



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**EVOLUCIÓN MAGMÁTICA DE LA ISLA ROBINSON
CRUSOE, DORSAL DE JUAN FERNÁNDEZ, CHILE.**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

JAVIER ANTONIO REYES VIZCARRA

PROFESOR GUÍA:

LUIS ENRIQUE LARA PULGAR

INTEGRANTES DE LA COMISIÓN:

DIEGO ANTONIO MORATA CESPEDES

DANIEL FERNANDO SELLÉS MATHIEU

SANTIAGO DE CHILE

JULIO, 2012

RESUMEN

La isla Robinson Crusoe (33°38'42"S, 78°49'23"O) corresponde a un conjunto volcánico de intraplaca emplazado en la Dorsal de Juan Fernández, un *ridge* asísmico de orientación aproximada E-W situado sobre la Placa de Nazca. Su sección emergida está formada principalmente por rocas volcánicas básicas además de un cuerpo intrusivo félsico y escasas secuencias sedimentarias.

La 'Secuencia Punta Larga' (ca 5,8 Ma.) se compone de basaltos y andesitas basálticas toleíticas de medio K. Destaca en ella la significativa presencia de mineralogía secundaria (clorita, esmectita, epidota, carbonatos). La 'Secuencia Puerto Inglés' (ca 3-4 Ma.) es representativa de la fase de volcanismo de escudo de la isla y se compone de basaltos de medio K con afinidad transicional desde toleítica a alcalina. Además, en esta última se reconocen rocas ricas en olivino con valores de $MgO > 16\%$ y enclaves ultramáficos dentro de los diques, correspondientes a cúmulos duniticos. A su vez, la 'Secuencia Bahía del Padre' (ca 1,2 Ma.) está formada por basanitas marcadamente alcalinas, con total ausencia de fenocristales de plagioclasa y fuerte enriquecimiento relativo en HFSE. Por último, el 'Intrusivo de Punta Larga' corresponde a un cuerpo de sienitas y sienodioritas de clinopiroxeno de alto y medio K con importante presencia de apatito y circón.

El comportamiento de elementos tales como Mg, Ni, Ca, Sc, V, Sr y Al permite inferir procesos de acumulación de olivino (grupo de alto Mg) y fraccionamiento de clinopiroxeno y plagioclasa, que serían capaces de explicar las variaciones geoquímicas internas observadas. Se puede establecer una clara tendencia marcada por el aumento de la alcalinidad en las unidades volcánicas más jóvenes. En este sentido, las rocas parcialmente alteradas de la secuencia basal son toleíticas ($La/Yb=10,70$; $Ba/Zr=0,76$; $Nb/Zr=0,16$); la fase de volcanismo de escudo es transicional ($La/Yb=13,69$; $Ba/Zr=1,07$; $Nb/Zr=0,16$) y, finalmente, las basanitas post-escudo son fuertemente alcalinas ($La/Yb=22,32$; $Ba/Zr=2,26$; $Nb/Zr=0,26$).

Para explicar la tendencia evolutiva observada se evalúan dos hipótesis. La primera consiste en grados decrecientes de fusión parcial en un manto enriquecido que implican, en todo caso, coeficientes de partición distintos entre la secuencia más joven y aquellas que la preceden. La segunda hipótesis propone cambios en la fuente mantélica asociada a la génesis de la unidad post-escudo. Esta nueva fuente se encontraría enriquecida fuertemente en Nb y Ta, y levemente en Zr, Y, Hf y Th (con características similares a una fuente tipo HIMU) en comparación con aquella asociada a las secuencias antiguas y que corresponde a una mezcla entre fuentes tipo HIMU y N-MORB. La primera alternativa supone una fuente estática incompatible con el modelo de *'hotspot'*. La segunda sería más consistente con un escenario de pluma mantélica capaz de generar cambios composicionales (metasomáticos?, mineralógicos?) en el manto a lo largo del tiempo como se ha sugerido en otras islas oceánicas.

A mis padres, a Vanessa, y mis hermanos

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. EXPOSICIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	1
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	1
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	1
1.3. HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	2
1.4. UBICACIÓN Y ACCESOS DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	2
1.5. MÉTODO DE TRABAJO.....	4
1.5.1. TRABAJO DE TERRENO.....	4
1.5.2. PREPARACIÓN DE MUESTRAS.....	4
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. ISLAS OCEÁNICAS: DEFINICIÓN Y LOCALIZACIÓN.....	5
2.2. ORIGEN DE ISLAS OCEÁNICAS.....	6
2.3. FUENTE DE MAGMAS EN ISLAS OCEÁNICAS.....	8
2.4. DORSAL DE JUAN FERNÁNDEZ.....	9
CAPÍTULO 3. MARCO GEOLÓGICO.....	11
3.1. GENERALIDADES.....	11
3.2. ROCAS ESTRATIFICADAS.....	12
3.2.1. SECUENCIA PUNTA LARGA.....	12
3.2.2. SECUENCIA PUERTO INGLÉS.....	14
3.2.3. SECUENCIA BAHÍA DEL PADRE.....	16
3.2.4. ESTRATOS DE BAHÍA TIERRA BLANCA.....	18
3.2.5. DEPÓSITOS ALUVIALES INDEFERENCIADOS Y ARENAS EÓLICAS.....	19
3.3. ROCAS NO ESTRATIFICADAS.....	19
3.3.1. INTRUSIVO DE PUNTA LARGA.....	19
3.3.2. CUERPOS SUBVOLCÁNICOS BASÁLTICOS.....	20
3.3.3. DIQUES.....	21
3.4. ESTRUCTURAS.....	21
3.5. GEOCRONOLOGÍA.....	22
CAPÍTULO 4. PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS ÍGNEAS DE LA ISLA ROBINSON CRUSOE.....	24
4.1. GENERALIDADES.....	24
4.2. ROCAS ESTRATIFICADAS.....	24
4.2.1. SECUENCIA PUNTA LARGA.....	24
4.2.2. SECUENCIA PUERTO INGLÉS.....	26
4.2.2.1. UNIDAD INFERIOR.....	26
4.2.2.2. UNIDAD MEDIA.....	29
4.2.2.3. UNIDAD SUPERIOR.....	33
4.2.3. SECUENCIA BAHÍA DEL PADRE.....	35
4.3. ROCAS NO ESTRATIFICADAS.....	37
4.3.1. INTRUSIVO DE PUNTA LARGA.....	37
4.3.2. ENCLAVES ULTRAMÁFICOS.....	39

CAPÍTULO 5. GEOQUÍMICA DE LAS ROCAS ÍGNEAS DE LA ISLA ROBINSON CRUSOE.....	41
5.1. GEOQUÍMICA DE ROCA TOTAL.....	41
5.1.1. GENERALIDADES	41
5.1.2. ELEMENTOS MAYORES	46
5.1.3. ELEMENTOS TRAZA.....	54
5.1.4. TIERRAS RARAS	58
CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN.....	64
6.1. CRISTALIZACIÓN FRACCIONADA Y/O ACUMULACIÓN.....	64
6.2. EVOLUCIÓN MÁGMATICA DE LA ISLA ROBINSON CRUSOE	67
6.3. COMPARACIÓN CON ISLAS Y MONTES SUBMARINOS DE LA DORSAL DE JUAN FERNÁNDEZ	75
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES.....	79
REFERENCIAS	81
ANEXO A	85
ANEXO B	88
ANEXO C	121

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Figura 1.1. Ubicación y principales constituyentes de la Dorsal de Juan Fernández..... 3

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

Figura 2.1. Ubicación de islas oceánicas a nivel mundial 5

Figura 2.2. Distintos mecanismos de origen para conjuntos volcánicos de intraplaca o hotspots 7

Figura 2.3. Vista tridimensional de plumas bajo Juan Fernández (JZ) e isla de Pascua (ES)..... 9

CAPÍTULO 3. MARCO GEOLÓGICO

Figura 3.1. Mapa geológico simplificado de las islas Robinson Crusoe y Santa Clara.. 11

CAPÍTULO 4. PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS ÍGNEAS DE LA ISLA ROBINSON CRUSOE

Figura 4.1. Microfotografía del grupo basaltos afaníticos de la Secuencia Punta Larga 25

Figura 4.2. Microfotografías del grupo basaltos porfíricos de la Secuencia Punta Larga 26

Figura 4.3. Microfotografía de lavas de la unidad Inferior de la Secuencia Puerto Inglés 27

Figura 4.4. Microfotografía de lavas de la unidad Inferior de la Secuencia Puerto Inglés 28

Figura 4.5. Microfotografía de las tobas de la unidad Inferior de la Secuencia Puerto Inglés 28

Figura 4.6. Microfotografía del grupo ‘Lavas de bahía Cumberland’ de la unidad Media de la Secuencia Puerto Inglés..... 29

Figura 4.7. Microfotografía del grupo ‘Diques de bahía Cumberland’ de la unidad Media de la Secuencia Puerto Inglés..... 31

Figura 4.8. Microfotografía del grupo ‘Lavas de Puerto Inglés’ de la unidad Media de la Secuencia Puerto Inglés 32

Figura 4.9. Microfotografía del grupo ‘Lavas ricas en olivino’ de la unidad Media de la Secuencia Puerto Inglés 33

Figura 4.10. Microfotografía de la unidad Superior de la Secuencia Puerto Inglés 34

Figura 4.11. Microfotografías típicas de la unidad Superior de la Secuencia Puerto Inglés 35

Figura 4.12. Microfotografía de la Secuencia Bahía del Padre 36

Figura 4.13. Microfotografía de la Secuencia Bahía del Padre 36

Figura 4.14. Microfotografía del enclave ultramáfico encontrado en la Secuencia Bahía del Padre..... 37

Figura 4.15. Microfotografía de la unidad ‘Intrusivo de Punta Larga’ 37

Figura 4.16. Microfotografías correspondientes a clinopiroxenos del Intrusivo de Punta Larga..... 38

Figura 4.17. Microfotografías de cristales de apatito en el Intrusivo de Punta Larga 39

Figura 4.18. Microfotografía de los enclaves ultramáficos 40

Figura 4.19. Microfotografía de la textura heteroacumulada en enclaves ultramáficos. 40

CAPÍTULO 5. GEOQUÍMICA DE LAS ROCAS ÍGNEAS DE LA ISLA ROBINSON CRUSOE

<i>Figura 5.1. Diagrama de clasificación TAS.....</i>	48
<i>Figura 5.2. Diagramas discriminativos de afinidad geoquímica y de clasificación para rocas de alto Mg.....</i>	49
<i>Figura 5.3. Diagrama de sílice versus K_2O.....</i>	50
<i>Figura 5.4. Diagramas Harker de variación de elementos mayores versus sílice</i>	51
<i>Figura 5.5. Diagramas de variación de TiO_2, Al_2O_3, CaO y P_2O_5 vs MgO.....</i>	53
<i>Figura 5.6. Diagramas de variación de LILE versus $Mg\#$.....</i>	54
<i>Figura 5.7. Diagramas de variación de HFSE versus $Mg\#$.....</i>	55
<i>Figura 5.8. Diagramas de variación de elementos de transición versus $Mg\#$.....</i>	56
<i>Figura 5.9. Diagrama de concentración de REE normalizado al N-MORB (Secuencia Punta Larga, unidad Superior de la Secuencia Puerto Inglés, Secuencia Bahía del Padre, Intrusivo de Punta Larga y enclaves ultramáficos).....</i>	59
<i>Figura 5.10. Diagramas de variación de razones de REE versus pendiente La/Yb.....</i>	60
<i>Figura 5.11. Diagrama de concentración de REE normalizado al N-MORB (unidades Inferior y Media de la Secuencia Puerto Inglés).....</i>	61
<i>Figura 5.12. Diagrama de rangos de pendiente de REE (La/Yb) versus índice de alcalinidad (Ba/Ta).....</i>	62

CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN

<i>Figura 6.1. Evidencias de acumulación de olivino para el grupo de rocas con alto-Mg de la unidad Media de la Secuencia Puerto Inglés (e isla Alejandro Selkirk).....</i>	65
<i>Figura 6.2. Diagramas de variación de Sc y V versus CaO.....</i>	66
<i>Figura 6.3. Diagramas de variación de Sr y Al_2O_3 versus CaO.....</i>	67
<i>Figura 6.4. Diagrama multielementos normalizado al manto primitivo.....</i>	68
<i>Figura 6.5. Diagramas LILE/HFSE y HFSE/HFSE vs LILE/HFSE para secuencias volcánicas de la isla Robinson Crusoe.....</i>	69
<i>Figura 6.6. Modelo de fusión parcial para concentraciones iniciales de manto primitivo.....</i>	71
<i>Figura 6.7. Modelo de fusión parcial para concentraciones iniciales de manto enriquecido.....</i>	72
<i>Figura 6.8. Valores de razones Ba/La vs Nb/Zr en secuencias volcánicas de la isla Robinson Crusoe junto a valores típicos para productos de los miembros extremos de composiciones mantélicas.....</i>	74
<i>Figura 6.9. Modelo esquemático de la evolución magmática presente en la isla Robinson Crusoe.....</i>	75
<i>Figura 6.10. Diagramas de comparación para elementos traza entre las islas Robinson Crusoe y Alejandro Selkirk.....</i>	76
<i>Figura 6.11. Diagramas de comparación para razones de elementos traza entre la isla Robinson Crusoe y los montes submarinos Friday y Domingo.....</i>	77

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

CAPÍTULO 3. MARCO GEOLÓGICO

<i>Fotografía 3.1. Secuencia Punta Larga</i>	13
<i>Fotografía 3.2. Lavas alteradas de la Secuencia Punta Larga dispuestas bajo la Secuencia Bahía del Padre mediante evidente discordancia.</i>	13
<i>Fotografía 3.3. Secuencia Puerto Inglés</i>	14
<i>Fotografía 3.4. Unidad Inferior de la Secuencia Puerto Inglés</i>	15
<i>Fotografía 3.5. Unidad Media de la Secuencia Puerto Inglés</i>	16
<i>Fotografía 3.6. Secuencia Bahía del Padre sobreyaciendo en discordancia angular a las lavas alteradas de la Secuencia Punta Larga</i>	17
<i>Fotografía 3.7. Características de las unidades constituyentes de la Secuencia Bahía del Padre</i>	17
<i>Fotografía 3.8. Vista de los ‘Estratos de Bahía Tierra Blanca’ en las cercanías del aeródromo de la isla Robinson Crusoe</i>	18
<i>Fotografía 3.9. Afloramiento del ‘Intrusivo de Punta Larga’ en la localidad homónima</i> .	20
<i>Fotografía 3.10. Cuerpos subvolcánicos basálticos</i>	21
<i>Fotografía 3.11. Diques y enclaves ultramáficos</i>	22

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 3. MARCO GEOLÓGICO

<i>Tabla 3.1. Resumen con dataciones realizadas mediante el método K-Ar disponibles para rocas de la isla Robinson Crusoe</i>	23
---	----

CAPÍTULO 5. GEOQUÍMICA DE LAS ROCAS ÍGNEAS DE LA ISLA ROBINSON CRUSOE

<i>Tabla 5.1. Datos geoquímicos inéditos utilizados en este estudio, separados por unidad geológica</i>	42
<i>Tabla 5.2. Rangos composicionales para elementos mayores en rocas de la isla Robinson Crusoe</i>	46

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quisiera agradecer a mis padres, Magaly y Hugo, por su amor, apoyo y dedicación incondicional durante toda mi vida, en particular durante esta etapa universitaria.

A Vanessa, quien me ha regalado su amor, paciencia y apoyo durante todos estos años, que confío seguirán aumentando. Gracias por acompañarme y soportarme

A mis hermanos Claudia e Ignacio por su apoyo y alegrías compartidas durante estos años.

A mi profesor guía, Luis E. Lara, por permitirme desarrollar este apasionante trabajo enmarcado en el Proyecto Fondecyt N° 1110966: 'Nazca intraplate volcanism: geochronology, magmatic evolution and geodynamics of Juan Fernández Ridge', del cuál es investigador principal. Por su confianza, apoyo y colaboración durante estos meses y en los nuevos proyectos en desarrollo.

A los miembros de la comisión. A Diego Morata por su constante disposición a aclarar dudas (antes y durante la memoria), y su apoyo durante el ingreso e inicios de mis estudios de postgrado. A Daniel Sellés por sus acertados comentarios que sin duda ayudaron a enriquecer este trabajo.

A mis amigos desde Plan Común: Chino, Slayer, Bunkers, Pan, Steve-o, entre otros. A mis compañeros de tantos ramos y terrenos en Geología, las chiquillas: Naty, Pancha, Coni, Baby, Cata, Isa, Manena, Sota, y a los refinados muchachos: 'Zorrón' Santis, Mano Negra, Manu, Indio, Diego, Luca, Potro y Palmera (jugadores y dirigentes de Ailoyupaula!). A gente de otros cursos que conocí en el camino: Ataxia (eterno auxiliar), Vale, Mary, Moyra, Feña, Bip Bip, Cata R., Katy, Molina, Vladi, Bascu, Seba H., Yerko, Guga, Chicho, Ore, etc. Gracias a todos ellos (y algunos más que probablemente omití) por hacer más alegre la estadía en la universidad.

A los profesores del Departamento de Geología, en particular a Mario Vergara, Pancho Hervé, Lucho Aguirre, M. Farías y M.A. Parada.

A Blanca y María Rosa por colaborar en distintos temas administrativos, generalmente realizados a última hora.

Finalmente, agradezco a todos quienes colaboraron de algún modo al desarrollo de este trabajo.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. EXPOSICIÓN DEL PROBLEMA

La isla Robinson Crusoe (33°38'42"S, 78°49'23"O) es una isla de carácter volcánico que forma parte de la Dorsal de Juan Fernández, un *ridge* asísmico de orientación aproximada E-W formado sobre la placa de Nazca (Fig. 1.1.A). Las islas Robinson Crusoe, Santa Clara y Alejandro Selkirk, junto a los montes submarinos O'Higgins, Guyot O'Higgins, Alpha, Beta, Gamma, Friday y Domingo son los constituyentes más conspicuos de esta dorsal (Fig. 1.1.B). Su convergencia con el margen continental sudamericano ha sido propuesta como un mecanismo explicativo de diversos procesos tectónicos de primer orden tales como: modificaciones en la zona de Benioff (generación de *'flat-slab'* o subducción plana), cambios en la actividad del arco volcánico y deformación del antearco (von Heune *et al*, 1997; Yáñez *et al*, 2002). A pesar de lo anterior, esta dorsal ha sido escasamente estudiada y aspectos como su geodinámica, geocronología y evolución magmática no han sido del todo aclarados. Este hecho, sumado al surgimiento de nuevos conocimientos y metodologías, transforman al desarrollo de nuevos estudios en una necesidad científica de primer orden. En particular, la isla Robinson Crusoe registra un amplio periodo de actividad volcánica, luego, el estudio de su evolución magmática resulta de gran importancia para comprender los procesos involucrados en la formación de la isla, de la Dorsal de Juan Fernández y del volcanismo intraplaca en general.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Comprender los principales procesos que controlan la evolución magmática de la isla Robinson Crusoe y caracterizar los mecanismos petrogenéticos involucrados estableciendo comparaciones con otros conjuntos volcánicos de intraplaca pertenecientes a la Dorsal de Juan Fernández.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar petrográfica y geoquímicamente las rocas volcánicas de la isla Robinson Crusoe.

- Relacionar los procesos magmáticos con la evolución espacial y temporal en la Dorsal de Juan Fernández.

- Inferir características de las eventuales fuentes mantélicas involucradas.

1.3. HIPÓTESIS DE TRABAJO

La isla Robinson Crusoe representa un clásico ejemplo de magmatismo intraplaca con productos del tipo OIB (*'ocean island basalts'*), con rocas en su gran mayoría máficas cuya mineralogía dominante incluye olivino, plagioclasa y clinopiroxeno. Su evolución magmática involucraría diversos procesos tales como cristalización fraccionada y variaciones composicionales en la fuente mantélica. Estos productos y procesos podrían ser similares a los ocurridos en otros conjuntos de intraplaca pertenecientes a la Dorsal de Juan Fernández.

1.4. UBICACIÓN Y ACCESOS DE LA ZONA DE ESTUDIO

La isla Robinson Crusoe se ubica en las coordenadas 33°38'42"S 78°49'23"O (huso 17 en sistema UTM), a unos 670 kms al oeste del borde continental chileno y, junto a las islas Santa Clara y Alejandro Selkirk, compone el Archipiélago de Juan Fernández. Este pertenece a la comuna del mismo nombre dependiente administrativamente de la V Región de Valparaíso, Chile. Posee un área de 96,4 km² y una población de 630 habitantes según el Censo 2002. Además, la isla es parte el Parque Nacional Archipiélago de Juan Fernández desde 1935, y a partir de 1977 fue declarada Reserva Mundial de la Biosfera por la UNESCO.

El acceso desde el continente se puede realizar por vía aérea o marítima. En el primer caso, dos aerolíneas realizan vuelos durante todo el año a la isla desde Santiago. El trayecto toma aproximadamente de 2 horas 45 minutos arribando al aeródromo de la isla, desde donde debe realizarse un traslado en bote de alrededor de 1 hora 15 minutos para llegar al poblado de San Juan Bautista (único poblado presente en la isla). La opción de traslado marítimo se realiza en la Motonave Antonio, buque que hace un viaje mensual desde el Puerto de Valparaíso con una duración aproximada de 40 horas.

Los traslados internos en la isla pueden realizarse mediante vía marítima, a través de las diversas embarcaciones, principalmente pesqueras, o a través de senderos habilitados para ser recorridos a pie.

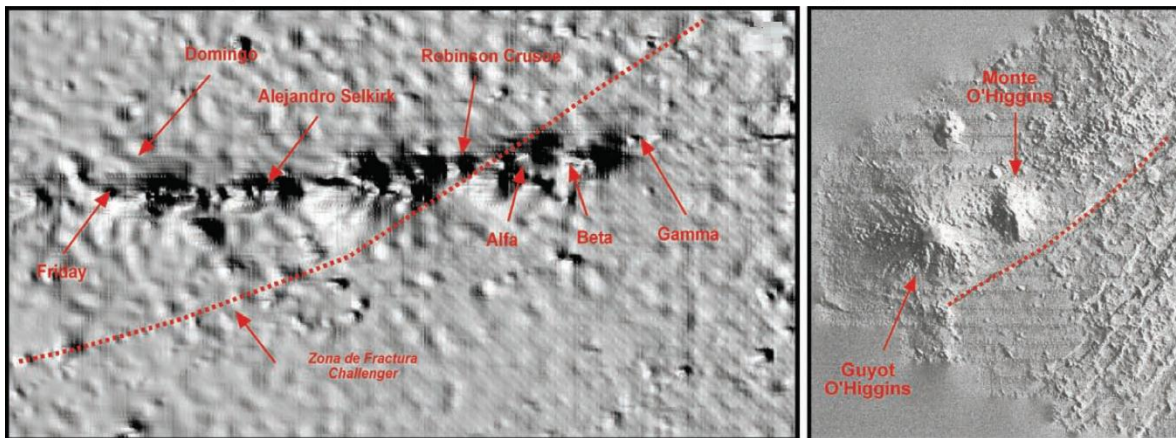
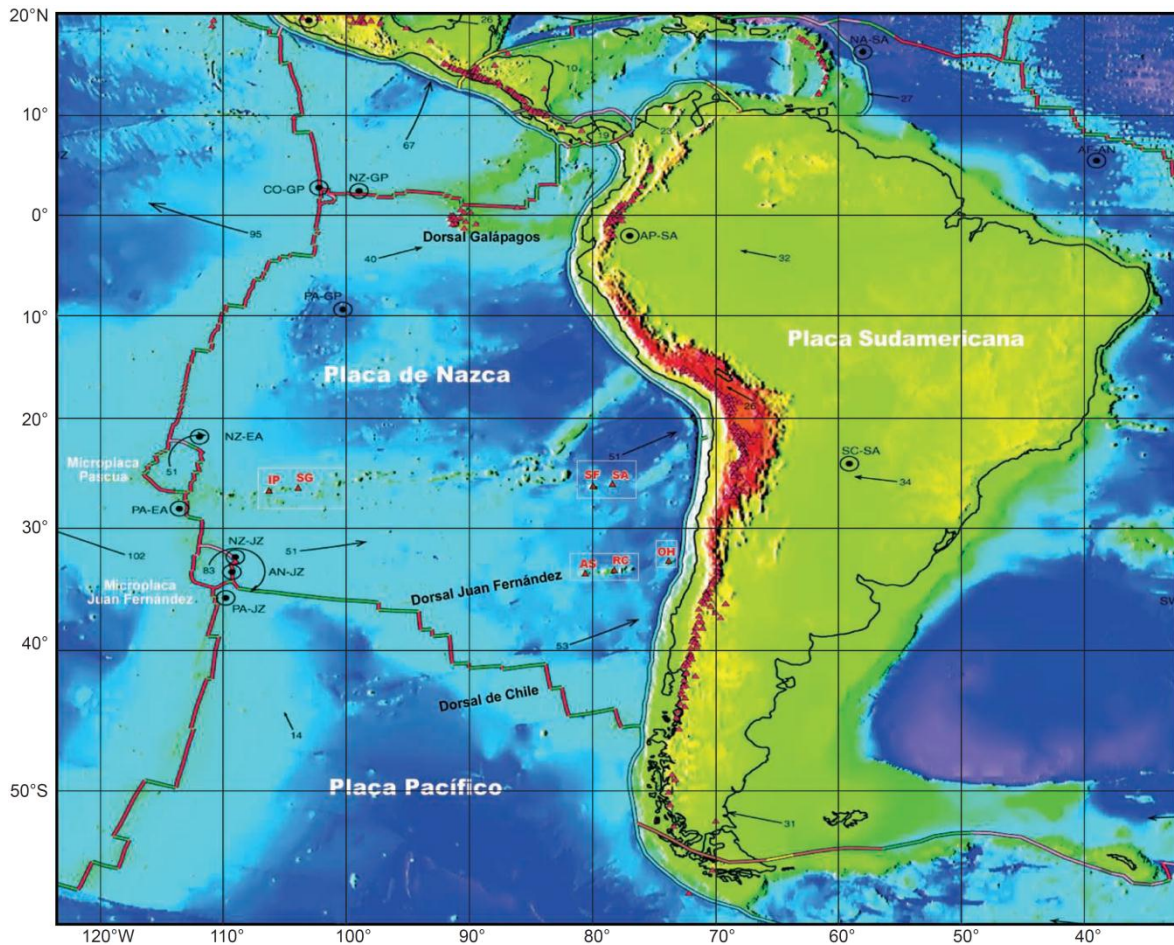


Figura 1.1. Ubicación y principales constituyentes de la Dorsal de Juan Fernández. (A) Batimetría de la cuenca del Pacífico, sector oriental y principales rasgos tectónicos de la región. Las flechas indican vectores relativos de movimientos de placas. Clave: IP: isla de Pascua; SG: isla Salas y Gómez; SF: isla San Félix; SA: isla San Ambrosio; AS: isla Alejandro Selkirk; RC: isla Robinson Crusoe; OH: monte O'Higgins; AN: placa Antártica; CO: placa de Cocos; EA: microplaca de Pascua; GP: microplaca de Galápagos; JZ: microplaca de Juan Fernández; NZ: placa de Nazca; PA: placa Pacífica (tomada de Lara, 2010). (B) Batimetría de fondo oceánico que muestra los distintos constituyentes de la dorsal de Juan Fernández (tomada de Lara, 2010).

1.5. MÉTODO DE TRABAJO

1.5.1. TRABAJO DE TERRENO

Se realizó una primera campaña de terreno a la zona de estudio entre los días 22 y 28 de Julio del año 2011, la recolección de las 32 muestras analizadas en este estudio estuvo a cargo de los geólogos Luis E. Lara y Mirella Piña. La colección fue realizada en localidades claves y puede ser considerada como representativa de la totalidad de rocas ígneas presentes en la isla.

Una segunda campaña se llevó a cabo entre los días 20 y 28 de Enero del año 2012 por un equipo conformado por los geólogos Luis E. Lara, Mirella Piña, Gabriel Orozco y los estudiantes memoristas Javier Reyes y Pablo Sepúlveda. Diversas observaciones realizadas durante la excursión fueron incorporadas en el desarrollo del estudio.

1.5.2. PREPARACIÓN DE MUESTRAS

La preparación de muestras, en un principio, fue realizada por el autor en el Laboratorio del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) ubicado en la comuna de Ñuñoa, Santiago, y consistió en la limpieza de muestras y selección de fragmentos para corte transparente y chancado. Este último proceso fue desarrollado en el Taller de Molienda del Laboratorio del SERNAGEOMIN. Posteriormente, el material chancado fue sometido a molienda por personal de Laboratorios Acme en sus instalaciones ubicadas en Santiago.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ISLAS OCEÁNICAS: DEFINICIÓN Y LOCALIZACIÓN

La generación de magmas ocurre principalmente en zonas de contacto entre placas tectónicas (ya sean convergentes o divergentes). Sin embargo, al interior de estas placas pueden generarse conjuntos volcánicos de intraplaca, que en caso de producirse dentro de una placa tectónica de carácter oceánico, son capaces de generar montes submarinos e islas oceánicas. Los montes submarinos corresponden a edificios volcánicos construidos sobre corteza oceánica, cuya altura no es capaz de superar el nivel del mar, o bien, se encuentran parcialmente erosionados y sumergidos. En tanto, las islas oceánicas volcánicas son estructuras de gran tamaño, en ocasiones de altura superior a 10.000 m, generalmente con formas de volcán de escudo que han sido capaces de sobrepasar el nivel del mar. Ocasionalmente se encuentran sistemas de corales asociados a estas islas.

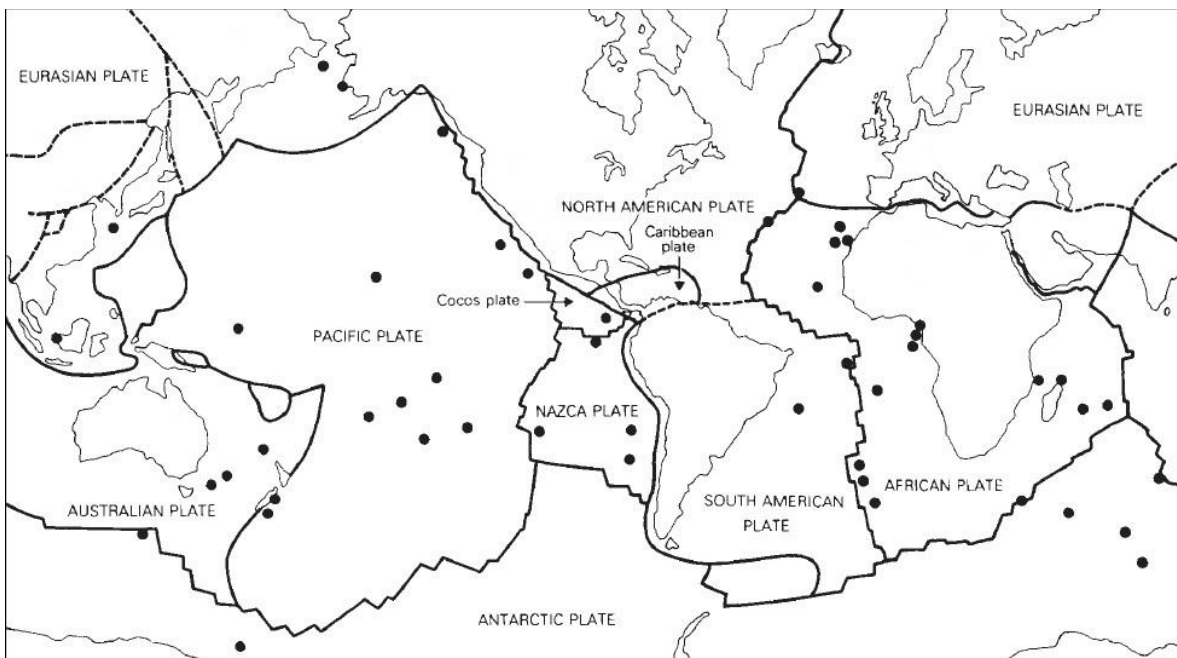


Figura 2.1. Ubicación de islas oceánicas a nivel mundial. Se aprecia la alta concentración de estas últimas sobre los océanos Pacífico y Atlántico (modificada de Wilson, 1989).

Los sistemas volcánicos de intraplaca se encuentran distribuidos sobre gran parte de las grandes placas tectónicas actualmente reconocidas, desatacando la alta presencia de islas oceánicas en los océanos Pacífico y Atlántico (Fig. 2.1). En numerosas ocasiones estos sistemas volcánicos generan alineamientos formados

tanto por montes submarinos como islas oceánicas generando *ridges* de carácter asísmico. Un ejemplo de estos *ridges* es la Dorsal de Juan Fernández, donde se reconoce la existencia de 3 islas y al menos 7 montes submarinos (Fig 1.1). Comúnmente las islas oceánicas reciben el nombre de *hotspots* (debido a las primeras teorías propuestas para su formación).

2.2. ORIGEN DE ISLAS OCEÁNICAS

El origen de islas oceánicas y montes submarinos de carácter volcánico es un tema controversial y ampliamente discutido en ciencias de la Tierra. En un pionero trabajo, Morgan (1971) propone la teoría de plumas mantélicas. Básicamente, esta consiste en el ascenso de material mantélico relativamente primitivo hacia la astenosfera como resultado de procesos de convección en el manto inferior. El ascenso de esta pluma de alta temperatura facilitaría la generación de fusión parcial por descompresión adiabática en el material ascendiente, y además permitiría grados variables de fusión en el manto circundante. Esta pluma permanecería fija al manto, por lo que en presencia de una placa tectónica en movimiento, generaría alineamientos volcánicos cuya dirección refleja el movimiento de la placa sobreyacente (explicando la formación de *ridges* asísmicos).

Esta controversial teoría ha sufrido cuestionamientos a lo largo de la historia. Clouard y Bonneville (2001) estudiaron las progresiones de edad en diversos alineamientos volcánicos, batimetría de fondo oceánico, movimiento de placas y ubicación actual, concluyendo que pocos *hotspots* son realmente alimentados por plumas mantélicas profundas. La sismología también ha entregado resultados dispares, con estudios (Ritsema y Allen, 2003; Boschi *et al*, 2007) que no observan anomalías térmicas bajo todas las islas oceánicas, sugiriendo la formación mediante plumas mantélicas de un escaso número de conjuntos intraplaca. En contraste, otros estudios sismológicos (Montelli *et al*, 2004; 2006) proponen la existencia de anomalías térmicas bajo un gran número de *hotspots*, atribuyendo su formación a plumas mantélicas de alta temperatura.

Otras teorías postulan que variaciones normales generadas en el marco de la tectónica de placas, como enfriamiento por subducción y convecciones sublitosféricas de baja escala, en presencia de *ridges*, *riffts* y zonas de fractura, generarían las anomalías térmicas observadas bajo conjuntos volcánicos de intraplaca (Anderson, 2000). La generación de magmas en estas condiciones

sería capaz de generar alineamientos paralelos al movimiento de la placa tectónica sobreyacente (Ballmer *et al*, 2007).

Hieronimus y Bercovici (2000) postulan la formación de cadenas volcánicas debido a hidrofracturas magmáticas en zonas de máxima tensión flexural. El modelo utilizado resulta en la formación de alineamientos volcánicos paralelos con orientación perpendicular al eje de *ridges*. Estas cadenas serían discontinuidades capaces de auto-propagarse.

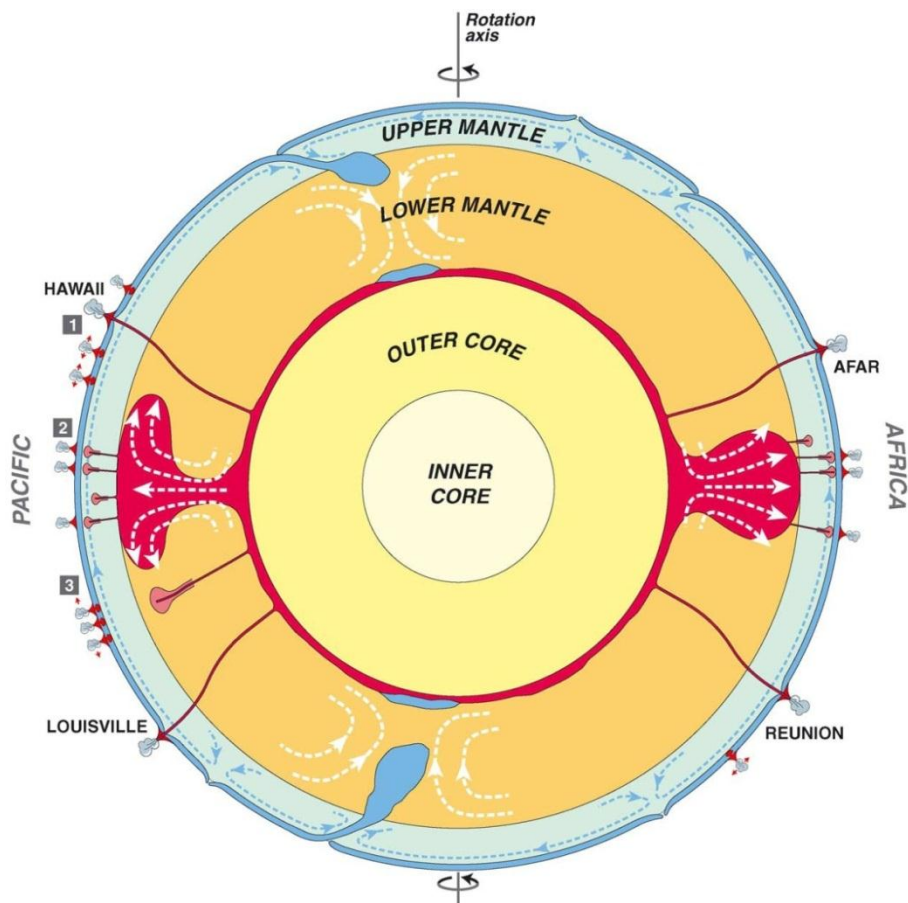


Figura 2.2. Distintos mecanismos de origen para conjuntos volcánicos de intraplaca o hotspots (tomada de Courtillot *et al*, 2003). Los tres mecanismos corresponden a (1) plumas mantélicas de origen profundo, (2) plumas mantélicas de menor profundidad, (3) condiciones locales (tensiones, convecciones litosféricas, etc.).

Varias de estas ideas son resumidas en el trabajo de Courtillot *et al* (2003), que reconoce la existencia de tres tipos de *hotspots*. El primero formado mediante plumas mantélicas de origen profundo. El segundo por plumas con origen de menor profundidad, probablemente domos cerca de la zona de transición en las

'superplumas' del Pacífico y África. Y, finalmente, el tercer tipo sería de origen superficial, asociado a tensiones locales en la litosfera y fusión por descompresión.

2.3. FUENTE DE MAGMAS EN ISLAS OCEÁNICAS

Expuestas las principales teorías postuladas para la formación y generación de magmas en islas oceánicas, el origen de estos magmas tipo OIB (*'ocean island basalts'*) es una temática de gran interés para la ciencia en la actualidad. Esto último debido a que su estudio permite mejorar el conocimiento del manto terrestre en aspectos de gran importancia como su composición química y mineralógica, procesos de reciclaje, etc.

Los primeros estudios consideraban que la fuente de magmas tipo OIB correspondía a corteza oceánica reciclada, incorporada al manto mediante subducción que generaría heterogeneidades en el manto (eg. Weaver, 1991). Esta corteza tendría características isotópicas y de elementos traza correspondientes a residuos deshidratados (con aportes sedimentarios) y explicaría las razones isotópicas medidas en diversos OIB. Basado en diferencias en fusión parcial, mineralogía residual, participación de sedimentos subducidos y reciclaje de litosfera oceánica, comúnmente se definen composiciones mantélicas extremas, cuya mezcla explicaría la composición de la gran mayoría de rocas con origen mantélico. Estos miembros se denominan HIMU (*'high μ '* $\mu = ^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$), EM (*'enriched mantle'*, I y II) y N-MORB (*'normal mid-ocean ridge basalts'*) (Sun y McDonough, 1989; Weaver, 1991; y referencias en ellos)

Sin embargo, otros estudios argumentan que la geoquímica de elementos mayores y traza presente en los OIB no puede ser explicada como fusión parcial exclusivamente de corteza oceánica reciclada. Para esto, Hirschmann *et al* (2003) sugiere como posible fuente de estos magmas a piroxenitas de granate pobres en sílice, que serían originadas por mezclas entre MORB (corteza oceánica reciclada) con peridotitas u otras litologías máficas recicladas.

En tanto, otros estudios atribuyen la generación de heterogeneidades en el manto a procesos de metasomatismo, capaces de generar regiones con características geoquímicas e isotópicas que mediante fusión parcial, e interacción con el manto circundante, serían capaces de generar los magmas tipo OIB, en especial aquellos de afinidad alcalina. Este metasomatismo sería inducido por la participación de

litosfera (y no corteza) oceánica reciclada (Niu y O'Hara, 2003; Pilet *et al*, 2005; Pilet *et al*, 2008).

2.4. DORSAL DE JUAN FERNÁNDEZ

Escasos estudios geológicos se han realizado en la Dorsal de Juan Fernández. Quensel (1920) describió la geología de las islas Robinson Crusoe y Alejandro Selkirk, reportando, entre otras cosas, la presencia de rocas con gran cantidad de olivino y traquitas en las secuencias existentes en Alejandro Selkirk. Posteriormente, Morales (1987) desarrolló un completo estudio geológico en la isla Robinson Crusoe, definiendo unidades estratigráficas y presentando una elegante cartografía geológica.

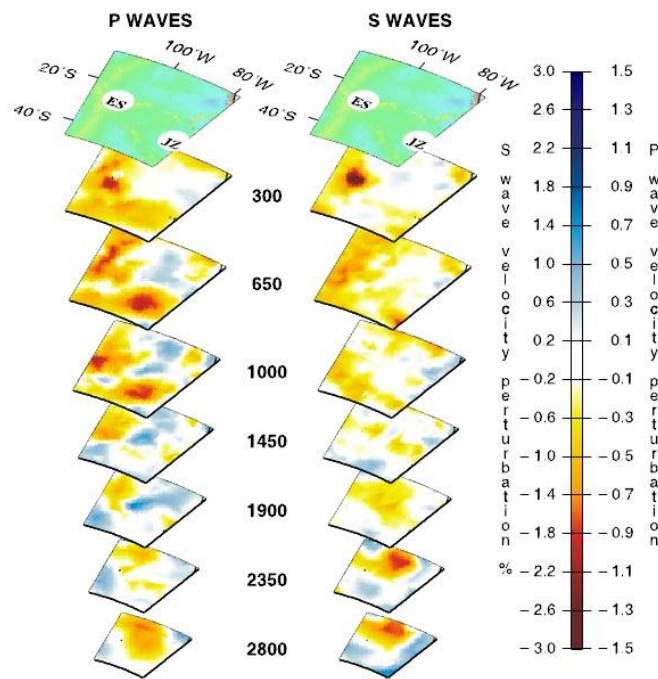


Figura 2.3. Vista tridimensional de plumas bajo Juan Fernández (JZ) e isla de Pascua (ES). Modelos tomográficos de ondas P (izquierda) y ondas S (derecha) permiten apreciar la existencia de anomalías hasta profundidades medias (dudosas a grandes profundidades) bajo la Dorsal de Juan Fernández (tomado de Montelli *et al*, 2006).

En cuanto al mecanismo de formación de esta dorsal, el catálogo de Courtillot *et al* (2003) reconoce dos o tres (de un total de cinco) características propias de pluma mantélica profunda en la Dorsal de Juan Fernández. Estas corresponden a: alineamiento de larga vida (dudoso), flujo de buoyancia por sobre 10^3 kg s^{-1} y anomalías en las razones isotópicas $^3\text{He}/^4\text{He}$. No se cumplen la existencia de *plateau* oceánico al inicio del alineamiento (el estudio no considera que la

subducción podría haber afectado un eventual *plateau*) ni valores para velocidades de ondas sísmicas indicativas de anomalías térmicas. Luego, no se cumplen las condiciones necesarias para ser considerada como una pluma mantélica de origen profundo.

Sin embargo, Montelli *et al* (2004; 2006) mediante herramientas sismológicas reconoce la existencia de anomalías térmicas bajo esta dorsal, poco visibles a grandes profundidades, pero apreciables a bajas y medias (Fig. 2.3). Luego, se indica que su origen podría deberse al ascenso de una pluma mantélica de profundidad media.

También se han llevado a cabo estudios geoquímicos e isotópicos en la isla Robinson Crusoe, que determinaron la existencia de rocas predominantemente básicas (divididas en dos grupos: central y periférico), con presencia de basaltos alcalinos y toleíticos junto a escasas basanitas en secuencias aisladas (Baker *et al*, 1987). En tanto, valores isotópicos de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ y $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ registran escasa variación sugiriendo la participación de un rango acotado de composiciones mantélicas en la fuente de las rocas presentes en la isla (Gerlach *et al*, 1986; Farley *et al*, 1993). Lamentablemente algunos de estos trabajos no incorporan las observaciones geológicas realizadas por Morales (1987) lo que dificulta la interpretación de sus resultados como tendencias evolutivas.

Isotopos de $^3\text{He}/^4\text{He}$ también fueron analizados para rocas de esta dorsal (Farley *et al*, 1993) exhibiendo importantes diferencias temporales atribuidas a una transición desde fuentes típicas de pluma para la fase de volcanismo de escudo a fuentes tipo MORB para la fase post-escudo. La representatividad de las muestras analizadas es dudosa, toda vez que debido a intereses del autor, fueron recolectadas muestras ricas en olivino, que en base a observaciones geológicas realizadas en este estudio, no ejemplifican de buena manera la totalidad de rocas presentes en la isla Robinson Crusoe.

Los montes submarinos Friday y Domingo, correspondientes a los conjuntos volcánicos situados en el extremo W de la dorsal, se componen de basaltos y basanitas vesiculares fuertemente alcalinas. Las variaciones geoquímicas observadas entre estos conjuntos son explicadas mediante procesos de metasomatismo entre harzburgitas mantélicas y fundidos provenientes de una pluma carbonatada con participación de Nb, Th, Zr, Hf, Ca y HREE y minerales como clinopiroxeno, rutilo, circón y granate (Devey *et al*, 2000).

3. MARCO GEOLÓGICO

3.1. GENERALIDADES

La isla Robinson Crusoe corresponde al remanente de estructuras volcánicas antiguas (tipo escudo) profundamente erodadas. La sección emergida de la isla está formada por rocas volcánicas de composición normalmente basáltica, subaéreas (con facies submarinas) disectadas por diques basálticos y cuerpos hipabisales. A estos últimos se asocian áreas de alteración hidrotermal que representan núcleos erodados de diversos centros de emisión. A estas litologías se suma la presencia de un cuerpo intrusivo de carácter félsico y escasas secuencias sedimentarias de baja potencia (Morales, 1987; Lara, 2010).

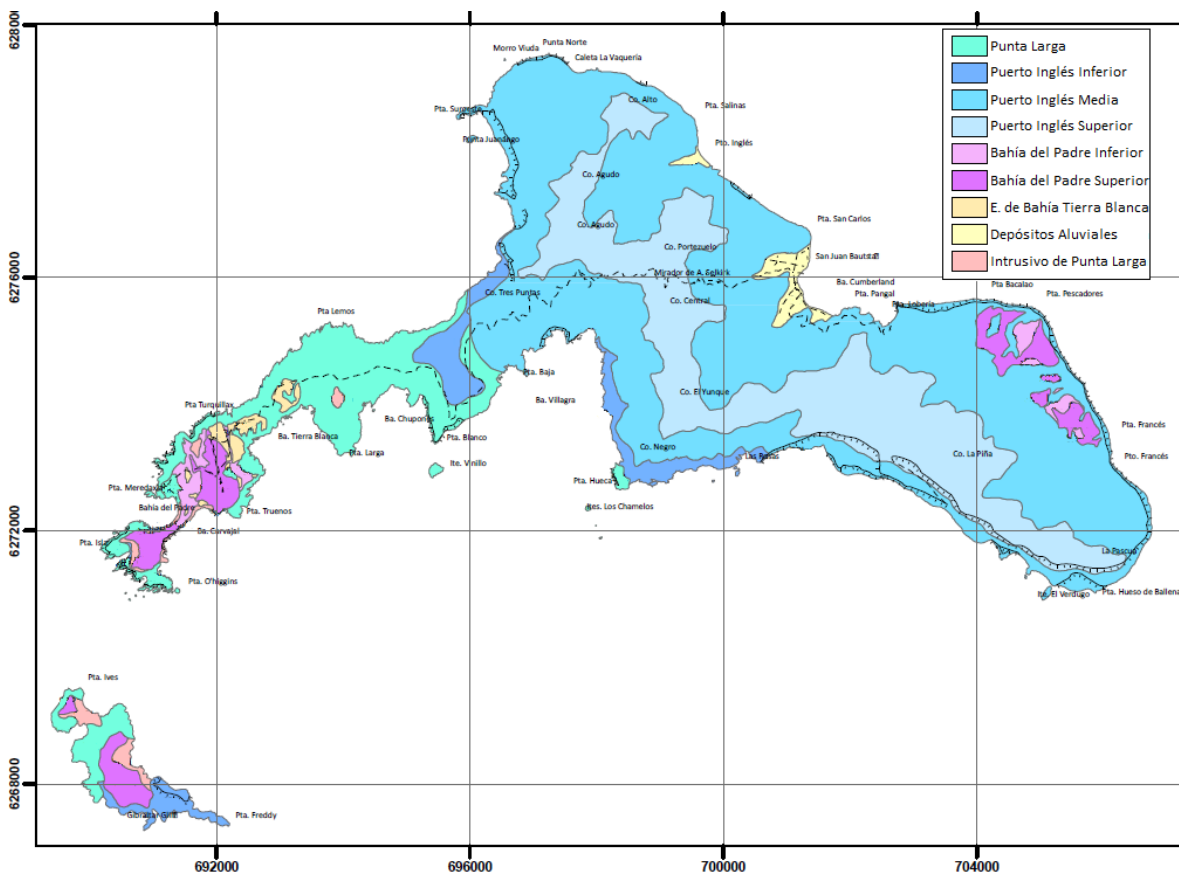


Figura 3.1. Mapa geológico simplificado de las islas Robinson Crusoe y Santa Clara. En línea punteada se indican las rutas terrestres presentes en la isla.

Basado en los componentes litológicos, estructuras, tipos y períodos de actividad volcánica, y rasgos morfológicos, Morales (1987) distinguió distintas unidades volcánicas, denominadas informalmente como: ‘Secuencia Punta Larga’, ‘Secuencia Puerto Inglés’ y ‘Secuencia Bahía del Padre’. A estas unidades se

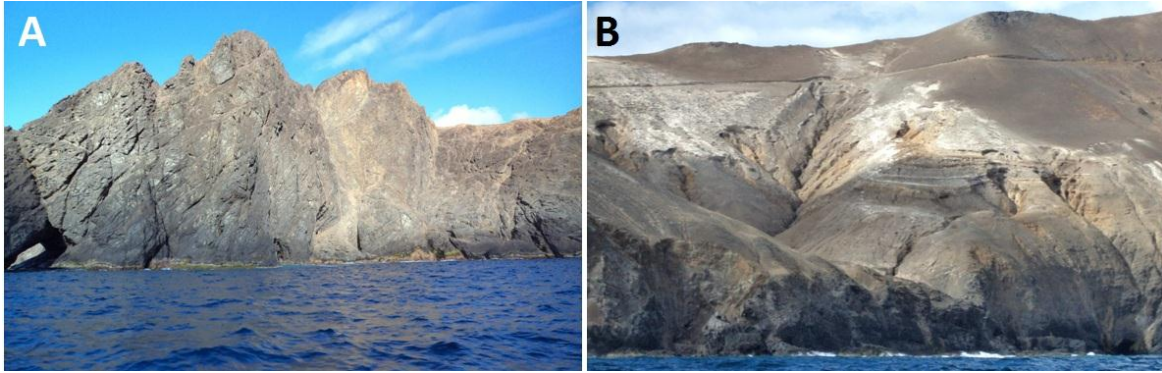
suman aquellas correspondientes a secuencias sedimentarias y rocas no estratificadas, nombradas de manera informal como 'Estratos de Bahía Tierra Blanca' y 'Depósitos Aluviales Indiferenciados' para el primer caso e 'Intrusivo de Punta Larga' y 'Cuerpos Subvolcánicos Basálticos' en el segundo (Fig. 3.1). Un mapa geológico de mayor resolución se encuentra en el Anexo A: 'Mapa geológico y ubicación de muestras', junto a la ubicación exacta y secuencia de pertenencia para las muestras inéditas recolectadas en este estudio. Las caracterizaciones geológicas reportadas en este trabajo se basan en las descripciones realizadas en el trabajo de Morales (1987), complementadas con las observaciones de detalle desarrolladas durante las campañas de terreno asociadas al proyecto Fondecyt 1110966 en el cuál se enmarca este trabajo. Como parte de ese proyecto, una nueva cartografía geológica de la isla será producida.

3.2. ROCAS ESTRATIFICADAS

3.2.1. SECUENCIA PUNTA LARGA

Corresponde a una serie continua de coladas de lava basálticas ubicadas principalmente en una franja de orientación NE-SW, de unos 5,5 kms² en la prolongación sur-occidental de la Isla Robinson Crusoe (entre Cerro Tres Puntas y Punta de Isla). También se observan dos afloramientos elongados en la misma dirección en la Isla Santa Clara y en el Islote Vinillo.

Su límite inferior no aparece expuesto y el superior corresponde a una discordancia angular ya sea, bajo las unidades Inferior o Media de la Secuencia Puerto Inglés (en las localidades de Cordón Escarpado e Isla Santa Clara); subyaciendo a la Secuencia Bahía del Padre (El Puente, Foto 3.2) o bien bajo depósitos holocenos de los Estratos de Bahía Tierra Blanca (Bahía Tierra Blanca, Foto 3.1). Esta secuencia se encuentra intruida en el sector de Punta Larga por un intrusivo félsico denominado informalmente como 'Intrusivo de Punta Larga' (Morales, 1987). La presencia de fallas y diaclasas en diversas direcciones, además de su base desconocida, imposibilita conocer el espesor real de la secuencia, por lo que se ha estimado una potencia mínima de 832 m (Morales, 1987).



Fotografía 3.1. (A) Afloramiento costero de la Secuencia Punta Larga. (B) Secuencia Punta Larga subyaciendo a los Estratos de Bahía Tierra Blanca, en la bahía con el mismo nombre.

La sección emergida está constituida esencialmente por coladas basálticas, de aspecto macizo con tonalidad verde grisácea debido al importante estado de alteración presente en estas rocas. Mineralógicamente, las lavas se caracterizan por la presencia de escasos fenocristales de plagioclasa y clinopiroxeno inmersos en una masa fundamental afanítica. La mineralogía secundaria (de alteración) se encuentra visiblemente presente en esta secuencia reconociéndose, en muestra de mano, minerales como clorita, epidota y carbonatos. También se reporta la existencia de brechas volcánicas de escasa extensión lateral, de color verdegrisáceo con de color negro, angulosos a subredondeados, pobremente clasificados y de tamaño variable hasta 6 cm de diámetro. Mineralógicamente, las características de los fragmentos son muy similares a las descritas para las coladas, y la matriz está formada por plagioclasa, clinopiroxeno y vidrio (Morales 1987).



Fotografía 3.2. Lavas alteradas de la Secuencia Punta Larga dispuestas bajo la Secuencia Bahía del Padre mediante evidente discordancia.

3.2.2. SECUENCIA PUERTO INGLÉS

Se define como una serie continua de lavas basálticas con tefras intercaladas, que se encuentra ampliamente distribuida en la isla (Morales, 1987). Según sus características mineralógicas, texturales y estructurales, ha sido dividida en tres unidades, denominadas Inferior, Media y Superior.

La unidad Inferior corresponde a una franja continua de orientación NW-SE a lo largo de las laderas del Cordón Escarpado. También aflora en el sector de Quebrada Juanango y entre Quebrada Villagra y Las Rosas. La unidad Media, areálmente la más importante de la isla (foto 3.3), se distribuye irregularmente en los niveles topográficos medio y bajo del área centro-oriental de la isla, siendo su punto más occidental la ladera sur-este del cerro Tres Puntas. También aflora a lo largo de la sección sur-oriental de la isla Santa Clara. En tanto, la unidad Superior aflora como una franja elongada en dirección SE-NW, con variaciones hacia el WSW, en los cordones montañosos más altos de la isla hasta una altitud mínima entre 200 y 300 msnm (Morales, 1987).

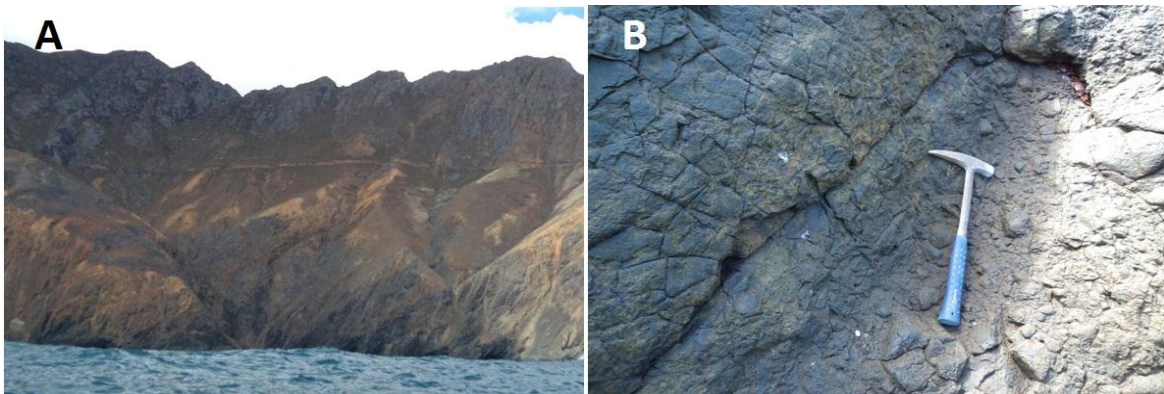


Fotografía 3.3. Secuencia Puerto Inglés. Puede apreciarse su importante distribución volumétrica; la parte baja corresponde a la unidad Media mientras que los sectores altos pertenecen a la unidad Superior (actual superficie de erosión).

El límite inferior de la Secuencia Puerto Inglés sobreyace en discordancia angular a los basaltos alterados de la Secuencia Punta Larga en la localidad de Cordón Escarpado (Foto 3.4) y en la isla Santa Clara. En tanto, el límite superior se encuentra bajo la Secuencia Bahía del Padre separada mediante discordancia de erosión en Quebrada Piedra Agujereada, Punta Hueca y en la isla Santa Clara, el resto corresponde a la actual superficie de erosión (Foto 3.3). Entre las tres unidades pertenecientes a esta secuencia se presentan discordancias de erosión que permiten definir sus límites. La potencia estimada por Morales (1987) para las

unidades Inferior, Media y Superior es de 408, 742 y 507 m respectivamente, lo que totaliza una potencia mínima de 1657 m para la Secuencia Puerto Inglés.

La unidad Inferior está compuesta por brechas piroclásticas, tobas cristalinas y basaltos. Las primeras son de tonalidades gris medio a verdoso, con fragmentos angulosos a subangulosos de basaltos alterados con características similares a los de la Secuencia Punta Larga, de hasta 7 cm de diámetro. Las tobas son de color gris verdoso con presencia de fragmentos fracturados de plagioclasa y clinopiroxeno (Foto 3.4). Los basaltos son gris oscuro a verdoso, presentan textura porfírica con escasos microfenocristales de olivino, clinopiroxeno y plagioclasa dentro de una masa fundamental afanítica (Morales, 1987).



Fotografía 3.4. Unidad Inferior de la Secuencia Puerto Inglés. (A) Afloramientos en el sector de Cordón Escarpado. (B) Brechas piroclásticas características de esta unidad.

Litológicamente, las unidades Media y Superior son muy similares y consisten en flujos de lavas basálticas con sus respectivos horizontes brechosos intercalados (solamente en la unidad Media). Los diversos tipos de basaltos se diferencian por su contenido relativo de olivino, existiendo el rango desde basaltos picríticos a afaníticos, en función de su textura de la masa fundamental y por la abundancia de plagioclasa. Los basaltos de la unidad Media son de color gris variando a gris rojizo y verdoso (Foto 3.5), mientras que en la Superior son uniformemente de color gris medio. Poseen cristales de olivino, clinopiroxeno y plagioclasa, llegando a grandes abundancias de olivino en la unidad Media (hasta 38% de la roca total). En tanto, las brechas basales son depósitos monolitológicos, pobremente clasificados y de clastos angulares juveniles (autoclastos).



Fotografía 3.5. Unidad Media de la Secuencia Puerto Inglés. (A) Paquete de numerosas coladas de lava, típicas de volcanismo tipo 'hawaiano', características de esta unidad. (B) Lavas de la unidad intruidas por diques de características petrográficas muy similares a las de la roca caja.

La gran regularidad y extensión de los flujos de lava y la presencia de intercalaciones de material piroclástico (tefras y tobas) permiten deducir un ambiente subaéreo para esta secuencia. La gran potencia y apariencia de la columna lávica perteneciente a la unidad Media de la secuencia (Foto 3.5) permiten interpretar el crecimiento acelerado de un volcán de escudo, que da lugar a una última fase de volcanismo central representado por la unidad Superior.

3.2.3. SECUENCIA BAHÍA DEL PADRE

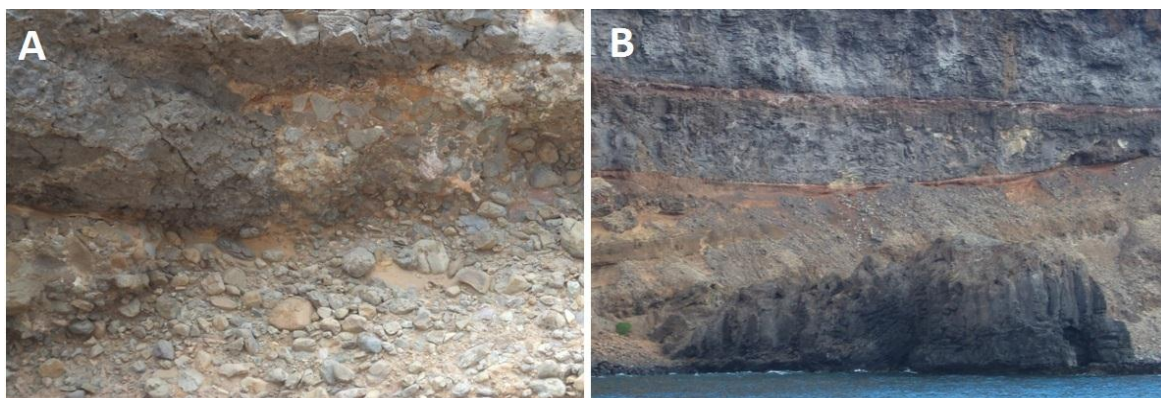
Corresponde a una serie de lavas basálticas con depósitos piroclásticos intercalados, cuya apariencia en su localidad típica ha permitido dividirla en una unidad Inferior constituida por depósitos piroclásticos estratificados y en una unidad Superior compuesta de coladas de lava con intercalaciones de material piroclástico. Aflora de manera aislada en áreas paleogeográficamente deprimidas, dentro de la península sur-occidental y del extremo sur y nor-oriental de la Isla Robinson Crusoe (Quebrada Piedra Agujereada), y en dos localidades de la Isla Santa Clara.

La unidad Superior sobreyace a la unidad Inferior mediante una discordancia de erosión, en tanto, ambas unidades representan el límite inferior de la secuencia, que se dispone en discordancia angular sobre la Secuencia Punta Larga (ej.- Bahía del Padre) o Secuencia Puerto Inglés (ej.- Quebrada Piedra Agujereada). El límite superior se dispone en discordancia de erosión bajo depósitos de arenas fosilíferas de los Estratos de Bahía Tierra Blanca. Posee una potencia medida de aproximadamente 270 m, estimándose para las unidades Inferior y Superior una potencia mínima de 95 y 175 m, respectivamente (Morales, 1987).



Fotografía 3.6. Secuencia Bahía del Padre sobreyaciendo en discordancia angular a las lavas alteradas de la Secuencia Punta Larga.

Según Morales (1987), la unidad Inferior de esta secuencia se compone en su sección inferior de un nivel métrico de brechas y tobas de lapilli, cuyos fragmentos corresponden a escorias accesorias de composición basáltica de tonalidades gris medio a oscuro y formas angulares a subredondeadas. Las brechas poseen un grado de consolidación significativamente superior al de las tobas. Además, se reporta la presencia de conglomerados con clastos volcánicos alterados subredondeados (foto 3.7). Sobre este nivel, la unidad está conformada por estratos de cenizas y tobas de cenizas medianamente consolidadas de color amarillo pardo que presentan escasos y milimétricos fragmentos accidentales de composición basáltica y matriz de ceniza gruesa a fina. En los niveles superiores se detecta la presencia de fragmentos pumíceos.



Fotografía 3.7. Características de las unidades constituyentes de la Secuencia Bahía del Padre. (A) Conglomerados con clastos subredondeados de lavas alteradas en la unidad Inferior de la secuencia. (B) Potentes lavas grisáceas, en ocasiones con disyunción columnar de la unidad Superior. Se aprecia además el contacto entre esta unidad y la Inferior.

En tanto, la unidad Superior de esta secuencia se compone de lavas basálticas con intercalaciones de material piroclástico. Estos basaltos son de tonalidad gris oscuro (foto 3.7) a negro con textura porfírica y poseen fenocristales de olivino y

clinopiroxeno. La masa fundamental es afanítica y presenta escasas vesículas. Las tobas de ceniza y de lapilli se encuentran medianamente consolidadas y al igual que las tefras, son de composición basáltica y de origen juvenil (Morales, 1987). Su color es predominantemente rojo debido al grado de oxidación presente en los fragmentos de tamaño ceniza.

La regularidad de los flujos de lava y la presencia de conos de ceniza de limitada extensión, así como las características petrográficas de los depósitos piroclásticos, sugieren un volcanismo subaéreo con facies submarinas en la actividad inicial (Morales, 1987).

3.2.4. ESTRATOS DE BAHÍA TIERRA BLANCA

Se denomina informalmente como Estratos de Bahía Tierra Blanca (Morales, 1987) a un conjunto de depósitos estratificados de arenas tobáceas y calcáreas que afloran de manera aislada dentro de una franja elongada en dirección NE-SW entre la Bahía Tierra Blanca y la localidad de El Puente.

Los afloramientos de esta unidad sobreyacen en discordancia angular a la Secuencia Punta Larga (Bahía Tierra Blanca) o a la Secuencia Bahía del Padre (Cerro Truenos y El Puente). El límite superior no se encuentra expuesto y corresponde a la superficie de erosión actual (Foto 3.8). La potencia visible de esta unidad es fuertemente variable, alcanzando unos 5 metros en la bahía Tierra Blanca, y menos de 30 cm. en las cercanías del aeródromo de la isla.



Fotografía 3.8. Vista de los 'Estratos de Bahía Tierra Blanca' en las cercanías del aeródromo de la isla Robinson Crusoe.

Estos estratos se componen de arenas tobáceas y calcáreas, con abundante contenido fosilífero, que presentan variaciones internas en relación al color, grado de consolidación, tamaño-volumen de la fracción detrítica y tipo de material fosilífero, distinguiéndose arenas altamente calcáreas en la base que gradan a

arenas tobáceas hacia los niveles medios y superiores de los afloramientos (Morales, 1987). El material paleontológico presente incluye restos de briozoos, pelecípodos y gastrópodos, donde Valenzuela (1978) reconoce la presencia de *Succinea* sp., *Distoechia* sp., *Bythinia* sp., *Orcula* sp., *Tropicorbis*, *Ena* sp. y *Cyrena* sp. en las arenas tobáceas y *Acanthina* sp., *Lima* sp. y fragmentos de Bryozoa en la zona de transición entre las arenas calcáreas y las arenas tobáceas.

Las especies reconocidas en la zona de transición entre las arenas calcáreas y tobáceas evidencian condiciones marinas, mientras que las restantes sugieren interacción con un ambiente lacustre dulce acuícola adyacente. El contenido fosilífero permite asignar una edad Pleistoceno-Holoceno, basada en la identificación de especies similares en los depósitos cuaternarios de la Laguna de Tagua-Tagua (Valenzuela, 1978 y referencias).

3.2.5. DEPÓSITOS ALUVIALES INDEFERENCIADOS Y ARENAS EÓLICAS

Corresponden a una serie de depósitos aluviales antiguos en relación a la dinámica fluvial actual. Pueden presentar escasa estratificación en la que predominan rodados y gravas mal seleccionadas, subredondeadas a subangulares, dentro de una matriz de gravilla y arena o limo de color pardo claro, con aporte de materia orgánica. Al sur-oeste de los Estratos de Bahía Tierra Blanca se desarrollan algunos depósitos eólicos activos en forma de dunas, consistentes en arenas de tamaño medio a fino y de color pardo amarillento (Morales, 1987).

3.3. ROCAS NO ESTRATIFICADAS

3.3.1. INTRUSIVO DE PUNTA LARGA

Cuerpo intrusivo que aflora en la localidad de Punta Larga, península sur-occidental de la Isla Robinson Crusoe. Se dispone en contacto por intrusión con las lavas de la Secuencia Punta Larga y se distribuye arealmente en forma irregular, disectado por gran cantidad de diques máficos.

Es de carácter leucocrático, de color gris blanquecino con tonos verdes y amarillos, de grano medio a fino. Macroscópicamente se observan cristales de feldespato potásico, plagioclasa y en forma subordinada, cuarzo y clinopiroxeno alterado. Además se aprecian minerales secundarios tales como epidota y cuarzo (en vetillas con espesor inferior a 1 mm en la zona central del intrusivo).



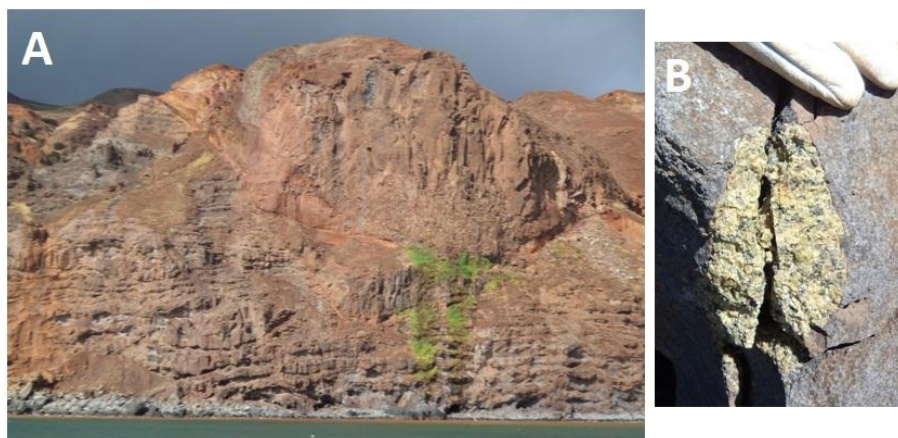
Fotografía 3.9. Afloramiento de la unidad 'Intrusivo de Punta Larga' en la localidad homónima. Destaca su índice de color leucocrático que la diferencia del resto de rocas ígneas presentes en la isla Robinson Crusoe.

Este cuerpo podría corresponder a un stock hipabisal emplazado sin forzamiento de ninguna índole y su contacto con las lavas alteradas de la Secuencia Punta Larga es en forma de digitación (Morales, 1987).

3.3.2. CUERPOS SUBVOLCÁNICOS BASÁLTICOS

Cuerpos subvolcánicos basálticos, generalmente con disyunción columnar, se presentan irregularmente en forma de lopolitos, lacolitos y sills entre las secuencias volcánicas de la isla Robinson Crusoe. Los lopolitos se localizan principalmente en las Quebradas Piedra Agujerada y Pesca de los Viejos (Foto 3.10.A). Diversos filones.manto o *sills* se reconocen en las localidades de Puerto Francés y Quebrada Vaquería, cuyas características sugieren pertenencia a la Secuencia Bahía del Padre). Todos estos cuerpos intruyen a la unidad Media de la Secuencia Puerto Inglés.

Corresponden a basaltos de color gris oscuro, porfíricos con fenocristales de olivino, clinopiroxeno y plagioclasa inmersos en una masa fundamental afanítica. Algunos de estos cuerpos (por ejemplo, dique entre quebrada Piedra Agujerada y Puerto Francés) poseen notorios enclaves ultramáficos (Foto 3.10.B), consistentes en fragmentos angulosos a subredondeados de tamaño variable entre 1 y 5 cm. Su mineralogía consiste en olivino, clinopiroxeno, ortopiroxeno, espinela y titanomagnetita (Morales, 1987). Esta asociación permite clasificarlas como lherzolitas de espinela (Streckeisen, 1973 en Le Maitre, 2002).



Fotografía 3.10. Cuerpos subvolcánicos basálticos. (A) Lopolito intruyendo a la unidad Media de la Secuencia Puerto Inglés. (B) Enclave ultramáfico correspondiente a lherzolita dentro de diques cercanos a la localidad de Puerto Francés.

3.3.3. DIQUES

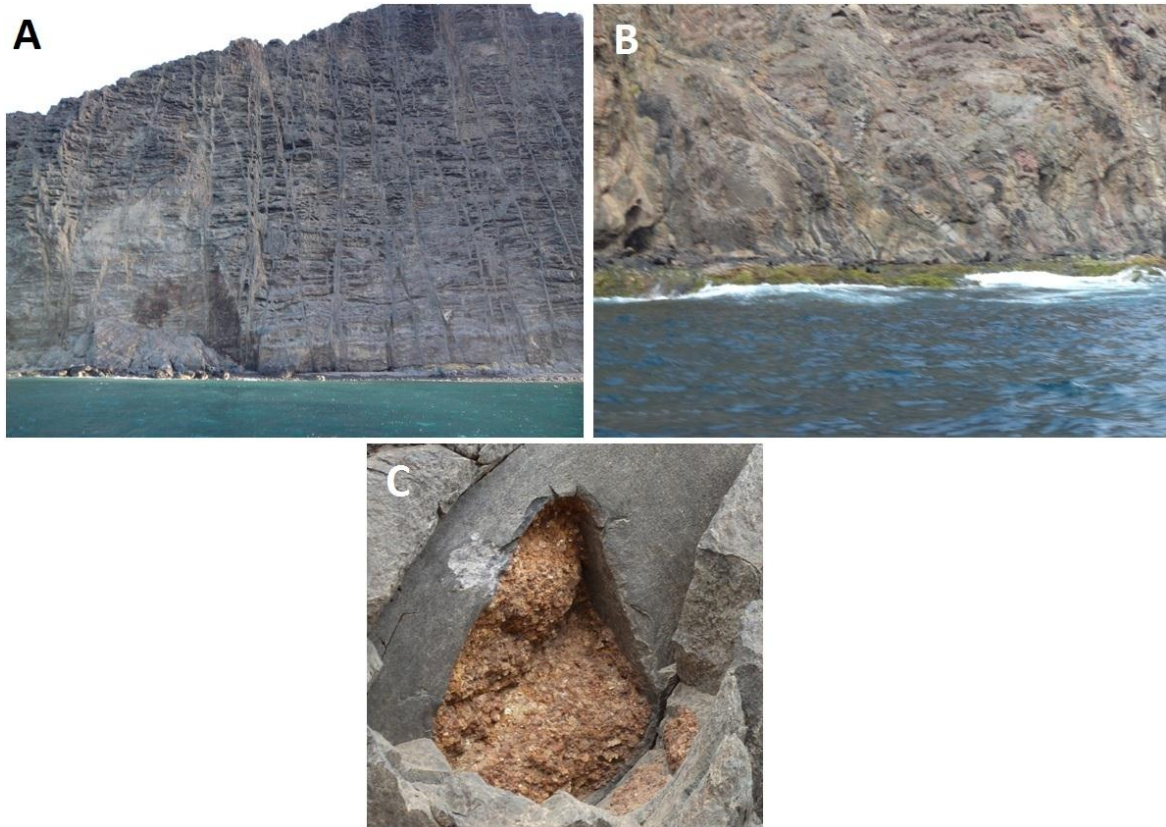
Las secuencias Punta Larga y Puerto Inglés se encuentran atravesadas en diversos grados por diques subverticales (Foto 3.11) de características petrográficas similares a las presentes en la roca caja, alcanzando mayor densidad en las localidades de La Vaquería y Punta Suroeste. La Secuencia Bahía del Padre no se aprecia disectada por este tipo de cuerpos.

Destaca la presencia de enclaves ultramáficos en un dique en Punta San Carlos (Foto 3.11.C) que atraviesa la unidad Media de la Secuencia Puerto Inglés. Estos enclaves son de carácter subangular a subredondeados, y se componen de olivino, clinopiroxeno, ortopiroxeno, plagioclasa y opacos.

3.4. ESTRUCTURAS

Según Morales (1987), solo la Secuencia Punta Larga está afectada por deformación estructural, reconociéndose dos sistemas principales de fallamiento normal. Uno de ellos presenta orientación NNW-NW con inclinaciones cercanas a la vertical que atraviesan transversalmente la península sur-occidental de la isla Robinson Crusoe. El segundo sistema es de orientación NE-ENE (coincidente con la orientación preferente de diques inalterados y con el rumbo de los estratos de lava de la secuencia) con inclinación vertical o variable entre 60° E y 50° W en las localidades de Punta Isla, Punta O'Higgins y Punta Larga.

Las otras estructuras relevantes son las discordancias, que corresponden a discordancias de erosión y angulares. En algunos casos, estas discordancias pueden ser explicadas por discontinuidades propias de estructuras volcánicas, sin la presencia necesaria de fallas de mayor escala.



Fotografía 3.11. Diques y enclaves ultramáficos. (A) Alta densidad de diques subverticales en la unidad Media de la Secuencia Puerto Inglés. (B) Diques de diversas orientaciones dentro de la Secuencia Punta Larga en la isla Santa Clara (condición muy similar para la isla Robinson Crusoe). (C) Enclave ultramáfico en diques subverticales de la Secuencia Puerto Inglés.

3.5. GEOCRONOLOGÍA

Los estudios geocronológicos realizados en la isla Robinson Crusoe son muy escasos, y consisten en dataciones con método K-Ar en roca total. Los resultados entregan edades entre $4,23 \pm 0,16$ y $3,0 \pm 0,4$ Ma para la unidad Media de la Secuencia Puerto Inglés (detalles en Tabla 3.1). Además, Stuessy *et al.* (1967) reporta una edad de $5,8 \pm 2,1$ para rocas de la isla Santa Clara en la localidad de Morro Spartan (en ella afloran rocas de las secuencias Punta Larga y Bahía del Padre). La alta incertidumbre debido a importante contenido de Ar ambiental (debido a alteración), sumado a consideraciones geológicas, permiten asignar esta edad a las rocas alteradas de la Secuencia Punta Larga.

Recientes dataciones realizadas por Lara *et al* (en prep.), en el marco del proyecto FONDECYT 1110966 del cual forma parte este trabajo, indican edades de $3,3 \pm 0,6$; $3,0 \pm 0,4$ y $3,4 \pm 0,8$ Ma (está última edad corresponde a la muestra LL250711-6 analizada en este trabajo) para la unidad Media de la Secuencia Puerto Inglés, confirmando el rango de edades entregado en publicaciones anteriores. Además, se obtuvieron dos edades para la secuencia Bahía del Padre: $1,2 \pm 0,2$ y $1,2 \pm 0,8$ Ma (muestra LL230711-8), estableciendo un amplio hiatus entre las potentes lavas grisáceas de esta unidad y los eventos previos de volcanismo de escudo de la Secuencia Puerto Inglés.

Tabla 3.1. Resumen con dataciones realizadas mediante el método K-Ar disponibles para rocas de la isla Robinson Crusoe, indicando secuencia de pertenencia, localidad, edad y autor del trabajo que la contiene.

SECUENCIA	LOCALIDAD	EDAD (Ma)	AUTOR
Punta Larga (?)	Morro Spartan(1)	$5,8 \pm 2,1$	Stuessy <i>et al</i> , 1984
Puerto Inglés, u. Media	Salsipuedes	$4,23 \pm 0,16$	Stuessy <i>et al</i> , 1984
Puerto Inglés, u. Media	WSW de Punta San Carlos	$4,0 \pm 0,2$	Baker <i>et al</i> , 1987
Puerto Inglés, u. Media	Cordón Central	$3,79 \pm 0,20$	Stuessy <i>et al</i> , 1984
Puerto Inglés, u. Media	West Bay(2)	$3,5 \pm 0,8$	Booker <i>et al</i> , 1967
Puerto Inglés, u. Media	Puerto Inglés	$3,4 \pm 0,8$	Lara <i>et al</i> (en prep., inédito)
Puerto Inglés, u. Media	Puerto Inglés	$3,3 \pm 0,6$	Lara <i>et al</i> (en prep., inédito)
Puerto Inglés, u. Media	Bahía Cumberland	$3,1 \pm 0,9$	Booker <i>et al</i> , 1967
Puerto Inglés, u. Media	Puerto Inglés	$3,0 \pm 0,4$	Lara <i>et al</i> (en prep., inédito)
Bahía del Padre	Bahía del Padre	$1,2 \pm 0,2$	Lara <i>et al</i> (en prep., inédito)
Bahía del Padre	Bahía Carvajal	$1,2 \pm 0,8$	Lara <i>et al</i> (en prep., inédito)

(1) Correspondiente a isla Santa Clara. (2) Ubicación precisa desconocida, la descripción del sitio permite inferir que la localidad pertenece al borde N de la isla Robinson Crusoe.

4. PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS ÍGNEAS DE LA ISLA ROBINSON CRUSOE

4.1. GENERALIDADES

Las rocas estudiadas corresponden a rocas volcánicas (lavas y brechas) y cuerpos intrusivos (diques, *stocks*, etc.), cuyas muestras fueron recolectadas en diversas zonas de la isla Robinson Crusoe con estricto control estratigráfico. La ubicación de cada muestra se detalla en el Anexo A: 'Mapa Geológico y Ubicación de Muestras'. La descripción se realizó considerando las unidades geológicas definidas informalmente por Morales (1987).

Como criterio descriptivo, se considera, en rocas volcánicas, como rocas afaníticas a aquellas que poseen menos de un 5% de fenocristales. En tanto, para porcentajes superiores, la muestra fue calificada como porfírica. También se considera que el reconocimiento en cristales de clinopiroxeno de características indicativas de titanogaugita (en masa fundamental o como fenocristal) sugiere afinidad alcalina para la roca analizada. Las descripciones en detalle para cada roca se encuentran disponibles en el Anexo B: 'Descripciones Petrográficas' junto a fotografías representativas de cada muestra.

4.2. ROCAS ESTRATIFICADAS

4.2.1. SECUENCIA PUNTA LARGA

Debido a diversas diferencias petrográficas, las rocas de esta secuencia pueden dividirse en dos grupos. El primero, formado por basaltos afaníticos (LL230711-5 y LL230711-9) y el segundo, formado por basaltos porfíricos (LL230711-6 y LL230711-7). La muestra LL230711-10 no fue considerada debido a la obliteración generada por la intensa alteración a esmectita, óxidos de Fe-Ti y cuarzo, lo que impide identificar características primarias importantes (ver Anexo B).

El primer grupo corresponde a basaltos afaníticos que presentan escasos fenocristales de plagioclasa zonada euhedral (como máximo 1% de la roca total), y clinopiroxeno euhedral (menor a 1%, solo en LL230711-9), en ocasiones totalmente alterado a clorita-esmectita.

La masa fundamental se encuentra alterada en grado variable a esmectita y óxidos de Fe-Ti, y está formada por microlitos de plagioclasa sub- a euhedrales

(35 a 53%) y pequeños cristales de clinopiroxeno anhedral (10 a 27%) junto a minerales opacos (3 a 9%, destaca la presencia de ilmenita en LL230711-9). Además, las rocas de este grupo muestran vidrio intersticial con porcentajes entre 7 y 35% respecto a la roca total; una de ellas (LL230711-5) posee regiones con textura intergranular y amígdalas rellenas de epidota y clorita (Fig. 4.1), está última muestra zonaciones composicionales con razones Fe/Mg descendientes desde bordes hacia el centro de estas amígdalas (evidenciadas por los colores de interferencia presentes en clorita).

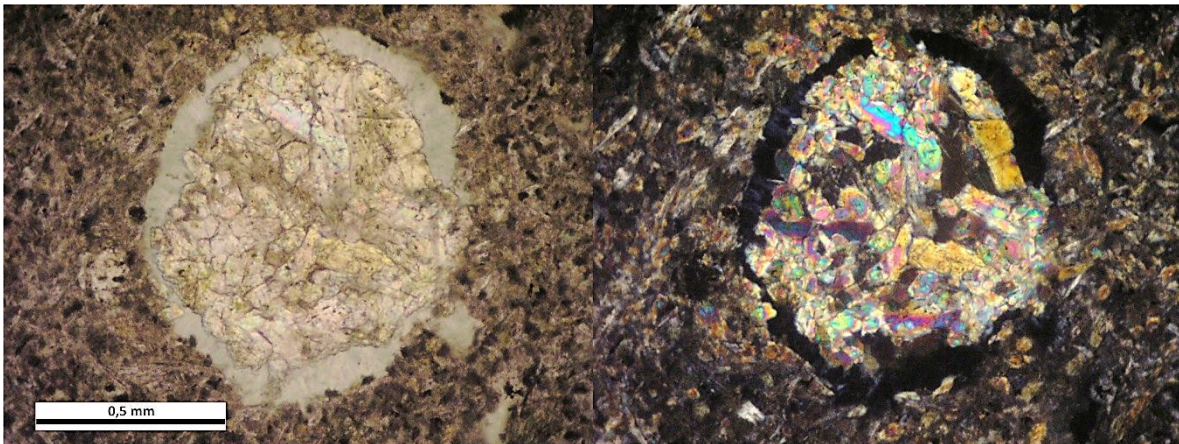


Figura 4.1. Microfotografía a nícoles paralelos y cruzados de una sección transparente del grupo basaltos afaníticos de la Secuencia Punta Larga. Amígdalas rellenas de clorita y epidota (muestra LL230711-5).

El segundo conjunto de rocas de la Secuencia Punta Larga corresponde a basaltos porfíricos con fenocristales de plagioclasa zonada sub- a euhedral (4 a 6%) y clinopiroxeno an- a subhedral (2 a 3%)(Fig. 4.2.A) que ocasionalmente forman textura glomeroporfírica. Una muestra del grupo (LL230711-6) también posee olivino (<1%) y máficos indistinguibles (3%) por total alteración a epidota.

La masa fundamental se compone de microlitos de plagioclasa (euhedrales, 50%) junto a clinopiroxeno (anhedral, 26 a 35%) y opacos (anhedrales, 5 a 7%) formando textura intergranular. Destaca la presencia entre la mineralogía opaca de pequeños cristales de ilmenita (Fig 4.2.B). Cabe mencionar la importante alteración a epidota, clorita, esmectita, óxidos de Fe-Ti y carbonatos visible en diversos metadominios (fenocristales de plagioclasa y máficos en masa fundamental) dentro de las muestras de este grupo.

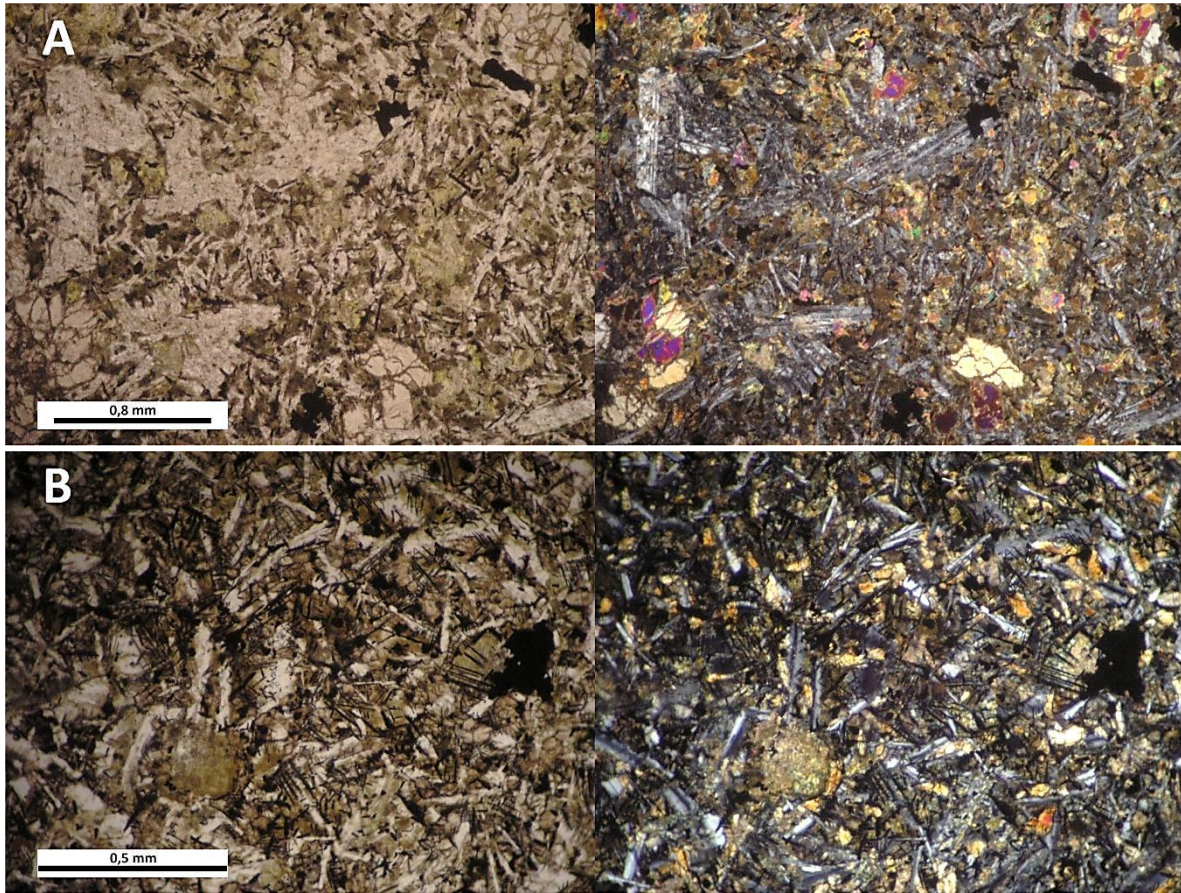


Figura 4.2. Microfotografías a nícoles paralelos y cruzados de secciones transparentes típicas del grupo basaltos porfíricos de la Secuencia Punta Larga. (A) Escasos fenocristales de plagioclasa y clinopiroxeno (muestra LL230711-7). (B) Masa fundamental intergranular con minerales máficos alterados a esmectita, también se observa la presencia de cristales aciculares de ilmenita (muestra LL230711-6).

4.2.2. SECUENCIA PUERTO INGLÉS

La Secuencia Puerto Inglés corresponde a la unidad geológica volumétricamente más importante en la isla Robinson Crusoe. Del mismo modo, es de la que más muestras se dispone, debido a estos factores, la petrografía de sus rocas será estudiada siguiendo la división interna de la secuencia propuesta por Morales (1987).

4.2.2.1. UNIDAD INFERIOR

Solo dos muestras fueron recolectadas en esta unidad, una correspondiente a lava y otra a toba; ambas en Cordón Escarpado, lo que implica un restringido estudio para las rocas de esta unidad.

La de lava fue clasificada como andesita basáltica de piroxeno, de textura porfírica, con fenocristales euhedrales de plagioclasa (12% de la roca total) y subhedrales de piroxeno (3%) (Fig. 4.3). Los cristales de piroxeno son indistinguibles debido a la intensa alteración a clorita y carbonatos que oblitera las características primarias de estos minerales (algunos poseen alto color de interferencia lo que sugiere su denominación como clinopiroxeno). Esta alteración, de manera ocasional, también afecta a ejemplares de plagioclasa, los que se caracterizan por estar zonados y presentar un anillo interno de textura *sieve* en algunos ejemplares (Fig. 4.4).

La masa fundamental se compone de microlitos subhedrales de plagioclasa (35%), pequeños cristales anhedrales de piroxeno indistinguible (3%, nuevamente la alteración a clorita impide su identificación) y opacos (5%), además, se aprecia la existencia de importantes cantidades de vidrio intersticial (35%).



Figura 4.3. Microfotografía a nícoles paralelos y cruzados de una sección transparente de lavas de la unidad Inferior de la Secuencia Puerto Inglés. Fenocristales de plagioclasa y piroxeno indistinguible debido a la intensa alteración a clorita y carbonatos (muestra LL270711-5).

En tanto, la muestra correspondiente a toba posee textura piroclástica, donde los fragmentos piroclásticos (65% de la roca total) son lavas, con escasa presencia de fenocristales de plagioclasa y clinopiroxeno, y masa fundamental generalmente intergranular formada por microlitos de plagioclasa, clinopiroxeno y opacos (Fig. 4.5). La mayoría de estos fragmentos posee amígdalas rellenas con esmectita y óxidos de Fe-Ti, minerales que junto a clorita y carbonatos alteran en grado variable la masa fundamental de algunos fragmentos, otros se encuentran de manera prácticamente total reemplazados a óxidos de Fe-Ti.

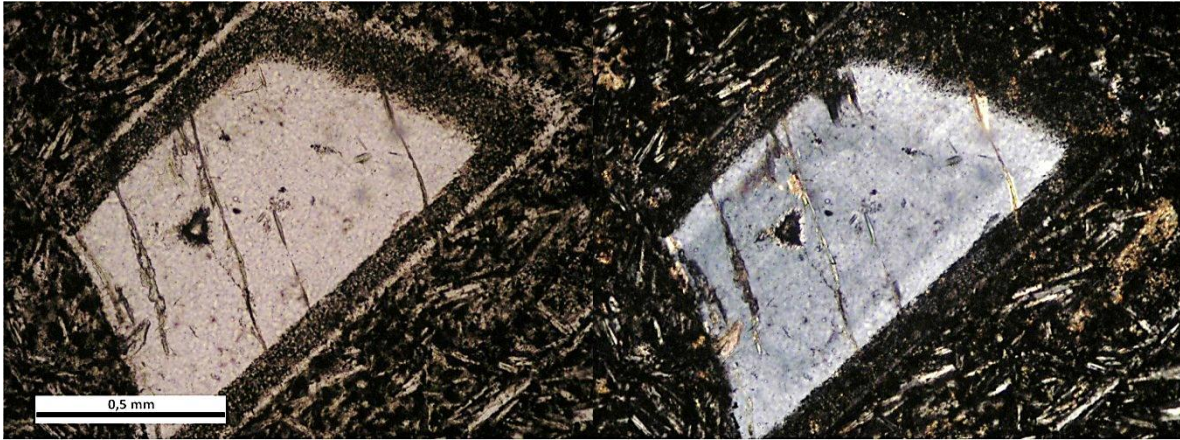


Figura 4.4. Microfotografía a nícoles paralelos y cruzados de una sección transparente de lavas de la unidad Inferior de la Secuencia Puerto Inglés. Anillo de textura sieve en un ejemplar de plagioclasa. También se observa la masa fundamental rica en plagioclasa y vidrio (muestra LL270711-5).

La matriz de esta roca se compone de vidrio (26% de la roca total) tamaño ceniza fina, sin presencia de esquirlas o fragmentos pumíceos, pequeños fragmentos líticos (5%) accidentales de similares características a los descritos como fragmentos piroclásticos y cristales de plagioclasa y clinopiroxeno, generalmente fragmentados (4%) (Fig. 4.5.). Luego, las características descritas permiten la denominación de esta roca como toba lítica de lapilli.

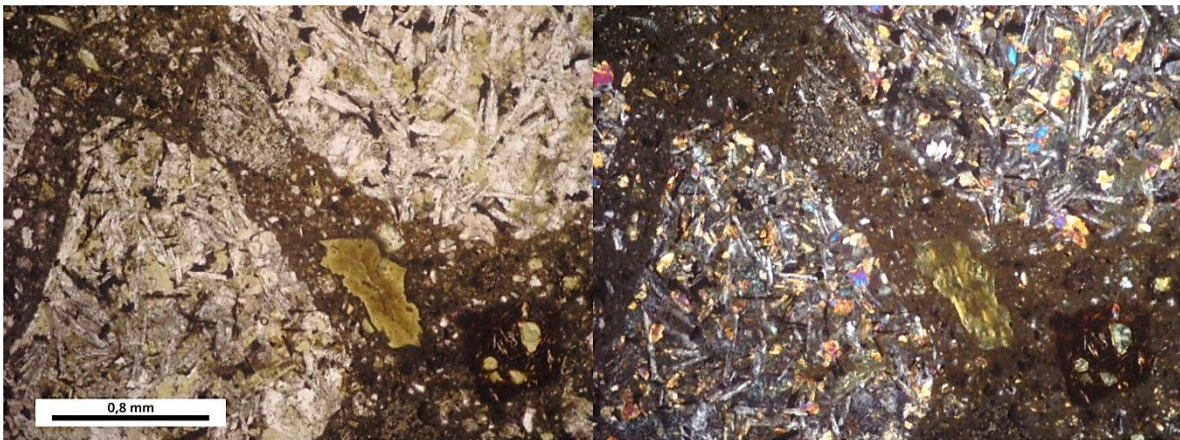


Figura 4.5. Microfotografía a nícoles paralelos y cruzados de una sección transparente típica de las tobas de la unidad Inferior de la Secuencia Puerto Inglés. Textura piroclástica característica de la toba de lapilli, y las características descritas para los fragmentos piroclásticos de origen volcánico (muestra LL270711-4).

Las características petrográficas descritas para estas rocas, permiten asignarlas como los productos volcánicos más diferenciados analizados en el estudio.

4.2.2.2. UNIDAD MEDIA

La unidad Media de la Secuencia Puerto Inglés es la unidad geológica con mayor presencia volumétrica en la isla Robinson Crusoe y se caracteriza por potentes pilas formadas por numerosas coladas de lava junto a sus respectivos niveles brechosos basales. Debido a la gran diversidad de muestras de distintas ubicaciones disponibles para esta unidad, así como a las evidentes diferencias petrográficas entre ellas, la descripción será realizada en conjuntos correspondientes a localidades con rocas petrográficamente similares. Estos corresponden a Bahía Cumberland junto a San Juan Bautista (a la vez subdividido en lavas y diques), y Puerto Inglés junto a Bahía Pangal (distinguiéndose un grupo adicional en este conjunto con muestras ricas en olivino). La muestra de Bahía Pangal LL260711-1 no fue considerada debido a su alto grado de desintegración, que imposibilita el correcto reconocimiento de las características primarias de la roca (detalles en Anexo B).

Las 'Lavas de la Bahía Cumberland' (junto a una muestra de San Juan Bautista) corresponden a basaltos afaníticos, vesiculares (entre un 10 y 45% de la roca total, con excepción de la muestra LL260711-2 de San Juan Bautista que no presenta vesículas) con muy escasos fenocristales anhedrales de olivino, alterados en sus bordes a iddingsita (<1 a 2%), y clinopiroxeno (<1 a 1%), junto a cristales eu- a subhedrales de plagioclasa (<1 a 1%). Cabe destacar la presencia de textura glomeroporfírica en una muestra (LL240711-1) y bordes de reabsorción en cristales de olivino en LL240711-2.

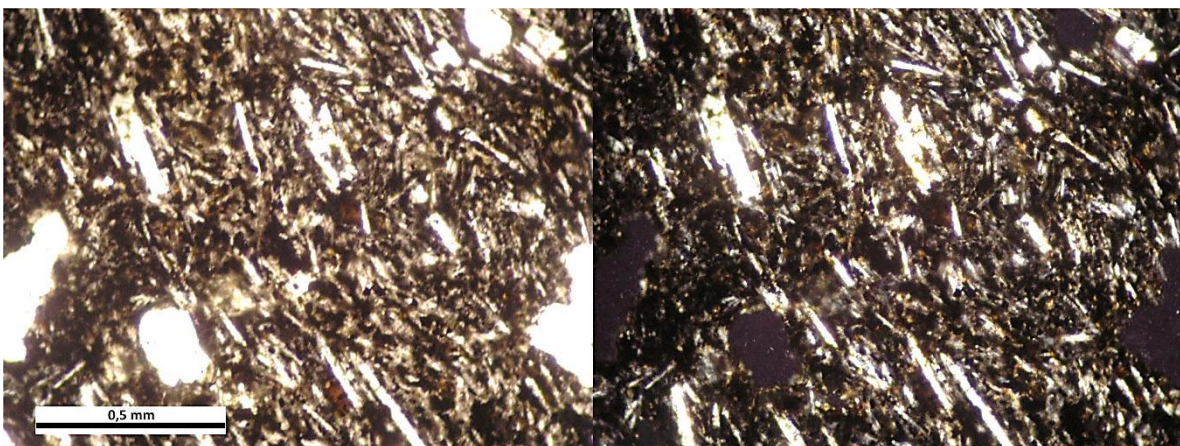


Figura 4.6. Microfotografía a nícoles paralelos y cruzados de una sección transparente del grupo 'Lavas de bahía Cumberland' de la unidad Media de la Secuencia Puerto Inglés. Masa fundamental de la roca, rica en vidrio y microlitos de plagioclasa, junto a escasos fenocristales (notar escala, muestra LL240711-6).

La masa fundamental de este conjunto está formada por microlitos eu- a subhedrales de plagioclasa (15 a 20% de la roca total) en compañía de clinopiroxeno anhedral (5 – 20%), opacos anhedrales (6 a 14%, destacando la presencia de ilmenita en LL240711-2) y olivino anhedral alterado completamente a iddingsita (1-9%). Además, esta masa fundamental posee cantidades importantes de vidrio intersticial variables entre 14 y 53% (Fig. 4.6).

Por otra parte, los ‘Diques de la Bahía Cumberland’ son, en general, basaltos afaníticos (salvo la muestra LL240711-3 con textura glomeroporfírica), con presencia variable de fenocristales de plagioclasa zonada eu- a subhedral (<1 a 7%), olivino an- a subhedral con bordes alterados a iddingsita (<1 a 2%, reabsorción en LL240711-4) y generalmente clinopiroxeno anhedral (0 a 3%). La mayoría de las rocas de este grupo poseen vesículas en proporción variable entre 0 y 20% de la roca total.

La masa fundamental de estos diques es notoriamente diferente al conjunto de lavas de la misma localidad, y se caracteriza por poseer textura intergranular (Fig. 4.7.A) formada por microlitos euhedrales de plagioclasa (28 a 52%) junto a pequeños cristales de titanogaugita anhedral (23 a 26%), olivino anhedral alterado a iddingsita (6 a 17%) y opacos (6 a 10%), destacando la presencia de ilmenita en algunas muestras. Cabe destacar la existencia de textura subofítica en dos muestras de este grupo (LL240711-4 y LL240711-5) (Fig. 4.7.B), y de vidrio en otra (7% en LL240711-3).

En tanto, las muestras pertenecientes al grupo ‘Lavas de Puerto Inglés’ (y Bahía Pangal) corresponden a basaltos porfíricos (con excepción de la muestra afanítica LL250711-3), vesiculares (entre 8 y 20% de la roca total, excepto para la muestra del dique LL250711-2 que no posee vesículas), con fenocristales de plagioclasa zonada euhedral (2 a 18%), olivino sub- a euhedral (1 a 12%, notoriamente alterado en bordes a iddingsita) y clinopiroxeno anhedral (1 a 11%, titanogaugita zonada para LL250711-2). Destaca la presencia de textura glomeroporfírica en algunas muestras (LL250711-1 y LL260711-3) (Fig. 4.8.A).

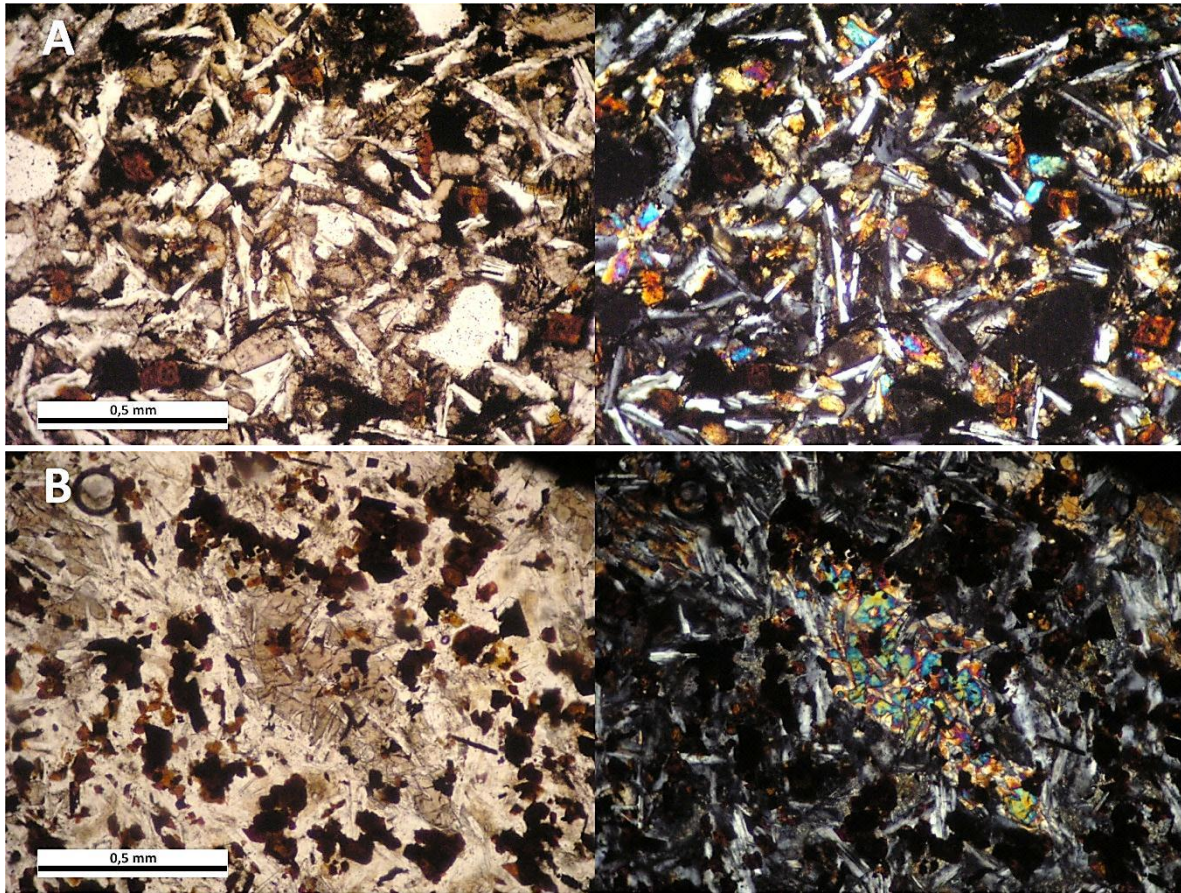


Figura 4.7. Microfotografía a nicoles paralelos y cruzados de una sección transparente del grupo 'Diques de bahía Cumberland' de la unidad Media de la Secuencia Puerto Inglés. (A) Masa fundamental con textura intergranular (muestra LL240711-3). (B) Cristales de titanita y plagioclasa formando textura subofítica (muestra LL240711-4).

La masa fundamental está compuesta de microlitos de plagioclasa euhedrales (15 a 44%) junto a clinopiroxeno anhedral (10 a 32%, generalmente sus características ópticas permiten su denominación como titanita, Fig. 4.8.B), olivino anhedral reemplazado totalmente por iddingsita (3 a 13%) y minerales opacos (5 a 15%), reportándose la presencia de ilmenita en algunas muestras. Además se observa la existencia de vidrio intersticial (1 a 20%) y texturas pilotaxítica, traquítica e intergranular en algunas muestras.

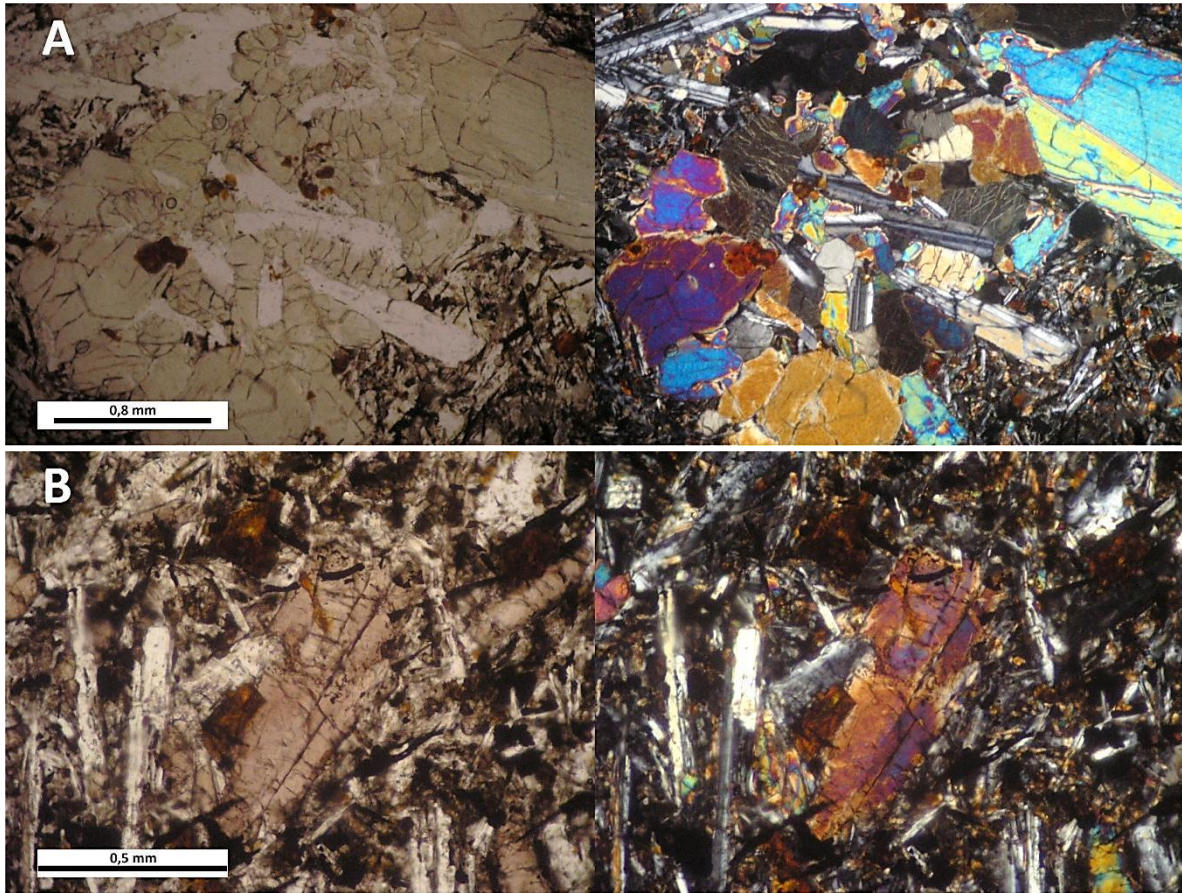


Figura 4.8. Microfotografía a nícoles paralelos y cruzados de una sección transparente del grupo 'Lavas de Puerto Inglés' de la unidad Media de la Secuencia Puerto Inglés. (A) Textura glomeroporfírica ocasionalmente presente en el grupo (muestra LL260711-3). (B) Cristal de titanoaugita dentro de masa fundamental (muestra LL250711-2).

El último grupo de esta unidad corresponde a 'Lavas ricas en olivino', apreciables en diversas localidades de la isla Robinson Crusoe como parte de las potentes columnas de coladas lávicas características de la unidad Media de la Secuencia Puerto Inglés. Corresponden a basaltos y picritas porfíricas con abundantes fenocristales subhedrales de olivino (entre 20 y 35% de la roca total, Fig. 4.9.A), alterados levemente a iddingsita en sus bordes, que ocasionalmente presentan reabsorción (Fig. 4.9.B). Estos fenocristales se encuentran inmersos en una masa fundamental con textura subofítica o intergranular que está formada por microlitos zonados de plagioclasa euhedral (30 a 35%) y cristales anhedrales de titanoaugita (19 a 28%), olivino (3 a 4%) y opacos (4 a 10%), destacando la presencia de ilmenita en una de las muestras (LL250711-6), que también posee un 7% de vidrio intersticial.

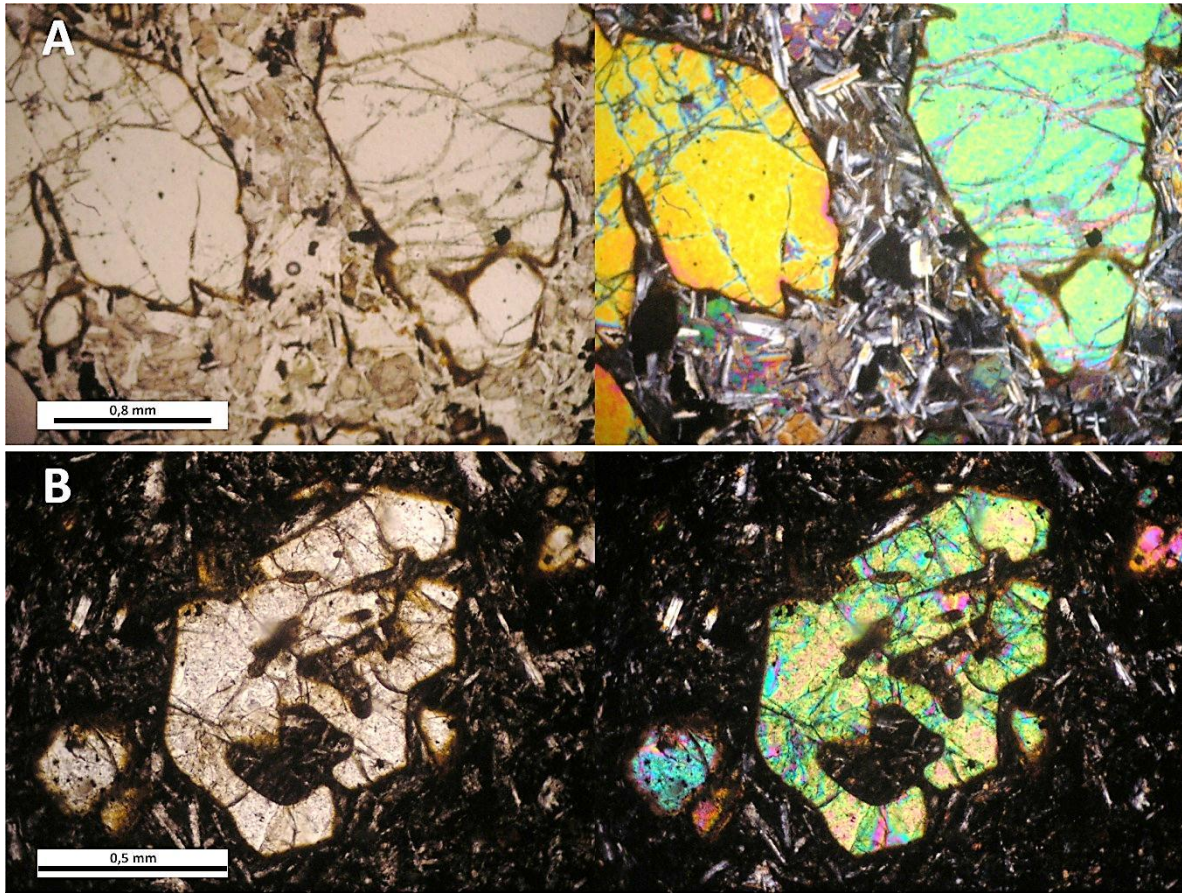


Figura 4.9. Microfotografía a nícoles paralelos y cruzados de una sección transparente del grupo 'Lavas ricas en olivino' de la unidad Media de la Secuencia Puerto Inglés. (A) Grandes fenocristales de olivino en abundancia de hasta 35% (muestra LL250711-5). (B) Bordes de reabsorción en fenocristales de olivino (muestra LL250711-6).

Las características descritas para esta unidad permiten clasificarla como transicional, entre algunos grupos con mineralogías sugerentes de afinidad alcalina ('Lavas de Puerto Inglés' y 'Diques de Bahía Cumberland'), y otros ('Lavas de Bahía Cumberland'), de afinidad más bien toleítica.

4.2.2.3. UNIDAD SUPERIOR

Petrográficamente, las lavas de esta unidad se caracterizan por la escasez de fenocristales; lo que permite caracterizarlas como basaltos afaníticos; y la presencia de vesículas en proporción variable entre 2 y 20%. Los fenocristales observados corresponden a plagioclasa eu- a subhedral (1% de la roca total), clinopiroxeno subhedral (entre <1 y 2%) y olivino anhedral (<1 a 2%). Este último exhibe bordes alterados a iddingsita. Comúnmente, estos fenocristales tienden a

formar agregados glomeroporfíricos (principalmente entre plagioclasa y clinopiroxeno, Fig. 4.10).

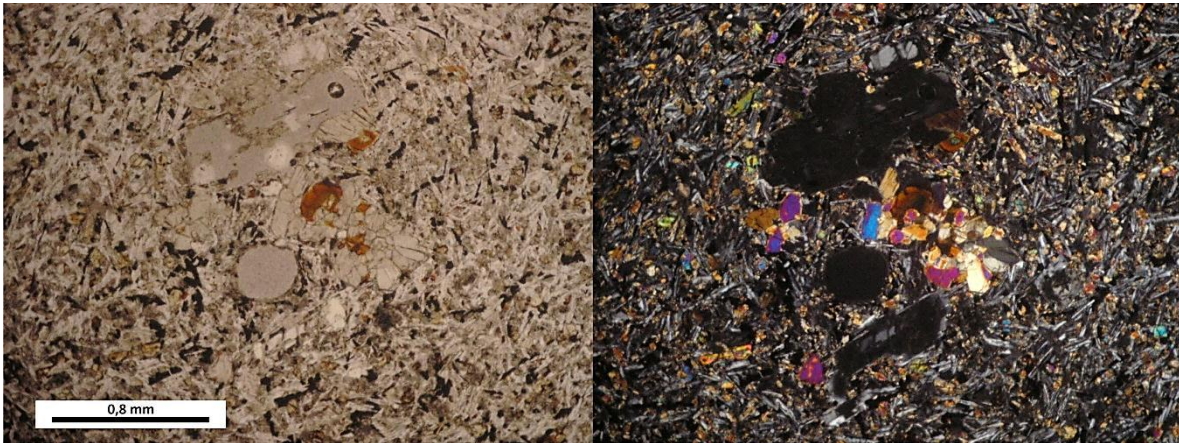


Figura 4.10. Microfotografía a nícoles paralelos y cruzados de una sección transparente perteneciente a la unidad Superior de la secuencia Puerto Inglés. Textura glomeroporfírica formada por fenocristales de plagioclasa y clinopiroxeno (muestra LL250711-8).

La masa fundamental es generalmente intergranular (Fig. 4.11.A), y está formada por microlitos eu- a subhedrales de plagioclasa (42 a 44%) junto a pequeños cristales de titanogaugita (10 a 38%, cabe destacar que la determinación como titanogaugita de los cristales de clinopiroxeno es dudoso para la muestra con 10% de este mineral, LL250711-4, debido a la alteración presente a óxidos de Fe-Ti que oblitera las características mineralógicas primarias), olivino alterado totalmente a iddingsita (entre 2 y 10%) y opacos (6 a 15%), destacando la presencia de ilmenita en las muestras ricas en titanogaugita. De forma ocasional algunas muestras poseen bajas cantidades de vidrio intersticial (variable entre 2 y 6%). Por lo general, los microlitos de plagioclasa forman textura pilotaxítica en los sectores aledaños a bordes de fenocristales y cúmulos glomeroporfíricos. También es posible notar alteración a óxidos de Fe-Ti en regiones muy vesiculares de las muestras (Fig. 4.11.B), que representan regiones porosas muy susceptibles a estos fenómenos.

La mineralogía descrita, en especial la presencia de titanogaugita e ilmenita en la masa fundamental permite caracterizar petrográficamente a estas rocas como basaltos alcalinos de clinopiroxeno y olivino. La comparación de las características petrográficas de esta unidad con respecto a la unidad Media de la misma secuencia sugiere que las rocas de esta última denominadas como 'Diques de Bahía Cumberland' podrían corresponder a diques alimentadores de la unidad Superior.

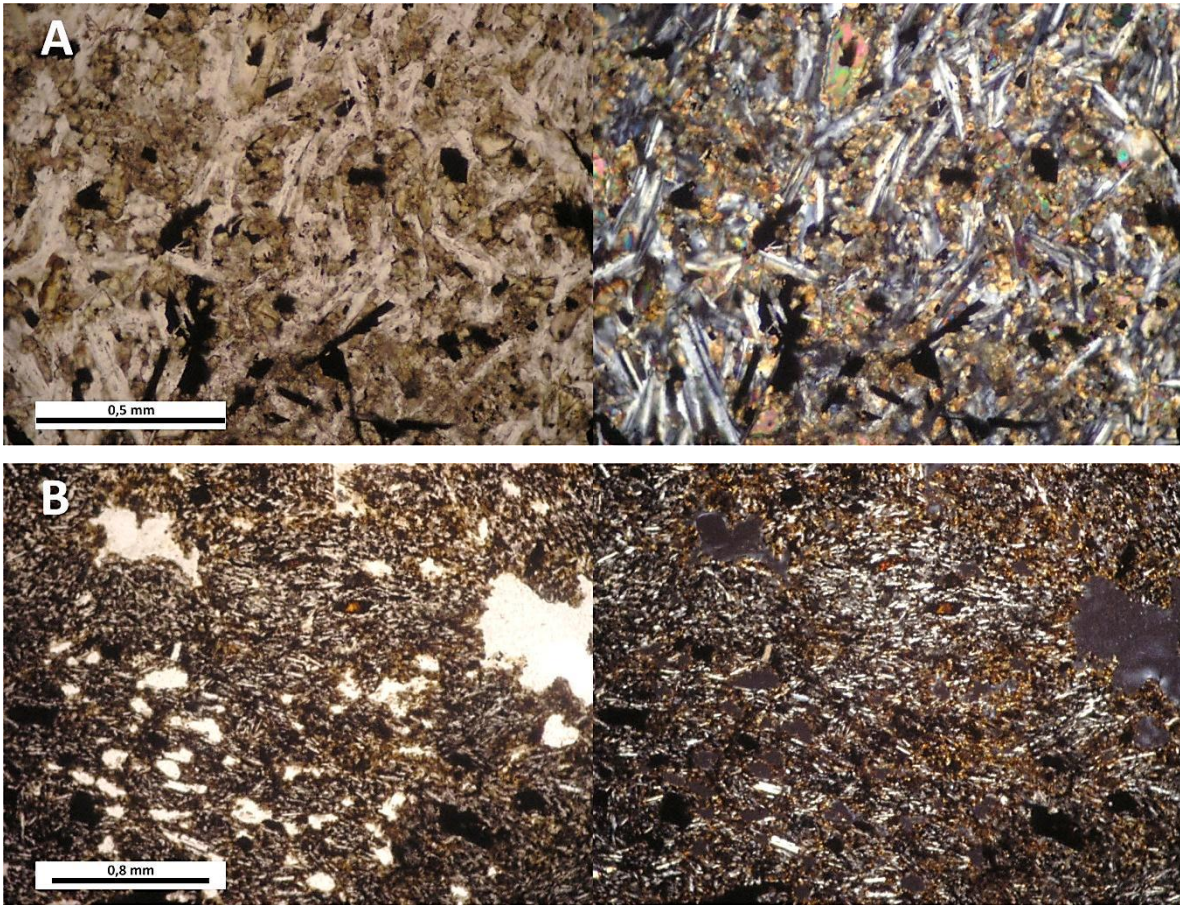


Figura 4.11. Microfotografía a nícoles paralelos y cruzados de secciones transparentes pertenecientes a la unidad Superior de la Secuencia Puerto Inglés. (A) Textura intergranular entre plagioclasa y titanogaugita, también se observan cristales aciculares de ilmenita (muestra LL250711-9). (B) Vesículas con alteración a óxidos de Fe-Ti en sus cercanías, también se aprecia una dirección de orientación preferente en microlitos de plagioclasa (muestra LL250711-4).

4.2.3. SECUENCIA BAHÍA DEL PADRE

Las lavas de esta secuencia corresponden a basanitas con abundantes fenocristales de olivino (13 a 19%) an- a subhedrales, seriados, donde sus bordes y fracturas están alterados a iddingsita. También poseen clinopiroxeno, correspondiente a titanogaugita, intensamente zonado (Fig. 4.12), también an-a subhedral, en proporción fuertemente variable, con escasez de ejemplares en un dique alimentador (1%, Fig. 4.13), en comparación a lavas de la secuencia (17%). Ocasionalmente estos fenocristales forman agregados glomeroporfíricos.



Figura 4.12. Microfotografía a nicoles paralelos y cruzados de una sección transparente típica de la Secuencia Bahía del Padre. Abundantes fenocristales de olivino y titanaugita, así como intensa zonación de estos últimos (muestra LL230711-2).

La masa fundamental está compuesta de microlitos eu- a subhedrales de plagioclasa (10-25%) junto a pequeños granos anhedrales de clinopiroxeno, que nuevamente corresponden a titanaugita (aproximadamente 15% de la roca total), olivino anhedral completamente alterado a iddingsita (2 a 3%), opacos (8%) y cantidades variables de vidrio, que en ocasiones llegan al 45% del contenido total de la roca. Sobresale la total ausencia de fenocristales de plagioclasa, característica exclusiva de esta unidad, que sumado a las la clasificación geoquímica (en Capítulo 5: 'Geoquímica de las rocas ígneas de la isla Robinson Crusoe') permite su denominación como basanitas.

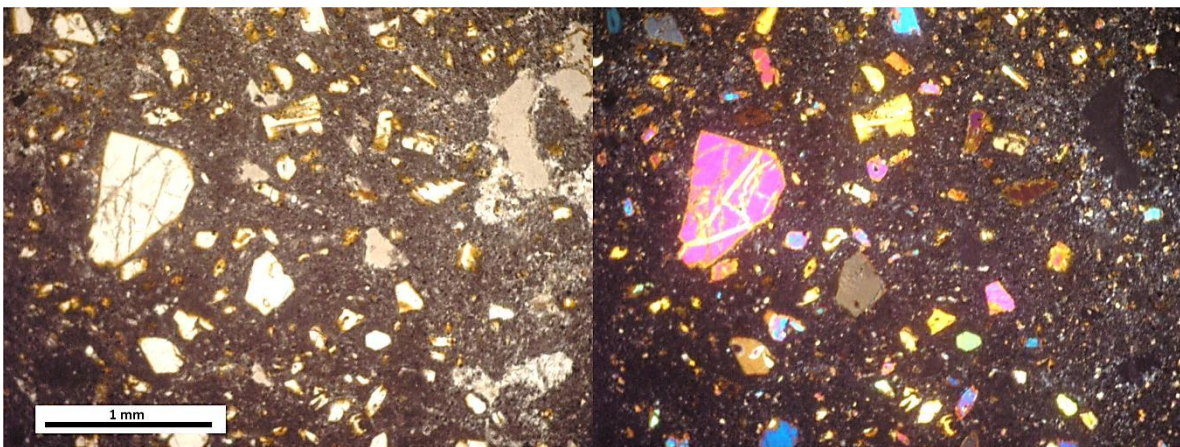


Figura 4.13. Microfotografía a nicoles paralelos y cruzados de una sección transparente típica de la Secuencia Bahía del Padre. Abundancia de fenocristales de olivino y escasez de ejemplares de titanaugita, evidenciando los porcentajes fuertemente variables de este último mineral.

Destaca la existencia de un pequeño enclave ultramáfico (Fig. 4.14), correspondiente a dunita (formado exclusivamente de olivino) presente en una de

las rocas de esta secuencia, que podría corresponder a sólidos refractarios generados durante la fusión parcial.

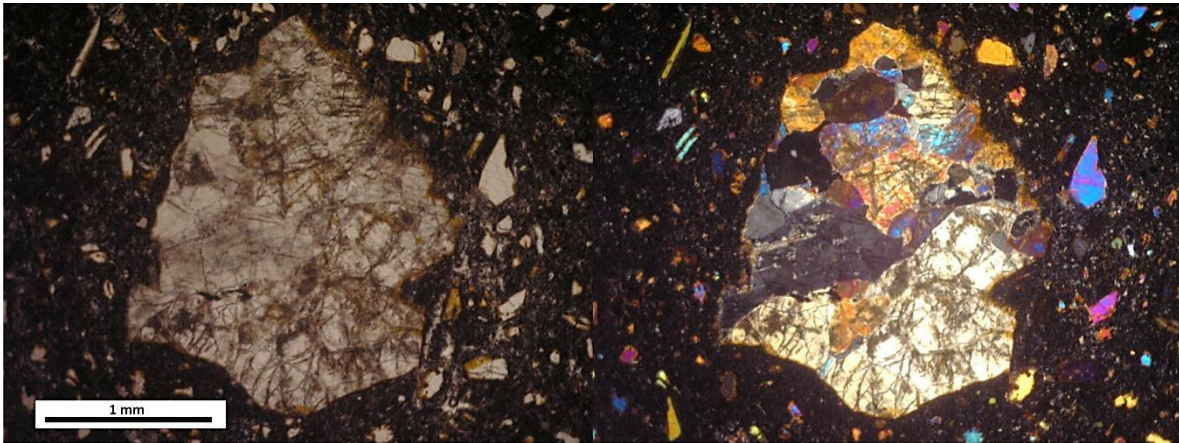


Figura 4.14. Microfotografía a nicoles paralelos y cruzados de una sección transparente que exhibe el enclave ultramáfico encontrado en la Secuencia Bahía del Padre. La imagen permite apreciar que, mineralógicamente, el enclave está compuesto únicamente de cristales de olivino (muestra LL230711-8).

4.3. ROCAS NO ESTRATIFICADAS

4.3.1. INTRUSIVO DE PUNTA LARGA

El Intrusivo de Punta Larga corresponde a un cuerpo plutónico fanerítico y leucocrático que aflora en la localidad de Punta Larga. Se dispone de forma irregular intruyendo a las lavas alteradas de la Secuencia Punta Larga. Además, este cuerpo se encuentra disectado por numerosos diques que complican el reconocimiento de sus relaciones de contacto.



Figura 4.15. Microfotografía a nicoles paralelos y cruzados de una sección transparente característica de la unidad 'Intrusivo de Punta Larga'. Cristal de plagioclasa con bordes de recrecimiento y fracturas rellenas por feldespato potásico (ortoclasa) (muestra LL270711-1).

La principal fase mineral presente en estas rocas corresponde a feldespato potásico en su variedad ortoclasa, que se manifiesta como cristales anhedrales individuales (48 a 58%), y como bordes de recrecimiento y relleno de fracturas en cristales subhedrales de plagioclasa (18 a 30%, Fig. 4.15). Estas últimas están ocasionalmente zonadas y su grado de fracturamiento es variable dentro del macizo rocoso. Otra fase félsica presente es el cuarzo, el cual generalmente se encuentra relleno de espacios intersticiales (2 a 8%) y, en ocasiones, formando asociaciones con epidota que sugieren, para estos casos, un origen de carácter secundario.

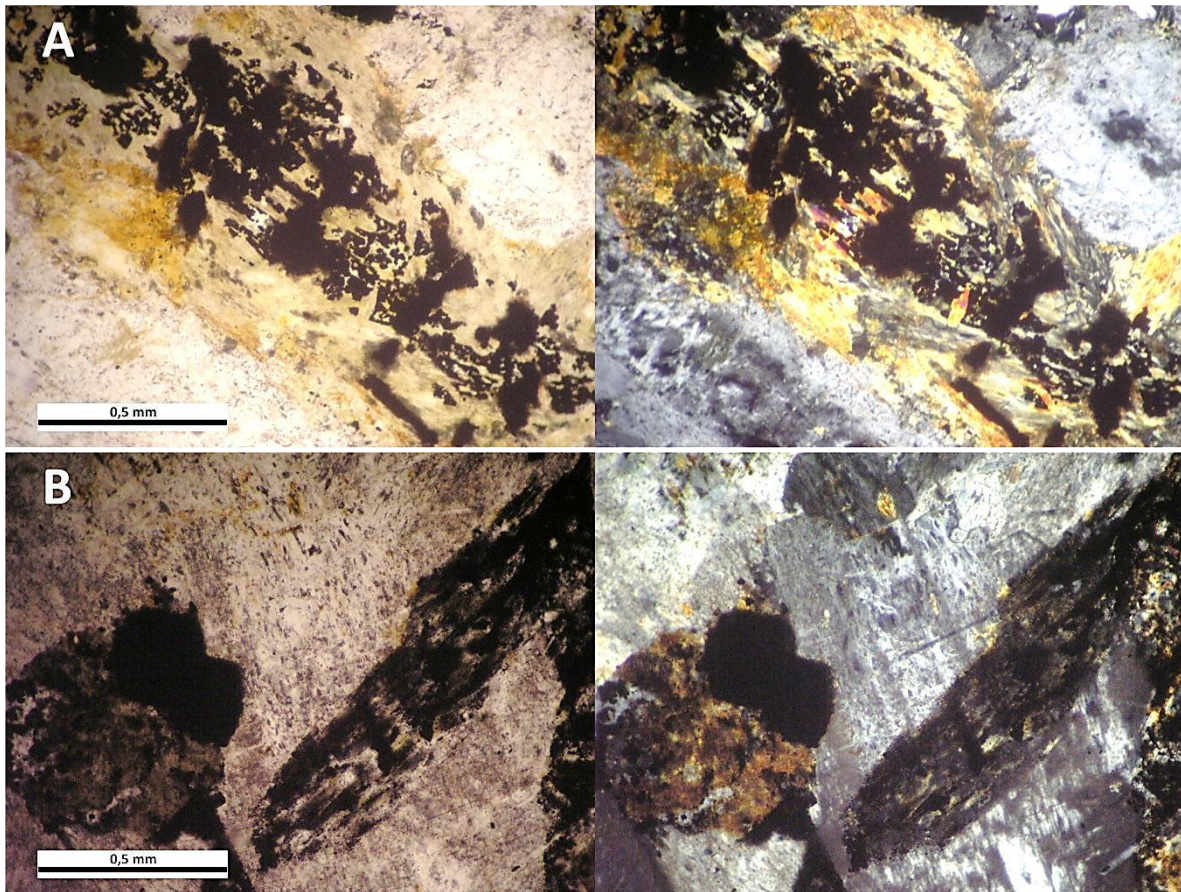


Figura 4.16. Microfotografías a nicoles paralelos y cruzados de secciones transparentes correspondientes a cliopiroxenos del Intrusivo de Punta Larga. (A) Clinopiroxeno parcialmente alterado a anfíbola, clorita y óxidos de Fe-Ti (muestra LL270711-1). (B) Relictos de cliopiroxeno alterados casi totalmente a óxidos de Fe-Ti (muestra LL270711-3).

En tanto, la mineralogía máfica de estas rocas corresponde a clinopiroxeno (10 a 15%), que se encuentra alterado, en grado fuertemente variable, a anfíbola, clorita y óxidos de Fe-Ti. Esta variabilidad permite reconocer muestras que poseen clinopiroxeno en estado de conservación relativamente bueno (Fig. 4.16.A) mientras que en otras solo se observan relictos que han sido reemplazados de

manera casi total a óxidos de Fe-Ti (Fig. 4.16.B). Minerales opacos correspondientes a óxidos de Fe-Ti son visibles en toda la roca, con una presencia particularmente alta como alteración en cristales de clinopiroxeno.

Luego, y en base a la mineralogía félsica observada, estas rocas pueden clasificarse como sienitas de clinopiroxeno (Streckeisen, 1976 en Le Maitre, 2002). Cabe destacar el reconocimiento de apatito y zircón en rocas de esta unidad (Fig. 4.17), mineralogías accesorias útiles para la realización de dataciones que permitan aclarar la geocronología asociada a este cuerpo intrusivo.

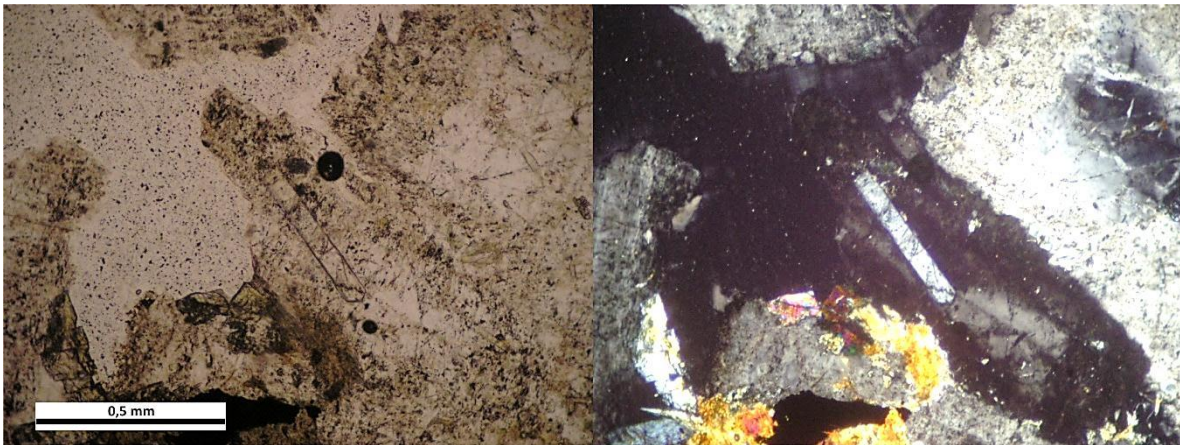


Figura 4.17. Microfotografía a nícoles paralelos y cruzados de una sección transparente con cristales de apatito correspondiente al Intrusivo de Punta Larga (muestra LL270711-1).

4.3.2. ENCLAVES ULTRAMÁFICOS

La muestra recolectada corresponde a un enclave ultramáfico incorporado en un dique perteneciente a la Secuencia Puerto Inglés en la localidad de Bahía Cumberland (LL240711-5D).

Posee un gran porcentaje de cristales anhedrales de olivino (89%, Fig. 4.18), fracturados y en deficiente estado de conservación. Ocasionalmente, estas fracturas se encuentran alteradas a iddingsita.

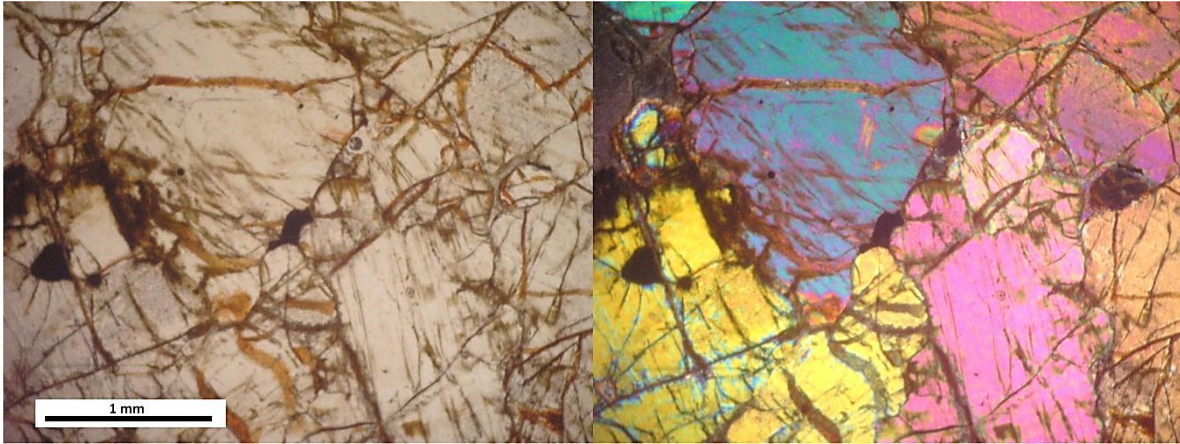


Figura 4.18. Microfotografía a nicoles paralelos y cruzados de una sección transparente característica de los enclaves ultramáficos. Abundancia de cristales de olivino, leve alteración a iddingsita y presencia de opacos (muestra LL240711-5C).

De forma aleatoria dentro del corte se disponen minerales opacos (3%) que corresponden a óxidos de Fe-Ti. En los intersticios generados entre los cristales de olivino se aprecian cristales de plagioclasa (3%), clinopiroxeno (4%) y ortopiroxeno (1%) que aparentan 'englobar' a los cristales circundantes, formando textura heteroacumulada (Fig. 4.19). La mineralogía descrita permite clasificar a esta roca como dunita de plagioclasa (Streckeisen, 1973 en Le Maitre, 2002).

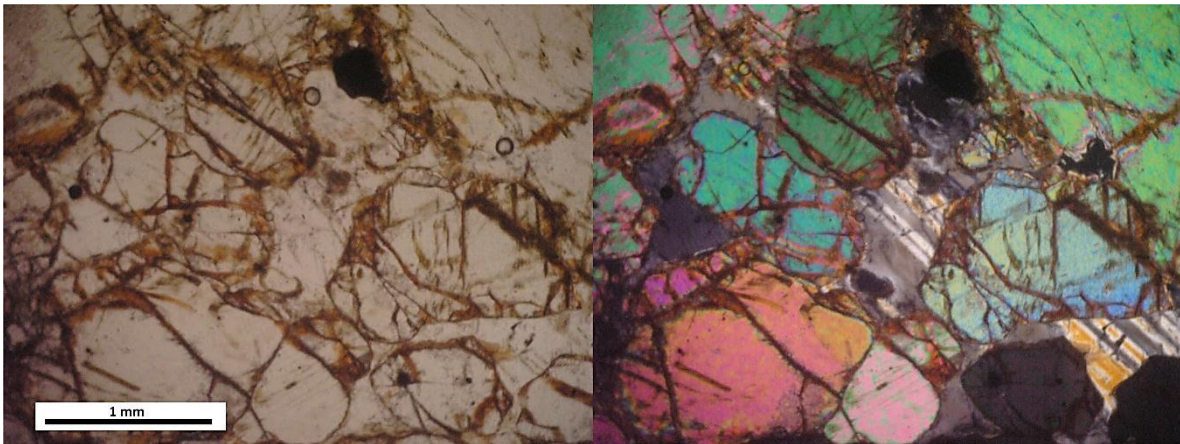


Figura 4.19. Microfotografía a nícolas paralelos y cruzados de la textura heteroacumulada característica de los enclaves estudiados. En particular, se aprecia la formación de plagioclasa intersticial entre los cristales acumulados de olivino (muestra LL240711-5C).

5. GEOQUÍMICA DE LAS ROCAS ÍGNEAS DE LA ISLA ROBINSON CRUSOE

5.1. GEOQUÍMICA DE ROCA TOTAL

5.1.1. GENERALIDADES

Se realizaron análisis geoquímicos en 31 muestras recolectadas durante el desarrollo de este estudio. Los análisis de elementos mayores, elementos traza y tierras raras fueron realizados en Laboratorios Acme, mediante la utilización de ICP-OES y ICP-MS en su sucursal de Vancouver, Canadá. Los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 5.1.

A estos datos inéditos se anexaron en el estudio, a modo de complemento, datos disponibles en la literatura correspondientes a la isla Robinson Crusoe expuestos en el Anexo C: 'Datos Geoquímicos de Trabajos Anteriores', (Gerlach *et al*, 1986 y Morales, 1987; Farley *et al*, 1993; Baker *et al*, 1987). Además, para facilitar la comprensión de la evolución magmática así como la comparación entre rocas de diferentes periodos, cada muestra fue asignada a alguna de las unidades geológicas definidas informalmente por Morales (1987), detalladas en el Capítulo 3: 'Marco Geológico'. Aquellos datos correspondientes a rocas que no pudieron ser asignadas a una unidad específica no fueron considerados. Además, las muestras LL230711-9, LL230711-10 (ambas de Secuencia Punta Larga) y LL260711-1 (unidad Media de la Secuencia Puerto Inglés) fueron descartadas del estudio debido a su alto contenido en LOI (9,8; 7,3 y 16,7; respectivamente), que impiden su utilización dentro del análisis geoquímico (mal estado de conservación también observado en sección transparente).

Los datos fueron normalizados considerando como 100% a la suma de óxidos libre de volátiles, en tanto, el FeO y Fe₂O₃ fueron transformados a FeO^T, mediante la ecuación

$$FeO^T = FeO + \frac{Fe_2O_3}{1,11}$$

Tabla 5.1. Datos geoquímicos inéditos utilizados en este estudio, separados por unidad geológica. Además, se indica si la muestra corresponde a lava, dique, intrusivo o enclave. Elementos mayores en porcentaje en peso (%wt), elementos traza en partes por millón (ppm, excepto Au en ppb).

Unidad	Secuencia Punta Larga			Secuencia Puerto Inglés										
				U. Inferior	Unidad Media									
Roca	Lava	Lava	Dique	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Dique
Muestra	LL230711-5	LL230711-7	LL230711-6	LL270711-5	LL240711-1	LL240711-2	LL240711-6	LL250711-1	LL250711-3	LL250711-5	LL250711-7	LL260711-2	LL260711-3	LL240711-3
SiO ₂	49,08	45,98	46,67	56,42	47,03	46,98	46,58	45,6	45,97	45,46	45,89	47,56	45,58	46,84
TiO ₂	2,45	3,57	3,37	1,65	3,61	3,14	3,58	3,58	3,76	1,83	2,96	3,6	3,88	3,47
Al ₂ O ₃	13,5	14,34	14,18	14,98	14,56	14,57	15,38	14,88	15,33	10,37	13,38	14,75	15,35	14,8
Fe ₂ O ₃	9,85	11,88	12,36	7,46	12,67	12,49	12,24	12,29	12,95	13,66	12,48	12,39	13,39	12,94
MgO	6,6	4,88	5,82	2,77	5,77	6,13	5,4	5,69	5,13	17,47	8,42	5,67	4,82	5,14
MnO	0,15	0,18	0,17	0,11	0,17	0,16	0,15	0,15	0,15	0,17	0,15	0,16	0,18	0,16
CaO	9	12,38	9,33	5,73	10,24	10,47	10,01	10,41	8,99	7,2	9,7	10,26	8,13	9,96
Na ₂ O	3,93	2,35	2,48	3,43	2,98	3	3,06	2,69	3,19	2,02	2,6	3,11	2,88	2,82
K ₂ O	0,25	0,33	1,17	2,52	1	0,86	0,91	1	1,17	0,34	0,64	1,01	1,08	0,45
P ₂ O ₅	0,28	0,43	0,44	0,36	0,5	0,41	0,51	0,58	0,63	0,2	0,34	0,49	0,52	0,41
LOI	4,70	3,40	3,70	4,30	1,10	1,40	1,80	2,70	2,30	0,60	3,00	0,60	3,80	2,70
SUMA	98,80	98,53	98,45	98,98	98,36	98,36	98,39	98,34	98,27	97,95	98,31	98,36	98,27	98,39
Cr ₂ O ₃	0,008	0,008	0,006	0,007	0,012	0,03	0,021	0,038	0,028	0,145	0,075	0,01	0,039	0,01
Ni	40	63	54	27	56	80	71	120	127	774	232	70	103	65
Sc	27	27	27	13	28	29	25	25	25	20	28	27	31	29
Ba	78	127	228	420	242	221	239	345	307	75	197	229	314	190
Be	1	2	2	4	2	2	1	2	3	<1	1	2	<1	1
Co	34,1	36,6	39,9	15,6	42,5	43,2	42,3	39,2	43,9	88,1	50,9	43,2	49,9	38,2
Cs	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	0,3	0,1	0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1
Ga	17,4	21	20,9	23,9	22	20,3	22,7	23,1	24,7	15	20,5	23,5	25,1	22,5
Hf	3,4	5	5,4	12,2	5,5	4,8	5,6	6,7	6,9	2,5	4,7	6,2	6,9	5,5
Nb	21,5	32,1	33,8	56,2	38,7	34,5	36,7	46,3	47	13	29,7	39,3	42,1	29,5
Rb	4,6	5,4	21,8	50,1	19,7	15,9	16	16,6	19,7	7,3	7,7	20,1	20,2	2,5
Sn	1	2	2	4	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2
Sr	405	514,8	463,6	430,3	564	535,2	608,8	738,8	707,4	267,2	486,3	586,6	529,8	469,1
Ta	1,5	2,2	2	3,4	2,4	2,2	2,4	3	3	0,9	1,8	2,5	2,6	1,8
Th	1,6	2,3	2,6	6,9	3,1	2,7	2,9	3,6	3,4	0,9	2,2	2,8	3,2	2,3
U	0,6	0,6	0,7	2,1	0,7	0,6	0,7	0,6	0,5	0,3	0,3	0,8	0,6	0,3
V	310	378	329	119	369	344	351	345	370	243	343	385	348	356
W	<0,5	<0,5	<0,5	0,7	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Zr	128,4	205,5	215,3	501,1	231	188,7	217,2	258,1	274,2	102,8	176	230,1	256,6	206,7
Y	21,2	28,4	28,5	51,3	31,5	26,4	43,3	30,9	49,9	17,7	28,9	30,1	29,8	31,2

Tabla 5.1. (Continuación).

Unidad	Secuencia Punta Larga			Secuencia Puerto Inglés										
				U. Inferior	Unidad Media									
Roca	Lava	Lava	Dique	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Dique
Muestra	LL230711-5	LL230711-7	LL230711-6	LL270711-5	LL240711-1	LL240711-2	LL240711-6	LL250711-1	LL250711-3	LL250711-5	LL250711-7	LL260711-2	LL260711-3	LL240711-3
Mo	0,5	1	1,4	2,7	0,8	0,6	0,5	0,9	0,9	0,5	0,5	1	0,7	0,7
Cu	19,3	33,6	64,9	17,1	36,4	42	22,4	63	50,8	46,6	29	61	53,3	76,9
Pb	0,7	1,6	1,2	1,3	0,5	0,8	24,2	1,9	1	0,3	0,4	0,5	1,6	1,4
Zn	53	64	92	89	88	79	81	87	134	63	72	87	91	84
Ni	25,4	30,8	36,9	23,7	31,7	46,6	39,9	84,5	105,2	583,4	193,9	39,1	70,6	39,8
As	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,6	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Cd	<0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	0,5	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Sb	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Bi	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ag	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Au	0,5	0,6	1,3	<0,5	0,6	<0,5	<0,5	<0,5	0,6	<0,5	1	<0,5	<0,5	<0,5
Hg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,05
Tl	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Se	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,6	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
La	17,1	25,9	27	54,9	32,1	27,8	34,8	36,2	38,8	9,8	24,6	30,6	34,2	24,6
Ce	36,4	54,8	59,1	112	67,6	57,6	69,6	75	77,7	22,8	52,2	65,5	74,6	50,9
Pr	4,59	6,97	7,42	12,93	8,92	7,07	9,23	9,78	10,9	3,17	6,86	8,27	8,97	7,01
Nd	19,2	29,3	32,3	49,1	38,4	29,6	42	42,6	48,8	15,3	30	36	37,5	30,7
Sm	4,68	6,9	7,09	10,89	8,15	6,63	8,98	9	10,84	3,71	6,83	7,77	8,09	7,1
Eu	1,58	2,28	2,27	3,12	2,72	2,24	3,05	2,98	3,67	1,22	2,25	2,56	2,72	2,36
Gd	4,89	6,93	7,09	10,25	8,14	6,59	9,84	8,57	11,24	3,91	6,9	7,74	7,68	7,31
Tb	0,79	1,11	1,12	1,77	1,28	1,05	1,52	1,33	1,81	0,65	1,15	1,22	1,22	1,17
Dy	4,21	5,57	5,62	9,16	6,44	5,39	7,71	6,21	9,04	3,42	5,62	5,97	6,14	5,93
Ho	0,82	1,1	1,13	1,89	1,24	1,04	1,58	1,16	1,83	0,67	1,11	1,2	1,15	1,16
Er	2,07	2,93	2,85	5,33	3,11	2,71	4,09	2,94	4,65	1,82	2,82	3,11	2,9	2,99
Tm	0,3	0,39	0,4	0,83	0,44	0,38	0,56	0,37	0,64	0,25	0,42	0,42	0,39	0,43
Yb	1,75	2,37	2,37	5,1	2,47	2,27	3,2	2,15	3,67	1,45	2,46	2,45	2,15	2,4
Lu	0,25	0,32	0,33	0,72	0,33	0,3	0,44	0,3	0,51	0,21	0,34	0,34	0,32	0,35

Tabla 5.1. (Continuación).

Unidad	Secuencia Puerto Inglés								Sec. Bahía del Padre	Intrusivo de Punta Larga			Enc. U.máfico	
	Unidad Media					Unidad Superior				Lava	Dique	Intrusivo		Intrusivo
Roca	Dique	Dique	Dique	Dique	Dique	Lava	Lava	Lava	Lava				Dique	
Muestra	LL240711-4	LL240711-5D	LL240711-7	LL250711-2	LL250711-6	LL250711-4	LL250711-8	LL250711-9	LL230711-2	LL230711-8	LL270711-1	LL270711-2	LL270711-3	LL240711-5C
SiO ₂	46,36	46,49	47,84	46,24	44,82	46,77	46,22	47,18	42,15	42,14	55,77	62,24	58,97	38,5
TiO ₂	3,38	3,39	4,07	3,62	3,33	3,8	3,64	3,42	2,8	3,2	2,17	0,87	1,21	0,21
Al ₂ O ₃	15,45	15,53	14,15	15,13	13,02	14,73	15,28	14,78	13,77	13,04	16,24	17,37	17,06	2,14
Fe ₂ O ₃	12,32	12,22	13,00	12,24	13,02	13,22	12,71	12,48	12,30	12,81	8,54	4,81	7,65	18,55
MgO	6,5	6,25	4,54	5,81	10,47	5,33	5,94	6,24	10,22	11,16	2,26	0,56	0,92	38,1
MnO	0,16	0,15	0,14	0,16	0,17	0,17	0,18	0,17	0,21	0,2	0,11	0,03	0,09	0,21
CaO	8,36	8,35	9,01	10,57	9,56	9,23	9,58	10,56	10,58	10,59	5,2	0,87	2,65	1,17
Na ₂ O	3,5	3,46	3,28	2,79	2,47	3,15	2,66	2,76	2,83	3,79	5,89	6,14	5,99	0,18
K ₂ O	1,29	1,26	1,12	1,08	1,01	1,04	0,95	0,8	0,59	0,8	1,11	4,44	3,62	0,03
P ₂ O ₅	0,68	0,67	0,56	0,57	0,47	0,59	0,47	0,39	0,62	0,68	0,69	0,18	0,3	0,03
LOI	1,60	1,80	2,00	1,40	1,10	1,60	2,00	0,90	3,30	1,00	1,70	2,20	1,20	-0,30
SUMA	98,37	98,35	98,41	98,38	98,14	98,31	98,36	98,43	98,14	98,13	98,82	99,23	98,89	96,96
Cr ₂ O ₃	0,027	0,024	0,003	0,017	0,077	0,027	0,017	0,019	0,07	0,052	0,003	<0,002	<0,002	0,33
Ni	119	119	56	99	343	96	62	67	200	241	26	<20	<20	1477
Sc	18	18	27	25	25	25	29	30	27	25	12	7	6	6
Ba	352	329	233	316	348	275	253	222	652	542	388	784	973	33
Be	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	3	4	3	<1
Co	43,8	42,4	34,1	39,9	64,2	47,7	48,4	47,3	54,7	57	14,1	7,3	7	174,9
Cs	0,8	0,6	0,3	0,6	1,1	<0,1	0,1	<0,1	2,2	0,7	<0,1	0,3	0,2	<0,1
Ga	22,7	22	23	22,9	19,9	23,6	22,2	23	17,6	17,7	26,3	31,5	31,7	3,2
Hf	7,8	7,4	6,8	6	5,6	7,6	6	5,1	6,4	6,1	12,9	17	12,1	0,2
Nb	50,6	51,8	41,9	50,6	55,6	44,8	38,8	36,2	75,2	70,2	65,5	91,6	103,3	1
Rb	40,3	35,6	21,7	26,7	26,2	18	17,4	17,2	5,3	13,7	23,6	90,7	62,8	0,5
Sn	3	2	3	2	2	3	2	2	2	2	2	5	4	<1
Sr	704	693,3	526,9	709,4	656,7	590	539,5	524,8	880,9	843,3	609,7	239,9	435,5	60,6
Ta	3,2	3,2	2,7	3,2	3,3	2,9	2,5	2,2	4,5	4,3	4,3	5,5	5,6	<0,1
Th	4,1	4,4	3,1	3,4	4,8	3,5	2,5	2,6	7	5,9	8,4	12,9	7,7	<0,2
U	1,1	1,2	0,7	0,8	1,1	0,8	0,6	0,7	1,5	1,3	2,4	3,2	2,1	<0,1
V	256	262	405	377	380	330	379	378	311	334	180	39	28	64
W	0,6	0,6	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,5	<0,5	0,7	<0,5	<0,5	0,9	0,5	<0,5
Zr	308	313	272	241,6	228	277,5	230,8	202,9	279,8	260,6	500,7	742,8	501,1	7
Y	31,1	33,7	32,8	28,9	30,6	36,5	26,8	32,4	30,4	27,9	58,4	43,3	49,4	2,8

Tabla 5.1. (Continuación).

Unidad	Secuencia Puerto Inglés								Sec. Bahía del Padre	Intrusivo de Punta Larga			Enc. U.máfico	
	Unidad Media					Unidad Superior				Lava	Dique	Intrusivo		Intrusivo
Roca	Dique	Dique	Dique	Dique	Dique	Lava	Lava	Lava	Lava				Dique	
Muestra	LL240711-4	LL240711-5D	LL240711-7	LL250711-2	LL250711-6	LL250711-4	LL250711-8	LL250711-9	LL230711-2	LL230711-8	LL270711-1	LL270711-2	LL270711-3	LL240711-5C
Mo	1,3	1,1	0,8	1	0,9	0,2	0,7	0,7	2,3	1,9	0,5	0,9	1,4	0,3
Cu	32,6	32,8	65,4	48,8	54,6	19,6	61,5	87,8	15,2	28,8	44,9	18,9	9	11,6
Pb	1,5	1,6	1,6	1,7	0,2	0,5	1,1	1,3	3	2,7	0,4	1,1	0,9	0,5
Zn	88	91	82	71	101	58	79	73	76	76	24	27	27	113
Ni	85,2	83,9	24,6	63,1	288,3	46,4	33,6	34,8	182,1	222,5	20,5	5,8	7,4	1110,7
As	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,9	0,8	<0,5	1,2	0,7	0,6
Cd	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,5	0,2	0,1	0,7	0,4	1,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Sb	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Bi	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ag	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,3	0,4	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Au	0,7	<0,5	<0,5	<0,5	1	<0,5	0,7	1	*	*	<0,5	0,7	<0,5	0,6
Hg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Tl	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Se	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
La	42	41,9	31,2	37,3	46,1	35,9	29,3	31,6	64,1	52,2	75,8	68,6	76,9	1,8
Ce	86,2	87,6	67,1	76,1	86,7	75,9	64,4	59,2	116,9	102,5	150,8	144,3	144	3,4
Pr	10,48	10,71	8,94	9,6	10,07	9,68	8,05	8,09	13,35	11,7	18,22	13,91	17,58	0,45
Nd	42,9	43,9	38,3	38,8	40,7	40,6	34	34,2	48,6	46,5	73,5	50	68,3	2,2
Sm	9,03	9,04	8,59	8,14	7,96	8,86	7,64	7,72	9,25	8,6	15,18	9,28	13,29	0,43
Eu	2,83	2,92	2,8	2,67	2,55	2,9	2,53	2,59	2,87	2,74	3,97	2,45	3,96	0,13
Gd	8,23	8,6	8,46	7,87	7,49	8,62	7,1	7,49	7,86	7,63	14,05	8,43	11,84	0,46
Tb	1,25	1,32	1,33	1,21	1,19	1,4	1,15	1,24	1,2	1,17	2,27	1,52	1,96	0,07
Dy	6,07	6,68	6,76	5,94	5,86	6,94	5,66	6,29	6,09	5,67	11,25	8,06	9,71	0,42
Ho	1,17	1,26	1,3	1,14	1,16	1,41	1,05	1,25	1,17	1,09	2,24	1,7	1,95	0,08
Er	2,89	3,23	3,34	2,86	3,14	3,67	2,67	3,26	3,17	2,76	5,88	4,83	4,99	0,27
Tm	0,41	0,44	0,47	0,39	0,42	0,5	0,37	0,45	0,47	0,39	0,83	0,75	0,75	0,04
Yb	2,41	2,55	2,66	2,24	2,36	2,95	2,16	2,61	2,88	2,19	4,78	4,57	4,34	0,26
Lu	0,33	0,37	0,39	0,31	0,33	0,42	0,3	0,37	0,42	0,32	0,68	0,67	0,63	0,04

5.1.2. ELEMENTOS MAYORES

Las rocas analizadas en este estudio exhiben un rango de contenido de SiO₂ (%wt) entre 64,15 y 39,58, y de MgO entre 0,58 y 39,17. Eliminando aquellas rocas que corresponden a intrusivos (Intrusivo de Punta Larga y enclaves ultramáficos), estos rangos se reducen a 59,59-43,39 para el SiO₂ y entre 1,91 y 27,76 para el MgO. Los rangos composicionales para elementos mayores, así como el promedio detallado para cada unidad, se presentan en la Tabla 5.2.

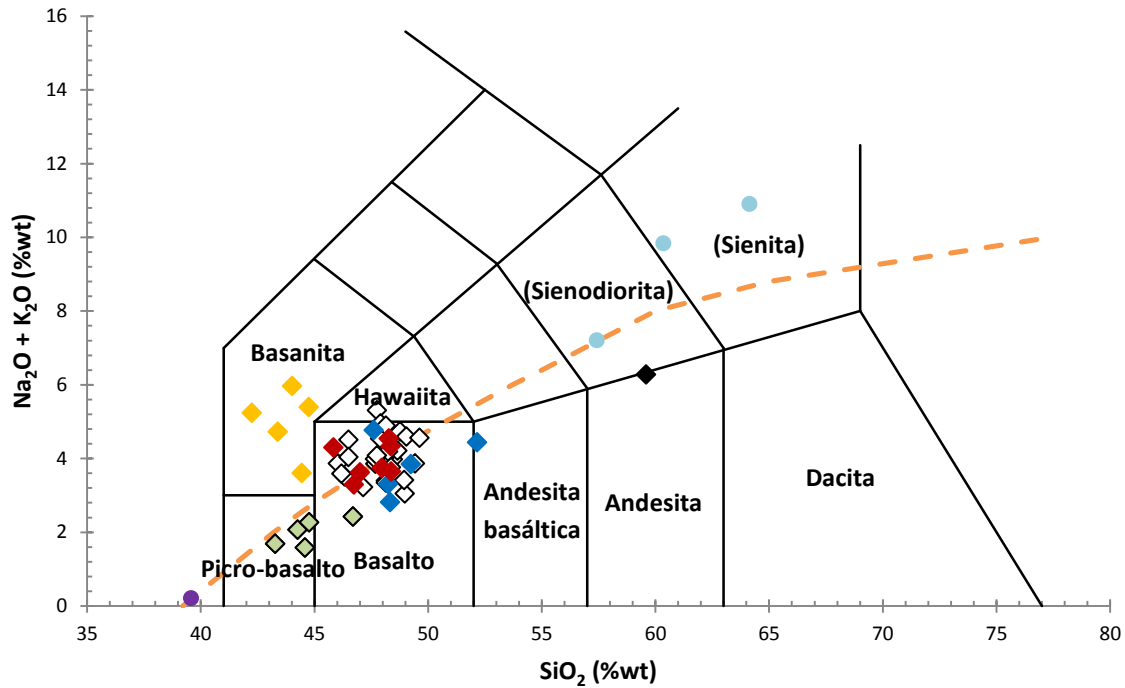
Tabla 5.2. Rangos composicionales para los elementos mayores en rocas de la isla Robinson Crusoe. Se detallan los rangos para la totalidad de rocas ígneas analizadas, solo para rocas volcánicas y subvolcánicas (excluyendo intrusivos y enclaves), y por unidad geológica.

	Isla Robinson Crusoe		Sec. Punta Larga	Secuencia Puerto Ingles	
	Total	Lavas y Diques		Total	Unidad Inferior
SiO ₂	39,58 - 64,15	42,25 - 59,59	47,62 - 52,16 (49,74)	43,28 - 59,59 (47,77)	59,59
TiO ₂	0,22 - 4,77	1,59 - 4,77	2,60 - 4,77 (3,54)	1,59 - 4,51 (3,38)	1,74
Al ₂ O ₃	2,2 - 17,90	6,63 - 17,71	14,32 - 17,71 (15,21)	6,63 - 16,52 (14,36)	15,82
FeO ^T	4,46 - 17,16	7,09 - 14,33	9,42 - 14,33 (11,88)	7,09 - 13,97 (12,19)	7,09
MgO	0,58 - 39,17	1,91 - 10,20	1,91 - 7,01 (5,42)	2,93 - 27,26 (8,70)	2,93
MnO	0,03 - 0,22	0,12 - 0,21	0,12 - 0,21 (0,17)	0,12 - 0,19 (0,17) *	0,12
CaO	0,90 - 13,01	5,22 - 13,01	5,84 - 13,01 (9,58)	5,22 - 10,91 (9,17)	6,05
Na ₂ O	0,19 - 6,33	1,29 - 4,36	2,47 - 4,18 (3,03)	1,29 - 3,93 (2,93)	3,62
K ₂ O	0,03 - 4,58	0,05 - 2,66	0,27 - 1,80 (0,98)	0,05 - 2,66 (0,91)	2,66
P ₂ O ₅	0,03 - 0,74	0,18 - 0,74	0,30 - 0,66 (0,46)	0,18 - 0,74 (0,46)	0,38

	Secuencia Puerto Inglés		Sec. Bahía del Padre	Int. de Punta Larga	Enclaves ultramáficos
	Unidad Media	Unidad Superior			
SiO ₂	43,28 - 49,62 (47,46)	45,84 - 48,38 (47,51)	42,25 - 44,44 (43,36)	57,42 - 64,15 (60,64)	39,58
TiO ₂	1,59 - 4,51 (3,38)	2,69 - 3,93 (3,60)	2,95 - 3,56 (3,27)	0,90 - 2,23 (1,46)	0,22
Al ₂ O ₃	6,63 - 16,52 (14,15)	13,48 - 15,86 (15,11)	13,16 - 14,52 (13,70)	16,72 - 17,90 (17,36)	2,2
FeO ^T	11,36 - 13,97 (12,31)	11,51 - 13,28 (12,38)	11,67 - 13,66 (12,40)	4,46 - 7,91 (6,47)	17,16
MgO	4,48 - 27,26 (9,24)	5,49 - 11,94 (7,06)	10,20 - 11,49 (10,82)	0,58 - 2,33 (1,28)	39,17
MnO	0,15 - 0,19 (0,17) *	0,17 - 0,19 (0,18)	0,21 - 0,22 (0,22)	0,03 - 0,11 (0,08)	0,22
CaO	5,22 - 10,91 (9,15)	9,21 - 10,83 (9,74)	10,90 - 11,16 (11,01)	0,90 - 5,35 (2,99)	1,2
Na ₂ O	1,29 - 3,93 (2,90)	2,54 - 3,50 (2,99)	2,98 - 4,36 (3,75)	6,06 - 6,33 (6,17)	0,19
K ₂ O	0,05 - 1,37 (0,85)	0,75 - 1,11 (0,93)	0,62 - 0,88 (0,78)	1,14 - 4,58 (3,14)	0,03
P ₂ O ₅	0,18 - 0,74 (0,46)	0,35 - 0,61 (0,48)	0,65 - 0,73 (0,69)	0,19 - 0,71 (0,40)	0,03

Según el diagrama TAS ('Total álcalis vs sílice', Le Bas *et al*, 1986 en Le Maitre, 2002), las rocas de la isla Robinson Crusoe corresponden principalmente a basaltos, basanitas y picro-basaltos. En tanto, la afinidad geoquímica fue determinada considerando dos parámetros discriminativos. En primer lugar, utilizando la curva divisoria de los campos alcalino y subalcalino (Irvine y Baragar, 1971 en Rollinson, 1993) para el diagrama TAS (Fig. 5.1). El segundo parámetro considerado fue la norma CIPW, la cual fue calculada considerando las razones FeO/Fe_2O_3 propuestas para cada campo composicional en rocas volcánicas (Middlemost, 1989 en Rollinson, 1993). Si los resultados presentan nefelina normativa, la roca es considerada de afinidad alcalina, en caso contrario se asigna afinidad toleítica. Luego, en caso de que ambos parámetros coincidan en determinar la afinidad de una roca, se asignó a dicha muestra el carácter de alcalina o toleítica según corresponda. En cambio, en caso de generarse discrepancias entre ambos resultados, se recurrió a un tercer parámetro, que corresponde al diagrama de clasificación entre basaltos alcalinos y subalcalinos (Bellieni *et al*, 1983 en Le Maitre, 2002) que discrimina entre afinidad alcalina y toleítica con un campo intermedio denominado 'overlap' (Fig. 5.2.A), que en este estudio fue considerado como indicativo de carácter transicional. Este último parámetro fue utilizado para rocas de la Secuencia Puerto Inglés, donde se generaron incongruencias entre los resultados TAS y de norma CIPW.

La Secuencia Punta Larga está formada por basaltos y andesitas basálticas, mayoritariamente toleíticas (principalmente toleítas de cuarzo, con escasas toleítas de olivino y basaltos alcalinos) y de medio-K (salvo una excepción de bajo-K). Destaca la presencia de una muestra calcoalcalina (LL230711-5) y de otra fuertemente alcalina y shoshonítica (55MT0282). Posee un amplio rango composicional, hecho que, junto a las muestras anómalas mencionadas puede explicarse mediante la fuerte alteración presente en esta secuencia, lo que habría facilitado la removilización y adición de elementos móviles que modifican la composición química original de las rocas.



◆ Punta Larga	◆ Puerto Inglés Inferior	◇ Puerto Inglés Media	◇ Puerto Inglés Alto-Mg
◆ Puerto Inglés Superior	◆ Bahía del Padre	● Intrusivo de Punta Larga	● Enclaves ultramáficos

Figura 5.1. Diagrama de clasificación TAS ('total álcalis vs sílice', Le Bas et al, 1986 en Le Maitre, 2002) para las rocas de la isla Robinson Crusoe según unidad geológica a la cual pertenecen. Se indica la curva divisoria de los campos alcalino y subalcalino (Irvine y Baragar, 1971 en Rollinson, 1993).

La Secuencia Puerto Inglés se divide en 3 unidades que serán tratadas de manera independiente. La unidad Inferior dispone solo de una muestra que corresponde a andesita calcoalcalina de alto-K. Al igual que para la Secuencia Punta Larga, cabe destacar la importante alteración presente en esta unidad, lo que genera un problema al momento de clasificar las rocas que la componen. La unidad Media dispone de la mayor cantidad de muestras analizadas, presentando 2 marcados grupos litológicos: uno correspondiente a basaltos transicionales (46% de muestras toleíticas, 20% transicional y 34% alcalinas) de medio-K (existen escasas muestras alcalinas de alto-K), además de una hawaiiita alcalina (basalto levemente enriquecido en álcalis); y un segundo grupo que se compone de picro-basaltos toleíticos de bajo a medio-K, cuya principal característica es un marcado enriquecimiento en MgO (en adelante grupo de alto Mg). Según la clasificación para rocas de este tipo propuesta por Le Bas (2000) corresponden a picritas y meimequitas. La unidad Superior es composicionalmente más homogénea constituyéndose de basaltos transicionales (43% toleíticas, 43% transicionales y

14% alcalinas) de medio-K con solo una excepción correspondiente a basalto alcalino de alto-K (muestra 28MT0182-A).

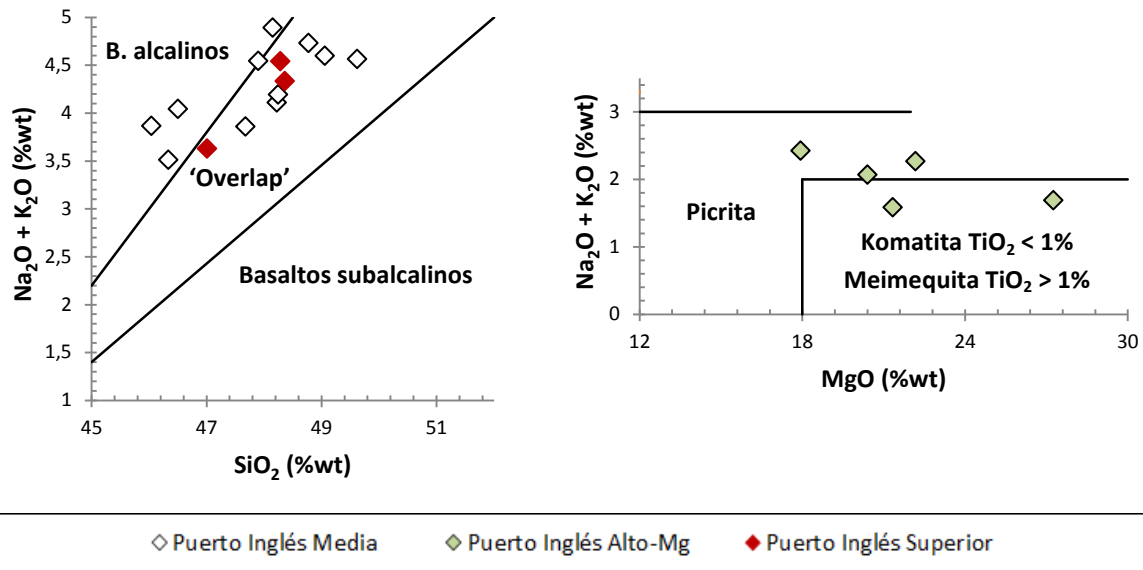


Figura 5.2. Diagramas de clasificación para rocas de la Secuencia Puerto Inglés. (A) Diagrama discriminativo entre basaltos alcalinos y subalcalinos utilizado en la Secuencia Puerto Inglés para rocas con afinidad dispar entre método TAS y norma CIPW (Bellieni et al, 1983 en Le Maitre, 2002). (B) Diagrama de clasificación para rocas de alto Mg de la Secuencia Puerto Inglés, unidad Media, tomado de Le Bas (2000).

La Secuencia Bahía del Padre es, en cuanto a clasificación geoquímica, marcadamente diferente y está constituida exclusivamente por basanitas de medio y alto-K. Destaca la importante presencia de MgO en esta unidad, con valores que rondan un 10% (wt).

El Intrusivo de Punta Larga fue clasificado utilizando el diagrama TAS para rocas intrusivas (Wilson, 1989), del cual se deduce que estas rocas corresponden a sienitas y sienodioritas alcalinas de alto y medio-K. El enclave ultramáfico analizado no fue clasificado en cuanto a su geoquímica debido a la inexistencia de diagramas de clasificación para rocas de sus características, por lo que en este capítulo se conservará su denominación petrográfica de dunita.

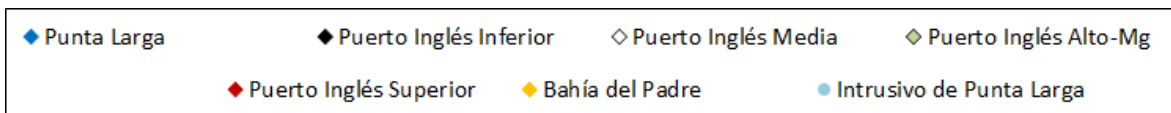
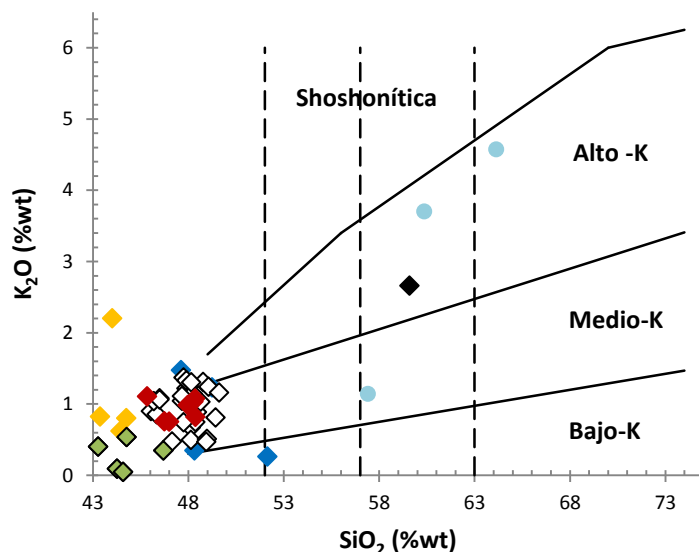
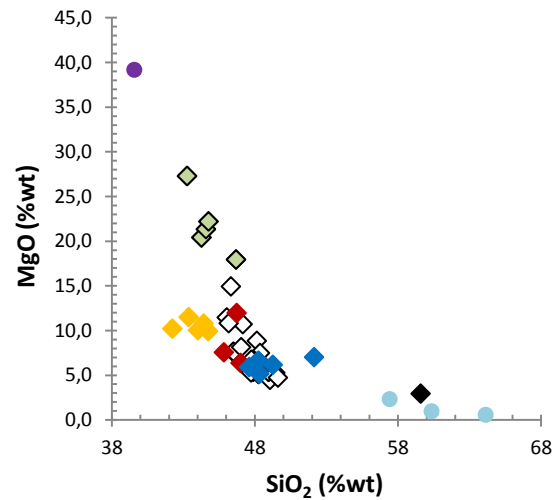
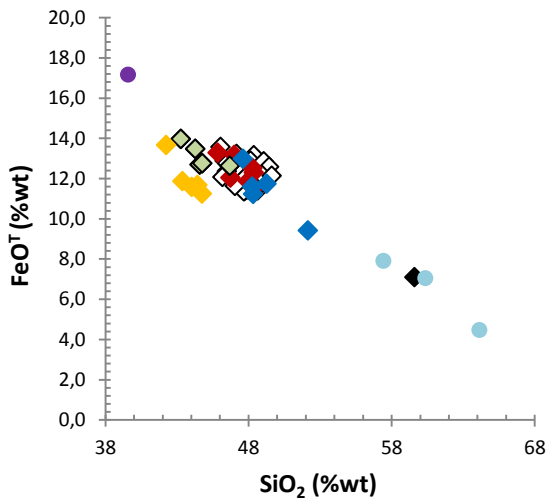
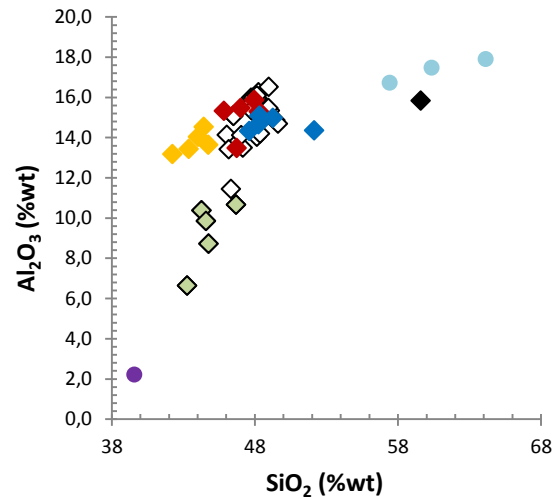
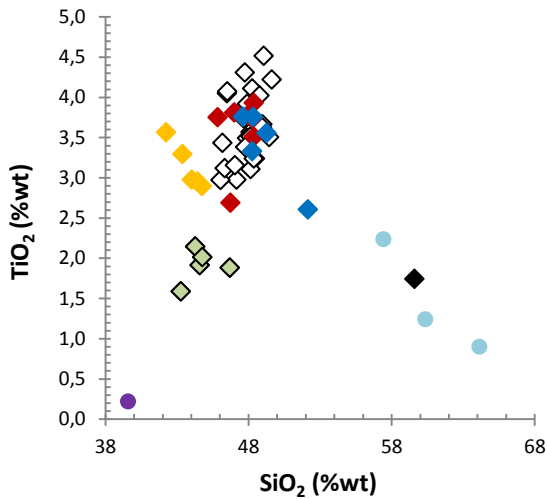
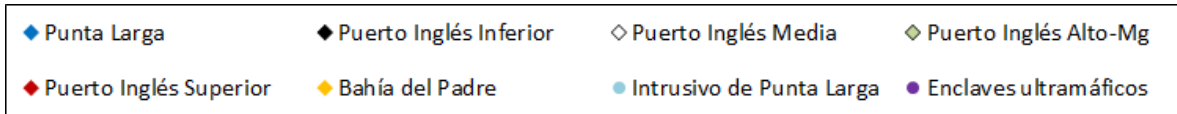


Figura 5.3. Diagrama de sílice versus K_2O para las rocas ígneas de la isla Robinson Crusoe. Los límites se especifican hasta un contenido de SiO_2 de 48% debido a que no son definidos para valores inferiores. Los límites entre los campos bajo, medio y alto-K fueron tomados de Le Maitre (2002), y el del campo shoshonítico de Peccerillo y Taylor (1976).

Los diagramas de variación con respecto a SiO_2 (Fig. 5.4) son exhibidos para apreciar los contenidos de elementos mayores y, realizar rápidas comparaciones entre las distintas unidades. No es posible establecer tendencias evolutivas toda vez que la relación cogenética entre estas unidades no está demostrada. Considerando solo las secuencias volcánicas presentes en la isla (y excluyendo las muestras pertenecientes al grupo de alto Mg), las lavas alteradas de la Secuencia Punta Larga poseen los valores relativos más altos de CaO y más bajos de FeO^T , MgO y P_2O_5 . En tanto, los basaltos transicionales de la Secuencia Puerto Inglés presentan los mayores contenidos promedios de TiO_2 , Al_2O_3 y K_2O junto a las menores concentraciones relativas en MnO . Finalmente, las basanitas de la Secuencia Bahía del Padre exhiben los mayores contenidos de FeO^T , MgO , MnO , Na_2O y P_2O_5 ; y menores de TiO_2 y Al_2O_3 . En estas unidades se aprecian marcados enriquecimientos en Al_2O_3 y Na_2O (menos claro para K_2O) conforme aumenta el contenido en sílice. Por el contrario, para el FeO^T , MgO y MnO se observa un notorio empobrecimiento a mayor contenido de SiO_2 . Para el TiO_2 , CaO y P_2O_5 no se aprecian correlaciones claras dentro de las secuencias volcánicas lo que dificulta la determinación de un comportamiento sistemático en estos elementos (por ejemplo, para TiO_2 se sugiere empobrecimiento a mayores contenidos de SiO_2 en la Secuencia Bahía del Padre, contrario a la Secuencia

Puerto Inglés, donde parece existir una tendencia al enriquecimiento progresivo de este óxido). Los comportamientos descritos sugieren la participación de cristalización fraccionada de diversas fases minerales como olivino, clinopiroxeno, plagioclasa y óxidos de Fe-Ti.



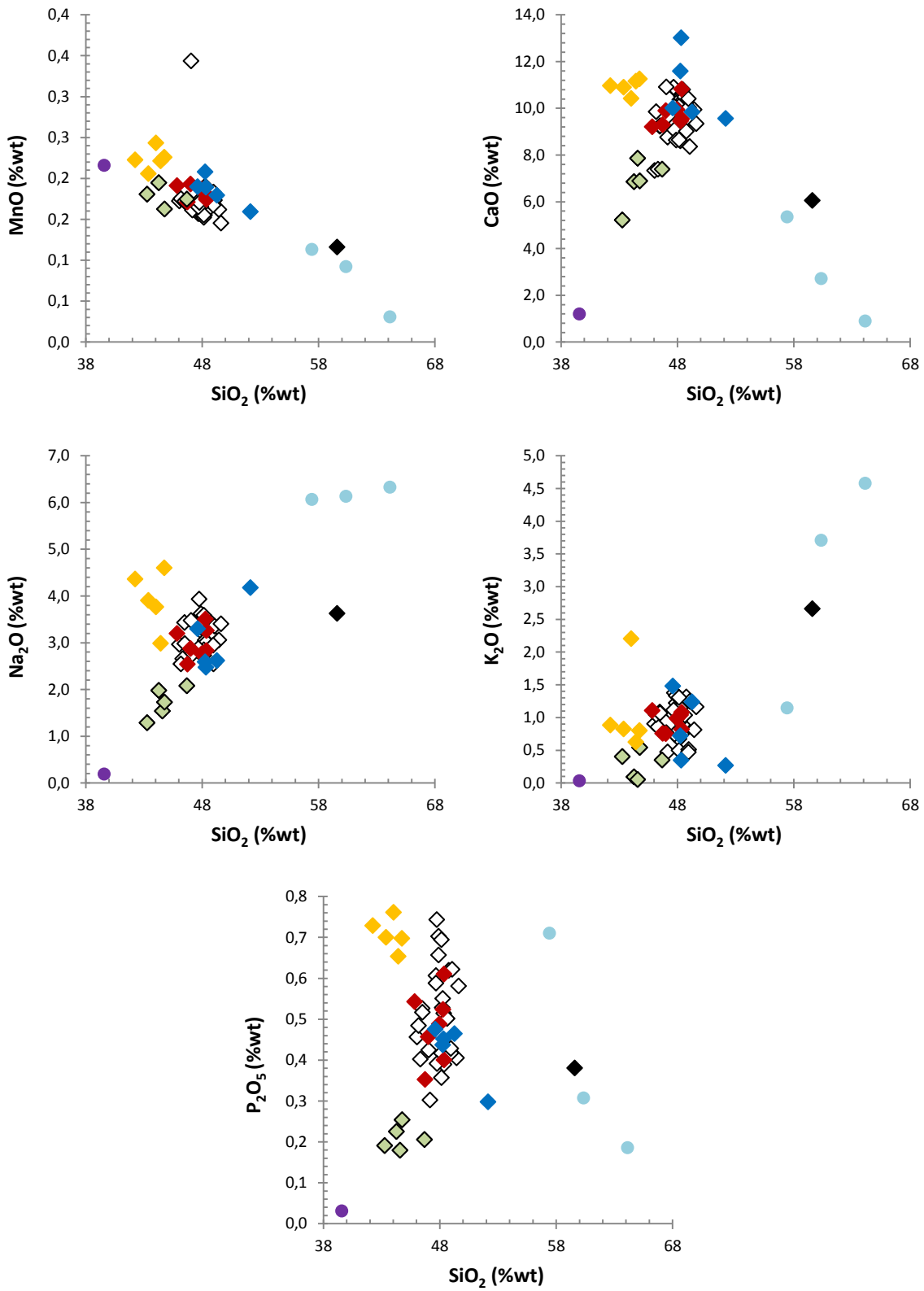


Figura 5.4. Diagramas Harker de variación de elementos mayores versus sílice para rocas ígneas de la isla Robinson Crusoe.

El grupo de alto Mg se caracteriza por un fuerte enriquecimiento en MgO y FeO^T, junto a notorios empobrecimientos en TiO₂, Al₂O₃, CaO, K₂O y P₂O₅ (Fig. 5.5). En tanto, las sienitas y sienodioritas del Intrusivo de Punta Larga se encuentran enriquecidas en Na₂O y K₂O, y fuertemente empobrecidas en FeO^T, MgO, TiO₂, CaO y P₂O₅ (Fig. 5.4). Mientras que el enclave ultramáfico es muy rico en MgO y FeO^T, con concentraciones muy empobrecidas en TiO₂, Al₂O₃, CaO, Na₂O, K₂O y P₂O₅ (Fig. 5.5). Esta composición posee características muy cercanas a las de un cristal de olivino rico en forsterita típico (~Fo₈₀).

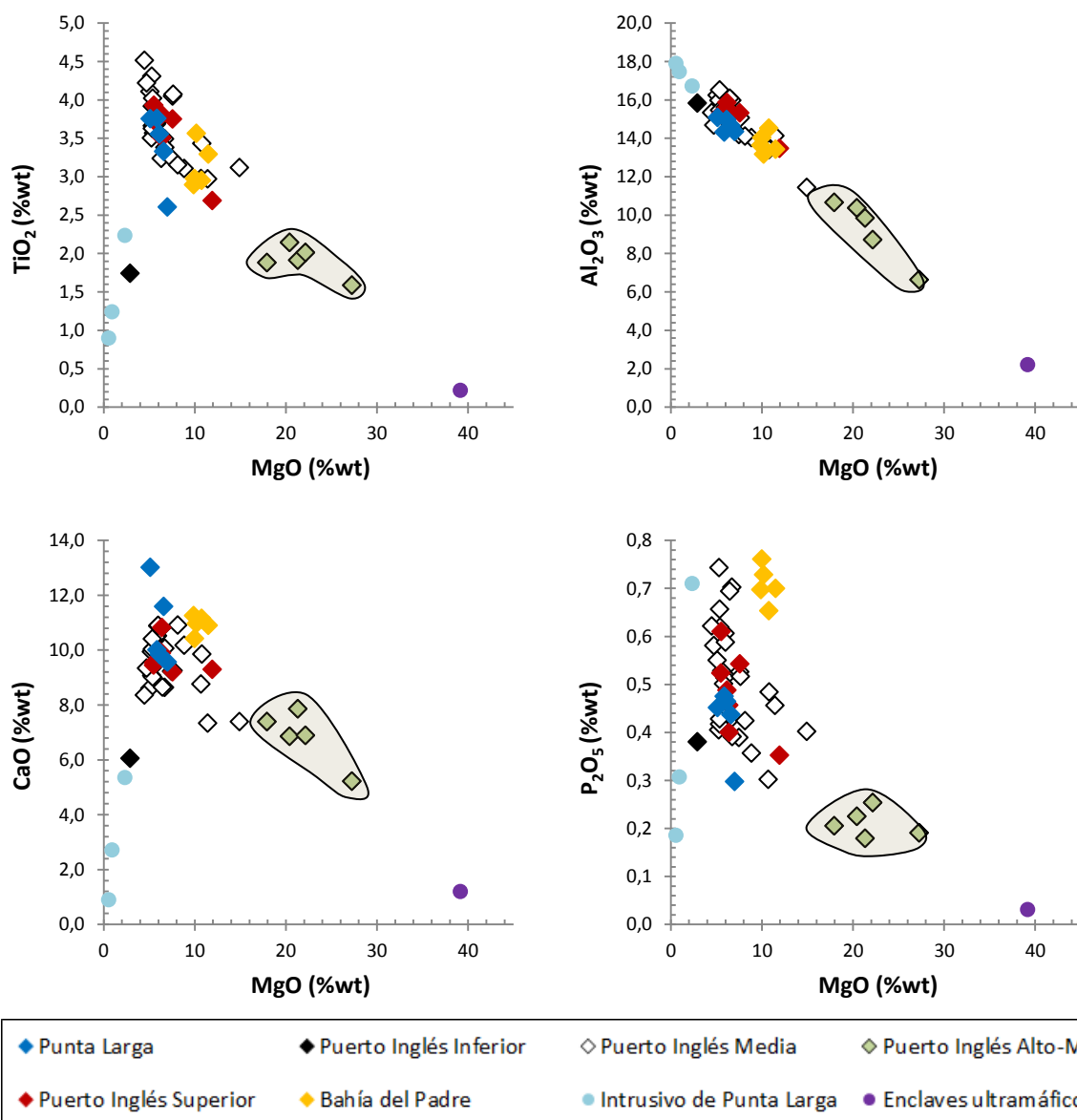


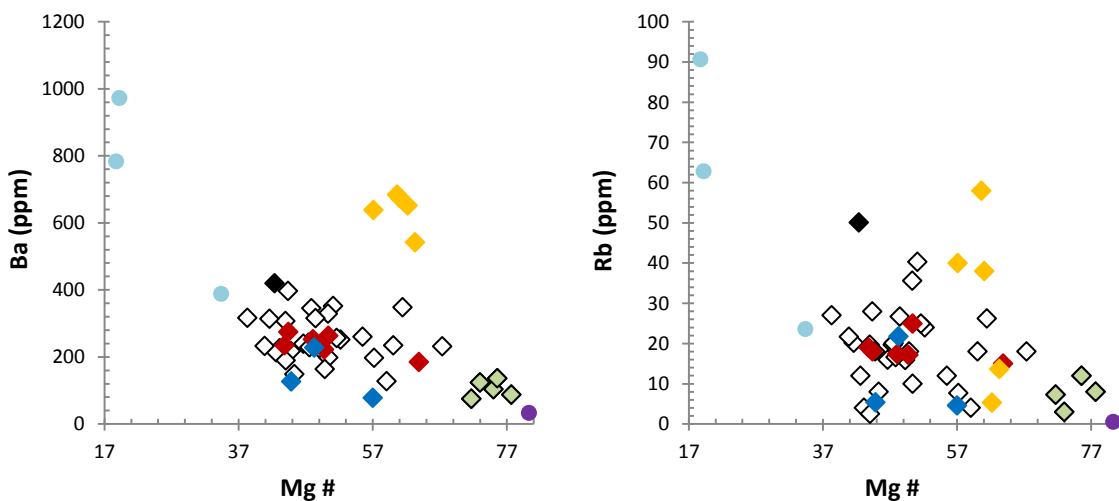
Figura 5.5. Diagramas de variación de TiO₂, Al₂O₃, CaO y P₂O₅ vs MgO para rocas ígneas la isla Robinson Crusoe. El campo gris representa al conjunto de alto Mg de la unidad Media de la Secuencia Puerto Inglés.

Cabe mencionar la importante presencia de Ti (entre 2,5 y 4,5%) en la totalidad de rocas volcánicas presentes en la isla; hecho común dentro de rocas alcalinas (y transicionales); pero escaso en basaltos toleíticos y que permite denominar a los basaltos toleíticos de las secuencias Punta Larga y Puerto Inglés como basaltos toleíticos (o toleítas) de alto Ti.

5.1.3. ELEMENTOS TRAZA

Para facilitar la descripción, esta se realizará agrupando elementos cuyo comportamiento geoquímico es similar. Estos conjuntos corresponden a LILE (*'large ion lithophile elements'*) formado por Ba, Rb y Sr; HFSE (*'high field strength elements'*) por Nb, Ta, Zr, Hf, Y, Th y REE; y elementos de transición por Ni, Co, Cr, V, Sc y Ga.

Se presenta el contenido de elementos traza versus el número magnesiano ($MgO/[MgO+FeO^T]$), seleccionado como indicador de diferenciación por sobre el SiO₂, debido a la poca variación de este parámetro entre las rocas de la isla Robinson Crusoe (particularmente entre las secuencias volcánicas). En primera instancia solo fueron realizadas comparaciones entre las secuencias volcánicas, con el objetivo de eliminar los valores extremos introducidos por las rocas del Intrusivo de Punta Larga y enclaves ultramáficos.



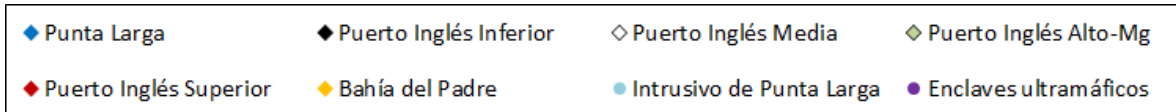
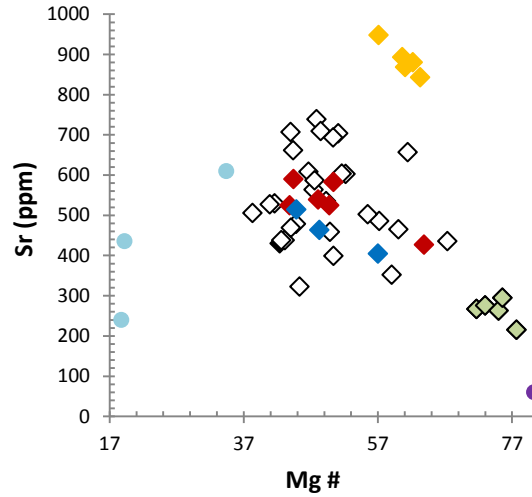
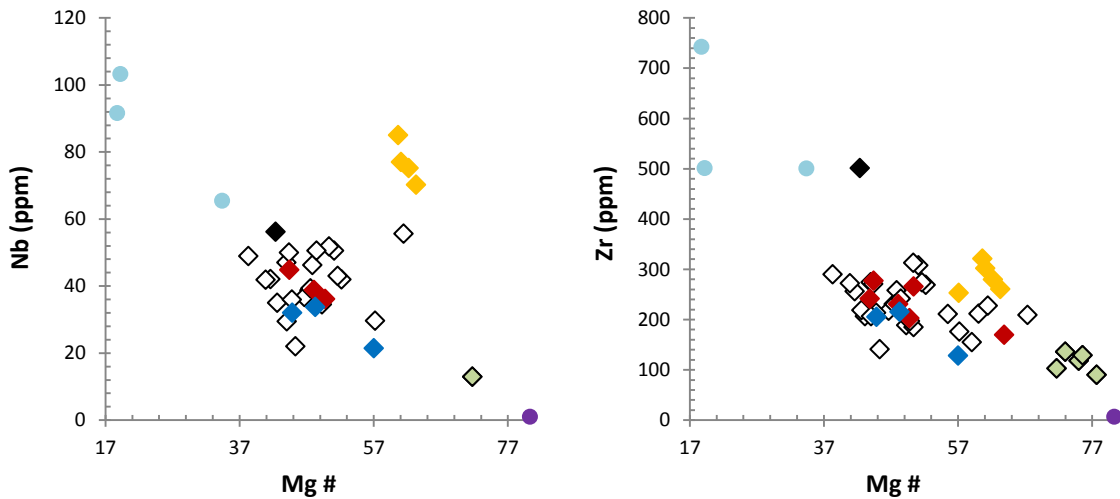
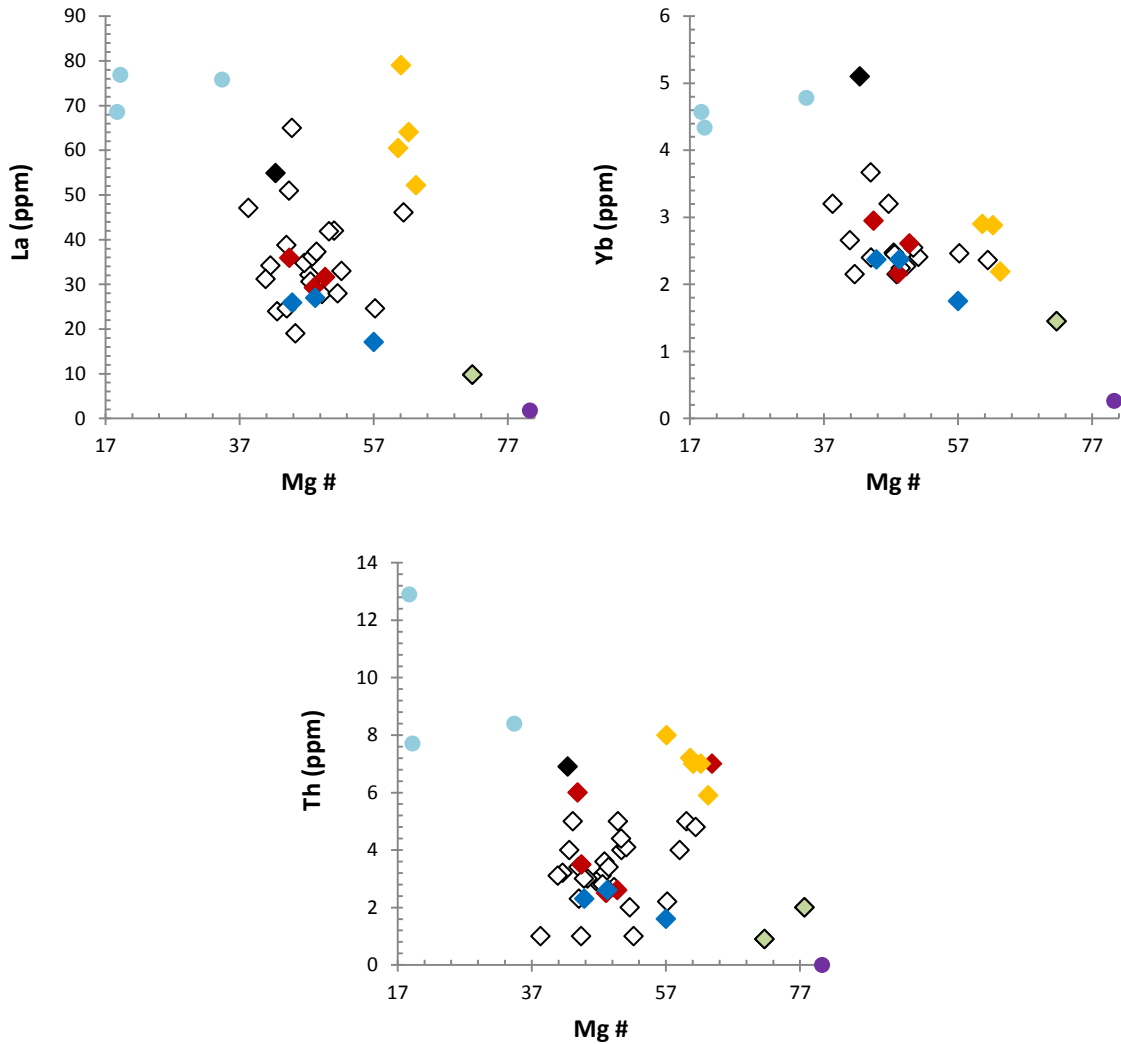


Figura 5.6. Diagramas de variación de elementos LIL ('large ion lithophile'): Ba, Rb y Sr; versus número magnesiano (Mg #) para rocas ígneas de la isla Robinson Crusoe.

La Secuencia Punta Larga posee las concentraciones promedio de LILE y HFSE más bajas entre las secuencias volcánicas de la isla (Fig. 5.6 y 5.7; exceptuando el grupo de alto Mg de la Secuencia Puerto Inglés). En tanto, dentro de los elementos de transición, se aprecian bajos valores en Ni, Cr y Co, y valores relativos medios en V, Sc y Ga (Fig. 5.8).

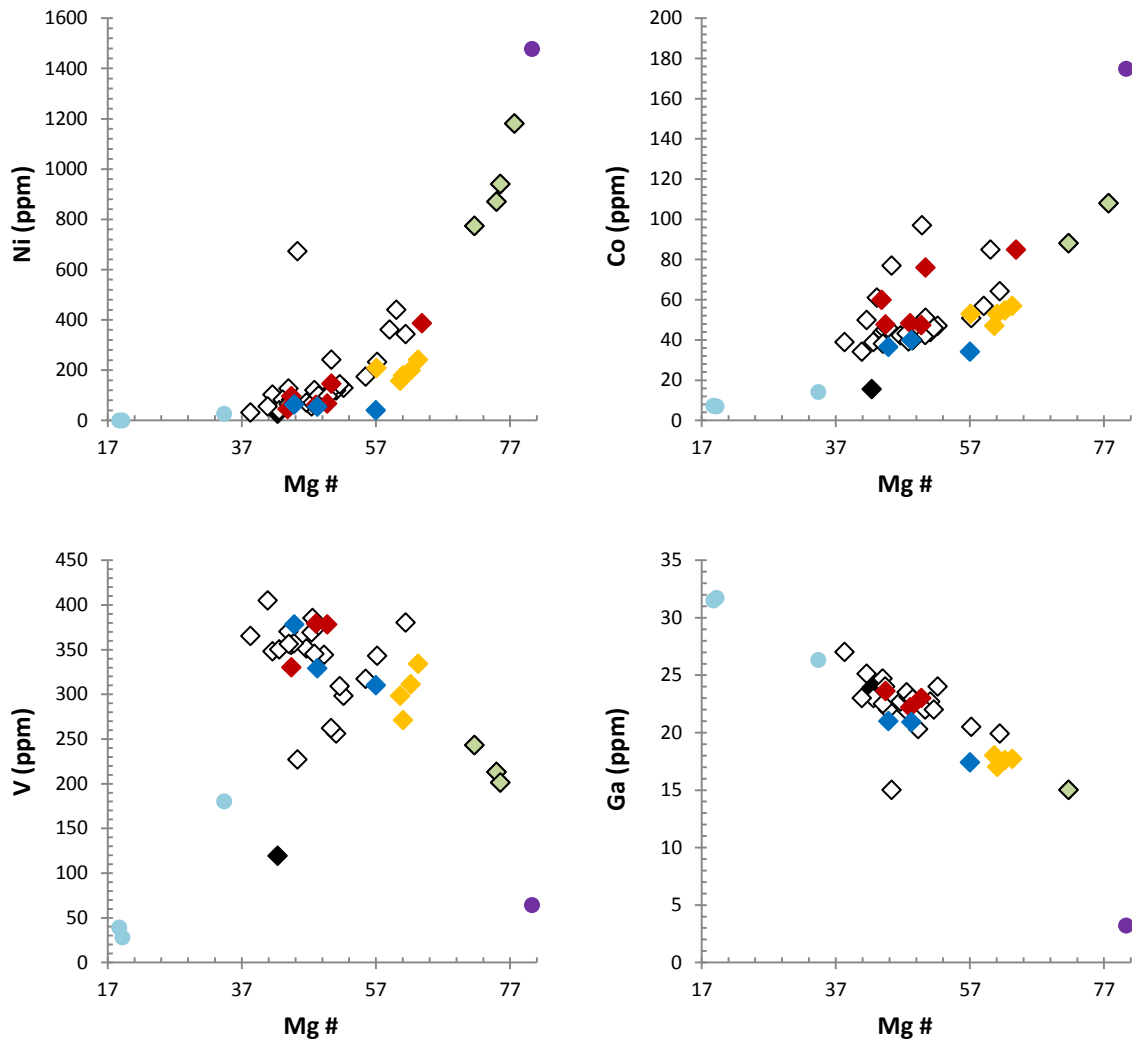




◆ Punta Larga ◆ Puerto Inglés Inferior ◇ Puerto Inglés Media ◇ Puerto Inglés Alto-Mg
 ◆ Puerto Inglés Superior ◆ Bahía del Padre ● Intrusivo de Punta Larga ● Enclaves ultramáficos

Figura 5.7. Diagramas de variación de HFSE ('high field strenght elements'): Nb [Ta], Zr [Hf, U y Y], La [LREE], Yb [HREE] y Th; versus número magnesiano (Mg #) para rocas ígneas de la isla Robinson Crusoe. En paréntesis cuadrados se indican elementos con comportamiento geoquímico muy similar al elemento precedente, por lo que su gráficos fueron omitidos.

La alta disponibilidad de datos permite analizar tendencias evolutivas dentro de la Secuencia Puerto Inglés, cuyas muestras; en general; presentan concentraciones intermedias entre las secuencias Punta Larga y Bahía del Padre. En sus unidades Media y Superior, esta secuencia muestra una tendencia al aumento del contenido de LILE a mayores valores del número magnesiano, principalmente visible en el comportamiento de Ba y Sr (tendencia dudosa para el Rb debido a la dispersión de los datos; Fig. 5.6). En los HFSE se aprecia un marcado enriquecimiento en rocas más diferenciadas, especialmente notable en el Zr, Hf, Th, U e Y (Fig. 5.7).



◆ Punta Larga ◆ Puerto Inglés Inferior ◇ Puerto Inglés Media ◇ Puerto Inglés Alto-Mg
 ◆ Puerto Inglés Superior ◆ Bahía del Padre ● Intrusivo de Punta Larga ● Enclaves ultramáficos

Figura 5.8. Diagramas de variación de elementos de transición, Ni [Cr], Co, V [Sc] y Ga, versus número magnesiano (Mg #) para rocas ígneas de la isla Robinson Crusoe. En paréntesis cuadrados se indican elementos con comportamiento geoquímico muy similar al elemento precedente, por lo que su gráficos fueron omitidos.

Para los elementos de transición se observa enriquecimiento en Ni, Cr y Co; junto a empobrecimiento en V, Sc y Ga en rocas más diferenciadas. En tanto, el grupo de alto Mg presenta los menores valores de LILE, HFSE, V, Sc y Ga entre todas las rocas volcánicas analizadas, junto a fuertes enriquecimientos en Ni, Cr y Co (elementos fuertemente compatibles en olivino). Finalmente, la andesita de la Unidad Inferior destaca por sus altos valores de LILE y HFSE (los más altos entre todas las rocas volcánicas), que evidencian su naturaleza mas diferenciada. En los elementos de transición posee concentraciones similares al resto de rocas de la

secuencia, con excepción en V y Sc, donde exhibe valores considerablemente inferiores. Este comportamiento nuevamente sugiere (al igual que para elementos mayores) fraccionamiento de fases como olivino, clinopiroxeno y plagioclasa.

Las basanitas de la Secuencia Bahía del Padre poseen altos valores de LILE, con marcados enriquecimientos en Ba y Sr (Fig. 5.6). Algunos HFSE, particularmente Nb y Ta presentan enriquecimientos relativos muy notorios, que también son apreciables, en menor grado, para Zr, Hf, Th, Y, U y LREE (Fig. 5.7). Los valores de HREE no muestran mayores diferencias respecto al resto de secuencias analizadas. En el caso de los elementos de transición, se observan valores relativos levemente superiores en Ni, Cr y Co; similares en V y Sc; y levemente inferiores en Ga (Fig. 5.8; exceptuando el grupo de alto Mg de S. Puerto Inglés).

Las sienitas y sienodioritas del Intrusivo de Punta Larga poseen altos valores de LILE y HFSE (Figs. 5.6 y 5.7), y muy bajos de elementos de transición (con la excepción de Ga, que exhibe los valores más altos entre todas las rocas consideradas en el estudio). Por otra parte, el enclave ultramáfico dunítico posee valores muy bajos de LILE, HFSE, V, Sc y Ga; junto a los mayores valores analizados en elementos de transición compatibles al olivino como Cr, Ni y Co.

5.1.4. TIERRAS RARAS

Los patrones de tierras raras (REE) poseen similar apariencia para las distintas unidades geológicas presentes en la isla Robinson Crusoe, exhibiendo mayores diferencias entre ellas en la concentración de tierras raras livianas (LREE). Mientras que los valores de tierras raras pesadas (HREE) presentan un rango bastante más acotado.

Los basaltos toleíticos de alto Ti de la Secuencia Punta Larga muestran un patrón con pocas variaciones internas (Fig. 5.9), marcadamente enriquecido con respecto al N-MORB y con valores La/Yb entre 9,77 y 11,39, y un promedio de 10,70. Destaca el empobrecimiento para todas las REE en la muestra LL230711-5 que, sin embargo, mantiene la apariencia del resto de la secuencia. Por otra parte, no se aprecian anomalías de Eu (Fig. 5.10.C) ni en otros elementos analizados.

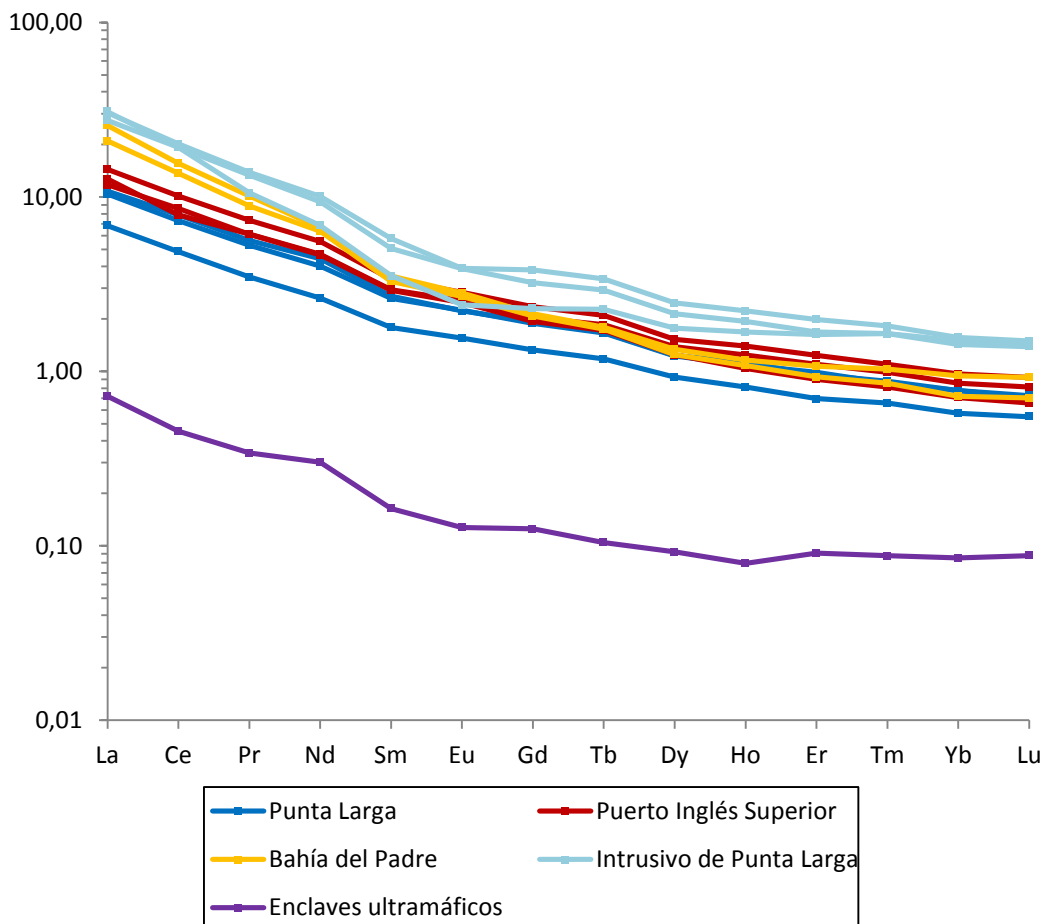


Figura 5.9. Diagrama de concentración de REE normalizado al N-MORB (McDonough y Sun, 1989) para las rocas de la Secuencia Punta Larga, unidad Superior de la Secuencia Puerto Inglés, Secuencia Bahía del Padre y las unidades Intrusivo de Punta Larga y enclaves ultramáficos.

Las unidades Inferior y Media de la Secuencia Puerto Inglés presentan diagramas de concentración de REE que reflejan un importante enriquecimiento en todas las REE con respecto al N-MORB (Fig. 5.11). En particular, la unidad Media exhibe amplios rangos composicionales, estableciéndose como la unidad con mayor concentración de HREE. Esta variabilidad (exceptuando el grupo de alto Mg), se refleja en la razón La/Yb con valores entre 10,00 y 19,53 Y un promedio de 13,91. Sin embargo, separando por grupos en base a la afinidad geoquímica de cada roca, ciertas deferencias pueden ser visualizadas. Por ejemplo, el parámetro La/Yb posee valores promedio de 12,01 para los basaltos toleíticos, 13,84 para basaltos transicionales y 15,99 para basaltos alcalinos, pudiendo establecer una clara tendencia al enriquecimiento de LREE a medida que aumenta la alcalinidad de las muestras analizadas (esto último desprendido de la mineralogía presente y enriquecimiento en elementos incompatibles). No se aprecian discontinuidades

importantes (como anomalía de Eu, Fig. 5.10.C), salvo un leve enriquecimiento generalizado en Nd.

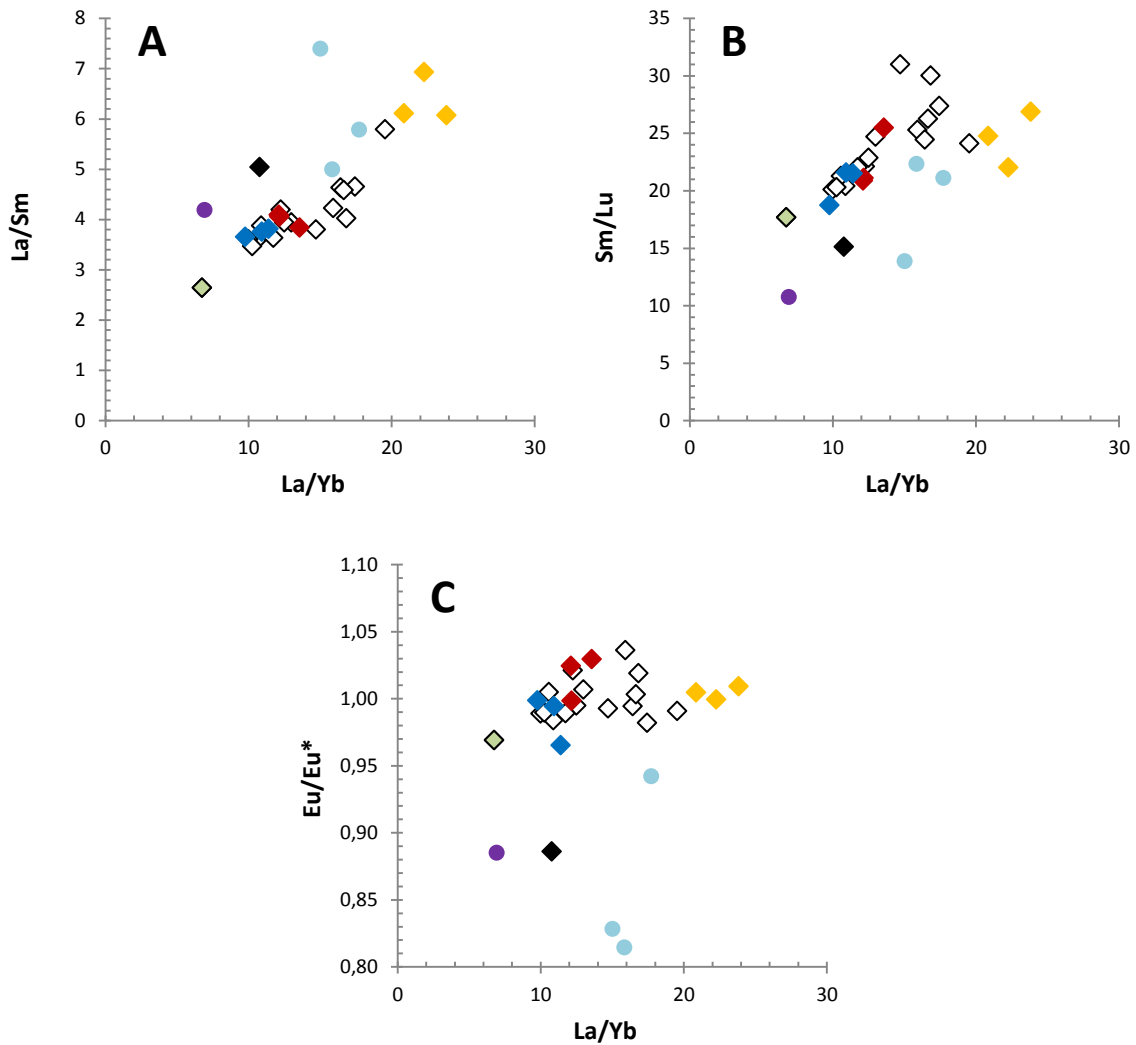


Figura 5.10. Diagramas de variación de razones de REE versus pendiente La/Yb . (A) La/Sm indicativo de pendiente para LREE. (B) $(Sm/Yb)_N$ indicativo de pendiente para HREE. (C) Eu/Eu^* indicador de anomalía de europio, valores notoriamente distintos de 1,00 indican anomalías ya sea positivas o negativas.

Valores anómalos en relación al resto de la secuencia se presentan en la muestra de la unidad Inferior (andesita) y en el grupo de alto Mg de la unidad Media (picritas) (Fig. 5.11). Para ambos casos, la apariencia del diagrama es similar al del resto de las muestras (prácticamente paralelo, donde el valor 10,76 para la

razón La/Yb no cambia dramáticamente en relación a la unidad Media), existiendo un aumento para la unidad Inferior en la concentración de todas las REE junto a leve anomalía negativa de Eu. En tanto, las rocas del grupo de alto Mg presentan valores La/Yb de 6,76, especialmente bajos en el segmento de tierras raras livianas, cuya pendiente es la más baja entre todas las rocas estudiadas de la isla Robinson Crusoe (Fig. 5.10.A).

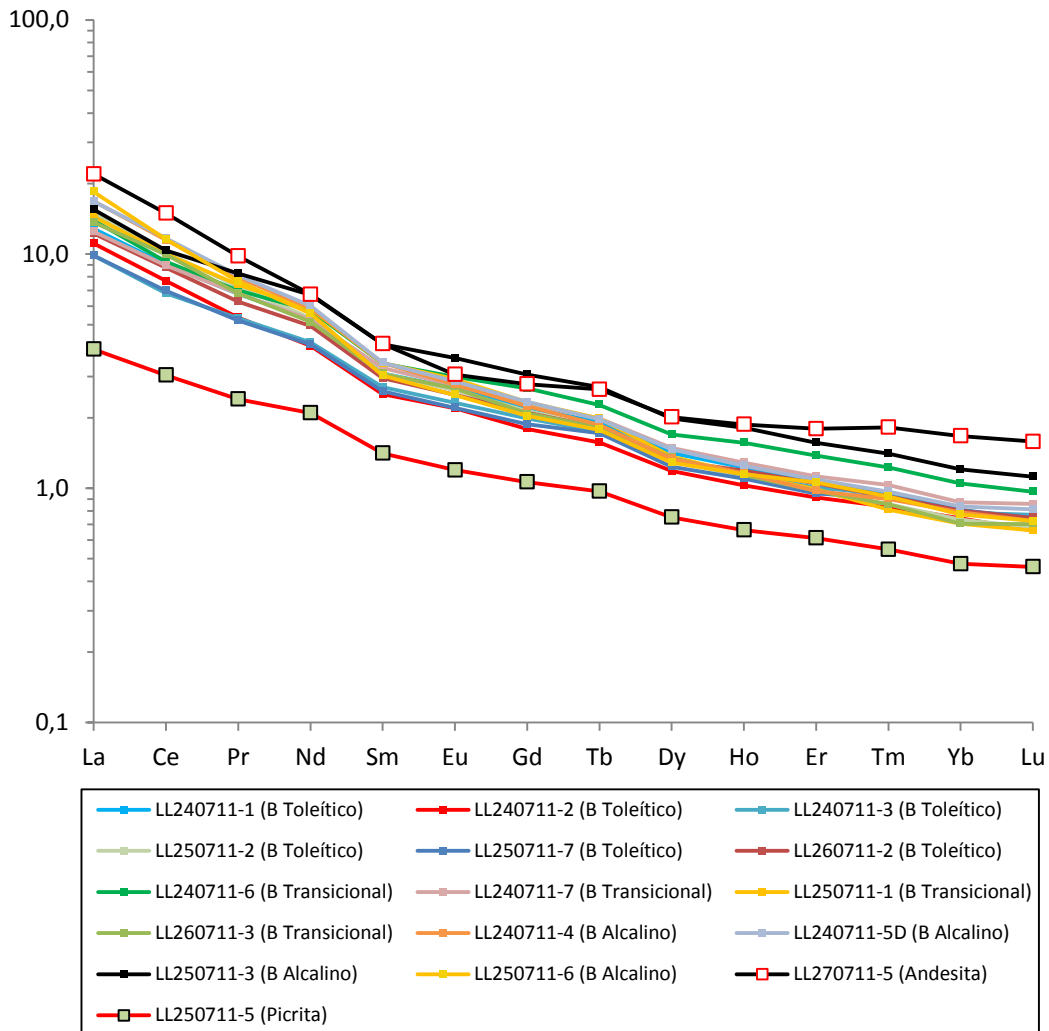


Figura 5.11. Diagrama de concentración de REE normalizado al N-MORB (Sun y McDonough, 1993) para las rocas de la unidad Inferior y Media de la Secuencia Puerto Inglés. Se destacan las muestras correspondientes a andesita (unidad Inferior) y picrita (grupo alto-Mg). Se indica la litología correspondiente y su afinidad geoquímica en la leyenda.

La unidad Superior de Puerto Inglés y la Secuencia Bahía del Padre también muestran fuertes enriquecimientos en REE con respecto al N-MORB (Fig. 5.9). Ambos grupos, internamente, poseen concentraciones muy uniformes caracterizándose el primero de éstos por valores La/Yb entre 12,11 y 13,56 con

promedio 12,61, cifras muy similares a la unidad Media de la misma secuencia. Este hecho, junto a la similitud geoquímica generalizada entre ambos conjuntos, sugiere procesos similares en la petrogénesis de ellas. En tanto, las basanitas de la Secuencia Bahía del Padre poseen los más altos valores en LREE dentro de las rocas volcánicas de la isla Robinson Crusoe (reflejado en la razón La/Sm; Fig. 5.10.A), lo que genera altos valores La/Yb que van desde 20,86 a 23,84, con promedio 22,32. Por otro lado, las HREE poseen valores similares al resto de secuencias (visible en la razón Sm/Lu; Fig. 5.10.B), sin que se pueda establecer un enriquecimiento o empobrecimiento relativo. Ambas unidades no exhiben comportamientos anómalos significativos en los elementos analizados.

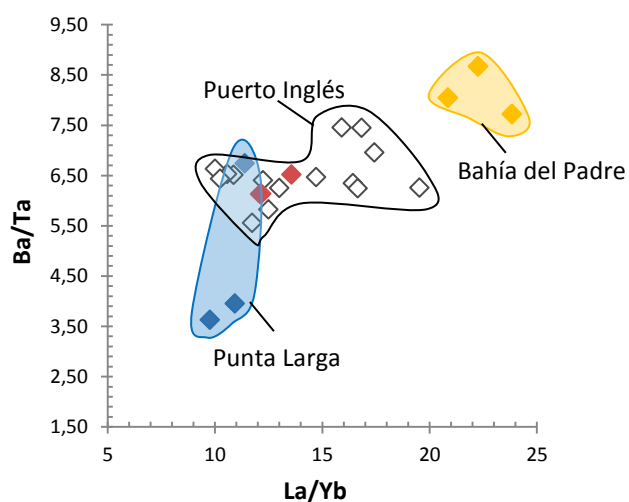


Figura 5.12. Diagrama de variación de pendiente de REE (La/Yb) versus índice de alcalinidad (Ba/Ta) para las distintas secuencias volcánicas presentes en la isla Robinson Crusoe. Se exceptuaron las muestras del grupo de alto Mg y unidad Inferior de la Secuencia Puerto Inglés, debido a los intensos procesos de diferenciación a los que han sido sometidas.

Las rocas volcánicas de la isla Robinson Crusoe exhiben una clara tendencia al enriquecimiento de LREE a medida que aumenta la alcalinidad de las secuencias. Esto, en conjunto a la similitud en concentraciones de HREE para la totalidad de muestras, generan mayores valores para la pendiente del patrón en rocas alcalinas, reflejados en valores ascendentes de La/Yb a mayores valores de Ba/Ta (razón indicadora de enriquecimiento en LILE, por lo que puede considerarse como índice de alcalinidad; Fig. 5.12). Luego, las cifras más bajas se presentan en la Secuencia Punta Larga, de afinidad toleítica (La/Yb=10,70), seguida de las rocas transicionales de Puerto Inglés (La/Yb=13,69; interiormente también presenta esta tendencia al enriquecimiento en rocas alcalinas) y finalmente, los

valores más altos se exhiben en la Secuencia Bahía del Padre, compuesta exclusivamente de basanitas ($La/Yb=22,32$).

Las sienitas y sienodioritas del Intrusivo de Punta Larga poseen los más altos valores en la concentración de REE entre todas las rocas analizadas. La apariencia del patrón para esta unidad es similar al de las rocas volcánicas (Fig. 5.9), con valores de la razón La/Yb que fluctúan entre 15,01 y 17,72 (promedio 16,20). Además, es posible observar una notoria anomalía negativa de Eu (Fig 5.9 y Fig. 5.10.C). A su vez, la muestra correspondiente a enclave ultramáfico posee un patrón anómalo en relación al resto de unidades, con valores de LREE y HREE empobrecidos con respecto al N-MORB, (Fig. 5.9), constituyéndose como el grupo más pobre en REE con valor La/Yb de 6,92.

6. DISCUSIÓN

6.1. CRISTALIZACIÓN FRACCIONADA Y/O ACUMULACIÓN

Las características petrográficas de las rocas volcánicas de la isla Robinson Crusoe permiten interpretar la participación de al menos dos periodos de cristalización. Una primera etapa caracterizada por la formación de escasos fenocristales de clinopiroxeno, olivino, y ocasionalmente plagioclasa. Y una segunda etapa, en presencia de condiciones de enfriamiento rápidas que formaron la masa fundamental de estas rocas, en general, rica en plagioclasa y clinopiroxeno. La presencia de zonaciones es un fenómeno habitual observado en cristales de plagioclasa y ocasionalmente clinopiroxeno, que sugiere la participación de procesos magmáticos capaces de modificar la composición química de estas rocas.

En este sentido, los gráficos de variación geoquímica expuestos en el Capítulo 5: 'Geoquímica de las rocas ígneas de la isla Robinson Crusoe' presentan el comportamiento de diversos elementos químicos en la serie de rocas de la isla Robinson Crusoe. En particular, las tendencias reflejadas por el Ca, Mg, Ti, V, Sr, Sc y Ni entre otros, sugieren que la acumulación de cristales y/o cristalización fraccionada corresponden a procesos importantes dentro de la evolución magmática en las rocas analizadas.

El diagrama expuesto en la Fig. 6.1.A muestra una marcada tendencia de enriquecimiento en Ni para un conjunto de muestras de la unidad Media de la Secuencia Puerto Inglés. El conjunto mencionado corresponde al denominado grupo de alto Mg (que también exhibe notorios enriquecimientos en Co y Cr), caracterizado por la abundancia de fenocristales de olivino (hasta 35% de la roca total; Fig. 6.1.B), luego, considerando la alta compatibilidad del Ni en olivino para líquidos de composición básica, se propone la acumulación de cristales de olivino como proceso capaz de explicar este enriquecimiento. La formación *in situ* de todos estos cristales queda descartada toda vez que la composición química típica de este conjunto de rocas presenta valores muy altos de MgO (incluso por sobre el 20%) que no representan la composición de un líquido magmático. Cabe destacar que este fenómeno no es exclusivo de la unidad Media de la Secuencia Puerto Inglés, ya que rocas de la isla Alejandro Selkirk también exhiben esta tendencia (rocas ricas en olivino descritas en Quensel, 1920; Baker *et al*, 1987 y Farley *et al*, 1993), lo que sitúa a la acumulación de olivino como un proceso recurrente para algunas unidades geológicas de la Dorsal de Juan Fernández.

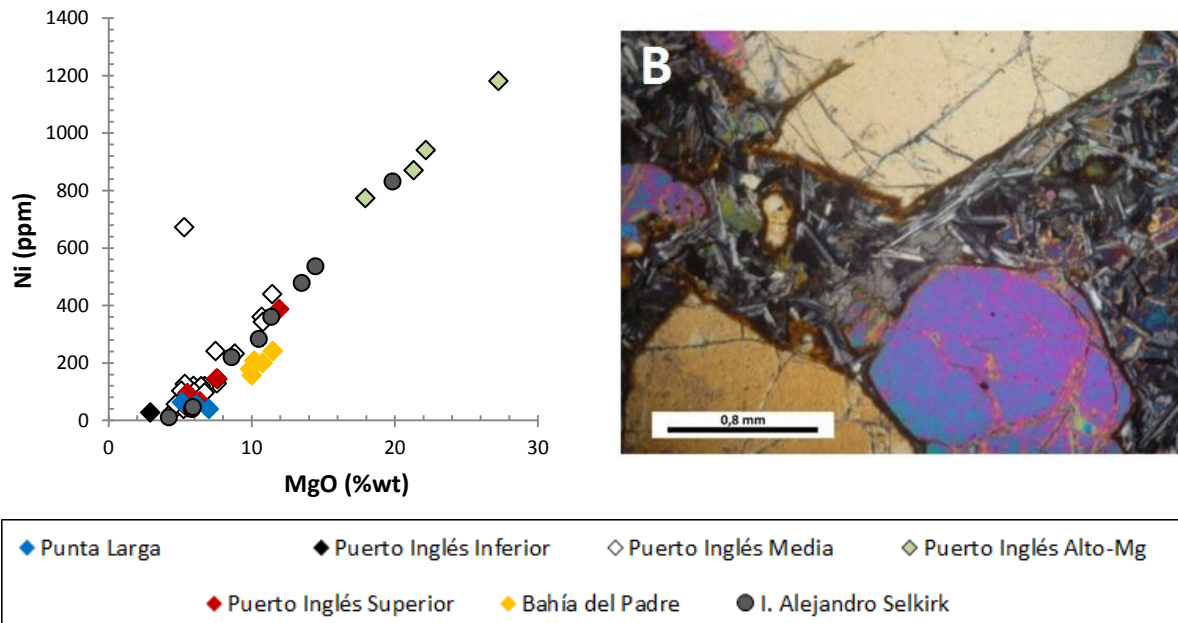


Figura 6.1. Evidencias de acumulación de olivino para el grupo de rocas con alto-Mg de la unidad Media de la Secuencia Puerto Inglés (e isla Alejandro Selkirk). (A) Diagrama de MgO vs Ni exhibiendo tendencia al enriquecimiento en Ni para rocas ricas en Mg cuya formación se interpreta mediante la acumulación de cristales de olivino. (B) Sección delgada de la muestra LL250711-5 representativa del grupo de rocas de alto-Mg formadas por acumulación de olivino.

La tendencia exhibida por la concentración de Ca en esta serie de rocas indica un fuerte y marcado fraccionamiento de este elemento, el que, en base a las mineralogías observadas, podría ocurrir mediante cristalización fraccionada de clinopiroxeno y/o plagioclasa. Para el primer mineral, se analizan los comportamientos de Sc y V (Fig. 6.2), dos elementos con altos coeficientes de distribución en clinopiroxeno y muy bajos en plagioclasa. Se observa una clara tendencia al empobrecimiento de estos elementos conforme disminuye el contenido de CaO en las rocas transicionales de la Secuencia Puerto Inglés. Este comportamiento no es observado en el resto de las secuencias (solo muy levemente para Bahía del Padre en Sc y escasamente para Punta Larga), luego, el fraccionamiento de clinopiroxeno sería un proceso factible en la Secuencia Puerto Inglés que permite explicar las variaciones composicionales internas en este conjunto de rocas. Este proceso ha sido previamente reportado para los montes submarinos Friday y Domingo (Devey *et al*, 2000; cuyas tendencias se encuentran expuestas como líneas punteadas en la Fig. 6.2), conjuntos volcánicos recientes que forman parte de la Dorsal de Juan Fernández.

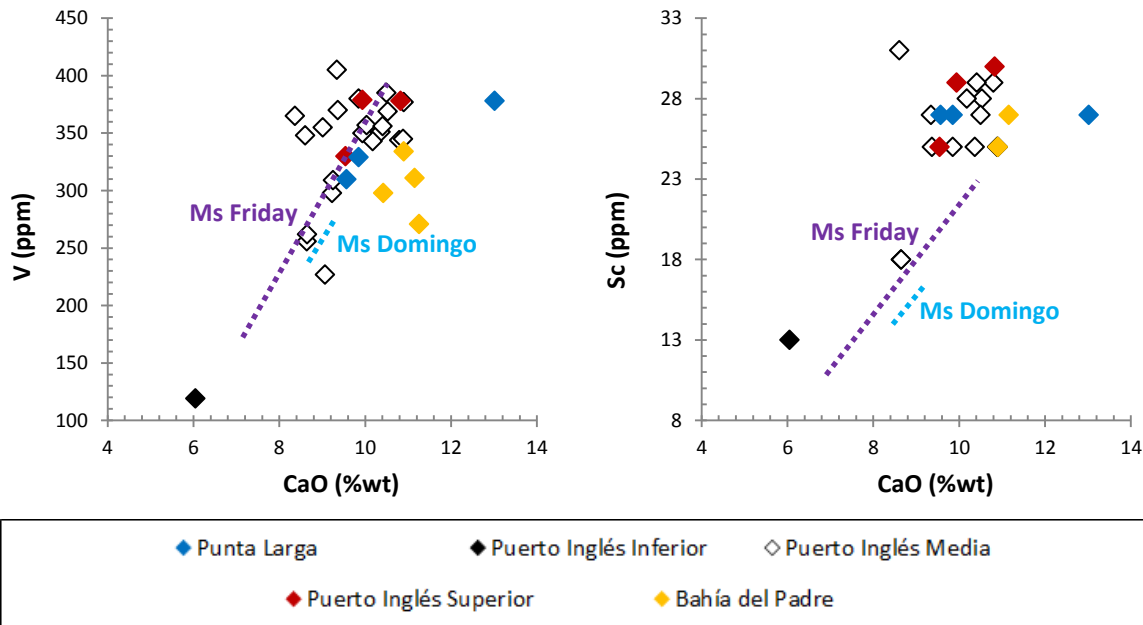


Figura 6.2. Diagramas de variación de Sc y V versus CaO. Se aprecia el descenso de Sc y V a medida que disminuye el CaO en las unidades Media y Superior de la Secuencia Puerto Inglés, tendencia indicativa de fraccionamiento de clinopiroxeno. El resto de las unidades no muestra tendencias claras. Se indica en líneas punteadas las tendencias exhibidas por montes submarinos de la Dorsal de Juan Fernández para los cuales ha sido reportado el fraccionamiento de clinopiroxeno (Devey et al, 2000).

El fraccionamiento antes descrito de olivino y clinopiroxeno debería generar enriquecimiento progresivo de Al_2O_3 en fundidos más diferenciados (toda vez que ambas fases minerales no incluyen este óxido en cantidades significativas dentro de su estructura). Por el contrario, se aprecian valores similares de Al_2O_3 para distintos contenidos de CaO (Fig. 6.3), lo que implica el fraccionamiento de alguna fase que sea capaz de extraer Al. La plagioclasa se constituye como un mineral capaz de explicar este comportamiento. Para confirmar esta hipótesis se estudió la tendencia experimentada por Sr (Fig. 6.3), la que confirma la existencia de fraccionamiento de plagioclasa al menos en las unidades Inferior y Superior de la Secuencia Puerto Inglés.

En tanto, la unidad Inferior de la Secuencia Puerto Inglés presenta rocas más ricas en SiO_2 (andesitas) en relación al resto de secuencias. En ellas se aprecia la existencia de al menos dos familias diferentes de fenocristales de plagioclasa (una de ellas caracterizada por la presencia de textura *sieve*), evidenciando la mayor diferenciación magmática existente en esta unidad.

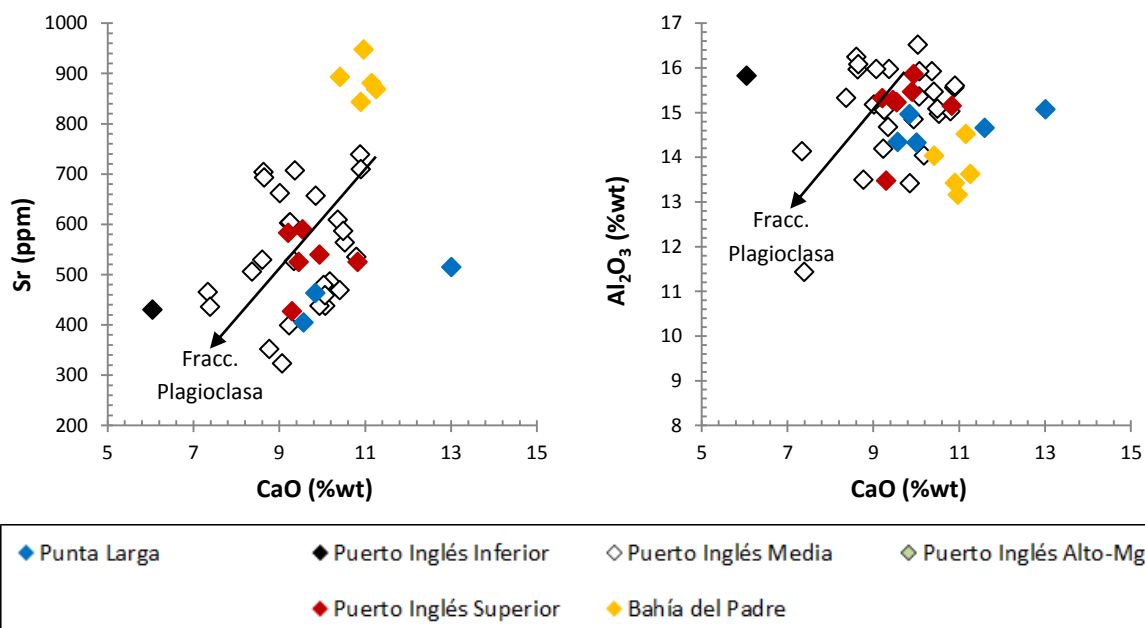


Figura 6.3. Diagramas de variación de Sr y Al₂O₃ versus CaO. El análisis acoplado de ambos elementos no permite la apreciación de tendencias indicativas de importantes fraccionamientos de plagioclasa. Un grupo de rocas parece exhibir este proceso, sin embargo, corresponden al grupo de alto-Mg rico en olivino, luego, la escasez de los elementos analizados se explica por su bajo coeficiente de distribución en cristales de olivino.

Finalmente, las sienitas y sienodioritas del intrusivo de Punta Larga se habrían formado por una fuerte diferenciación de magmas alcalinos mediante procesos de cristalización fraccionada (procesos como mezcla de magmas no son necesarios para dar cuenta de la composición química de la unidad) de plagioclasa (explica la anomalía de Eu negativa visible en el patrón de REE; Fig. 5.10.C), máficos en general (muy bajos contenidos en MgO, FeO, etc.), óxidos de Fe-Ti y minerales accesorios tales como apatito (da cuenta del fuerte descenso en P con respecto a las rocas volcánicas estudiadas). La naturaleza más diferenciada de esta unidad se refleja en altos valores relativos de K, Na, Al, Ba, Rb, Zr, Nb, etc. (elementos incompatibles), con respecto a las rocas volcánicas presentes en la isla.

6.2. EVOLUCIÓN MÁGMATICA DE LA ISLA ROBINSON CRUSOE

Las características petrográficas y geoquímicas (elementos mayores y trazas) de las rocas volcánicas de la isla Robinson Crusoe permiten establecer claras diferencias entre las distintas unidades estudiadas. La ausencia de titanaugita en la Secuencia Punta Larga, y de fenocristales de plagioclasa en Bahía del Padre sugieren un aumento en la alcalinidad para secuencias más jóvenes. En este sentido, se consideran como índices de alcalinidad, razones de LILE/HFSE (Ba/Yb

y Ba/Zr) y HFSE/HFSE (Nb/Zr y La/Yb); que en caso de presentar valores altos indican un aumento en la concentración de elementos fuertemente incompatibles (debido a la poca variación entre unidades mostrada por Yb y Zr). Estas razones son analizadas comparativamente con el fin de buscar comportamientos sistemáticos destacables. La unidad Inferior de la Secuencia Puerto Inglés, así como el Intrusivo de Punta Larga, no fueron considerados por corresponder a rocas más diferenciadas que no representan de buena manera la evolución magmática de las rocas presentes en la isla. La muestra correspondiente a enclave ultramáfico tampoco fue considerada debido a que su pertenencia a la tendencia evolutiva no está demostrada.

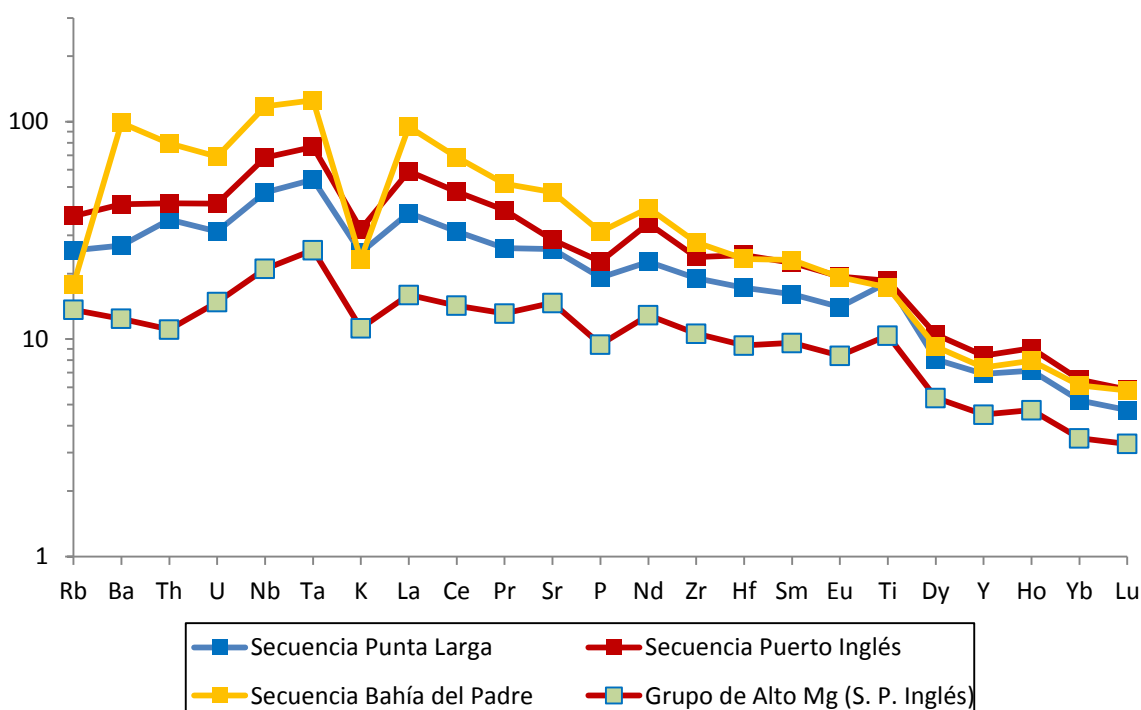


Figura 6.4. Diagrama multielementos normalizado al manto primitivo (Hofmann, 1988, salvo fósforo tomado de Sun y McDonough, 1989) para el valor promedio de concentración de cada elemento en las secuencias volcánicas presentes en la isla Robinson Crusoe, las tendencias evolutivas explicadas en el texto son claramente apreciables (enriquecimiento en LILE por secuencias más alcalinas, entre otras)

De este modo, la evolución observada comienza por la Secuencia Punta Larga, con una edad tentativa de $5,8 \pm 2,1$ Ma. en la isla Santa Clara (Stuessy *et al*, 1984), de afinidad toleítica (basaltos de alto-Ti) y con los valores de concentración más bajos tanto en LILE (con excepción de Rb y K) como en HFSE (incluidas la totalidad de REE; Figs. 5.12 y 6.4), que se reflejan en el valor promedio de las razones Ba/Yb=64,79, La/Yb=10,70; Ba/Zr=0,76; Nb/Zr=0,16 y Nb/Ta=15,27 (Fig.

6.5). Cabe destacar que pese al bajo número de muestras, esta secuencia muestra un amplio campo composicional, hecho que puede ser explicado por la alteración en grado variable a minerales como clorita, epidota, esmectita y carbonatos presente en estas rocas (probablemente por interacción con agua marina), que eventualmente evidencia tanto remoción como adición, principalmente de elementos traza móviles.

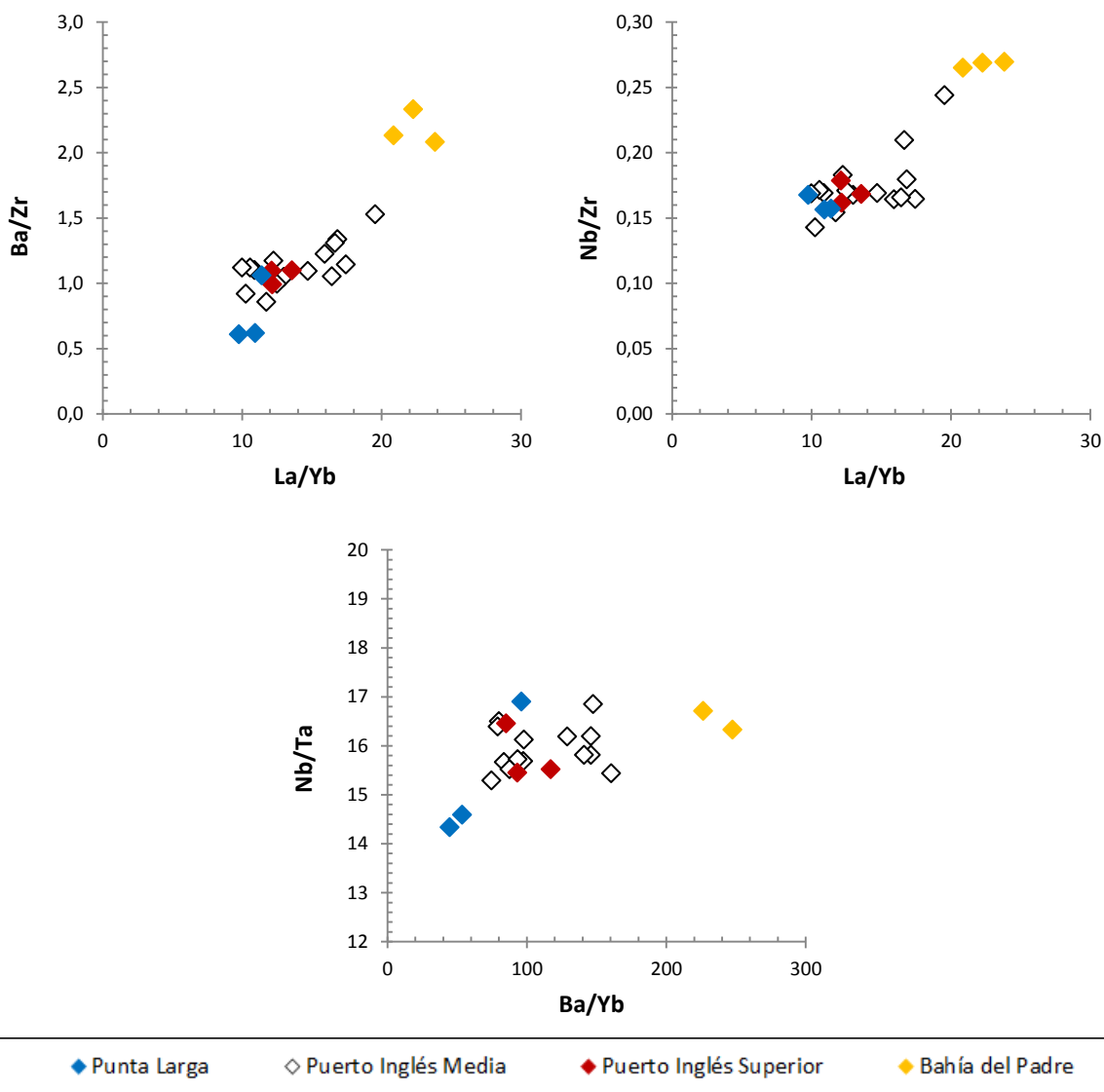


Figura 6.5. Diagramas LILE/HFSE y HFSE/HFSE vs LILE/HFSE para secuencias volcánicas de la isla Robinson Crusoe. Se observan las evidentes variaciones existentes en la isla (enriquecimiento en LILE para las secuencias más alcalinas, variaciones importantes en la proporción Nb/Zr para la Secuencia Bahía del Padre y valores Nb/Ta similares para todo el conjunto de rocas volcánicas).

Posteriormente, las rocas transicionales de la Secuencia Puerto Inglés, representativas de la etapa de volcanismo de escudo de la isla Robinson Crusoe y

datadas entre 3 y 4,2 Ma (Booker *et al*, 1967; Stuessy *et al*, 1984; Baker *et al*, 1987; Lara *et al*, en prep.), exhiben un enriquecimiento moderado en elementos incompatibles (Fig. 6.4), con valores Ba/Yb=107,42; La/Yb=13,69; Ba/Zr=1,07; Nb/Zr=0,16 y Nb/Ta=15,92 (Fig. 6.5). La muestra de la unidad Inferior (andesita) no fue considerada por corresponder a una roca que ha sufrido importantes procesos de diferenciación.

En tanto, las rocas de alto Mg de la Secuencia Puerto Inglés poseen apariencia similar para el patrón de elementos traza, pero concentraciones totales muy inferiores (Fig. 6.4), lo que confirma su pertenencia a la misma serie de rocas. Este fenómeno se generaría por el bajo coeficiente de distribución de estos elementos en cristales de olivino, los que son muy abundantes en este conjunto de rocas. Los valores para las razones consideradas son: Ba/Yb=51,72; La/Yb=6,76; Ba/Zr=0,73; Nb/Zr=0,13 y Nb/Ta=14,44.

Finalmente, las basanitas de la Secuencia Bahía del Padre, con edades K-Ar que coinciden en ca 1,2 Ma (Lara *et al*, en prep.), son representativas de una etapa de volcanismo post-escudo, caracterizado por una fuerte alcalinidad con valores Ba/Yb=236,58; La/Yb=22,32; Ba/Zr=2,26; Nb/Zr=0,26 y Nb/Ta=16,52 (Fig. 6.5); con un marcado y notorio enriquecimiento en LILE y HFSE (no apreciable en HREE; Fig. 5.10).

Se plantean dos hipótesis para explicar las diferencias mencionadas entre las distintas secuencias. La primera consiste en cambios en el grado de fusión parcial a partir de una misma fuente mantélica. La segunda, en presencia de una fuente mantélica distinta capaz de explicar la formación de las lavas de la Secuencia Bahía del Padre. Para evaluar ambas opciones se estudiará el comportamiento de Nb y Zr; dos elementos incompatibles, inmóviles, y con importantes variaciones entre las secuencias (Nb/Zr=0,16 en Punta Larga; Nb/Zr=0,16 en Puerto Inglés; y Nb/Zr=0,26 en Bahía del Padre); en las muestras más primitivas de cada unidad (mayores números magnesianos), exceptuando las muestras con evidencias de acumulación de olivino.

Se realizó un modelo de fusión parcial simple (por lotes en equilibrio; Wilson, 1989), evaluando resultados para distintos valores del coeficiente de partición global (D) de Nb y Zr. En primer caso se partió de un manto primitivo con 0,713 ppm de Nb y 11,2 de Zr (Sun y McDonough, 1989). No es posible generar las distintas secuencias considerando un manto promedio (64% olivino; 18% ortopiroxeno; 18% clinopiroxeno) y los coeficientes de partición de Pearce y Parkinson (1993; curva negra en Fig. 6.6).

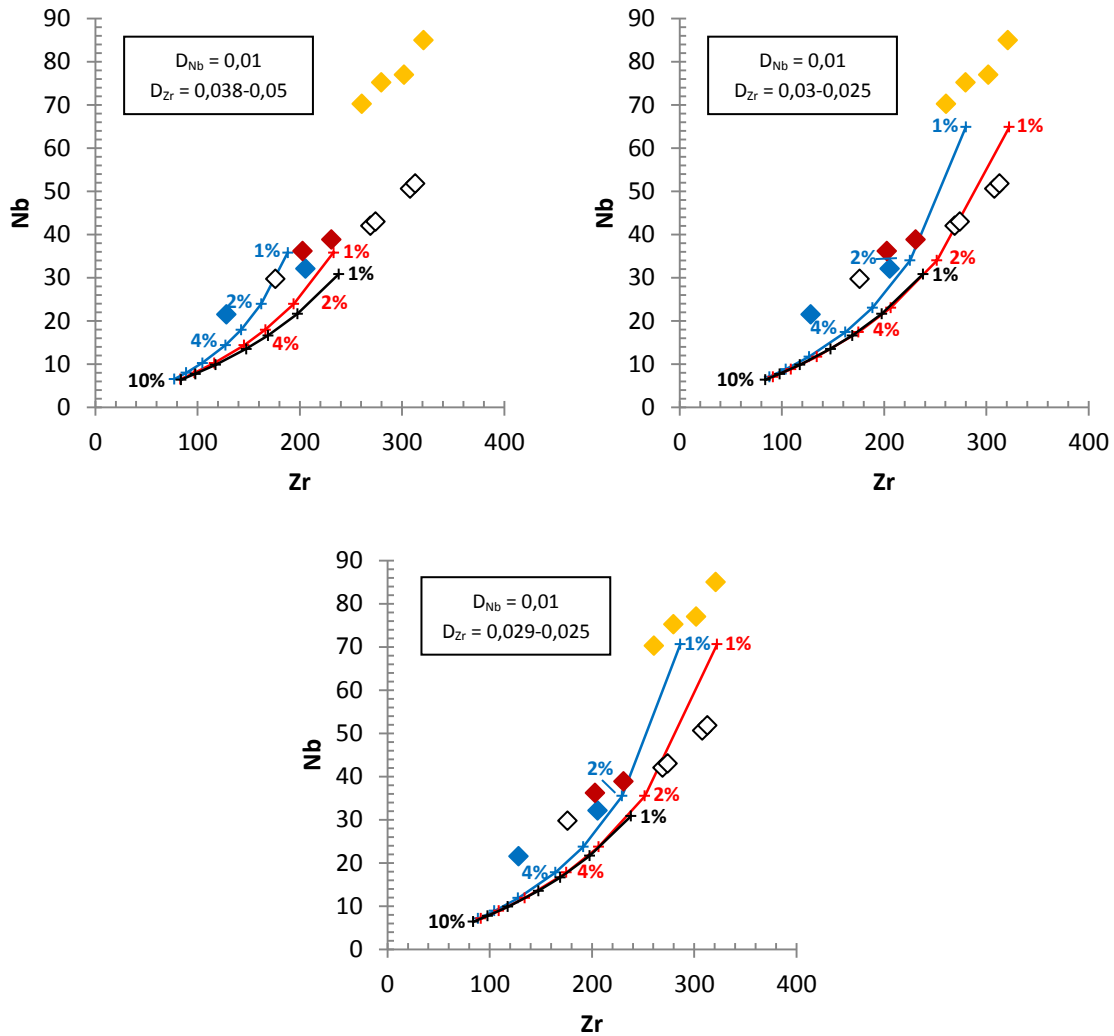
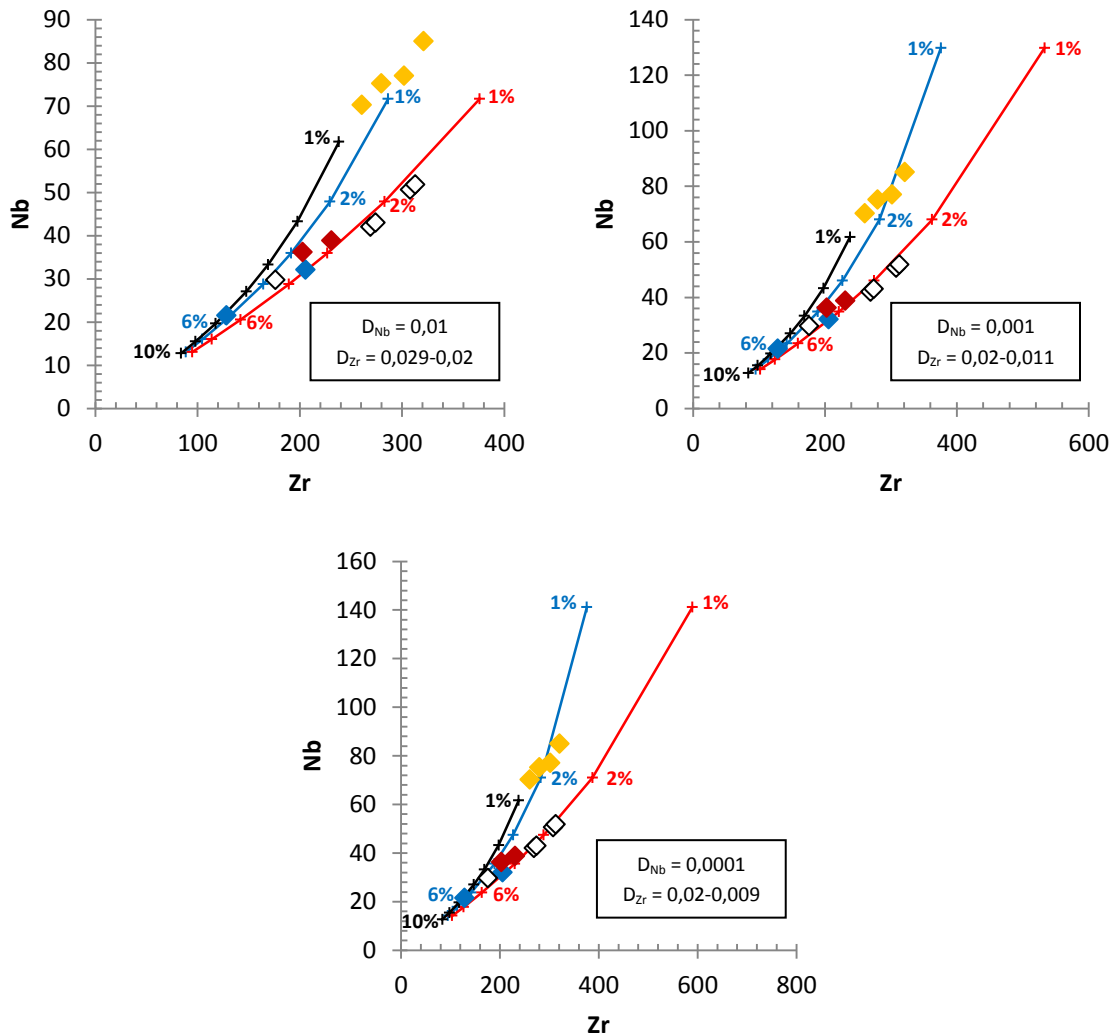


Figura 6.6. Modelo de fusión parcial para concentraciones iniciales de manto primitivo (Sun y McDonough, 1989; 0,713 ppm de Nb y 11,2 de Zr). La curva negra indica los resultados del modelo para los coeficientes de partición de Pearce y Parkinson (1993) y mineralogía modal promedio (64% de olivino; 18% de ortopiroxeno; y 18% de clinopiroxeno). La curva azul indica el mínimo valor considerado para el D_{Zr} , y la roja el máximo, ambos valores para un D_{Nb} fijo (indicado en cada recuadro).

Para evaluar el modelo a distintas condiciones, se modifican los valores de D_{Nb} y D_{Zr} (entre valores razonables, curvas azul y roja en Fig. 6.6). Con estas condiciones iniciales no se pueden reproducir de buena manera las características propias de cada secuencia. Además, para generar la Secuencia Bahía del Padre se necesitaría un bajo coeficiente de partición global de Nb (0,0001) y grados de fusión parcial muy bajos (incluso inferiores a 1%). Luego, no es posible generar la

evolución observada a partir de un manto primitivo (Sun y McDonough, 1989) bajo las condiciones analizadas.



◆ Punta Larga ◇ Puerto Inglés Media ◆ Puerto Inglés Superior ◆ Bahía del Padre

Figura 6.7. Modelo de fusión parcial para concentraciones iniciales de manto enriquecido (1,426 ppm de Nb y 11,2 de Zr). La curva negra indica los resultados del modelo para los coeficientes de partición de Pearce y Parkinson (1993) y mineralogía modal promedio (64% de olivino; 18% de ortopiroxeno; y 18% de clinopiroxeno). La curva azul indica el mínimo valor considerado para el D_{Zr} , y la roja el máximo, ambos valores para un D_{Nb} fijo (indicado en cada recuadro).

También se evaluó la factibilidad de la hipótesis en presencia de un manto enriquecido. Para esto se consideró una concentración inicial de 1,426 ppm de Nb (el doble respecto a los valores de Sun y McDonough (1989) para manto primitivo) y 11,2 de Zr (idéntico al caso anterior). Nuevamente, no pueden reproducirse las composiciones de las distintas secuencias considerando una mineralogía

mantélica promedio (proporciones idénticas al primer caso) y los coeficientes de partición de Pearce y Parkinson (1993: curva negra en Fig. 6.7). Sin embargo, modificando los valores de D_{Nb} y D_{Zr} , el modelo si puede generar los magmas más primitivos de cada secuencia.

Para ello es necesaria la existencia de distintos D_{Zr} (para un D_{Nb} fijo) y grados de fusión parcial entre ~5% para la Secuencia Punta Larga y ~1-2% para Bahía del Padre (Fig. 6.7). La existencia de distintos D_{Zr} involucrados en la génesis de la Secuencia Bahía del Padre respecto a sus secuencias precedentes se podría generar por cambios en el mecanismo de fusión parcial, variaciones en la participación de las distintas fases (en ambos casos podría conservarse la fuente), o bien por cambios de la fuente mantélica, que podrían reflejarse en la presencia de nuevas fases y diferentes proporciones minerales (segunda hipótesis).

La segunda hipótesis plantea cambios en la fuente mantélica asociada a la formación de la Secuencia Bahía del Padre. Esta se caracterizaría por un marcado enriquecimiento en Nb y Ta; y leve en Zr, Hf, Y y Th. Las razones Nb/Zr y Ba/La exhiben valores similares a lavas generadas a partir de fuentes tipo HIMU (Weaver, 1991) (Fig. 6.8). Esta fuente se caracterizaría por enriquecimiento en FeO^T , TiO_2 y probablemente CO_2 , y litológicamente, correspondería a lherzolita (+ CO_2 ± eclogita pobre en SiO_2 ± eclogita carbonatada pobre en SiO_2) (Jackson y Dasgupta, 2008). El sólido parental del resto de las secuencias correspondería a un término intermedio entre fuentes tipo HIMU y N-MORB (Fig. 6.8).

Trabajos anteriores (Gerlach *et al*, 1986; Farley *et al*, 1993) han realizado análisis isotópicos de $^3He/^4He$, $^{87}Sr/^86Sr$ y $^{143}Nd/^144Nd$ en la isla Robinson Crusoe. En estos no se aprecian fuertes cambios en los valores de $^{87}Sr/^86Sr$ y $^{143}Nd/^144Nd$ (especialmente en Nd, ya que en Sr sí existen sutiles diferencias), que si son apreciables en el caso de $^3He/^4He$. Lamentablemente, esos artículos no se basan en un esquema geológico como el empleado en este trabajo, lo que dificulta su interpretación.

Luego, la evolución magmática de la sección expuesta de la isla Robinson Crusoe, se inicia con una etapa toleítica de alto Ti con rocas variablemente alteradas (Secuencia Punta Larga) seguido por una fase de volcanismo de escudo con afinidad transicional volumétricamente muy importante (Secuencia Puerto Inglés), que se inicia con desarrollo de lavas diferenciadas (unidad Inferior) para dar paso al periodo principal de volcanismo de escudo (unidad Media) que da lugar a una última fase (unidad Superior) de volcanismo central. Tras un intenso período de erosión que se extiende por ca. 2 millones de años, ocurre una fase de volcanismo

post-escudo fuertemente alcalino. La formación de estos magmas post-escudo podría explicarse mediante dos mecanismos. Bajos grados de fusión parcial de una misma fuente mantélica, también asociada a las secuencias precedentes, pero con distintos coeficientes de partición involucrados. O bien, mediante la participación de una nueva fuente mantélica, de características similares a tipo HIMU enriquecida fuertemente en Nb y Ta, y levemente en Zr, Hf, Th e Y.

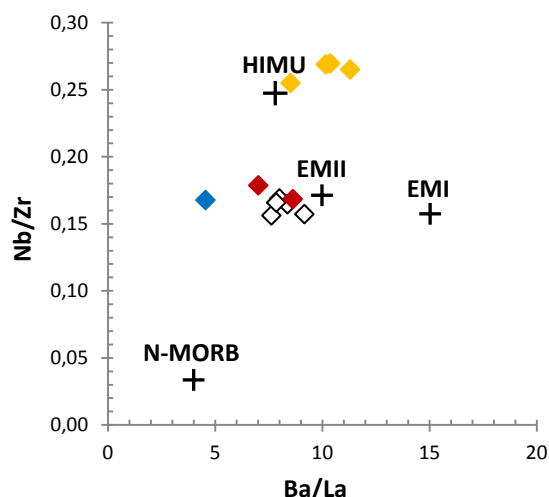


Figura 6.8. Valores de razones Ba/La vs Nb/Zr en secuencias volcánicas de la isla Robinson Crusoe junto a valores típicos para los productos de miembros extremos de composiciones mantélicas (Weaver, 1991). Se aprecia la cercanía entre los valores de la Secuencia Bahía del Padre y fuente tipo HIMU.

La primera alternativa supone una fuente estática incompatible con el modelo de 'hotspot'. La segunda sería más consistente con un escenario de pluma mantélica capaz de generar cambios composicionales (de carácter metasomático o mineralógico) en el manto a lo largo del tiempo. Tal como ha sido sugerido para otras islas oceánicas (Wilson, 1989), esta pluma estaría involucrada en la formación de las secuencias características de volcanismo en escudo.

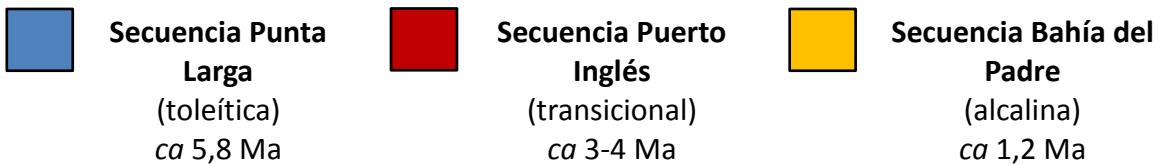
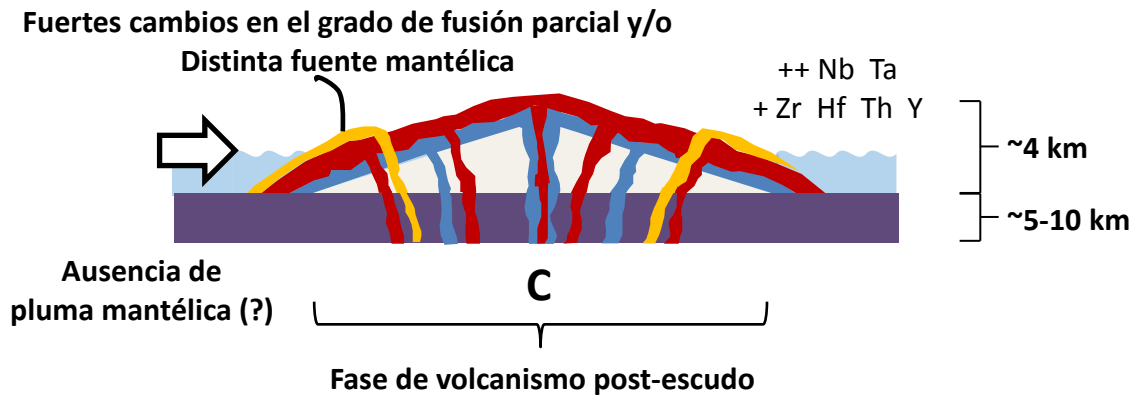
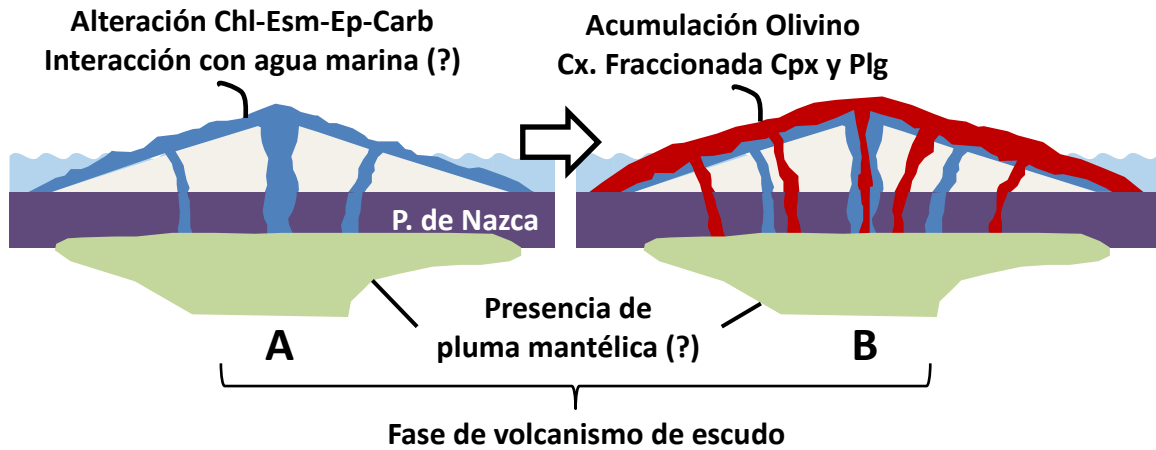


Figura 6.9. Modelo esquemático de la evolución magmática presente en la isla Robinson Crusoe. Se indica la afinidad geoquímica de cada unidad, su edad, y principales procesos petrogenéticos involucrados.

6.3. COMPARACIÓN CON ISLAS Y MONTES SUBMARINOS DE LA DORSAL DE JUAN FERNÁNDEZ

Estudios anteriores analizaron rocas de conjuntos volcánicos constituyentes de la Dorsal de Juan Fernández ubicados hacia el W de la isla Robinson Crusoe. En primer lugar, las rocas de la isla Alejandro Selkirk (Baker *et al*, 1987; Farley *et al*, 1993), de edad ca. 1-1,3 Ma (Booker *et al*, 1967), son en su mayoría basaltos toleíticos, que ocasionalmente muestran fuertes enriquecimientos en MgO, sugiriendo la formación de este grupo mediante acumulación de olivino (Fig. 6.1).

Los pocos datos geoquímicos disponibles sugieren una notoria similitud composicional (para razones LILE/HFSE vs HFSE) entre las Secuencia Puerto Inglés y la isla Alejandro Selkirk (Fig. 6.10). Observaciones geológicas permiten determinar que esta última también representaría un fuerte periodo de volcanismo de escudo en la dorsal.

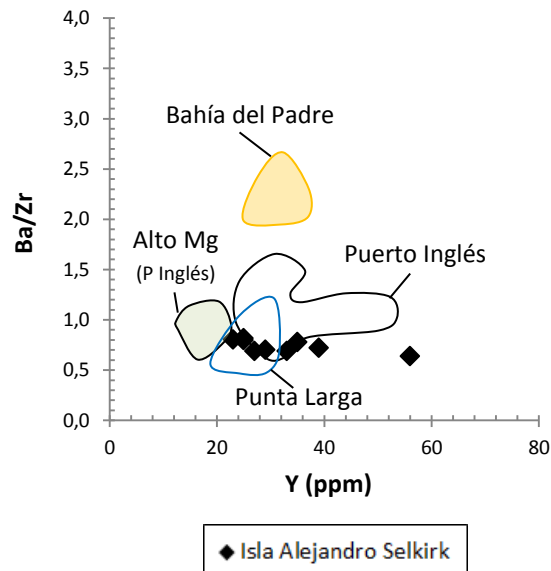


Figura 6.10. Diagramas de comparación para elementos traza entre las islas Robinson Crusoe y Alejandro Selkirk (Baker et al, 1987; Farley et al, 1993).

Por otro lado, las rocas de los montes submarinos Friday y Domingo (Farley et al, 1993; Devey et al, 2000), ubicados al W de la isla Alejandro Selkirk, representarían los conjuntos volcánicos más recientes de la dorsal (siguiendo la progresión de edades exhibida en la dorsal). Litológicamente corresponden, respectivamente, a basaltos alcalinos y basanitas. Las razones de elementos traza analizadas confirman el carácter notoriamente alcalino de estos montes (considerando las mismas razones interpretadas como índice de alcalinidad anteriormente) con un evidente enriquecimiento en LILE (Fig. 6.11.A).

Sin embargo, los valores de estas razones son inferiores a las exhibidas por la Secuencia Bahía del Padre, que se constituye como la unidad geológica más alcalina y enriquecida en elementos incompatibles dentro de los datos disponibles de la dorsal. Luego, los montes submarinos Friday y Domingo poseen composiciones intermedias entre las secuencias Puerto Inglés y Bahía del Padre. Al igual que para algunas unidades dentro de la isla Robinson Crusoe, procesos de cristalización fraccionada de clinopiroxeno han sido sugeridos como mecanismo importante en la petrogénesis de estos conjuntos. Destacan las

fueres variaciones internas en la razón Nb/Ta (Fig. 6.11.C) y comparativas en Nb/Zr (Fig. 6.11.B) atribuidas a procesos de metasomatismo mantélico en presencia de una pluma carbonatada (Devey *et al*, 2000).

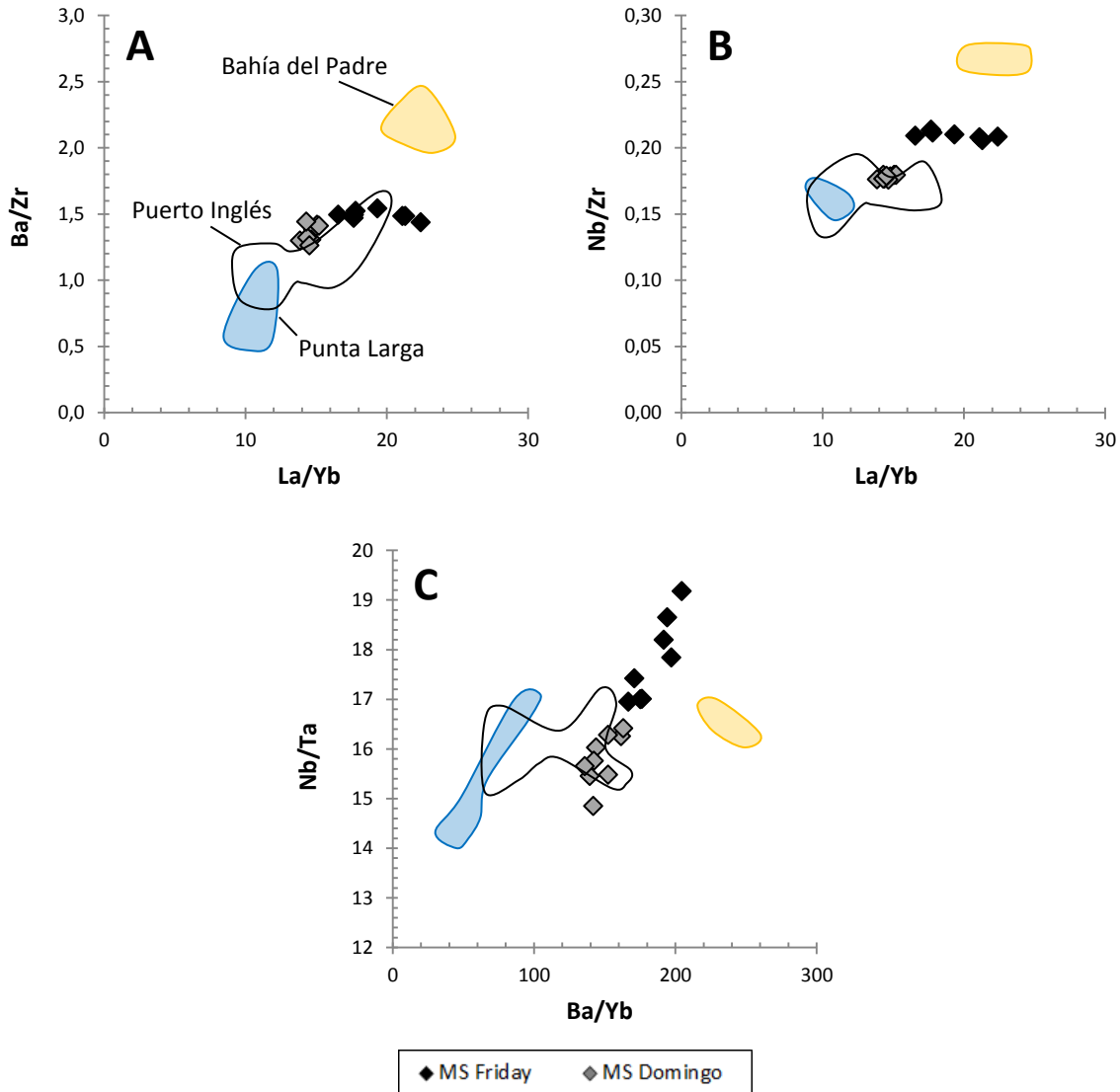


Figura 6.11. Diagramas de comparación para razones de elementos trazas entre la isla Robinson Crusoe y montes submarinos Friday Domingo (Devey *et al*, 2000).

En caso de que los procesos de formación de cada isla y monte submarino sean similares dentro de la Dorsal de Juan Fernández, los datos expuestos sobre montes submarinos recientes permiten especular sobre las características magmáticas en las etapas iniciales de este volcanismo intraplaca. Estas se caracterizarían por su composición marcadamente alcalina, poca variabilidad geoquímica, y cristalización fraccionada de fases como clinopiroxeno, para luego

dar paso a la tendencia ya descrita, caracterizada por secuencias de volcanismo de escudo con afinidad toleítica a transicional (S. Punta Larga, Puerto Inglés e isla Alejandro Selkirk) y finalmente a fases post-escudo nuevamente alcalinas (Secuencia Bahía del Padre).

7. CONCLUSIONES

- La isla Robinson Crusoe está formada mayoritariamente por rocas volcánicas máficas que pueden dividirse en tres secuencias delimitadas por discordancias angulares y hiatos temporales. Estas se componen de basaltos afaníticos a porfíricos con fenocristales de clinopiroxeno, olivino y ocasionalmente plagioclasa. En tanto, la masa fundamental está formada por clinopiroxeno (en ocasiones titanogaugita), plagioclasa, opacos y en ocasiones vidrio intersticial. También se reporta la presencia de enclaves ultramáficos duníticos y un cuerpo intrusivo leucocrático formado por sienitas de clinopiroxeno.

- Se reconoce al fraccionamiento de clinopiroxeno y plagioclasa como proceso capaz de dar cuenta sobre las variaciones composicionales internas observadas en algunas unidades volcánicas. En la formación de las sienitas también estarían involucradas fases como apatito y óxidos de Fe-Ti.

- Destaca la existencia de un grupo de lavas picríticas y dunitas (enclaves ultramáficos) con contenidos muy altos de MgO (>16%). Estas rocas se habrían formado por procesos de acumulación gravitacional de cristales de olivino.

- Existe una clara tendencia al aumento de la alcalinidad en las unidades volcánicas más jóvenes, permitiendo establecer un esquema evolutivo. En primer lugar los basaltos alterados de la Secuencia Punta Larga (ca 5,8 Ma.) son toleíticos ($La/Yb=10,70$). Posteriormente, la Secuencia Puerto Inglés (ca 3-4 Ma.), de afinidad transicional entre toleítica y alcalina, genera productos más diferenciados en sus primeros pulsos (unidad Inferior; $La/Yb=10,76$), para dar paso a una fase de escudo con desarrollo de potentes pilas volcánicas (unidad Media; $La/Yb=13,91$), y un periodo final de volcanismo central (unidad Superior; $La/Yb=12,61$). Finalmente existe un último episodio volcánico post-escudo fuertemente alcalino ($La/Yb=22,32$) correspondiente a la Secuencia Bahía del Padre.

- Basado en el comportamiento de HFSE en las distintas secuencias estudiadas se plantean dos hipótesis capaces de explicar las diferencias observadas. Grados decrecientes de fusión parcial en un manto enriquecido, en presencia de coeficientes de partición distintos entre la secuencia más joven y aquellas que la preceden. Esto, eventualmente, podría implicar cambios en la fuente mantélica (segunda hipótesis) asociada a la Secuencia Bahía del Padre. Esta nueva fuente se encontraría enriquecida fuertemente en Nb y Ta, y levemente en Zr, Hf, Y y Th;

(con características similares a fuente tipo HIMU) en comparación a la asociada con las secuencias antiguas, que correspondería a una mezcla entre fuentes tipo HIMU y N-MORB.

- La existencia de una fuente estática en el tiempo (variaciones explicadas solo por cambios en el grado de fusión parcial) complica la generación de la isla mediante el ascenso de plumas mantélicas. Por otro lado, la hipótesis que propone cambios en la fuente (ya sean de carácter metasomático o mineralógico), sería mas consistente con la clásica teoría de *'hotspots'*. Esta pluma podría estar asociada a la génesis de las secuencias características de volcanismo de escudo, tal como se ha sugerido en otras islas oceánicas.

- La geoquímica de montes submarinos pertenecientes a la Dorsal de Juan Fernández sugiere que los primeros episodios de volcanismo en esta dorsal son capaces de generar basaltos y basanitas de afinidad alcalina, con enriquecimientos en LILE y LREE intermedios entre las Secuencias Puerto Inglés y Bahía del Padre. Posteriormente la evolución continuaría con la tendencia descrita para la isla Robinson Crusoe, con una fase de volcanismo de escudo con afinidad toleítica, que también es visible en la isla Alejandro Selkirk, y una última etapa post-escudo marcadamente alcalina.

REFERENCIAS

ANDERSON, D.L. 2000. The thermal state of the upper mantle; no role for mantle plumes. *Geophysical Research Letters* 27(22): 3623-3626.

BAKER, P.E.; GLEDHILL, A.; HARVEY, P.K.; HAWKESWORTH, C.J. 1987. Geochemical evolution of the Juan Fernandez Islands, SE Pacific. *Journal of the Geological Society, London* 144:933-944.

BALLMER, M.D.; VAN HUNEN, J.; TACKLEY, P.J.; BIANCO, T.A. 2007. Non-hotspot volcano chains originating from small-scale sublithospheric convection. *Geophysical Research Letters* 34: doi:10.1029/2007GL031636.

BOOKER, J.; BULLARD, E.C.; GRASTY, R.L. 1967. Paleomagnetism and age of rocks from Easter island and Juan Fernandez. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* 12(59): 469-471.

BOSCHI, L.; BECKER, T.W.; STEINBERGER, B. 2007. Mantle plumes: dynamic models and seismic images. *Geochemistry Geophysics Geosystems*. 8(10): doi:10.1029/2007GC001733

CLOUARD, V.; BONEVILLE, A. 2001. How many Pacific hotspots are fed by deep-mantle plumes?. *Geology* 29(8):695-698.

COURTILLOT, V.; DAVAILLE, A.; BESSE, J.; STOCK, J. 2003. Three distinct types of hotspots in the Earth's mantle. *Earth and Planetary Science Letters* 205:295-308.

DASGUPTA, R.; JACKSON, M.G.; LEE, C-T. A. 2010. Major element chemistry of ocean island basalts – Conditions of mantle melting and heterogeneity of mantle source. *Earth and Planetary Science Letters* 289:377-392.

DEVEY, C.W.; HÉMOND, C.; STOFFERS, P. 2000. Metasomatic reactions between carbonated plume melts and mantle harzburgite: the evidence from Friday and Domingo Seamounts (Juan Fernandez chain, SE Pacific). *Contributions to Mineralogy and Petrology* 139:68-84.

FARLEY, K.A.; BASU, A.R.; CRAIG, H. 1993. He, Sr and Nd isotopic variations in lavas from the Juan Fernandez Archipelago, SE Pacific. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 115:75-87.

GERLACH, D.C.; HART, S.R.; MORALES V.W.J.; PALACIOS, C. 1986. Mantle heterogeneity beneath the Nazca plate: San Felix and Juan Fernandez islands. *Nature* 322:165-169.

HIERONYMUS, C.F.; BERCOVICI, D. 2000. Non-hotspot formation of volcanic chains: control of tectonic and flexural stresses on magma transport. *Earth and Planetary Science Letters* 181:539-554.

HIRSCHMANN, M.M; KOGISO, T.; BAKER, M.B.; STOLPER, E.M. 2003. Alkalic magmas generated by partial melting of garnet pyroxenite. *Geology* 31(6):481-484.

HOFMANN, A.W. 1988. Chemical differentiation of the Earth: the relationship between mantle, continental crust, and oceanic crust. *Earth and Planetary Sciences Letters* 90:297-314.

LARA, L.E. 2010. Las islas oceánicas de Chile. En: DÍAZ-NAVEAS, J.; FRUTOS, J. (eds). *Geología Marina de Chile*. Comité Oceanográfico Nacional de Chile; Pontificia Universidad Católica de Valparaíso; Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile. pp. 44-47.

LE BAS, M.J. 2000. IUGS reclassification of the high-Mg and picritic volcanic rocks. *Journal of Petrology* 41(10):1467-1470.

LE MAITRE, R.W. (ed). 2002. *Igneous Rocks. A classification and glossary of terms*. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the systematics of igneous rocks, 2nd ed. Cambridge University Press. 263 p.

MCDONOUGH, W.F.; SUN, S.-s. 1995. The composition of the Earth. *Chemical Geology* 120: 223-254.

MONTELLI, R.; NOLET, G.; DAHLEN, F.A.; MASTERS, G. 2006. A catalogue of deep mantle plumes: new results from finite-frequency tomography. *Geochemistry Geophysics Geosystems* 7(11): doi:10.1029/2006GC001248.

MONTELLI, R.; NOLET, G.; DAHLEN, F.A.; MASTERS, G.; ENGDAHL, E.R.; HUNG, S-H. 2004. Finite-frequency tomography reveals a variety of plumes in the mantle. *Science* 303:338-343.

MORALES, A.J. 1987. Geología de las islas Robinson Crusoe y Santa Clara, Archipiélago Juan Fernández, V Región, Chile. Memoria para optar al título de geólogo. Antofagasta, Universidad del Norte, Departamento de Geociencias. 103p.

MORGAN, W.J. 1971. Convection plumes in the lower mantle. *Nature* 230:42-43.

NIU, Y.; O'HARA, M.J. 2003. Origin of ocean island basalts: a new perspective from petrology, geochemistry, and mineral physics considerations. *Journal of geophysical research* 108 (B4): doi:10.1029/2002JB002048.

PEARCE, J.A.; PARKINSON, I.J. 1993. Trace element models for mantle melting: application to volcanic arc petrogenesis. *Geological Society of London Special Paper* 76:373-403.

PECCERILLO, A.; TAYLOR, S.R. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamnu area, Northern Turkey, *Contributions to Mineralogy and Petrology* 58:63-81.

PILET, S.; HERNANDEZ, J.; SYLVESTER, P.; POUJOL, M. 2005. The metasomatic alternative for oceanic island basalt chemical heterogeneity. *Earth and Planetary Science Letters* 236:148-166.

PILET, S.; BAKER, M.B; STOLPER, E.M. 2008. Metasomatized lithosphere and the origin of alkaline lavas. *Science* 320:916-919.

QUENSEL, P. 1920. Additional comments on the geology of the Juan Fernandez Islands. En SKOTTSSBERG, C. (ed). *The natural history of Juan Fernandez and Easter Island*. v. 1. Geography, geology, origin of island life. pp 37-88.

RITSEMA, J.; ALLEN, R.M. 2003. The elusive mantle plume. *Earth and Planetary Science Letters* 207:1-12.

ROLLINSON, H.R. 1993. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Longman Scientific & Technical. 352 p.

STUESSY, T.F.; FOLAND, K.A.; SANDERS, R.W. SILVA, M. 1984. Botanical and geological significance of potassium-argon dates from the Juan Fernández Islands. *Science* 225(4657):49-51.

SUN, S.-s.; MCDONOUGH, W.F. 1989. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. En SAUNDERS, A.D.; NORRY, J. (eds). *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society, London, Special Publications (42):313-345.

VALENZUELA, E. 1978. Pleistoceno marino en isla Robinson Crusoe. *Comunicaciones, Una Revista de Geología Andina* (22):32-25.

VON HEUNE, R.; CORVALÁN, J.; FLUEH, E.R.; HINZ, K.; KORSTGARD, J.; RANERO, C.R.; WEINREBE, W. and the CONDOR Scientists. 1997. Tectonic control of the subducting Juan Fernández Ridge on the Andean margin near Valparaíso, Chile. *Tectonics* 16(3):474-488.

WEAVER, B.L. 1991. The origin of ocean island basalt end-member compositions: trace element and isotopic constraints. *Earth and Planetary Science Letters* 104:381-397.

WILSON, M. 1989. *Igneous petrogenesis: a global tectonic approach*. Chapman & Hall, 466 pp.

YÁÑEZ, G.; CEMBRANO, J; PARDO, M; RANERO, C.R.; SELLES, D. 2002. The Callenger-Juan Fernández-Maipo major tectonic transition of the Nazca-Andean subduction system at 33-34°S: geodynamic evidence and implications. *Journal of South American Earth Sciences* 15:23-28.

ANEXO A

MAPA GEOLÓGICO Y UBICACIÓN DE MUESTRAS

Tabla A.1. Ubicación, localidad de recolección y unidad geológica de las muestras de la isla Robinson Crusoe inéditas de este estudio.

Muestra	Localidad	Unidad geológica	Coordenadas UTM		Observaciones
			Longitud	Latitud	
LL230711-2	Bahía del Padre	Secuencia Bahía del Padre	690796	6271674	Lava
LL230711-5	Bahía Carvajal	Secuencia Punta Larga	691716	6272340	Lava
LL230711-6	Bahía Carvajal	Secuencia Punta Larga	691716	6272340	Dique
LL230711-7	Bahía Carvajal	Secuencia Punta Larga	691716	6272340	Lava
LL230711-8	Bahía Carvajal	Secuencia Bahía del Padre	691711	6272352	Dique
LL230711-9	Aeródromo-Muelle	Secuencia Punta Larga	691172	6272767	Lava
LL230711-10	Aeródromo-Muelle	Secuencia Punta Larga	691172	6272767	Dique, intruye LL230711-9
LL240711-1	Bahía Cumberland	Sec. Puerto Inglés, unidad Media	701376	6276659	Lava
LL240711-2	Bahía Cumberland	Sec. Puerto Inglés, unidad Media	701376	6276659	Lava bajo LL240711-1
LL240711-3	Bahía Cumberland	Sec. Puerto Inglés, unidad Media	701376	6276659	Dique, intruye LL240711-1 y -2
LL240711-4	Bahía Cumberland	Sec. Puerto Inglés, unidad Media	701361	6276592	Dique
LL240711-5D	Bahía Cumberland	Sec. Puerto Inglés, unidad Media	701361	6276592	Dique con enclaves LL240711-5C
LL240711-5C	Bahía Cumberland	Enclaves ultramáficos	701361	6276592	Enclaves ultramáficos en LL240711-5D
LL240711-6	Bahía Cumberland	Sec. Puerto Inglés, unidad Media	701353	6276527	Lava
LL240711-7	Bahía Cumberland	Sec. Puerto Inglés, unidad Media	701353	6276527	Dique, intruye LL240711-6
LL250711-1	Puerto Inglés	Sec. Puerto Inglés, unidad Media	699583	6278235	Lava
LL250711-2	Puerto Inglés	Sec. Puerto Inglés, unidad Media	699583	6278235	Dique, intruye LL250711-1
LL250711-3	Puerto Inglés	Sec. Puerto Inglés, unidad Media	699582	6278235	Lava, metros sobre LL250711-1
LL250711-4	Puerto Inglés	Sec. Puerto Inglés, unidad Superior	699375	6277948	Rodados de lava
LL250711-5	Puerto Inglés	Sec. Puerto Inglés, unidad Media	699795	6277753	Lava
LL250711-6	Puerto Inglés	Sec. Puerto Inglés, unidad Media	699795	6277753	Dique, intruye LL250711-5
LL250711-7	Puerto Inglés	Sec. Puerto Inglés, unidad Media	699795	6277753	Lava, sobre LL250711-5
LL250711-8	Mirador de Selkirk	Sec. Puerto Inglés, unidad Superior	699224	6275955	Lava
LL250711-9	Mirador de Selkirk	Sec. Puerto Inglés, unidad Superior	699353	6275832	Lava, bajo LL250711-8
LL260711-1	San Juan Bautista	Sec. Puerto Inglés, unidad Media	701484	6275505	Lava
LL260711-2	Bahía Pangal	Sec. Puerto Inglés, unidad Media	701747	6275393	Lava
LL260711-3	Bahía Pangal	Sec. Puerto Inglés, unidad Media	701747	6275393	Pillow lava
LL270711-1	Punta Larga	Intrusivo de Punta Larga	694035	6273917	Intrusivo de grano grueso
LL270711-2	Punta Larga	Intrusivo de Punta Larga	693920	6274247	Intrusivo de grano grueso
LL270711-3	Punta Larga	Intrusivo de Punta Larga	693948	6274398	Intrusivo de grano grueso
LL270711-4	Cordón Escarpado	Sec. Puerto Inglés, unidad Inferior	695203	6274533	Toba
LL270711-5	Cordón Escarpado	Sec. Puerto Inglés, unidad Inferior	695203	6274533	Lava

ANEXO B

DESCRIPCIONES PETROGRÁFICAS

MUESTRA: LL230711-2

ROCA: Basalto 'tipo II' porfírico de titanogaugita y olivino. Secuencia Bahía del Padre.

TEXTURA: Roca porfírica, con fenocristales de clinopiroxeno (titanogaugita) y olivino, que en ocasiones forman textura glomeroporfírica. Los ejemplares de titanogaugita se encuentran zonados tanto en la masa fundamental como en fenocristales. La masa fundamental posee microlitos de plagioclasa, y pequeños cristales de titanogaugita, olivino y opacos, además de importante cantidad de vidrio.

FENOCRISTALES: 30% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Titanogaugita	17	Subhedral	-
Olivino	13	Subhedral	Bordes a iddingsita

MASA FUNDAMENTAL: 70% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Plagioclasa	25	Eu- a subhedral	-
Clinopiroxeno	14	Anhedral	-
Olivino	3	Anhedral	Totalmente a iddingsita
Opacos	8	Anhedral	-
Vidrio	20	-	-

OBSERVACIONES:

Características petrográficas marcadamente distintivas (ejemplo, ausencia de fenocristales de plagioclasa), lo que genera su denominación como 'Basalto alcalino tipo II'. Características ópticas de clinopiroxeno permiten su identificación como titanogaugita.

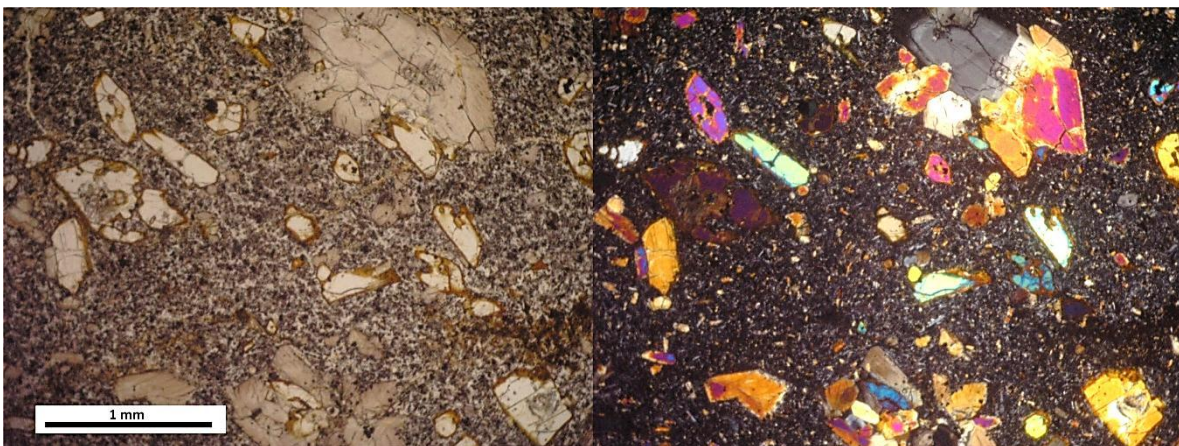


Figura B.01. Microfotografía (PPL y XPL) de sección transparente representativa de la muestra LL230711-2. Se observan fenocristales de titanogaugita zonada y olivino con bordes alterados a iddingsita.

MUESTRA: LL230711-5

ROCA: Basalto amigdaloidal de piroxeno. Secuencia Punta Larga.

TEXTURA: Roca afanítica cuya masa fundamental está compuesta por microlitos de plagioclasa y pequeños cristales de piroxeno alterados a esmectita, formando textura intergranular en algunas regiones. Destaca la presencia de amígdalas (10% de la roca total) rellenas de clorita y epidota.

FENOCRISTALES: Solo presenta muy escasos (<1%) fenocristales relictos de minerales máficos indistinguibles debido a que se encuentran completamente alterados a clorita-esmectita.

MASA FUNDAMENTAL: 90% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Plagioclasa	53	Subhedral	-
Piroxeno	27	Anhedral	Muy intensa a esmectita
Opacos	3	Anhedral	-
Vidrio	7	-	-

OBSERVACIONES:

La presencia de vetillas rellenas con óxidos de Fe-Ti genera oxidación en sus proximidades obliterando la masa fundamental. Una de estas vetillas divide la roca en dos dominios, diferenciados por la razón entre cristales de plagioclasa y piroxeno. Las amígdalas que contienen clorita presentan notorias transiciones en sus características ópticas desde color de interferencia azul oscuro y morado en los bordes, pasando a tonalidades café en el centro, indicando variaciones en la cantidad de Mg presente en el arreglo mineral.

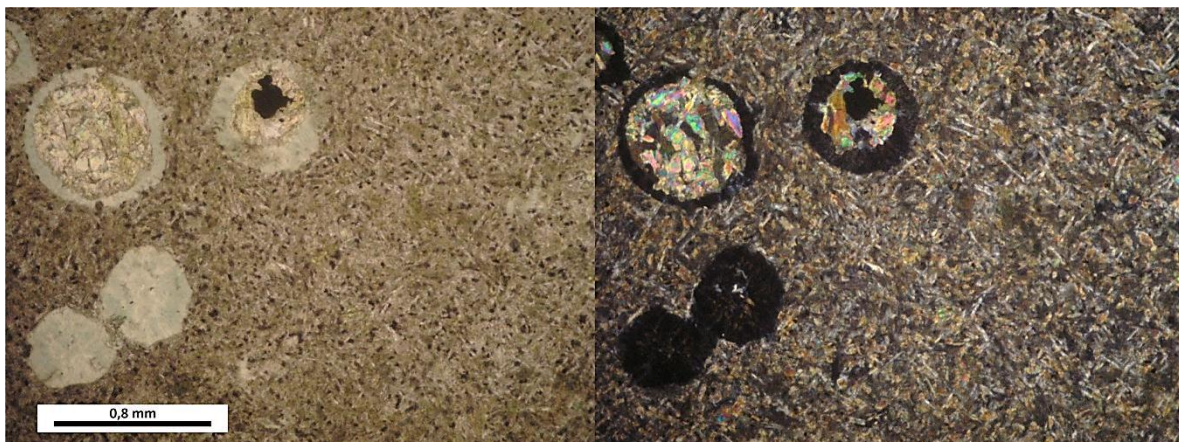


Figura B.02. Microfotografía (PPL y XPL) de sección transparente representativa de la muestra LL230711-5. Se observan amígdalas rellenas de epidota y clorita.

MUESTRA: LL230711-6

ROCA: Basalto porfírico de clinopiroxeno (dique). Secuencia Punta Larga.

TEXTURA: Roca porfírica con fenocristales seriados de plagioclasa y clinopiroxeno, ambos minerales se encuentran zonados, y ocasionalmente forman textura glomeroporfírica. La masa fundamental está formada por microlitos de plagioclasa y clinopiroxeno en textura intergranular.

FENOCRISTALES: 8% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Plagioclasa	6	Eu- a subhedral	Leve a esmectita
Clinopiroxeno	2	Subhedral	-

MASA FUNDAMENTAL: 92% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Plagioclasa	50	Euhedral	-
Clinopiroxeno	35	Anhedral	Grado variable a esmectita
Opacos	5	Subhedral	-
Máficos Indis.	2	Anhedral	Totalmente a esmectita

OBSERVACIONES:

Presencia de cristales e hábito acicular de ilmenita, estos solo se encuentran con contacto con clinopiroxeno. Presencia de fina vetilla rellena de mica blanca. Alteración a esmectita en máficos de masa fundamental sectorizada dentro de la roca.



Figura B.03. Microfotografía (PPL y XPL) de sección transparente representativa de la muestra LL230711-6. Se observa textura glomeroporfírica con fenocristales de plagioclasa y clinopiroxeno.

MUESTRA: LL230711-7

ROCA: Basalto porfírico de clinopiroxeno. Secuencia Punta Larga.

TEXTURA: Roca porfírica con fenocristales de plagioclasa (levemente zonados y algunos fracturados), clinopiroxeno (escasos ejemplares zonados), olivino, y máficos indistinguibles (debido a alteración), algunos de estos cristales forman agregados glomeroporfíricos. La masa fundamental es intergranular y está compuesta de microlitos de plagioclasa, y gránulos de clinopiroxeno y opacos, donde destaca la presencia de ilmenita, además se aprecian cristales indistinguibles completamente reemplazados por epidota. La muestra posee escasas vesículas (1% de la roca total).

FENOCRISTALES: 10% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Plagioclasa	4	Subhedral	Variable a epidota-clorita-carbonatos
Clinopiroxeno	3	Anhedral	
Olivino	<1	Anhedral	
Máfico Indist.	3	Anhedral	Total a epidota

MASA FUNDAMENTAL: 89% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Plagioclasa	50	Eu- a Subhedral	-
Clinopiroxeno	26	Anhedral	Leve a clorita y minerales tamaño arcilla
Opacos	7	Sub- a Anhedral	-
Indistinguible	6	Anhedral	Totalmente a esmectita



Figura B.04. Microfotografía (PPL y XPL) de sección transparente representativa de la muestra LL230711-7. Destacan fenocristales de plagioclasa y clinopiroxeno en una masa fundamental intergranular alterada a esmectita.

MUESTRA: LL230711-8

ROCA: Basalto 'tipo II' porfírico de olivino (dique). Secuencia Bahía del Padre.

TEXTURA: Roca porfírica con abundantes fenocristales de olivino seriados, que ocasionalmente exhiben reabsorción, además se presentan muy escasamente clinopiroxenos (titanoaugita) zonados. La masa fundamental es muy rica en vidrio, y además se compone de pequeños cristales de titanoaugita, microlitos de plagioclasa, opacos y olivino.

FENOCRISTALES: 20% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Olivino	19	Anhedral	En bordes a iddingsita
Titanougita	1	Anhedral	-

MASA FUNDAMENTAL: 80% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Vidrio	45	-	-
Clinopiroxeno	15	Anhedral	-
Plagioclasa	10	Eu- a subhedral	-
Opacos	8	Anhedral	-
Olivino	2	Anhedral	Totalmente a iddingsita

OBSERVACIONES:

Destaca la presencia de un pequeño enclave ultramáfico correspondiente a dunita (compuesto exclusivamente de olivino).

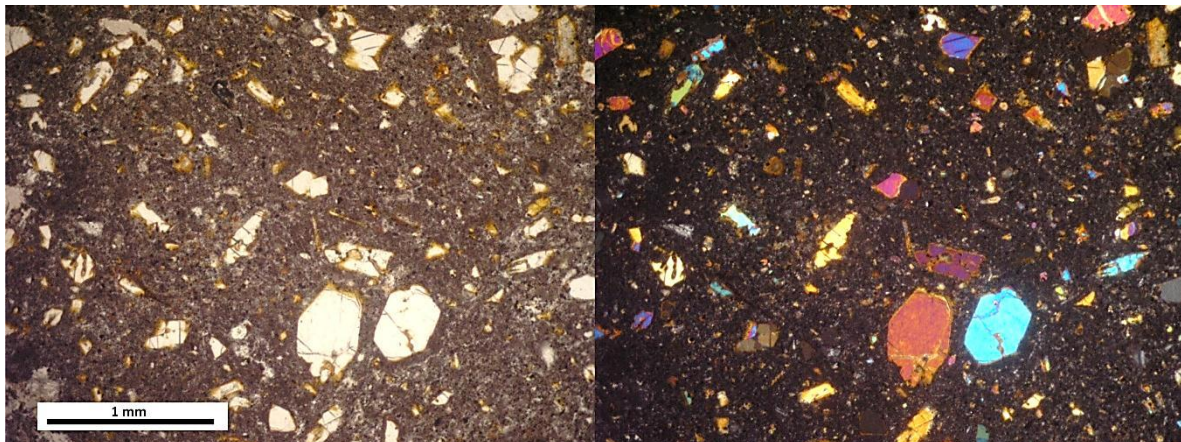


Figura B.05. Microfotografía (PPL y XPL) de sección transparente representativa de la muestra LL230711-8. Destaca la gran abundancia de fenocristales de olivino.

MUESTRA: LL230711-9

ROCA: Basalto amigdaloidal de clinopiroxeno. Secuencia Punta Larga.

TEXTURA: Roca afanítica, con amígdalas (10% de la roca total) rellenas de esmectita. Los escasos fenocristales corresponden a plagioclasa levemente zonada y clinopiroxeno. En tanto, la masa fundamental está formada por microlitos de plagioclasa junto a cristales de clinopiroxeno y opacos, destacando la presencia de ilmenita, además presenta abundante cantidad de vidrio intersticial fuertemente alterado.

FENOCRISTALES: 1% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Plagioclasa	1	Euhedral	-
Clinopiroxeno	<1	Euhedral	-

MASA FUNDAMENTAL: 89% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Plagioclasa	35	Euhedral	-
Clinopiroxeno	10	Anhedral	Variable a esmectita y óxidos de Fe-Ti
Opacos	9	Anhedral	-
Vidrio	35	-	Intensa a esmectita y óxidos de Fe-Ti

OBSERVACIONES:

Alteración generalizada a esmectita y óxidos de Fe-Ti sectorizada (algunas regiones presentan poca alteración facilitando la identificación mineralógica)

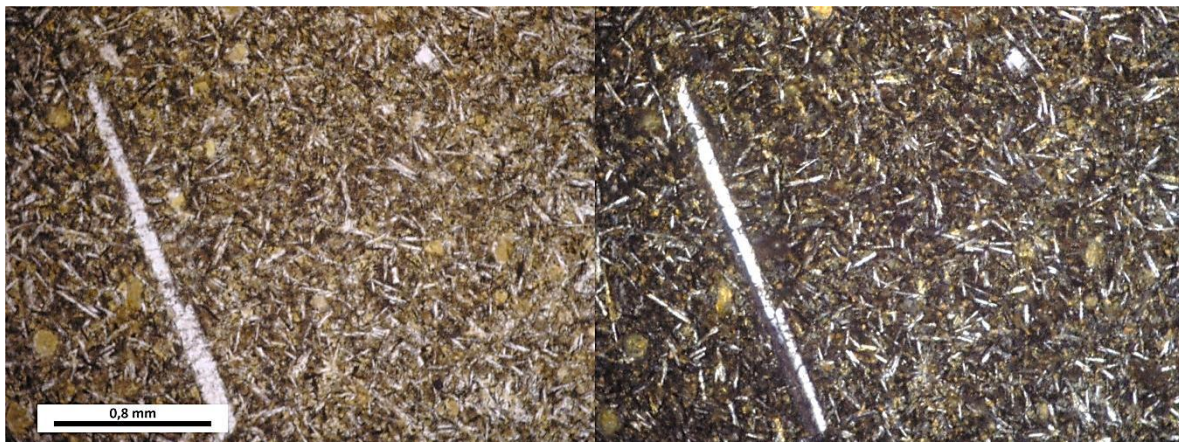


Figura B.06. Microfotografía (PPL y XPL) de sección transparente representativa de la muestra LL230711-9. Se aprecian escasos fenocristales de plagioclasa en una masa fundamental alterada a esmectita.

MUESTRA: LL230711-10

ROCA: Basalto amigdaloidal de clinopiroxeno (dique). Secuencia Punta Larga.

TEXTURA: Roca obliterada, intensamente alterada a esmectita y óxidos de Fe-Ti, presenta amígdalas (20% de la roca total) y vetillas rellenas de cuarzo (10% de la roca total), óxidos de Fe-ti y esmectita. Es posible apreciar que microlitos de plagioclasa (10%) y pequeños cristales de clinopiroxeno (3%) son parte de la masa fundamental, cuyo resto de volumen se encuentra alterado impidiendo el reconocimiento de fases primarias.

OBSERVACIONES:

Poca información petrológica debido a intensa alteración.

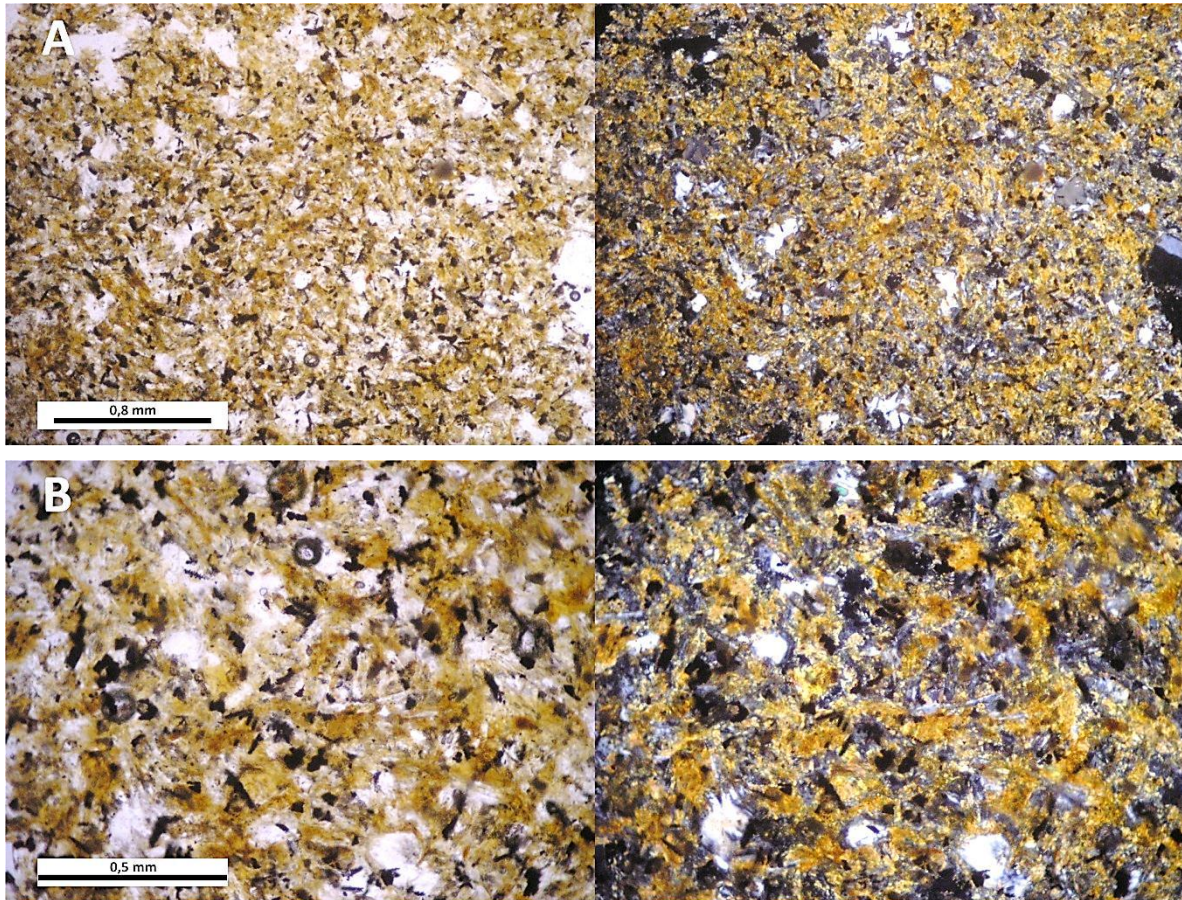


Figura B.07. Microfotografía (PPL y XPL) de sección transparente representativa de la muestra LL230711-10. Se observa el fuerte grado de obliteración que impide el reconocimiento de características primarias.

MUESTRA: LL240711-1

ROCA: Basalto vesicular de olivino y clinopiroxeno. Unidad Media, Secuencia Puerto Inglés.

TEXTURA: Roca afanítica, vesicular (20% de la roca total), con escasos fenocristales de clinopiroxeno, olivino y plagioclasa zonada, que en ocasiones forman agregados glomeroporfíricos. La masa fundamental está formada por clinopiroxeno, microlitos de plagioclasa, opacos y olivino, junto a vidrio intersticial.

FENOCRISTALES: 2% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Clinopiroxeno	1	Anhedral	-
Olivino	1	Anhedral	En bordes a iddingsita
Plagioclasa	<1	Eu- a Subhedral	-

MASA FUNDAMENTAL: 78% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Clinopiroxeno	16	Anhedral	-
Plagioclasa	16	Euhedral	-
Opacos	13	Anhedral	-
Olivino	9	Anhedral	Variable a iddingsita
Vidrio	24	-	-

OBSERVACIONES:

Se presentan regiones enriquecidas en microlitos de plagioclasa. Escasos ejemplares de clinopiroxeno presentan leve coloración café rosácea que sugiere su denominación como titanogaugita, sin embargo, por tratarse de un porcentaje muy bajo, se mantienen descritos como clinopiroxeno en general.

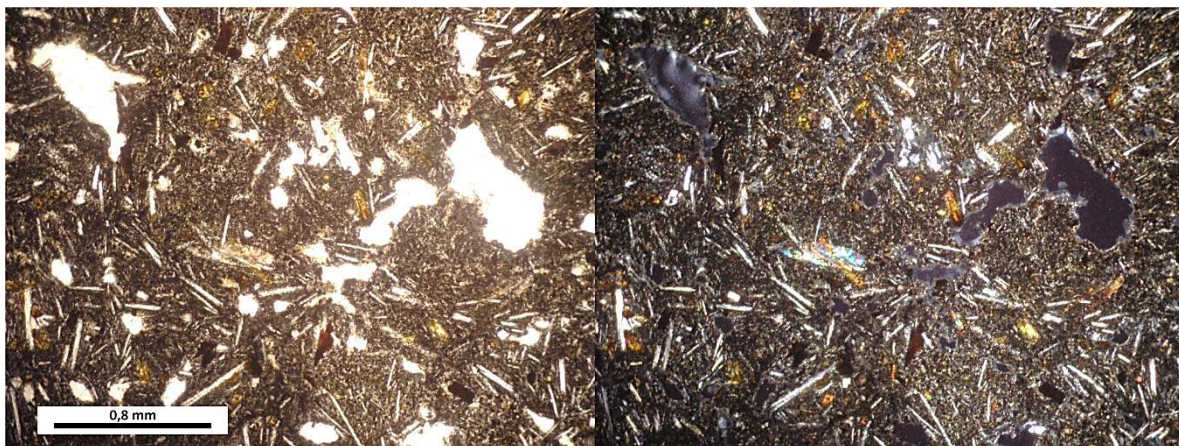


Figura B.08. Microfotografía (PPL y XPL) de sección transparente representativa de la muestra LL240711-1. Destaca la importante presencia de vidrio intersticial.

MUESTRA: LL240711-2

ROCA: Basalto afanítico de olivino. Unidad Media, Secuencia Puerto Inglés.

TEXTURA: Roca afanítica, vesicular (10% de la roca total), con escasos fenocristales de olivino con bordes de reabsorción (en algunos ejemplares), clinopiroxeno de hábito tabular prismático y plagioclasa. La masa fundamental está compuesta de clinopiroxeno, microlitos de plagioclasa, opacos (con escasas cantidades de ilmenita) y olivino, además de vidrio intersticial en importantes cantidades.

FENOCRISTALES: 3% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Olivino	2	Sub- a Anhedral	En bordes a iddingsita
Clinopiroxeno	1	Anhedral	-
Plagioclasa	<1	Subhedral	-

MASA FUNDAMENTAL: 87% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Clinopiroxeno	20	Anhedral	-
Plagioclasa	15	Eu- a Subhedral	-
Opacos	14	Anhedral	-
Olivino	6	Anhedral	Total a iddingsita
Vidrio	32	-	-

OBSERVACIONES:

Compleja distinción entre granos muy pequeños de clinopiroxeno y vidrio intersticial.

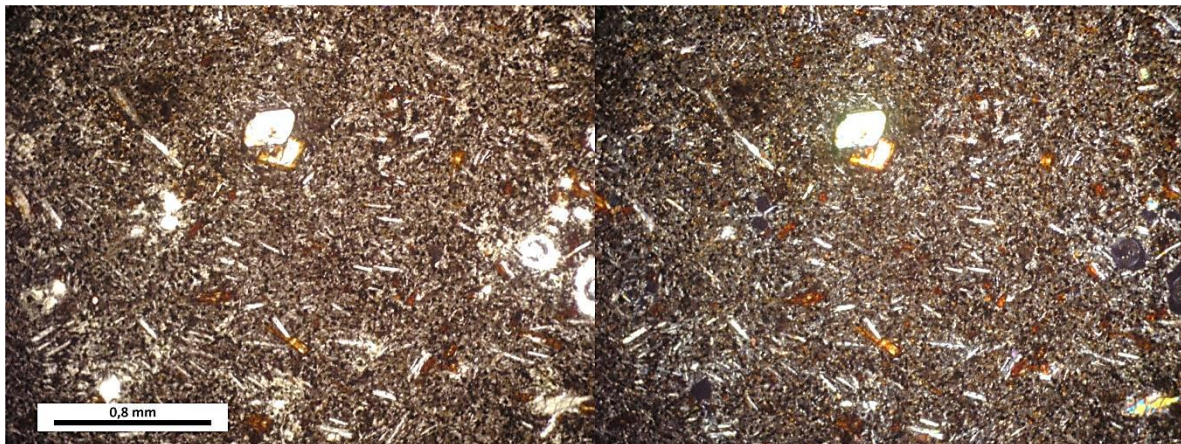


Figura B.09. Microfotografía (PPL y XPL) de sección transparente representativa de la muestra LL240711-2. Se aprecia la escasa presencia de fenocristales de olivino y clinopiroxeno.

MUESTRA: LL240711-3

ROCA: Basalto alcalino intergranular de clinopiroxeno (dique). Unidad Media, Secuencia Puerto Inglés.

TEXTURA: Roca porfírica, vesicular (20% de la roca total), con fenocristales de plagioclasa zonados, clinopiroxeno y olivino, que ocasionalmente forman textura glomeroporfírica. La masa fundamental presenta textura intergranular y está compuesta de microlitos de plagioclasa junto a pequeños cristales de titanaugita, olivino y opacos (con escasa presencia de ilmenita). Además algunas regiones exhiben bajas cantidades de vidrio intersticial, especialmente en bordes de vesículas.

FENOCRISTALES: 10% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Plagioclasa	7	Euhedral	-
Clinopiroxeno	3	Anhedral	-
Olivino	<1	Anhedral	En bordes a iddingsita

MASA FUNDAMENTAL: 70% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Plagioclasa	28	Euhedral	-
Titanoaugita	23	Anhedral	-
Olivino	6	Anhedral	Total a iddingsita
Opacos	6	Anhedral	-
Vidrio	7	-	-

OBSERVACIONES:

Evidencias de flujo en bordes de fenocristales y cúmulos glomeroporfíricos.

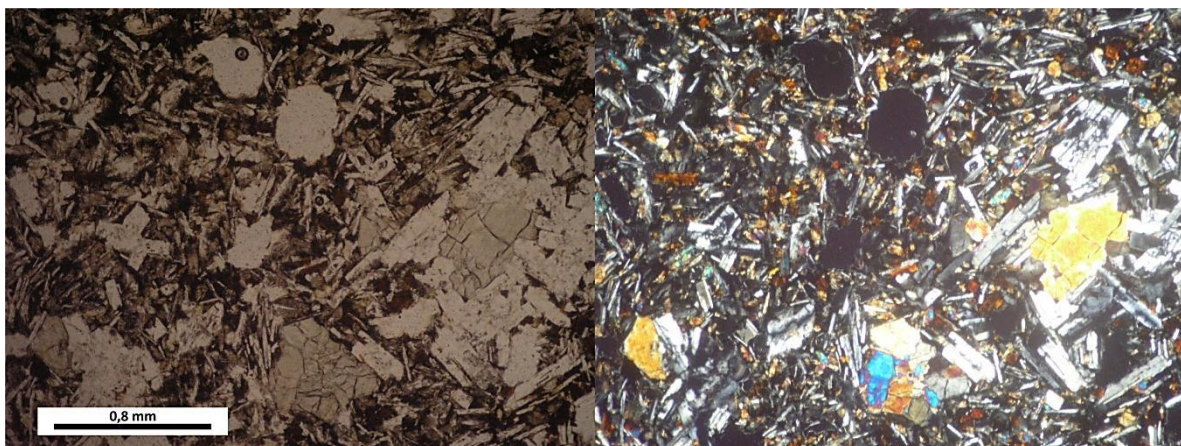


Figura B.10. Microfotografía (PPL y XPL) de sección transparente representativa de la muestra LL240711-3. Destaca la textura glomeroporfírica formada por fenocristales de clinopiroxeno y plagioclasa en una masa fundamental intergranular rica en titanaugita

MUESTRA: LL240711-4

ROCA: Basalto alcalino subofítico de olivino (dique). Unidad Media, Secuencia Puerto Inglés.

TEXTURA: Roca afanítica, con muy escasa presencia de fenocristales de olivino (escasos ejemplares evidencian bordes de reabsorción) y plagioclasa zonada. La masa fundamental está compuesta de abundantes microlitos de plagioclasa (levemente orientados) y además de titanoaugita, olivino y opacos. Los cristales de titanoaugita forman textura ofítica a subofítica (intergranular en regiones), característica en la masa fundamental de esta roca.

FENOCRISTALES: 2% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Olivino	2	Subhedral	En bordes a iddingsita
Plagioclasa	<1	Subhedral	-

MASA FUNDAMENTAL: 98% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Plagioclasa	49	Sub- a Euhedral	-
Titanoaugita	24	Anhedral	-
Olivino	17	Anhedral	Total a iddingsita
Opacos	8	Anhedral	-

OBSERVACIONES:

En escasas regiones la masa fundamental se encuentra alterada a óxidos de Fe-Ti. Muy escasa presencia de vesículas (<1% de la roca total).

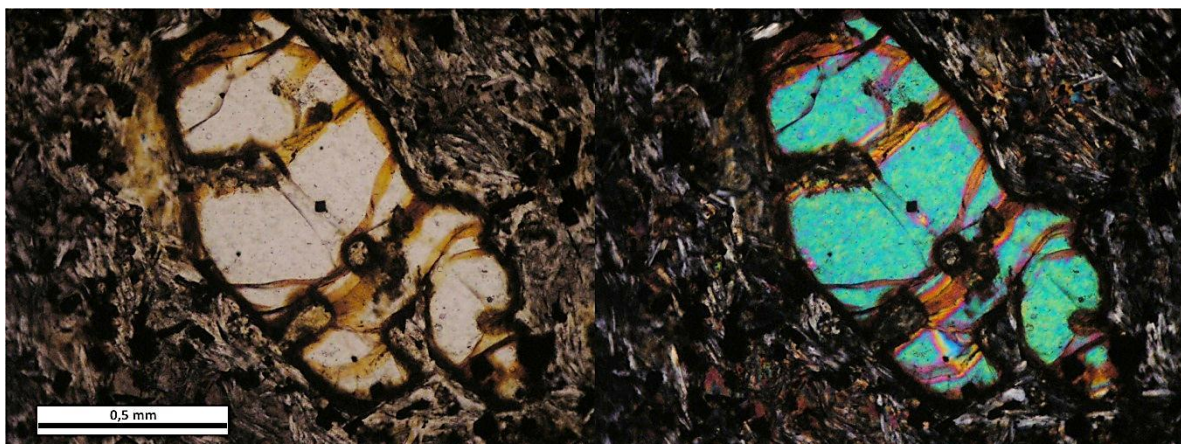


Figura B.11. Microfotografía (PPL y XPL) de sección transparente representativa de la muestra LL240711-4. Se observan bordes de reabsorción en pequeños fenocristales de olivino.

MUESTRA: LL240711-5C

ROCA: Dunita de plagioclasa. Enclave ultramáfico en LL240711-5D.

TEXTURA: Roca intrusiva muy rica en olivino que presenta textura heteroacumulada, con formación de plagioclasa y clinopiroxeno intersticial entre los cristales de olivino., además de minerales opacos distribuidos en toda la roca. Los bordes del cúmulo dunítico evidencian que fue transportado en estado sólido.

MINERALOGÍA:

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Olivino	88	Anhedral	Iddingsita en escasas fracturas
Clinopiroxeno	5	Anhedral	-
Plagioclasa	3	Anhedral	-
Opacos	3	Anhedral	-
Ortopiroxeno	1	Anhedral	-

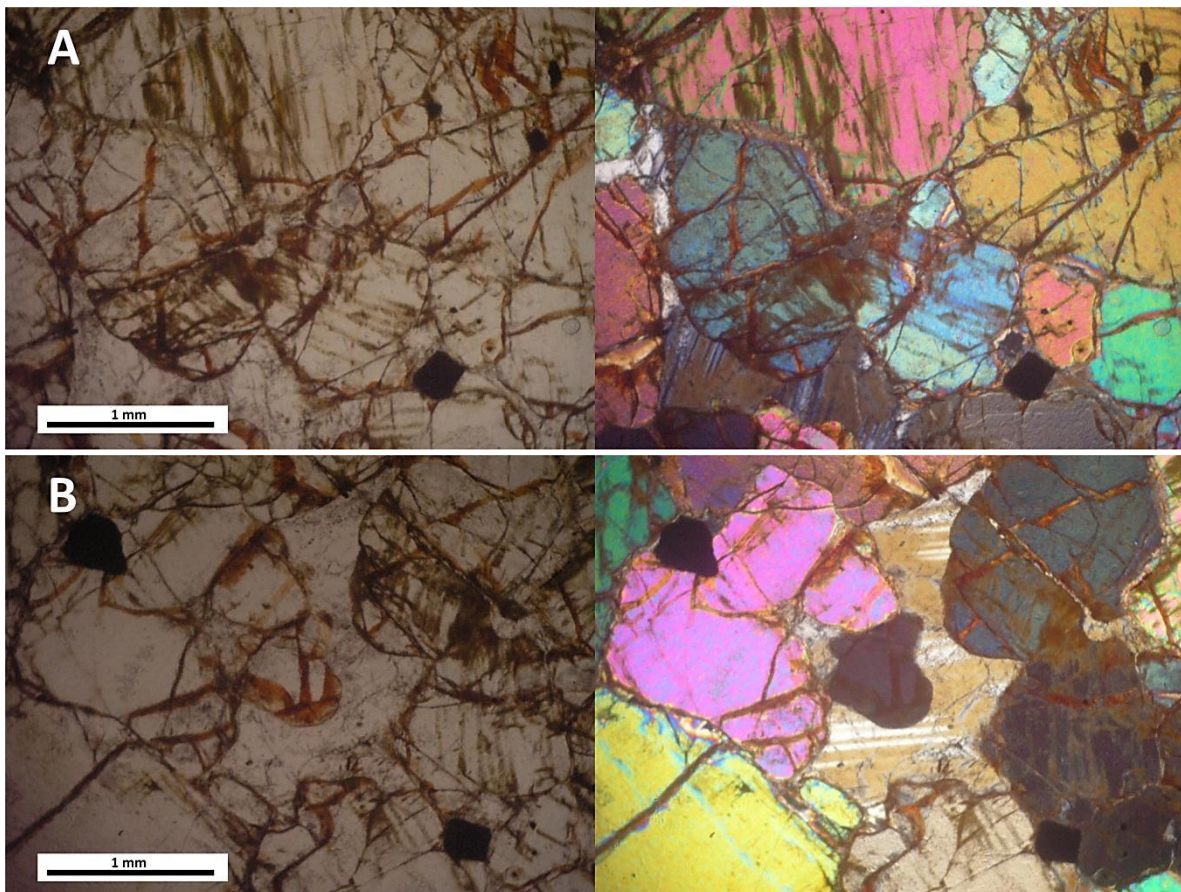


Figura B.12. Microfotografías (PPL y XPL) de secciones transparentes representativas de la muestra LL240711-5C. Destaca la importante presencia de vidrio intersticial. (A) Abundante presencia de cristales de olivino. (B) Textura heteroacumulada con formación de cristales de plagioclasa intersticial.

MUESTRA: LL240711-5D

ROCA: Basalto alcalino intergranular de clinopiroxeno (dique). Unidad Media, Secuencia Puerto Inglés.

TEXTURA: Roca afanítica con muy escasos fenocristales de olivino. La masa fundamental presenta textura subofítica a ofítica (con regiones intergranulares) y se compone de microlitos de plagioclasa zonados (con orientación preferente en regiones adyacentes a fenocristales), y cristales de clinopiroxeno (titanoaugita), olivino y opacos.

FENOCRISTALES: 2% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Olivino	2	Anhedral	En bordes a iddingsita

MASA FUNDAMENTAL: 98% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Plagioclasa	50	Euhedral	-
Titanoaugita	26	Anhedral	-
Olivino	12	Anhedral	La mayoría totalmente a iddingsita
Opacos	10	Anhedral	-

OBSERVACIONES:

La roca contiene enclaves duníticos formados por olivino, plagioclasa, clinopiroxeno y opacos, luego, los fenocristales de olivino descritos podrían corresponder a xenocristales (pequeñas porciones del cúmulo dunítico). Regiones de la masa fundamental ricas en olivinos alterados a iddingsita presentan pátinas de óxidos de Fe-Ti.

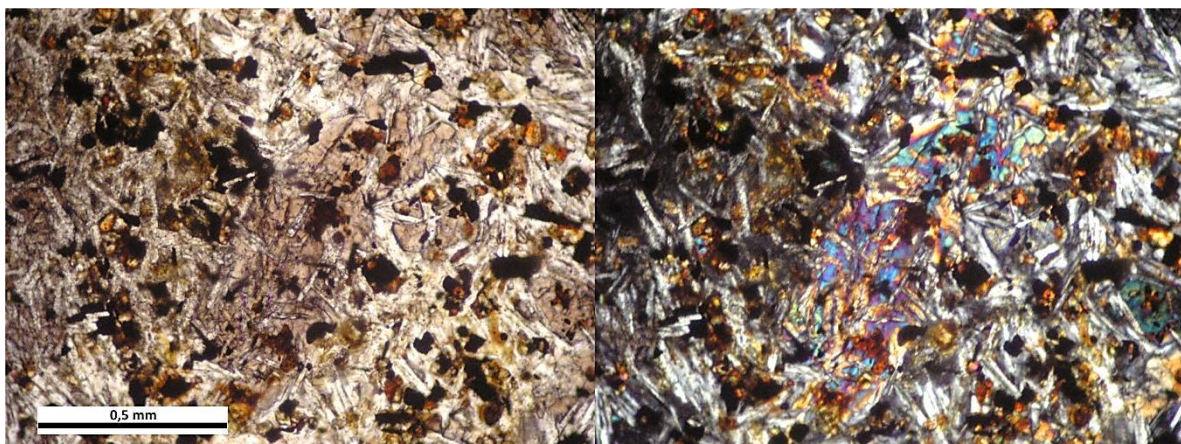


Figura B.13. Microfotografía (PPL y XPL) de sección transparente representativa de la muestra LL240711-5D. Se aprecia textura subofítica entre cristales de titanoaugita y plagioclasa en la masa fundamental generalmente intergranular.

MUESTRA: LL240711-6

ROCA: Basalto vesicular de olivino. Unidad Media, Secuencia Puerto Inglés.

TEXTURA: Roca afanítica, vesicular (45% de la roca total), con escasos fenocristales de olivino (1%) y masa fundamental conformada por microlitos de plagioclasa, y pequeños granos de clinopiroxeno, olivino, opacos, además de importante cantidad de vidrio. Es posible apreciar evidencias de flujo en microlitos de plagioclasa que forman regiones con textura hialopilitica.

FENOCRISTALES: 1% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Olivino	1	Subhedral	En bordes a iddingsita

MASA FUNDAMENTAL: 54% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Plagioclasa	20	Subhedral	-
Clinopiroxeno	5	Anhedral	-
Opacos	14	Anhedral	-
Olivino	1	Anhedral	Total a iddingsita
Vidrio	14	-	-

OBSERVACIONES:

La distinción entre opacos y vidrio resulta dificultosa debido al color oscuro que exhibe este último.

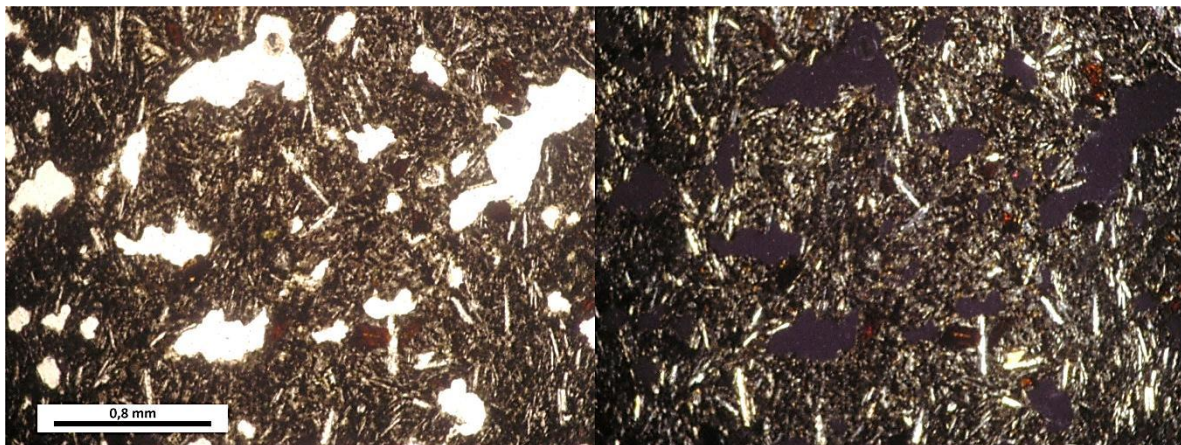


Figura B.14. Microfotografía (PPL y XPL) de sección transparente representativa de la muestra LL240711-6. Se observa microlitos de plagioclasa con orientación en una dirección preferencial.

MUESTRA: LL240711-7

ROCA: Basalto alcalino pilotaxítico de olivino (dique). Unidad Media, Secuencia Puerto Inglés.

TEXTURA: Roca afanítica, vesicular (5% de la roca total), con muy escasa presencia de fenocristales de plagioclasa (zonados), olivino y clinopiroxeno. La masa fundamental exhibe microlitos de plagioclasa, y pequeños cristales de titanogaugita, olivino y opacos, destacando la escasa presencia de ilmenita. Esta masa fundamental forma textura pilotaxítica, y los minerales opacos se presentan en importante cantidad formando textura poikilítica en titanogaugitas.

FENOCRISTALES: 1% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Olivino	<1	Anhedral	En bordes a iddingsita
Clinopiroxeno	<1	Anhedral	-
Plagioclasa	<1	Eu- a Subhedral	-

MASA FUNDAMENTAL: 94% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Plagioclasa	52	Euhedral	-
Titanogaugita	24	Anhedral	-
Olivino	11	Anhedral	Total a iddingsita
Opacos	7	Anhedral	-

OBSERVACIONES:

La masa fundamental se encuentra levemente alterada a óxidos de Fe-Ti.



Figura B.15. Microfotografía (PPL y XPL) de sección transparente representativa de la muestra LL240711-7. Se observa textura pilotaxítica entre cristales de titanogaugita y plagioclasa.

MUESTRA: LL250711-1

ROCA: Basalto alcalino subofítico de titanogaugita. Unidad Media, Secuencia Puerto Inglés.

TEXTURA: Roca porfírica, vesicular (10% de la roca total), con fenocristales de plagioclasa seriados y zonados, clinopiroxeno (con algunos ejemplares zonados) y olivino, que en ocasiones forman agregados glomeroporfíricos que desarrollan textura subofítica (muy escasa). La masa fundamental está formada por pequeños cristales de titanogaugita, microlitos de plagioclasa zonados, opacos (destacando la presencia de ilmenita) y olivino, además de muy escasa presencia de vidrio intersticial en escasas regiones de la roca.

FENOCRISTALES: 35% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Plagioclasa	18	Euhedral	-
Clinopiroxeno	11	Anhedral	-
Olivino	6	Eu- a Subhedral	Total a iddingsita

MASA FUNDAMENTAL: 55% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Titanogaugita	26	Anhedral	-
Plagioclasa	20	Euhedral	-
Opacos	5	Anhedral	-
Olivino	3	Anhedral	Total a iddingsita
Vidrio	1	-	-

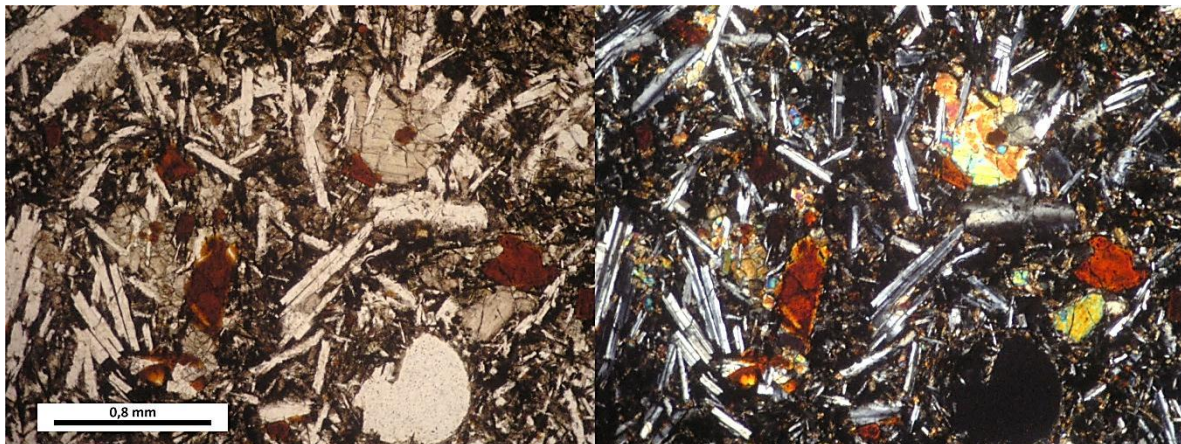


Figura B.16. Microfotografía (PPL y XPL) de sección transparente representativa de la muestra LL250711-1. Se observan agregados glomeroporfíricos entre fenocristales de plagioclasa y clinopiroxeno que ocasionalmente forman textura subofítica

MUESTRA: LL250711-2

ROCA: Basalto alcalino pilotaxítico de titanogaugita (dique). Unidad Media, Secuencia Puerto Inglés.

TEXTURA: Roca porfírica, con fenocristales zonados de plagioclasa y titanogaugita, además de olivino. La masa fundamental es pilotaxítica y está formada por microlitos zonados de plagioclasa y pequeños cristales de titanogaugita, olivino y opacos, correspondientes principalmente a ilmenita. También se reportan escasas cantidades de vidrio intersticial.

FENOCRISTALES: 6% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Plagioclasa	3	Subhedral	-
Titanogaugita	2	Anhedral	-
Olivino	1	Subhedral	En bordes a iddingsita

MASA FUNDAMENTAL: 94% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Plagioclasa	45	Euhedral	-
Titanogaugita	34	Anhedral	-
Opacos	10	Anhedral	-
Olivino	5	Subhedral	Intensa a iddingsita



Figura B.17. Microfotografía (PPL y XPL) de sección transparente representativa de la muestra LL250711-2. Destaca la presencia de fenocristales de titanogaugita inmersos en una masa fundamental pilotaxítica.

MUESTRA: LL250711-3

ROCA: Basalto traquítico de olivino. Unidad Media, Secuencia Puerto Inglés.

TEXTURA: Roca afanítica, vesicular (8% de la roca total), con muy escasos fenocristales de olivino. La masa fundamental es traquítica y está compuesta de microlitos orientados de plagioclasa, pequeños cristales de olivino, clinopiroxeno y opacos junto a vidrio intersticial.

FENOCRISTALES: 1% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Olivino	1	Anhedral	En bordes a iddingsita

MASA FUNDAMENTAL: 91% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Plagioclasa	25	Eu- a Subhedral	-
Titanoaugita	22	Anhedral	-
Olivino	12	Anhedral	Total a iddingsita
Opacos	12	Anhedral	-
Vidrio	20	-	-

OBSERVACIONES:

La forma tabular prismática en cristales de olivino alterados a iddingsita permite apreciar la dirección de orientación preferente en estos cristales (además de plagioclasa).

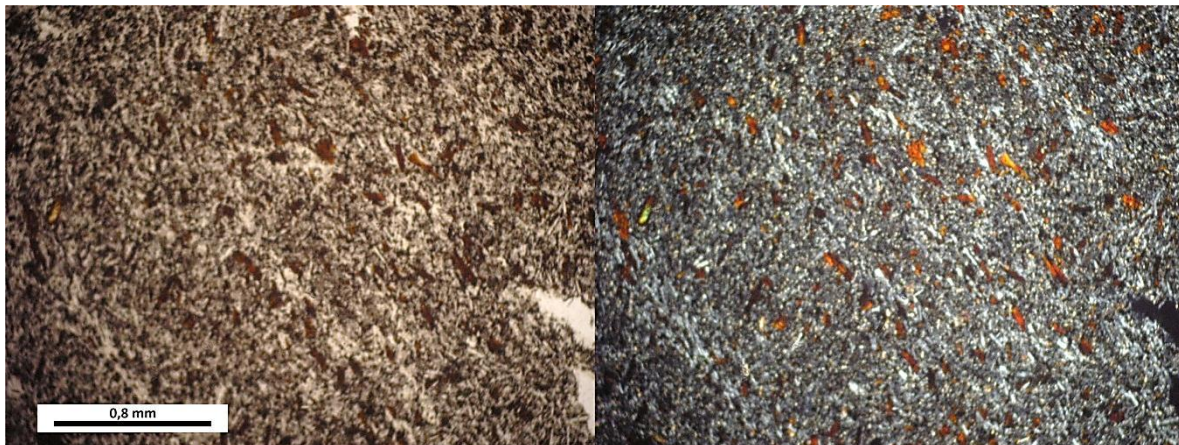


Figura B.18. Microfotografía (PPL y XPL) de sección transparente representativa de la muestra LL250711-3. Se aprecia leve textura traquítica y pequeños cristales de olivino completamente alterados a iddingsita.

MUESTRA: LL250711-4

ROCA: Basalto vesicular de olivino. Unidad Superior, Secuencia Puerto Inglés.

TEXTURA: Roca afanítica, vesicular (20% de la roca total), con escasos fenocristales de olivino, plagioclasa y clinopiroxeno. La masa fundamental está formada por microlitos de plagioclasa (que en regiones presentan textura traquítica) junto a pequeños cristales de clinopiroxeno, opacos y olivino, además de significantes cantidades de vidrio intersticial.

FENOCRISTALES: 3% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Olivino	2	Anhedral	En bordes a iddingsita
Plagioclasa	1	Euhedral	-
Clinopiroxeno	<1	Anhedral	-

MASA FUNDAMENTAL: 77% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Plagioclasa	44	Subhedral	-
Clinopiroxeno	10	Anhedral	Ocasional a óxidos de Fe-Ti
Opacos	15	Anhedral	-
Olivino	2	Anhedral	Total a iddingsita
Vidrio	6	-	-

OBSERVACIONES:

Alteración a óxidos de Fe-Ti significativa en zona vesicular, que corresponde a un borde de la roca rico en vesículas (eventualmente techo de la colada representada por la roca).

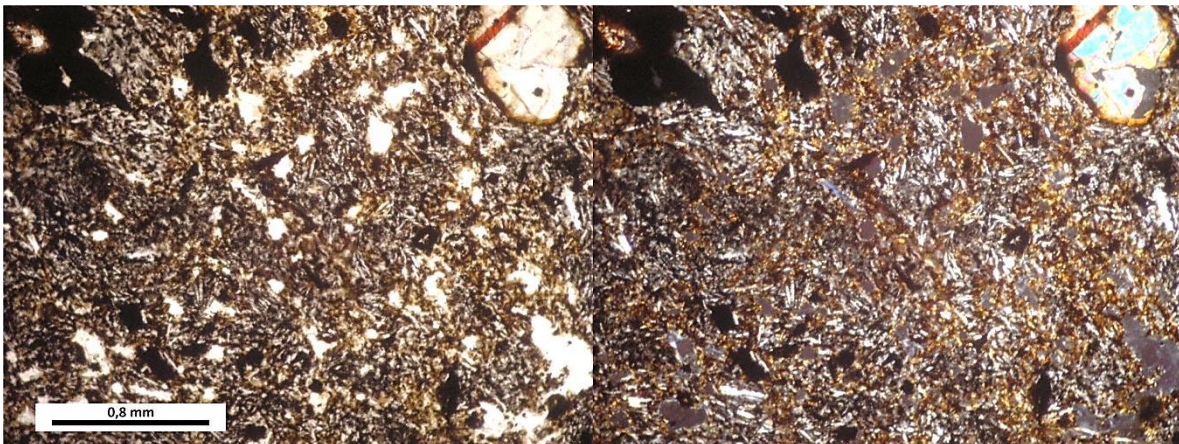


Figura B.19. Microfotografía (PPL y XPL) de sección transparente representativa de la muestra LL250711-4. Se observan escasos fenocristales de olivino en una masa fundamental levemente alterada a óxidos de Fe-Ti.

MUESTRA: LL250711-5

ROCA: Picrita alcalina ofítica de olivino. Unidad Media, Secuencia Puerto Inglés.

TEXTURA: Roca porfírica, con abundantes fenocristales de gran tamaño de olivino, seriados, con bordes de reabsorción en algunos ejemplares. En tanto, la masa fundamental está formada por plagioclasa zonada, clinopiroxeno (titanoaugita), olivino y opacos, esta masa fundamental exhibe textura ofítica a subofítica, con apariencia intergranular en regiones.

FENOCRISTALES: 35% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Olivino	35	Subhedral	En bordes a iddingsita

MASA FUNDAMENTAL: 65% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Plagioclasa	30	Anhedral	-
Titanoaugita	28	Euhedral	-
Opacos	4	Anhedral	-
Olivino	3	Anhedral	Total a iddingsita

OBSERVACIONES:

Roca que presenta acumulación de grandes cristales de olivino.

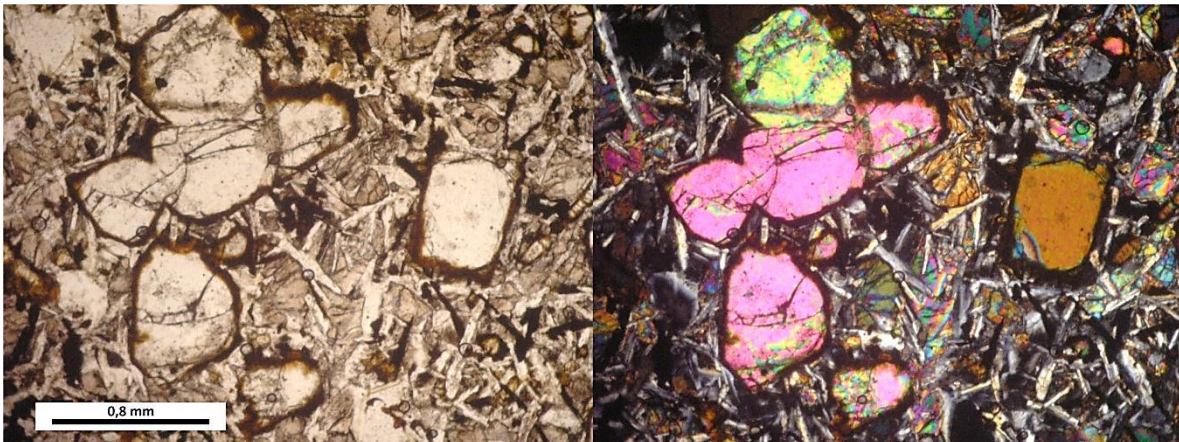


Figura B.20. Microfotografía (PPL y XPL) de sección transparente representativa de la muestra LL250711-5. Se aprecian gran cantidad de fenocristales de olivino inmersos en una masa fundamental subofítica entre titanoaugita y plagioclasa (también se aprecian opacos como ilmenita)..

MUESTRA: LL250711-6

ROCA: Basalto porfírico de olivino (dique). Unidad Media, Secuencia Puerto Inglés.

TEXTURA: Roca porfírica, con fenocristales seriados de olivino que ocasionalmente exhiben bordes de reabsorción. En tanto, la masa fundamental está formada por plagioclasa zonada (amplio rango de tamaños), titanaugita, olivino y opacos (con presencia de ilmenita) formando regiones con textura intergranular. También se aprecia la existencia de vidrio intersticial.

FENOCRISTALES: 20% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Olivino	20	Sub- a Anhedral	En bordes, y a menudo en fracturas, a iddingsita

MASA FUNDAMENTAL: 80% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Plagioclasa	35	Euhedral	-
Titanoaugita	19	Anhedral	-
Opacos	10	Anhedral	-
Olivino	4	Anhedral	Total a iddingsita
Vidrio	12	-	-

OBSERVACIONES:

Todos los cristales de plagioclasa presentes en la roca fueron considerados como parte de la masa fundamental, con el objetivo de facilitar la descripción y estimación porcentual de estos cristales.



Figura B.21. Microfotografía (PPL y XPL) de sección transparente representativa de la muestra LL250711-6. Se observan gran cantidad de fenocristales subhedrales de olivino.

MUESTRA: LL250711-7

ROCA: Basalto vesicular de olivino. Unidad Media, Secuencia Puerto Inglés.

TEXTURA: Roca porfírica, vesicular (15% de la roca total), compuesta por fenocristales de olivino, plagioclasa (zonada, con textura sieve) y clinopiroxeno. La masa fundamental de grano fino está formada por microlitos de plagioclasa y pequeños cristales de piroxeno (cuya distinción es compleja debido al tamaño de grano), opacos y olivino, además de vidrio intersticial, de proporción muy variable dentro del corte.

FENOCRISTALES: 15% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Olivino	12	Sub- a Euhedral	En bordes a iddingsita
Plagioclasa	2	Euhedral	-
Clinopiroxeno	1	Subhedral	-

MASA FUNDAMENTAL: 70% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Piroxeno	25	Anhedral	-
Plagioclasa	15	Euhedral	-
Opacos	15	Anhedral	-
Olivino	3	Anhedral	Total a iddingsita
Vidrio	12	-	-

OBSERVACIONES:

Los cristales de olivino descritos podrían corresponder a xenocristales, hipótesis alimentada por la presencia de un pequeño enclave de olivino con plagioclasa. Algunas regiones se encuentran oxidadas, especialmente en bordes de fracturas y vesículas.

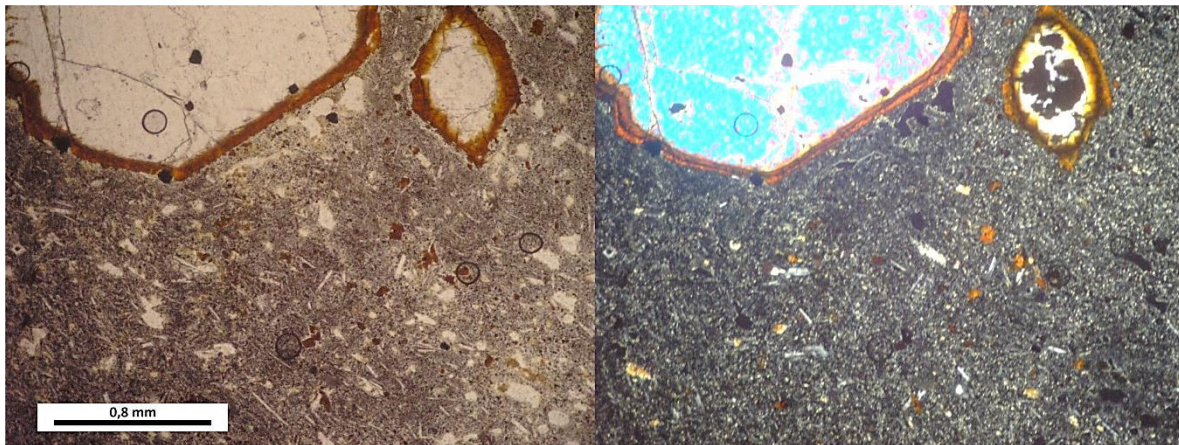


Figura B.22. Microfotografía (PPL y XPL) de sección transparente representativa de la muestra LL250711-7. Se observan fenocristales de olivino inmersos en una masa fundamental de grano muy fino.

MUESTRA: LL250711-8

ROCA: Basalto alcalino intergranular de clinopiroxeno. Unidad Superior, Secuencia Puerto Inglés.

TEXTURA: Roca afanítica, vesicular (4% de la roca total) con escasos fenocristales de plagioclasa, clinopiroxeno y olivino que forman agregados glomeroporfíricos. En tanto, la masa fundamental está formada por microlitos de plagioclasa (que exhiben una dirección de orientación preferente en sectores como por ejemplo, bordes de fenocristales) y pequeños cristales de clinopiroxeno (titanoaugita) formando textura intergranular, además se reporta la presencia de olivino y opacos, entre estos últimos, destaca la escasa presencia de ilmenita.

FENOCRISTALES: 2% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Clinopiroxeno	1	Subhedral	-
Plagioclasa	1	Euhedral	-
Olivino	<1	Anhedral	En bordes a iddingsita

MASA FUNDAMENTAL: 94% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Plagioclasa	45	Euhedral	-
Titanoaugita	33	Anhedral	-
Olivino	10	Anhedral	A iddingsita y óxidos de Fe-Ti
Opacos	6	Anhedral	-



Figura B.23. Microfotografía (PPL y XPL) de sección transparente representativa de la muestra LL250711-8. Masa fundamental intergranular con plagioclasa, titanoaugita, olivino y opacos.

MUESTRA: LL250711-9

ROCA: Basalto alcalino intergranular de clinopiroxeno. Unidad Superior, Secuencia Puerto Inglés.

TEXTURA: Roca afanítica, con escasa presencia de vesículas (2% de la roca total) y fenocristales, estos últimos corresponden a clinopiroxeno, plagioclasa (que forma textura glomeroporfírica), y escasamente olivino y ortopiroxeno. La masa fundamental es intergranular con microlitos de plagioclasa y pequeños cristales de clinopiroxeno (titanoaugita), opacos (escasa ilmenita) y olivino. También se reporta la escasa presencia de vidrio en algunas regiones de la muestra.

FENOCRISTALES: 3% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Clinopiroxeno	2	Subhedral	-
Plagioclasa	1	Subhedral	-
Olivino	<1	Anhedral	En bordes a iddingsita
Ortopiroxeno	<1	Anhedral	-

MASA FUNDAMENTAL: 95% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Plagioclasa	42	Euhedral	-
Titanoaugita	38	Anhedral	-
Opacos	8	Anhedral	-
Olivino	5	Anhedral	En bordes a iddingsita
Vidrio	2	-	-

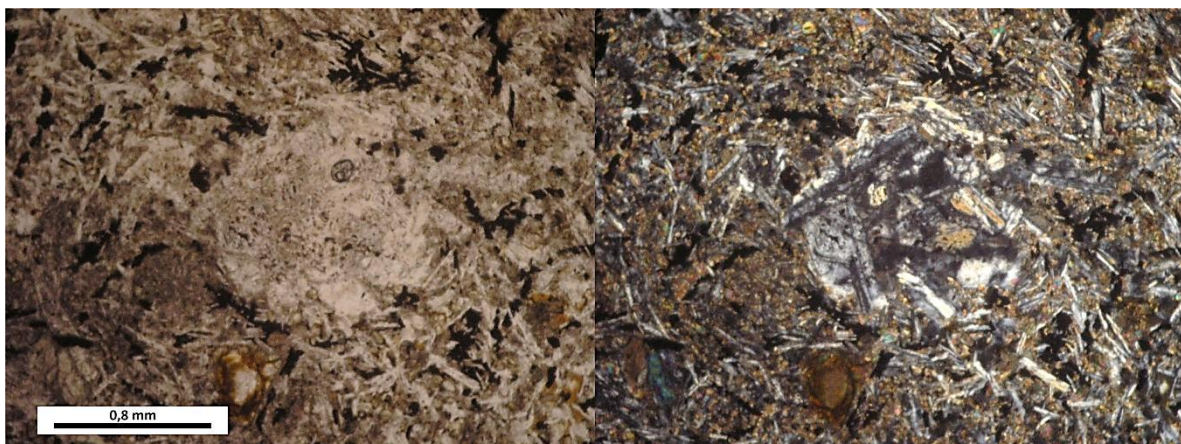


Figura B.24. Microfotografía (PPL y XPL) de sección transparente representativa de la muestra LL250711-9. Se observa un agregado glomeroporfírico de plagioclasa inmerso en una masa fundamental intergranular rica en plagioclasa y titanoaugita.

MUESTRA: LL260711-1

ROCA: Basalto afanítico obliterado. Unidad Media, Secuencia Puerto Inglés.

TEXTURA: Roca vesicular (las vesículas corresponden al 20% de la roca total), afanítica. A nícoles paralelos se reconoce la presencia de microlitos de plagioclasa (>20%) en la masa fundamental y de minerales opacos (aproximadamente 10%), sin embargo, a nícoles cruzados se aprecia que la roca se encuentra totalmente desintegrada y obliterada, con alteración a óxidos de Fe-Ti, sin que exista la capacidad de reconocer diferencias entre los componentes diferentes de plagioclasa (como podrían ser piroxenos, vidrio, etc.)

OBSERVACIONES:

La realización de una descripción en mayor profundidad resulta infactible, y debido al estado de la roca, innecesario para objetivos del estudio.

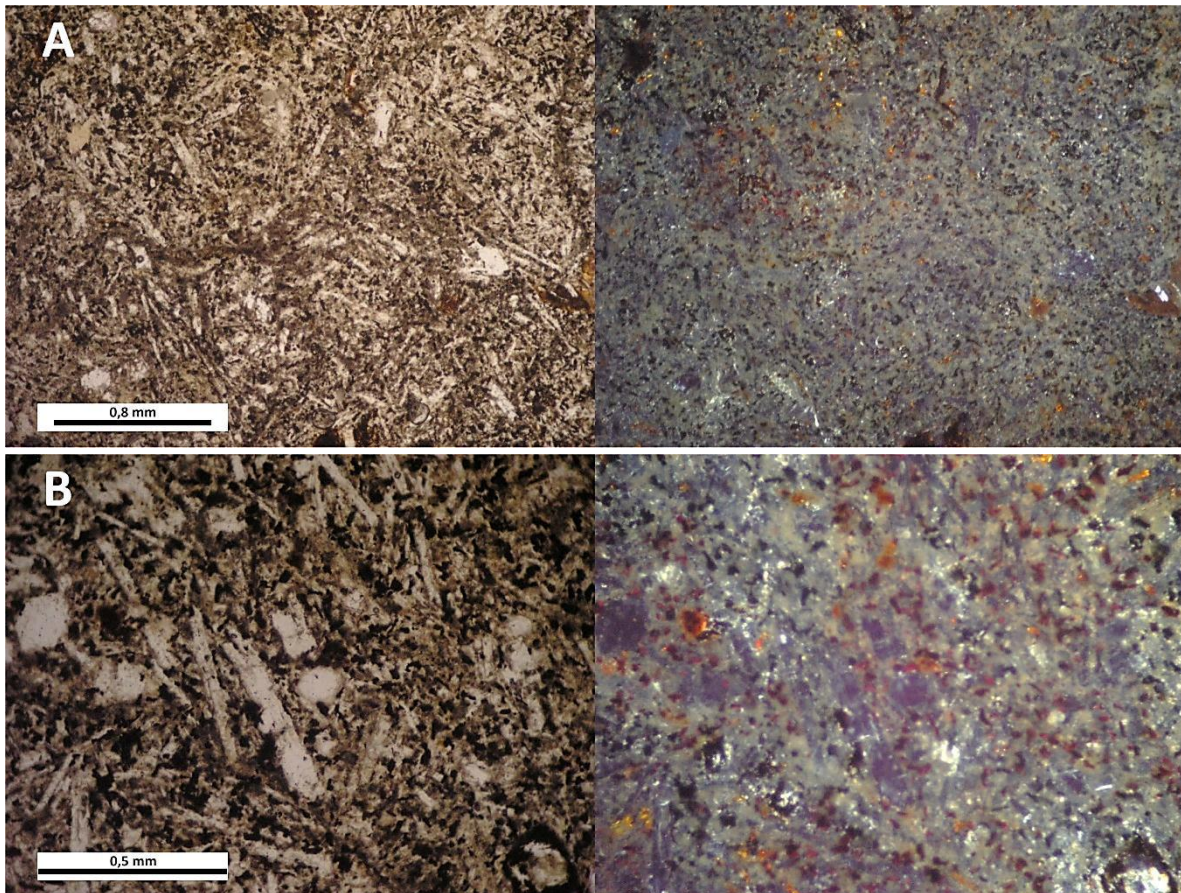


Figura B.25. Microfotografía (PPL y XPL) de sección transparente representativa de la muestra LL260711-1. En las imágenes (A) y (B) se puede apreciar el estado de descomposición que impide la descripción en profundidad de la roca.

MUESTRA: LL260711-2

ROCA: Basalto vesicular de olivino y clinopiroxeno. Unidad Media, Secuencia Puerto Inglés.

TEXTURA: Roca afanítica con escasos fenocristales de plagioclasa y clinopiroxeno, la masa fundamental está compuesta de microlitos de plagioclasa, pequeños cristales de clinopiroxeno, opacos y olivino. Además se reporta la importante presencia de vidrio intersticial.

FENOCRISTALES: 2% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Plagioclasa	1	Subhedral	-
Clinopiroxeno	1	Anhedral	-

MASA FUNDAMENTAL: 98% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Plagioclasa	15	Anhedral	-
Clinopiroxeno	12	Anhedral	-
Opacos	10	Anhedral	-
Olivino	8	Anhedral	Total a iddingsita
Vidrio	53	-	-

OBSERVACIONES:

Difícil identificación mineralógica por tamaño de grano fino, complicando la distinción de vidrio con opacos y clinopiroxeno.



Figura B.26. Microfotografía (PPL y XPL) de sección transparente representativa de la muestra LL260711-2. Destaca la escasa presencia de fenocristales junto a una alta proporción de vidrio intersticial.

MUESTRA: LL260711-3

ROCA: Basalto alcalino glomeroporfírico de clinopiroxeno. Unidad Media, Secuencia Puerto Inglés.

TEXTURA: Roca porfírica, vesicular (20% de la roca total), con fenocristales de clinopiroxeno, olivino y plagioclasa zonada que forman textura glomeroporfírica. La masa fundamental presenta textura intergranular y está compuesta de microlitos de plagioclasa, y pequeños cristales de clinopiroxeno (titanoaugita), olivino y opacos, destacando la presencia de ilmenita, escasas regiones poseen bajas cantidades de vidrio.

FENOCRISTALES: 20% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Clinopiroxeno	8	Anhedral	-
Olivino	6	Eu- a Subhedral	Prácticamente total a iddingsita
Plagioclasa	6	Euhedral	-

MASA FUNDAMENTAL: 60% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Plagioclasa	20	Subhedral	-
Titanoaugita	23	Anhedral	-
Opacos	10	Anhedral	-
Olivino	4	Anhedral	Total a iddingsita
Vidrio	3	-	-

OBSERVACIONES:

Algunos sectores se encuentran levemente alterados a esmectita.

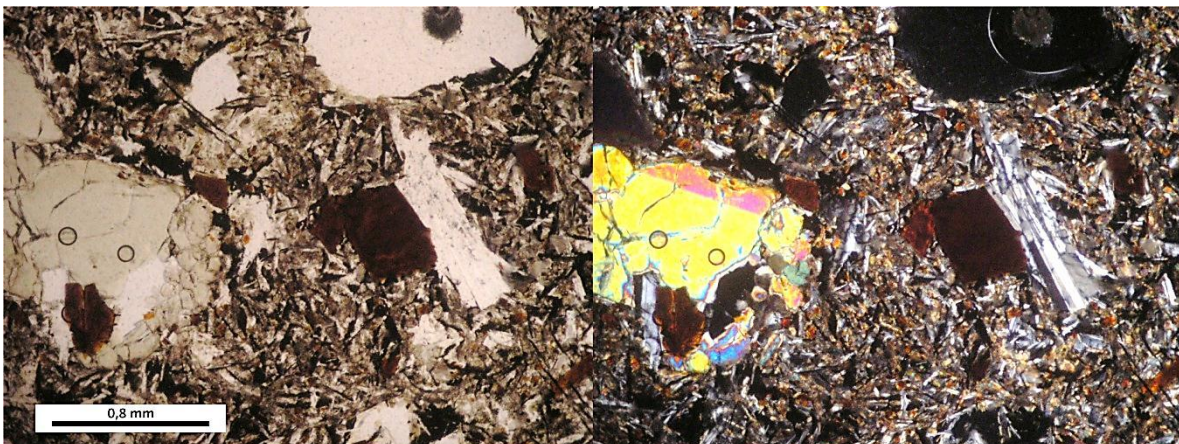


Figura B.27. Microfotografía (PPL y XPL) de sección transparente representativa de la muestra LL260711-3. Se observan fenocristales de clinopiroxeno y plagioclasa inmersos en una masa fundamental intergranular.

MUESTRA: LL270711-1

ROCA: Sienita de clinopiroxeno. Intrusivo de Punta Larga.

TEXTURA: Roca intrusiva fanerítica compuesta de feldespato potásico (ortoclasa), plagioclasas subhedrales, tabulares, zonadas y fracturadas que presentan bordes de recrecimiento, estos últimos, así como el relleno de las fracturas corresponde a ortoclasa. También posee cuarzo relleno intersticios, además de clinopiroxeno y opacos. Como mineralogía accesoria se reporta la existencia de apatito y zircón.

MINERALOGÍA:

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Ortoclasa	48	Anhedral	Minerales tamaño arcilla
Plagioclasa	30	Sub- a Anhedral	Minerales tamaño arcilla
Cuarzo	2	Anhedral	-
Clinopiroxeno	13	Anhedral	Variable a anfíbola, clorita y óxidos Fe-Ti
Opacos	7	Anhedral	Principalmente como reemplazo en clinopiroxeno
Apatito	<1	Euhedral	-
Zircón	<1	Subhedral	-

OBSERVACIONES:

Los recrecimientos en cristales de plagioclasa son visibles incluso en muestra de mano. Los cristales de clinopiroxeno se encuentran alterados a anfíbola, clorita y opacos en grado variable.

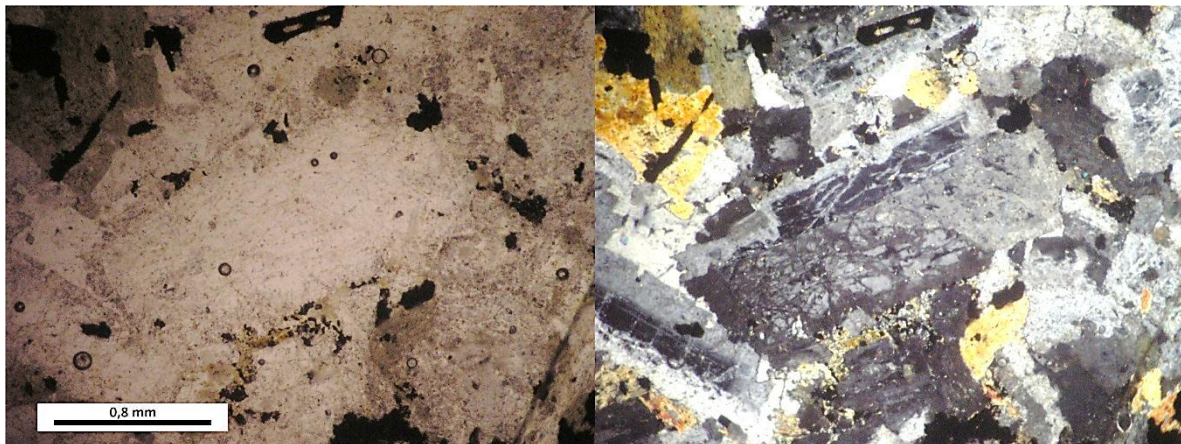


Figura B.28. Microfotografía (PPL y XPL) de sección transparente representativa de la muestra LL270711-1. Se aprecian los recrecimientos de ortoclasa en bordes y fracturas de plagioclasa.

MUESTRA: LL270711-2

ROCA: Sienita de clinopiroxeno. Intrusivo de Punta Larga.

TEXTURA: Roca intrusiva fanerítica con tamaño de grano variable, existiendo dos familias marcadas, con límite abrupto entre ellas, cuya mineralogía consiste en feldespato potásico (ortoclasa), plagioclasa con textura de recrecimiento (menos evidente que para la roca LL270711-1), cuarzo, clinopiroxeno alterado y opacos, además de rutilo y apatito como mineral accesorio (este último formando textura poikilítica).

MINERALOGÍA:

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Ortoclasa	58	Anhedral	A minerales tamaño arcilla
Plagioclasa	18	Subhedral	Leve a minerales tamaño arcilla
Cuarzo	8	Anhedral	-
Clinopiroxeno	10	Anhedral	Media a anfíbola y óxidos de Fe-Ti
Opacos	7	Anhedral	-
Apatito	<1	Euhedral	
Rutilo	<1	Anhedral	-

OBSERVACIONES:

Se aprecian leves coloraciones características de óxidos de Fe-Ti entre y cristales y en intersticios que provienen de minerales ricos en Fe y Ti que se encuentran alterando a los cristales de clinopiroxeno. Los recrecimientos observados en plagioclasas corresponden, a feldespato potásico (ortoclasa).

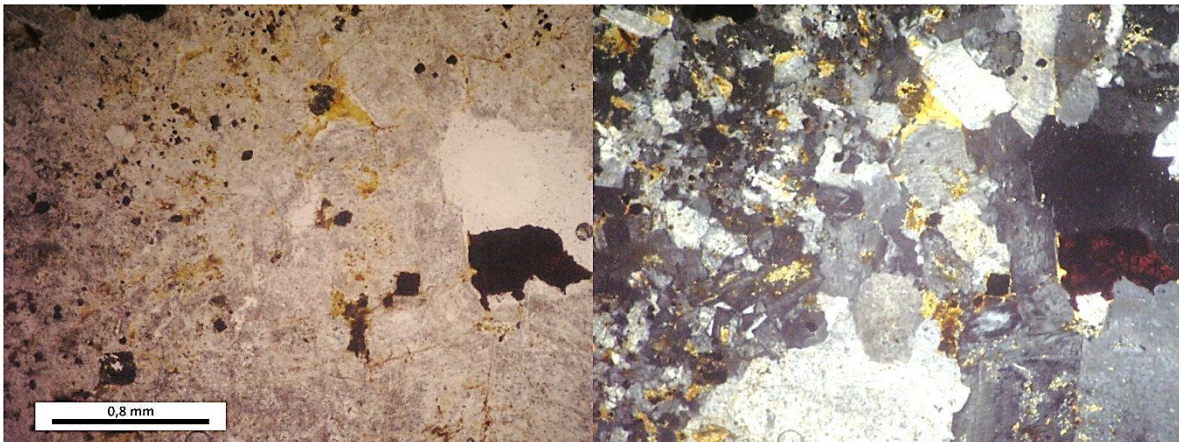


Figura B.29. Microfotografía (PPL y XPL) de sección transparente representativa de la muestra LL270711-2. Se observan dos familias de tamaño de grano con mineralogías similares separadas por un límite visible en la imagen.

MUESTRA: LL270711-3

ROCA: Sienita de clinopiroxeno. Intrusivo de Punta Larga.

TEXTURA: Roca intrusiva fanerítica cuya mineralogía consiste en feldespato potásico (ortoclasa), plagioclasa con textura de recrecimiento y poikilítica (inclusiones de óxidos de Fe-Ti), escaso cuarzo, clinopiroxeno alterado y opacos. También presenta mineralogía accesoria de apatito y secundaria de cuarzo y epidota.

MINERALOGÍA:

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Ortoclasa	52	Anhedral	A minerales tamaño arcilla
Plagioclasa	25	Subhedral	Leve a minerales tamaño arcilla
Cuarzo	5	Anhedral	-
Clinopiroxeno	15	Anhedral	Alta a anfíbola y óxidos de Fe-Ti
Opacos	2	Anhedral	-
Clinopiroxeno	1		
Apatito	<1	Euhedral	-

OBSERVACIONES:

Se observan en algunos intersticios la asociación cuarzo + epidota, lo que sugiere origen secundario para el cuarzo presente en la roca. Los recrecimientos observados en plagioclasas corresponden a feldespato potásico (ortoclasa).

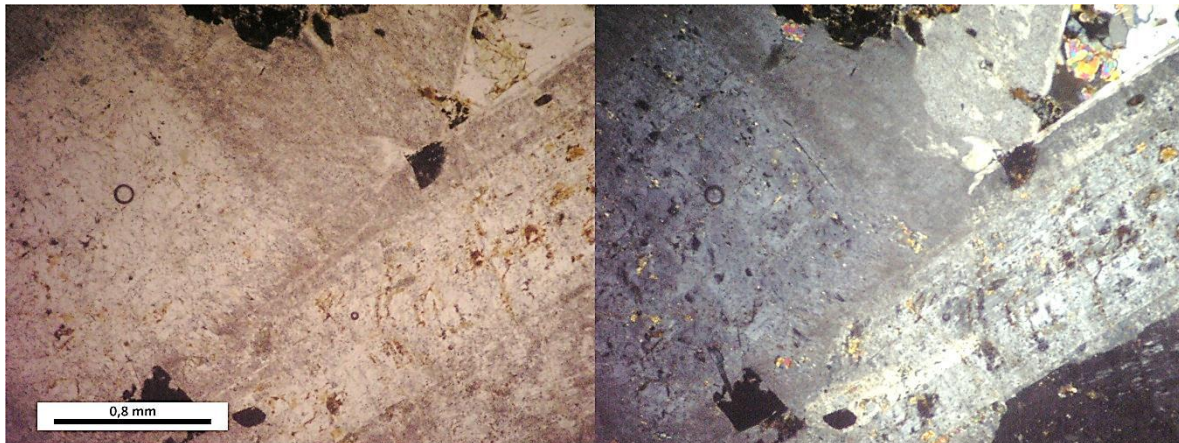


Figura B.30. Microfotografía (PPL y XPL) de sección transparente representativa de la muestra LL270711-3. Se observan cristales de ortoclasa, plagioclasa y escasos 'bancos' de cuarzo con epidota.

MUESTRA: LL270711-4

ROCA: Toba lítica de lapilli. Unidad Inferior, Secuencia Puerto Inglés.

TEXTURA: Roca piroclástica, los fragmentos piroclásticos corresponden a rocas volcánicas, en su mayoría afaníticas, compuestas de plagioclasa y clinopiroxeno con amígdalas rellenas de esmectita y óxidos de Fe-Ti, cuya masa fundamental generalmente forma textura intergranular, además algunos de estos fragmentos están intensamente alterados a óxidos de Fe-Ti y otros a clorita y carbonatos. Se reconocen algunos fenocristales que corresponden a clinopiroxeno y plagioclasa. La matriz de la roca está formada por fragmentos de cristales, líticos y vidrio, sin presencia de fiammes ni esquirlas vítreas.

FRAGMENTOS PIROCLÁSTICOS: 65% de la roca total.

TIPO	%	CARACTERÍSTICAS
Líticos	65	Rocas volcánicas con mineralogía principal de plagioclasa y clinopiroxeno

MATRIZ: 35% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA
Vidrio	26	De color oscuro, sin presencia de esquirlas
Líticos	5	Rocas volcánicas
Cristales	4	Fragmentos de cristales de plagioclasa y clinopiroxeno

OBSERVACIONES:

Difícil identificación entre líticos clasificados como fragmentos piroclásticos y aquellas considerados como parte de la matriz.

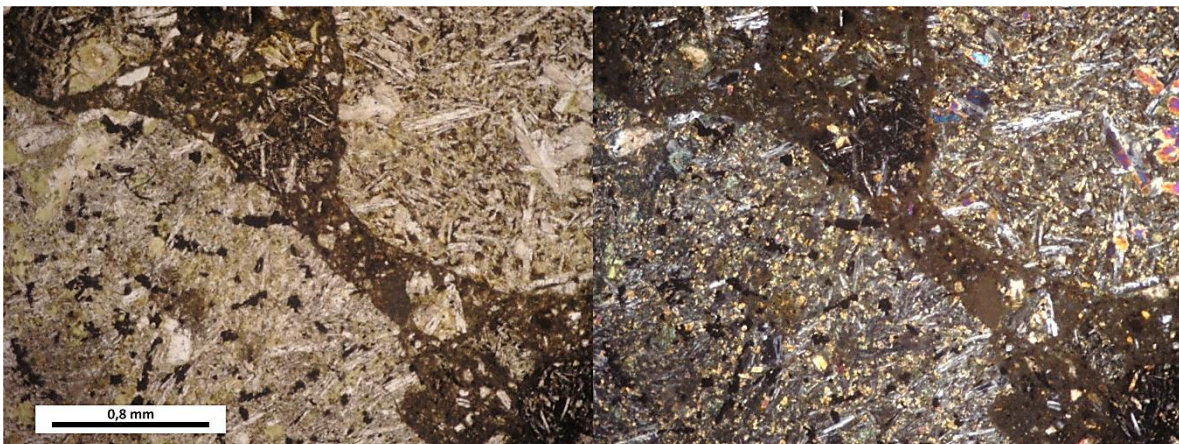


Figura B.31. Microfotografía (PPL y XPL) de sección transparente representativa de la muestra LL270711-4. Se aprecian los distintos fragmentos líticos volcánicos inmersos en una matriz rica en vidrio.

MUESTRA: LL270711-5

ROCA: Andesita basáltica porfírica de piroxeno. Unidad Inferior, Secuencia Puerto Inglés.

TEXTURA: Roca porfírica con fenocristales zonados de plagioclasa, donde algunos ejemplares presentan un anillo con textura sieve, y piroxeno indistinguible (debido a alteración a clorita y carbonatos). La masa fundamental se compone de microlitos de plagioclasa y pequeños cristales de piroxeno, además de un alto contenido de vidrio.

FENOCRISTALES: 15% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Plagioclasa	12	Euhedral	Algunos ejemplares a clorita y/o carbonatos
Piroxeno Indis.(1)	3	Subhedral	Total a clorita y carbonatos

(1) Alto color de interferencia sugiere clinopiroxeno

MASA FUNDAMENTAL: 85% de la roca total.

MINERAL	%	FORMA	ALTERACIÓN
Plagioclasa	35	Subhedral	-
Piroxeno Indis.	10	Anhedral	Intensa a clorita
Opacos	5	Anhedral	-
Vidrio	35	-	En regiones a carbonatos

OBSERVACIONES:

La presencia de anillos con textura sieve en algunos ejemplares de plagioclasa sugiere la existencia de más de una familia de cristales para este mineral.

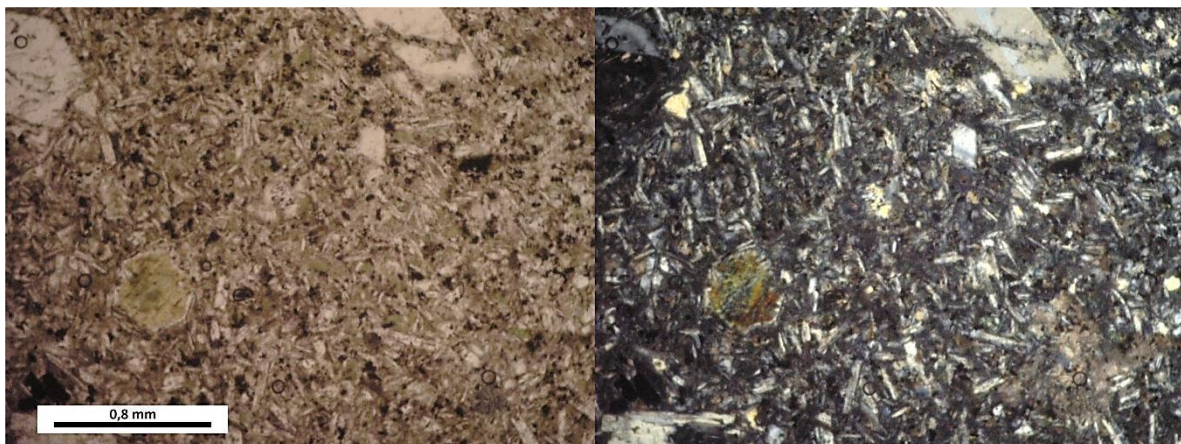


Figura B.32. Microfotografía (PPL y XPL) de sección transparente representativa de la muestra LL270711-5. Se observa la abundancia de microlitos de plagioclasa junto a la notoria alteración a clorita en fenocristales y masa fundamental.

ANEXO C

DATOS GEOQUÍMICOS DE TRABAJOS ANTERIORES

Tabla C.1. Datos geoquímicos disponibles en la literatura utilizados en el desarrollo del estudio clasificados según unidad geológica a la cual pertenecen. La fila 'Trabajo' indica el estudio al cual pertenecen los datos de la columna, (A): Gerlach et al. (1986) y Morales (1987); (B): Farley et al. (1993); (C): Baker et al. (1987)

Unidad	Secuencia Punta Larga					Secuencia Puerto Inglés											
						Unidad Media											
Roca	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava
Trabajo	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(B)	(B)	(B)	(B)
Muestra	55MT0282	49MT0282	52MT0282	52MT0282	55MT0282	14MT0182	10MT0283	68 MT0282	59 MT0282-A-7	32MT0182	10MT0283	14MT0182	KF-18	KF-19	PIN-6	PIN-8	
SiO2	45,11	46,45	46,39	48,24	47,61	48,13	46,01	43,1	46,79	47,22	45,41	47,37	46,08	46,57	43,2	44,74	
TiO2	3,56	3,05	3,2					1,58	2,95	3,16	2,93	3,51	3,1	3,12	2,09	1,92	
Al2O3	13,57	13,64	14,09					6,6	13,39	13,85	13,94	15,67	11,37	13,96	10,12	9,88	
FeOT	12,29	10,72	11,15					13,91	13,11	12,84	13,39	12,68	12,82	11,51	13,14	12,73	
MgO	5,57	5,91	6,36					27,15	10,62	7,31	11,29	5,4	14,83	8,05	19,91	21,41	
MnO	0,18	0,15	0,2					0,18	0,16	0,17	0,17	0,15		0,34	0,19		
CaO	9,48	8,44	11,15					5,2	8,7	9,01	7,24	9,91	7,35	10,8	6,69	7,89	
Na2O	3,12	2,6	2,49					1,28	2,73	2,94	2,92	2,8	2,64	3,44	1,93	1,54	
K2O	1,4	1,17	0,69	0,72	1,48	0,5	0,9	0,4	0,47	0,73	0,89	0,49	0,85	0,76	0,09	0,05	
P2O5	0,45	0,42	0,42					0,19	0,3	0,38	0,45	0,41	0,4	0,42	0,22	0,18	
LOI	5,66	7,12	3,74					0,71	0,97	2,66	1,75	1,7					
SUMA	100,39	99,67	99,88	48,96	49,09	48,63	46,91	100,30	100,19	100,27	100,38	100,09	99,44		97,58	100,34	
Cr		181						2363	614	508	678	250					
Ni		94						1181	361	241	440	83		174		871	
Sc																	
Ba		218				243	239	88	128	198	235	226	232	260	124	104	
Be																	
Co		42						108	57	51	85	61					
Cs																	
Ga																	
Hf																	
Nb																	
Rb		23				2,7	18,6	8	4	10	18	4	18	12	3	0	
Sn																	
Sr		503				461	497	215	352	399	465	438	436	503	276	263	
Ta																	
Th		5						2	4	4	5	5					
U																	
V	0,01	0,02	0,03					0,25	0,07	0,06	0,07	0,03		317		213	
W																	
Zr		192						90	155	185	212	207	209	211	136	118	
Y		31						15	27	27	30	77	26	32	17	20	
Cu		49						25	35	40	35	48					
Pb		2						4	3	3	6	5					
Zn		109						113	120	101	134	132					

Tabla C.1. (Continuación)

Unidad	Secuencia Puerto Inglés																
	Unidad Media												Unidad Superior				
Roca	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Dyke	Dyke	Dyke	Lava	Lava	Lava	Lava
Trabajo	(B)	(B)	(B)	(C)	(C)	(C)	(C)	(C)	(C)	(C)	(A)	(A)	(C)	(A)	(A)	(A)	(A)
Muestra	VER,NO,16	PV-1	PV-2	18017	17964	17982	17814	18018	17986	59MT0282-B-3	59MT82B3	18012	28MT0182-A	11MT0182	5MT0283	30MT0182	
SiO ₂	44,05	45,54	45,76	45,95	46,91	48,04	48,15	48,83	48,13	47,62	47,75	45,92	45,59	46,28	47,96	46,41	
TiO ₂	1,98	2,61	2,7	4	4,23	3,96	4,43	3,46	3,6	3,37		4,02	3,73	3,75	3,71	2,67	
Al ₂ O ₃	8,57	13,55	14,66	14,9	15,69	14,95	15,05	14,67	16,23	15,31		14,87	15,24	15,23	15,18	13,38	
FeO	12,56	11,80	8,91	12,21	11,18	11,90	12,62	12,43	11,58	12,02		12,59	13,21	12,96	12,43	11,95	
MgO	21,82	10,72	8,65	7,48	5,2	5,32	4,4	5,18	5,27	6,71		7,53	7,52	6,27	5,45	11,86	
MnO	0,16		0,15	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,18	0,17		0,17	0,19	0,19	0,18	0,17	
CaO	6,78	9,62	12,96	9,12	8,91	8,88	8,21	9,82	9,86	10,04		9,14	9,16	9,75	9,39	9,23	
Na ₂ O	1,7	3,62	2,87	3,39	3,86	3,37	3,29	3,02	2,5	3,33		2,94	3,18	2,83	3,48	2,52	
K ₂ O	0,53	1,83	0,63	1,07	1,35	1,29	1,22	0,8	0,5	0,74	0,74	1,05	1,1	0,74	1,03	0,75	
P ₂ O ₅	0,25	0,75	0,36	0,52	0,73	0,61	0,61	0,4	0,41	0,39		0,51	0,54	0,45	0,52	0,35	
LOI				0	0	0,55	0,8	0,33	0	0,65		0	0,7	1,74	0,64	1,15	
SUMA	98,40	100,04	97,65	98,81	98,23	99,04	98,95	99,10	98,26	100,35	48,49	98,74	100,16	100,19	99,97	100,44	
Cr				158	1272	140	43	59	154	242		170	199		111	684	
Ni	941			129	673	82	31	40	69	97		144	146		45	387	
Sc																	
Ba	136	629		252	149	397	317	214	217	164	180	257	263		235	185	
Be																	
Co				47	77	45	39	39	46	97		46	76		60	85	
Cs																	
Ga				24	15	24	27	23	22			22					
Hf																	
Nb				42	22	50	49	35	36			43					
Rb	12	58		24	8	28	27	12	18	18	18,6	25	25		19	15	
Sn																	
Sr	295	986		603	323	662	506	438	479	459	483	604	583		525	427	
Ta																	
Th				1	3	1	1	4	3	5		2			6	7	
U																	
V	201			298	227	355	365	350	357	0,03		309	0,03	0,02	0,02	0,07	
W																	
Zr	129	352		269	141	271	290	219	214	197		274	266		242	170	
Y	19	33		33	19	32	44	29	50	29		34	36		40	30	
Cu				46	67	67	51	70	72	27		47	32		38	52	
Pb				6	6	9	7	8	6			8	3		6	12	
Zn				108	95	115	120	105	106	112		120	121		123	102	

Tabla C.1. (Continuación)

Unidad	Secuencia Puerto Inglés				Secuencia Bahía del Padre		
	Unidad Superior				Lava	Lava	Lava
Roca	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava
Trabajo	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(C)	(C)
Muestra	30MT0182	5MT0283	11MT0182	28MT0182A	40MT0383	18003	17975
SiO ₂	46,71	48,27	47	45,82	41,76	43,39	43,62
TiO ₂					3,52	2,93	2,82
Al ₂ O ₃					13,01	13,83	13,28
FeOT					13,50	11,41	10,96
MgO					10,08	9,86	9,65
MnO					0,22	0,24	0,22
CaO					10,84	10,27	10,97
Na ₂ O					4,31	3,71	4,48
K ₂ O	0,75	1,04	0,75	1,11	0,87	2,17	0,78
P ₂ O ₅					0,72	0,75	0,68
LOI					1,29	0	1,24
SUMA	47,46	49,31	47,75	46,93	100,12	98,56	98,70
Cr					446	313	353
Ni					208	157	179
Sc							
Ba	182	244	229	279	638	684	674
Be							
Co					53	47	53
Cs							
Ga						18	17
Hf							
Nb						85	77
Rb	15,3	20,3	7,6	26	40	58	38
Sn							
Sr	452	554	430	629	948	893	869
Ta							
Th					8	7,2	7
U							
V					0,05	298	271
W							
Zr					253	321	302
Y					32	35	33
Cu					38	40	52
Pb					7	10	7
Zn					102	91	86