2,60	0,05	3,58	0,05	6,66	0,05	8,80	0,05	51,24	30,91	18,92	0,05	33,02	0,05	76,73
AA1415	0,05	212132,03	0,05	212132,03	0,05	212132,03	132,85	20,87	0,05	150000,02	0,05	42,73	0,05	212132,03	0,05	150000,19
AA1416	0,05	212132,03	0,05	212132,03	0,05	212132,03	96,67	18,01	0,05	212132,03	0,05	212132,03	103,00	67,26	0,05	212132,03
AA1417	0,05	3,96	0,05	6,73	0,05	10,28	57,98	11,83	0,05	70,66	62,75	17,73	0,05	54,38	0,05	189,40
AA1418	0,05	4,24	0,05	5,04	0,05	9,92	26,41	13,55	0,05	68,79	0,05	22,11	0,05	49,16	0,05	121,68
AA1419	0,05	150000,00	0,05	150000,00	0,05	212132,03	81,30	17,41	0,05	150000,02	116,96	46,69	104,00	66,67	0,05	150000,21
AA1420	0,05	212132,03	0,05	212132,03	0,05	212132,03	78,84	17,24	0,05	150000,02	0,05	212132,03	115,53	47,98	0,05	212132,03

Analyte Symbol Unit Symbol Analysis Method	Fe ppm F-RX	Fe Error ppm F-RX	Mn ppm F-RX	Mn Error ppm F-RX	Cr ppm F-RX	Cr Error ppm F-RX	V ppm F-RX	V Error ppm F-RX	Ti ppm F-RX	Ti Error ppm F-RX	Sc ppm F-RX	Sc Error ppm F-RX	Ca ppm F-RX	Ca Error ppm F-RX
AA1402	78878,80	1601,87	1797,00	151,76	62,01	39,17	202,99	44,48	2057,58	166,13	122,01	88,50	76619,87	1499,63
AA1403	60268,17	1047,94	918,14	91,62	93,15	42,13	284,09	35,87	2437,48	130,86	53,43	75,49	96571,26	1434,32
AA1404	15851,59	431,98	338,43	81,79	116,41	15,94	0,05	50,07	1006,63	81,24	23,16	29,25	20372,44	664,85
AA1405	91440,14	1816,83	4902,59	257,02	356,75	43,56	217,07	54,23	3751,99	210,58	0,05	94,86	53659,79	1208,14
AA1406	61305,35	1047,25	962,69	86,91	110,54	22,57	132,62	33,54	3368,61	138,39	0,05	77,56	76492,84	1186,35
AA1407	2961,57	105,37	0,05	88,00	79,50	11,29	0,05	21,25	254,09	54,61	0,05	25,97	14339,70	515,32
AA1408	19243,64	405,28	387,15	65,10	83,87	25,95	32,55	31,17	2492,24	99,98	0,05	40,94	37090,77	737,74
AA1409	28836,26	653,62	410,01	86,73	79,07	17,20	93,67	29,68	2554,06	123,86	0,05	62,12	46790,12	968,05
AA1410	52860,98	914,89	1051,73	85,51	0,05	22,55	170,59	32,80	3780,84	135,15	49,99	63,40	70430,51	1108,72
AA1411	31895,90	738,13	756,88	111,37	109,51	19,83	120,50	45,52	2041,54	119,41	48,19	54,14	52666,97	1093,52
AA1412	50314,96	1071,05	962,41	98,83	70,33	27,24	131,50	53,46	7986,62	240,18	0,05	70,08	41693,65	950,56
AA1413	66922,64	1474,46	2051,47	179,75	0,05	26,59	185,50	40,79	2196,44	167,44	108,35	111,20	131138,06	2269,57
AA1414	15686,86	330,72	291,46	55,74	83,19	14,24	48,37	24,32	1256,43	66,26	24,57	31,85	32244,48	583,53
AA1415	90979,70	1868,62	1992,59	174,04	0,05	42,53	297,85	56,16	4287,47	217,11	0,05	105,79	77482,47	1525,24
AA1416	78579,09	1640,74	1584,92	158,49	126,65	35,17	241,00	52,80	4110,75	210,21	103,94	99,26	91473,42	1735,62
AA1417	42380,12	885,45	799,22	89,56	72,51	22,70	58,99	63,89	6483,89	217,50	0,05	62,29	36090,20	916,17
AA1418	17034,10	512,32	354,65	79,67	68,78	16,90	53,54	18,68	871,14	79,87	152,67	62,54	125033,96	2141,16
AA1419	93930,93	1945,36	2089,85	178,56	295,63	45,85	397,69	101,76	4175,25	238,21	112,09	113,26	105121,27	1923,96
AA1420	87470,68	1787,25	1273,74	146,97	220,41	35,43	136,93	40,09	1959,78	154,91	0,05	113,60	88707,11	1645,36

Analyte Symbol Unit Symbol Analysis Method	K ppm F-RX	K Error ppm F-RX	S ppm F-RX	S Error ppm F-RX	Sb ppm F-RX	Sb Error ppm F-RX	Sn ppm F-RX	Sn Error ppm F-RX	Cd ppm F-RX	Cd Error ppm F-RX	Pd ppm F-RX	Pd Error ppm F-RX	Ag ppm F-RX	Ag Error ppm F-RX
AA1402	3776,86	430,32	0,05	1317,38	0,05	55,19	0,05	71,98	0,05	144,22	0,05	57,22	0,05	116,32
AA1403	10648,94	547,82	0,05	1026,80	0,05	44,01	0,05	63,73	0,05	108,10	0,05	44,39	0,05	125,07
AA1404	30399,03	1034,81	0,05	642,05	0,05	55,19	0,05	51,24	0,05	128,87	0,05	54,55	0,05	104,27
AA1405	4763,77	481,68	0,05	1303,16	0,05	56,87	0,05	77,71	0,05	133,56	0,05	52,04	0,05	132,11
AA1406	1803,78	270,17	0,05	928,91	0,05	43,25	0,05	56,75	0,05	88,45	0,05	41,86	0,05	98,04
AA1407	27674,24	890,77	0,05	520,21	0,05	44,29	0,05	47,25	0,05	104,78	0,05	54,25	0,05	89,52
AA1408	22317,39	765,71	0,05	620,73	0,05	39,52	0,05	46,38	0,05	112,56	0,05	45,56	0,05	103,25
AA1409	6860,47	370,70	0,05	865,94	0,05	47,65	0,05	50,99	0,05	142,53	0,05	53,28	0,05	136,96
AA1410	5595,54	330,56	0,05	889,05	0,05	43,02	0,05	53,24	0,05	108,25	0,05	46,75	0,05	132,23
AA1411	6635,94	376,92	0,05	894,59	0,05	52,68	0,05	60,93	153,71	127,67	0,05	100,45	0,05	190,37
AA1412	10400,46	509,27	0,05	1075,06	0,05	50,65	0,05	55,00	0,05	120,11	0,05	49,84	0,05	108,57
AA1413	422,44	465,62	0,05	1580,28	0,05	56,76	0,05	86,83	0,05	120,60	0,05	77,26	0,05	128,90
AA1414	2946,94	190,89	358,58	489,09	0,05	36,37	0,05	39,39	0,05	79,06	0,05	36,26	0,05	84,86
AA1415	3891,81	441,32	0,05	1388,65	0,05	60,96	0,05	75,06	0,05	126,08	0,05	56,94	0,05	111,36
AA1416	9607,88	606,32	0,05	1521,40	0,05	57,05	0,05	89,56	0,05	109,64	0,05	52,03	0,05	123,19
AA1417	20378,01	1004,11	0,05	1025,57	0,05	48,88	0,05	59,17	0,05	99,22	0,05	50,46	0,05	93,20
AA1418	953,93	260,13	0,05	986,48	0,05	50,23	0,05	58,52	0,05	108,42	0,05	45,69	0,05	98,92
AA1419	3299,93	657,62	0,05	8918,45	0,05	57,96	0,05	83,90	0,05	111,89	0,05	71,49	0,05	132,28
AA1420	838,05	341,37	0,05	1609,23	0,05	56,86	0,05	83,65	0,05	108,89	0,05	63,64	0,05	134,54

Analyte Simbol	Bal	Bal Error	Nb	Nb Error	Bi	Bi Error	Re	Re Error	Ta	Ta Error	Hf	Hf Error
Unit Symbol	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Analysis Method	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX
AA1402	836648,81	2803,83	4,04	4,78	0,05	6,87	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
AA1403	828633,17	2363,03	3,18	4,05	0,05	7,77	0,05	0,87	0,05	0,87	0,05	0,87
AA1404	931066,03	1248,75	10,04	3,37	0,05	10,25	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
AA1405	841040,07	2804,28	0,05	5,54	0,05	8,15	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
AA1406	855471,42	2027,52	0,05	4,96	0,05	6,24	0,05	0,87	0,05	0,87	0,05	0,87
AA1407	951833,66	870,05	0,05	4,58	0,05	11,65	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
AA1408	916967,02	1208,58	8,64	3,31	0,05	8,63	0,05	0,87	0,05	0,87	0,05	0,87
AA1409	914913,50	1462,58	3,77	5,46	0,05	7,39	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
AA1410	865497,38	1890,14	13,38	3,07	0,05	6,33	0,05	0,87	0,05	0,87	0,05	0,87
AA1411	905577,04	1675,68	9,94	3,54	0,05	8,00	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
AA1412	890047,94	1931,17	10,44	3,57	0,05	9,92	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
AA1413	795979,35	3480,60	6,37	6,47	0,05	7,71	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
AA1414	947623,50	751,44	2,37	3,71	0,05	6,52	0,05	0,87	0,05	0,87	0,05	0,87
AA1415	820710,85	3159,57	0,05	8,04	0,05	8,70	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
AA1416	815157,69	3189,10	0,05	5,23	0,05	10,42	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
AA1417	893178,22	1819,06	8,37	3,42	15,80	6,77	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
AA1418	853431,35	2432,85	0,05	6,78	0,05	5,58	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
AA1419	790258,07	3583,87	5,22	4,93	0,05	9,61	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
AA1420	819509,13	3111,80	0,05	6,63	0,05	5,90	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06

Analyte Symbol	Mo	Mo Error	Zr	Zr Error	Sr	Sr Error	U	U Error	Rb	Rb Error	Th	Th Error	Pb	Pb Error
Unit Symbol	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Analysis Method	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX
AA1421	0,05	5,39	47,92	3,98	104,07	4,78	0,05	8,67	38,45	3,22	9,76	3,94	11,87	4,63
AA1422	10,81	4,83	19,88	4,35	243,22	8,49	0,05	9,30	8,31	2,18	0,05	5,26	0,05	7,56
AA1423	13,23	4,72	14,78	4,27	287,04	8,86	0,05	10,35	31,27	3,33	0,05	4,74	0,05	6,50
AA1424	0,05	5,38	36,04	3,81	144,74	5,54	0,05	7,33	13,24	2,11	0,05	4,30	0,05	5,99
AA1425	0,05	5,62	116,48	5,86	162,22	5,91	0,05	8,57	28,40	2,86	10,41	3,97	12,97	6,81
AA1426	0,05	7,18	86,50	7,20	333,55	10,22	0,05	10,05	14,16	2,64	0,05	6,12	13,01	8,08
AA1427	0,05	5,81	144,63	6,25	102,66	4,88	0,05	9,41	46,00	3,54	10,88	4,16	11,33	6,76
AA1428	6,18	5,86	14,72	4,10	200,20	7,89	0,05	9,01	0,05	3,07	0,05	4,94	0,05	7,15
AA1429	5,55	6,44	28,90	5,10	289,10	10,26	0,05	150000,00	8,49	2,29	0,05	150000,00	0,05	150000,00
AA1430	6,01	6,62	0,05	5,58	200,36	9,18	0,05	212132,03	0,05	1,86	0,05	212132,03	0,05	9,93
AA1431	8,25	150000,00	0,05	150000,00	176,06	8,31	0,05	212132,03	0,05	212132,03	0,05	212132,03	0,05	212132,03
AA1432	6,23	4,84	65,87	4,64	96,22	4,55	0,05	5,94	0,05	2,31	0,05	4,21	0,05	5,37
AA1433	6,01	5,41	34,41	4,52	213,63	7,11	0,05	7,35	0,05	2,97	0,05	4,61	0,05	5,91
AA1434	11,73	5,12	0,05	8,14	395,50	12,38	0,05	150000,00	0,05	150000,00	0,05	150000,00	0,05	150000,00
AA1435	7,50	5,25	62,57	4,99	198,94	6,85	0,05	7,55	2,10	2,17	0,05	4,90	0,05	5,73
AA1436	0,05	5,45	141,57	5,98	139,32	5,34	0,05	6,26	0,05	2,56	0,05	4,28	0,05	5,10
AA1437	0,05	6,54	0,05	6,87	246,87	8,29	0,05	8,34	0,05	3,07	0,05	5,47	0,05	6,66
AA1438	0,05	7,86	0,05	150000,00	220,33	9,74	0,05	212132,03	0,05	150000,00	0,05	212132,03	0,05	150000,00
AA1439	12,03	5,07	38,49	5,29	314,20	9,92	0,05	9,10	0,05	3,33	0,05	4,98	0,05	7,33
AA1440	6,40	5,63	0,05	6,80	245,59	8,30	0,05	8,05	0,05	2,91	0,05	5,86	0,05	6,90
estándar-TILL	29,41	5,55	425,50	10,72	123,35	5,83	0,05	15,00	157,78	7,58	64,64	8,47	51,04	8,65
estándar-NIST	21,72	5,47	207,81	9,32	250,51	8,80	0,05	18,69	167,76	8,37	0,05	34,77	5149,61	74,70
estándar-RCRAPP	9,09	6,39	277,60	9,67	199,82	7,74	0,05	13,12	79,23	5,53	10,51	11,23	479,68	27,37

Analyte Symbol Unit Symbol Analysis Method	Au ppm F-RX	Au Error ppm F-RX	Se ppm F-RX	Se Error ppm F-RX	As ppm F-RX	As Error ppm F-RX	Hg ppm F-RX	Hg Error ppm F-RX	Zn ppm F-RX	Zn Error ppm F-RX	W ppm F-RX	W Error ppm F-RX	Cu ppm F-RX	Cu Error ppm F-RX
AA1421	0,05	5,26	0,05	3,18	0,05	5,36	0,05	7,79	0,05	9,02	0,05	51,42	0,05	17,48
AA1422	0,05	7,27	0,05	4,43	0,05	6,00	0,05	11,14	53,29	13,19	0,05	79,87	114,69	22,02
AA1423	0,05	7,05	0,05	4,11	0,05	5,76	0,05	10,31	41,80	11,91	0,05	71,24	45,96	17,18
AA1424	0,05	5,20	0,05	3,24	0,05	4,37	0,05	7,75	19,68	10,36	0,05	53,42	0,05	16,97
AA1425	0,05	5,65	0,05	3,53	0,05	5,66	0,05	8,05	0,05	9,63	0,05	57,58	0,05	18,92
AA1426	0,05	7,36	0,05	4,50	0,05	6,16	0,05	12,06	54,82	14,10	0,05	87,41	69,06	20,91
AA1427	0,05	9,46	0,05	3,22	0,05	5,33	0,05	8,65	26,37	9,33	0,05	59,02	0,05	18,63
AA1428	0,05	7,28	0,05	4,83	0,05	5,50	0,05	11,45	45,63	12,00	0,05	87,68	47,81	26,52
AA1429	0,05	150000,00	0,05	150000,00	0,05	150000,00	0,05	150000,00	127,94	18,54	0,05	150000,01	0,05	150000,00
AA1430	0,05	14,75	0,05	4,73	0,05	6,84	0,05	212132,03	72,83	17,38	0,05	105,89	149,63	35,03
AA1431	0,05	212132,03	0,05	212132,03	0,05	212132,03	0,05	212132,03	81,38	17,50	0,05	212132,03	79,27	42,94
AA1432	0,05	9,12	0,05	3,23	0,05	4,24	0,05	7,87	0,05	11,25	0,05	55,95	30,97	17,99
AA1433	0,05	6,08	0,05	3,80	0,05	4,51	0,05	9,12	28,97	15,05	0,05	61,70	42,40	14,72
AA1434	0,05	150000,00	0,05	150000,00	0,05	150000,00	0,05	150000,00	29,65	12,41	0,05	150000,01	48,30	27,63
AA1435	0,05	10,35	0,05	3,67	0,05	4,75	0,05	9,24	37,99	10,77	0,05	64,01	0,05	20,25
AA1436	0,05	5,18	0,05	3,01	0,05	4,00	0,05	7,52	0,05	8,47	0,05	50,85	0,05	16,32
AA1437	0,05	11,37	0,05	4,52	0,05	5,35	0,05	10,72	43,67	11,91	71,25	67,37	45,87	25,14
AA1438	0,05	150000,00	0,05	150000,00	0,05	150000,00	0,05	212132,03	81,73	17,82	0,05	150000,03	0,05	150000,00
AA1439	0,05	7,21	0,05	4,88	26,69	5,88	0,05	11,62	46,56	12,38	0,05	87,95	122,96	23,12
AA1440	0,05	7,32	0,05	4,06	0,05	5,08	0,05	10,34	0,05	16,89	0,05	74,89	0,05	22,83
estándar-TILL	0,05	14,71	0,05	5,72	109,59	10,31	0,05	13,27	69,94	13,69	301,16	71,49	244,86	25,34
estándar-NIST	0,05	19,07	0,05	9,61	0,05	86,87	0,05	15,31	2082,24	58,63	0,05	107,36	201,54	26,23
estándar-RCRAPP	0,05	30,15	509,36	19,21	486,02	26,43	9,50	9,83	84,97	13,83	0,05	68,18	52,27	18,44

Analyte Symbol Unit Symbol Analysis Method	Ni ppm F-RX	Ni Error ppm F-RX	Co ppm F-RX	Co Error ppm F-RX	Fe ppm F-RX	Fe Error ppm F-RX	Mn ppm F-RX	Mn Error ppm F-RX	Cr ppm F-RX	Cr Error ppm F-RX	V ppm F-RX	V Error ppm F-RX	Ti ppm F-RX	Ti Error ppm F-RX
AA1421	0,05	38,28	0,05	50,08	2621,20	99,22	0,05	68,49	105,26	17,30	0,05	23,99	347,22	62,12
AA1422	0,05	62,91	427,97	175,81	66944,84	1362,58	1052,16	110,87	134,92	31,27	201,43	45,57	2580,79	173,93
AA1423	0,05	54,24	154,84	167,24	47360,76	1009,90	927,12	111,16	113,31	25,57	151,76	34,79	1719,68	131,21
AA1424	0,05	40,55	64,48	68,84	12170,12	337,70	326,35	75,47	89,63	13,09	0,05	44,35	1419,26	84,70
AA1425	0,05	40,77	0,05	83,31	12866,81	353,09	169,74	65,34	103,41	13,78	0,05	35,59	1756,55	97,67
AA1426	256,67	51,78	475,26	183,61	68691,31	1437,75	1016,24	115,01	582,83	43,99	172,64	49,61	4284,37	204,91
AA1427	0,05	43,07	0,05	96,80	16027,33	417,72	409,34	82,58	62,87	13,97	0,05	40,75	2258,32	114,70
AA1428	0,05	62,23	0,05	252,46	62767,53	1317,79	918,40	106,10	145,86	30,76	224,64	40,46	2261,20	150,65
AA1429	0,05	150000,01	230,59	150000,07	78839,47	1607,22	1594,72	147,99	0,05	26,72	197,61	46,24	3435,00	182,43
AA1430	0,05	73,02	0,05	341,92	104276,56	2139,34	1459,06	155,92	108,82	54,43	927,96	142,19	3992,37	253,09
AA1431	0,05	150000,01	0,05	150000,18	86019,76	1803,88	1954,00	174,71	164,90	36,28	211,31	47,28	2524,86	180,05
AA1432	0,05	38,89	0,05	64,04	4335,35	125,17	146,26	52,20	97,96	11,48	29,87	23,67	815,24	58,77
AA1433	0,05	43,02	0,05	118,14	21932,45	523,40	313,55	69,54	78,50	14,55	73,24	23,18	1903,03	96,19
AA1434	0,05	150000,01	0,05	150000,11	67261,20	1465,55	1422,52	143,25	125,78	33,07	162,08	39,39	1620,61	159,34
AA1435	0,05	48,89	0,05	143,01	32707,26	732,43	546,57	95,87	95,32	27,52	111,72	29,91	2894,65	124,62
AA1436	0,05	36,55	0,05	30,28	831,09	56,80	0,05	67,44	66,05	12,71	0,05	13,97	55,18	40,97
AA1437	116,00	56,62	0,05	207,72	49309,37	1039,17	948,66	99,16	110,99	33,84	0,05	33,25	311,54	82,96
AA1438	0,05	150000,01	0,05	150000,27	96732,85	2006,08	1573,60	160,58	87,40	35,16	552,09	99,60	4178,73	223,69
AA1439	0,05	66,47	0,05	283,64	73336,22	1505,41	1043,35	114,05	109,51	33,50	160,43	55,92	5227,70	235,35
AA1440	95,13	39,81	0,05	161,44	31748,38	763,10	534,17	93,27	330,55	24,77	0,05	28,31	382,61	75,22
estándar-TILL	0,05	51,90	0,05	188,53	45334,66	937,37	496,10	97,64	133,85	25,20	63,20	57,14	4942,70	191,89
estándar-NIST	0,05	59,50	0,05	171,03	31702,84	723,33	519,51	99,51	136,39	24,53	192,43	53,76	7294,40	226,58
estándar-RCRAPP	48,49	50,99	0,05	237,76	59951,29	1243,25	948,40	105,79	556,11	41,90	70,46	68,08	4761,84	222,41

Analyte Symbol Unit Symbol Analysis Method	Sc ppm F-RX	Sc Error ppm F-RX	Ca ppm F-RX	Ca Error ppm F-RX	K ppm F-RX	K Error ppm F-RX	S ppm F-RX	S Error ppm F-RX	Sb ppm F-RX	Sb Error ppm F-RX	Sn ppm F-RX	Sn Error ppm F-RX	Cd ppm F-RX	Cd Error ppm F-RX
AA1421	0,05	23,13	10316,93	373,06	24717,86	847,87	0,05	539,04	0,05	43,15	0,05	46,03	0,05	98,34
AA1422	88,68	88,31	79094,26	1499,64	4315,49	435,06	0,05	1304,54	0,05	52,78	0,05	69,88	0,05	127,13
AA1423	0,05	88,11	76116,98	1458,13	11259,00	822,36	0,05	1144,59	0,05	51,03	0,05	60,77	0,05	115,31
AA1424	0,05	34,63	19895,24	516,77	7857,85	327,46	499,09	529,15	0,05	44,20	0,05	46,56	0,05	83,64
AA1425	0,05	20,66	6712,83	203,05	11539,13	596,30	0,05	564,83	0,05	44,33	0,05	47,40	0,05	111,32
AA1426	82,88	90,89	90871,38	1673,30	6741,42	499,11	0,05	1277,52	0,05	55,24	0,05	77,84	0,05	122,88
AA1427	0,05	26,78	9284,94	402,08	23998,41	900,75	0,05	703,22	0,05	44,42	0,05	47,78	0,05	95,66
AA1428	0,05	109,26	97221,24	1743,33	1907,74	358,68	0,05	1301,09	0,05	59,93	0,05	69,34	0,05	111,81
AA1429	0,05	95,62	72172,71	1408,59	3465,82	396,10	0,05	1240,55	0,05	54,33	0,05	69,75	0,05	115,47
AA1430	0,05	131,56	106815,96	1898,42	0,05	1024,58	0,05	11908,18	0,05	58,28	0,05	69,55	0,05	111,76
AA1431	0,05	123,24	108761,95	1938,83	0,05	513,95	1245,07	1437,51	0,05	58,93	0,05	86,10	0,05	138,38
AA1432	0,05	26,89	13378,37	369,28	746,90	139,32	1965,86	458,57	0,05	43,11	0,05	45,85	0,05	82,86
AA1433	0,05	51,30	38740,17	804,68	976,05	192,60	0,05	750,13	0,05	46,04	0,05	49,71	0,05	86,42
AA1434	86,56	106,30	118470,08	2090,54	998,68	357,97	0,05	1419,60	0,05	56,56	0,05	74,37	0,05	131,44
AA1435	0,05	52,05	35354,96	779,32	2112,92	237,84	0,05	645,28	0,05	64,76	0,05	52,37	0,05	114,00
AA1436	0,05	29,65	19713,21	470,29	1181,34	144,22	0,05	434,35	0,05	42,22	0,05	44,88	0,05	69,31
AA1437	0,05	104,64	96340,29	1682,22	591,59	381,35	0,05	1187,92	0,05	50,55	0,05	56,75	0,05	89,45
AA1438	0,05	119,49	99340,94	1807,71	439,15	998,42	0,05	8118,71	0,05	57,17	0,05	80,28	0,05	142,89
AA1439	0,05	105,04	74945,74	1482,40	1574,90	361,90	0,05	1335,64	0,05	55,21	0,05	82,35	0,05	148,61
AA1440	0,05	106,39	135482,83	2250,76	0,05	408,02	0,05	1183,31	0,05	50,76	0,05	63,64	0,05	127,70
estándar-TILL	0,05	33,04	7950,96	318,80	26888,84	1190,57	0,05	973,03	0,05	51,03	0,05	54,93	0,05	148,63
estándar-NIST	0,05	21,37	2113,73	221,11	38306,57	1357,63	18997,13	6887,02	144,12	39,10	0,05	70,51	0,05	100,24
estándar-RCRAPP	0,05	71,63	40507,51	1048,81	19463,60	1090,48	0,05	1189,13	0,05	58,61	0,05	81,05	710,41	62,70

Analyte Symbol	Pd	Pd Error	Ag	Ag Error	Bal	Bal Error	Nb	Nb Error	Bi	Bi Error	Re	Re Error	Ta	Ta Error	Hf	Hf Error
Unit Symbol	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Analysis Method	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX	F-RX
AA1421	0,05	48,64	0,05	103,96	959370,57	737,43	3,61	4,27	0,05	8,06	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
AA1422	0,05	57,07	0,05	109,64	845674,10	2600,88	4,18	4,54	0,05	6,94	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
AA1423	0,05	56,81	0,05	104,07	861385,57	2333,44	0,05	6,29	0,05	6,46	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
AA1424	0,05	39,46	0,05	84,81	959252,44	723,98	5,34	3,88	0,05	5,30	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
AA1425	0,05	43,05	0,05	79,04	966213,54	614,38	9,09	3,14	5,59	6,77	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
AA1426	0,05	59,25	0,05	135,24	827782,51	2939,56	4,63	5,43	0,05	8,38	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
AA1427	0,05	51,14	0,05	109,73	947502,47	929,94	17,34	3,37	6,61	7,11	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
AA1428	0,05	44,65	0,05	105,12	834085,47	2796,98	0,05	7,91	0,05	6,52	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
AA1429	0,05	60,31	0,05	120,47	840251,10	2779,16	0,05	7,00	0,05	6,67	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
AA1430	0,05	68,19	0,05	113,53	781614,10	3749,53	0,05	7,66	0,05	8,51	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
AA1431	0,05	64,99	0,05	146,34	799167,82	3453,22	0,05	7,46	0,05	8,23	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
AA1432	0,05	56,31	0,05	96,34	977763,85	411,98	4,01	3,84	0,05	5,73	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
AA1433	0,05	38,18	0,05	85,36	936045,97	1111,47	0,05	5,96	0,05	5,51	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
AA1434	0,05	51,58	0,05	132,29	809202,41	3271,24	0,05	7,66	0,05	9,85	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
AA1435	0,05	82,06	0,05	125,78	926300,35	1304,56	10,90	3,42	0,05	8,35	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
AA1436	0,05	38,78	0,05	74,44	977525,22	413,46	0,05	3,89	0,05	5,08	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
AA1437	0,05	48,95	0,05	113,83	852085,31	2425,46	0,05	7,01	0,05	9,20	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
AA1438	0,05	62,57	0,05	120,70	796776,31	3531,24	0,05	7,26	0,05	6,55	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
AA1439	0,05	51,48	0,05	144,00	843232,13	2718,44	0,05	7,23	0,05	5,47	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
AA1440	0,05	53,80	0,05	120,20	830700,07	2760,78	0,05	6,04	0,05	9,87	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
estándar-TILL	0,05	61,44	0,05	148,46	911628,47	1557,37	23,57	3,93	73,61	11,32	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
estándar-NIST	0,05	60,33	0,05	170,13	891726,69	1933,90	24,20	4,18	0,05	37,01	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06
estándar-RCRAPP	0,05	83,80	0,05	618,98	869528,13	2321,19	24,27	4,21	0,05	16,92	0,05	1,06	0,05	1,06	0,05	1,06