



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

EFFECTOS DE LA SUBDUCCIÓN DE LA DORSAL DE JUAN FERNÁNDEZ EN LA GEOQUÍMICA DEL VOLCANISMO DE 18° A 33°S

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGA

PAULA ARAYA JARAQUEMADA

PROFESOR GUÍA:
LUIS ENRIQUE LARA PULGAR

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
CESAR ARRIAGADA ORTEGA
MIGUEL ÁNGEL PARADA REYES

SANTIAGO DE CHILE

2015

Resumen

Se ha postulado desde hace varios años que la subducción de la Dorsal de Juan Fernández influye en los cambios magmáticos y tectónicos ocurridos durante el Neógeno en la región chilena de bajo ángulo de subducción (*flat slab*).

Esta dorsal asísmica, definida por una cadena lineal de domos volcánicos desigualmente distribuidos, creados por actividad magmática relacionada a hot spot, subducta bajo el margen a latitud de $\sim 32-33^{\circ}\text{S}$, tras un período de migración desde la latitud del Codo de Arica, por lo menos desde el Mioceno temprano. La trayectoria pasada de la Dorsal de Juan Fernández ha sido reconstruida a partir de vectores de movimiento de placas, utilizando esta reconstrucción se puede estimar el intervalo de tiempo en que la dorsal en subducción estuvo localizada bajo el arco volcánico. La reconstrucción indica una rápida migración hacia el sur del punto de colisión a lo largo de 1400 km del margen, hasta alrededor de 30°S de latitud, a una tasa de ~ 20 cm/año. Desde allí hasta el presente el punto de colisión ha migrado a una tasa significativamente menor de 3,5 cm/año a lo largo de 275 km del margen.

En este trabajo se hace un análisis de datos de geoquímica recopilados de la literatura, que abarcan el tramo del margen donde ocurre la migración de la Dorsal de Juan Fernández. Estos datos entregan concentraciones de elementos incompatibles, (Rb, Cs, Th, U), variaciones de razones de elementos traza: Ba/La (18-56), Th/La (0,25-0,9), Ba/Ta (650-2000), La/Ta (30-60); tierras raras: $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$ (3,5- 7,0); razones de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, e isótopos de Pb que indicarían un aumento en la incorporación de materiales corticales a la cuña astenosférica, participación de fluidos acuosos, subducción de sedimentos y enriquecimiento de la fuente. De igual modo se evidencian trazas de una señal de tipo adakítico a lo largo del segmento de migración que aumenta en intensidad hacia el sur, donde la dorsal comienza su avance más lento.

En varios casos a lo largo de la zona de estudio se evidencia un carácter transitorio en los efectos, que coincidiría con la migración del locus de subducción de la dorsal a lo largo del margen chileno.

Estas variaciones pueden explicarse por una tasa acelerada de erosión tectónica por subducción, asociada a la subducción de los montes submarinos que constituyen la dorsal, así como a un efecto de hidratación pervasiva de la losa oceánica en la vecindad de ésta, al aporte de los montes submarinos y posiblemente a un efecto de subhorizontalización de la losa, producido por la flotabilidad positiva de la dorsal y el ángulo formado por su rumbo con respecto a la dirección de convergencia de placas a lo largo de su migración.

Agradecimientos

Agradezco a Luis Lara, mi profesor guía, por darme la oportunidad de trabajar en esta memoria, dentro del marco del proyecto FONDECYT N° 1110966: *Nazca intraplate volcanism: geochronology, magmatic evolution and geodynamics of Juan Fernández Ridge*. Agradezco también el apoyo prestado por los profesores miembros de la comisión examinadora, César Arriagada y Miguel Ángel Parada. Quisiera también extender mis agradecimientos a los profesores Francisco Munizaga, Víctor Maksaev y Reynaldo Charrier, a quienes acudí en busca de más datos para mi memoria, a Blanca Baccola por su ayuda y apoyo, y a todos los funcionarios del Departamento de Geología.

En especial agradezco a mi madre su apoyo durante este período.

A los amigos que abandoné.

1. Tabla de contenido

Índice de Tablas.....	viii
1. Introducción.....	1
1.1 Hipótesis de Trabajo.....	8
1.2 Metodología.....	8
1.2.1 Recopilación y revisión bibliográfica.....	8
1.2.2 Análisis y evaluación de los datos bibliográficos.....	9
1.3 Objetivos.....	9
1.3.1 Objetivos generales.....	9
1.3.2 Objetivos específicos.....	9
2. Trayectoria.....	10
3. Zonas de Migración.....	12
4. Parámetros Geoquímicos.....	14
4.1 Fundamentos de los Parámetros Geoquímicos e Isotópicos.....	14
5. Marco Geológico.....	16
5.1 Zona A (18-19°S).....	16
5.2 Zona B (25-26°S).....	20
5.3 Zona C (26-28°S).....	22
5.4 Zona D (29-32°S).....	24
.....	25
5.5 Zona E (32-33,5°S).....	27
6. Geoquímica de las Zonas de Migración.....	31
6.1 Elementos Mayores.....	31
6.2 Elementos traza.....	32
6.3 Diagramas de razones de elementos traza.....	33
6.3.1 Ba/La versus Th/La.....	33
6.3.2 Ba/Ta versus Th/Ta.....	35
6.4 Relaciones de Tierras raras.....	36
6.4.1 $(La/Sm)_N$ versus $(Sm/Yb)_N$	36
6.5 Isótopos.....	38
6.5.1 ϵNd vs $^{87}Sr/^{86}Sr$	38

6.5.2	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ y $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ versus $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	39
6.6	Diagramas de Discriminación para rocas adakíticas	40
6.6.1	$(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ vs Yb_{N}	40
6.6.2	Sr/Y versus Y	41
7.	Discusión	43
7.1	Límites del estudio	43
7.2	Erosión tectónica por subducción.....	44
7.3	Subducción de sedimentos.....	48
7.4	Participación de fluidos del <i>slab</i>	49
7.5	Señal de tipo adakítico.....	50
7.6	Estilo de Volcanismo	51
7.7	Síntesis	51
8.	Conclusiones	56
9.	Bibliografía	57
10.	Anexo 1. Diagramas de Geoquímica.....	76
10.1	Diagramas Harker	76
	Zona A (18-19°S).....	76
	Zona B (25-26°S)	77
	Zona C (26-28°S).....	78
	Zona D (29-32°S).....	80
	Zona E (32-33,5°S).....	81
	K_2O [% en peso]	83
10.2	Elementos Traza.....	84
	U (ppm).....	84
	Th (ppm).....	87
	Rb (ppm).....	88
	Cr (ppm).....	89
	Ni (ppm)	90
11.	Anexo 2. Tablas de Valores por Zona.....	91
12.	Anexo 3. Tablas de Geoquímica.....	94
13.	Anexo 4. Tablas de isotopía.....	116

Índice de Figuras

Figura 1.1 Dorsales en subducción bajo el margen occidental de América del Sur.....	2
Figura 1.2 Cambios magmáticos y tectónicos asociados a subducción subhorizontal.	5
Figura 2.1: Trayectoria de La Dorsal de Juan Fernández desde el Mioceno según Yáñez et al., (2001).....	10
Figura 2.2: Evolución de la Dorsal de Juan Fernández tomando en cuenta la restauración del margen andino, según Arriagada et al., (2013).	11
Figura 3.1: Distribución de las zonas de estudio entre las latitudes 18°y 33°S. Mapa obtenido de Google Earth.....	13
Figura 5.1: Mapa esquemático de la Zona A (18-19°S).....	20
Figura 5.2: Mapa esquemático de la distribución aproximada de las unidades volcánicas estudiadas en las zonas B, C y D, entre 25° y 31°S.	25
Figura 5.3: Mapa esquemático de los centros y formaciones de la Zona E, entre 32 y 33,5°S.....	29
Figura 6.1: Diagrama de Ba/La versus Th/La de las zonas B (25-26°S), C (26-28°S), D (29-32°S) y E (32-33,5°S).....	34
Figura 6.2: Diagramas de Ba/Ta versus Th/Ta de las zonas B (25-26°S), C (26-28°S), D (29-31°S) y E (32-33,5°S).	35
Figura 6.3: Diagrama de la razón $(La/Sm)_N$ vs $(Sm/Yb)_N$ normalizada al condrito C1 (Sun & McDonough, 1989).	37
Figura 6.4: Diagrama de ϵNd versus $^{87}Sr/^{86}Sr$ para las zonas B (25-26°S), C (26-28°S), D (29-31°S) y E 32-33,5°S).	38
Figura 6.5 : Diagrama de la razón $^{207}Pb/^{204}Pb$ versus $^{206}Pb/^{204}Pb$, para las zonas B (25-26°S) y D (29-31°S).	39
Figura 6.6: Diagrama de la razón $^{208}Pb/^{204}Pb$ versus $^{206}Pb/^{204}Pb$	39
Figura 6.7 : Diagramas de la razón $(La/Yb)_N$ normalizada al condrito (Sun & McDonough, 1989) vs $(Yb)_N$	40
Figura 6.8: Diagramas de la razón Sr/Y versus Y de las zonas A (18-19°S), B (25-26°S), C (26-28°S), y E (32-33,5°S).	41
Figura 7.1 Sección esquemática que ilustra los componentes de la cuña de antearco y los procesos involucrados en la erosión por subducción.	45
Figura 7.2: Esquema que ilustra como la erosión por subducción es incrementada durante y después de la subducción de un monte submarino.	46

Figura 7.3: Diagramas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ versus Sr (ppm) en las zonas B (25-26°S), C (26-28°S), D (29-31°S), y E (32-33,5°S).	47
Figura 7.4: Diagrama de $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs Ba/La.....	49
Figura 7.5 : Diagrama de Ba/La y La/Yb vs latitud.....	52
Figura 7.6: Diagrama de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, La/Ta, y Ba/Ta vs latitud.....	53
Figura 7.7 : Diagrama de La/Sm y Th/La vs latitud.....	54
Figura 7.8: Esquema que resume los efectos observados en las zonas de estudio y su posible asociación a la subducción de la Dorsal de Juan Fernández	55
Figura 10.1 : Diagramas Harker Zona A (18-19°S).	76
Figura 10.2 : Diagramas Harker Zona A (18-19°S). Continuación.....	77
Figura 10.3 : Diagramas Harker de la Zona B (25°-26°S).....	77
Figura 10.4 : Diagramas Harker de la zona B, continuación.....	78
Figura 10.5 : Diagramas Harker de la Zona C (26°-28°S).....	78
Figura 10.6: Diagramas Harker de la zona C (28-31°S).	79
Figura 10.7 : Diagramas Harker de la Zona D (29-31°S).....	80
Figura 10.8: Diagramas Harker de la Zona D (29-31°S). Continuación	81
Figura 10.9: Diagramas de Harker de la Zona E (32-3,5°S).....	81
Figura 10.10: Diagramas Harker de la Zona E (32-3,5°S). Continuación.....	82
Figura 10.11.: Diagramas de K_2O versus SiO_2 [% en peso).	83
Figura 10.12: Diagramas de uranio versus edad en las zonas B (25-26°S), C (26-28°S), D (29-31°S)y E (32-33,5°S).	84
Figura 10.13 : Diagramas de la concentración de U(ppm) versus SiO_2 en las zonas B (25-26°S), C (26-28°S), D (29-31°S)y E (32-33,5°S).	85
Figura 10.14: Diagramas de Cs versus edad en las en las zonas B (25-26°S), C (26-28°S), D (29-31°S)y E (32-33,5°S).	86
Figura 10.15 : Diagramas de la concentración de Th versus edad en las en las zonas B (25-26°S), C (26-28°S), D (29-31°S) y E (32-33,5°S).	87
Figura 10.16: Diagramas de Rb versus edad en las en las zonas B (25-26°S), C (26-28°S), D (29-31°S) y E (32-33,5°S).	88
Figura 10.17: Diagramas de la concentración de Cr versus edad.	89
Figura 10.18: Diagramas de la concentración de Cr y Ni (ppm) versus edad en las en las zonas A (18-19°S), B (25-26°S), C (26-28°S), D (29-31°S) y E (32-33,5°S).	90

Índice de Tablas

Tabla 3.1 Zonas de Migración.....	12
Tabla 5.1 Distribución de los centros y formaciones según los períodos de cada zona.	30
Tabla 6.1 Elementos mayores. Período incidente.....	32
Tabla 6.2 Tabla de valores máximos y promedios de razones de elementos traza y tierras raras.....	42
Tabla 11.1 Concentraciones y razones de elementos traza, tierras raras e isótopos anteriores a la subducción de la Dorsal de Juan Fernández por zona.	91
Tabla 11.2 Concentraciones y valores de razones de elementos traza e isótopos durante los períodos de incidencia de la Dorsal de Juan Fernández.....	92
Tabla 11.3 Concentraciones y valores de razones de elementos traza e isótopos posteriores a la subducción de la Dorsal de Juan Fernández por zona.	93
Tabla 12.1 Geoquímica de la Zona A (18-19°S).....	94
Tabla 12.2 Geoquímica de la Zona B (25-26°S).....	100
Tabla 12.3 Geoquímica de la Zona C (26-28°S).....	103
Tabla 12.4 Geoquímica de la Zona D (29-31°S).....	106
Tabla 12.5 Geoquímica de la Zona E (32-33,5°S).....	108
Tabla 12.6 Geoquímica de la Zona 23-24°S.....	113
Tabla 12.7 Geoquímica de la Zona 37-39°S.....	114
Tabla 13.1 Razones Isotópicas de Sr y Nd de las zonas B, C, D y E.....	116
Tabla 13.2 Razones isotópicas de Pb de las zonas B y D	117

1. Introducción

Desde hace ca. 25 Ma la Placa de Nazca, que se origina en la ruptura de la Placa Farallón en las de Nazca y Cocos, se encuentra subduciendo bajo la placa del continente sudamericano, y su subducción produce volcanismo y sismicidad en la placa continental, a lo largo de casi todo el margen occidental de América del Sur, sin embargo existen zonas bien delimitadas ubicadas en este margen donde se observan anomalías, como la ausencia de volcanismo activo entre 2° y 15°S y de 26° a 33°S, además de una inclinación del plano de Wadati-Benioff y la zona de actividad sísmica muy superficial.

Sobre el suelo oceánico se elevan varias dorsales volcánicas asísmicas, que forman parte de la Placa de Nazca y se encuentran actualmente subduciendo bajo la Placa Sudamericana, como por ejemplo, las dorsales de Cocos, Nazca, Iquique y Juan Fernández, varios estudios, ya de larga data, han atribuido las desviaciones de los patrones normales de volcanismo y sismicidad a la subducción de estas dorsales. Barazangi e Isacks, (1976) mostraron que el volcanismo es controlado por el ángulo de subducción, lo que causa la relación entre volcanismo y sismicidad, y consecuentemente por el volumen de material astenosférico entre la losa oceánica y la litósfera sudamericana. Al disminuir el ángulo de subducción la cuña astenosférica se reduce en volumen y retrocede, con un enfriamiento consiguiente, lo que dificulta la fusión parcial de la litósfera continental, cesando en último término toda actividad volcánica. La distribución espacial del volcanismo de arco se transforma en una franja de amplitud extensa cuando la subducción subhorizontal se está formando ya que la actividad volcánica migra progresivamente hacia el este, alejándose de la fosa. Eventualmente la actividad cesa cuando la cuña astenosférica sobre la losa se adelgaza lo suficiente para enfriar la placa cabalgante y terminar con la contribución magmática al continente (James y Sacks, 1999; Kay y Mpodozis, 2002; Kay *et al.*, 1988). Por lo tanto existe un lapso entre el comienzo de la horizontalización de la losa y el término de la actividad volcánica, el cual señala la última etapa de este proceso.

Pilger (1977, 1981) relacionó las zonas de ausencia de volcanismo en el margen andino con la subducción de las dorsales de Nazca y Juan Fernández, y sugirió que la incidencia de las dorsales bajo el continente es la causa de la subhorizontalización del ángulo de subducción. Varios autores (Henderson et al., 1984; Pilger, 1984; Sacks, 1983; Nur y Ben-Avraham, 1981) sugieren que es la flotabilidad positiva de las dorsales asísmicas la posible explicación para la reducción del ángulo de subducción de la losa oceánica bajo América del Sur (*flat slab*).

la horizontalización de la losa oceánica resultante de la subducción de las dorsales de Iquique y Carnegie puede aún no haberse desarrollado completamente, ya que la subducción de estas dorsales bajo América del Sur es muy reciente, de 1-2 Ma (Lonsdale y Klitgord, 1978; Rosenbaum *et al.*, 2005). Existen estudios de las características geográficas y geoquímicas del volcanismo cuaternario en el norte de Ecuador que corroboran esta hipótesis (Bourdon *et al.*, 2003). Los efectos de la Dorsal de Iquique en los procesos actuales de subducción no son claros, aunque según Rosenbaum *et al.*, (2005) un estrecho gap volcánico asociado a esta dorsal ya ha comenzado a desarrollarse.

El límite sur del segmento de *slab* subhorizontal chileno coincide con la subducción de la Dorsal de Juan Fernández proveniente del hot spot del mismo nombre (Yáñez *et al.*, 2001). Esta cadena de hotspot se distingue en la batimetría del Océano Pacífico Sur-oriental por una anomalía moderada y discontinua cuatro veces menor que la Dorsal de Nazca. Según algunos autores el correspondiente espesor de la corteza oceánica no sería suficiente para afectar la flotabilidad de la placa (Kopp *et al.*, 2004; Martinod *et al.*, 2005), pero se debe tomar en consideración que la topografía actual del Océano pacífico solo da cuenta de la actividad magmática del hot spot en los últimos 10 Ma, luego un posible mayor volumen magmático en la actividad del hot spot podría haber promovido una horizontalización del slab (Espurt *et al.*, 2008), y además otros fenómenos como la hidratación del manto superior pueden haber contribuido a la disminución del ángulo de subducción de la placa subductante (Kopp *et al.*, 2004).

De acuerdo a estudios experimentales la subducción de una dorsal de estas características no debiera alterar significativamente el proceso de subducción, sin embargo el cambio en la geometría de la Placa de Nazca que coincide con la subducción de esta dorsal podría resultar de la subducción en el Neógeno de un segmento paralelo a la fosa (Martinod *et al.*, 2005). De hecho los experimentos muestran que el proceso de subducción es mucho más sensible a la subducción de una dorsal cuando esta es subparalela a la fosa, porque un área más ancha de la zona de subducción es afectada por la incidencia de material boyante en la fosa (Martinod *et al.*, 2005, 2010). Si la dorsal es oblicua a la dirección del movimiento de placa, el punto en el cual se encuentra con el continente se mueve a lo largo del límite de placas (Pilger 1977, Nur y Ben-Avraham, 1981), y esta migración sería además una causa de la subhorizontalización de la losa subductante (Martinod, 2005).

Por otra parte según Yáñez *et al.*, (2002) el modelamiento de gravedad a lo largo de la Dorsal de Juan Fernández y los mecanismos focales localizados aproximadamente en el locus de la cadena ya subductada, indican una faja gruesa, ancha y continua de corteza oceánica menos densa, la cual sería una contribución

considerable a la flotabilidad positiva del *slab*. El desacoplamiento del *slab* subductado a profundidades intermedias, contribuye además a la reducción del ángulo de subducción, concentrando las fuerzas de flotabilidad asociadas con la corteza oceánica a lo largo de la cadena de Juan Fernández ya subductada.

Estudios sismológicos documentan ciertas características (altos valores de la pendiente b^1 correspondiente a la ley de Gutenberg-Richter, (Ishimoto e Iida, 1939; Gutenberg y Richter, 1944)) en *clusters* de sismicidad que ocurren dentro del *slab* subductante bajo la Zona Volcánica Central de los Andes (ZVC) y bajo el antearco cerca del punto de subducción de las dorsales asísmicas y zonas de fractura (Tassara, 2010). Los *clusters* bajo la ZCV están relacionados espacialmente a grandes terremotos de profundidad intermedia y pueden revelar deshidratación termal extensiva de la litosfera oceánica.

Estas regiones bajo el antearco muestran correlación espacial con la subducción de anomalías batimétricas de la placa oceánica, bajo el sur de Perú corresponde a la subducción de la zona de fractura de Nazca en el flanco sur de la Dorsal de Nazca, bajo el antearco de Chile central ($\sim 32^\circ\text{S}$) se correlaciona con la proyección de la Dorsal de Juan Fernández y su vecindad fuertemente fracturada. Esta región ha sido investigada por Kopp *et al.*, (2004), y según este estudio se caracteriza por bajas velocidades sísmicas a profundidades del manto siendo interpretada como una placa oceánica pervasivamente hidratada (Legrand *et al.*, 2012). Estas características están relacionadas a *clusters* de sismicidad *intraslab* bajo algunas regiones bien determinadas del antearco (zona de fractura de Nazca, dorsales de Iquique y Juan Fernández) y a profundidades intermedias (90–120 km) bajo la Zona Volcánica Central (ZVC). Legrand *et al.* (2012) interpretan estas regiones como de bajo stress a causa de la alta presión de poros, debido a la deshidratación del *slab* en profundidad.

Adicionalmente, se ha propuesto que un gran número de depósitos de tipo pórfido Cu, y Cu-Au, de clase mundial, estarían asociados con la subducción de una dorsal. Las evidencias geoquímicas de las rocas asociadas a la mineralización y las reconstrucciones del piso oceánico sugieren que la fuente magmática de los pórfidos chilenos podría estar relacionada a subducción de la Dorsal de Juan Fernández (Reich *et al.*, 2003). Se ha propuesto que estos yacimientos estarían estrechamente asociados a fundidos adakíticos, altamente oxidados, ricos en agua, derivados de fusión del *slab* bajo condiciones de subducción subhorizontal, existiendo una relación causal entre el magmatismo de signatura adakítica y el tamaño de los depósitos de pórfido Cu. De esta forma, el reciclado de metales asociado con la

¹ $\log_{10}(N(t) \geq M) = a(t) - bM$, donde $N(t)$ es el número acumulado de terremotos con magnitud igual o superior a M durante el intervalo t .

actividad magmática de la subducción de una cadena de hotspot y material cortical incorporado tectónicamente en la región de la fuente podría ser un proceso relevante para explicar el origen de la mineralización. Los resultados de las investigaciones de Legrand *et al.*, (2012) expuestos más arriba concuerdan con esto en el sentido en que la subducción de la dorsal es una de las causas del incremento de la hidratación asociada a la mineralización, junto con el reciclaje de metales asociado a la subducción de una cadena de hotspot y al material cortical incorporado tectónicamente en la región fuente.

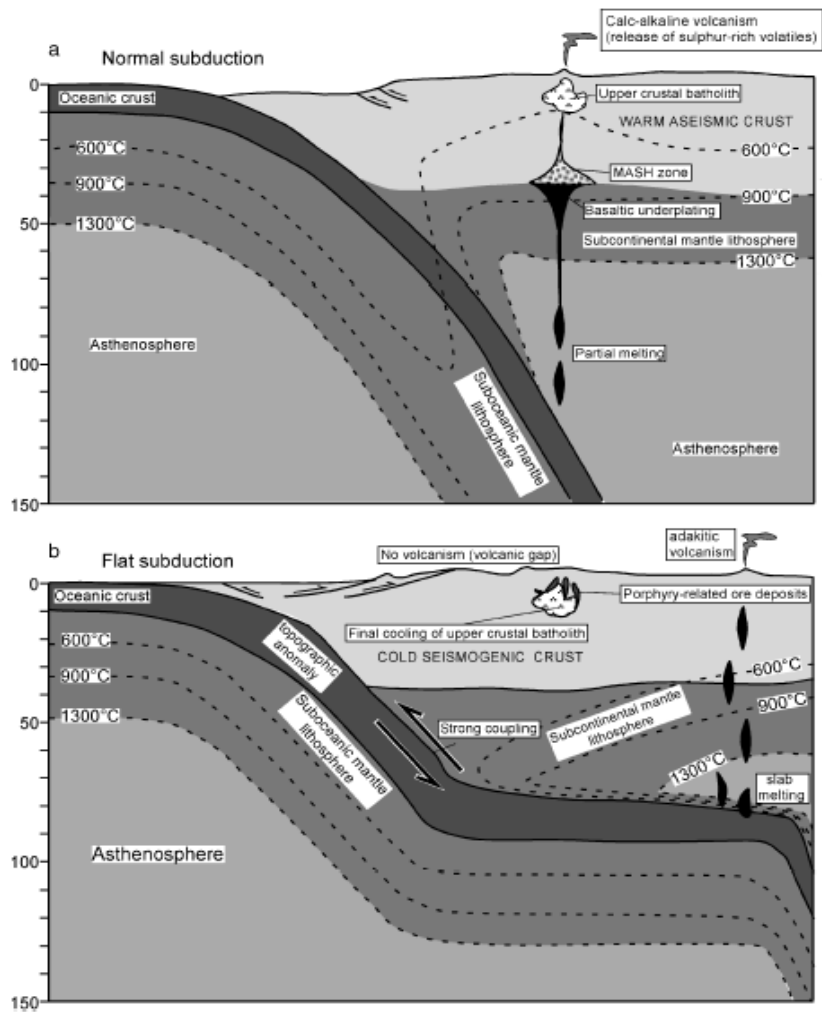


Figura 1.2 Cambios magmáticos y tectónicos asociados a subducción subhorizontal. El esquema describe los efectos de la horizontalización de la losa oceánica subductante. Tomado de Rosenbaum *et al.*, (2005) y referencias.

Stern y Skewes (1995) sostienen la tesis que el cambio isotópico observado en el extremo norte de la SVZ (NSVZ; 33-34°S), durante el Plioceno hacia razones más altas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ y ϵNd más bajos ocurre a causa de un incremento temporal en el

rol de los componentes corticales en la génesis del magma. Las rocas ígneas del Mioceno tienen relativamente baja razón inicial de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7038$ a 0.7040 y alto $\epsilon\text{Nd} = +1,9$ a $+3,3$; en tanto que las rocas pliocenas emplazadas a lo largo del locus del frente volcánico mioceno tienen valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7043$ a 0.7049 y $\epsilon\text{Nd} = -1,1$ a $+0,8$.

Este cambio ocurre previamente al decrecimiento del ángulo de subducción y la migración implicando posiblemente un incremento en la asimilación de la corteza inferior, por lo que se postula como causa de esto un incremento en las tasas de erosión tectónica y contaminación de la fuente bajo Chile central debido a la horizontalización de la losa oceánica y la subducción de la dorsal de Juan Fernández, esto ya que estudios geofísicos y de geología marina en la zona de la Dorsal de Nazca y la Dorsal de Chile (von Huene *et al.*, 1988, Cande y Leslie, 1986) indican que la subducción de un *ridge*² aumenta los efectos de la erosión por subducción durante un período de tiempo anterior a la subducción de la cadena volcánica, o dorsal. Cambios isotópicos similares implican un aumento de los componentes corticales en los magmas andinos, que habría comenzado antes de 14 Ma a 30°S, a 9 Ma a 32°S y después de 5 Ma a 34°S. Esto sugeriría una posible relación con la migración del locus de subducción de la Dorsal de Juan Fernández, aunque también podría ser causado por alzamiento y acortamiento en la región.

Se ha postulado por Spikings *et al.*, (2008) que la coincidencia espacial de la tendencia a edades más jóvenes del inicio de la exhumación del Mioceno Tardío, desde 30°S hacia el sur, con la dorsal de Juan Fernández y el segmento subhorizontal de la Placa de Nazca apoyan una relación causa efecto. Comparando las respuestas de la placa superior a la colisión de las dorsales de Carnegie, Nazca y Juan Fernández las conclusiones de estos autores indican que las tres dorsales han provocado alzamiento de rocas en la placa superior, y que la colisión de dorsales es capaz de soportar dinámicamente la topografía. Esta comparación se basa en resultados de Spikings *et al.* (2001) y Wipf (2006) que muestran que la colisión de la Dorsal de Carnegie con el margen andino a 15 Ma resultó en un repentino aumento de las tasas de exhumación relacionadas a alzamiento de rocas en la Cordillera Real de Ecuador a ca 15-14 Ma y la erosión de ca. 6 km de corteza. Wipf, (2006) reportó edades de (U–Th)/He en apatito de 1,04- 0,11 y 3,33-0,15 Ma del Macizo Arequipa del Precámbrico sobre la cima de la Dorsal de Nazca, concluyendo que ca. 2 km de sobrecarga ha sido removido de los valles por aumento de erosión de drenaje en respuesta a cambios en el nivel base durante el alzamiento de la superficie.

² Ridge: dorsal activa o pasiva

Se ha determinado además que la Dorsal de Juan Fernández causó alzamiento cortical de 55-80m entre Carrizalillo y la Bahía de Tongoy durante su migración hacia el sur, en el período de 11,8–6,9 Ma, lo que coincidiría aproximadamente con la migración del arco hacia el este (Le Roux *et al.*, 2005). Fenómeno seguido por subsidencia posterior al paso de la dorsal, entre *ca.* 7,4 and 2,3 Ma.

Algunos investigadores desde otra perspectiva han realizado estudios concernientes a los cambios en la productividad del arco de acuerdo al tiempo y la ubicación espacial. Estos cambios son examinados en histogramas de frecuencia del volcanismo versus edad (Trumbull *et al.*, 2006). Según este estudio la comparación entre las variaciones N-S en la productividad del arco y la posición reconstruida de la Dorsal de Juan Fernández bajo el área considerada no demuestra ninguna coincidencia sistemática de las posiciones de la dorsal con extremos en las curvas de frecuencia, por lo que los autores concluyen que el paso hacia el sur de la dorsal bajo la Zona Volcánica Central (ZVC) no inhibió la productividad volcánica. Se evidencia que tanto la subducción de la dorsal como el *peak* de la actividad del arco migran hacia el sur a través del área con el tiempo, y no está asociada con un gap en el volcanismo como sucede con los segmentos de flat *slab* del arco moderno.

Del estudio de los patrones de asociación para la actividad volcánica en curvas de frecuencia acumulada de centros volcánicos como función de la edad, se observa como de norte a sur los máximos de actividad migran con el tiempo. Las curvas de frecuencia acumulada demuestran que el 50% del volcanismo se acumuló al N de 20° S a 16 Ma, mientras que el nivel de 50% fue alcanzado en los intervalos 20-23°S, 23-26°S y 26-28°S de latitud a 12, 10 y 8 Ma respectivamente. Los intervalos de tiempo fueron deducidos de la reconstrucción de Yáñez *et al.*, (2001), determinando de esta forma el momento en que la posición de la cadena de hot-spot cruzó la latitud media de un segmento de 3° de latitud, para una extensión E-W de 5° de longitud (70-65°W), la cual se considera una estimación conservadora de la zona donde la subducción del *ridge* afectaría la producción de magma dentro del manto, con un tiempo de paso de 10 Ma para este intervalo de longitud. De estas curvas se puede ver que la productividad del arco y la subducción de la dorsal migran hacia el sur con el tiempo, y que existe un decrecimiento en la actividad volcánica posterior al paso de la dorsal. Considerando un desfase temporal en el efecto de subhorizontalización del *slab* por la subducción de la dorsal, y por ende en la productividad del arco, sería posible apreciar un efecto posterior definido de la migración de esta, en las curvas de frecuencia.

Dados todos los antecedentes anteriormente mencionados, existen fundamentos para considerar necesario continuar investigando la relación entre la dorsal y el margen continental. En este estudio se lleva a cabo una revisión de los parámetros geológicos que puedan describir los efectos de la subducción de la Dorsal de Juan

Fernández, su variación espacio-temporal, y la posible correlación con el paso de la dorsal en su migración a lo largo del margen chileno hasta su actual ubicación.

1.1 Hipótesis de Trabajo

La geoquímica del magmatismo en el margen continental chileno experimenta una variación, que sería posible correlacionar con la migración de la Dorsal de Juan Fernández, a partir de la geocronología de las rocas y la datación de su trayectoria.

En particular el análisis geoquímico indicaría cambios en la composición de elementos traza e isotópicos atribuibles a ésta, como elevación de las razones isotópicas iniciales de Sr y disminución de las razones de Nd, patrones de tierras raras de pendiente pronunciada (altas razones La/Yb), explicables en virtud de una mayor participación de materiales de origen cortical en la fuente, reducción de la columna de fusión en la astenósfera y contribución de fluidos de una fuente enriquecida de tipo OIB.

1.2 Metodología

1.2.1 Recopilación y revisión bibliográfica

Se realizó una recopilación bibliográfica de documentos con antecedentes de la zona de estudio, correspondientes al período de migración de la dorsal de Juan Fernández. Los antecedentes se revisaron exhaustivamente, y se hizo una selección de la información relevante para este estudio en particular.

Se recurrió a trabajos de investigación publicados principalmente en libros especializados, revistas científicas, congresos, memorias y tesis, y documentos publicados por entidades gubernamentales, tales como el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN).

1.2.2 Análisis y evaluación de los datos bibliográficos.

Se procedió al análisis de los datos geoquímicos obtenidos para cada parámetro considerado, y a la verificación de la hipótesis de correspondencia con el paso de la dorsal.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos generales

El objetivo del estudio presente es determinar los posibles efectos de la subducción de la Dorsal de Juan Fernández en la geoquímica del volcanismo a lo largo del margen continental chileno en su período de migración hacia el sur desde su indentación en la fosa Perú Chile.

1.3.2 Objetivos específicos

- 2.** Determinar la variación de parámetros seleccionados, sobre la base de una recopilación de antecedentes. Según esto evaluar la variación latitudinal y temporal de la geoquímica del magmatismo, correlacionada a la migración de la dorsal.
- 3.** Caracterizar la influencia de la subducción de la Dorsal Juan Fernández en el volcanismo terciario desde la latitud 18°-20°S, hasta la posición actual de la dorsal.

2. Trayectoria

La Dorsal asísmica de Juan Fernández, definida por una cadena lineal de islas, guyots y montes submarinos que se extiende a lo largo de 900 km, creada por actividad magmática relacionada a hotspot, colisionó con el margen continental chileno por primera vez, según el modelo de Yáñez *et al.*, (2001) en el Mioceno Temprano, hace alrededor de 22 Ma, y desde entonces se ha movido progresivamente hacia el sur hasta el punto de colisión actual, donde subducta bajo el margen a la latitud de $\sim 32\text{-}33^\circ\text{S}$.

La trayectoria de la Dorsal de Juan Fernández ha sido reconstruida utilizando vectores de movimiento de placas por Yáñez *et al.*, (2001), derivados de un estudio de Gordon y Jurdy (1986). De esta manera se puede estimar el intervalo de tiempo en que la dorsal en subducción estuvo localizada bajo el arco volcánico. La reconstrucción indica una rápida migración hacia el sur del punto de colisión a lo largo de 1400 km del margen, desde aproximadamente 22 a 11 Ma a razón de ~ 20 cm/año. Desde ~ 11 Ma hasta el presente el punto de colisión ha migrado a una tasa significativamente menor, de 3,5 cm/año a lo largo de 275 km del margen.

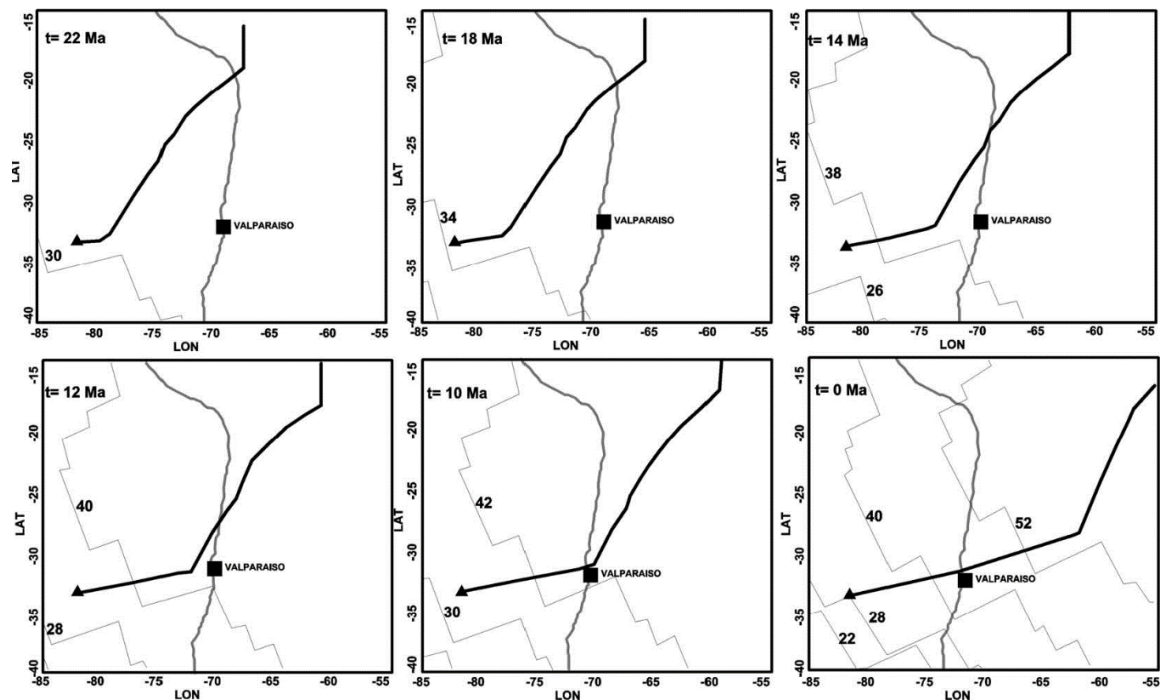


Figura 2.1: Trayectoria de La Dorsal de Juan Fernández desde el Mioceno según la figura de Yáñez *et al.*, (2001). El hot spot se muestra como un triángulo sólido. El margen de América del Sur se mueve hacia el oeste mientras que el hot spot permanece estacionario. Los números indican lineamientos magnéticos.

Hasta que el margen chileno opuesto a la Dorsal de Juan Fernández no fue explorado extensivamente se asumía que la dorsal continuaba bajo el continente con el mismo rumbo esencialmente EW. Sin embargo mapas de gravedad satelitales (Sandwell y Smith, 1995), dejaron al descubierto que la dorsal diverge de su rumbo hacia el este cerca del monte submarino O´Higgins y gira hacia el noreste. El trend batimétrico de los montes submarinos y varias fracturas reactivadas al entrar la dorsal en la fosa tienen un rumbo N60°E, lo que representa un problema no resuelto en estudios anteriores. En el estudio de Yáñez *et al.*, (2001) se desarrolla una traza inferida de la dorsal subductada de acuerdo a la configuración tectónica del margen, presentando una evolución de la cadena de hot spot desde el Mioceno, asumiendo una actividad magmática continua. La datación precisa de la Dorsal de Juan Fernández permite una interacción dorsal-continente mejor acotada.

De acuerdo a la reconstrucción del movimiento de placas de este estudio la intersección donde la dorsal subducta bajo el continente se ha movido solamente 3-2,5° hacia el sur en los últimos 12 Ma. Por contraste durante el Mioceno Temprano a Medio la migración de la intersección dorsal–continente fue un orden de magnitud más veloz (aproximadamente 20 cm/año).

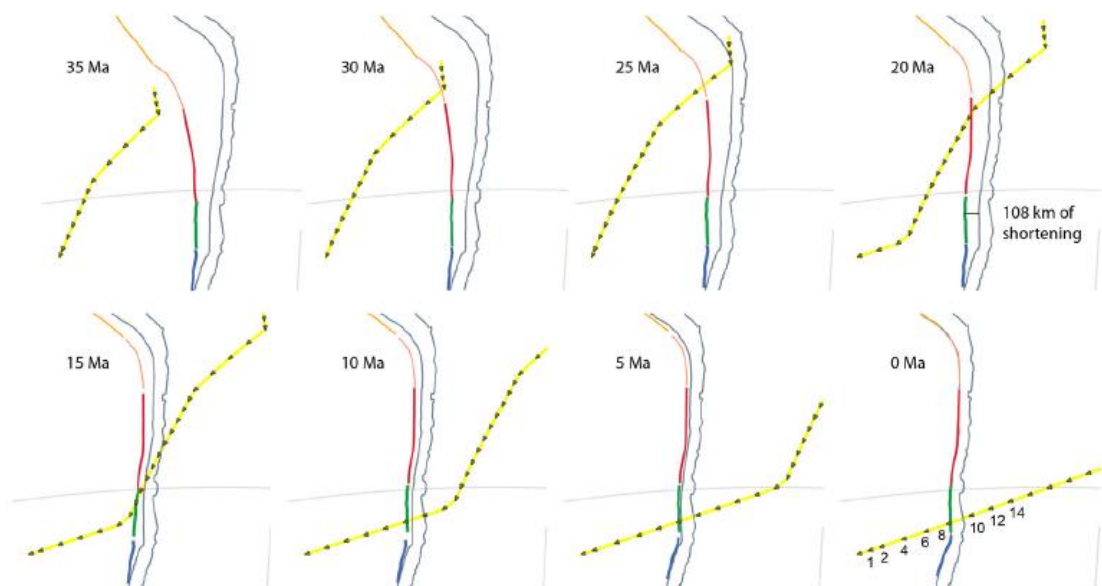


Figura 2.2: Evolución de la Dorsal de Juan Fernández tomando en cuenta la restauración del margen andino. En la reconstrucción de la trayectoria de la Dorsal de Juan Fernández se utilizaron las mismas rotaciones de placa que en Yáñez *et al.*, (2001). La forma de la fosa ha sido reconstruida de acuerdo a la restauración del margen Andino de Arriagada *et al.* (2008). Tomado de Arriagada *et al.*, (2013).

Es necesario mencionar que existen estudios recientes (Martinod *et al.*, 2010; Arriagada *et al.*, 2013) donde se propone una reconstrucción utilizando las mismas rotaciones de placa que Yáñez *et al.*, (2001), pero se toma en consideración el efecto del acortamiento y los cambios en la morfología del margen por la deformación andina. Esto produce una variación en la época de la incidencia en la fosa, resultando anterior a la propuesta por el primer estudio de Yáñez *et al.*, (2010) en más de 10 Ma, alrededor del Eoceno tardío-Oligoceno temprano.

Sin embargo, para investigar un efecto en los rasgos geoquímicos de las rocas volcánicas a lo largo del margen se dificulta la comparación de ambos modelos por la baja disponibilidad de estudios que comprendan rocas con dataciones adecuadas y también posiblemente por falta de ellas; esto ocurre por lo menos en la primera de las zonas estudiadas, a la latitud de 18-19°S, donde no se encuentran rocas ígneas de edad eocena tardía-oligocena temprana que pudieran reflejar las condiciones inmediatamente anteriores a las dataciones propuestas por Yáñez *et al.*, (2001).

3. Zonas de Migración.

Tomando en cuenta lo expuesto en la sección anterior, y además la disponibilidad de datos dentro del rango de edades requerido para documentar un intervalo de tiempo que considerara los períodos anterior, incidente y posterior al paso de la Dorsal de Juan Fernández, se ha optado por dividir el segmento recorrido en cinco zonas de influencia de la dorsal a lo largo de su migración, de acuerdo a la ubicación de los datos recopilados. En algunos casos las edades se sobreponen con las del período adyacente, y dentro de las zonas la línea de tiempo debe adaptarse a una variación latitudinal menor a causa de la falta de muestras de roca con dataciones adecuadas.

Las zonas latitudinales y los rangos de edades asociados se exponen en la siguiente tabla.

Tabla 3.1 Zonas de Migración.

Zonas	Latitud	Período previo (Ma)	Período incidente (Ma)	Periodo posterior (Ma)
A	18-19°S	25,5-23	22,-20	16,1-11,2
B	25-26°S	19,9-9,6 (and.); 25,9-18,6 (ign.)	16,2-15,7	11,2-8,3; 13-5
C	26-28°S	25-23	16-12	10-5
D	29-32°S	23-16	14-12,8	11-6
E	32-33,5°S	20-12	11-8	

Además es necesario señalar que entre la Zona A (18-19°S) y la Zona B (25-26°S) se extiende un largo tramo donde no se encuentran rocas volcánicas con las edades

requeridas, y muy pocos datos de geoquímica en la literatura que puedan documentar un efecto de la migración de la Dorsal de Juan Fernández.

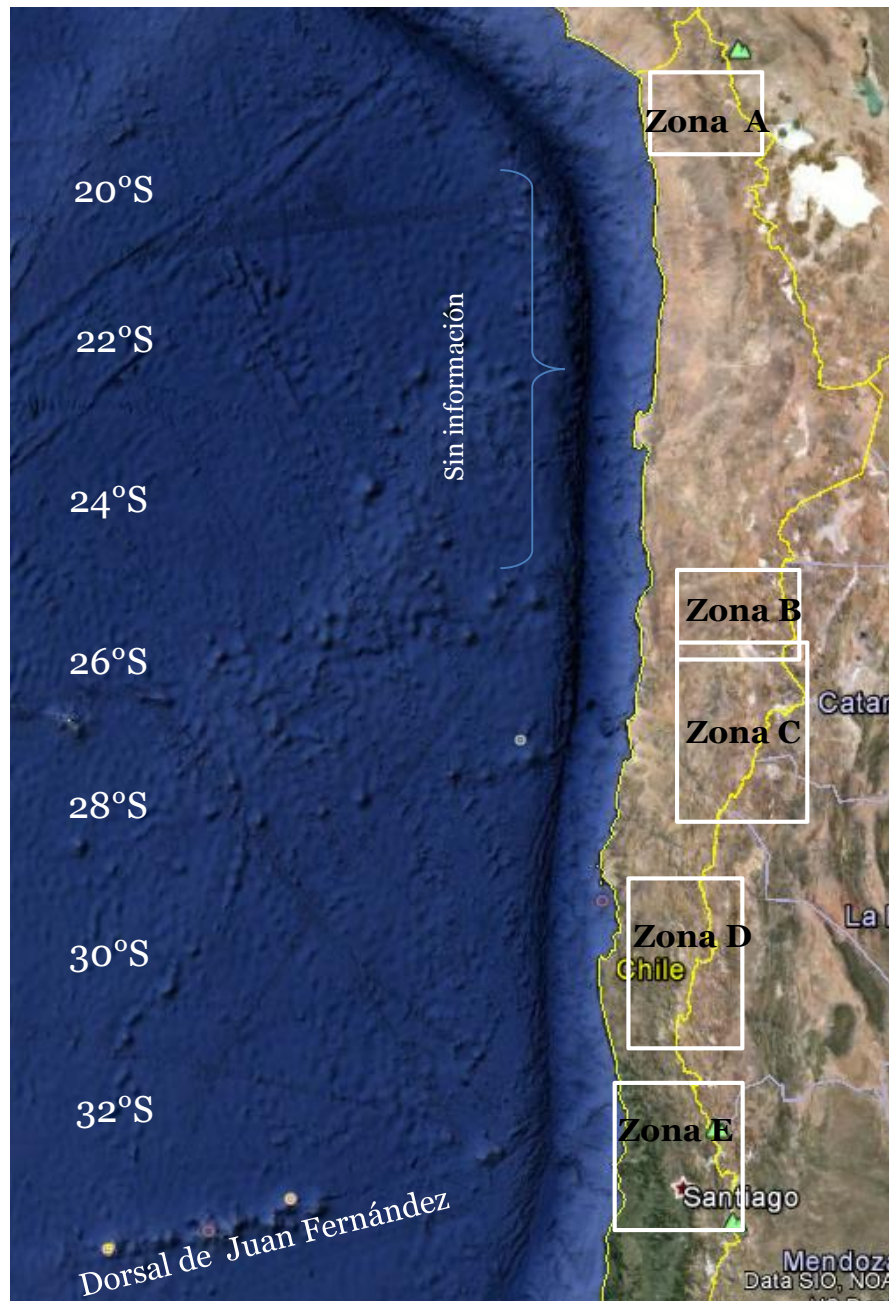


Figura 3.1: Distribución de las zonas de estudio entre las latitudes 18°y 33°S. Mapa obtenido de Google Earth. Entre la Zona A y la Zona B existe un largo tramo sin información debido a que no se encuentran datos con las edades requeridas en la literatura consultada.

4. Parámetros Geoquímicos

- i. Concentración de Rb, Cs, Th, U.
- ii. Razones de Ba/La, Cs/Th, Ba/Ta, La/Ta, y Th/La.
- iii. Razones de La/Yb, Sm/Yb, La/Sm, normalizadas al condrito con valores de Sun & MacDonough, (1989).
- iv. Razones isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ y $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$.
- v. Diagramas de discriminación La_N/Yb_N vs Yb_N , y Sr/Y vs Y . Concentración de Ni y Cr.

4.1 Fundamentos de los Parámetros Geoquímicos e Isotópicos.

Las abundancias altas de LILE (Large ion lithophile elements) y bajas de HFSE (High field strength elements) han sido atribuidas a participación de fluidos transportados en la cuña astenosférica desde la losa subductada. Se sabe que las razones de elementos de similar incompatibilidad, uno móvil y otro inmóvil, ponen en evidencia los aportes por subducción. Un ejemplo de esto es la razón Ba/Ta (Elliot *et al.*, 1997). Esto se debe a que los elementos traza incompatibles con mayores radios iónicos son más fácilmente transportados por una fase fluida acuosa. Un elemento incompatible con un radio iónico mayor es más fácilmente transportado por una fase fluida acuosa bajo las condiciones de presión y temperatura experimentadas por la litósfera subductada. Las características químicas de los fluidos derivados del slab, deducidas de rocas naturales primitivas, muestran el enriquecimiento de elementos incompatibles con radio iónico mayor (Tatsumi *et al.*, 1986). Estudios experimentales (Keppler, 1996; Adam *et al.*, 1997) sugieren que el Ba/La y Cs/Th en lavas de arcos volcánicos reflejan la partición preferencial de Ba y Cs en fluidos ricos en agua. La relación de elementos LILE y tierras raras livianas (Ba/La) son particularmente diagnósticas de OIB³, que en general tienen razones Ba/La más elevadas que los basaltos provenientes de dorsales mesooceánicas (MORB).⁴ Las razones La/Ta son consideradas como indicador del relativo empobrecimiento en HFSE con respecto a las tierras raras (REE), y Th/La como indicador potencial de contaminantes corticales como sedimentos fundidos. Las razones Ba/La y La/Ta también pueden ser modificadas por contaminantes de la corteza introducida en el manto por erosión tectónica y subducción de sedimentos.

³ Oceanic Island Basalt.

⁴ MORB: Mid Oceanic Ridge Basalt.

Las razones La/Yb, La/Sm y Sm/Yb como indicadores de la pendiente de los diagramas de REE, y sensibles a fases residuales de alta presión, y grados de fusión parcial.

La corteza continental, que se encuentra enriquecida en elementos incompatibles relativamente al manto, se caracteriza por mayores valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, menor $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, y relaciones de isótopos de Pb más radiogénicas que las rocas del manto, por lo tanto las razones isotópicas se eligen como indicadores de contaminación por erosión tectónica expresada en un material cortical más radiogénico arrastrado tectónicamente por la dorsal en subducción hasta la profundidad de la zona de generación magmática, (Kay y Mpodozis, 2002) y/o la herencia de una signature OIB más radiogénica de la fuente. Además los fluidos infiltrantes del slab también transportan componentes radiogénicos como el ^{87}Sr hacia la cuña astenosférica (Gill, 1981); esto se relaciona con la subducción de una dorsal pasiva considerando el aumento previsto de la erosión tectónica que ella causa, y en la naturaleza de los fluidos aportados a la cuña astenosférica originados en rocas volcánicas de intraplaca.

Diversos estudios postulan una signature química de tipo adakítico como asociada a la subducción de dorsales y cadenas de montes submarinos (Reich et al., 2003; Sun et al., 2010). Las adakitas, definidas por Drummond y Defant, (1990), son rocas dacíticas y andesíticas relacionadas a subducción, con $\text{SiO}_2 > 56\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 > 15\%$, Na_2O (3,5-7,5%) y Sr > 400 ppm, valores bajos de Y, < 18 ppm, Yb, $< 1,8$ ppm y razones altas de La/Yb (> 20). Las signatures químicas de algunas adakitas han sido atribuidas a fusión de las facies eclogíticas oceánicas y la posterior interacción de estos fundidos con la cuña astenosférica (Kay, 1978; Drummond y Defant, 1990). Gutscher *et al.*, (2000) propusieron que la fusión del slab subductante produciría magmas con signatures adakíticas; más tarde otros autores han postulado un origen por contaminación por materiales corticales en la región fuente del magma originada en la erosión por subducción. (Kay y Mpodozis, 2002, Kay *et al.*, 2012, Goss *et al.*, 2013). Con el fin de evaluar este posible efecto se utilizan los diagramas de discriminación $(\text{La}/\text{Yb})_N$ vs Yb_N y Sr/Y vs Y, y las concentraciones de Cr y Ni.

5. Marco Geológico

La zona de estudio se encuentra en los Andes Centrales y corresponde a parte de la Zona Volcánica Central (ZVC). Se ha subdividido en cinco zonas: A, B, C, D Y E, que comprenden los segmentos de latitud: 18-19°S, 25-26°S, 26-28°S, 29°31°S, y 32-33°S, respectivamente. En el segmento entre 19° y 25°S virtualmente no existen datos con las edades requeridas para el estudio.

5.1 Zona A (18-19°S)

5.1.1 Formación Camaraca. Definida por Salas *et al.* (1966), corresponde a una sucesión esencialmente volcánica que aflora en la Cordillera de la Costa, al sur de Arica. La columna más completa y mejor expuesta de esta formación aflora en la quebrada Vitor, al sur del cerro Camaraca. Subyace en concordancia a la Fm. Los Tarros (Oxfordiano), y en discordancia angular a la Fm. Atajaña (Jurásico Superior-Cretácico inferior) y está cubierta por depósitos aluviales del Oligoceno- Plioceno. Se encuentra constituida por 4000 m de espesor de lavas andesíticas con intercalaciones de lavas basálticas, daciandesíticas, tobas y rocas sedimentarias. Las lavas presentan textura porfídica, afánítica, y amigdaloidal, y contienen fenocristales de plagioclasa, orto y clinopiroxeno, olivino y hornblenda. Depositada en un ambiente de arco volcánico de composición intermedia a básica. Las intercalaciones sedimentarias calcáreas fosilíferas y texturas volcánicas de enfriamiento bajo agua indican una depositación principalmente submarina (García *et al.*, 2004).

5.1.2 Formación Suca. (Cretácico Inferior alto). Sucesión volcánica continental, definida por Cecioni y García (1960) en las quebradas de Suca y Camarones y Depresión Central. Presenta un espesor mínimo de 2200 m, y sobreyace en discordancia angular a la Formación Atajaña y subyace en discordancia angular a la Formación Azapa. La unidad está constituida por lavas andesíticas y andesítico basálticas, presenta estratificación regular con espesor métrico a decamétrico. Las lavas presentan texturas porfídicas, “ocoítica”, amigdaloidal y afanítica, contienen fenocristales de plagioclasa, olivino, orto y cinopiroxeno, con masa fundamental pilotaxítica, intersertal o intergranular. Las relaciones estratigráficas y de intrusión así como sus edades radiométricas mínimas permiten asignarla al Cretácico Inferior alto.

5.1.3 Formación Oxaya (Oligoceno Superior-Mioceno Inferior)

Sucesión volcánica continental (Montecinos, 1963), compuesta principalmente por tobas ignimbríticas, rocas sedimentarias y lavas. En la Precordillera las rocas de la

Formación Oxaya forman un plateau extenso y alargado. Estas rocas sobreyacen en discordancia angular a la Formación Livilcar de edad jurásica y a los intrusivos de Lluta y de Esquiña del Cretácico Superior-Paleoceno. Subyacen, en discordancia angular y de erosión a rocas volcánicas (Cerro Lampallares, Volcán Quevilque, Volcán Sucuna, Franja Villase-Tignámar y Volcán Márquez) y depósitos sedimentarios de la Formación Huaylas. La base de la Formación Oxaya es considerada como el primer nivel de toba, dispuesto sobre las rocas sedimentarias de la Formación Azapa.

El espesor de la formación varía de 0 a 1000 m en la Precordillera y disminuye hacia el oeste, de 0 a 20 m en el borde occidental de la depresión central. La unidad está constituida por mantos de tobas, en parte muy soldadas, ignimbríticas, de mediano a gran volumen (<1500 km³ cada uno), con intercalaciones de areniscas, conglomerados y calizas y lavas andesíticas y dacíticas. La composición química es dacítica a riolítica, de potasio medio a alto. Las lavas se encuentran localmente al este, y en las partes media a superior de la unidad. Se reconocen cinco estratos volcánicos individuales: Andesita Socoroma, Ignimbrita Oxaya, Ignimbrita Sucuna, Dacita Río Tignámar e Ignimbrita Aico. Se estima una edad máxima de 25,6±0,9 Ma.

5.1.4 Ignimbrita Puquios Cardones: Presenta un espesor variable entre 600 y 100 m, la extensión areal mínima (4200 km²) y el espesor promedio de alrededor de 300 m, implican un volumen mínimo aproximado de 1260 km³. Corresponde a una toba vítrea en parte muy soldada, homogénea y cristalina. Se obtuvo una edad Ar-Ar en sanidina de 21,8±0,3 Ma en la zona de Puquios y una edad de 22,5±0,3 Ma, en Azapa. Esta toba infrayace a la Ignimbrita Molinos, de un espesor máximo de 150 m aflora en las quebradas de Lluta. Las dataciones registran una edad promedio de 22,9±0,7 Ma.

5.1.5 Formación Lupica (Oligoceno Superior-Mioceno Inferior)

Sobreyace en discordancia angular al Complejo Metamórfico Belén y Estratos Quichoco y subyace en discordancia angular a rocas de la formación Chucal, Macusa y Lauca. (Montecinos, 1963; Muñoz y Charrier, 1996; Wörner *et al.*, 2000). Corresponde a lavas andesíticas dacíticas brechas y tobas ignimbríticas, dacíticas a riolíticas, con intercalaciones de rocas sedimentarias. Con edades oligocena superior- miocena inferior para la depositación y extrusión de las rocas volcánicas. Se compone de lavas y brechas en la parte inferior, ignimbritas y rocas sedimentarias en la parte media, la ignimbrita del cordón Belén y rocas sedimentarias de la parte superior. Aflora en las zonas de Putre, Belén, Tignámar, al sur de Chucal y Paquisa. Está constituida por sucesiones formadas por 300 a 600 m de espesor de lavas andesíticas y dacíticas, tobas y brechas volcánicas y sedimentarias, con intercalaciones de areniscas, conglomerados y tobas riolíticas.

En la zona de Belén y Lupica afloran lavas y brechas andesíticas a dacíticas, con afinidad calcoalcalina. Edad mínima $19,4 \pm 0,7$ K-Ar, los datos radiométricos obtenidos en la parte inferior de la Formación Lupica indican una edad oligocena superior-miocena inferior para su depositación, entre $25,7 \pm 1,4$ y $21,2 \pm 0,3$ Ma.

Ignimbritas de la parte media: Sucesiones de tobas muy soldadas en parte de 400 a 1000 m de espesor regularmente estratificadas. De composición riolítica, representa depósitos de flujo piroclástico. Los datos radiométricos indican una edad de depositación miocena inferior, entre $23,1 \pm 0,7$ y $18,70 \pm 0,7$ Ma. Esto implica que la unidad es correlacionable con gran parte de la Formación Oxaya.

5.1.6 Ignimbrita Cordón Belén: Corresponde a una toba en parte brechosa lítica, que aflora de manera extensa y continua a lo largo de todo el Cordón Belén. Se dispone suavemente plegada con un espesor inferior a 1100 m, con un grado moderado a avanzado de soldamiento. En sus dos tercios inferiores el depósito está formado por una megabrecha piroclástica, con bloques líticos decamétricos a hectométricos constituidos de andesitas y areniscas, dentro de una matriz riolítica con cristales de cuarzo, sanidina, plagioclasa y biotita. El tamaño y composición de los bloques es compatible con facies de colapso en los bordes de una caldera rodeado por rocas de la parte inferior de la Formación Lupica. En el tercio superior es de granulometría media a fina, en una matriz vítrea a cinerítica, con fragmentos líticos de lavas andesíticas. El promedio de las edades es de $19,39 \pm 0,03$ Ma, casi idéntico a la Ignimbrita Oxaya. Esto indicaría que se trata de un mismo depósito piroclástico emplazado en distintos ambientes: proximal y distal a intracaldera.

Se trata de un ambiente proximal de arco volcánico muy productivo por su gran volumen y las ignimbritas presentes, con estrato volcanes asociados a calderas de colapso. Las discordancias angulares internas sugieren depositación contemporánea con actividad tectónica transcurrente o extensiva en una fase temprana y tardíamente una fase compresiva, representadas en la Falla Nacientes Quebrada Belén y por pliegues y cabalgamientos de área Putre y Tignámar. Las tobas ignimbriticas oligo-miocenas de la Alta Cordillera se encuentran en la parte media de la Formación Lupica y son correlacionables cronoestratigráficamente con las ignimbritas de la Formación Oxaya.

5.1.7 Volcanes y Remanentes del Mioceno Superior (23-16 Ma)

Conjunto de lavas andesíticas y dacíticas, y subordinadamente domos y tobas, dacíticos y riolíticos. Se encuentra expuesta de manera dispersa en la parte oriental de la Alta Cordillera (Cerro Cortacollo y Cordón Tancane) y en la parte nororiental (Cordón Quevilque y cerro Lampallares). Sobreyacen en discordancia angular a la

parte inferior de la Formación Lupica y subyacen a los depósitos de la Formación Lauca. Las lavas del Cordón Quevilque están interestratificadas con la parte superior de la Formación Oxaya. Sobreyacen a la andesita Socoroma y a la Ignimbrita Oxaya y subyacen en su parte sur a una toba riolítica correlacionable con la ignimbrita Sucuna. Las coladas de lavas son extensas, macizas, brechosas y/o fluidales. La composición es andesítica a andesítico basáltica, con fenocristales de plagioclasa, clino y ortopiroxeno, oxihornblenda y olivino.

En el Cerro Cortacollo se distingue una sucesión de hasta 400 m de espesor de lavas andesíticas, dacíticas, riódacíticas y tobas riódacíticas. Al NO de la laguna Paquisa, subyaciendo a lavas del Mioceno medio, se expone aisladamente un pequeño domo extrusivo dacítico. Las edades radiométricas de cristalización disponibles para los volcanes y remanentes del Mioceno inferior se ubican en el rango de 23,4 a 17,6 Ma.

5.1.8 Formación Macusa (Mioceno Medio- Superior)

Constituida hasta por 500 m de tobas y areniscas con intercalaciones sedimentarias. De hasta 60 m de espesor, vítrea de textura eutaxítica. En la parte superior y centro oriental se exponen lavas andesíticas y dacíticas, porfídicas y afaníticas de 2 piroxenos y/o anfíbola.

Los datos radiométricos y las relaciones estratigráficas indican que la edad de la Formación Macusa está en el rango Mioceno Alto a Mioceno-superior 16-10 Ma. La parte inferior de la unidad se correlaciona cronoestratigráficamente con las rocas volcánicas de del Mioceno medio, y la parte superior con las rocas volcánicas del Mioceno superior.

5.1.9 Volcanes y Remanentes del Mioceno Medio (16-11 Ma)

Conjunto de rocas de edificios volcánicos y remanentes de estratovolcanes constituidos por lavas andesíticas a dacíticas. Se encuentran distribuidos de manera amplia al sur de la Precordillera (Volcán Sucuna). Las sucesiones remanentes de volcanes se exponen de manera restringida y dispersa en la alta Cordillera, Cerro Mogote y Guacapeque. Sobreyacen en discordancia de erosión a las rocas de la Formación Oxaya en la Precordillera y en discordancia angular a las rocas de la Formación Lupica en la Alta Cordillera. Subyacen en discordancia angular y de erosión a las rocas de la Formación Lauca. Están formados principalmente por coladas de lavas y subordinadamente por lavas domo. Los volcanes Sucuna y Mamuta muestran composición andesítica a andesítica basáltica.

En el borde occidental de la Alta Cordillera afloran sucesiones estratificadas dispersas, falladas y plegadas de lavas andesíticas del Mioceno medio: (Formación. Zapahuira, García 1996). En el borde occidental de la Alta Cordillera afloran

sucesiones de hasta 600 m de espesor de lavas andesíticas, andesítico basálticas y localmente dacíticas. En la parte centro oriental de la Alta Cordillera, en el cerro Mogote, las coladas, de hasta 500 m corresponden a andesitas andesita basáltica y dacita. Localmente se observan domos dacíticos menores. Los datos radiométricos varían entre 17,0 y 11,5 Ma, correlacionándolas con la parte superior de la Formación Macusa.

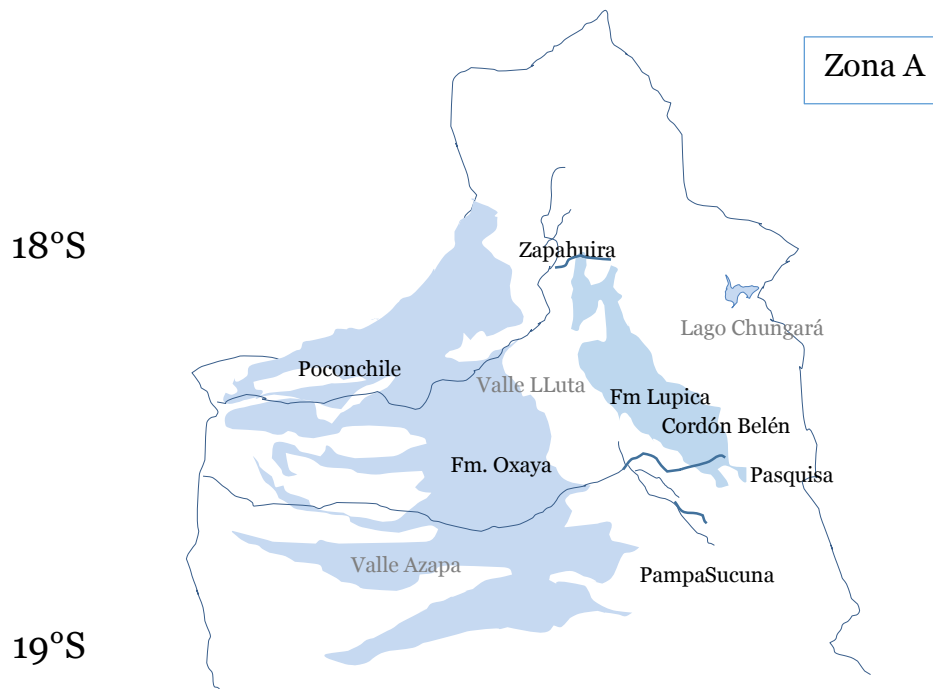


Figura 5.1: Mapa esquemático de la Zona A (18-19°S). Se muestran las ubicaciones geográficas aproximadas de las muestras y las formaciones Oxaya y Lupica. Tomado de García *et al.* (1996) y Kohlbach, (1999).

5.2 Zona B (25-26°S)

5.2.1 Andesitas 25-25,5°S

Esta zona está representada por seis estratovolcanes distribuidos entre los tres períodos.

Mioceno Inferior.

León Muerto: Estratovolcán profundamente erosionado que cubre un área de ca. 80 km² en la frontera de Chile y Argentina. Naranjo y Cornejo (1992) obtuvieron una edad de K-Ar en roca total de 19,9±0,8 Ma. Los flujos de lava, de 2-3 km de largo, consisten en andesita basáltica afanítica a porfídica.

Cerro Colorado: Cubre un área de ca 60 km² en el borde oriental del Salar de la Isla. La edad del volcán está dada por dos dataciones concordantes K-Ar en roca total de 19,4 ±0,7, y 19,7± 0,9. (Naranjo y Cornejo 1992). Rocas expuestas en el muro sugieren que la mayor parte del volcán está compuesta de andesitas y dacitas. Depósitos de lahar son comunes en la base de los flujos de lava en los flancos del volcán, indicando la presencia de nieve o hielo al tiempo de las erupciones. Las andesitas y dacitas son de grano fino a afíricas, y contienen hornblenda y plagioclasa como minerales macroscópicos.

Mioceno medio.

Chaco: Forma un rasgo fisiográfico elongado (20 km) compuesto de tres cráteres con flujos aglomerados en los flancos SO (Naranjo y Cornejo, 1992). Se han publicado cinco dataciones K-Ar de Chaco; estas son concordantes dentro de la incerteza, y caen entre 15,6 ± 1,9 Ma y 17,0±0,7 Ma. (Naranjo y Cornejo, 1992). Las muestras fueron tomadas de los flujos de lava, consisten en andesitas de piroxeno, andesitas de hornblenda y dacitas.

Cerro Blanco: Pequeño estratovolcán cuyo edificio se encuentra a 4260 m de altura. Presenta una edad de K-Ar de 15,7± 0,8 Ma (Naranjo y Cornejo, 1992). Los flujos dacíticos predominan, muchos muy alterados.

Mioceno Superior

Cerro del Azufre: (Azufre) es un estratovolcán compuesto con una forma cónica radial regular, y una salida central de un cráter solitario en la cima. Naranjo y Cornejo (1992) reportan dataciones K-Ar en roca total de 10,7± 0,7 y 11,8±0,4 Ma. El flujo de lava más extenso ocurre en el flanco occidental de Azufre, tiene cerca de 800 m de largo y hasta 500 m de ancho. El volcán descansa sobre rocas volcánicas más antiguas (ignimbritas dacíticas del Mioceno superior y lavas del Oligoceno-Mioceno).

Aguas Blancas: Gran centro volcánico compuesto, datado en K-Ar roca total en 8,3 ± 0,5 Ma (Naranjo y Cornejo, 1992).

5.2.2 Ignimbritas 25-26°S.

Río Frío (Oligoceno Superior- Mioceno Inferior): (Naranjo y Cornejo, 1992) Homogénea, frecuentemente vitrofírica, o fuertemente soldada,

comparativamente rica en cristales. Presenta un área de 700 km². Dos dataciones K-Ar arrojan edades de 25,9 ±10 Ma para anfíbolos de la sección inferior 18,6 ±0,5 Ma para biotita de la unidad superior. Las dataciones sugieren que la ignimbrita es producto de dos o más unidades de flujo, separadas por un considerable intervalo de tiempo, esta interpretación es difícil de relacionar con el perfil estratigráfico, el cual no muestra una evidencia de inconformidad o límites de unidades de flujo, y no existe evidencia petrográfica para un largo intervalo de tiempo entre las erupciones. Además edades K-Ar de Naranjo y Cornejo (1992) para la Ignimbrita Río Frío tienen un rango de 23 a 17 Ma, por lo tanto se estima que la edad de 25,9 Ma en K-Ar está ligeramente en exceso de la edad verdadera (Mioceno Temprano) de la erupción.

Ignimbritas del Mioceno Superior. De volumen pequeño y moderado, las ignimbritas son principalmente riolíticas en composición. Las estimaciones basadas en área y espesor de afloramiento en algunas secciones sugieren un volumen máximo de 50 km³. Comprende las ignimbritas Plato Superior (oleada basal y capas de ceniza y lapilli con abundantes clastos volcánicos y pómez, 15 m de espesor, [Naranjo y Cornejo, 1992]); Azufre (Capa de tobas de 2 m de espesor en el flanco suroriental del volcán Azufre), las lavas que infrayacen al depósito fueron datadas en 12,6 a 11,9 Ma, edad máxima para el depósito de tobas (Naranjo y Cornejo, 1992); Pedernales, ignimbrita al SW del Salar de Pedernales; Juncalito, depósito de valle dentro del Valle del Río Negro, compuesto de al menos dos unidades. El depósito ocurre en el margen noroeste de la caldera Wheelwright 26°42' S. La ignimbrita Juncalito podría haber sido eruptada desde esta caldera que se formó entre 8,8 y 6,1 Ma (González-Ferrán *et al.*, 1985); Cíclope, un flujo de ignimbrita que forma riscos prominentes de cerca de 40 m de espesor en la llanura de Barrancas Blancas; Trinchera; Parinas, ignimbrita expuesta en el sureste del Salar de Parinas con 10 m de espesor (Naranjo y Cornejo, 1992) y León Muerto, que por semejanzas de color y petrografía puede correlacionarse con la ignimbrita Parinas que ocurre en las proximidades.

5.3 Zona C (26-28°S).

Corresponde a la Franja de Maricunga, y comprende una cadena de volcanes andesíticos a dacíticos de orientación N-NE, con edades que varían entre el Oligoceno Superior y Mioceno Superior (Muntean y Einaudi, 2001; Kay *et al.*, 1996).

5.3.1 Oligoceno Superior- Mioceno Inferior

Entre ellos se encuentran el Volcán Doña Inés (5.075 m), el Complejo Volcánico Cerros Bravos (5.292 m), el Complejo Volcánico Copiapó (6.040 m) y el Nevado de Jotabeche (5.880 m). El evento volcánico más antiguo ocurrió entre 26-21 Ma, del cual forman parte los estratovolcanes coalescentes Cerros Bravos y Barros Negros y los complejos de domos múltiples periféricos que comprenden Esperanza, La Ola y

La Coipa. Al sur de la zona la actividad magmática fue más reducida, restringida a pequeños complejos de domos múltiples, portadores de mineralización de metales preciosos y asociados a flujos piroclásticos de volumen pequeño y alteración hidrotermal generalizada, comprendiendo entre ellos los yacimientos Refugio, La Pepa y Pantanillo.

Entre 20 y 17 Ma se produce una disminución de la actividad volcánica, observándose pequeños domos dacíticos al este y norte de La Coipa y coladas de lavas andesíticas y dacíticas al sureste del Volcán Copiapó, presentando en este último lugar una edad K-Ar en roca total de $19,5 \pm 1,1$ Ma y una edad K-Ar en biotita de $18,6 \pm 0,8$ Ma (Mpodozis et al., 1995).

5.3.2 Mioceno Medio.

La actividad volcánica se reanudó entre 16 y 11 Ma. Durante este segundo episodio, la actividad volcánica se extendió a lo largo de toda la Franja de Maricunga, concentrándose en grupos discretos de centros volcánicos. Al norte del Salar de Pedernales se desarrollaron los complejos Doña Inés y Gemelas Fortuna, mientras que al sur del salar de Maricunga se desarrollaron los complejos Ojos de Maricunga, Santa Rosa (K-Ar, hornblenda: $15,4 \pm 0,5$ Ma; McKee *et al.*, 1994; K-Ar, roca total: $13,8 \pm 0,6$ Ma; González Ferrán *et al.*, 1985), Pastillitos, Lagunillas, Pastillos y Villalobos. El volcán Pastillos, el más joven dentro del grupo Mioceno medio, incluye flujos de lavas andesíticas y dacíticas datadas (K-Ar, roca total) en su flanco norte y oeste en $12,8 \pm 0,7$ y $12,0 \pm 1,8$ Ma (Mpodozis, 1995) y $12,9 \pm 0,5$ Ma (González-Ferrán *et al.*, 1985), edades similares a las obtenidas para minerales de alteración en el yacimiento Marte, encajado en el flanco este del volcán.

En el extremo sur de la Franja se desarrollan los volcanes Cadillal (gran domo andesítico ubicado en el flanco este del volcán Pastillos, K-Ar, roca total: $14,4 \pm 0,6$ Ma, Mpodozis, 1995), Jotabeche Norte (Se dispone de tres edades (K-Ar, roca total, Mpodozis, 1995) de $18,1 \pm 2,0$, $16,4 \pm 0,7$ y $15,9 \pm 2,6$ Ma, indicando que este centro es más antiguo e independiente que el complejo Cadillal-Yeguas Heladas), La Laguna y Yeguas Heladas. Entre 13 y 11 Ma, la actividad volcánica se concentró en la parte sur de la Franja.

5.3.3 Mioceno Superior

Posteriormente sucede un periodo, entre 11 y 7 Ma, de menor actividad volcánica restringida al Complejo Volcánico Copiapó. La actividad de este complejo se ha dividido en dos fases: una fase temprana entre 11 y 10 Ma representada por el estratovolcán Azufre, ubicado al norte de la laguna del Negro Francisco (edades de K-Ar, en roca total de $11,2 \pm 0,9$ y $9,2 \pm 0,9$ Ma, en el mismo rango que las edades de las coladas del flanco norte ($11,9 \pm 0,7$ y $10,8 \pm 0,5$ Ma) y de las de los pórfidos que

intruyen al núcleo del volcán ($10,8 \pm 0,5$ Ma), y una fase tardía entre 8 y 7 Ma representada por la construcción del cono del Cerro Copiapó (Mpodozis *et al.*, 1995). Casi simultáneamente con la construcción del volcán Azufre, inmediatamente al norte de éste, se produjo una notable actividad volcánica explosiva, asociada al emplazamiento de domos dacíticos y secuencias piroclásticas, que afloran hacia el norte (Quebrada Villalobos). El episodio culminó con el emplazamiento de dos niveles de ignimbritas. (Ignimbrita Copiapó I e Ignimbrita Copiapó II).

El evento volcánico más joven se reduce a la zona del Nevado de Jotabeche, constituido por una asociación de más de 500 m de lavas dacíticas, ignimbritas, tobas plinianas y voluminosas lavas y lavas-domo riolíticas y riodacíticas, fluidales, intruidas por un domo riodacítico. Tres dataciones K-Ar de lavas y tobas del núcleo del Nevado de Jotabeche indican valores concordantes de $6,2 \pm 0,7$ y $5,9 \pm 0,6$ Ma (Mpodozis, 1995).

5.4 Zona D (29-32°S)

5.4.1 Formación Tilito (Oligoceno Superior - Mioceno Inferior).

Consiste principalmente en riolitas, tobas dacíticas y brechas volcánicas, y en menor proporción lavas riolíticas. Es la formación cenozoica más voluminosa en la región alcanzando espesores de más de 1200 m. La Formación Tilito estaría relacionada al desarrollo de una cuenca extensional de intraarco Oligocena (Kay and Mpodozis, 2002; Litvak *et al.*, 2007). Está correlacionada a la Formación Abanico expuesta al sur de 32°S que también se desarrolló dentro de una cuenca extensional volcanosedimentaria (Charrier *et al.*, 2002).

5.4.2 Grupo Escabroso (Mioceno Inferior). Maksaev *et al.* (1984) y Martin *et al.* (1995) definieron una suite de rocas volcánicas intermedias que sobreyacen a la Formación Tilito como la Formación Escabroso. Tras un mapeo detallado del área minera El Indio, Heather y Díaz (2000) subdividieron esta unidad, elevando la formación a la categoría de grupo. Las rocas sedimentarias y volcánicas del Grupo Escabroso están separadas de la Formación Tilito por una importante inconformidad angular y un persistente horizonte de regolito. Un dique asignado al Grupo Escabroso que corta un anticlinal de rumbo N-S desarrollado en tobas de la formación Tilito en la parte norte de la Cordillera (Bissig *et al.*, 2010) es evidencia de un evento de deformación regional entre la deposición de las dos series volcánicas. El Grupo Escabroso comprende flujos andesíticos a dacíticos, sedimentos volcanoclásticos, y tobas dacíticas. Las rocas características son andesitas de augita y plagioclasa con hornblenda y biotita subordinadas.

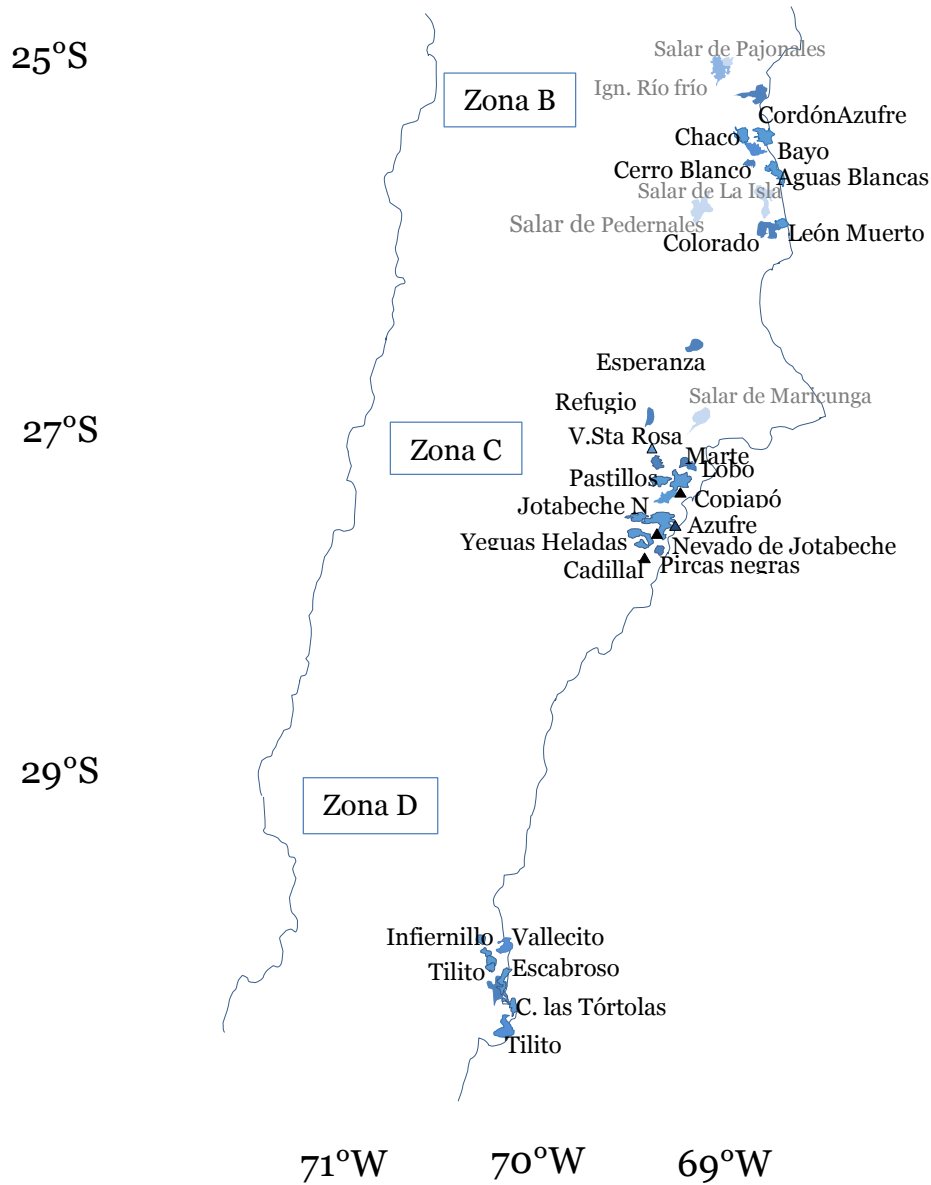


Figura 5.2: Mapa esquemático de la distribución aproximada de las unidades volcánicas estudiadas en las zonas B, C y D, entre 25° y 31°S. Las formaciones no se encuentran a escala. Sobre la base de mapas de Mpodosis *et al.*, (1995); Kay *et al.*, (1987); Siebel *et al.*, (2001) y Trumbull *et al.*, (1999).

5.4.3 Rocas Intrusivas Cenozoicas:

Unidad Infiernillo (Mioceno Inferior a Medio). Consiste en numerosos stocks, diques y pequeños intrusivos subvolcánicos, cuya composición varía desde dioritas y andesitas hasta granodioritas y granitos, distribuidos en una faja nortesur. Estas rocas intruyen tanto a la Formación Tilito y Grupo Escabroso como a las unidades de rocas estratificadas y plutónicas anteriores. Los intrusivos de la Unidad Infiernillo están formados por rocas porfíricas a equigranulares, de grano medio a fino y su composición predominante es la de dioritas cuarcíferas y granodioritas leucocráticas, con presencia frecuente de monzodioritas cuarcíferas, dioritas, granitos, andesitas y pórfidos andesíticos. Las facies más básicas son dioritas y monzodioritas cuarcíferas de hornblenda y augita.

La edad de los plutones debe ser como máxima miocena inferior, ya que muchos de ellos intruyen al Grupo Escabroso y Formación Tilito. Los intrusivos y zonas de alteración asociadas están cortados por una superficie de erosión, sobre la cual se habría depositado la Formación Cerro de Las Tórtolas. Por esto se considera que la Unidad Infiernillo se emplazó con anterioridad a la depositación de la Formación Cerro de Las Tórtolas y está relacionada, temporalmente, con el evento de alteración hidrotermal, que ocurrió a fines del Mioceno Inferior (Maksaev, 1984).

5.4.5 Formación Cerro Las Tórtolas (~Mioceno medio). Constituye una secuencia de rocas volcánicas andesíticas. Su localidad tipo corresponde al cerro de Las Tórtolas (6.332 m.s.n.m.), donde alcanza un espesor aproximado de 1.400 m. Esta unidad sobreyace en discordancia angular a las unidades Baños del Toro, Tilito y Escabroso y su techo es la superficie actual de erosión. Está constituida por andesitas de anfíbola y biotita, algunas andesitas de augita, aglomerados de bloques con matriz tobácea, tobas de cristales andesíticas, en parte brechosas, y tobas silíceas. Las andesitas de anfíbola y biotita presentan megafenocristales de plagioclasa blanca, translúcida, de hasta 5 mm y fenocristales más pequeños (hasta 3 mm) de anfíbola y biotita, en una masa fundamental afanítica.

La edad de la Formación Cerro de Las Tórtolas se ha establecido por dataciones radiométricas K-Ar; cinco edades K-Ar señalan el rango que va desde la parte alta del Mioceno Inferior hasta el límite entre el Mioceno Medio y Superior. Las edades radiométricas de esta unidad son concordantes con su posición estratigráfica sobre la Formación Tilito y Grupo Escabroso, ya que la edad K-Ar más nueva, obtenida para esta última, corresponde a la parte baja del Mioceno Inferior ($18,9 \pm 1,7$ Ma). Es equivalente a la Formación Farellones de la Cordillera de Chile Central, puesto que, la mayor parte de los valores radiométricos K-Ar de esta última se ubican desde la parte superior del Mioceno Inferior hasta el Mioceno Superior (Drake *et al.*, 1982).

5.4.6 Formación Vallecito (Mioceno Superior). Secuencia de brechas mal consolidadas, sedimentitas lacustres, yeso e ignimbritas riolíticas. Se incluye dentro

de ella un domo riolítico intrusivo e ignimbritas asociadas, que aparecen 12 km al noreste de los afloramientos principales de la formación (sector de El Tambo, Quebrada Vacas Heladas). La Formación Vallecito se dispone, en discordancia angular y de erosión, sobre las formaciones Baños del Toro, Tilito y Grupo Escabroso. El espesor máximo de esta formación es cercano a 200 m. Se encuentra datada (K-Ar, en biotita) en $5,9 \pm 0,6$ Ma, lo que corresponde a la parte alta del Mioceno Tardío, cerca del límite con el Plioceno. Por otra parte, consideraciones geomorfológicas, indicarían que se depositó con posterioridad a la Formación Cerro de Las Tórtolas, cuya edad K-Ar, más joven, es de $11,0 \pm 0,5$ Ma (límite entre el Mioceno Medio y Superior). La Formación Vallecito se ubicaría, cronológicamente, en el Mioceno Tardío.

5.5 Zona E (32-33,5°S)

5.5.1 Paso Los Pelambres, Portillo (Cretácico Inferior)

Las muestras del paso Los Pelambres están tomadas en una localidad ca 5 km al sur del Paso los Pelambres y representan lavas que dominan la parte inferior de la Formación Los Pelambres en su localidad tipo (Olivares, 1985; Rivano y Sepúlveda, 1991), estas lavas se alternan con rocas volcanoclásticas y limolitas marinas someras. De acuerdo a Rivano y Sepúlveda la edad de la Formación Paso Los Pelambres es berriasiana a hauteriviana.

Las lavas de Portillo ocurren en una unidad de *redbed* continental que se estima corresponde a la continuación hacia el norte de la Formación Colimapu, las lavas, probablemente de edad albiana, se encuentran situadas sobre la formación Cristo Redentor (Aguirre, 1960). Las muestras se ubican en un rango de basaltos a andesitas, con predominio de las andesitas basálticas.

5.5.2 Los Pelambres. El complejo intrusivo que encaja la mineralización de pórfido cuprífero Los Pelambres está emplazado en una secuencia de rocas andesíticas de la Formación Los Pelambres del Cretácico tardío (Rivano y Sepúlveda, 1991, Atkinson et al. 1996) Corresponde a un stock tonalítico y cuerpos porfiríticos y un pequeño número de diques andesíticos y aplíticos, de grano medio, compuestos de un entrecrecimiento de plagioclasa hipidiomórfico subequigranular, hornblenda y biotita con cuarzo y feldespato potásico peritítico como granos intersticiales. Se reconocen cuerpos porfiríticos tonalíticos dentro del stock con fenocristales de plagioclasa, hornblenda y biotita diseminada en una matriz de cuarzo y feldespato potásico. Pórfidos de diorita cuarcífera y monzodiorita cuarcífera ocurren como diques y cuerpos irregulares, consisten en fenocristales de

plagioclasa y hornblenda en una masa fundamental traquítica de biotita, y plagioclasa, biotita y hornblenda en una matriz aplítica de biotita.

5.5.3 Área de Santiago. (Oligoceno Superior- Mioceno medio)

Cinturón Manquehue- San Cristóbal-Santa Lucía, orientado en dirección NE-SW. El Cerro San Cristobal (899 m.s.n.m.) Se levanta 300-370 m sobre el valle central. Katsui y Vergara (1966) describen dos unidades sobrepuestas de tobas soldadas dacíticas a riolíticas. La unidad superior fue nombrada tobas soldadas del San Cristóbal por Sellés (1999), delineando junto con las tobas del cerro Las Rodríguez los márgenes de una posible cadera de colapso. Suprayacente a las tobas soldadas existe un paquete de 500 m de espesor de lavas basálticas afaníticas (El Carrizo; Gana y Wall, 1997), tobas brechosas y rocas sedimentarias continentales. Las relaciones de campo muestran que las tobas soldadas del San Cristóbal están intruidas por tres cuerpos subvolcánicos que consisten en pórfidos de dos piroxenos alineados en la misma dirección del cinturón (Katsui y Vergara, 1966): Cerro San Cristóbal, Cerro El Salto y La Pirámide.

El Cerro Santa Lucía es un dique de 300 m de espesor con una orientación N46°E/60°NW (Sellés, 1999). Su composición corresponde a una andesita basáltica de dos piroxenos.

El Cerro Manquehue (1638 m.s.n.m.) que se eleva aproximadamente 1000 m encima del valle central representa el extremo norte del cinturón Manquehue- San Cristóbal-Santa Lucía. Es un stock consistente en pórfido dacítico de hornblenda.

El Cerro El Peñón está localizado aproximadamente a 2 km al NE del Cerro Manquehue, y corresponde también a un pórfido dacítico de hornblenda.

El cinturón de Conchalí, que comprende el Cerro Gordo y el Cerro Las Canteras, está localizado en la parte NNW del área de Santiago son pórfidos subvolcánicos de andesita basáltica que intruyen las lavas de andesita basáltica de El Carrizo.

5.5.4 Formación Abanico. La Formación Abanico fue definida por Aguirre (1960) en la provincia del Aconcagua. En la Cordillera Principal de Chile central sobreyace a la Formación Colimapu en un contacto que ha sido descrito como discordante en la zona en la zona del río Aconcagua (Aguirre, 1960) y concordante en la zona cordillerana al este de Santiago (Thiele, 1980). Subyace a la Formación Farellones en un contacto que ha sido descrito como discordante o concordante según distintos autores (Aguirre, 1960; Klohn, 1960; Thiele, 1980; Charrier, 1981; Godoy *et al*, 1999). En el Valle Central la Formación Abanico sobreyace discordantemente a las formaciones Lo Valle y Las Chilcas (Gana y Wall, 1997; Sellés, 2000; Fuentes, 2004).

La Formación Abanico, es una secuencia continental, conformada por tobas y brechas volcánicas con intercalaciones de lavas y rocas sedimentarias

volcanoclásticas, alcanzando un espesor de alrededor de 3000 m. (Thiele, 1980; Gana y Wall, 1997).

Considerando su contenido de fauna fósil y las dataciones radiométricas efectuadas, correspondería a una edad entre el Eoceno superior a Mioceno inferior (Flynn *et al.*, 1995; Gana y Wall, 1997; Aguirre, 1999; Charrier *et al.*, 2002, 2005; Fock, 2005; Fock *et al.*, 2006).

5.5.5 Cerro Aconcagua (Mioceno Inferior- Superior).

El cerro Aconcagua se ubica 115 km al oeste de Mendoza y 90 km al norte del grupo Tupungato (Pleistoceno)-Tupungatito (activo). Las rocas del cerro Aconcagua fueron incluidas por Munizaga y Vicente (1982) dentro del miembro superior (andesitas basálticas) de la Formación Farellones, para el cual establecieron un intervalo de edad entre 17 y 10 Ma (K-Ar, roca total) en afloramientos de la vertiente chilena. Vergara *et al.*, (1988), considerando afloramientos adicionales, ampliaron dicho lapso hasta los 7,4 Ma. Una discordancia separaría a las rocas de esta formación de la infrayacente Formación Abanico.

Ramos *et al.* (1985) obtuvieron edades entre 15,8 y 9,6 Ma (K-Ar roca total). Designaron a esta secuencia como 'unidad inferior' y las rocas suprayacentes como 'unidad superior'.

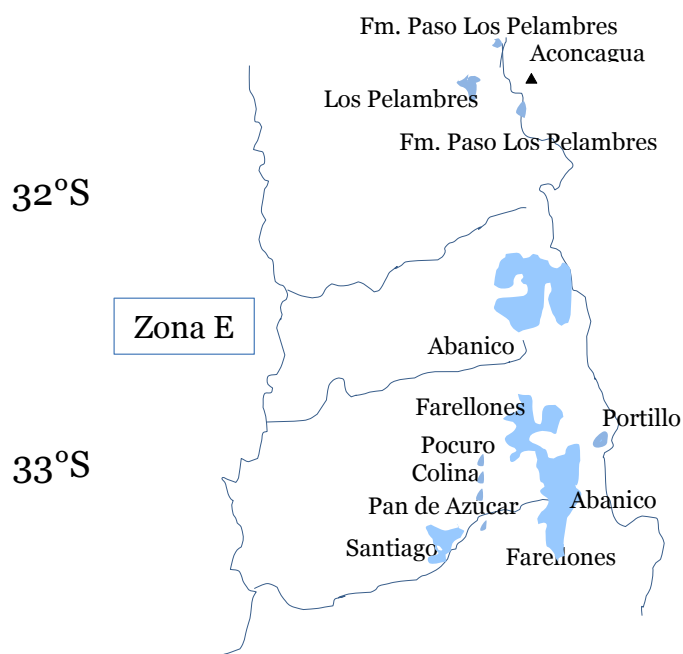


Figura 5.3: Mapa esquemático de los centros y formaciones de la Zona E, entre 32 y 33,5°S. Sobre mapas de Vergara *et al.*, 1988 y Reich *et al.*, 2003.

En la siguiente tabla se expone la distribución de los centros y formaciones según el período de tiempo estimado a que corresponden con respecto al paso de la Dorsal de Juan Fernández.

Tabla 5.1 Distribución de los centros y formaciones según los períodos de cada zona.

Zona A	Período Previo	Período Incidente	Período Posterior
	Fm. Oxaya (Parte Inf.)	Fm. Oxaya (Parte media)	Vn. Sucuna
	Fm Lupica(Parte Inf.)	Fm Lupica(Parte media)	F. Zapahuiria
	Qda Murmuntani	Vn. Quevilque	Fm. Huaylas
	Chapiquiña	Fm. Zapahuiria	Fm. Macusa
			Vn. Familiarani, Márquez
			Domo Laguna Paquisa
Zona B	Ig. Río Frío	Chaco	Cerro Azufre
	León Muerto	Cerro Blanco	Aguas blancas
	Colorado		Ign. Mioceno medio
Zona C	Esperanza	Vn. Sta. Rosa	Azufre
	Refugio	Valle Ancho	Domo Copiapó
		Cadillal	Ign. Copiapo
		Villalobos	Pircas Negras
		Pastillos	Jotabeche
		Marte, Vally	
		Y. Heladas	
Zona D	Grupo Tilito	Fm. Cerro Las Tórtolas	Fm. Vallecito
	Grupo Escabroso		
Zona E	Fm. Abanico	Los Pelambres	
	Cinturón Manquehue-S. Cristóbal	Aconcagua	
	Aconcagua		

6. Geoquímica de las Zonas de Migración.

Los datos de geoquímica fueron obtenidos de una recopilación de artículos publicados en la literatura científica: Trumbull *et al.*, (1999); Siebel *et al.*, (2001), Kay *et al.*, (1999); Kay *et al.*, (1994); Kay *et al.*, (1991) Kay *et al.*, (1987); Vergara *et al.* (2004); Tittler, (1995); Kohlbach, (1999); Montecinos *et al.*, (2008); Reich *et al.*, (2003), López-Escobar y Vergara, (1997); Vergara y Nyström, (1996), y de la Hoja Arica y Hoja Zapaleri: García *et al.*, (2004); Gardeweg y Ramírez, (1985). Las fuentes son variables en el tipo de datos geoquímicos que entregan, y no en todas se encuentra una información completa sobre elementos traza e isótopos. Más información sobre la base de datos se encuentra en el Anexo 2 (Tablas 12.1- 12.7).

En las zonas A y E están representadas a modo de comparación muestras de rocas más antiguas. En la Zona A corresponden a lavas del Cretácico superior-Paleoceno y en la zona E a rocas de la Formación Los Pelambres y Cristo Redentor del Cretácico inferior.

6.1 Elementos Mayores.

Los diagramas de elementos mayores se encuentran en el Anexo 1 por razones de espacio. En los diagramas Harker con respecto al porcentaje en peso de SiO₂ se observa incrementos en los contenidos de Na₂O en las zonas A (18-19°S), C (26-28°S) y E (32-33,5°S), de 3 a 3,7%, 4 a 4,5%, y de 4,9% a 5,7%, respectivamente. Los porcentajes de Al₂O₃ fluctúan, manteniéndose en general altos, entre 19 y 17% en peso (figuras 10.1 a 10.11, en Anexo 1).

En los diagramas Harker de la Zona B (25-26°S), están representados los datos de las andesitas e ignimbritas del segmento comprendido entre 25° y 26°S, y los de la zona entre 23 y 24°S, que corresponderían a un período posterior al paso de la cadena Juan Fernández. En las andesitas el porcentaje de Al₂O₃ se mantiene alto en un rango de 18-17% y Na₂O muestra un descenso de 3,7 a 3,1 %.

El MgO aumenta en las zonas A (3,7%), B (2,7-3,5%), y C (3,1%). Los porcentajes de K₂O evidencian incrementos en las zonas A (3,5-5,7%) y E (2,4-3,4%) y levemente en B (2,6-2,8%) sin mostrar mayor variación en las dos zonas restantes C y D, los demás elementos muestran trends de diferenciación lineales, con algunas excepciones como el CaO en la Zona D (29-31°S), que tiene un alza abrupta en el período de incidencia, sin variación de SiO₂.

Los porcentajes elevados de Na₂O podrían ser indicativos de mayor participación de fluidos acuosos, ya que a mayor proporción de agua disminuye el fraccionamiento de plagioclasa, lo que produciría un incremento del porcentaje de sodio y aluminio.

Las muestras del Paleógeno en la zona A, exhiben un comportamiento semejante a las muestras del período previo, o concentraciones menores para contenidos similares de SiO₂. Algo similar ocurre con las muestras de la franja oligocena de 37-39°S.

Tabla 6.1 Elementos mayores. Período incidente.

% en peso	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E
SiO₂	62,53- 67,76	58,8-61,7	51,95-63,52.	62,53- 67,76	63,66-69,75
K₂O	2,13-2,71	1,62-2,79	1,15-2,68	2,13-2,71	2,37-7,44
Na₂O	3-4,39	3,16-3,33	3,52-4,25	3-4,39	1,61-5,83
MgO	0,88- 4,68	2,54-3,45	1,49-3,51	0,88- 4,68	1,61-5,83
Al₂O₃	16,52-18,87	16,84-18,23	16,4- 18,57	16,52-18,87	15,87-20,16
Fe₂O₃	3,04-5,44	5,07-6,22	3,25-5,62	3,04-5,44	3,9-5,4
CaO	1,48-6,79	5,36-6,17	4,9-7,6	1,48-6,79	

6.2 Elementos traza

Las concentraciones de elementos traza denotan un enriquecimiento en Rb, Cs, Th y menor en U en las zonas de estudio, con respecto al período anterior. El Rb alcanza una variación en las concentraciones de hasta 231 ppm en las ignimbritas de la Zona A, y de 78- 166 ppm en las lavas; de igual forma muestra una variación de 71-133 ppm en la Zona B, y algo menores en las zonas C y E. Salvo en la zona C todas las concentraciones disminuyen en el período posterior. Algo similar ocurre con el Th (3,8-18,8 ppm en la Zona B) y el Cs, que varía de 1,3-9,5 ppm en la Zona A, 6,6-12,2 en la Zona B y 5,8-10,7 en la Zona C (Figuras 10.12-10.16 en Anexo 1).

6.3 Diagramas de razones de elementos traza

Para los diagramas de elementos traza se tomaron muestras con concentraciones de SiO_2 en el rango de (55-65) % en peso con el fin de acotar el efecto de la diferenciación, salvo en el caso de la Zona D donde en el período posterior no existen valores dentro de este rango.

6.3.1 Ba/La versus Th/La

La Zona A exhibe un incremento de la razón Ba/La en las muestras del período incidente, en cambio los valores de la razón Th/La permanecen sin variación, lo contrario ocurre en los diagramas de la Zona B, donde se observa decrecimiento de la razón Ba/La y aumento de Th/La. Esto indicaría baja participación de fluidos y un aumento de contaminación intracortical, o proveniente de erosión tectónica por subducción. Sin embargo hay un aumento de la razón Ba/La en las andesitas con respecto a las ignimbritas de Río Frío que constituyen el período anterior en la zona, pero en general la razón Ba/La se mantiene constante en valores de 15-25 (Figura 6.1).

Por el contrario en la Zona C se observa valores altos de Ba/La (56) en el período incidente y un descenso relativo en el período posterior, con un incremento moderado en la razón Th/La. En la Zona D se tiene un aumento (38-63) de Ba/La sobre todo en el período posterior con razones casi constantes de Th/La (0,33). Por último en la Zona E los valores de la razón Ba/La se mantienen en ~ 50 , y de Th/La en $\sim 0,33$, lo que puede deberse a la escasez de datos de Th en las muestras del período incidente de esta zona.

Comparando las razones de elementos traza, la relación entre los incrementos de Ba/La y Th/La demuestra un componente de fluidos y contaminación cortical in situ y subductada, con mayor índice de contaminación cortical en la zona B, y un mayor aporte de fluidos de subducción en las zonas C (26-28°S) y D (29-31°S).

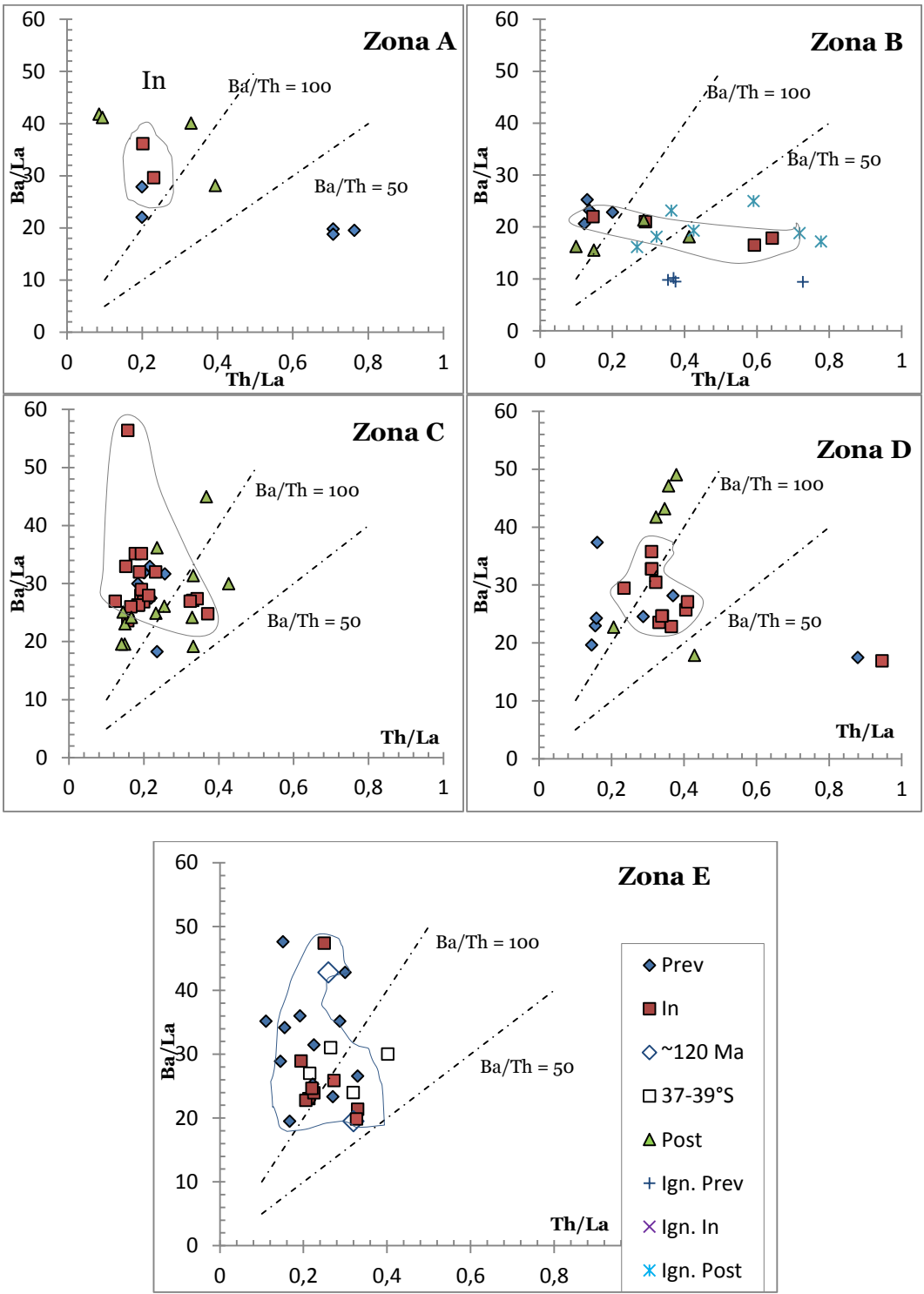


Figura 6.1: Diagrama de Ba/La versus Th/La de las zonas B (25-26°S), C (26-28°S), D (29-32°S) y E (32-33,5°S). El diagrama de las zonas C y D demuestra un incremento en la razón Ba/La en las muestras del período de incidencia y posterior.

6.3.2 Ba/Ta versus Th/Ta

El comportamiento de las zonas es variable, con tendencia a un aumento de la razón Ba/Ta durante el período de incidencia (figura 6.2). Se observa una tendencia a un aumento de la razón Ba/Ta durante el período de incidencia, con un leve aumento en las muestras del período incidente de la razón Ba/Ta, y uno mayor en la razón Th/Ta para la Zona B. En la Zona C existe un incremento en Ba/Ta y los valores de Th/Ta permanecen constantes, mientras que en las muestras del período posterior sucede lo contrario. La Zona D presenta un comportamiento disperso, tendiendo al incremento pronunciado de ambas razones en el período incidente, mientras que en la etapa posterior se concentran en torno a valores constantes y menores. En la Zona E se observa en las muestras del período incidente un incremento moderado de la razón Ba/Ta con respecto a las muestras del período anterior, pero esto puede estar influido por el número reducido de datos de Th en las muestras de la zona, por lo que se dificulta la comparación.

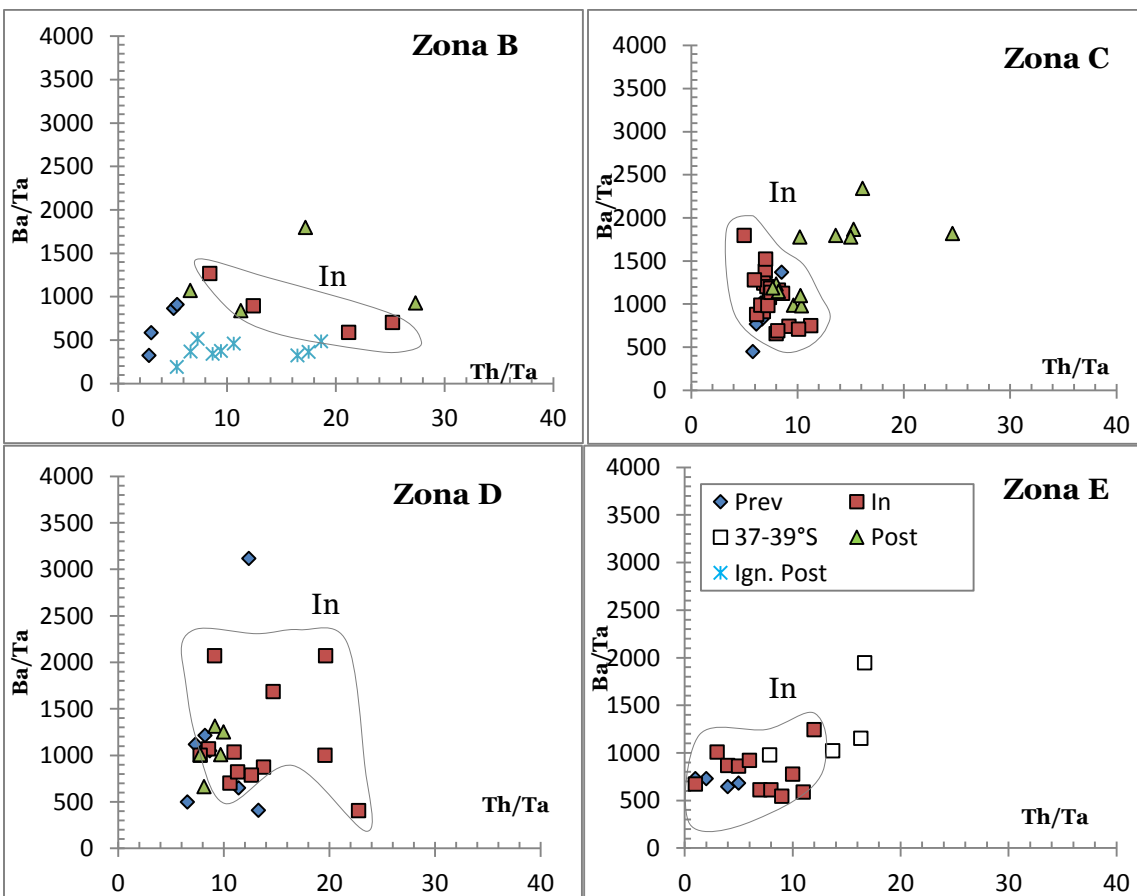


Figura 6.2: Diagramas de Ba/Ta versus Th/Ta de las zonas B (25-26°S), C (26-28°S), D (29-31°S) y E (32-33,5°S). Se observa una tendencia a un aumento de la razón Ba/Ta durante el período de incidencia, salvo en la Zona B, donde el incremento de Th/Ta es más notorio, respecto a las muestras del período anterior. Simbología en el gráfico de la Zona E.

Las altas razones Ba/Ta caracterizan todo el componente de subducción ya que el Ba es liberado en un amplio rango de temperaturas. En contraste una alta razón de Th/Ta caracteriza solo el componente fundido de alta temperatura, mientras que una alta razón Ba/Th caracteriza el componente fluido de menor temperatura, ya que solo el Ba es móvil en fluidos (Pearce *et al.*, 2005). Además el alza en Ba/La y Th/Ta implicaría contaminación del manto bajo el arco por componentes derivados de la corteza oceánica subductante (Stern, 1990 y referencias).

De la figura 6.2 se desprende que existe un incremento de la razón Th/Ta en todas las zonas durante el período de incidencia, siendo este más notorio en la Zona B. Se puede observar una participación de fluidos variable inferida de la razón Ba/Ta, mayor en la Zona C. Además esta razón puede estar influida por contaminación cortical. El incremento en las razones Ba/Ta también puede deberse a un incremento en material subductado a la fusión, como parece sugerir el gráfico de la razón Th/Ta para la zona B, que muestra un aumento temporal para esta razón.

6.4 Relaciones de tierras raras

6.4.1 (La/Sm)_N versus (Sm/Yb)_N

En la Zona A (Figura 6.3) se observa un valor elevado de la razón La/Sm, que indica la pendiente de tierras raras livianas (LREE), en la única muestra que posee valores de ambas razones, con un descenso posterior, mientras que la razón permanece virtualmente constante durante el período incidente, donde aumenta en algunos casos la razón Sm/Yb, las muestras de ignimbritas evidencian un aumento en la razón, de 5,8 a 7,2, el cual es seguido de un descenso posterior (La/Sm=4,5) En la Zona B no se aprecian mayores variaciones, hay un leve incremento (3,1,-3,8) en La/Sm y la razón Sm/Yb decrece de 3,7 a 3,6, si bien el promedio aumenta de 2,8 a 3,2; en la Zona C se observa un incremento lineal constante en todo el intervalo. En la Zona D el aumento es marcado para Sm/Yb (3,5-6,6) con un leve descenso en las muestras del período posterior en tanto que en la Zona E se observa incrementos en ambas razones, siendo este más pronunciado en la razón Sm/Yb (7- 10).

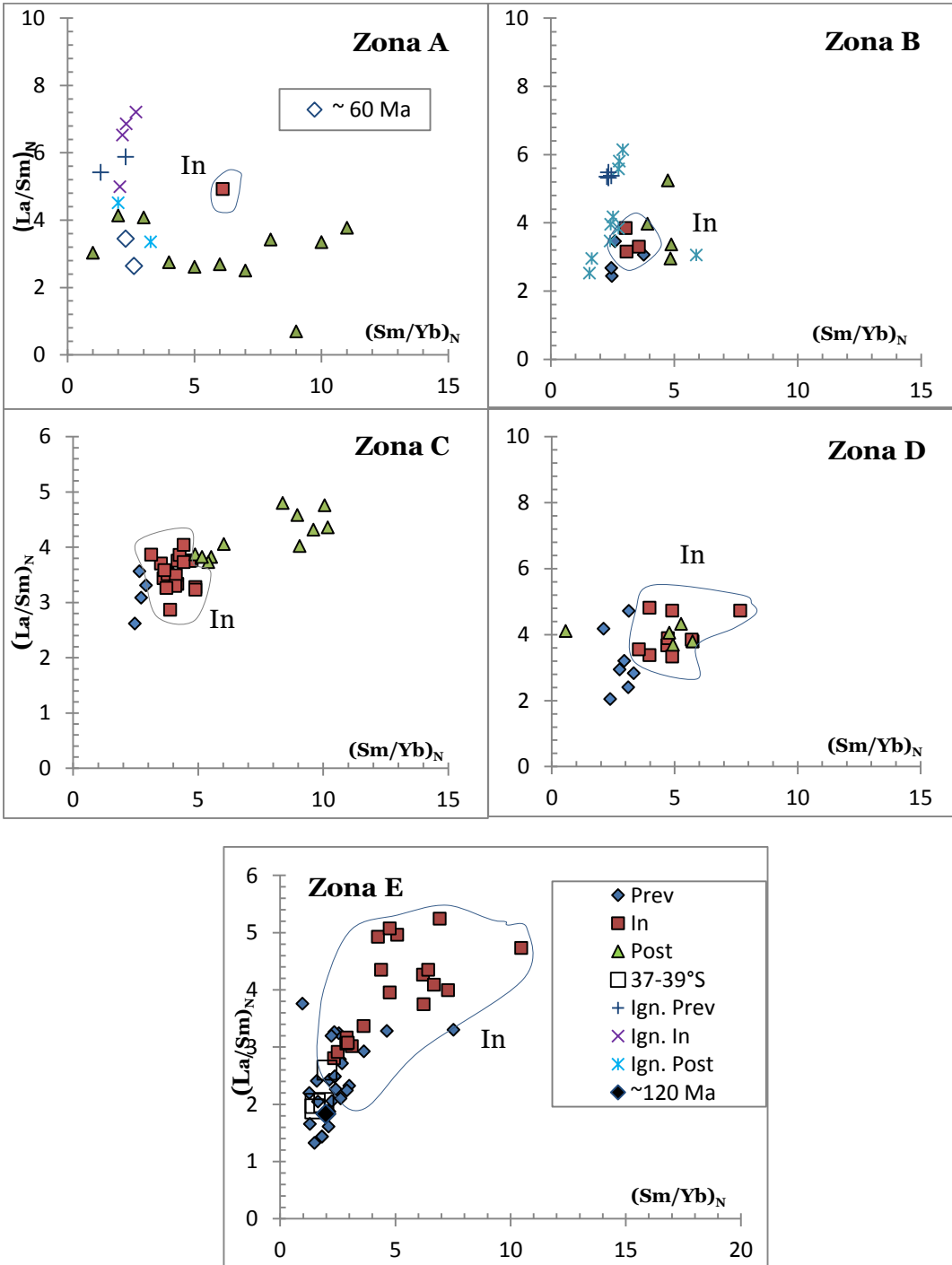


Figura 6.3: Diagrama de la razón $(La/Sm)_N$ vs $(Sm/Yb)_N$ normalizada al condrito C1 (Sun & McDonough, 1989). Se muestran las zonas A (18-19°S), B (25-26°S), C (26-28°S), D (29-31°S) y E (32-33,5°S). Las muestras de la región 37-39°S caen en valores menores para ambas razones de tierras raras.

6.5 Isótopos

6.5.1 ϵNd vs $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

En los gráficos de ϵNd versus $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (figura 6.4) se puede observar fenómenos parecidos. En la Zona B (25-26°S) se evidencia una composición menos radiogénica en las muestras de la etapa posterior, y lo mismo y más claramente en las zonas C y D, ubicadas a 26-28°S y 29-31°S, respectivamente.

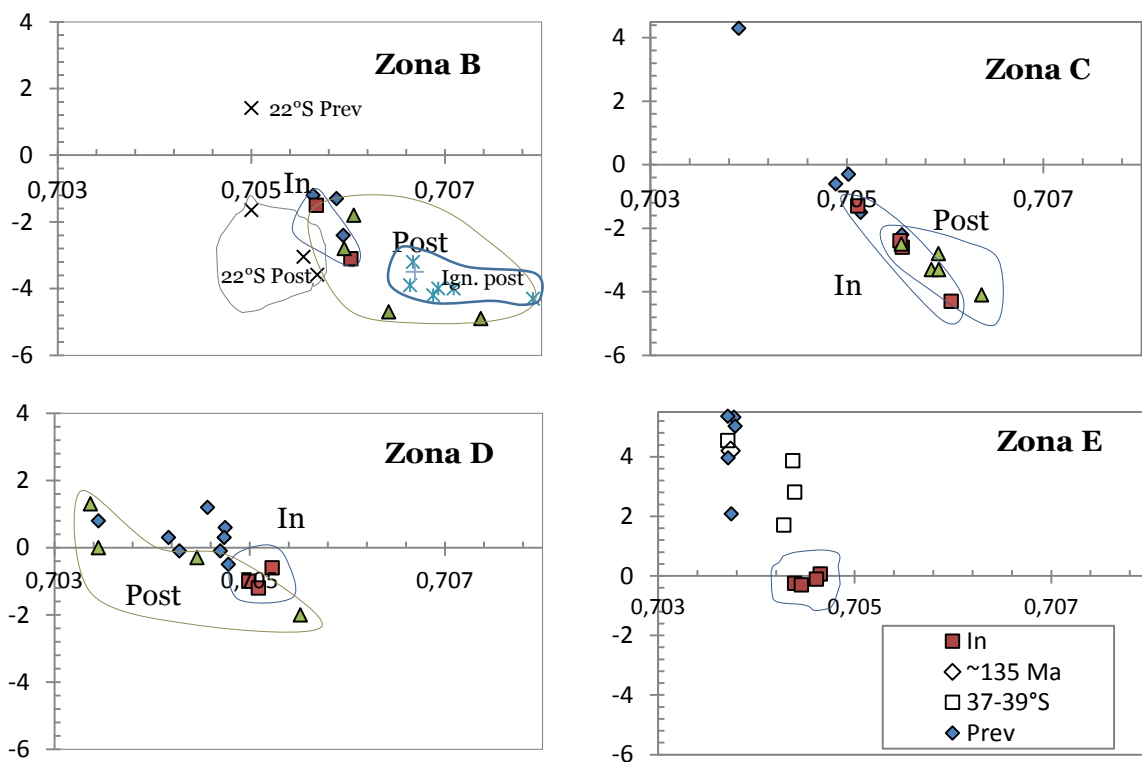


Figura 6.4: Diagrama de ϵNd versus $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ para las zonas B (25-26°S), C (26-28°S), D (29-31°S) y E (32-33,5°S). Se muestra también en el diagrama de la Zona B la composición de muestras de andesitas de la latitud de 22°S (con una X) para los períodos aproximados anterior (39 Ma), y posterior (ca. 15 Ma) al paso de la dorsal. En la Zona D se observa claramente como las muestras del período posterior evidencian una composición menos radiogénica, semejante a las de las rocas del período anterior, y levemente en la Zona C.

En el diagrama de la Zona E se puede observar las muestras de andesitas de la región entre 37-39°S, de aproximadamente 25-28 Ma, las que exhiben una composición isotópica menos radiogénica que las de los períodos anteriores de las cuatro zonas de estudio, salvo la Zona E. El diagrama de la Zona B muestra valores de isótopos de rocas de la latitud 22°S

6.5.2 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ y $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ versus $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

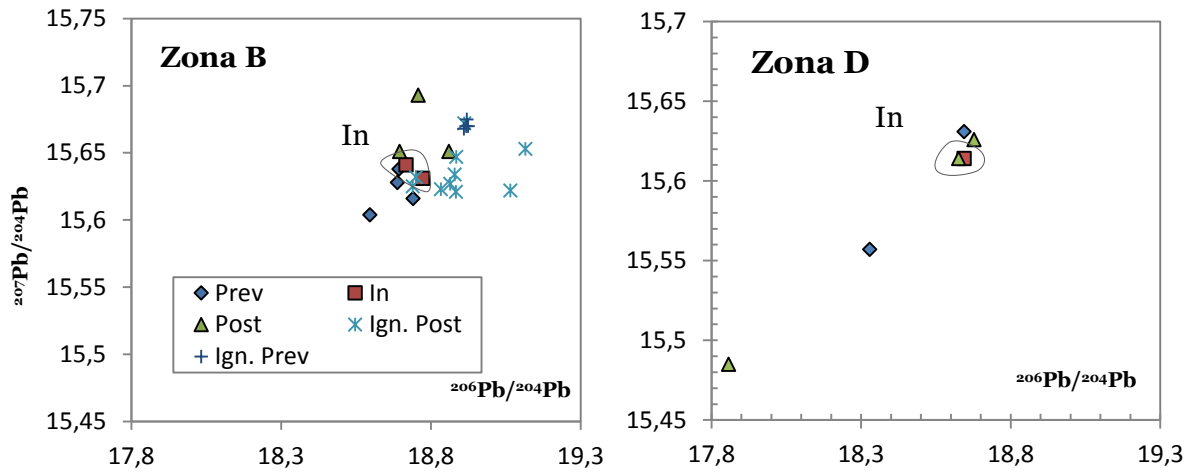


Figura 6.5 : Diagrama de la razón $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ versus $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, para las zonas B (25-26°S) y D (29-31°S).

En la Zona B, para las andesitas el valor más alto de la razón $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ es 18,7; luego hay un descenso si bien una de las muestras del período posterior presenta una razón mayor. En las ignimbritas también se observa un descenso en el período posterior con respecto a los valores más antiguos, con un par de valores bastante más elevados. En la Zona D se observa un aumento relativo en el período incidente.

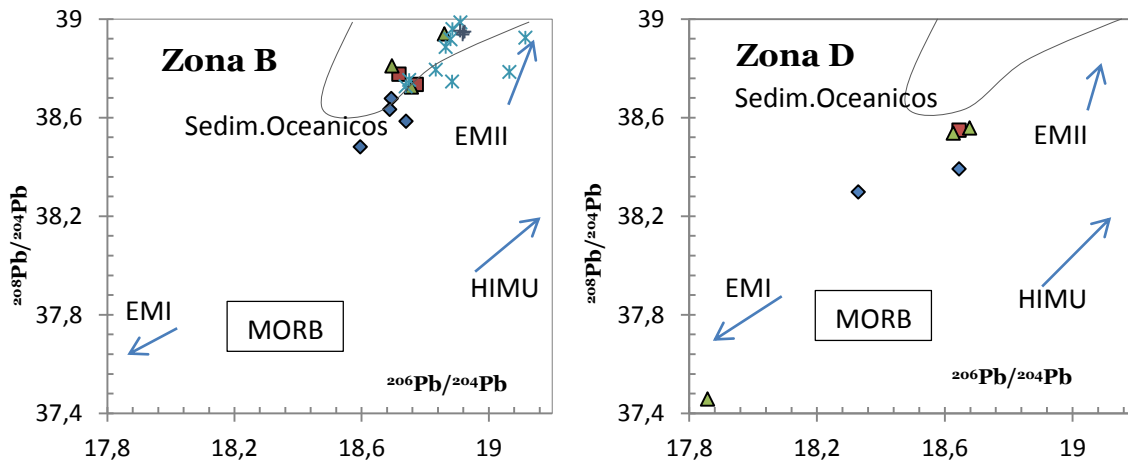


Figura 6.6: Diagrama de la razón $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ versus $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$. El diagrama de la zona B muestra una composición indicativa de participación de sedimentos pelágicos. Los valores en el período incidente son: 18,74 y 38,586 en $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$. Campos tomados de Shibata y Nakamura (1997).

6.6 Diagramas de Discriminación para rocas adakíticas

6.6.1 $(La/Yb)_N$ vs Yb_N

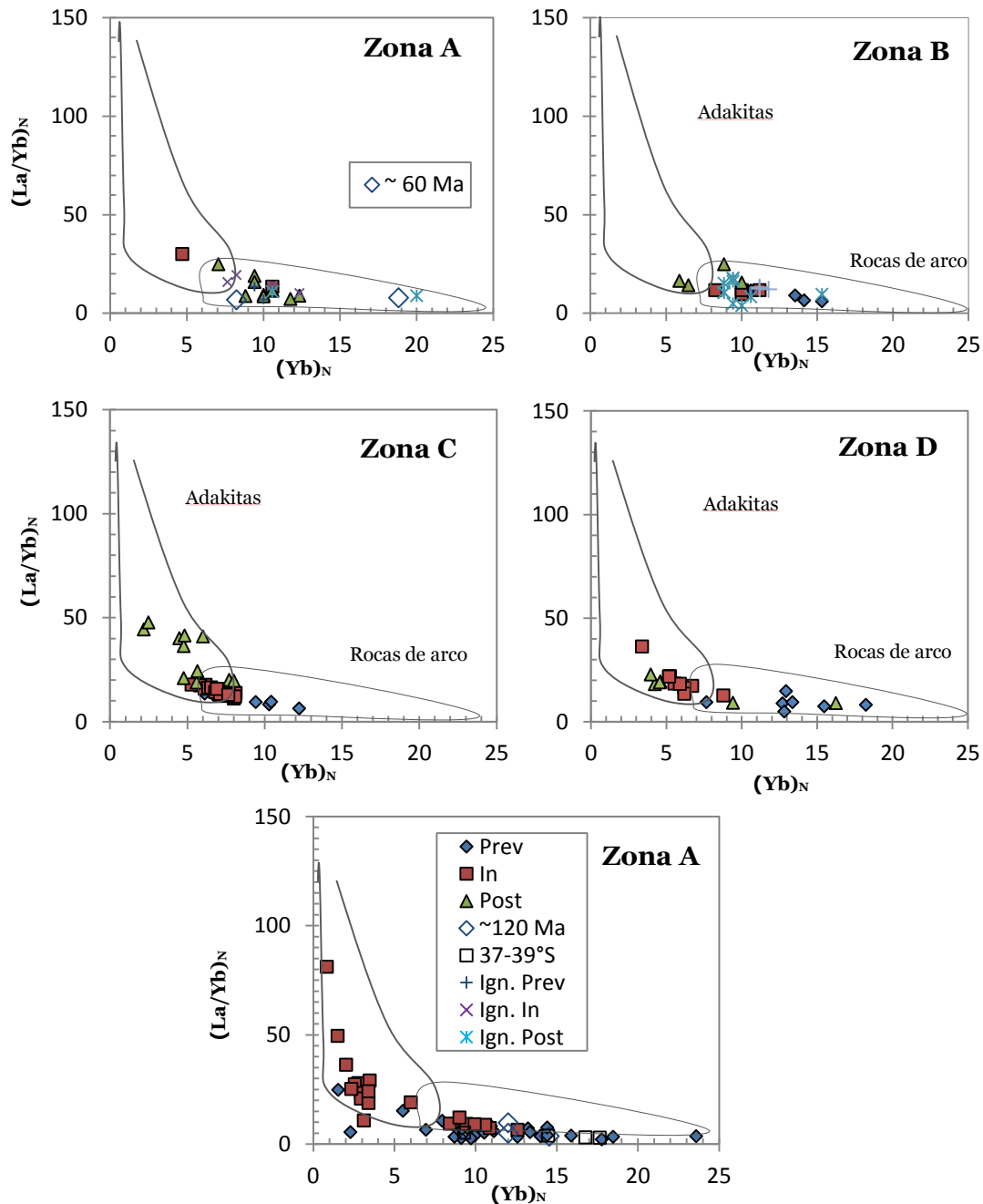


Figura 6.7 : Diagramas de la razón $(La/Yb)_N$ normalizada al condrito (Sun & McDonough, 1989) vs $(Yb)_N$. Campos tomados de Martín, (1999). Las muestras de las sucesivas zonas caen en mayor número dentro del campo adakítico, para los períodos incidente y posterior, especialmente este último en la Zona C. Las muestras de edades muy anteriores en las zonas A y E caen bastante lejos en el campo de las rocas de arco, y lo mismo ocurre con las de la región de 37 a 39°S. Un fenómeno análogo se observa en la siguiente figura.

En los diagramas de discriminación de La_N/Yb_N versus Yb_N se evidencia en las 5 zonas un leve carácter de tipo adakítico, el cual aumenta hacia el sur, representado por las muestras del período incidente y también posterior en algunos casos (zonas A (18-19°S), B (25-26°S), C (26-28°S) y D (29-31°S)).

También se puede notar que las muestras de las zonas A, B y D del período posterior caen fuera del campo adakítico.

6.6.2 Sr/Y versus Y

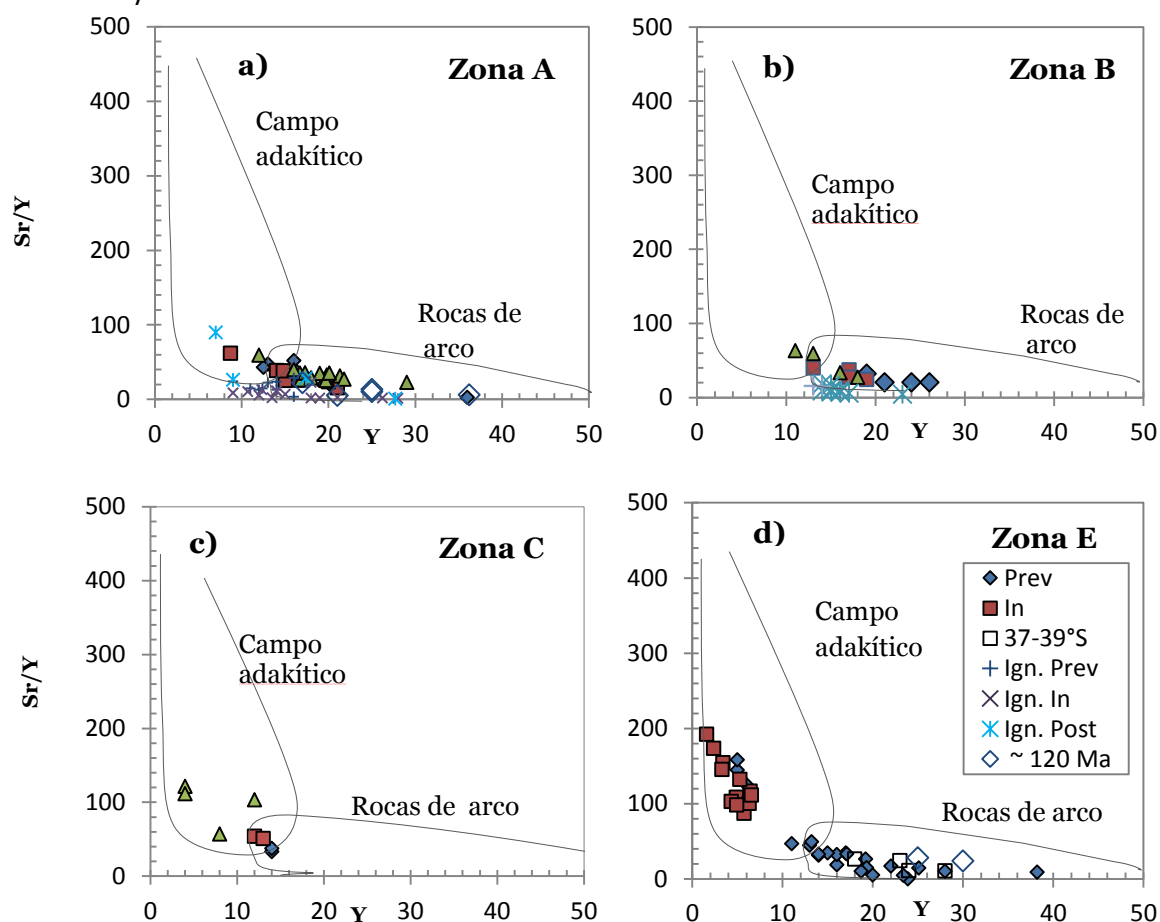


Figura 6.8: Diagramas de la razón Sr/Y versus Y de las zonas A (18-19°S), B (25-26°S), C (26-28°S), y E (32-33,5°S). En la Zona D no existen datos de Y. Se observa en c) y d) donde la dorsal tiene mayor permanencia, como la señal de tipo adakítico se hace más intensa, donde en la Zona C las muestras del período posterior y en la Zona E las del período incidente, caen dentro del campo de rocas de esta signatura. En las zonas anteriores esto se observa de forma leve. Las muestras de edades muy anteriores en las zonas A y E caen dentro del campo de rocas de arco. Los campos está tomados de Martin, (1999).

Por otra parte se aprecia un aumento en la concentración de Cr (Anexo 1) para todas las zonas incluidas en la trayectoria durante el período de incidencia de la Dorsal de

Juan Fernández. En las zonas A (18-19°S), B (25-26°S), C (26-28°S) y E (32-33,5°S) éste es más notorio, continuando en la Zona C durante el período posterior.

Los datos de geoquímica se resumen a continuación en una tabla que muestra los valores máximos y promedio para cada zona en los períodos previo, incidente y posterior de las razones de elementos traza y tierras raras.

Tabla 6.2 Tabla de valores máximos y promedios de razones de elementos traza y tierras raras.

Zonas	Ba/Ta máx			Ba/Ta promedio		
Períodos	Previo	Incidencia	Posterior	Previo	Incidencia	Posterior
A (18-19°S)	649	1333	542	412	1237	437
B (25-26°S)	864	1265	1768	670	863	1159
C (26-28°S)	1639	1795	2342	933	1070	1444
D (29-31°S)	1214	2073	1314	998	1099	1034
E (32-33,5°S)	731	1245		690	802	
	Ba/La máx			Ba/La promedio		
A	37	42	40	21,6	32,9	37,8
B	25	52,7	21,3	23	19,4	17,8
C	18,3	56,4	67,9	28,7	30,1	26,5
D	37,4	63	69	23,2	27,2	38,2
E	53	49,5		26,4	28	
	La/Ta máx			La/Ta promedio		
A	29	38	13	19,3	37,6	11,3
B	46	57,5	39,3	29,6	42,9	68
C	61	57	69	31,6	35,8	50
D	35	63	83	44	36,9	26,4
E	32	48,8		30	33,7	
	Th/La máx			Th/La promedio		
A	0,2	0,29	0,39	0,2	0,21	0,22
B	0,6	0,42	0,4	0,14	0,42	0,24
C	0,25	0,42	0,36	0,21	0,22	0,23
D	0,28	0,94	0,37	0,2	0,38	0,36
E	0,32	0,33		0,2	0,23	
	La/Yb máx			La/Yb promedio		
A	13,5	30	19	10,3	21,9	12,6
B	11,5	11,8	24,9	8,3	11,2	17,8
C	13,5	17,8	48	10	14,4	30
D	14,8	36,2	22,8	8,0	18,7	16,9
E	24,8	81		5,9	23	
	La/Sm máx			La/Sm promedio		
A	5,8(ign.)	5,0 (7,2, ign.)	4,1 (4,5, ign.)	5,6 (ign.)	5,0 (6,4, ign.)	3,0 (3,9, ign.)
B	3,1	3,8	5,2	2,9	3,5	3,9
C	3,5	7,0	4,7	3,2	3,5	4,1
D	4,7	4,8	3,9	3,0	3,9	3,9
E	3,8	5,5		2,4	4,0	
	Sm/Yb máx			Sm/Yb promedio		
A	3,0	6,1	6,6	2,5	4,2	3,8
B	3,7	3,6	4,9	2,8	3,2	4,6
C	3,9	4,9	9	3,0	4,0	7,0
D	3,5	6,6	4,8	2,7	5,0	3,2
E	7,5	10,4		2,4	5,4	

7. Discusión

De las observaciones realizadas en la sección de geoquímica se desprende que existe una posible correlación entre la migración de la Dorsal de Juan Fernández y evidencias de enriquecimientos de elementos incompatibles, tierras raras livianas, razones de elementos traza Ba/Ta, Th/La, y composiciones isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, ϵNd , e isótopos de Pb. En esta sección se discuten los resultados a la luz de lo que implicarían las variaciones de estos parámetros geoquímicos en términos de erosión por subducción, contribución de fluidos del slab, e influencia de una fuente de tipo OIB.

7.1 Límites del estudio

Es necesario tener en cuenta que existen estudios que proponen otras causas para el proceso de subhorizontalización del *slab* subductante, como el *rollback* de la fosa y el avance del cratón del Río de la Plata (Manea *et al.*, 2012), como también el trabajo de Skinner y Clayton (2013), que indica la poca correlación existente entre la mayor parte de los casos de subducción de anomalías batimétricas y el desarrollo de segmentos de *flat slab*, sugiriendo que en los puntos donde se encuentra presente es integrada dentro de procesos orogénicos, que serían la causa principal del bajo ángulo de subducción. Otras posibles causas en estudio son la heterogeneidad en la litósfera continental (O'Driscoll *et al.*, 2012), y plegamiento del *slab* en la zona de discontinuidad a 660 km (Gibert *et al.*, 2012).

Otros posibles errores asociados pueden provenir de la dispersión en la distribución de las muestras, lo que con frecuencia causa que las muestras de los distintos períodos no estén en el mismo lugar en cada zona, ya que no se dispone de datos con las edades adecuadas para ello. Además pueden ser fuente de error las imprecisiones de las edades documentadas y la heterogeneidad de los métodos de datación de las diferentes publicaciones que componen la base de datos, así como la falta de información para algunos parámetros en cada zona por lo incompleto de los datos geoquímicos disponibles.

7.2 Erosión tectónica por subducción

La erosión tectónica vinculada a subducción, que describe el desgaste y remoción de los cuerpos sedimentarios y rocosos de un margen oceánico, se divide en procesos de erosión frontal, que desprenden y substraen masas de roca y sedimentos en la pared de la fosa hacia el continente, y procesos de erosión basal que remueven subcorticalmente la parte inferior de la placa cabalgante; tanto la erosión frontal y basal actúan reduciendo el volumen material del margen, causando con ello adelgazamiento de la placa superior y migración de la fosa hacia el continente. En las figuras 7.1 y 7.2 se esquematizan los procesos involucrados.

Un aspecto relacionado a la subducción de la cadena Juan Fernández es el aumento en la tasa de erosión por subducción (Stern, 1988; 1995; Contreras-Reyes *et al.*, 2011). En la zona de colisión de la Dorsal de Nazca (Hampel *et al.* 2004) se observan indicaciones de erosión tectónica intensa asociada a su paso. Una comparación con los sistemas de antearco no afectados por ella sugiere que el paso de esta dorsal a lo largo del margen continental induce una fase limitada temporalmente de erosión tectónica incrementada superpuesta a un régimen erosivo de extensa duración; todo esto puede también aplicarse a la subducción de la Dorsal de Juan Fernández. En la región afectada por la colisión de la dorsal asísmica con el margen chileno, la erosión por subducción, al menos desde el Mioceno tardío, ha tenido lugar a una tasa de $\sim 100 \text{ km}^3 \text{ Ma}^{-1} \text{ km}^{-1}$, la cual es al menos el doble de la existente en la región norte de Chile (Kukowski y Oncken, 2006). Adicionalmente el piso oceánico al oeste de la fosa en la latitud $\sim 32^\circ\text{-}33^\circ\text{S}$ considerablemente más liso que hacia el norte. De esto se infiere por Kukowski y Oncken (2006) que la importancia potencial de la erosión basal puede haber aumentado a causa de la subducción de la Dorsal Juan Fernández.

De acuerdo a Contreras-Reyes *et al.*, (2010), es probable que la intensa erosión por subducción, frontal y basal, vinculadas a la colisión de la Dorsal Juan Fernández haya causado la migración hacia el continente de la fosa que se aprecia en los mapas batimétricos (von Huene *et al.*, 1997; Yáñez *et al.*, 2001; Laursen *et al.*, 2002), y adicionalmente es probable que la colisión de la Dorsal de Juan Fernández originara una erosión acelerada en la zona precolisión ($\sim 20^\circ\text{-}33^\circ\text{S}$).

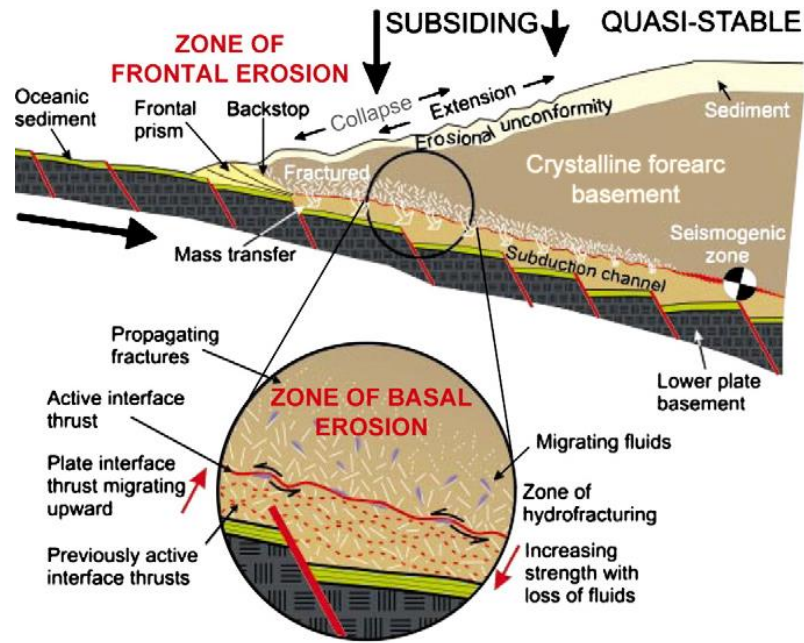


Figura 7.1 Sección esquemática que ilustra los componentes de la cuña de antearco y los procesos involucrados en la erosión por subducción. El canal de subducción se llena inicialmente de sedimentos oceánicos y material erosionado desde la superficie del antearco la cual se acumula en el prisma frontal. La erosión basal produce transferencia de masa de la base del antearco a la placa inferior al ser arrastrados los fragmentos desprendidos dentro del canal de subducción. Al liberarse el fluido de los sedimentos dentro del canal de subducción, la fuerza del acoplamiento entre las placas aumenta y comienza la zona sismogénica. Tomado de Stern, (2011).

A lo largo de las zonas de estudio el enriquecimiento en la composición isotópica, con mayores valores de las razones de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e isótopos de Pb y disminución de los valores de ϵNd , es compatible con la incorporación de material proveniente de la corteza continental incorporado a la región fuente por erosión tectónica de antearco asociada a la subducción de la dorsal. Además en los diagramas de ϵNd versus $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ se observa como en tres zonas: B, C, D (25-31°S), donde se dispone de datos de isotopía y existe un período posterior a la subducción de la dorsal, las muestras evidencian una tendencia hacia composiciones isotópicas menos radiogénicas en el período posterior al paso de la dorsal, exhibiendo valores similares a los del período anterior. Dado el carácter transitorio del enriquecimiento este podría ser atribuido a un efecto del alza en la tasa de erosión tectónica debida a la subducción de la cadena de hotspot.

También se observan evidencias de un aumento de la contaminación cortical en las concentraciones de elementos incompatibles, Cs, Rb, Th, y U, donde se aprecia un enriquecimiento significativo, destacándose el aumento en el contenido de Rb (figura 10.16).

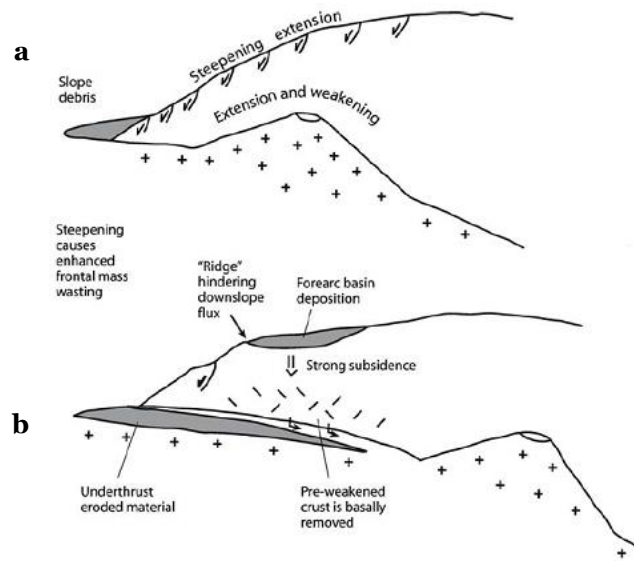


Figura 7.2: Esquema que ilustra como la erosión por subducción es incrementada durante y después de la subducción de un monte submarino. En el lugar en que una elevación topográfica esta subduciendo, la corteza continental suprayacente es alzada y experimenta extensión (a). Esto puede ocasionar fallamiento y debilitamiento de la carga superior. Tras la subducción de un monte submarino o dorsal, la parte alzada del antearco experimenta una subsidencia fuerte y rápida. La corteza fracturada puede ser entonces sujeta a erosión basal intensa (b). Tomado de Kukowski y Oncken, (2006).

Con respecto a la evolución de las razones de tierras raras, el incremento en la razón $(La/Yb)_N$, reflejado en las razones $(La/Sm)_N$ y $(Sm/Yb)_N$ (figura 6.3), puede también indicar una participación aumentada de componentes de la corteza continental, una explicación posible es que estas signaturas se derivan de un manto contaminado por corteza removida del antearco durante alzas episódicas de la erosión tectónica subducción. Esta corteza habría estado sometida a metamorfismo de alta presión y parcialmente fundida en el proceso de entrar en la cuña astenosférica bajo el arco. Dado que estas características cambian en un rango amplio de SiO_2 , son coherentes con un componente cortical que entra en la cuña astenosférica.

De igual forma que con los isótopos de Sr, el carácter transitorio de estos aumentos en tres de las cuatro zonas donde existe un período posterior: (zonas A [18-19°S], C [26-28°S] y D [29-31°S]), sugiere que el origen de las razones elevadas es atribuible a un incremento en la tasa de erosión tectónica que incorpora a la fuente material de la base de la corteza, con presencia de mineralogía de alta presión, o bien a la combinación del incremento en el aporte de material cortical erosionado y procesos de engrosamiento cortical. (López *et al.*, 1977; Stern *et al.*, 1984; Stern, 1988).

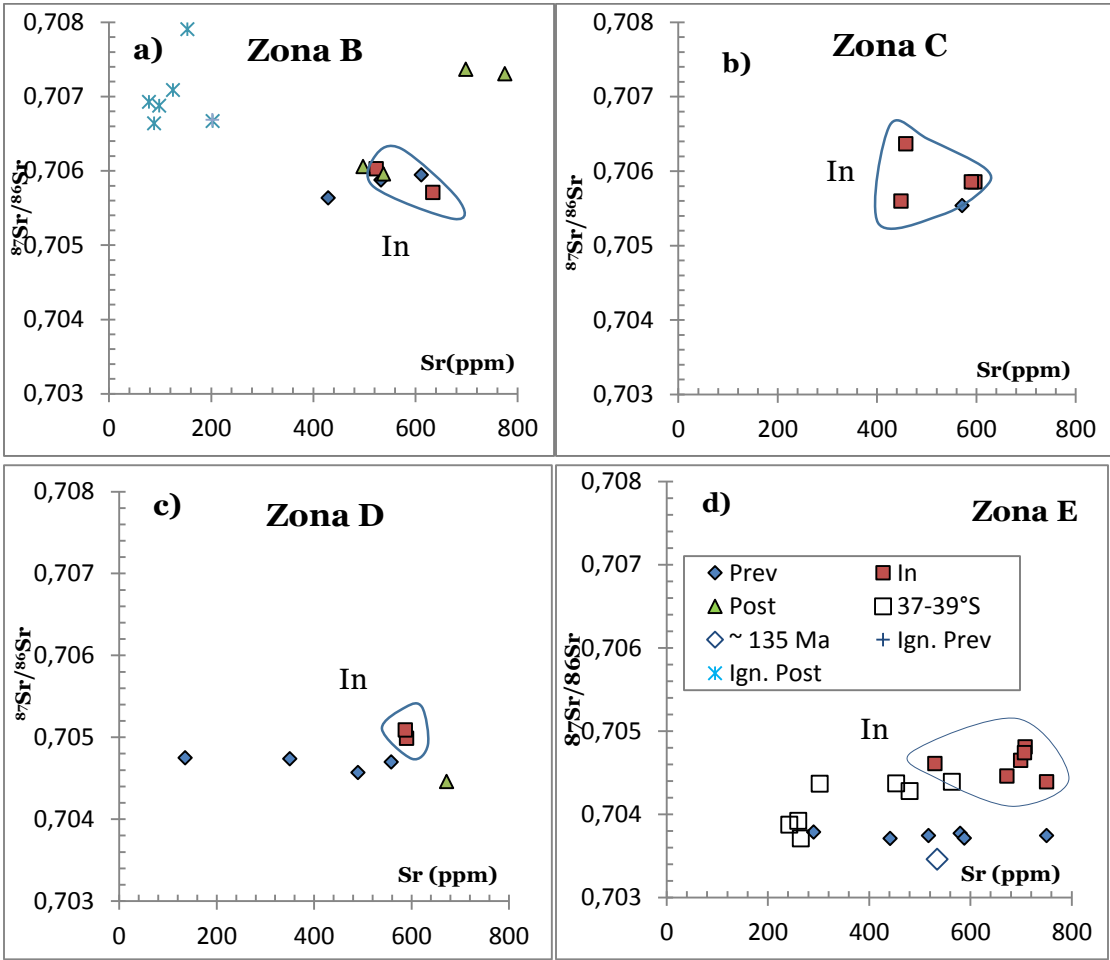


Figura 7.3: Diagramas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ versus Sr (ppm) en las zonas B (25-26°S), C (26-28°S), D (29-31°S), y E (32-33,5°S). En el diagrama de la Zona E están representados datos del volcanismo Oligoceno-Mioceno entre 37-39°S.

En la figura 7.3 se puede observar incrementos en el contenido de Sr combinado con incrementos en los valores de la razón $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, si bien no es tan claro en la Zona B se ve levemente en la Zona C, y en mayor proporción en las zonas A y E. Esto, junto con el descenso de ϵNd , se sugiere por Stern (1990), sería también atribuible a un aumento de la importancia de la contaminación de la región fuente subarco por sedimentos terrígenos subductados y corteza continental erosionada tectónicamente, combinado con un decrecimiento en el grado de fusión parcial. El descenso en el grado de fusión parcial podría atribuirse a la reducción de la columna de fusión en la astenósfera por un efecto de subhorizontalización del *slab*. Lo que también es coherente con el alza en los contenidos de Na_2O observados en tres zonas, A (18-19°S), C (26-28°S) y E (32-33,5) (Plank y Langmuir, 1988).

Un patrón de estas características es compatible con porcentajes decrecientes de fusión, consecuentes a la reducción de volumen y convección dentro de la cuña astenosférica que se adelgaza sobre una placa en proceso de subhorizontalización

(Kay *et al.* 1991; Stern 1991). Esto es apoyado además por el aumento de las razones $(La/Yb)_N$ y $(La/Sm)_N$, relacionada a un aumento en las tierras raras livianas con respecto a las pesadas, el cual podría deberse a menores grados de fusión parcial. También en Timm *et al.*, (2013), en el estudio sobre la subducción del monte submarino Louisville, se documenta una razón $(La/Sm)_N$ elevada, considerada como indicativa de enriquecimiento local en la cuña mantélica, o de un menor grado de fusión parcial.

7.3 Subducción de sedimentos

Las altas razones de Th/La ($>0,25$) que aumentan en algunos casos hasta 0,9 en el período de incidencia de la dorsal (Zona D, 29-31°S; figura 6.1), sugieren un aporte de sedimentos a la región fuente (Plank, 2005). De igual forma los valores de la razón Ba/La, la que se interpreta también como indicador de un componente de sedimentos subductados (Kay, 1977). El aporte de sedimentos derivados de la corteza al magma también se apoya en el enriquecimiento en tierras raras livianas observado, el cual demuestra en la mayor parte de las zonas un carácter transitorio, disminuyendo los valores de la razón $(La/Sm)_N$ en el período posterior al paso de la dorsal.

El origen del Pb es atribuido con frecuencia a una mezcla de sedimentos y rocas ígneas alteradas de la losa subductante (Hawkesworth, 1982; Sillitoe y Hart, 1984; Hickey *et al.*, 1986). En ambos diagramas de razones comparadas de isótopos de Pb (figuras 6.6 y 6.6) se observa un aumento en la signatura cortical o de enriquecimiento para todas las zonas, y, además que este enriquecimiento es transitorio, ya que luego en las muestras de la etapa posterior se observa una tendencia en la zona B (25-26°S) hacia signaturas de tipo menos radiogénico, y lo mismo puede observarse en la Zona D (29-31°S).

Además, también exhiben valores altos de $^{207}Pb/^{204}Pb$ y $^{208}Pb/^{204}Pb$ para valores similares de $^{206}Pb/^{204}Pb$, compatibles con un componente de signatura de manto enriquecido (Zindler y Hart, 1986), proveniente de una fuente de tipo OIB, que podría corresponder a la cadena volcánica.

Los montes submarinos alcalinos subductados son también una fuente potencial de incremento en las razones de $^{206}Pb/^{204}Pb$. En el estudio de Timm *et al.*, (2013). se atribuye los valores elevados de $^{206}Pb/^{204}Pb$ y $^{208}Pb/^{204}Pb$ en volcanes de arco a un aporte local de Pb de la corteza y material volcanoclástico de dorsales asísmicas. Los valores de isótopos de Pb están asociados a mayor $^{87}Sr/^{86}Sr$, Th, y contenidos de tierras raras livianas a medias, y baja razón de $^{143}Nd/^{144}Nd$, lo que se interpreta

como consecuencia de una contribución de sedimentos parcialmente fundidos además de una signatura de las rocas volcanoclásticas de la cadena de montes submarinos. Los incrementos en $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ sugieren un enriquecimiento regional del manto relacionado a la dorsal en la proximidad de la intersección de la cadena de montes submarinos con la fosa, todo lo cual se puede aplicar al caso de la Dorsal de Juan Fernández, donde la geoquímica de los montes submarinos evidencia enriquecimientos en tierras raras livianas (Farley *et al*, 1993; Devey *et al*, 2000; Reyes Vizcarra, 2012).

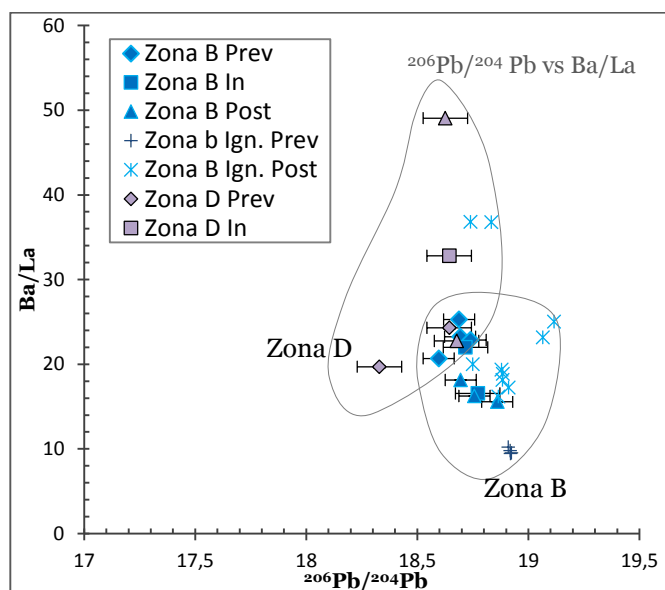


Figura 7.4: Diagrama de $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs Ba/La. Las muestras de la Zona D evidencian una correspondencia entre ambos enriquecimientos en el período de incidencia de la Dorsal de Juan Fernández. Las barras de error corresponden a la incerteza en los métodos de medición.

Por todo lo expuesto, si bien desafortunadamente los datos de isótopos de Pb de la zona de estudio son bastante escasos, lo que dificulta la interpretación, se puede inferir un aporte incrementado de sedimentos correlacionable con la migración de la Dorsal de Juan Fernández.

7.4 Participación de fluidos del *slab*

De los parámetros observados las altas razones de Ba/Ta (500-, >2000), indicativas de un fuerte empobrecimiento en HFSE para todas las zonas, y los

incrementos en las razones de Ba/La (>30), implican altos grados de participación de fluidos acuosos. También se puede observar que en todas las zonas las muestras del período incidente muestran razones elevadas de Ba/Th, indicadoras de alta proporción de fluidos involucrados en la génesis del magma (figuras 6.1 y 6.2).

Por otra parte, de acuerdo a Bissig *et al.*, (2003), la abundancia de hornblenda y ausencia de fenocristales de piroxeno en las formaciones del Mioceno Tardío de la Franja metalogénica El Indio (Zona D), y en menor grado en la Formación Cerro Las Tórtolas sugiere que la disponibilidad de agua en el sitio de generación de magmas habría aumentado desde el Mioceno temprano al tardío. Una disponibilidad mayor de agua puede también conducir a un fraccionamiento pronunciado de hornblenda y a magmas empobrecidos en tierras raras pesadas (Haschke *et al.* 2001), esto es visible en las razones Sm/Yb, 3,8 y 5,9 para la Formación Vallecito, y explicaría en parte la el fraccionamiento moderado de tierras raras pesadas en las rocas del Mioceno superior de la Zona D.

Lo anterior estaría de acuerdo con las evidencias geofísicas (Marot, 2014) que avalan la existencia de altas concentraciones de fluido en la zona de interfaz entre placas en la región de subducción plana, por contraste con la zona de subducción normal, y sugieren mayor hidratación de la placa subductante a lo largo de la Dorsal Juan Fernández.

7.5 Señal de tipo adakítico

Se ha propuesto por varios autores (Kay y Mpodozis, 2002; Kay *et al.* 2012, Goss *et al.*, 2013) que el origen de la signatura adakítica en las rocas de arco de los Andes centrales puede explicarse por participación de corteza removida por erosión tectónica de subducción en la generación de los magmas, como una alternativa más viable al modelo de la fusión del slab (Gutscher *et al.* 2000), y que estaría de acuerdo con el carácter transitorio de las señales en algunos casos.

La erosión por subducción acelerada habría aportado a la columna de fusión astenosférica material cortical derivado del antearco, la fusión de esta corteza de antearco eclogitizada dentro de la cuña y la reacción de estos fundidos parciales con la cuña astenosférica, previa a su interacción con la corteza suprayacente, explicaría la elevación en los contenidos de Cr y Ni y sería coherente además con el alza en las razones de tierras raras y enriquecimiento isotópico en magmas de diversa composición de edad similar.

Las razones de Sr/Y (62 en la Zona A, 40-69 en la Zona B, 54 en la Zona C), caen dentro del rango considerado como indicativo de una signatura de este tipo. En los diagramas de discriminación para este tipo de rocas se observa como esta señal aumenta de intensidad en la zona próxima al punto actual de subducción de la dorsal donde ha tenido mayor permanencia. Los valores son bastante más elevados en la Zona E, (hasta 173 en Los Pelambres), pero a través de todas las zonas de estudio donde existen datos de Y se puede apreciar una señal leve de tipo adakítico, en las muestras del período incidente y también en el período posterior en la Zona C (26-28°S).

Por otra parte, según Richards, (2011) la razón de Sr/Y puede explicarse además por supresión del fraccionamiento de plagioclasa de magmas ricos en agua, lo que es apoyado por los contenidos elevados de Na₂O y Al₂O₃. Estas características serían por lo tanto un indicador de altos contenidos de agua en la génesis de los magmas lo que es coherente con las observaciones anteriores sobre la hidratación pervasiva del slab.

7.6 Estilo de Volcanismo

A lo largo de las zonas de estudio no se observa una tendencia marcada a un cambio de estilo de volcanismo, de una cadena de centros estrato volcánicos andesíticos a complejos de domos dacíticos aislados posterior al paso de la dorsal, según lo que proponen Kay y Mpodozis (2002), salvo en las zonas C y D (26-31°S).

En la Zona A se encuentran algunos domos dacíticos entre los volcanes del Mioceno medio y superior, pero en general estos corresponden a centros andesíticos, como los volcanes Sucuna y Mamuta. Al norte de la Zona, a 23-24°S, se encuentran algunos domos dacíticos, como Loma Negra y Curutu, pero coexistentes con estratovolcanes, siendo la mayor parte de las lavas de composición andesítica.

7.7 Síntesis

A la luz de los trends de elementos traza e isotópicos se puede inferir un efecto en el magmatismo, a lo largo del trayecto reconstruido de la dorsal, que se corresponde en gran parte con la hipótesis.

En los siguientes diagramas con respecto a la latitud se muestra como ocurre un alza en la razón Ba/La en las zonas durante el paso de la dorsal con respecto a las muestras del período previo, o posteriormente a él, y como este aumento se

presenta aproximadamente correlacionado a un alza en los valores de la razón La/Yb.

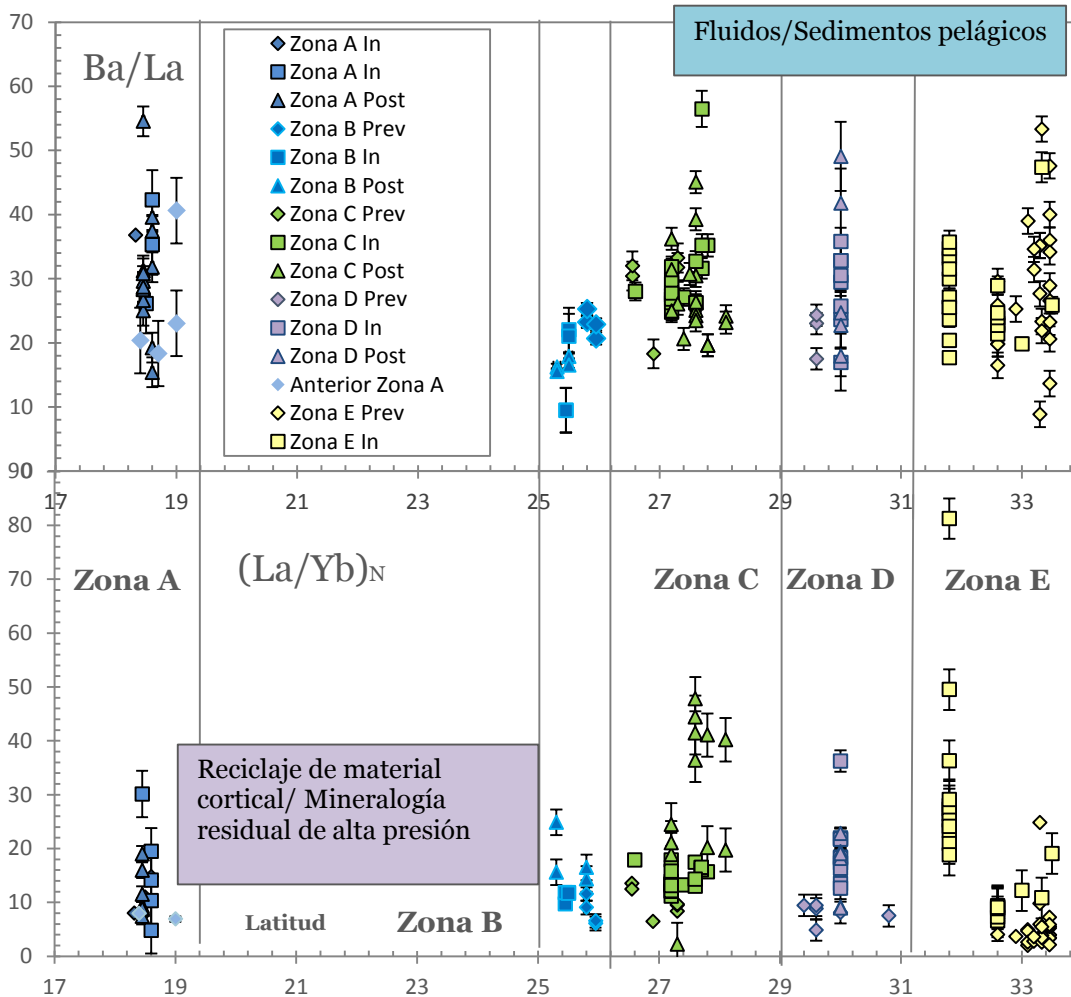


Figura 7.5 : Diagrama de Ba/La y La/Yb vs latitud. En la figura se muestra como ocurre un alza en la razón Ba/La en las zonas durante el paso de la dorsal con respecto a las muestras del período previo, o posteriormente a él, y como este aumento se presenta aproximadamente correlacionado a un alza en los valores de la razón La/Yb, que podría reflejar en el caso de la Zona Los valores más altos de Ba/La muestran una tendencia a los fluidos de subducción como factor de enriquecimiento, mientras que el La/Yb más elevado podría sugerir influencia de sedimentos terrígenos, o material erosionado de la corteza continental subductado e incorporado en la región fuente, ambos efectos que han sido asociados a la subducción de la Dorsal de Juan Fernández.

Se observa un aumento en tres zonas de la razón La/Yb (figura 7.5), el cual es moderado en las zonas B y C, y además continuo, mientras en las zonas A, D y E, alcanza valores altos, entre 30-50, disminuyendo los valores de la razón en el período posterior en las dos primeras. La razón Ba/La demuestra un

comportamiento similar, si bien en la zona E (32-33,5°S) no hay un aumento con respecto al período anterior los valores permanecen altos (Ba/La=36-47).

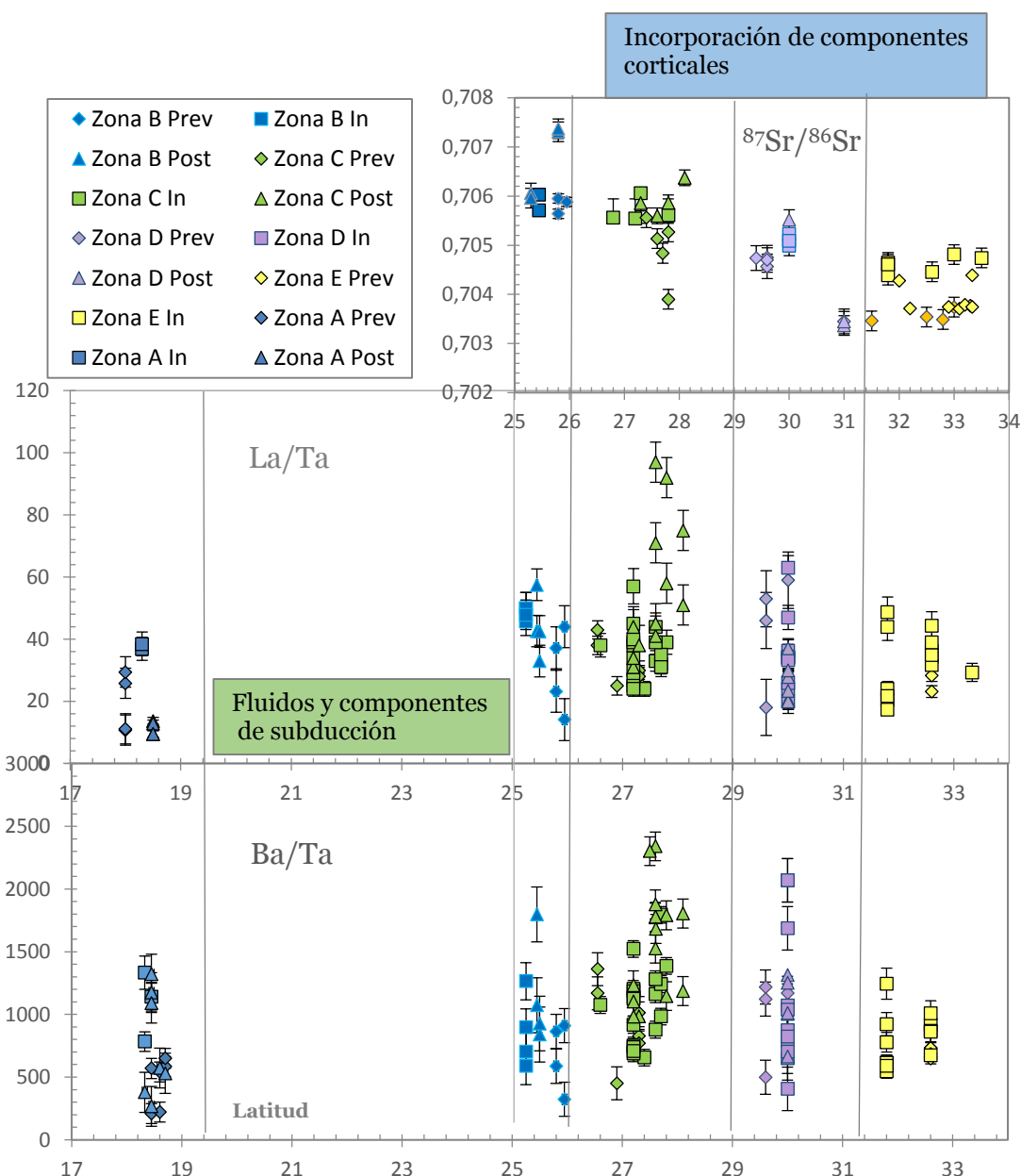


Figura 7.6: Diagrama de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, La/Ta, y Ba/Ta vs latitud. En la zona B no existe una variación significativa de la razón isotópica de Sr entre las muestras del período previo, incidente y posterior, una muestra posterior se destaca del resto con un valor de 0,70731; en la zona C Se observa un alza en los valores de la razón durante el período de incidencia. Lo mismo ocurre en la Zona D, donde se observan valores significativamente menores durante el período posterior al paso de la dorsal. La razón La/Ta exhibe los mayores valores en las muestras del período incidente de las zonas A, D y E, en D se observa poca variación entre las muestras, pero se aprecia un descenso notorio en los valores del período posterior. Los valores de la razón Ba/Ta exhiben incrementos transitorios salvo en las Zonas B y C, alcanzando valores entre 1245 en la zona E y 2069 en la D, donde las muestras del período posterior exhiben los valores máximos y promedios menores.

La razón de isótopos de Sr demuestra aumentos de la signature radiogénica durante el período de incidencia. En la zona C se observa un alza en los valores de la razón durante el período de incidencia hasta 0,706157. Lo mismo ocurre en la Zona D donde se puede observar valores significativamente menores durante el período posterior al paso de la dorsal.

Por otra parte, grados altos de empobrecimiento en HFSE, reflejados en las razones elevadas de La/Ta (30-57) y Ba/Ta (1200-2000), son compatibles con condiciones más oxidantes e hidratadas en la cuña astenosférica.

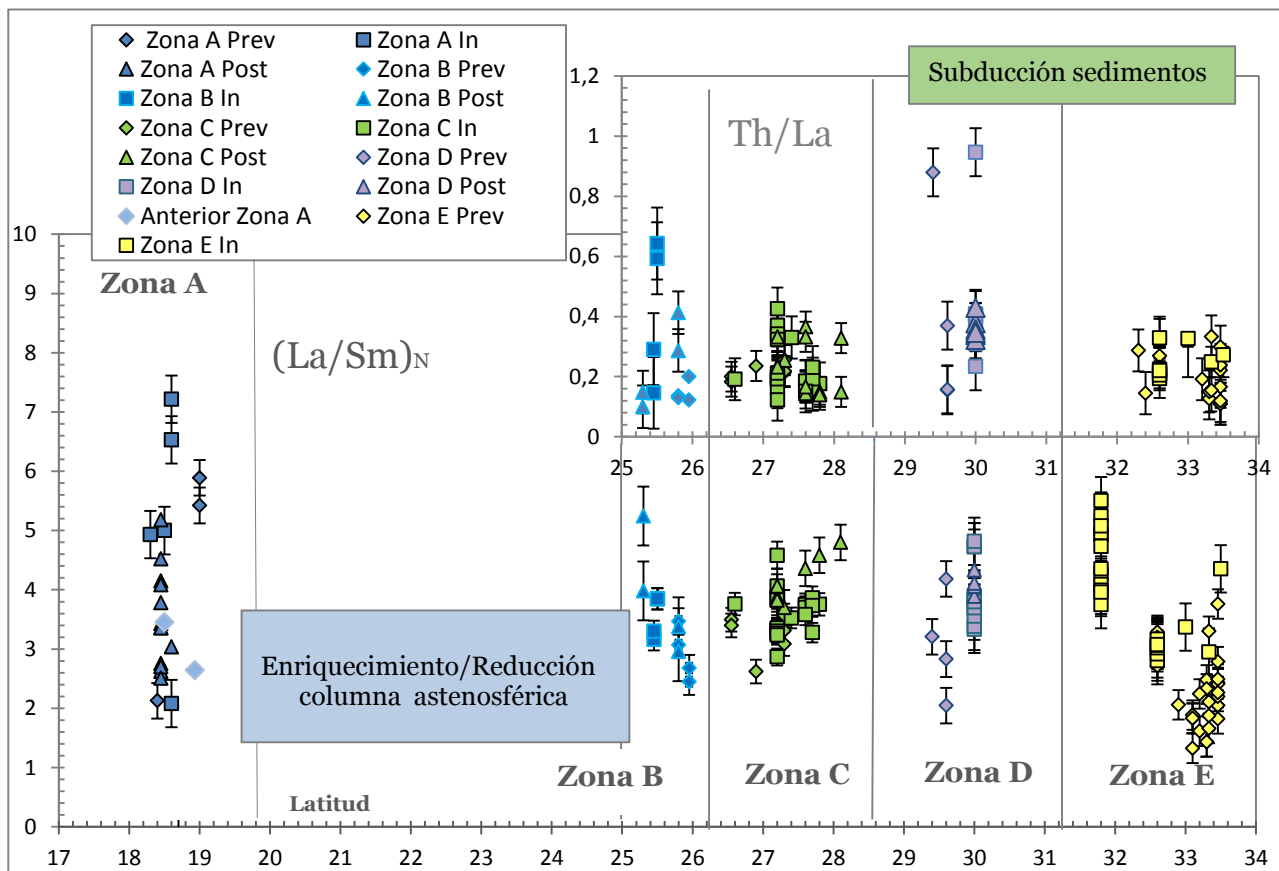


Figura 7.7 : Diagrama de La/Sm y Th/La vs latitud. En la figura se observa una correlación bastante alta entre los incrementos de las razones de $(La/Sm)_N$ y Th/La , sugiriendo un efecto paralelo y simultáneo en el enriquecimiento de los magmas, la subducción de sedimentos y su posible fusión. Además podría reflejarse en el aumento de la razón de La/Sm un descenso en el grado de fusión parcial, producido por una reducción en la columna de fusión en la astenósfera como resultado de subhorizontalización del slab. En la Zona B también se puede observar estos incrementos, al contrario que en el caso de la razón Ba/La. Las muestras anteriores de la zona A son rocas datadas en ca. 60 Ma. Las barras de error corresponden a errores de 10 y 20%.

Se observa una correlación bastante alta entre los incrementos de las razones de $(La/Sm)_N$ y Th/La (figura 7.7), sugiriendo un efecto paralelo y simultáneo en el enriquecimiento en tierras raras livianas de los magmas y la subducción de sedimentos y su posible fusión. Las razones Th/La y $(La/Sm)_N$ evidencian aumentos significativos y generalmente transitorios a lo largo de la zona de estudio, con valores que fluctúan entre 3,37 y 7,2 para la segunda y 0,32-0,64 para la primera, con un valor extremo de 0,9 en la Zona D. Si bien en la Zona E no se observa un aumento muy claro en la razón Th/La , ello puede estar influido por la escasez de muestras con datos de Th en esa zona.

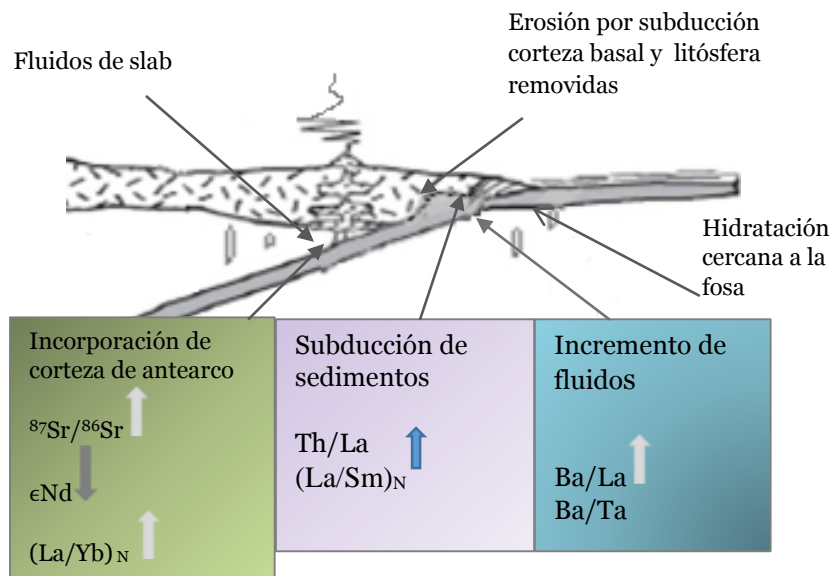


Figura 7.8: Esquema que resume los efectos observados en las zonas de estudio y su posible asociación a la subducción de la Dorsal de Juan Fernández. Sobre un esquema de Stern (2011).

8. Conclusiones

En las cinco zonas estudiadas: A (18-19°S), B (25-26°S), C (26-28°S), D (29-32°S) y E (32-33,5°S), existe evidencia de aumento en las abundancias de elementos incompatibles, Rb, Cs, U, y Th, razones de elementos traza: Ba/La, Ba/Ta y La/Ta, razones de tierras raras: La/Yb, Sm/Yb y La/Sm, y en los valores de las razones isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, acompañado de descenso en los de $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$. El carácter temporalmente acotado de estos incrementos en varios casos sugiere una relación con causas asociadas a la subducción de la Dorsal de Juan Fernández y su migración hacia el sur.

Los incrementos en los contenidos de elementos incompatibles entre los que destaca el de Rb (78-166 ppm), razones de REE: La/Yb (13-36) y Sm/Yb (3,5-6,6), así como de las variaciones de las razones de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e isótopos de Nd, sugieren un alza en la incorporación de materiales corticales a la fuente. Dada la temporalidad de estos incrementos sería posible atribuirlos a erosión tectónica de antearco acelerada por la subducción de la Dorsal de Juan Fernández.

Existe una tendencia a valores en aumento en las razones de elementos traza, Ba/La (18-56) y Ba/Ta (650-2000), La/Ta (30-60), que sugiere un aumento en la participación de fluidos acuosos provenientes de la losa subductante. Estos valores a su vez exhiben una fluctuación que puede asociarse de manera temporal y espacial con la migración de la dorsal.

Las razones de $(\text{La}/\text{Sm})_N$ presentan incrementos (3,5-7,0), que implican enriquecimiento de la fuente, subducción de sedimentos, y posiblemente un descenso en el grado de fusión parcial, que puede interpretarse como consecuencia de la reducción en la columna de fusión astenosférica. El enriquecimiento podría derivarse en parte además, de los montes submarinos de la dorsal.

Los valores elevados de la razón Th/La (0,25-0,9), y en algunos casos de Ba/La, además de los datos disponibles de isótopos de Pb, pueden derivarse de un incremento temporal en la subducción de sedimentos.

A lo largo de la zona de estudio se observa una señal geoquímica de tipo adakítico leve, que aumenta de intensidad hacia la zona de subducción actual de la Dorsal de Juan Fernández, y que estaría relacionada a las tasas elevadas de erosión por subducción asociadas con ella, así como posiblemente al incremento en la participación de fluidos del *slab*.

9. Bibliografía

- Adam, J., Green, T.H., Sie, S.H., Ryan, C.G., 1997. Trace element partitioning between aqueous fluids, silicate melts and minerals. *European Journal of Mineralogy* 9, 569-584.
- Aguirre, L., 1960. Geología de Los Andes de Chile Central, provincia de Hacho agua. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, Chile, Boletín N°9, 70p.
- Aguirre, R., 1999. Depositación y deformación de la secuencia volcánica terciaria en el sector cordillerano de Pata del Diablo, Cajón del Maipo. Memoria, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, 60 p.
- Allmendinger, R.W., Figueroa, D., Snyder, D., Beer, J., Mpodozis, C. Isaacks, B.L 1990, foreland shortening and crustal balancing in the Andes at 30°S latitude: *Tectonics*, V. 9, p. 789-809.
- Allmendinger, R W., Jordan, T. E., Kay, S. M., and Isacks, B. L. 1997. The evolution of the Altiplano-Puna Plateau of the Central Andes: *Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences*, v. 25, p. 139-174.
- Arriagada, C; R. Ferrando, L. Córdova, D. Morata and P. Roperch (2013), The MaipoOrocline: a first scale structural feature in the Miocene to Recent geodynamic evolution in the central Chilean Andes., *Andean Geology* 40 (3): 419-437.
- Arriagada, C., Roperch, P., Mpodozis, C., Cobbold, P.R., 2008. Paleogene building of the Bolivian Orocline: tectonic restoration of the Central Andes in 2-D map view. *Tectonics* 27.
- Atkinson WW Jr, Souviron A, Vehrs TI, Faunes GA (1996) Geology and mineral zoning of the Los Pelambres porphyry copper deposit, Chile. In: Camus F, Sillitoe RH, Petersen R (eds) *Andean copper deposits: new discoveries, mineralization, styles and metallogeny*. *Soc Econ Geol Spec Publ* 5:131–156
- Barazangi, M., Isacks, B.L.1976. Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Nazca plate beneath South America: *Geology*, v. 4, p. 686-692.
- Bissig T., Clark A. H., Lee, J. K. W., Von Quadt, A. (2003). Petrogenetic and metallogenetic responses to Miocene slab flattening: new constraints from the El Indio-Pascua Au–Ag–Cu belt, Chile/Argentina *Mineralium Deposita* 38: 844–862. DOI 10.1007/s00126-003-0375-y.

- Bissig, T., and R. Riquelme (2010), Andean uplift and climate evolution in the southern Atacama Desert deduced from geomorphology and supergene alunite-group minerals, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 299(3-4), 447–457.
- Brown, L., Klein, J., Hiddleton, R., Sacks, I.S. and Tera, F., 1982. ^{10}Be in Island-Arc Volcanoes and Implications for Subduction, *Nature*, V. 229, pp. 718-720.
- Bourdon, E., Eissen, J.P., Gutscher, M.A., Monzier, M., Hall, M.L., Cotten, J., 2003. Magmatic response to early aseismic ridge subduction: the Ecuadorian margin case (South America). *Earth Planet Science Letter*. 205, 123–138.
- Cande, S.C.; Leslie, R.B. 1986. Late Cenozoic tectonics of the southern Chile Trench. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 91, No. 1, p. 471-496.
- Charrier, R., 1981. Mesozoico y Cenozoico stratigraphy of the central Argentinian-Chilean Andes (31-35°S) and chronology of their tectonic evolution. *Zentralblatt Geologie Paläontol.*, Parte I, N°3/4, p. 344-355, Stuttgart.
- Charrier, R., Wyss, A. R., Flynn, J. J., Swisher III, C. C., Norell, M.A., Zapatta, F., McKenna, M.C., and Novacek, M.J., 1996, New evidence for Late Mesozoic-Early Cenozoic evolution of the Chilean Andes in the Upper Tinguiririca Valley (35°S), Central Chile: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 9, p. 393-422.
- Charrier, R., Baeza, O., Elgueta, S., Flynn, J. J., Gans, P., Kay, S. M., Muñoz, N., Wyss, A. R., Zurita, E. 2002, Evidence for Cenozoic extensional basin development and tectonic inversion south of the flat-slab segment, southern Central Andes, Chile (33 degrees-36 degrees SL), *Journal of South American Earth Sciences*, 15(1), 117–139, doi:10.1016/s0895-9811(02)00009-3.
- Charrier, R., Bustamante, M., Comte, D., Elgueta, S., Flynn, J., Iturra, N., Muñoz, N., Pardo, M., Thiele, R., Wyss, A., 2005. The Abanico extensional basin: Regional extension, chronology of tectonic inversion and relation to shallow seismic activity Andean uplift. *N. Jb. Geol. Paläontol., Abh.*, 236: 43-77; Stuttgart.
- Cloos, M., 1993. Lithospheric buoyancy and collisional orogenesis-subduction of oceanic plateaus, continental margins, island arcs, spreading ridges, and seamounts. *Geol. Soc. Am. Bull.* 105, 715–737.

- Coira, B.; Davidson, J.; Mpodozis, C.; Ramos, V.A. 1982. Tectonic and magmatic evolution of the Andes of northern Argentina and Chile. *Earth Science Reviews*. Vol. 18, p. 303-332.
- Contreras-Reyes, E., E. R. Flueh, and I. Grevemeyer. 2010. Tectonic control on sediment accretion and subduction off south central Chile: Implications for coseismic rupture processes of the 1960 and 2010 megathrust. *Tectonics*, Vol. 29, TC6018, doi: 10.1029/2010TC002734
- Contreras-Reyes, E., I. Grevemeyer, A. B. Watts, E. R. Flueh, C. Peirce, S. Moeller, and C. Papenberg (2011), Deep seismic structure of the Tonga subduction zone: Implications for mantle hydration, tectonic erosion, and arc magmatism, *Journal of Geophysical Research*., 116, B10103, doi:10.1029/2011JB008434.
- Davidson, J., and Mpodozis, C., 1991, Regional geologic setting of epithermal gold deposits, Chile: *Economic Geology*, v. 86, p. 1174–1186.
- 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.
- Drake, R.E., Curtis, G., Vergara, M., 1976. Potassium-argon dating of igneous activity in the Central Chilean Andes: Latitude 33° S. *Journal of Volcanology y Geothermal Research*. Vol. 1, N° 3, p. 285-295
- Drake, R., Charrier, R., Thiele, R., Munizaga, F., Padilla, H., Vergara, M., 1982.n Distribución y edades K-Ar de volcanitas post-Neocomianas en la Cordillera Principal entre 32° y 36° L. S. Implicaciones estratigráficas y tectónicas para el Meso-Cenozoico de Chile Central. *Actas III Congreso Geológico Chileno, Concepción*, Vol. 2, p. D42-D78.
- Elliot, T. 2003. Tracers of the slab. Inside the Subduction Factory *Geophysical Monograph* 138. American Geophysical Union 10.1029/ 138 GM 03
- Espurt, N., Funiciello, F., Martinod, J., Guillaume, B., Regard, V., Faccenna, C., Brusset, S., (2008). Flat subduction dynamics and deformation of the South American plate: insights from analog modeling. *Tectonics* 27.

- Farley, K.A.; Basu, A.R.; Craig, H. 1993. He, Sr and Nd isotopic variations in lavas from the Juan Fernandez Archipiélago, SE Pacific. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 115:75-87.
- Flores, R. 1993. Geología del Pórfido Aurífero Verde, Proyecto Refugio, Tercera Región, Chile. *Revista Geológica de Chile*, Vol. 20, No. 1, p. 57-69.
- Flynn, J.J., Swisher, C.C. III., 1995a. Chronology of the Cenozoic South American Land Mammal Ages, *in*: Berggren, W.A., Kent, D.V. y Hardenbol, J. (editors), *Geochronology, Time-Scales, y Global Stratigraphic Correlation*. SEPM Special Publication N° 54, p. 317-333.
- Fock, A., 2005. Cronología y tectónica de la exhumación en el neógeno de los Andes de Chile central entre los 33° y los 34° S. Tesis para optar al grado de magíster en Ciencias, mención Geología, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, 235p
- Fock, A., Charrier, R., Farías, M., Muñoz, M., 2006. Fallas de vergencia oeste en la Cordillera Principal de Chile Central: Inversión de la cuenca de Abanico (33° - 34°S). *Publicación especial Asociación Geológica Argentina*, n° 6, p 48-55.
- Francis, P.W., O'Callaghan, L., Kretzschmar, G.A., Thorpe, R.S., Sparks, R.S.J., Page, R.N., de Barrio, R.E., Gillou, G., González, O.E., 1983. The Cerro Galán caldera. *Nature* 301, 51-53.
- Fuentes, F., 2004. Petrología y metamorfismo de muy bajo grado de unidades volcánicas oligoceno-miocenas en la ladera occidental de los Andes de Chile Central (33°S). Tesis de Doctorado, Departamento de Geología, Universidad de Chile, 398 p.
- Gana, P., Wall, T., 1997. Evidencias Geocronológicas $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ y K-Ar de un hiatus Cretácico superior - Eoceno en Chile Central (33° - 33°30'S). *Revista Geológica de Chile*, vol. 24, p. 145-163
- García, M., Gardeweg, M., Clavero, J. Heráil, G. (2004) Hoja Arica, Región de Tarapacá: Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, N° 84.
- Gardeweg, M., Ramirez, C.F., (1985), Hoja Río Zapaleri, II Región de Antofagasta: Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile, N°66.

- Gibert, G., Gerbault, M., Hassani, R. & Tric, E., 2012. Dependency of slab geometry on absolute velocities and conditions for cyclicity: insights from numerical modeling, *Geophys. J. Int.*, 189(2), 747–760.
- Gill, J.B. (1981): *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*. Springer-Verlag Berlin, Germany.
- Godoy, E., Yañez, G., Vera, E., 1999. Inversion of an Oligocene volcano-tectonic basin and uplifting of its superimposed Miocene magmatic arc in the Chilean Central Andes: first seismic and gravity evidences. *Tectonophysics*, vol. 306, p. 117-136.
- González-Ferrán, O., Baker, P.E., Rex, D.C., 1985. Tectonic volcanic discontinuity at latitude 27°south, Andean range, associated with Nazca plate subduction. *Tectonophysics* 112, 423–441.
- Gordon, R.G., Jurdy, D.M. 1986. Cenozoic global plate motions, *J. Geophys. Res.* 91, 12,389-12,406.
- Goss, A.R., Kay, S.M. and Mpodozis, C. 2011. The geochemistry of a dying continental arc: the Incapillo Caldera and Dome Complex of the southernmost Central Andean Volcanic Zone (~28 S). *Contributions to Mineralogy and Petrology* 161: 101-128.
- Goss, A.R. 2008. *Chemical Signatures of Magmas at Times of Frontal Arc Migration: Examples from the Central Andes and Southern Central America*. Ph. D Thesis. University of Cornell.
- Gutenberg, B. & Richter, C., 1944. Frequency of earthquakes in California, *Bull. Seismological Society of America.*, 34, 185–188.
- Gutscher M. A. , Maury R. , Eissen J. P., Bourdon E. 2000. Can slab melting be caused by flat subduction? *Geology* 28:535–538.
- Hampel, A., N. Kukowski, J. Bialas, C. Huebscher, and R. Heinbockel (2004), Ridge subduction at an erosive margin: The collision zone of the Nazca Ridge in southern Peru, *Journal of Geophysical Research*, 109, B02101, doi: 10.1029/2003JB002593.
- Haschke, M., Günther, A., Siebel, W., Scheuber, E., Reutter, K-J., 2001. Magma source variations of late Cretaceous- late Eocene magmatic rocks of the Chilean Precordillera (21.5°-26°S): Due to variable water fugacity or crustal thickening?. *SFB 207 Deformation Processes in the Andes*, Poster.

- Hassani, R., Jongmans, D., Chery, J., 1997. Study of plate deformation and stress insubduction processes using two-dimensional numerical models. *J. Geophys. Res.Solid Earth* 102, 17951–17965.
- Hawkesworth, C.J., 1982. Isotope characteristics of magmas erupted along destructive plate margins. In: Thorpe, R.S. (Editor), *Andesites*, John Wiley & Sons, pp. 549-571.
- Heather K. B., Díaz D. (2000) El Indio–Tambo district regional geological mapping program 1997–1999. Company Report, Barrick Chile Ltda, 16 maps, 284 pp.
- Henderson, L. J., R. G. Gordon, and D. C. Engebretson (1984), Mesozoic Aseismic Ridges on the Farallon Plate and Southward Migration of Shallow Subduction During the Laramide Orogeny, *Tectonics*, 3, 121-132.
- Hickey, R.L., Frey, F.A., Gerlach, D.C., López Escobar, L., 1986. Multiple sources for basaltic arc rocks from the Southern Volcanic Zone of the Andes (34–41°S): trace elements and isotopic evidence for contributions from subducted oceanic crust, mantle and continental crust. *Journal of Geophysical Research* 9, 5963–5983.
- Hilde, T.W.C., 1983. Sediment subduction versus accretion around the Pacific. *Tectonophysics*, V. 99, pp. 381-397.
- Hildreth, W., Moorbath, S., 1988. Crustal contributions to arc magmatism in the Andes of Central Chile. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 98, 455–489.
- Ishimoto, M. & Iida, K., 1939. Observations sur les seismes enregistres par le microsismographe construit dernièrement (1), *Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo*, 17, 443–478.
- James, D.E., Sacks, I.S., 1999. Cenozoic Formation of the Central Andes: A Geophysical Perspective. In: Skinner, B.J. (Ed.), *Geology and Ore Deposits of the Central Andes*. Soc. Econ. Geol., Littleton, pp. 1–26.
- Jordan, T. Allmendinger, R. 1986. The Sierras Pampeanas of Argentina: A modern analogue of Laramide deformation. *American Journal of Science*. 286. 737-764.

- Isacks, B. L. 1988, Uplift of the Central Andean Plateau and Bending of the Bolivian Orocline, *Journal of Geophysical Research-Solid Earth and Planets*, 93, 3211-3231.
- Katsui, Y., Vergara, M., 1966. Antecedentes petrológicos del cerro San Cristóbal. *Revista Minerales* 92, 9–25.
- Kay, R.W. 1977. Geochemical Constraints on the Origin of Aleutian Magmas. *American Geophysical Union. Vol 1. p 229-241.*
- Kay, R.W. 1978. Aleutian magnesian andesites: Melts from subducted Pacific Ocean crust. *J Volcanol Geotherm Res* 4:117–132.
- Kay, S.M., MaksaeV, V., Mpodozis, C., Moscoso, R., Nasi, C., and Gordillo, C.E., 1988, Tertiary Andean magmatism in Argentina and Chile between 28-33°S: Correlation of magmatic chemistry with a changing Benioff zone: *J. South Am. Earth Sci.*, v. 1, p. 21-38.
- Kay, S.M., Mpodozis, C. 2002. Magmatism as a probe to the Neogene shallowing of the Nazca plate beneath the modern Chilean flatslab. *Journal of South American Earth Science*, 15, 39–59.
- Kay, S.M.; Mpodozis, C.; Cornejo, P. 1994. Late Cenozoic evolution of the Southern CVZ (26°-28°S): A case of Progressive crustal thickening and lithospheric Thinning. In *Congreso Geológico Chileno, No. 7, Actas, Vol. 2, p. 1372-1377. Concepción.*
- Kay S.M., Abruzzi J.M. 1996. Magmatic evidence for Neogene lithospheric evolution of the central Andean “flat-slab” between 30°S and 32°S. *Tectonophysics* 259:15–25.
- Kay, S. M., Mpodozis, C., Ramos, V. A. & Munizaga, F.1991. Magma source variations for mid-late Tertiary magmatic rocks associated with a shallowing subduction zone and a thickening crust in the central Andes (28 to 33°S). In: Harmon, R. S. & Rapela, C. W. (eds) *Andean Magmatism and its Tectonic Setting. Geological Society of America Special Papers*, 265, 113–137.
- Kay, S.M., Mpodozis, C., Gardeweg, M. 2013. Magma sources and tectonic setting of Central Andean andesites (25.5–28.8S) related to crustal thickening, forearc subduction erosion and delamination *Geological Society, London, Special Publications* 2014, v.385; p303-334. doi: 10.1144/SP385.11

- Keppeler, H., 1996. Constraints from partitioning experiments on the composition of subduction-zone fluids. *Nature* 380, 237-240.
- King, A.A.; 1992. Magmatism. Structure and Mineralization in the Maricunga Belt. N Chile. Ph.D. Thesis (Unpublished). University of London. 395 p.
- Klohn, C., 1960. Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central. Provincias de Santiago, Colchagua y Curicó. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, Boletín N° 8.
- Kohlbach, I. 1999, Spatial and temporal variations in magma chemistry along a W-E traverse at 18-19°S, North Chile. Diplomarbeit. Geochemischen Institut. Georg-August Universität zu Göttingen. 120 p.
- Kopp, H., Flueh, E.R., Papenberg, C., Klaeschen, D., 2004. Seismic investigations of the O'Higgins Seamount Group and Juan Fernandez Ridge: aseismic ridge emplacement and lithosphere hydration. *Tectonics* 23.
- Kraemer, B., Adelman, D., et al. 1999. Incorporation of the Paleogene foreland into the Neogene Puna plateau: the Salar de Antofalla area, NW Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 12, 157–182.
- Kukowski, N., Oncken, O., 2006. Subduction erosion — the “normal” mode of fore-arc material transfer along the Chilean Margin. In: Oncken, O., Chong, G., Frantz, G., Giese, P., Gotze, H.J., Ramos, V.A., Strecker, M., Wigger, P. (Eds). *The Andes: Active Subduction Orogeny*. Springer, pp. 217–236. Chapter 10.
- Kulm, L.D., Schweller, W.J. and Masias, A., 1977. A preliminary analysis of the subduction processes along the Andean Continental Margin, 6° to 45° S. *In: Talwani, M. and Pitman, W.W. (Editors), Problems in the evolution of island-arcs, deep sea trenches and back-arc basins*. American Geophysical Union, Maurice Ewing Series.
- Laursen, J., D. W. Scholl, and R. von Huene (2002), Neotectonic deformation of the central Chile margin: Deepwater forearc basin formation in response to hot spot ridge and seamount subduction, *Tectonics*, 21(5), 1038, doi: 10.1029/2001TC901023
- Legrand, Denis. Tassara, Andres. Morales, Daniel, (2012), Megathrust asperities and clusters of slab dehydration identified by spatiotemporal characterization of seismicity below the Andean margin, *Geophysical Journal Int.* (2012) 191, 923–931.

- Le Roux, J.P.; Gómez, C.A.; Olivares, D.M.; Middleton, H. 2005. Determining the Neogene behavior of the Nazca plate by geohistory analysis. *Geology* 33 (3): 165-168.
- Le Roux, J.P., Gómez, C., Venegas, C., Fenner, J., Middleton, H., Marchant, M., Buchbinder, B., Frassinetti, D., Marquardt, C., Gregory-Wodzicki, K.M., Lavenu, A. 2005. Neogene–Quaternary coastal and offshore sedimentation in north-central Chile: record of sea level changes and implications for Andean tectonism: *Journal of South American Earth Sciences* 19: 83– 98.
- Le Roux, J.P., Olivares, D.M., Nielsen, S.N., Smith, N.D., Middleton, H., Fenner, J., Ishman, S.E. 2006. Bay sedimentation as controlled by regional crustal behaviour, local tectonics and eustatic sea-level changes: Coquimbo Formation (Miocene–Pliocene), Bay of Tongoy, central Chile. *Sedimentary Geology* 184, 133–153.
- Litvak, V. D., S. Poma, S. M. Kay, and E. Valle (2007), Paleogene and Neogene magmatism in the Valle del Cura region: New perspective on the evolution of the Pampean flat slab, San Juan Province, Argentina, *J. South Am. Earth Sci.*, 24, 117–137, doi:10.1016/j.jsames.2007.04.002.
- Lonsdale, P., Klitgord, K.D., 1978. Structure and tectonic history of Eastern Panama Basin. *Geol. Soc. Am. Bull.* 89, 981–999.
- Lopez-Escobar, L., Frey, F.A. and Vergara, M., 1977. Andesites and highalumina basalts from the Central-South Chile High Andes: Geochemical evidence bearing on their petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, V. 63, pp. 199-228.
- Lopez- Escobar, L., Vergara, M. 1997. Eocene-Miocene Longitudinal Depression and Quaternary volcanism in the Southern Andes, Chile (33-42°S): a geochemical comparison. *Revista Geológica de Chile*. Vol. 24. N1 2. p 227-244
- McKee, E.H.; Robinson, A.C.; Rytuba, J.J.; Cuitiño, L.; Moscoso, R. 1994. Age and isotopic composition of volcanic rocks in the Maricunga Belt, Northern Chile; Implications for magma sources. *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 7, No. 2, p. 167-177.
- Maksaev, V., Moscoso, R., Mpodozis, C., and Nasi, C., 1984, Las unidades volcánicas y plutónicas del Cenozoico superior en la Alta Cordillera del Norte Chico

(29°-31°S): Geología, alteración hidrotermal y mineralización: Revista Geológica de Chile, v. 21, p. 11-51.

- Maksaev, V., Munizaga, F., Zentilli, M., Charrier, R. 2009. Fission track thermochronology of Neogene plutons in the Principal Andean Cordillera of central Chile (33-35°S): Implications for tectonic evolution and porphyry Cu-Mo mineralization. *Andean Geology* 36 (2): 153-171.
- Manea, V. C., M. Pérez-gussinyé, and M. Manea (2012), Chilean flat slab subduction controlled by overriding plate thickness and trench rollback, *Geology*, (1), 35–38, doi:10.1130/G32543.1.
- Marot, M., Monfret, T., Gerbault. Nolet, M G., Ranalli, G., Pardo, M., 2014, Flat versus normal subduction zones: a comparison based on 3-D regional traveltime tomography and petrological modelling of central Chile and western Argentina (29°–35°S). *Geophys. J. Int.* Vol. 199, p. 1633–1654.
- Martin, M., Clavero, J., and Mpodozis, C., 1995, Estudio geológico regional del Franja El Indio, Cordillera de Coquimbo, Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago, Chile, Registered report, IR95-6, 232 p.
- Martin, M., Clavero, J., and Mpodozis, C., 1997, Eocene to Late Miocene magmatic development of El Indio Belt, ~ 30°S, north-central Chile: VIII Congreso Geológico Chileno Actas, v. 1, p. 149-153.
- Martin, H. (1999) Adakitic magmas: modern analogues of Archean granitoids. *Lithos* 46:411–429.
- Martinod, J., Funiciello, F., Faccenna, C., Labanieh, S., Regard, V., (2005). Dynamical effects of subducting ridges: insights from 3-D laboratory models. *Geophys. J. Int.* 163, 1137–1150.
- Martinod, J.; Husson, L.; Roperch, P.; Guillaume, B.; Espurt, N. 2010. Horizontal subduction zones, convergence velocity and the building of the Andes. *Earth and Planetary Science Letters* 300 (3-4): 299-309.
- Morris, J. D. Hart, S. R. (1983), Isotopic and incompatible element constraints on the genesis of island arc volcanics from Cold Bay and Amak Island, Aleutians, and implications for mantle structure, *Geochimica et Cosmochimica Acta* Vol. 47. pp. 2015-2030.
- Morris, J., Tera, F. 1989. ¹⁰Be and ⁹Be in mineral separates and whole rocks from volcanic arcs: Implications for sediment subduction. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, V. 53, pp. 3197-3206.

- Morris, J., Harmon, Tera, F., Lopez-Escobar, L., Klein, J., Middleton, R. 1987. ^{10}Be , Sr, O and Pb isotope evidence for sediment subduction in the Southern Andes. *In*: Munizaga, F. (Editor), Proceedings International Symposium Magmatic Evolution of the Andes.
- Mortimer, C. 1973. The Cenozoic history of the southern Atacama Desert, Chile. *Journal of the Geological Society of London*, Vol. 129, p. 505-526.
- Montecinos, F. 1963. Observaciones de geología en el Cuadrángulo de Campanani, Departamento de Arica, Provincia de Tarapacá. Memoria de Título (inédito). Departamento de Geología. Universidad de Chile. 109 p.
- Montecinos, P. Schaerer, U. Vergara, M. Aguirre, L. 2008. Lithospheric Origin of Oligocene-Miocene Magmatism in Central Chile: U-Pb Ages and Sr-Pb-Hf Isotope Composition of Minerals. *Journal Of Petrology* Volume 49 Number 3 Pages 555-580 2008 doi:10.1093/petrology/egn004.
- Mpodozis, C., Cornejo, P., Kay, S.M., Tittler, A., 1995, La Franja de Maricunga: síntesis de la evolución del frente volcánico oligoceno-mioceno de la zona sur de los Andes Centrales: *Revista Geológica de Chile*, v. 22, p. 273-314.
- Munizaga, F.; Vicente, J.C. 1982. Acerca de la zonación plutónica y del volcanismo miocénico en los Andes de Aconcagua (Lat. 32° - 33° S): datos radiométricos K-Ar. *Revista Geológica de Chile*, No. 16, p. 3-21.
- Munteam, J.L. 1995. Magma Hydrothermal gold deposits at Refugio, Maricunga Belt, Northern Chile. In Geological Society of Nevada, U.S. Geological Survey and Sociedad Geológica de Chile. Symposium on the Geology and Ore Deposits of the American Cordillera Program with Abstracts, p. A56-A57. Reno, Nevada.
- Muñoz, J., Niemeyer, H., 1984. Petrología de la Formación Trapa-Trapa y consideraciones acerca del volcanismo entre los 36° y 39° de latitud sur. *Revista Geológica de Chile* N° 23, p. 53-67.
- Muñoz, N.; Charrier, R. 1996. Uplift of the western border of the Altiplano on a west-vergent thrust system, northern Chile. *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 9, p. 171-181
- Muñoz, J., Troncoso, R., Duhart, P., Crignola, P., Farmer, L., Stern, C.R. 2000. The relation of the mid-Tertiary coastal magmatic belt

in south-central Chile to the late Oligocene increase in plate convergence rate. *Revista Geológica de Chile*. v.27 n.2

- Naranjo, J., Cornejo, P., 1992. Hoja Salar de la Isla. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile No.72.
- Nur, A., Ben-Avraham, Z., 1981. Volcanic Gaps and the Consumption of Aseismic Ridges in South America. In: Kulm, L.D. (Ed.), *Nazca Plate: Crustal Formation and Andean Convergence: Mem. Geol. Soc. Am*, pp. 729–740.
- O'Driscoll, L.J., Richards, M.A. & Humphreys, E.D., 2012. Nazca-South America interactions and the late Eocene-late Oligocene flat-slab episode in the central Andes, *Tectonics*, 31(2), doi: 10.1029/2011TC003036.
- Olivares, A. 1985. Geología de la Alta Cordillera de Iiapel entre los 31 °-30' y 32°0' lat. Sur. Tesis de Magíster en Ciencias, Mención Geología (Inédito), *Universidad de Chile, Departamento de Geología*, 192 p.
- Oncken, O., Hindle, D., Kley, J., Elger, P., Victor, P., Schemmann, K., 2006. Deformation of the Central Andean Upper Plate System—Facts, Fiction, and Constraints for Plateau Models. In: Oncken, O., et al. (Ed.), *The Andes*. Springer, pp. 3–28.
- Pardo-Casas F.; Molnar, P. 1987, Relative motion of the Nazca Farallon and south American plates since Late Cretaceous time. *Tectonics*, Vol. 6, p. 233-248
- Pearce, J. A., Peate, D. W. 1995. Tectonic Implications of the composition of volcanic arcs. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 1995. 23:251-85.
- Peacock, S. M., 1987, Fluid Processes in Subduction Zones. *Science*, Vol. 248. Pp 329-337
- Peccerillo, A., Taylor, S. R., 1976, geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contrib.Mineral. Petrol.*, Vol. 58, N° 1, p 63-81.
- Pilger, R. H. 1981. Plate reconstructions, aseismic ridges, and low-angle subduction beneath the Andes. *Geological Society of America Bulletin*, vol. 92, p. 448.
- Plank, T., Langmuir, C.H., 1988. An evaluation in the global variations in the major element chemistry of arc basalts. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 90: 349-370.
- Plank, T. 2005. Constraints on Thorium/Lanthanum on Sediment Recycling at Subduction Zones and the Evolution of Continents. *Journal of Petrology*. Vol. 46. Pp 921-944. doi:10.1093/petrology/egi005

- Ramos, V. 1985. El Mesozoico de la Alta Cordillera de Mendoza. Facies y desarrollo estratigráfico. *In Congreso Geológico Chileno, No. 4, Actas, Vol. 1* p. 1-492/1- 513. Antofagasta.
- Ramos, V.A., Cristallini, E.O. & Pérez, D.J., 2002. The Pampean flat-slab of the Central Andes, *J. South Am. Earth Sci.*, 15(1), 59–78.
- Reich, M.; Parada, M.A.; Palacios, C; Dietrich, A.; Schultz, F.; Lehmann, B. 2003. Adakite-like signature of Late Miocene intrusions at the Los Pelambres giant porphyry copper deposit in the Andes of central Chile: metallogenic implications. *Mineralium Deposita* 38: 876-885.
- Reyes Vizcarra, J. A., 2012. Evolución magmática de la isla Robinson Crusoe, Dorsal de Juan Fernández, Chile. Memoria para optar al título de geólogo. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 123 p.
- Rivano, S.; Sepúlveda, P. 1991. Hoja Illapel, Región de Coquimbo. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, No. 69* (escala 1: 250.000), 132 p.
- Richards J. P. 2011. Magmatic to hydrothermal metal fluxes in convergent and collided margins. *Ore Geology Reviews* 40. 1–26.
- Rogers, G., Hawkesworth, C.J., 1988. A geochemical traverse across the North Chilean Andes: evidence for crust generation from mantle wedge. *Earth Planet. Sci. Lett.* 91, 271–285.
- Rosenbaum, G., Giles, D., Saxon, M., Betts, P.G., Weinberg, R.F., Duboz, C., 2005. Subduction of the Nazca Ridge and the Inca Plateau: insights into the formation of ore deposits in Peru. *Earth Planet. Sci. Lett.* 239, 18–32.
- Sacks, I.S., 1983. The subduction of young lithosphere. *Journal of Geophysical Research.* 88, 3355–3366.
- Salas, R.; Kast, R.F.; Montecinos, F.; Salas, I. 1966, Geología y recursos minerales del departamento de Arica. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín, Vol. 21, p. 1-114.
- Sandwell, D., Smith W.H.F, 1995. Gravity anomaly Geosat and ERS-1 altimetry Version 6 .0, Geol. Data Cent., Scripps Institute of Oceanography. La Jolla, Calif.
- Schweller, W.J., Kulm, L.D. and Prince, R.A., 1981. Tectonics, structure and sedimentary framework of the Peru-Chile trench. *In: Kulm, L.D. and*

- others (Editors), Nazca Plate: Crustal Formation and Andean Convergence, Geological Society of America, Memoir 154, pp. 323-349.
- Scholl, D.W., M.S. Marlow, and A.K. Cooper, Sediment subduction and offscraping at Pacific margins, in Island arc, deep-sea trenches and back-arc basin, edited by M. Talwani and W. C. Pitman III, AGU, Maurice Ewing series 1, pp.199- 210, 1977.
- Shibata, T.; Nakamura, E. 1997. Across-arc variations of isotope and trace element compositions from Quaternary basaltic volcanic rocks in northeastern Japan: Implications for interaction between subducted oceanic slab and mantle wedge. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 1997, 102, 8051–8064.
- Shreve, R.L., Cloos, M., Dynamics of sediment subduction, melange formation, and prism accretion, *J. Geophys. Res.* 91, 10229-10245, 1986.
- Sellés, D., 1999. La Formación Abanico en el cuadrángulo Santiago (33°15′–33°30′S/70°45′W), Chile central: Estratigrafía y Geoquímica. MSc Thesis. Departamento de Geología, Universidad de Chile, 154pp.
- Sellés, D., 2000. La relación discordante entre las formaciones Abanico y Las Chilcas en la localidad de Angostura: implicancias regionales. *Actas IX Congreso Geológico Chileno. Puerto Varas, vol. 1, p. 555-558.*
- Siebel, W., Schnurr, W., Hahne, K., Kraemer, B., Trumbull, R. B., Van Den Bogaard, P. & Emmermann, R. 2001. Geochemistry and isotope systematics of small to medium-volume Neogene–Quaternary ignimbrites in the southern central Andes: evidence for derivation from andesitic magma sources. *Chemical Geology*, 171, 213–237.
- Sillitoe, R.H. Hart, S.R., 1984. Lead isotopic signatures of porphyry copper deposits in oceanic and continental settings, Colombian Andes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, V. 48, pp. 2135-2142.
- Sillitoe, R., 1991, Gold-rich porphyry systems in the Maricunga belt, northern Chile: *Economic Geology*, v. 86, p. 1238-1260.
- Sillitoe, A.H.; McKee, E.H.; Vila, T. 1991. Reconnaissance K-Ar geochronology of the Maricunga gold-silver belt, Northern Chile. *Economic Geology*, Vol. 66, No. 6, p. 1261 -1270.
- Sillitoe, A.H. 1994. Erosion and collapse of volcanoes: Causes of telescoping in intrusion-centered ore deposits. *Geology*, Vol. 22, p. 945-948.

- Skewes, M.A., and Stern, C.H., 1994, Tectonic trigger for the formation of Late Miocene Cu-rich megabreccias in the Andes of Central Chile: *Geology*, v. 22, p. 551-554.
- Skinner, S.M., Clayton, R. W. 2013. The lack of correlation between flat slabs and bathymetric impactors in South America. *Earth and Planetary Science Letters* 371–372. 1–5.
- Spikings, R.A., Winkler, W., Seward, D. & Handler, R. 2001. Along-strike variations in the thermal and tectonic response of the continental Ecuadorian Andes to the collision with heterogeneous oceanic crust. *Earth and Planetary Science Letters*, 186, 57–73.
- Spikings, R., M. Dungan, J. Foeken, A. Carter, L. Page, and F. Stuart (2008), Tectonic response of the central Chilean margin (35-38 degrees S) to the collision and subduction of heterogeneous oceanic crust: a thermochronological study, *J. Geol. Soc. London.*, 165(5), 941–953, doi: 10.1144/0016-76492007-115.
- Stern, R.J., Ito, E. 1983. Trace-Element and Isotopic Constraints on the Source of Magmas in the Active Volcano and Mariana Island Arcs, Western Pacific. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 18(1-4): 461-482.
- Stern, C.R., 1988. Source region versus intra-crustal contamination in the petrogenesis of the Quaternary volcanic centers at the northern end (33–34°S) of the Southern Volcanic Zone of the Andes. *Actas V Congreso Geológico Chileno*, V. 3, pp. 129-143.
- Stern, C.R. 1991. Role of subduction erosion in the generation of Andean magmas. *Geology*, Vol. 19, p. 78-61.
- Stern, C.R., K. Futa, K. Muehlenbachs, F.M. Dobbs, J. Munoz, E. Godoy, and R. Charrier, Sr, Nd, Pb and O isotope composition of Late Cenozoic volcanics, northernmost SVZ (33-34°S). 1984. In *Andean Magmatism; Chemical and Isotopic Constraints*, edited by R.S. Harmon and B.A. Barreiro, pp. 96-105, Shiva, London.
- Stern, C.R., Skewes, M.A., 1995. Miocene to present evolution at the northern end of the Andean Southern Volcanic Zone, central Chile. *Revista Geológica de Chile* 22, 261–272.
- Stern, C.R., Skewes, M.A., 2003. Generation of giant Miocene and Pliocene copper deposits in Central Chile: role of ridge subduction, decreased subduction angle, subduction erosion, crustal thickening and long-lived, batholiths-

- size, open system magma chambers. In: Porter, T. M. (ed.) *Super Porphyry Copper and Gold Deposits, A Global Perspective*, Vol. 1, Adelaide: PGC Publishing, pp. 65-82.
- Stern, C.R. 2011. Subduction erosion: Rates, mechanisms, and its role in arc magmatism and the evolution of the continental crust and mantle. *Gondwana Research* 20 (2011) 284–308
- Sun W.D., Ling M.X., Yang X.Y., Fan W.M., Ding X. & Liang H.Y. 2010. Ridge subduction and porphyry copper-gold mineralization: An overview. *Science China Earth Sciences*. Vol.53 No.4: 475–484 doi: 10.1007/s11430-010-0024-0
- Sun, S.-s., McDonough, W. F. 1989. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A. D., Norry, J. (Eds). *Magmatism in the ocean basins*. Geological Society London Special Publications. 42. 313-345. <http://dx.doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>
- Tassara, A., 2010. Control of forearc density structure on shear strength along the Chilean margin, *Tectonophysics*, 495, 34–47, doi:10.1016/j.tecto.2010.06.004.
- Tatsumi, Y., Hamilton, D.L., Nesbitt, R.W. 1986, Chemical Characteristics of Fluid Phase Released From a Subducted Lithosphere and Origin of Arc magmas: Evidence From High-Pressure Experiments and Natural Rocks., *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 29 p. 293–309.
- Tera, F., Brown, L., Morris, J., Sacks, I.S., Klein, J. Middleton, R., 1986. Sediment in island-arc magmas: inferences from ^{10}Be . *Geochimica et Cosmochimica Acta*, V. 50, pp. 535-550.
- Thiele, R., 1980. Hoja de Santiago. Carta Geológica de Chile N°39, Instituto de Investigaciones Geológicas, 21p., 1 mapa.
- Thorpe, R.S. 1984. The tectonic setting of active Andean volcanism. In *Andean magmatism: chemical and isotopic constraints* (Harmon, R.S.; Barreiro, B.A.; editors.). Shiva Geological Series, Shiva Publications, p. 4-8. Nantwich, U.K.

- Timm, C. et al. Louisville seamount subduction and its implication on mantle flow beneath the central Tonga–Kermadec arc. *Nat. Commun.*4:1720 doi: 10.1038/ncomms2702 (2013).
- Tittler, A. 1995. The Chemistry of miocene andean volcanic rocks from the 'flat-slab' to central volcanic zone transition, Chile, 26° to 28°S. M.Sc. Thesis (Unpublished), Cornell University, 142 p.
- Trumbull, R. B., Wittenbrink, R., Hahne, K., Emmermann, R., Büsch, W., Gerstenberger, H. & Siebel, W. 1999. Evidence for late Miocene to Recent contamination of arc andesites by crustal melts in the Chilean Andes (25–26°S) and its geodynamic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 12, 135–155.
- Trumbull, R. B., Riller, U., Oncken, O., Scheuber, E., Munier, K., Hongn, F., 2006. The Time-Space Distribution of Cenozoic Volcanism in the South-Central Andes: a New Data Compilation and Some Tectonic Implications. Springer. *The Andes: Active subduction orogeny*. pp 29-38.
- van Hunen, J., van den Berg, A.P., Vlaar, N.J., 2002. The impact of the South-American plate motion and the Nazca Ridge subduction on the flat subduction below South Peru. *Geophys. Res. Lett.* 29.
- Vergara, M., Drake, R., 1979. Edades K/Ar en secuencias volcánicas continentales postneocomianas de Chile Central; su depositación en cuencas intermontanas restringidas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, Vol. 34, p. 42-52.
- Vergara, M.; Charrier, R.; Munizaga, F.; Rivano, S.; Sepúlveda, P.; Thiele, R.; Drake, A. 1988. Miocene volcanism in the Central Andes (31°30'-34°35'S). *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 1, No. 2, p. 199-209.
- Vergara, M. Nyström, J., 1996, Geochemical features of Lower Cretaceous back-arc lavas in the Andean Cordillera, Central Chile (31-34°S). *Revista Geológica de Chile*. Vol. 23, No. 1, p. 97-106.
- Vergara, M. López-Escobar, L., Palma, J. L., Hickey-Vargas, R., Roeschmann, C. 2004. Late tertiary volcanic episodes in the area of the city of Santiago de Chile: new geochronological and geochemical data. *Journal of South American Earth Sciences* 17 (2004) 227–238.
- Vila, T.; Sillitoe, R.; Betzhold, J.; Viteri, E. 1991. The Porphyry Gold deposit at Marte, Northern Chile. *Economic Geology*, Vol. 86, No. 6, p. 1271-1286.

- Vogel, S., Vila, T. 1980. Cuadrángulos Arica y Poconchile, Región de Tarapacá. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile, No. 35, 24 p.
- von Huene, R.; Suess, E; *et al*; LEG 112 Shipboard Scientists. 1988. Ocean drilling program LEG 112; Peru continental margin Part 1; tectonic history. *Geology*, Vol. 16, No. 10, p. 934-938.
- von Huene, R., and Scholl, D.W., 1991, Observations at convergent margins concerning sediment subduction, subduction erosion, and the growth of continental crust: *Reviews of Geophysics*, v. 29, p. 279-316.
- von Huene R.; Scholl, D.W., 1993, The return of sialic material to the mantle indicated by terrigenous material subducted at convergent margins: *Tectonophysics*, v. 219, p. 163-175.
- von Huene, R., Corvalan, J., Flueh, E.R., Hinz, K., Korstgard, J., Ranero, C.R., Weinrebe, W., Scientists, Condor, 1997. Tectonic control of the subducting Juan Fernández Ridge on the Andean margin near Valparaiso, Chile. *Tectonics* 16, 474-488
- von Huene, R., and Ranero, C.R., 2003, Subduction erosion and basal friction along the sediment-starved convergent margin off Antofagasta, Chile: *Journal of Geophysical Research*, v. 108, no. B2, doi: 10.1029/2001JB001569.
- von Huene, R., Ranero, C.R., and Vannucchi, P., 2004, Generic model of subduction erosion: *Geology*, v. 32, p. 913-916.
- Wipf, M. 2006. Evolution of the Western Cordillera and coastal margin of Peru: evidence from low-temperature thermochronology and geomorphology. PhD thesis, ETH Zürich.
- Wörner, G., Hammerschmidt, K., Hejnes-Kunst, F., Lezaun, J., Wilke, H. 2000. Geochronology ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, K-Ar and He-exposure ages) of Cenozoic magmatic rocks from Northern Chile (18-22°S): implications for magmatism and tectonic evolution of the central Andes
- Yáñez, G.A., Ranero, C.R., von Huene, R., Diaz, J., 2001. Magnetic anomaly interpretation across the southern Central Andes (32°-34° S): The role of the Juan Fernandez Ridge in the late Tertiary evolution of the margin. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 106, 6325-6345.
- Yáñez G, Cembrano J, Pardo M, Ranero C, Sellés D. (2002) The Challenger-Juan Fernández-Maipo major tectonic transition of the Nazca-Andean

subduction system at 33–34°S: geodynamic evidence and implications. *J
S Am Earth Sci* 15:23–38.

Zindler A., y Hart, S.R. (1986). Chemical geodynamics. *Annual Review of Earth and
Planetary Sciences*, 14: 493-571.

10. Anexo 1. Diagramas de Geoquímica

10.1 Diagramas Harker

Zona A (18-19°S)

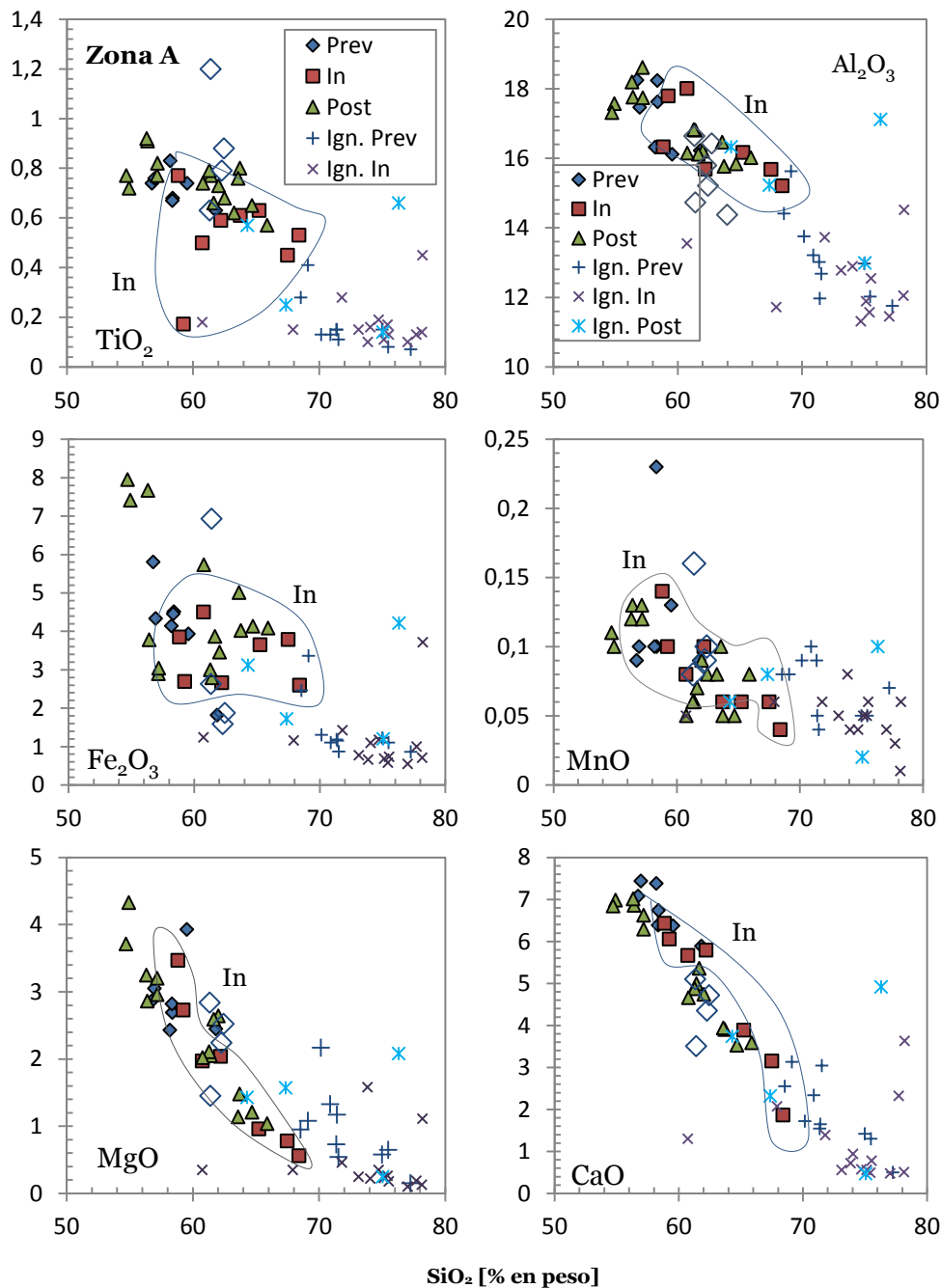


Figura 10.1: Diagramas Harker Zona A (18-19°S). En los diagramas están representadas a modo de comparación muestras de rocas más antiguas que corresponden a lavas del Cretácico superior-Paleoceno. Se puede observar que en la concentración de Al₂O₃ los porcentajes son levemente menores en las muestras más antiguas, 17,8% en peso.

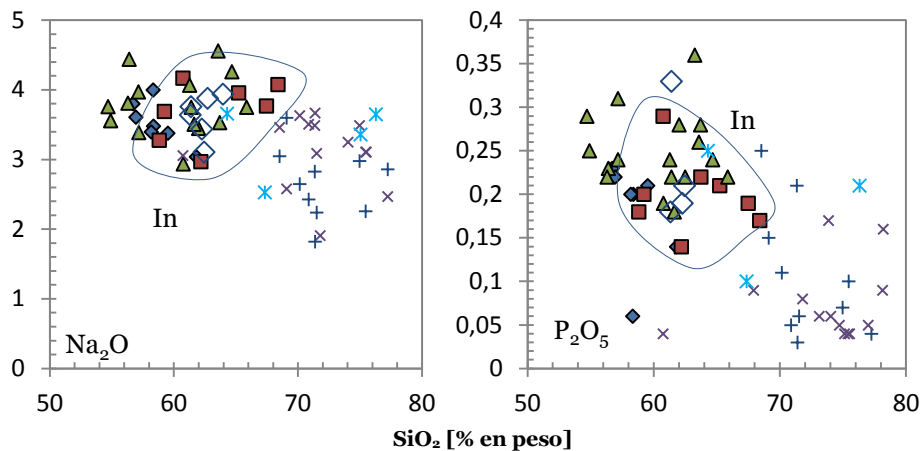


Figura 10.2 : Diagramas Harker Zona A (18-19°S). Continuación. Se observa que el porcentaje de Na_2O alcanza alrededor de 4,4% en peso.

Zona B (25-26°S)

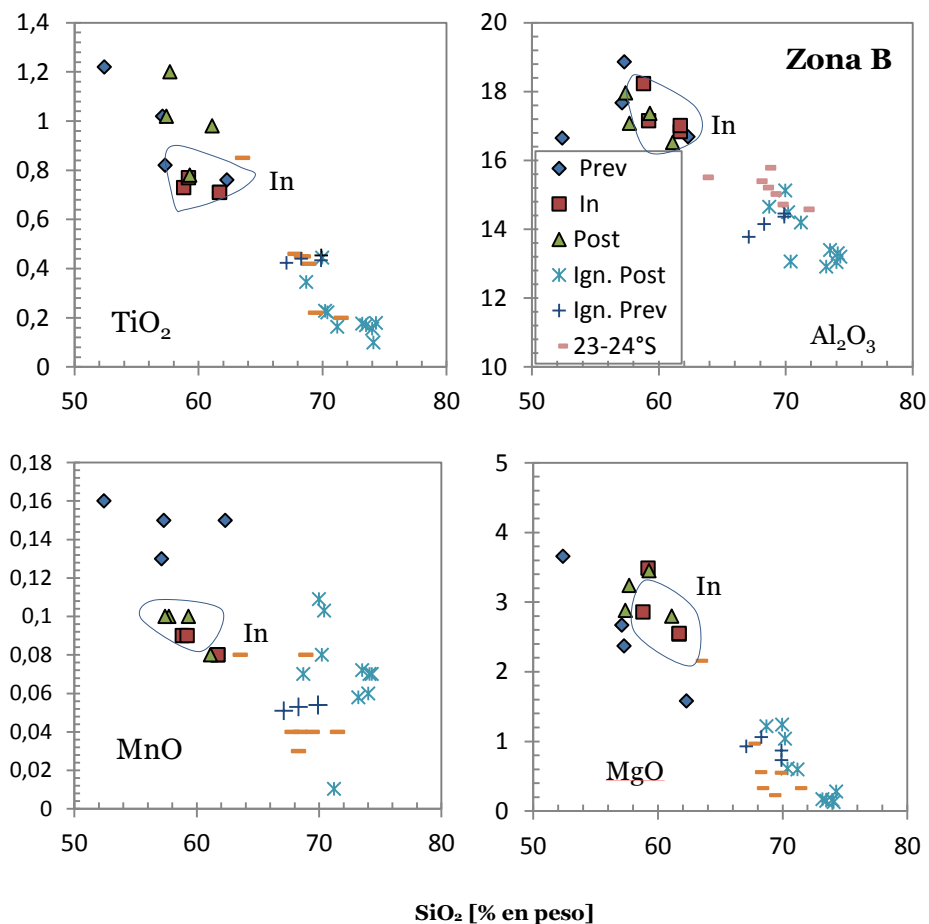


Figura 10.3 : Diagramas Harker de la Zona B (25°-26°S). Se aprecian las muestras de la latitud de 23-24°S que tiene una composición similar a las ignimbritas de la Zona B.

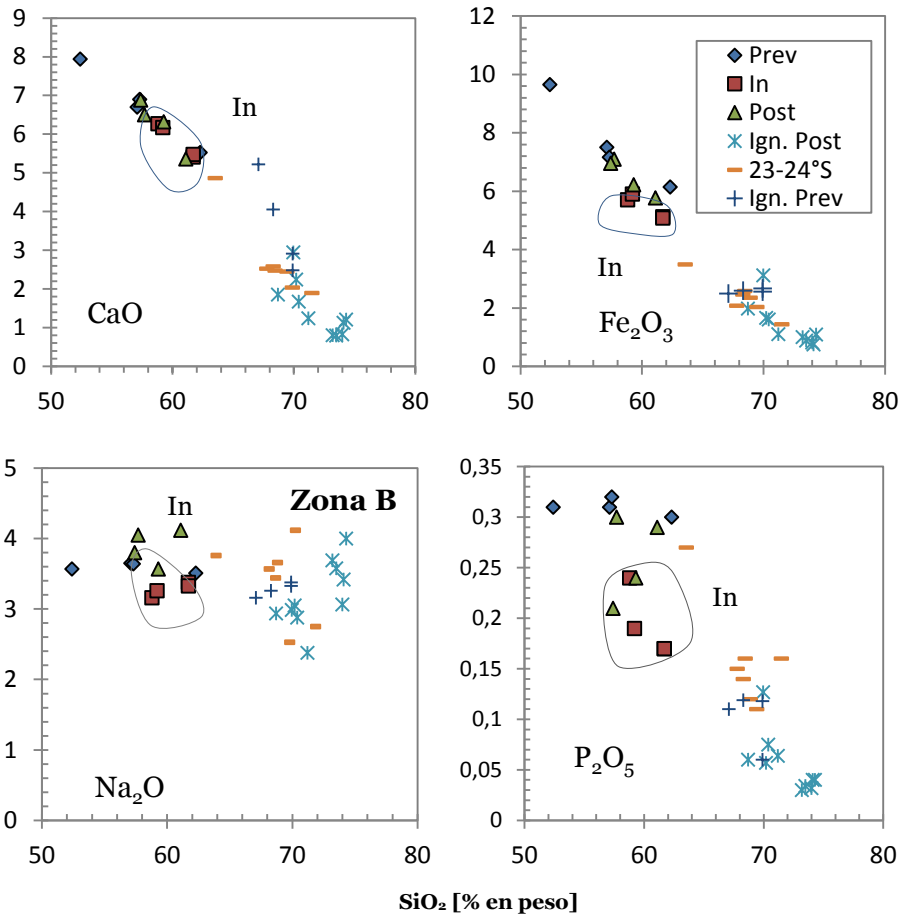


Figura 10.4 : Diagramas de variación con respecto a SiO₂ de la zona B, continuación. Se observa un aumento en la concentración de MgO en el período incidente. Simbología en el recuadro.

Zona C (26-28°S)

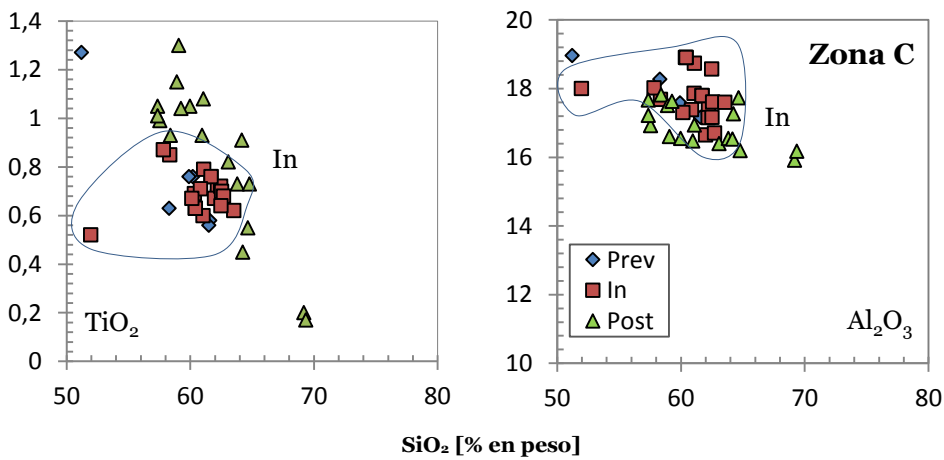


Figura 10.5 : Diagramas Harker de la Zona C (26°-28°S). Se observan altos porcentajes de Al₂O₃ en el período incidente, hasta 18,8% en peso.

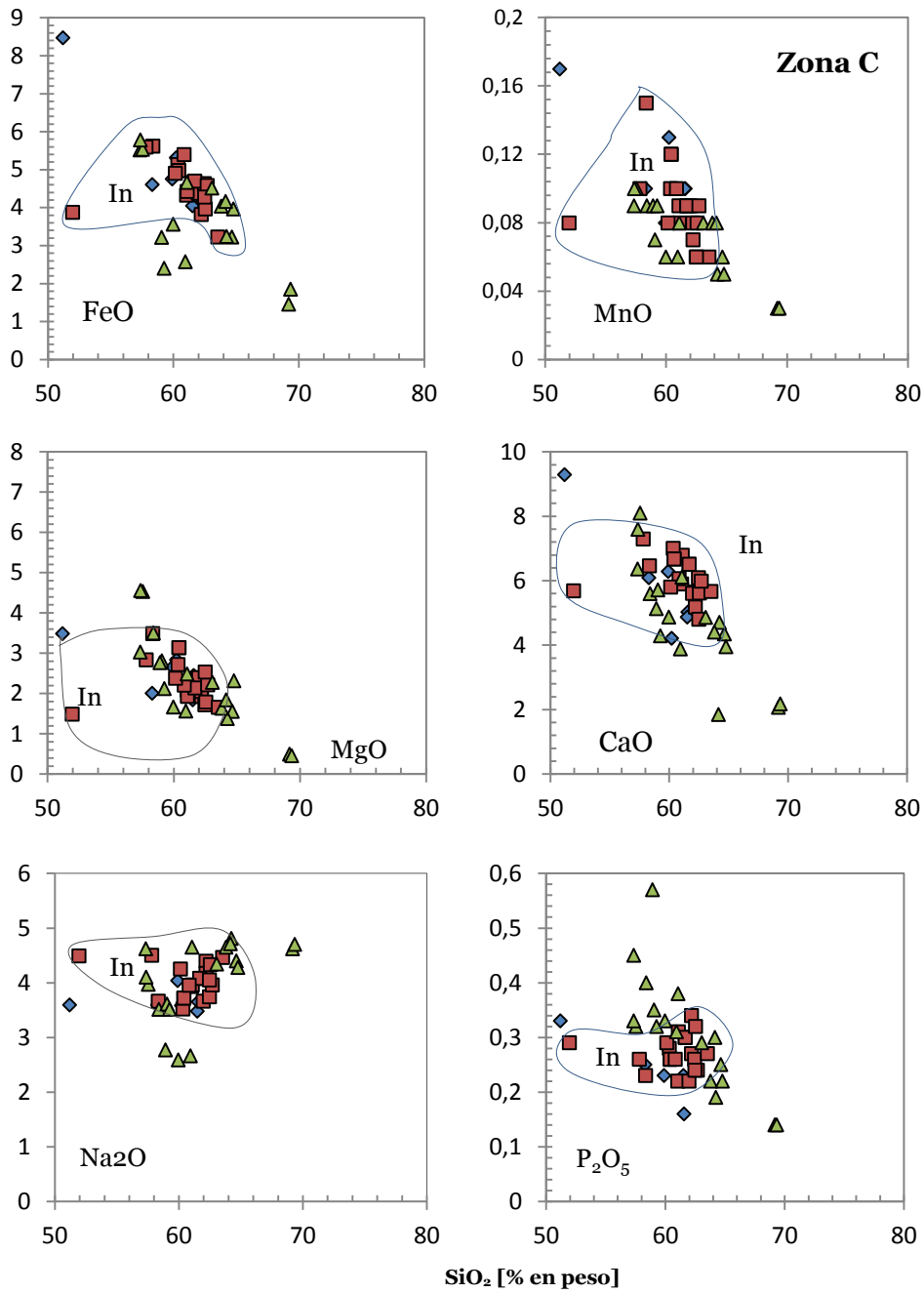


Figura 10.6: Diagramas de variación con respecto a SiO_2 de la zona C (28-31°S). Las muestras evidencian poca variación con respecto al sílice.

Zona D (29-32°S)

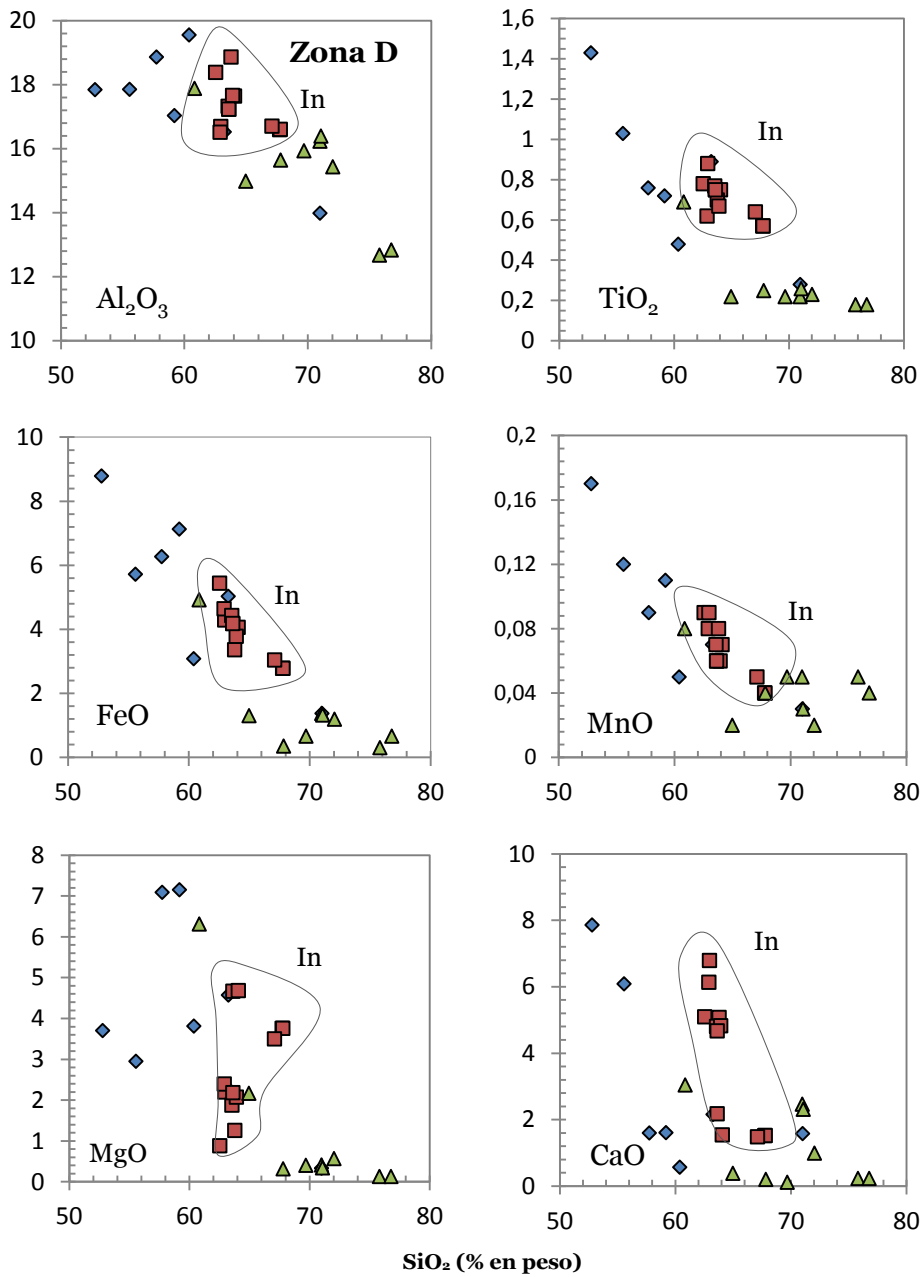


Figura 10.7 : Diagramas Harker de la Zona D (29-31°S). En esta zona se observa un alto porcentaje de CaO, hasta alrededor de 6,8% en peso, y TiO₂. El porcentaje de Al₂O₃ se mantiene alto: 16,5-18,8% en peso.

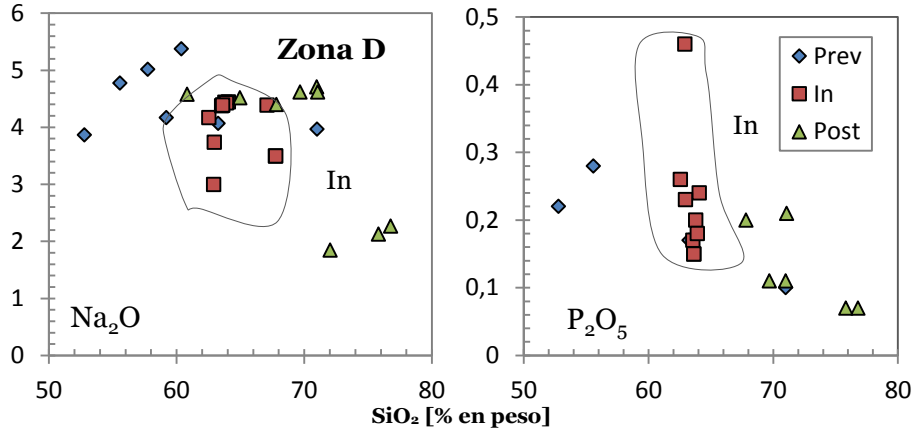


Figura 10.8: Diagramas Harker de la Zona D (29-31°S). En esta zona se encuentran los porcentajes más bajos de Na₂O: 3-4,4.

Zona E (32-33,5°S)

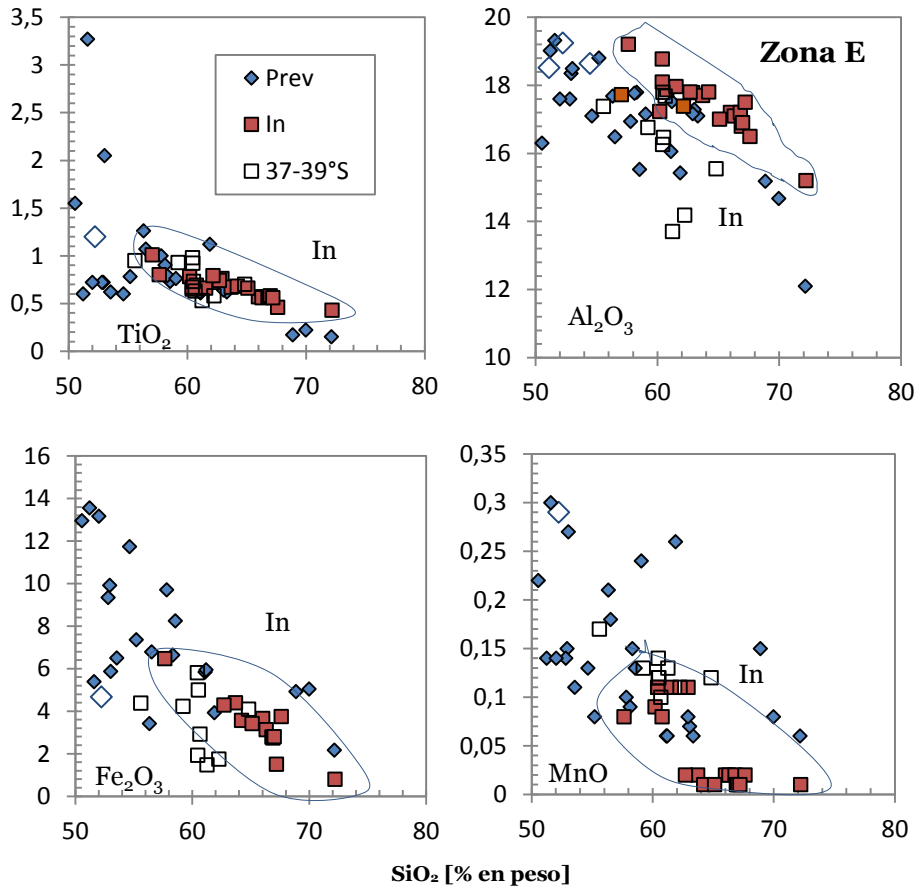


Figura 10.9: Diagramas de Harker de la Zona E (32-33,5°S). Se observan trends de diferenciación y altos porcentajes de Al₂O₃ en el período de incidencia en comparación con las muestras del período anterior y de la zona de 37-39°S.

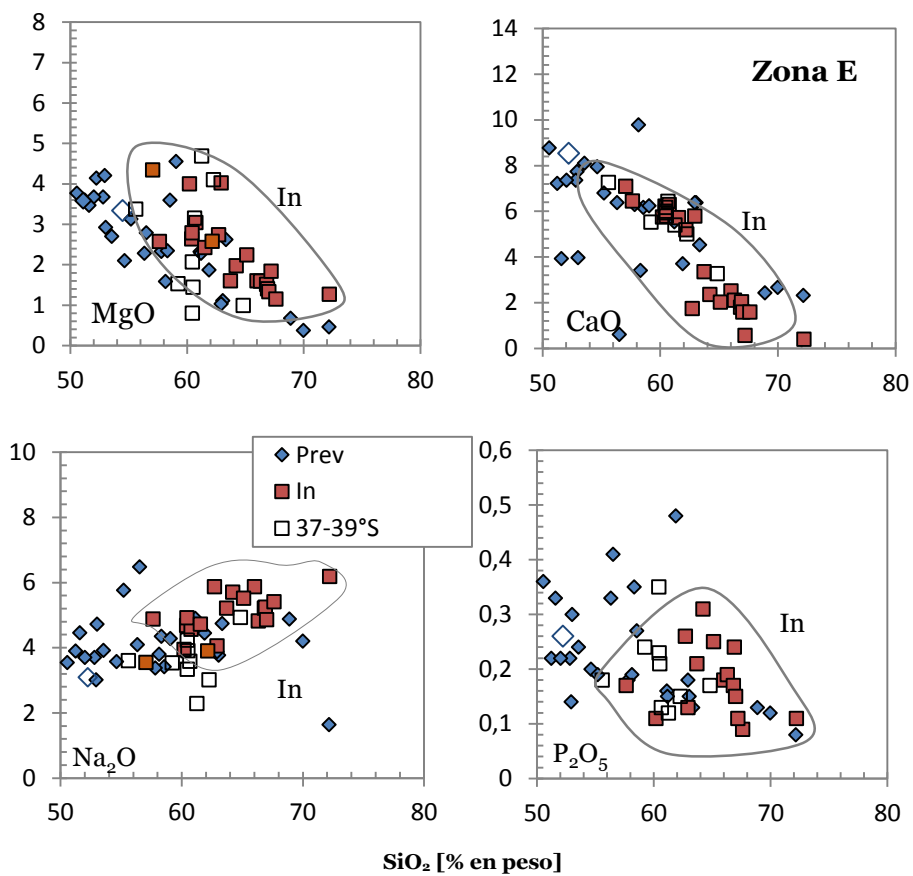


Figura 10.10: Continuación de los diagramas de Harker de la Zona E (32-3,5°S). Se observan porcentajes altos de Na_2O , de ~6% en peso en esta zona, y mayores contenidos de MgO en el período de incidencia a porcentajes similares de SiO_2 .

K₂O [% en peso]

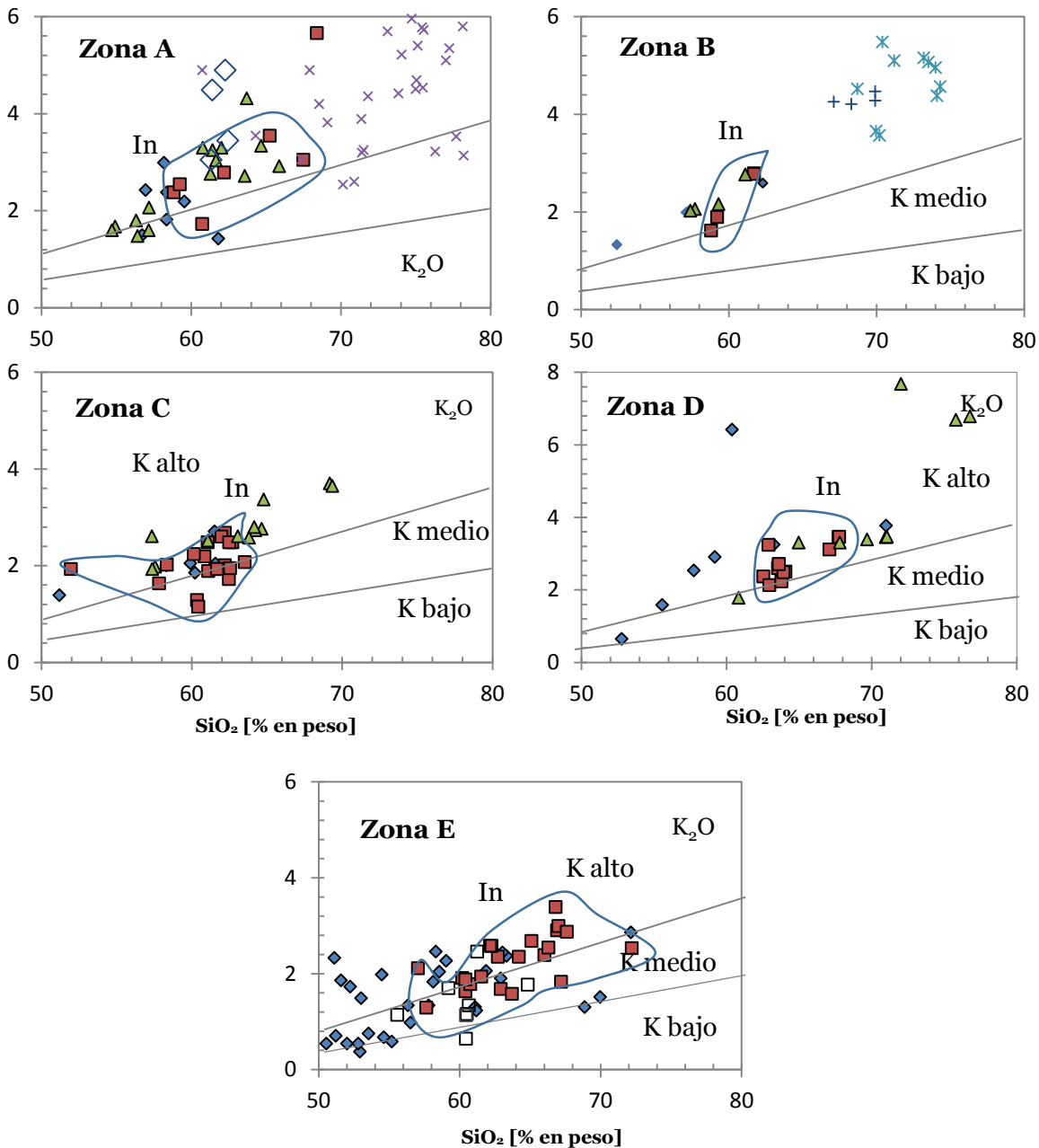


Figura 10.11.: Diagramas de K₂O versus SiO₂ [% en peso). Campos según Peccerillo & Taylor, (1976). Las muestras de los períodos incidentes caen en general en el campo del alto K

10.2 Elementos Traza

U (ppm)

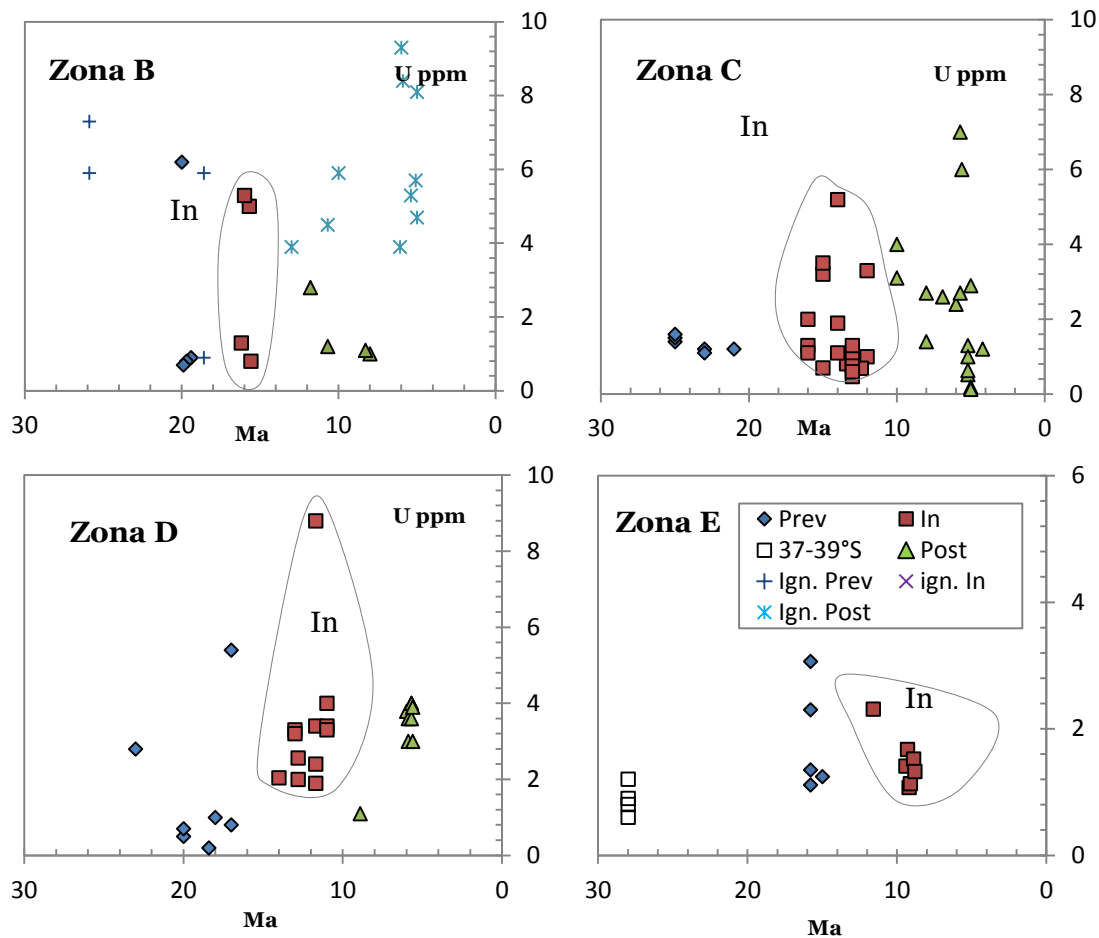


Figura 10.12: Diagramas de uranio versus edad en las zonas B (25-26°S), C (26-28°S), D (29-31°S) y E (32-33,5°S). Para la Zona A no se encontraron datos de U, y en la Zona E hay pocos datos en los períodos previo e incidente. En el resto de las zonas de influencia de la Dorsal Juan Fernández se observan valores altos de ~6 ppm como máximos.

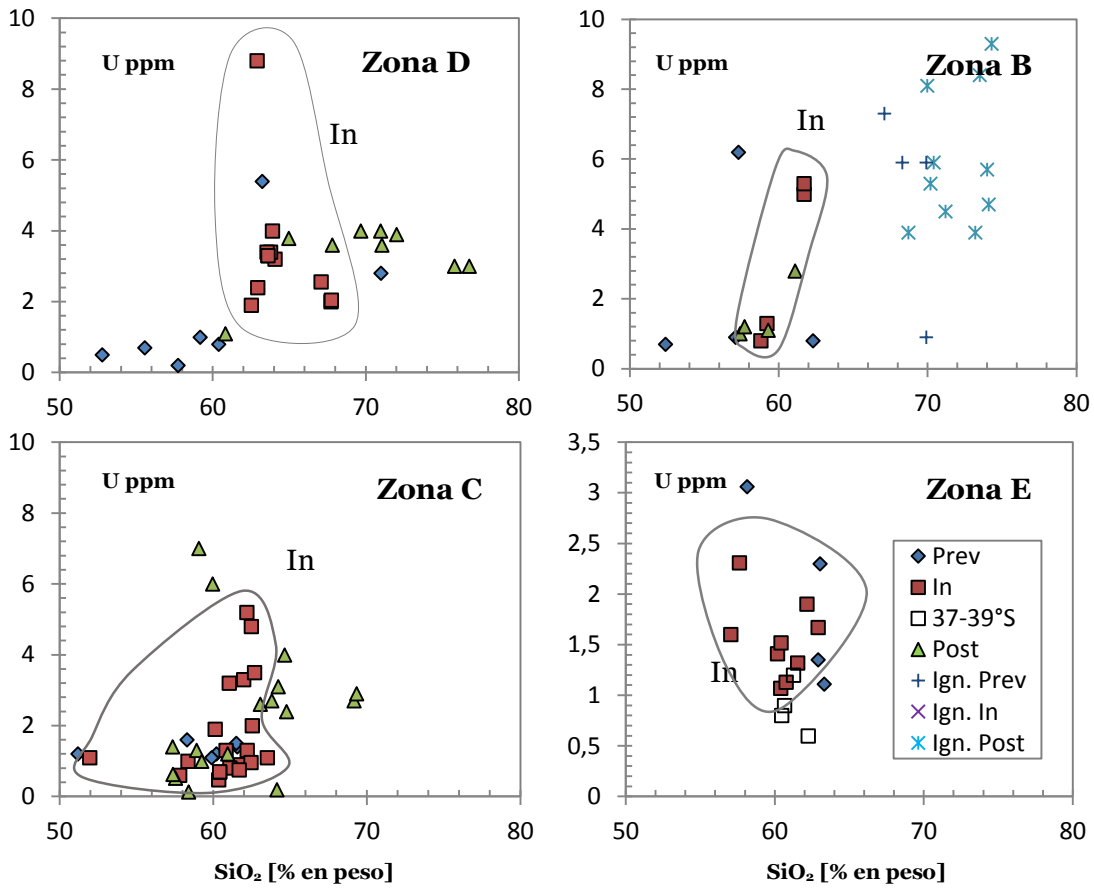


Figura 10.13 : Diagramas de la concentración de U(ppm) versus SiO₂ en las zonas B (25-26°S), C (26-28°S), D (29-31°S) y E (32-33,5°S). Se aprecia que el contenido de U aumenta independientemente del porcentaje de SiO₂.

Cs (ppm)

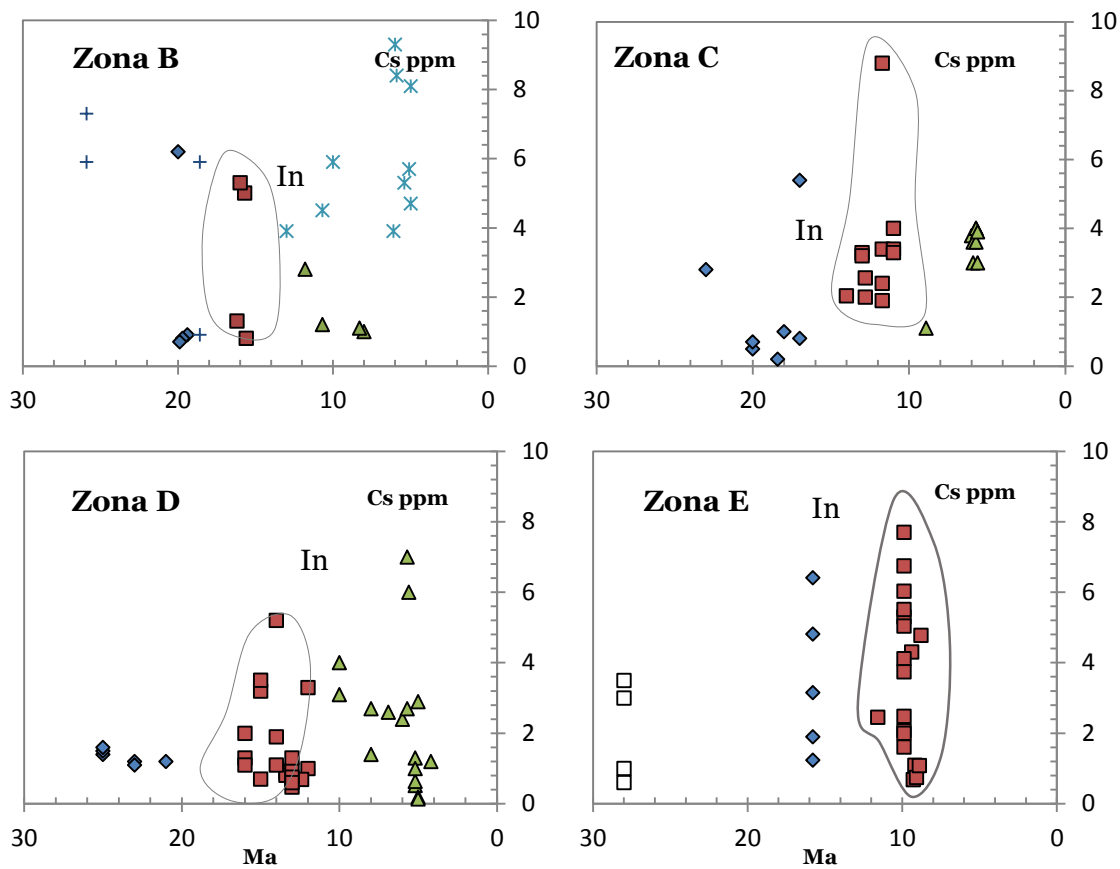


Figura 10.14: Diagramas de Cs versus edad en las en las zonas B (25-26°S), C (26-28°S), D (29-31°S) y E (32-33,5°S). Al igual que en el caso del U existen pocos datos en la Zona E, los que corresponden al Cerro Aconcagua en el período incidente .

Th (ppm)

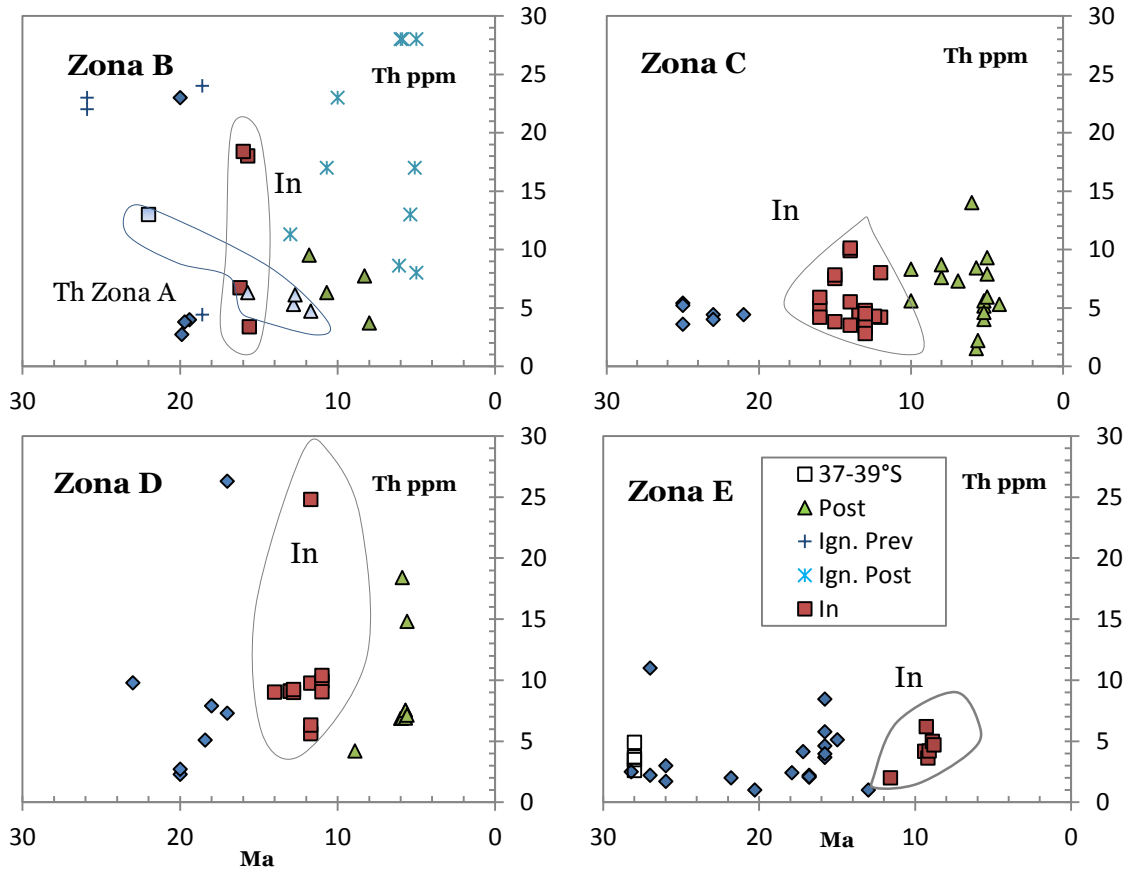


Figura 10.15 : Diagramas de la concentración de Th versus edad en las en las zonas B (25-26°S), C (26-28°S), D (29-31°S) y E (32-33,5°S). En el diagrama de la Zona B están representados los datos de la Zona A, el período incidente y posterior en cuadrados y triángulos celestes. En el diagrama se observa que los contenidos de Th descenden en el período posterior de esta zona.

Rb (ppm)

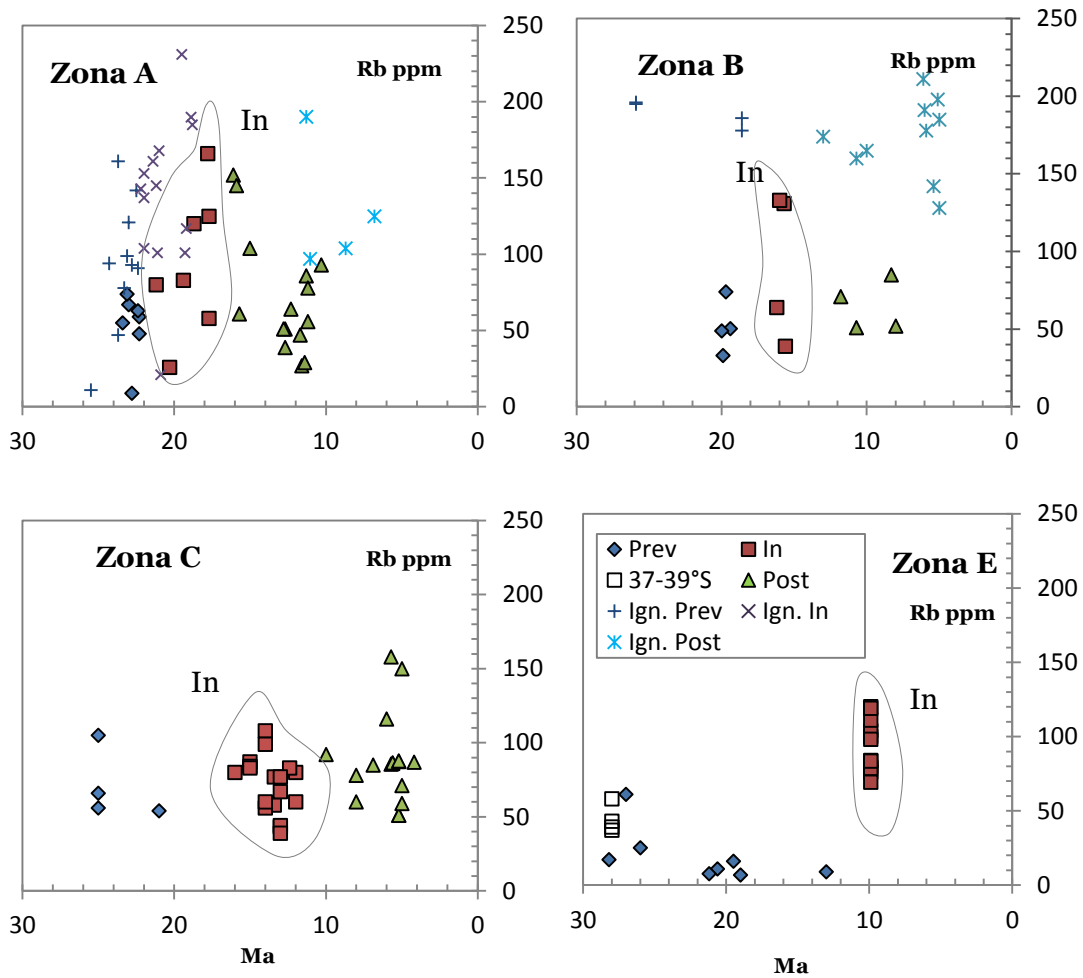


Figura 10.16: Diagramas de Rb versus edad en las en las zonas B (25-26°S), C (26-28°S), D (29-31°S) y E (32-33,5°S). Se observa una tendencia a valores más elevados en los períodos incidentes para cada zona. Los valores máximos están en un rango de 26-166 ppm en lavas y llegan a 231 en ignimbritas.

Cr (ppm)

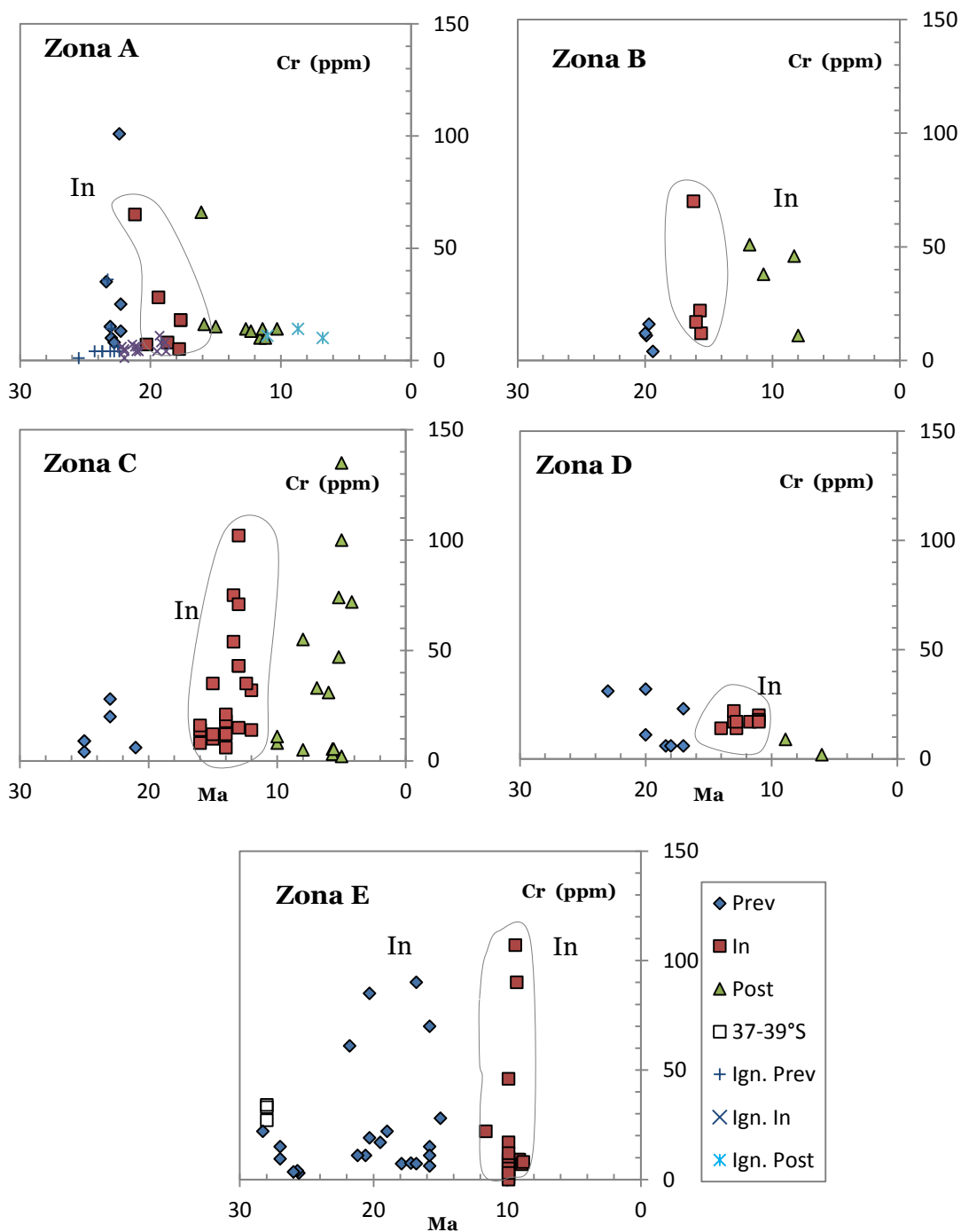


Figura 10.17: Diagramas de la concentración de Cr versus edad. Los valores máximos se alcanzan en las zonas C y E (26-28°s) y (31-33°S) respectivamente, y llegan a ~100 ppm. En la Zona C el aumento es continuo en un grupo de muestras del período posterior al paso estimado de la dorsal. Una tendencia opuesta se observa en la Zona D.

Ni (ppm)

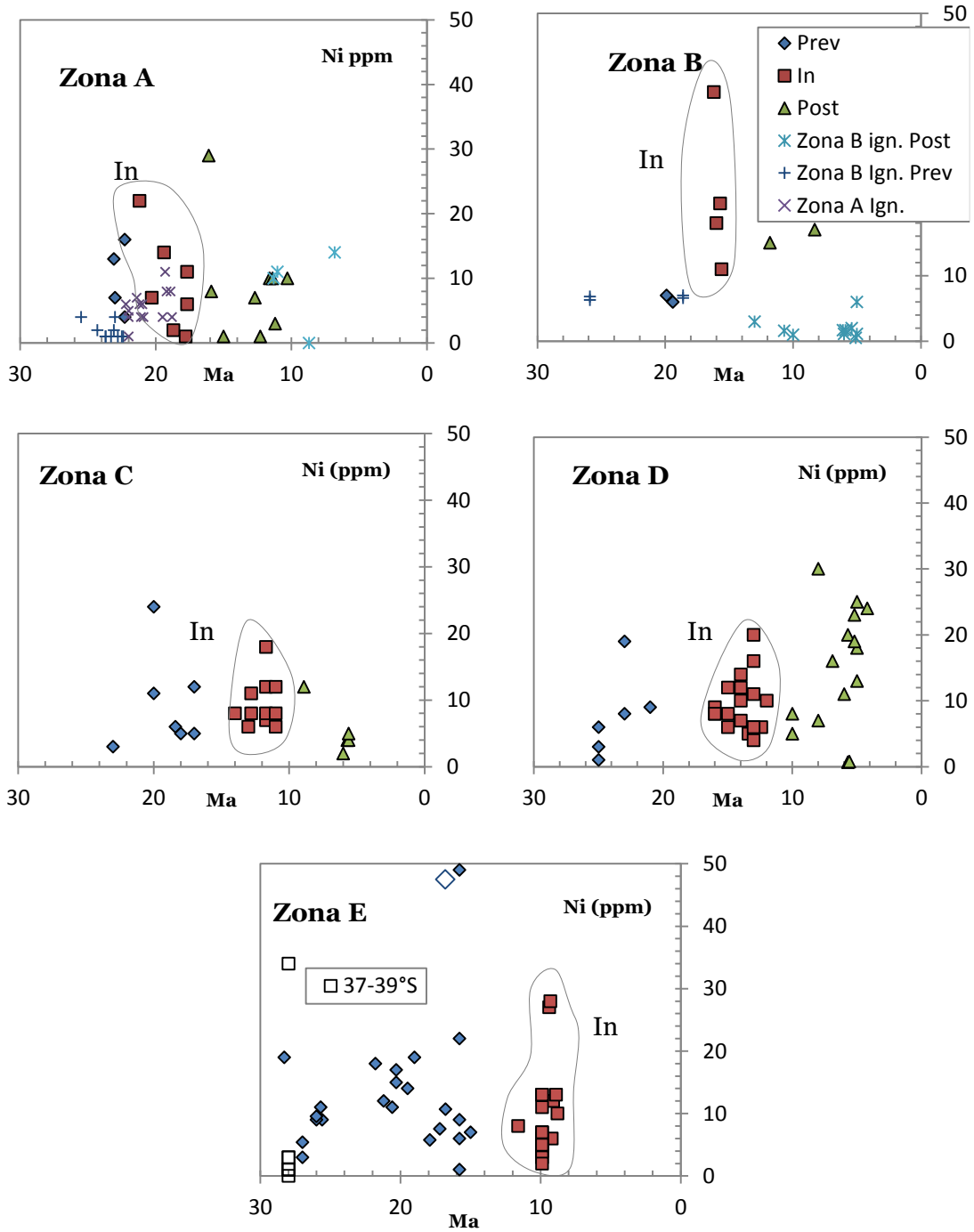


Figura 10.18: Diagramas de la concentración de Cr y Ni (ppm) versus edad en las en las zonas A (18-19°S), B (25-26°S), C (26-28°S), D (29-31°S) y E (32-33,5°S). Las concentraciones máximas de los períodos de incidencia en cada zona fluctúan entre 16 y 38 ppm.

11. Anexo 2. Tablas de Valores por Zona

Tabla 11.1 Concentraciones y razones de elementos traiza, tierras raras e isótopos anteriores a la subducción de la Dorsal de Juan Fernández por zona.

Tabla 11.1	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E
Rb	9-78	33-71	54-105		9-129
Cs		2,1-1,3	1-6,6	0,2-5,8	1,2-6,4
U		0,9-6,2	1,2-1,4	0,2-5,4	1,11-5,8
Th		3,79-2,3	3,6-5,4	2,3-26,3	1,71-9
Sr		331-834	429-611	348-611	111-792
Cr	8-101	4-16	9-28	6-32	7,2-290
Ni,	4-126	6,6-7	1-19	3-24	5-113
Ba/Ta		322-864	448-1369	411-1214	
Ba/La,	13,5-41,5	23,2-25,3	18,3-33	17,5-37,4	8,4-77,3
Ba/Zr,	3,6-16,7	2,3-3,46	4,2-7,9		1,9-4,9
Ba/Th		114-193	78-165,5	20-233	
Cs/Th		0,07-0,55	0,23-1,2	0,16-1,04	0,21-1,6
La/Ta		14-45,7	51-61	20-35	23-37,6
Th/La		0,136-0,66	0,18-0,25	0,14-0,88	0,1-0,9
(La/Yb)_N,	4,8-13,5	6-11,5	6,5-13,5	4,9-14,8	2,1-24,8
(La/Sm)_N	4,8-9,7	2,4-3,1	2,6-3,5	2,0-4,7	1,4-4,3
(Sm/Yb)_N	2,2-3,0	2,6-3,7	2,5-3,9	2,1-3,3	0,96-7,5
εNd		-1,3	4,3; -2,2	-0,1;1,2	2,7-3,7
⁸⁷Sr/⁸⁶Sr		0,70567-0,70596	0,7039-0,70559	0,70345-0,7047	0,70383-0,70498
²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb		18,596-18,74		18,329-18,374	
²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb		15,604-15,638		15,557-15,631	
²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb		38,298-38,392		38,458-38,558	

Tabla 11.2 Concentraciones y valores de razones de elementos traza e isótopos durante los períodos de incidencia de la Dorsal de Juan Fernández

Tabla 11.2	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E
Rb	21-231	39-133,	39-108.		76,2-120
Cs		1,6-9,5;	0,9-12,2	2,09-10,7	0,68,-7,7
U		0,47-5,2,	0,47-5,2	1,9-8,8	1,07-1,67
Th		3,37-18,4	2,8-9,9	5,61-24,8	3,64-6,2
Sr	327-680	471-634	549-820	450-680	306-776
Cr	18-65	12-70	12-102	14-22	1-46
Ni,	6-22	11-38	4-20	6-18	
Ba/Ta		584-1265	657-1795	407-2073	11,41-755,7
Ba/La	7,4-42,2	14,2-52,7	23,6-56,4	16,9-35,8	18,4-42,3
Ba/Zr	2,6-10,2	2,8-3,01	3,7-5,6		
Ba/Th		27,8-150.	21,75-66,8	17,85-125,6.	35-149
Cs/Th		0,37-0,53;	0,26-1,56	0,37-1	0,15-0,7
La/Ta		32,9-57,5;	24-57	20 a 63	18-54,5
Th/La		0,12-0,42.	0,14-0,64	0,23 -0,94	0,19-0,96
(La/Yb)_N,	4,8-19,4	9,7-11,81,	11,1-17,8	13,4-36,2	6,5-81
(La/Sm)_N	2,08-7,21	3,1-3,84,	2,87-7,04	3,33-4,8	2,7-5,5
(Sm/Yb)_N	2,06-2,7	3,07-3,6	3,11-4,88	3,99-7,66	2,3-14,7
εNd		-1,5 a -2,8	-2,4	-1 a 0,6	-0,3 a 2,7
⁸⁷Sr/⁸⁶Sr		0,707-0,70596	0,705110-0,70606	0,70499-,70523	0,70439-0,70471
²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb		18,717-18,772 and. 18,91 a 19,115 ign.		17,857-18,644	
²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb		15,631-15,641 and 15-651-15,693 ign.		15,485 15,614	
²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb		38,776-38,735 and.		38,549-38,987	

Tabla 11.3 Concentraciones y valores de razones de elementos traza e isótopos posteriores a la subducción de la Dorsal de Juan Fernández por zona.

Tabla 11.3	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D
Rb	27-152	33-74	51-116	
Cs		3,2-11	0,7-5,6	1,1-7,2
U		1-2,8	0,9-7	1,1-3,8
Th		3,7-9,5	1,5-14	4,2-18,4
Sr	331-834	497-775	458-800	40-672
Cr	10-66	11-51	3-135	2-9
Ni,	1-29	15-24	5-30	2-12
Ba/Ta		839-1798	707-2342	664-1314
Ba/La,	8,7-54,5	16,2-21,3	57,3-69,2	17,9-49
Ba/Zr,	3,4-10	2,8-3,5	4,2-7,3	
Ba/Th		56,2-162,4	73,5-154,6	41,7-129,6
Cs/Th		0,25-1,45	0,2-0,6	0,04-0,6
La/Ta		39,3-115,5	57-69	17-83
Th/La		0,1-0,4	0,18-0,25	0,2-0,38
La/Yb_n,	8,7-19	14,3-24,9	2,21-47,8	9-22,8
La/Sm_n	2,5-4,1	2,5-5,2	3,9-4,7	3,1-3,9
Sm/Yb_n	2,8-6,6	3,9-4,9	0,6-9	0,6-4,8
εNd		-1,8; -4,9	-2,5; -3,3	1,3; -2
⁸⁷Sr/⁸⁶Sr		0,70606-0,70737	0,705554-0,705933	0,07337-0,706371
²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb		18,695-18,86		17,857-18,667
²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb		15,651-15,693		15,485-15,626
²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb		37,458-38,458		38,298-38,392

12. Anexo 3. Tablas de Geoquímica.

Tabla 12.1 Geoquímica de la Zona A (18-19°S)

Código	Referencia	Formación/Lugar	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO
MAL-9	García et al., 2004	Fm. Oxaya. Tobas	71,4	0,15	11,97	1,15	0,06
MAL-101	García et al., 2004	Fm. Oxaya. Tobas	71,35	0,15	13,02	1,18	0,2
MAL-156	García et al., 2004	Ign. Poconchile	70,88	0,13	13,21	1,1	0,09
MAL-211	García et al., 2004	Ign. Poconchile	70,14	0,13	13,75	1,3	0,17
MAL-159	García et al., 2004	Ign. Cardones	71,52	0,11	12,68	0,87	-
MAL-150	García et al., 2004	Ign. Molinos	74,98	0,15	12,97	1,22	0,08
MAL-145	García et al., 2004	Ign. Molinos	69,1	0,41	15,63	3,36	0,07
MAL-206	García et al., 2004	Ign. Molinos	68,53	0,28	14,41	2,46	0,08
MAL-155	García et al., 2004	Ign. Molinos	75,46	0,08	12,02	1,1	0,03
MAL-123	García et al., 2004	Andesita Socoroma	56,72	0,74	18,25	5,8	1,69
MAL-194	García et al., 2004	Fm. Lupica. Lavas y brechas parte inf.	56,94	0,76	17,47	4,33	2,26
MAL-54	García et al., 2004	Fm. Lupica. Lavas y brechas parte inf	58,37	0,68	17,63	4,51	2,38
MAL-124	García et al., 2004	Fm. Lupica. Lavas y brechas parte inf	58,34	0,67	18,24	4,45	2,32
MAL-134	García et al., 2004	Fm. Lupica. Lavas y brechas parte inf	59,53	0,74	16,12	1,82	1,94
MAL-235	García et al., 2004	Fm. Lupica. Lavas y brechas parte inf	61,81	0,63	16,22	0,86	2,38
MAL-60	García et al., 2004	Fm. Lupica. Tobas parte media	77,24	0,07	11,76	4,14	0,07
MAL-219	García et al., 2004	Cerro Cortacollo	58,18	0,83	16,32	3,93	2,51
MAL-186	García et al., 2004	Fm. Oxaya. Ign. Oxaya	71,8	0,28	13,73	1,42	0,13
MAL-199	García et al., 2004	Fm. Oxaya. Ign. Oxaya	60,73	0,5	18,01	4,5	0,67
MAL-116	García et al., 2004	Fm. Oxaya. Ign. Oxaya	74,04	0,18	13,55	1,24	0,15
MAL-1a	García et al., 2004	Fm. Oxaya. Ign. Oxaya	75,52	0,16	12,89	1,09	0,02
MAL-37	García et al., 2004	Fm. Oxaya. Ign. Oxaya	75,41	0,13	12,55	0,73	0,1
MAL-1b	García et al., 2004	Fm. Oxaya. Ign. Oxaya	77,7	0,17	11,57	0,58	0,01
3_1	García et al., 2004	Fm. Oxaya. Ign. Oxaya	73,84	0,13	9,96	1	-
MAL-209	García et al., 2004	Fm. Oxaya. Ign. Oxaya	78,19	0,1	9,78	0,66	0,04
MAL-82	García et al., 2004	Ign. Sucuna	67,91	0,45	14,52	3,71	0,4
MAL-130	García et al., 2004	Ign. Sucuna	73,11	0,15	11,72	1,16	0,01
MAL-115	García et al., 2004	Ign. Sucuna	74,71	0,15	12,78	0,77	0,14
MAL-141	García et al., 2004	Dacita R. Tignámar	63,73	0,61	15,69	2,6	1,71
MAL-192	García et al., 2004	Lavas y brechas parte inf.	58,82	0,77	16,33	3,85	2,93
MAL-137	García et al., 2004	Lavas y brechas parte inf.	62,19	0,59	15,69	2,66	2,37
MAL-114	García et al., 2004	Tobas parte media	75,13	0,19	11,31	1,17	0,05
MAL-53	García et al., 2004	Tobas parte media	77	0,11	11,89	0,68	0,13
MAL-131	García et al., 2004	Tobas parte media	78,14	0,1	11,45	0,55	0,06
MAL-269	García et al., 2004	Tobas parte media	76,3	0,14	12,05	0,71	0,03
MAL-92	García et al., 2004	Ign. Cordón Belén	67,48	0,45	15,68	3,79	0,58
MAL-113	García et al., 2004	V. Quevilque	59,23	0,173	17,8	2,69	3,27
MAL-56	García et al., 2004	Domo Laguna Paquisa	68,39	0,53	15,21	2,6	0,13
MAL-133	García et al., 2004	Lavas parte superior	65,23	0,63	16,17	3,65	0,48
MAL-86	García et al., 2004	V. Mogote	62,01	0,73	16,21	3,46	2,07
MAL-51	García et al., 2004		63,71	0,8	15,77	4,02	1,16
MAL-96	García et al., 2004	Qda. Guacapeque	65,87	0,57	16,02	4,08	0,53
MAL-80	García et al., 2004	V. Sucuna	56,4	0,91	17,76	3,78	3,81
MAL-93	García et al., 2004	V. Sucuna	57,16	0,77	18,61	2,89	4,14
MAL-65	García et al., 2004	V. Sucuna	61,41	0,77	16,81	2,79	2,37
G-43	García et al., 2004	Fm. Zapahuira	54,91	0,72	17,57	7,41	-
G-44	García et al., 2004	Fm. Zapahuira	54,7	0,77	17,32	7,95	-
G-45	García et al., 2004	Fm. Zapahuira	56,31	0,92	18,2	7,67	-

MAL-121	García et al., 2004	Fm. Zapahuira	57,17	0,82	17,74	3,04	4,19
MAL-139	García et al., 2004	Fm. Zapahuira	61,28	0,79	16,83	3	2,33
G-25	García et al., 2004	Fm. Zapahuira	63,57	0,76	16,46	5,01	-
MAL-64	García et al., 2004	Fm. Macusa	61,58	0,66	17,12	4,21	1,43
MAL-62	García et al., 2004	Fm. Macusa	61,64	0,66	16,12	3,87	1,97
M-3	García et al., 2004	Fm. Macusa	60,76	0,74	16,15	5,73	-
M-1	García et al., 2004	Fm. Macusa	64,67	0,65	15,84	4,13	-
M-2	García et al., 2004	Fm. Macusa	75,04	0,14	12,99	1,2	-
MAL-142	García et al., 2004	Fm Huaylas	67,35	0,25	15,23	1,72	0,2
MAL-63	García et al., 2004	V. Marquez	62,48	0,68	15,9	3,49	0,92
MAL-94	García et al., 2004	V. Familiarani	64,29	0,57	16,33	3,12	0,8
MAL-117	García et al., 2004	Intrusivos Lluta	61,32	0,63	16,64	2,63	2,5
MAL-151	García et al., 2004	Intrusivos Lluta	62,27	0,79	15,8	1,58	3,41
MAL-157	García et al., 2004	Qda. Cardones	62,43	0,88	15,21	1,87	4
MAL-2	García et al., 2004	Formación Suca	61,39	1,2	14,73	6,93	1,91
MUR-43	Kohlbach, 1999	Quebrada Murmuntani	-	-	-	-	-
MUR-44	Kohlbach, 1999	Quebrada Murmuntani	-	-	-	-	-
CAP-45	Kohlbach, 1999	Chapiquiña	-	-	-	-	-
ZAP-6	Kohlbach, 1999	Fm. Zapahuira	-	-	-	-	-
ZAP-7	Kohlbach, 1999	Fm. Zapahuira	-	-	-	-	-
MAM-10	Kohlbach, 1999	Volcán Mamuta	-	-	-	-	-
MAM-11-1	Kohlbach, 1999	Volcán Mamuta	-	-	-	-	-
MAM-22	Kohlbach, 1999	Volcán Mamuta	-	-	-	-	-
CMA-11	Kohlbach, 1999	Cerro Margarita	-	-	-	-	-

Código	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total	Cr	Ni	V	Ba	Rb
MAL-9	0,05	1,17	1,65	1,82	3,2	0,03	7,3	99,88	36	<2	10	659	78
MAL-101	0,09	0,73	1,54	2,83	3,89	0,21	4,5	99,65	<2	4	23	788	11
MAL-156	0,1	1,33	2,34	2,43	2,6	0,05	5,4	99,68	<5	<2	9	617	47
MAL-211	0,09	2,17	1,72	2,65	2,54	0,11	5,2	99,84	<5	2	13	646	94
MAL-159	0,04	0,54	3,04	2,24	3,25	0,06	5,6	99,91	<5	<2	10	368	93
MAL-150	0,05	0,58	1,42	2,98	4,51	0,07	0,9	99,86	6	<2	17	791	142
MAL-145	0,08	1,08	3,13	3,6	3,82	0,15	0,4	99,81	14	4	52	879	121
MAL-206	0,08	0,95	2,55	3,05	4,2	0,25	3,0	99,84	<5	2	50	941	99
MAL-155	0,05	0,65	1,3	2,26	4,54	0,1	2,3	99,76	<5	<2	11	994	91
MAL-123	0,09	2,86	7,08	3,8	1,5	0,23	0,9	99,61	25	16	208	405	48
MAL-194	0,1	3,05	7,44	3,61	2,43	0,22	1,6	99,9	35	52	163	937	55
MAL-54	0,1	2,69	6,74	3,48	2,38	0,2	0,7	99,89	10	7	148	872	67
MAL-124	0,23	2,82	6,39	4	1,82	0,06	0,6	99,54	13	4	144	490	59
MAL-134	0,13	3,93	6,37	3,38	2,19	0,21	1,3	99,87	101	40	154	613	63
MAL-235	0,09	2,45	5,89	3,04	1,43	0,14	0,7	99,53	15	13	157	704	74
MAL-60	0,07	0,15	0,5	2,86	5,35	0,04	2,5	99,9	<5	8	8	480	168
MAL-219	0,1	2,43	7,38	3,4	2,99	0,2	3,8	99,71	8	126	<5	1190	71
MAL-186	0,06	0,46	1,39	3,67	4,36	0,08	2,2	99,96	6	<2	208	897	145
MAL-199	0,08	1,97	5,67	4,17	1,73	0,29	1,0	99,66	7	7	94	635	26
MAL-116	0,05	0,35	1,3	3,49	4,9	0,04	0,7	99,96	7	<2	20	781	161
MAL-1a	0,04	0,22	0,94	3,51	5,22	0,06	0,4	99,79	5	<2	17	878	137
MAL-37	0,06	0,18	0,78	3,63	5,73	0,04	0,5	95,98	<5	<2	5	238	21
MAL-1b	0,05	0,26	0,49	3,09	5,78	0,04	0,2	99,93	<5	<2	6	280	153
3_1	0,03	0,19	2,32	3,49	3,53	0	4,8	99,3	1	0	4	650	104
MAL-209	0,08	1,58	0,72	2,58	4,42	0,17	1,7	99,88	<5	11	13	594	101
MAL-82	0,06	1,11	3,63	3,46	3,14	0,16	1,4	99,95	11	6	94	977	101
MAL-130	0,06	0,35	2,07	3,11	4,9	0,09	2,9	99,64	8	<2	16	551	117
MAL-115	0,05	0,25	0,56	2,47	5,7	0,06	2,1	99,69	8	<2	7	309	190
MAL-141	0,06	2,19	4,32	4	3,16	0,22	1,2	99,52	46	15	98	928	96
MAL-192	0,14	3,47	6,43	3,28	2,38	0,18	1,3	99,87	65	22	154	889	80

MAL-137	0,1	2,04	5,79	2,97	2,79	0,14	2,6	99,9	28	14	124	830	83
MAL-114	0,04	0,35	0,57	1,91	5,96	0,05	0,7	99,52	6	<2	11	815	143
MAL53	0,05	0,23	0,56	3,06	5,4	0,04	0,7	99,87	<5	2	8	361	185
MAL-131	0,06	0,1	0,48	3,25	5,1	0,05	0,3	99,87	6	<2	<5	303	168
MAL-269	0,01	0,13	0,51	3,11	5,8	0,09	1,1	99,63	<5	<2	7	399	231
MAL-92	0,06	0,78	3,15	3,77	3,05	0,19	0,7	99,65	8	2	81	758	120
MAL-113	0,1	2,73	6,06	3,69	2,55	0,2	0,8	99,55	18	6	136	709	58
MAL-56	0,04	0,56	1,87	4,08	5,66	0,17	0,7	98,7	5	<2	33	1400	166
MAL-133	0,06	0,96	3,89	3,96	3,55	0,21	0,8	99,54	18	11	104	1420	125
MAL-86	0,09	2,64	4,74	3,45	3,3	0,28	0,6	99,54			117	875	152
MAL-51	0,05	1,48	3,9	3,53	4,32	0,28	0,9	99,91	66	29	116	1000	145
MAL-96	0,08	1,04	3,59	3,75	2,92	0,22	1,2	99,83	16	8	94	919	104
MAL-80	0,13	2,86	6,86	4,44	1,48	0,23	1,1	99,73	15	<2	90	653	27
MAL-93	0,13	2,96	6,29	3,97	1,6	0,31	0,7	99,52	10	10	142	674	29
MAL-65	0,06	2,05	4,99	3,75	3,25	0,22	1,3	99,7	14	10	117	1800	51
G-43	0,1	4,33	6,98	3,56	1,68	0,25	2,2	99,71	14	7	-	587	51
G-44	0,11	3,71	6,84	3,76	1,6	0,29	2,5	99,71	-	-	-	660	39
G-45	0,12	3,25	7,01	3,81	1,8	0,22	0,8	100	-	-	-	545	47
MAL-121	0,12	3,2	6,62	3,39	2,07	0,24	1,1	99,63	-	-	156	548	56
MAL-139	0,06	2,11	4,87	4,07	2,76	0,24	1,3	99,73	10	3	98	909	64
G-25	0,1	1,14	3,94	4,56	2,72	0,26	1,4	99,74	13	4		1113	61
MAL-64	0,09	2,08	4,92	3,65	3,22	0,21	0,4	99,58	11	10	120	850	97
MAL-62	0,07	2,59	5,36	3,51	3,04	0,18	0,8	99,89	14		156	765	93
M-3	0,05	2,02	4,66	2,94	3,3	0,19	3,2	99,71	-			850	86
M-1	0,05	1,21	3,53	4,26	3,34	0,24	1,2	99,05	-	3,54		1282	78
M-2	0,02	0,25	0,47	3,36	4,69	0	1,6	99,75	0	<2	241	372,5	190
MAL-142	0,06	1,57	2,32	2,53	3,06	0,1	5,1	99,51	15	10	111	815	104
MAL-63	0,08	2,01	4,8	3,37	3,82	0,22	2,2	99,91	20	4	75	1100	71
MAL-94	0,06	3,74	1,43	3,66	3,55	0,25	1,8	99,55	10	-	-	1260	125
MAL-117	0,08	2,84	5,1	3,64	3,05	0,18	1	99,59	34	18	115	618	99
MAL-63	0,09	2,24	4,35	3,44	4,9	0,19	0,7	99,77	25	11	124	624	169
MAL-157	0,1	2,52	4,72	3,11	3,45	0,21	1	99,52	33	7	137	364	226
MAL-2	0,16	1,45	3,51	3,76	4,49	0,33	1,2	99,55	34	5	45	402	100
MUR-43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	574,9	117,
MUR-44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24	242	545,4	127
CAP-45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	454,4	35,6
ZAP-6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27,1	118,	933,2	58,1
ZAP-7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,1	129,	798,5	71,2
MAM-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,1	132	686,6	32,4
MAM-11-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16,2	70	741,5	32,9
MAM-22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24	-	682,6	55,1
CMA-11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,3	102,	870,8	71

Código	Sr	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er
MAL-9	463	31	60	-	19	-	-	-	-	-	-	-
MAL-101	185	19	39	-	16	-	-	-	-	-	-	-
MAL-156	183	30,1	56,2	-	18,7	3,3	0,5	2,7	0,5	2,3	0,5	1,3
MAL-211	157	33	56	-	23	-	-	-	-	-	-	-
MAL-159	520	16,8	25,3	-	10,4	2	0,3	2	0,4	2,1	0,5	1,6
MAL-150	164	26	49	-	16	-	-	-	-	-	-	-
MAL-145	331	28	52	-	19	-	-	-	-	-	-	-
MAL-206	290	31	53	-	21	-	-	-	-	-	-	-

MAL-155	218	34	55	-	18	-	-	-	-	-	-	-
MAL-123	538	11	30	-	19	-	-	-	-	-	-	-
MAL-194	647	-	-	-	23,4	4,6	1,3	3,6	0,6	3	0,7	1,7
MAL-54	615	-	-	-	27							
MAL-124	541	-	-	-	14,2	3,4	0,8	3,4	0,6	2,7	0,6	1,4
MAL-134	394	-	-	-	21,8	4,5	1,1	3,9	0,7	3,9	0,8	2,2
MAL-235	834	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAL-60	34	112	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAL-219	510	139	8	-	19	-	-	-	-	-	-	-
MAL-186	162	35,4	63,9	-	16	3,5	0,5	2,8	0,5	2,3	0,5	1,3
MAL-199	542	18	35	-	18,7	-	-	-	-	-	-	-
MAL-116	156	25	48	-	23	-	-	-	-	-	-	-
MAL-1a	156	37	73	6,8	10,4	-	-	-	-	-	-	-
MAL-37	53	26	59	5,3	16	-	-	-	-	-	-	-
MAL-1b	34	38	69	-	19	3,4	0,6	2,4	0,4	1,9	0,4	1,2
3_1	113	8,7	52,6	-	21	2,7	0,4	2,2	0,3	2	0,4	1,2
MAL-209	71	28	52	-	18	-	-	-	-	-	-	-
MAL-82	411	29	52	-	19	-	-	-	-	-	-	-
MAL-130	105	27	57	-	23,4	-	26	-	-	-	-	-
MAL-115	40	35	62	-	27	-	-	-	-	-	-	-
MAL-141	680	30	63	-	14,2	-	-	-	-	-	-	-
MAL-192	451	-	-	-	21,8	-	-	-	-	-	-	-
MAL-137	424	-	-	-	20,06	3,8	0,9	3	0,6	3,1	0,6	1,8
MAL-114	79	-	-	-	40	-	13	-	-	-	-	-
MAL53	39	-	-	-	24,2	-	19	-	-	-	-	-
MAL-131	34	-	51	-	35,4	-	-	-	-	-	-	-
MAL-269	48	30,2	63,5	-	23	3,9	0,5	3,2	0,6	3,2	0,7	2
MAL-92	382	29	55	-	34							
MAL-113	568	-	-	-	20,8		1,1	3,2	0,6	2,7	0,5	1,6
MAL-56	327	-	-	-	28,7							
MAL-133	540	33,6	69,6	-	20,06	4,4	1	2,8	0,5	1,9	0,3	0,9
MAL-86	532	22,1	42,5	-	40	4,7	1,2	3,9	0,7	3,4	0,7	1,9
MAL-51	475	52	97		24,2							
MAL-96	442	28,9	58,6		35,4	4,5	1,1	3,5	0,6	3,3	0,6	1,9
MAL-80	592	42,4	90,3		23	6,7	1,2	4,2	0,7	3,2	0,6	1,7
MAL-93	641	18	41		34							
MAL-65	712	33	61		20,8							
G-43	649	20,5	43,6	-	28,7	4,8	1,2	4,3	0,6	3,3	0,7	2
G-44	668	26,4	51	-	19,2	6,5	1,6	6,2	0,9	4,7	1	2,8
G-45	621	18,4	39,3	-	22,9	4,4	1,1	3,9	0,6	2,9	0,6	1,8
MAL-121	504	20,6	45,3	-	33	5,3	1,2	4,4	0,7	3,7	0,7	2,2
MAL-139	660	32	73	-	31,6							
G-25	675	35,6	71,6	-	25	6,7	1,6	5,4	0,7	3,4	0,7	1,9
MAL-64	498	27,6	57,7	-	25	5,3	1	3,6	0,6	3,2	0,6	1,9
MAL-62	522	27	52	-	26,1							

M-3	597	29,6	60,7	-	35,5	5,7	1,3	4,8	0,6	3,4	0,7	2
M-1	713	41,6	83	-	33,7	7,1	1,6	5,5	0,7	2,9	0,5	1,5
M-2	34	42,7	85,6	-	20	6,1	0,5	5,3	0,9	5,4	1,1	3,3
MAL-142	238	40	65	-	27	-	-	-	-	-	-	-
MAL-63	796	28	60	-	24,6	-	-	-	-	-	-	-
MAL-94	630	33,7	61,8	-	14,7	4,2	1	2,3	0,4	1,5	0,3	0,6
MAL-117	384	13,5	27,5	3,4	27	3,3	0,9	2,8	0,5	2,6	0,5	1,4
MAL-151	257	26	57	-	33	-	-	-	-	-	-	-
MAL-157	222	35,3	74,1	8,5	32,1	6,6	1	5,7	0,9	5,3	1,1	3,1
MUR-43	402,6	29	60	19	30,6	4,9	0,9	7,1	0,7	3,3	0,7	2,1
MUR-44	358,8	27,9	57,6	7,9	20,5	4,5	1,1	7,1	0,8	3,9	0,7	3,1
CAP-45	582,8	20,6	47,5	5,3	20,8	3,9	1,0	3,8	0,4	2,6	0,5	1,3
ZAP-6	537	25,8	50	5,8	23,2	3,4	0,7	3,4	0,4	2,2	0,4	1,2
ZAP-7	577,8	26,9	55,2	6,4	17,1	4,0	0,7	3,7	0,5	2,7	0,5	1,4
MAM-10	706,6	16,4	35,6	4,4	18	3,3	0,8	2,9	0,4	2,2	0,4	1,1
MAM-11-1	636,3	18	38,5	4,7	17,7	3,3	0,9	3,1	0,4	2,2	0,4	1,1
MAM-22	428,4	17	34,9	4,1	22,7	2,8	1,5	4,3	0,4	2,1	0,3	1,0
CMA-11	592,3	27,5	53,9	6,0		4,0	0,9	3,4	0,4	2,1	0,4	0,9

Código	Yb	Lu	Hf	Ta	Cs	Zr	Nb	Y	Sc	Th	U	Edad (Ma)	Método
MAL-117	1,4	-	-	-	-	162	5	17	-	-	-	54,5±1,3	K-Ar biotita
MAL-151	-	-	-	-	-	252	9	25	-	-	-		
MAL-157	3,2	-	-	-	-	178	8	36,2	-	-	-	66±2,0	K-Ar biotita
MAL-2	-	-	-	-	-	241	8	21	-	-	-	60,9±0,5	U-Pb
MAL-9	-	-	-	-	-	93	9	16	-	-	-	23,3±0,3	
MAL-101	-	-	-	-	-	86	11	14	-	-	-	25,5±0,6	
MAL-156	1,6	0,2	-	-	-	102	8	12,4	-	-	-	23,7±0,5	
MAL-211	-	-	-	-	-	129	9	12	-	-	-	24,3±0,3	Ar-Ar en biotita
MAL-159	1,7	0,3	-	-	-	57	5	17,4	-	-	-	22,8±0,7	
MAL-150	-	-	-	-	-	80	9	11	-	-	-	22,5±0,7	
MAL-145	-	-	-	-	-	149	9	14	-	-	-	23±0,6	
MAL-206	-	-	-	-	-	123	8	13	-	-	-	23,1±0,7	
MAL-155	-	-	-	-	-	102	6	9	-	-	-	22,4±0,7	
MAL-123	-	-	-	-	-	111	5	16	-	-	-	22,3±0,9	
MAL-194	1,7	0,3	-	-	-	160	6	16,1	-	-	-	23,4±0,8	
MAL-54	-	-	-	-	-	194	6	13	-	-	-	23	
MAL-124	1,7	0,3	-	-	-	137	5	12,5	-	-	-	22,3±0,3	
MAL-134	2,2	0,3	-	-	-	171	5	20,2	-	-	-	22,4±1,1	
MAL-235	-	-	-	-	-	132	7	16	-	-	-	23,1±0,3	
MAL-60	-	-	-	-	-	161	55	3	-	-	-	23,7±0,6	
MAL-219	-	-	-	-	-	71	510	36	-	-	-	22,8±0,8	Ar-Ar sanidina
MAL-186	1,8	0,3	-	-	-	175	12	12,3	-	-	-	21,2 ±0,5	K-Ar biotita
MAL-199	-	-	-	-	-	146	5	14	-	-	-	20,3±0,9	
MAL-116	-	-	-	-	-	89	10	14	-	-	-	21,4±0,7	
MAL-1a	-	-	-	-	-	117	12	14	-	-	-	22±0,6	
MAL-37	-	-	-	-	-	91	19	21	-	-	-	20,9±0,7	
MAL-1b	1,4	0,2	-	-	-	100	11	13,5	-	-	-	22±0,6	

3_1	1,3	0,2	3	-	-	86	9	10,7	-	-	-	22	
MAL-209	-	-	-	-	-	73	9	12	-	-	-	21,1±0,9	
MAL-82	-	-	-	-	-	137	11	18	-	-	-	19,3±0,8	
MAL-130	-	-	-	-	-	103	11	15	-	-	-	19,2±0,8	
MAL-115	-	-	-	-	-	104	13	28	-	-	-	18,9±1,3	
MAL-141	-	-	-	-	-	151	6	11	-	-	-	19,15±0,7	Ar-Ar biotita
MAL-192	-	-	-	-	-	145	5	17	-	-	-	21,2±0,3	
MAL-137	1,8	0,3	-	-	-	145	5	16,4	-	-	-	19,4±0,7	
MAL-114	-	-	-	-	-	80	8	9	-	-	-	22,2±0,7	
MAL53	-	-	-	-	-	96	14	19	-	-	-	18,8±0,6	
MAL-131	-	-	-	-	-	79	11	18	-	-	-	21±0,7	
MAL-269	2,1	0,4	-	-	-	89	25	26,2	-	-	-	19,5±0,2	
MAL-92			-	-	-	147	9	15	-	-	-	18,7±0,7	
MAL-113	1,5	0,2	-	-	-	160	5	14,8	-	-	-	17,7±0,6	
MAL-56			-	-	-	404	18	21	-	-	-	17,8±0,5	
MAL-133	0,8	0,1	-	-	-	201	6	8,7	-	-	-	17,7±0,6	
MAL-86	1,7	0,3	-	41	-	255	10	19,5	-	-	-	16,1±0,6	
MAL-51			-	52,8	-	274	11	20	-	-	-	15,9±0,5	
MAL-96	1,8	0,3	-	36,8	-	147	8	16,8	-	-	-	15,8±0,7	
MAL-80	1,6	0,2	-	-	-	144	5	16,7	-	-	-	11,6±0,4	
MAL-93			-	-	-	142	5	16	-	-	-	12,7±0,8	
MAL-65			-	44,5	-	180	7	12	-	-	-	12,8±0,4	
G-43	1,7	0,3	4,5	0,5	-	150	7	19,8	-	-	-	12,7±0,2	
G-44	2,1	0,4	4,8	0,5	-	159	8	29	-	-	-	11,7±0,6	
G-45	1,5	0,3	4,1	0,5	-	140	7	17,3	-	-	-	16,2±4	
MAL-121	2	0,3			-	156	5	19,7	-	-	-	12,3±0,4	Ar-Ar biotita
MAL-139					-	199	6	19	-	-	-	15,7±0,6	
G-25	1,6	0,3	5,5	0,8	-	195	12	21,3	-	-	-	11,4±0,7	
MAL-64	1,8	0,3			-				-	-	-	10,30,4	
MAL-62					-				-	-	-	11,3	
M-3	1,8	0,3	5,8	0,8					-	-	-	11,2	
M-1	1,2	0,3	7,4	1								11,3	
M-2	3,4	0,5	6,2	1,7								8,7±1,0	
MAL-142												9,2±0,4	K-Ar biotita
MAL-63												6,8±0,7	K-Ar roca total
MAL-94	0,6	0,1											Cretácico Superior Ar-Ar biotita
MUR-43	1,7	0,3	1,4	2,6	3,6			18,8	13,8	21,3	2,7		Cretácico Superior
MUR-44	1,9	0,2	1,5	0,7	5,3			19,5	14,6	20,5	3,8		Cret. Sup- Eoceno
CAP-45	1,1	0,2	1,4	2,6	0,7			12,2	23,9				20,02 ±0,3
ZAP-6	1,2	0,2	2,0	1,4	2,1			11,9	13,2	5,2	1,0		18,7 ±0,8 Ar-Ar anf
ZAP-7	1,5	0,2	2,0	2,0	2,0			13,6	14	6,2	1,1		9,1±0,6 Ar-Ar hbl
MAM-10	1,1	0,2	1,5	1,2	0,8			10,5	11,3	1,4	0,4		7,4±0,8 K-Ar roca

MAM-11-1	1,1	0,2	1,6	1,4	0,9			11	8,5	1,7	0,4	10,5	K-Ar roca
MAM-22	1,0	0,2	3,7	1,8	5,3			9,8	11,9	5,6	1,0	9,18±0,33	K-Ar roca
CMA-11	0,9	0,1	1,3	1,9	3,0			13,5	10,2	6,0			

Tabla 12.2 Geoquímica de la Zona B (25-26°S)

Código	Referencia	Formación/Lugar	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO
Colo-2-5	Trumbull et al., 1999	Colorado	57,1	1,02	17,67	7,5	-
Colo-1-33	Trumbull et al., 1999		62,3	0,76	16,69	6,14	-
Leon-2-3	Trumbull et al., 1999	León Muerto	52,4	1,22	16,65	9,65	-
Leon-1-32a	Trumbull et al., 1999		57,3	0,82	18,86	7,16	-
Qcn-94-2r7	Trumbull et al., 1999	Río Frío I	67,1	0,423	13,78	2,49	-
Qcn-94-2r1	Trumbull et al., 1999		68,3	0,44	14,15	2,59	-
Qcn-94-2r8	Trumbull et al., 1999	Río Frío II	69,9	0,453	14,46	2,66	-
Qcn-94-2r9	Trumbull et al., 1999		69,9	0,433	14,36	2,55	-
9/10-R23	Trumbull et al., 1999	Chaco	58,8	0,73	18,23	5,7	-
TC 2-3	Trumbull et al., 1999		59,2	0,77	17,15	5,9	-
Blan-2-17	Trumbull et al., 1999	Cerro Blanco	61,7	0,71	16,84	5,12	-
Blan-2-19	Trumbull et al., 1999		61,7	0,71	17,01	5,07	-
AQUA-2-19	Trumbull et al., 1999	Aguas Blancas	57,4	1,2	17,96	7,09	-
Blan-2-23	Trumbull et al., 1999		59,3	0,98	17,37	5,77	-
Fn2-10	Trumbull et al., 1999	Cerro del Azufre	57,7	1,02	17,08	6,95	-
Sat-1-1	Trumbull et al., 1999		61,1	0,78	16,52	6,22	-
Leon-T2r13	Siebel et al., 2001	León Muerto	69,9	0,444	15,13	3,11	-
Trin-97-2b2	Siebel et al., 2001	Trinchera	74	0,156	13,04	0,81	-
Cy-94-1	Siebel et al., 2001	Cíclope	73,5	0,17	13,4	0,88	-
Cy-94-2-b1	Siebel et al., 2001		74,3	0,179	13,2	1,08	-
Jun-97-4	Siebel et al., 2001	Juncalito	73,2	0,176	12,91	1	-
Ped-97-12	Siebel et al., 2001	Pedernales	71,2	0,163	14,2	1,1	-
14r11-S-27	Siebel et al., 2001	Plato Superior	68,7	0,345	14,65	1,97	-
5213-S-23-b1	Siebel et al., 2001	Parinas	70,2	0,228	14,49	1,65	-
Pari-2-17	Siebel et al., 2001		74,1	0,1	13,3	0,75	-
15r10-T-9	Siebel et al., 2001	Azufre	70,4	0,222	13,06	1,6	-

Código	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	LOI	P ₂ O ₅	Total	Cr	Ni	V	Ba	Rb
Colo-2-5	0,13	2,67	6,7	3,65	1,99	-	0,31	99,69	4	6	-	674	221
Colo-1-33	0,15	1,58	5,52	3,51	2,59	-	0,3	99,54	16	0	-	733	206
Leon-2-3	0,16	3,66	7,94	3,57	1,33	-	0,31	98,58	11	7	-	455	194
Leon-1-32a	0,15	2,37	6,9	3,64	2,03	-	0,32	99,55	12	0	-	503	176
Qcn-94-2r7	0,051	0,93	5,22	3,16	4,26	0,61	0,11	99,8	-	6,3	-	662	190

Qcn-94-2r1	0,053	1,06	4,05	3,26	4,21	2,07	0,119	100,4	-	6,8	-	637	194
Qcn-94-2r8	0,054	0,73	2,91	3,38	4,47	0,68	0,06	99,8	-	7	-	609	182
Qcn-94-2r9	0,054	0,87	2,48	3,33	4,28	2,06	0,118	100,1	-	6,6	-	632	196
9/10-R23	0,09	2,86	6,27	4,17	1,62	-	0,24		12	11	-	506	168
TC 2-3	0,09	3,49	6,17	3,95	1,9	-	0,19		70	38	-	484	166
Blan-2-17	0,08	2,54	5,41	3,48	2,79	-	0,17		22	21	-	500	180
Blan-2-19	0,08	2,55	5,47	3,52	2,78	-	0,17		17	18	-	513	178
AQUA-2-19	0,1	2,88	6,5	3,8	2,06	-	0,3	99,35	11	24	-	601	210
Blan-2-23	0,08	3,45	5,36	3,56	2,77	-	0,29	99,79	46	17	-	809	234
Fn2-10	0,1	3,24	6,88	4,05	2,03	-	0,21	99,2	38	22	-	470	149
Sat-1-1	0,1	2,8	6,32	4,12	2,16	-	0,24	99,55	51	15	-	417	148
Leon-T2r13	0,109	1,24	2,94	2,99	3,66	3,7	0,127	99,9	-	6	-	772	124
Trin-97-2b2	0,06	0,16	0,83	3,064	4,96	2,36	0,032	99,9	-	0,5	-	774	60
Cy-94-1	0,072	0,15	0,79	3,58	5,07	2,27	0,034	99,9	-	1,7	-	735	124
Cy-94-2-b1	0,07	0,28	1,21	4	4,57	0,74	0,04	99,7	-	1,1	-	621	117
Jun-97-4	0,058	0,17	0,8	3,69	5,16	2,04	0,03	99,2	-	1,7	-	517	112
Ped-97-12	0,010 4	0,6	1,24	2,38	5,1	3,69	0,064	99,8	-	1,6	-	346	64
14r11-S-27	0,07	1,22	1,85	2,94	4,52	1,64	0,06	100,1	-	3	-	635	183
5213-S-23-b1	0,08	1,04	2,24	3,05	3,57	3,63	0,057	100,2	-	2	-	550	80
Pari-2-17	0,07	0,13	1,12	3,42	4,38	2,61	0,04	100,0	-	1,1	-	510	60
15r10-T-9	0,103	0,61	1,67	2,88	5,48	3,25	0,075	99,2	-	1	-	220	68

Código	Sr	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er
Colo-2-5	611	29	60	7,5	30	6,1	1,7	5,1	0,82	4	0,72	2
Colo-1-33	429	29	60	6,6	27	5,4	1,5	4,7		4,2	0,83	2,4
Leon-2-3	532	22	47	6,2	26	5,8	1,8	5,6	0,93	5,2	1	2,9
Leon-1-32a	497	22	48	6	25	5,3	1,6	5	0,79	4,6	0,86	2,5
Qcn-94-2r7	204	34	65	7,1	23	4	3,4	0,58	3,1	0,8	0,63	1,8
Qcn-94-2r1	204	34	65	6,8	22	4,1	3,3	0,45	2,9	0,76	0,61	1,7
Qcn-94-2r8	212	35	64	6,9	23	4,2	3,3	0,52	3	0,78	0,6	1,8
Qcn-94-2r9	202	33	67	7,2	23	4	3,4	0,5	3,1	0,8	0,6	1,8
9/10-R23	634	23	49	5,8	23	4,7	1,3	4	0,63	3,3	0,61	1,7
TC 2-3	523	23	50	5,8	24	4,5	1,1	3,9	0,51	3,1	0,52	1,7
Blan-2-17	471	28	58	6,5	27	4,7	1	3,8	0,57	3,3	0,6	1,8
Blan-2-19	465	31	66	7,1	33	5,2	1,2	4,4	0,63	3,6	0,69	1,9
AQUA-2-19	497	37	74	8,7	39	6	4,9	5,0	5,8	6,6	0,53	1,4
Blan-2-23	537	52	96	11	22,5	6,4	1,5	4,3	0,46	2,6	0,41	1,2
Fn2-10	775	22	47,5	5,6	23	4,8	1,4	4,4	-	3,7	0,66	1,9
Sat-1-1	698	23	48	5,5	21	4,4	1,2	3,7	-	3,1	0,59	1,7
Leon-T2r13	315	21	46	5,3	40	3,9	0,95	3,8	0,55	3,2	0,57	1,7

Trin-97-2b2	98	40	73	7,9	39	4,2	0,73	3,1	0,45	2,8	0,49	1,4
Cy-94-1	125	39	78	8,2	36	4,4	0,74	3,5	0,58	3	0,53	1,7
Cy-94-2-b1	152	36	68	7,1	32	4	0,71	3,1	0,45	2,8	0,51	1,5
Jun-97-4	88	32	61	6,3	9,4	3,7	0,58	3	0,43	2,7	0,5	1,4
Ped-97-12	78	9,4	21	2,4	35	2,4	0,38	2,4	0,44	3	0,57	1,6
14r11-S-27	203	35	77	8,3	22	5,7	1,02	4,7	0,71	4,4	0,54	2,6
5213-S-23-b1	231	22	46	5,1	22	3,7	0,76	3,1	0,48	2,8	0,82	2,6
Pari-2-17	153	22	46	5,5	11	3,4	0,65	3	0,46	2,8	0,54	1,6
15r10-T-9		11	23	2,7		2,4	0,35	2,4	0,44	2,9	0,57	1,7

Código	Yb	Lu	Hf	Ta	Cs	Zr	Nb	Y	Th	U	Edad (Ma)	Método
Colo-2-5	1,8	0,27	5,5	0,78	1,3	221	12,8	19	3,96	0,9	19.6±0.8	K-Ar roca total
Colo-1-33	2,3	0,37	5,3	1,25	2,1	206	14	21	3,79	0,8		K-Ar roca total
Leon-2-3	2,6	0,4	5,2	0,5	1	194	12	26	2,7	0,7	19.9±0.8	K-Ar roca total
Leon-1-32a	2,4	0,36	4,9	1,56	1,6	176	11,5	24	4,42	6,2		K-Ar roca total
Qcn-94-2r7	1,9	0,32	-	1,3	6,6	190	1,9	13	24	7,3	25.9±1.0	K-Ar
Qcn-94-2r1	1,9	0,21	-	1,3	11,7	194	2	13	25	5,9		K-Ar
Qcn-94-2r8	1,9	0,31	-	1,4	4,2	182	1,9	14	23	5,9	18.6±0.5	K-Ar
Qcn-94-2r9	2	0,32	-	1,4	4,8	196	1,9	13	24	0,9		K-Ar
9/10-R23	1,7	0,25	3,9	0,4	1,6	168	6,7	17	3,37	0,8		K-Ar
TC 2-3	1,4	0,19	4,2	0,54	2,5	166	7,8	13	6,7	1,3	16.2± 1.2	K-Ar
Blan-2-17	1,7	0,25	4,1	0,85	9,5	180	9,7	17	18	5		K-Ar
Blan-2-19	1,9	0,28	4,7	0,73	9,3	178	9,5	19	18,4	5,3	15.7±0.8	K-Ar
AQUA-2-19	1,7	0,5	60	0,56	1,1	210	7,8	18	3,7	1		K-Ar
Blan-2-23	1,5	0,45	6,3	0,45	1,6	234	8,5	16	7,74	1,1	8.3±0.5	K-Ar roca total
Fn2-10	1,1	0,56	3,7	0,56	1,6	149	11,1	13	6,31	1,2	11.2±0.6	K-Ar roca total
Sat-1-1	1	0,57	4,1	0,45	3,2	148	9,9	11	12,3	2,8		K-Ar roca total
Leon-T2r13	1,8	0,27	-	1,3	6,6	124	17	17	9,5	8,1	5.1±0.4	K-Ar biotita
Trin-97-2b2	1,6	0,24	-	1,5	9,1	60	15	14	28	5,7	5.1±0.25,	K-Ar biotita
Cy-94-1	1,6	0,25	-	1,6	7,2	124	18	16	17	8,4	5.9±0.2	K-Ar vidrio
Cy-94-2-b1	1,6	0,26	-	1,6	10	117	16	15	28	9,3		K-Ar vidrio
Jun-97-4	1,5	0,24	-	1,7	12	112	15	15	28	3,9	6.1 ±0.2	K-Ar biotita
Ped-97-12	1,7	0,25	-	1,6	7	64	20	17	8,6	4,5	10.7±0.3	K-Ar biotita
14r11-S-27	2,6	0,43	-	1,8	11	183	17	23	17	3,9	13.5-12.5	K-Ar biotita
5213-S-23-b1	1,5	0,25	-	1,7	6,3	80	17	14	11,3	5,3	5.1±0.4	K-Ar biotita
Pari-2-17	1,5	0,22	-	1,5	6,8	60	16	15	13	4,7		K-Ar biotita
15r10-T-9	1,6	0,26	-	1,5	5,9	68	19	16	8		12.6-11.9	K-Ar biotita

Tabla 12.3 Geoquímica de la Zona C (26-28°S)

Código	Referencia	Formación/Lugar	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO
SC198	Tittler, 1995	Domo Esperanza	61,56	0,58	17,16	-	4,25
CC190	Tittler, 1995	Pórf. Refugio	60,21	0,76	17,4	-	5,32
CO346	Tittler, 1995	Segestrom	51,19	1,27	18,96	-	8,48
CO150	Kay et al., 1994	Cerros Bravos	59,9	0,76	17,58	-	4,76
CO191	Tittler, 1995	Refugio	61,65	0,56	17,78	-	4,05
CO197	Tittler, 1995	Refugio	58,29	0,63	18,27	-	4,61
CO375	Tittler, 1995	Sta Rosa	62,2	0,68	17,44	-	3,82
CO265	Tittler, 1995	Valle Ancho	61,04	0,6	17,86	-	4,33
J580	Kay et al., 1991	Cadillal	61,68	0,76	17,79	-	4,7
COP7	Tittler, 1995	V Lobos	62,19	0,71	17,15	-	4,58
CO242	Tittler, 1995	Pastillos	61,97	0,67	16,65	-	4,38
CO230	Tittler, 1995	Marte	58,34	0,85	17,68	-	5,62
CC199	Tittler, 1995	Domo Cadillal	61,95	0,52	18,00	-	3,88
J463	Kay et al., 1991	Jotabeche-Cadillal	60,34	0,69	18,9	-	5,14
AC451	Tittler, 1995	Y. Heladas	60,41	0,63	18,9	-	4,98
J581	Kay et al., 1991	Cadillal	62,46	0,72	18,57	-	4,64
CC374	Tittler, 1995	Ign. Maricunga	62,54	0,7	17,61	-	3,97
CC377	Tittler, 1995	Domo Pastillitos	63,52	0,62	17,6	-	3,23
CC235	Tittler, 1995	Villalobos	62,69	0,68	16,7	-	4,59
CC121	Tittler, 1995	Azufre N	63,93	0,65	17,32	-	3,38
CC199	Tittler, 1995	Cadillal Domo	51,95	0,52	18	-	3,88
CC241	Tittler, 1995	Pastillos	57,81	0,87	18,02	-	5,6
CO234	Tittler, 1995	Pastillos	60,83	0,71	17,38	-	5,4
COP2	Tittler, 1995	Pórfido Marte	60,13	0,67	17,3	-	4,91
CC141	Tittler, 1995	Pórfido Valy	62,48	0,64	17,16	-	4,28
CO181	Tittler, 1995	Azufre	63,06	0,82	16,4	-	4,52
COP2	Tittler, 1995	Domo Copiapó	63,8	0,73	16,55	-	4,04
CO271	Tittler, 1995	Pircas Negras	64,77	0,73	16,19	-	3,97
CO35	Kay et al., 1991	Pircas Negras	69,17	0,2	15,91	-	1,46
CO180	Tittler, 1995	Domo Copiapó	64,64	0,55	17,73	-	3,23
CO238	Tittler, 1995	Ignimbrita II Copiapó	64,23	0,45	17,26	-	3,25
CO81	Tittler, 1995	Pircas Negras	57,34	1,05	17,66	-	5,52
CO36	Tittler, 1995	Jotabeche	69,34	0,17	16,17	-	1,86
PN408	Kay et al., 1991	Pircas Negras	57,54	0,99	16,92	-	5,54
PN409	Kay et al., 1991	Pircas Negras	57,36	1,01	17,22	-	5,79
AC556	Tittler, 1995	Pircas Negras	61,06	1,08	16,94	-	4,67
AC 406	Kay et al., 1994	Río CC	64,15	0,91	16,53	-	4,17
CC17	Kay et al., 1994	Jotabeche	58,39	0,93	17,81	-	
CC11	Kay et al., 1994	Negro Francisco	59,05	1,3	16,6	-	3,22

CC15	Kay et al., 1994	Jotabeche	59,96	1,05	16,55	-	3,57
CO415	Tittler, 1995	Jotabeche	60,94	0,93	16,47	-	2,58
CO 416	Tittler, 1995	Jotabeche	58,91	1,15	17,51	-	
CO 427	Tittler, 1995	Jotabeche	59,25	1,04	17,63		2,41

Código	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total	Cr	Ni	V	Ba	Rb
SC198	0,1	2,45	5,03	3,65	2,04	0,16	2,5	99,92	9	6		596	56
CC190	0,13	2,84	4,22	3,58	1,85	0,28	2,26	98,85	6	9		678	54
CO346	0,17	3,49	9,3	3,59	1,39	0,33	0,83	98,17	28	19		342	-
CO150	0,08	2,66	6,29	4,04	2,05	0,23	1,1	98,35	20	8		640	-
CO191	0,1	1,85	4,88	3,48	2,71	0,23	2,35	97,29	4	1		670	105
CO197	0,1	2,01	6,1	3,59	2,01	0,25	3,43	95,86	9	3		655	66
CO375	0,07	1,93	5,65	4,39	2,01	0,34	0,71	98,53	14	8		731	80
CO265	0,09	2,09	5,9	3,93	2,48	0,22	0,81	98,54	10	8		616	87
J580	0,09	2,14	6,51	4,08	1,93	0,3	-	99,98	75	6		915	77
COP7	0,08	2,06	5,19	4,17	2,68	0,27	0,51	99,08	18	12		661	108
CO242	0,09	2,4	5,61	3,66	2,6	0,22	1,00	99,25	14	10		642	80
CO230	0,15	3,49	6,47	3,66	2,02	0,23	0,78	98,51	32	103		568	60
CC199	0,08	1,93	6,8	3,96	1,89	0,31	0,79	99,48	54	5		632	58
J463	0,1	2,72	7,01	3,52	1,29	0,28	-	99,99	43	4		504	43
AC451	0,12	3,14	6,68	3,72	1,15	0,26	1,16	99,4	35	6		604	83
J581	0,06	1,72	6,1	3,74	1,72	0,26	1,00	99,25	102	11		1310	44
CC377	0,06	1,66	5,67	4,46	2,07	0,27	0,41	99,92	8	8		710	
CC235	0,09	2,22	5,99	3,96	2,48	0,24	0,2	99,84	12	12		661	84
CC121	0,12	3,14	6,68	3,72	1,15	0,26	0,3	99,77	35	6		604	83
CC199	0,08	1,49	5,69	4,49	1,93	0,29	0,79	99,48	6	7		755	56
CC241	0,1	2,84	7,3	4,5	1,63	0,26	1,09	99,72	43	20		609	39
CO234	0,1	2,21	6,07	3,95	2,19	0,26	1,10	100,28	15	16		681	67
COP2	0,08	2,38	5,81	4,25	2,24	0,29	0,92	99,7	21	14		719	60
CC141	0,06	2,54	4,81	4,05	2,48	0,24	0,26	99,63	12	10		707	99
CO181	0,08	2,28	4,87	4,34	2,61	0,29	0,39	99,27	33	16		748	85
CO271	0,05	1,38	4,71	4,81	2,73	0,19	1,99	99,81	11	8		862	92
CO35	0,08	1,64	4,41	4,65	2,58	0,14	0,19	99,86	5	7		816	78
CO180	0,09	3,03	6,37	4,62	2,61	0,25	0,63	99,53	55	30		1146	60
CO238	0,05	2,32	3,96	4,28	3,37	0,19	0,51	97,06	31	11		1029	116
CO81	0,03	0,5	2,08	4,62	3,7	0,45	1,48	99,74	3	20		1032	158
CO36	0,03	0,46	2,18	4,7	3,65	0,14	-	99,7	2	13		1099	150
PN408	0,1	4,54	8,1	3,97	1,98	0,32	-	100	210	53		722	51
PN409	0,1	4,56	7,6	4,1	1,93	0,33	-	100	247	63		866	51
AC556	0,08	2,49	6,12	4,65	2,52	0,38	-	99,99	135	25		1031	59
AC 406	0,08	1,85	1,85	4,71	2,8	0,3	-	99,99	100	18		1147	71
CC11	0,07	2,82	5,72	3,61	6,28	0,35	-	99,17	9	6		944	86
CC15	0,06	1,67	4,88	2,59	5,96	0,33	-	99,56	6	9			86,
CO415	0,06	1,57	3,89	2,66	6,69	0,31	-	98,28	28	19		1312	87
CO 416	0,09	2,77	5,14	2,77	6,86	0,57	-	99,98	20	8		946	87
CO 427	0,09	2,13	4,3	3,51	5,88	0,32	-	99,74	4		1	925	88

Código	Sr	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er
SC198	450	19,6	40,3	-	18,1	3,62	0,97	-	-	-	-	-
CC190	506	20,4	42,5	-	23,2	4,27	1,11	-	-	-	-	-
CO346	348	18,7	38,9	-	1,7	4,61	1,26	-	0,69	-	-	-
CO150	611	20	42,2	-	19,6	3,8	1,03	-	0,415	-	-	-
CO191	472	21,1	43,3	-	20,1	3,82	0,98	-	0,477	-	-	-
CO197	527	23,8	49,6	-	25,6	4,64	1,17	-	0,56	-	-	-
CO375	650	26,1	56,8	-	24,6	4,48	1,15	-	0,392	-	-	-
CO265	576	22,7	45,6	-	22	4,16	1,02	-	0,413	-	-	-
J580	720	26	63,1	-	25,9	4,47	1,41	-	0,61	-	-	-
COP7	668	26,7	57,6	-	25	5,17	1,09	-	0,459	-	-	-
CO242	571	23,4	47,7	-	22,5	4,5	0,95	-	0,419	-	-	-
CO230	540	21,1	45,5	-	25,3	4,75	1,24	-	0,515	-	-	-
CC199	800	24,1	55,1	-	20,2	4,15	1,25	-	0,55	-	-	-
J463	730	21,3	47,7	-	17,2	4,0	1,11	-	0,46	-	-	-
AC451	660	23	50,1	-	19,8	4,01	1,06	-	0,45	-	-	-
J581	820	23,2	53,6	-	25,6	4,57	1,33	-	0,48	-	-	-
J580	723	25,5	55,2	-	24	4,41		-		-	-	-
CC377	612	22,3	47,1	-	20,8	3,56	0,9	-	0,315	-	-	-
CC235	549	24,1	51,2	-	22	4,43	1,05	-	0,431	-	-	-
CC121	660	23	46,6	-	19,3	3,84	1,18	-	0,781	-	-	-
CC199	749	23,1	48,6	-	26,6	4,27	1,08	-	0,385	-	-	-
CC241	836	22,7	54,1	-	27	4,44	1,21	-	0,447	-	-	-
CO234	620	23,3	52,4	-	25,3	4,61	1,17	-	0,513	-	-	-
COP2	798	25,9	54,4	-	31,7	5,17	1,3	-	0,403	-	-	-
CC141	618	23,7	50,1	-	21,7	4,27	0,97	-	0,416	-	-	-
CO181	597	28,7	58,5	-	29,9	5,01	1,27	-	0,484	-	-	-
CO271	668	23,8	48,1	-	35,4	4,02	1,02	-	0,315	-	-	-
CO35	590	32,7	66,8	-	19,3	5,2	0,7	-	0,403	-	-	-
CO180	1243	58,4	120	-		8,23	2,16	-	0,554	-	-	-
CO238	458	42,6	87,2	-	22,5	5,73	0,73	-	0,315	-	-	-
CO81	488	22,9	48,2	-		3,39	2,16	-	0,166	-	-	-
CO36	448	28	58,4	-	22,6	3,8	0,73	-	0,204	-	-	-
PN408	800	36,8	78,6	-	29,8	6,37	1,65	-	0,93	-	-	-
PN409	830	37,4	83,3	-	36,4	6,31	1,7	-	0,64	-	-	-
AC556	0	41,1	89,9	-	39,3	6,6	1,7	-	0,2	-	-	-
AC406	800	47,4	102,8	-	41,8	7,09	1,76	-	0,53	-	-	-
CC17	682	42,2	84,5	-	37,8	5,99	1,63	-	0,555	-	-	-
CC11	684	40,2	83,6	-	36,7	6,12	1,73	-	0,503	-	-	-
CC15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CO415	689	43,1	87,3	-	46,1	7,15	1,64	-	0,463	-	-	-
CO 416	692	30,8	68,5	-	38,6	6,5	1,55	-	0,504	-	-	-
CO 427	694	35,1	74,8	-	37,5	6,11	1,55	-	0,545	-	-	-

Tabla 12.4 Geoquímica de la Zona D (29-31°S)

Código	Referencia	Formación/Lugar	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO
I62	Kay et al., 1987	Tilito	73,63	0,29	14,51	-	1,42
HC179	Kay et al., 1987	Tilito	70,51	0,49	15,33	-	2,93
I63	Kay et al., 1987	Tilito	73,99	0,33	14,11	-	1,78
I100	Kay et al., 1987	Escabroso	52,77	1,43	17,85	-	8,79
I64	Kay et al., 1987	Escabroso	55,56	1,03	17,86	-	5,72
I43	Kay et al., 1987	Escabroso	60,8	0,9	17,92	-	4,86
I6	Kay et al., 1987	Infiernillo	63,24	0,89	16,53	-	5,03
I13	Kay et al., 1987	Infiernillo	57,29	1,14	17,89	-	7,08
I17	Kay et al., 1987	Infiernillo	63,53	0,75	16,69	-	4,86
I116	Kay et al., 1987	Cerro Las Tortolas	63,61	0,75	17,24	-	4,18
HC203	Kay et al., 1987	Cerro Las Tortolas	64,06	0,75	17,65	-	4,06
TOR12A	Kay et al., 1987	Cerro Las Tortolas	67,63	0,57	16,6	-	2,78
TOR12a	Kay et al., 1987	Cerro Las Tortolas	67,76	0,57	16,61	-	2,78
TOR12b	Kay et al., 1987	Cerro Las Tortolas	67,09	0,64	16,71	-	3,04
NTB152	Kay et al., 1987	Cerro Las Tortolas	62,53	0,78	18,39	-	5,44
NTB111	Kay et al., 1987	Cerro Las Tortolas	62,94	0,88	16,7	-	4,29
I114	Kay et al., 1987	Cerro Las Tortolas	62,89	0,62	16,52	-	4,64
NTB150	Kay et al., 1987	Cerro Las Tortolas	63,78	0,7	18,87	-	3,36
I118	Kay et al., 1987	Cerro Las Tortolas	63,54	0,77	17,33	-	4,43
I9	Kay et al., 1987	Cerro Las Tortolas	63,91	0,67	17,67	-	3,78
IG4	Kay et al., 1991	Rodeo	63,66	0,53	18,61	-	3,51
TOR2	Kay et al., 1991	Vallecito	73,1	0,22	17,89	-	4,92
I90	Kay et al., 1987	Vallecito	70,98	0,22	16,24	-	1,37
I128	Kay et al., 1987	Vallecito	75,8	0,69	12,68	-	0,03
VLL1	Kay et al., 1987	Vallecito	76,77	0,18	12,84	-	0,35
VLL2	Kay et al., 1987	Vallecito	69,68	0,25	15,94	-	0,66

Código	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total	Cr	Ni	V	Ba	Rb
I62	0,03	0,33	1,58	3,97	3,77	0,1	-	99,41	31	3	-	748	127
HC179	0,05	0,61	2,06	3,97	3,98	0,07	-	100,0	3	3	-	768,7	-
I63	0,03	0,37	1,57	3,9	3,79	0,11	-	100,0	4	-	-	664	119
I100	0,17	3,7	7,86	3,87	0,65	0,22	-	97,31	11	24	-	341	30
I64	0,12	2,95	6,09	4,78	1,58	0,28	-	96,03	32	11	-	415	59
I43	0,09	2,46	4,71	3,24	4,4	0,21	-	100,0	6	-	-	690,7	128
I6	0,07	4,57	2,16	4,07	3,25	0,17	-	99,98	23	12	-	523	166
I13	0,1	3,452	6,59	3,68	2,34	0,2	-	100	35	14	-	462,8	121
I17	0,08	2,92	3,05	4,66	3,33	0,13	-	100	17	13	-	624,4	151

I116	0,06	2,18	4,67	4,39	2,71	0,15	-	100,0	17	6	-	658,9	100
HC203	0,07	1,53	4,68	4,45	2,5	0,24	-	100,0	22	-	-	649	-
TOR12A	0,04	1,52	3,76	3,5	3,46	-	-	99,96	14	8	-	952	-
TOR12b	0,05	3,5	1,48	4,39	3,11	-	-	100,0	17	11	-	1063	-
NTB152	0,09	0,88	5,09	4,17	2,37	0,26	-	100,0	-	7	-	704,6	-
NTB111	0,09	2,2	6,79	3,74	2,13	0,23	-	100,0	-	12	-	601	-
I114	0,08	2,39	6,13	3	3,24	0,46	-	100,0	17	18	-	443,3	-
NTB150	0,08	1,26	5,07	4,44	2,23	0,2	-	100,0	-	8	-	620,3	-
I118	0,07	1,88	4,8	4,38	2,6	0,17	-	100,0	20	12	-	622,2	-
I9	0,06	2,07	4,82	4,43	2,49	0,18	-	100,0	18	8	-	689,6	-
IG4	0,19	1,36	5,43	5,07	1,64	-	-	100,0	10	6	-	575	-
TOR2	0,02	0,38	2,17	4,52	3,30	-	-	100,0	2	2	-	893	-
I90	0,05	0,41	2,46	4,71	3,45	0,11	-	100,0	5	4	-	994,6	119
I128	0,02	0,57	0,99	1,85	7,68	0,00	-	100,0	-	4	-	889,9	-
VLL1	0,05	0,41	2,46	4,71	3,45	0,11	-	100,0	-	-	-	617,8	278
VLL2	0,03	0,34	2,31	4,62	3,46	0,21	-	100,0	5	4	-	894	119

Código	Sr	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er
I62	135	26,5	52,4	-	22	4,09	0,69	-	0,605	-	-	-
HC179	-	32,4	68,5	-	36,3	6,99	1,52	-	0,931	-	-	-
I63	135	26,7	53,3	-	19,2	3,71	0,658	-	0,515	-	-	-
I100	490	14,8	34,9	-	19,9	4,67	1,41	-	0,674	-	-	-
I64	558	17,1	38,8	-	20	3,9	1,1	-	0,441	-	-	-
I43	128	23,9	49,5	-	23,5	4,92	1,19	-	0,682	-	-	-
I6	350	29,9	71,3	-	28,2	6,02	1,16	-	0,744	-	-	-
I13	450	28,2	66,6	-	28,6	6,2	1,3	-	0,283	-	-	-
I17	420	26,4	58,1	-	23,2	4,92	1,05	-	0,564	-	-	-
HC203	590	26,7	57,1	-	27,4	4,54	1,14	-	0,46	-	-	-
TOR12A	587	27,5	55,9	-	22,8	4,83	1,14	-	0,461	-	-	-
TOR12B	550	29	55,2	-	-	3,96	0,91	-	0,279	-	-	-
NTB152	521	23,9	49,6	-	24,6	4,63	0,876	-	0,517	-	-	-
NTB111	450	19,7	41	-	19,2	3,76	1,0	-	0,406	-	-	-
I114	621	26,2	55	-	23,6	4,76	0,98	-	0,416	-	-	-
NTB150	620	24,1	49,1	-	21,8	4	1,04	-	0,360	-	-	-
I118	680	27,2	57,2	-	25,7	4,56	1,14	-	0,461	-	-	-
I9	590	25,4	52	-	27,7	4,44	1,09	-	0,388	-	-	-
I116	11,5	26,7	57,1	-	24,6	4,54	1,14	-	0,460	-	-	-
IG4	-	25,6	-	-	13,4	2,78	0,96	-	0,292	-	-	-
TOR2	-	18,2	38,1	-	14,7	3,02	0,67	-	0,252	-	-	-
I90	600	21,1	44,9	-	18,8	3,36	0,747	-	0,238	-	-	-
I128	-	20,6	44,5	-	18,6	3,34	0,632	-	0,272	-	-	-
VLL1	40	34,5	67,9	-	28,5	5,42	0,555	-	0,694	-	-	-
VLL2	542	21,4	43,5	-	18,9	3,19	0,741	-	0,229	-	-	-

Código	Yb	Lu	Hf	Ta	Cs	Zr	Nb	Y	Sc	Th	U	Edad (Ma)	Método
I62	2,16	0,335	4,6	1,5	3,2	-	-	-	-	9,8	2,8	23	
HC179	2,22	0,323	7,9	0,89	2,2	-	-	-	-	9,32	2,8	23	
I63	2,18	0,323	4,5	1,22	2,6				3,61	9,67	2,9		
I100	2,18	0,317	3,4	0,28	1,4	-	-	-	-	2,3	0,5	20	
I64	1,3	0,202	3,5	0,371	0,44	-	-	-	10,6	2,8	0,67		
I43	2,19	0,328	4,6	0,671	1,2	-	-	-	14,4	6,7	1,8		
I6	1,3	0,202	3,5	0,37	0,4	-	-	-	-	2,7	0,7	20	
I13	2,75	0,371	6,2	1,41	5,9	-	-	-	21,1	14	4		
I17	1,9	0,269	4,3	0,978	2,8	-	-	-	10,6	23,2	4,9		
I116	2,27	0,335	7,4		5,8	-	-	-	-	26,3	5,4	14	
HC203	1,14	0,162	4,7	0,996	3,8	-	-	-	8,36	9,08	3,2		
TOR12A	0,574	0,069	4,1	0,46	4,2	-	-	-	5,5	9	2		
TOR12B	0,541	0,69	4,8	0,63	4,6	-	-	-	6,0	9,23	2,56	12,8±0,4	K-Ar
NTB152	1,05	0,159	4,3	0,658	2,09	-	-	-	10,1	5,61	1,9		
NTB111	1,05	0,149	3,1	0,579	6,4	-	-	-	7,81	6,34	2,4		
I114	1,49	0,234	4,3	1,09	10,7	-	-	-	8,14	24,8	8,8		
NTB150	0,94	0,136	4,3	0,71	7,7	-	-	-	7,44	9,76	3,4		
I118	0,889	0,134	4,4	0,79	4	-	-	-	7,74	9,08	3,2		
I9	1	0,154	4,0	0,983	6,6				7,69	9,93	3,4		
I116	0,881	0,141	4,4	0,802	4,0	-	-		7,28	9,05	3,3		
IG4	0,505	0,062	2,7	0,58	0,4			-	5,3	1,1	0,6	11,0±0,5	K-Ar
TOR2	0,72	0,108	3,7	0,46	1,1	-	-	-	-	4,2	1,1		
I90	0,781	0,110	3,8	0,757	-	-	-	-	2,28	7,54	4		
I128	0,776	0,089	3,6	0,881	62,3	-	-		1,99	7,14	3,9		
VLL1	2,76	0,393	4,6	0,93	2,4				2,59	18,41	3		
VLL2	0,673	0,088	3,8	0,714	6,8	-	-	-	1,93	6,91	3,6		

Tabla 12.5 Geoquímica de la Zona E (32-33,5°S)

Código	Referencia	Formación/Lugar	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO
379	Vergara y Nystrom, 1996	Fm. Los Pelambres	53,23	1,2	19,24	4,67	4,49
ACO-99	Vergara y Nystrom, 1996	Fm. Cristo Redentor	53,23	0,96	20,38	4,12	3,55
ACO-9	Vergara y Nystrom, 1996	Fm. Cristo Redentor	56,11	1,92	16,52	5,17	3,89
090491-3A	López- Escobar y Vergara, (1997)	Pocuro	53,54	0,62	20,51	-	-
090491-3A	López- Escobar y Vergara, (1997)	Colina	52,92	0,72	18,35	9,92	-

090491-3A	López- Escobar y Vergara, (1997)	Pan de Azúcar	52,8	0,72	17,6	9,36	-
Rb-07	Vergara et al., 2004	Formación Abanico	49,94	1,4	16,97	13	-
Rb-9B	Vergara et al., 2004	Formación Abanico	50,54	1,55	16,3	12,96	-
Rb-6A	Vergara et al., 2004	Formación Abanico	58,54	0,73	15,53	8,25	-
SCr-01	Vergara et al., 2004	San Cristóbal	69,97	0,22	14,67	5,05	-
StaL-01	Vergara et al., 2004	Santa Lucía	49,2	0,73	19,1	13,94	-
TH-11	Vergara et al., 2004	Cerro Renca	51,22	0,6	19,02	13,57	-
H-157	Vergara et al., 2004	Las Canteras	52,01	0,72	17,6	13,18	-
LS-1	Vergara et al., 2004	Santa Lucía	54,62	0,6	17,1	11,75	-
SCr-02	Vergara et al., 2004	San Cristóbal	57,8	1	16,94	9,71	-
AP-01	Vergara et al., 2004	Manquehue	61,1	0,61	16,05	5,85	-
AG-451	Vergara et al., 2004	Manquehue	61,18	0,65	17,52	5,95	-
DS-241	Vergara et al., 2004	Sn Cristóbal	55,19	0,78	18,8	7,36	-
DS-072	Vergara et al., 2004	El Peñón	57,63	0,8	19,2	6,48	-
Ab45	Montecinos et al., 2008	Formación Abanico	58,31	0,79	17,79	6,65	-
Ab47	Montecinos et al., 2008	Formación Abanico	51,58	3,27	19,32	5,39	-
Ab49	Montecinos et al., 2008	Formación Abanico	53,01	2,05	18,49	5,88	-
Ab53	Montecinos et al., 2008	Formación Abanico	61,88	1,12	15,42	3,93	-
Ab56	Montecinos et al., 2008	Formación Abanico	56,51	1,07	16,49	6,79	-
Ab77	Montecinos et al., 2008	Formación Abanico	46,18	1,55	17,92	9,68	-
Ab86	Montecinos et al., 2008	Formación Abanico	46,15	1,25	17,66	8,19	-
Ab110	Montecinos et al., 2008	Formación Abanico	56,32	1,26	17,68	3,43	-
CC3	Kay et al., 1991	Cerro Colorado	57,74	0,76	18,87	-	6,27
PS2	Kay et al., 1991	Paramillos	59,18	0,72	17,04	-	7,13
104	Kay et al., 1991	Aconcagua	59,04	0,76	17,15	-	5,44
93	Kay et al., 1991	Aconcagua	63,32	0,62	17,1	-	4,48
94	Kay et al., 1991	Aconcagua	63,04	0,64	17,29	-	5,1
91	Kay et al., 1991	Aconcagua	58,13	0,9	17,77	-	5,91
90	Kay et al., 1991	Aconcagua	62,91	0,75	17,16	-	5,72
85	Kay et al., 1991	Aconcagua	-	-	-	-	-
88	Kay et al., 1991	Aconcagua	60,19	0,78	17,23	-	5,99
57	Kay et al., 1991	Aconcagua	62,91	0,76	17,78	-	5,41
103	Kay et al., 1991	Aconcagua	60,4	0,65	18,77	-	4,89
102	Kay et al., 1991	Aconcagua	60,76	0,69	17,87	-	4,91
101	Kay et al., 1991	Aconcagua	60,41	0,67	18,09	-	5,12
F51	Reich et al., 2003	Los Pelambres	61,53	0,66	17,96	-	4,93
LP48	Reich et al., 2003	Los Pelambres	63,7	0,67	17,7	4,4	-
LP75	Reich et al., 2003	Los Pelambres	64,2	0,68	17,8	3,57	-
LP62	Reich et al., 2003	Los Pelambres	66	0,57	17,2	3,67	-
LP61	Reich et al., 2003	Los Pelambres	66,3	0,56	17,1	3,14	-
LP14	Reich et al., 2003	Los Pelambres	66,8	0,57	17,2	2,79	-

LP13	Reich et al., 2003	Los Pelambres	66,9	0,57	16,8	2,75	-
LP56	Reich et al., 2003	Los Pelambres	67	0,58	16,9	2,81	-
LP47	Reich et al., 2003	Los Pelambres	67,6	0,46	16,5	3,75	-
LP16	Reich et al., 2003	Los Pelambres	67,2	0,56	17,5	1,51	-
LP44	Reich et al., 2003	Los Pelambres	72,2	0,43	15,2	0,8	-
LP46	Reich et al., 2003	Los Pelambres	62,7	0,74	17,8	3,92	4,29

Código	MnO	MgO	CaO	Na₂O	K₂O	P₂O₅	LOI	Total	Cr	Ni	V	Ba	Rb
R-349	0,29	4,14	8,53	3,1	1,73	0,26	-	-	26	17	268	500	40
ACO-99	0,14	3,38	8,99	3,93	1,09	0,23	-	-	20	18	206	334	19
ACO-9	0,29	2,69	6,05	3,24	3,27	0,86	-	-	51	21	192	535	113
o90491-3A	0,11	2,7	8,1	3,92	0,75	0,24	3,34	100,34	11	11	126	278	10,9
o90491-3A	0,15	4,2	7,74	3,02	0,37	0,14	2,84	100,37	11	12	187	156	7,7
o90491-3A	0,14	3,67	7,37	3,71	0,54	0,22	4,32	100,45	22	19	152	211	6,7
Rb-07	0,19	3,8	9,14	3,07	0,6	0,33	1,5	99,95	-	-	-	-	-
Rb-9B	0,22	3,77	8,78	3,55	0,54	0,36	1,42	100	-	-	-	-	-
Rb-6A	0,13	3,59	6,17	3,42	2,04	0,27	1,84	100,51	-	-	-	-	-
SCR-01	0,08	0,37	2,68	4,21	1,51	0,12	1,24	100,1	54	5	-	520	-
DS-205	0,15	0,67	2,43	4,89	1,3	0,13	2,36	101,08	3	9	-	476	25
DS-299	0,06	0,46	2,32	1,65	2,86	0,08	5,63	99,63	4	11	-	432	61
StaL-01	0,12	2,7	9,09	3,66	0,62	0,18	0,98	100,32	22	19	-	205	-
TH-11	0,14	3,59	7,22	3,9	0,7	0,22	1,46	101,64	120	9	-	260	-
H-157	0,14	3,67	7,37	3,71	0,54	0,22	1,32	100,48	15	3	-	211	-
LS-1	0,13	2,1	7,95	3,58	0,67	0,2	1,42	100,12	85	17	-	220	-
SCR-02	0,1	2,33	6,3	3,38	1,34	0,18	1,34	100,42	61	18	-	210	-
AP-01	0,06	2,32	5,67	4,91	1,3	0,16	1,98	100,01	19	15	-	480	-
AG-451	0,06	2,28	5,55	4,62	1,23	0,15	1,77	100,96	17	14	-	454	16
DS-241	0,08	3,13	6,81	5,77	0,58	0,19	3,08	101,77	-	-	-	232	9
DS-072	0,08	2,57	6,46	4,89	1,29	0,17	1,7	101,27	-	-	-	379	17
Ab45	0,15	2,34	3,42	4,36	2,46	0,35	1,9	99,72	-	-	-	-	-
Ab47	0,3	3,47	3,93	4,46	1,86	0,33	3,334	99,77	9,4 4	5,42	-	603	-
Ab49	0,27	2,92	3,97	4,73	1,49	0,3	3,32	99,79	3,45	9,55	-	481	-
Ab53	0,26	1,87	3,71	4,45	2,06	0,48	4,65	99,75	7,23	5,76	-	362	-
Ab56	0,18	2,79	0,62	6,49	0,98	0,41	2,23	99,64	7,45	7,53	-	416	-
Ab77	0,12	4,41	11,5	3,48	0,16	0,28	3,08	99,56	7,25	10,7	-	236	-
Ab86	0,13	7,41	10	3,36	0,54	0,19	3,49	99,56	90,1	47,5	-	130	-
Ab110	0,21	2,28	6,38	4,1	1,34	0,33	1,76	99,77	290	113	-	370	-
CC3	0,09	7,09	1,6	5,02	2,53	-	-	99,97	6	6	-	690	-
PS2	0,11	7,15	1,61	4,17	2,91	-	-	100,02	6	5	-	674	-
104	0,24	4,55	6,24	4,29	2,27	-	99,98	0,24	182	49	-	424	-
93	0,06	2,62	4,54	4,75	2,37	0,13	99,99	0,06	15	9	-	483	-
94	0,07	1,11	6,38	3,78	2,44	0,15	100	0,07	11	6	-	432	-
91	0,09	1,58	9,79	3,81	1,83	0,19	100	0,09	70	22	-	397	-
90	0,08	1,03	6,38	3,88	1,9	0,18	99,99	0,08	28	7	-	394	-
85									22	8	-	458	-
88	0,09	4	5,75	3,95	1,91	0,11	100	0,09	107	27	-	451	-
57	0,11	4,02	5,8	4,06	1,68	0,13	100,02	0,11	90	28	-	402	-
103	0,11	2,64	6,23	4,69	1,63		100,01	0,11	9	6	-	541	-
102	0,08	3,04	6,3	4,57	1,78		100	0,08	9	12	-	464	-
101	0,11	2,79	6,01	4,93	1,88		100,01	0,11	7	13	-	529	-

F51	0,11	2,42	5,73	4,73	1,94		100,01	0,11	8	10		525	-
LP48	0,02	1,6	3,36	5,22	1,58	0,21	1,17	99,6		4	-	461	76,2
LP75	0,01	1,97	2,37	5,71	2,35	0,31	1,3	100,3	9	6	-	551	100
LP62	0,02	1,6	2,52	5,88	2,39	0,18	1,44	101,5	10	7	-	556	79,6
LP61	0,02	1,59	2,11	4,83	2,54	0,19	1,16	99,6	7	5	-	537	78,5
LP14	0,02	1,51	1,8	5,22	3,39	0,17	0,91	100	1	4	-	503	104
LP13	0,01	1,4	2,04	5,25	2,9	0,24	1,05	100,3	4	3	-	614	111
LP56	0,01	1,33	1,59	4,87	2,99	0,15	1,46	99,7	5	7	-	545	98
LP47	0,02	1,15	1,59	5,42	2,87	0,09	1,15	100,7		5	-	500	69,3
LP16	0,01	1,84	0,58	8,03	1,83	0,11	1,22	100,3	17	11	-	311	83,8
LP44	0,01	1,27	0,41	6,19	2,53	0,11	0,95	100,1	3	2	-	330	83,4
LP46	0,02	2,74	1,75	5,88	2,35	0,26	1,47	99,9	46	13	-	412	120

Código	Sr	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er
Rb-07	-	13,03	33,5	-	17,22	4,59	1,27	4,42	-	4,44	-	2,56
Rb-9B	-	14,7	38,97	-	18,57	5,03	1,39	4,95	-	4,91	-	2,84
Rb-6A	-	14,74	39,41	-	19,79	5,19	1,02	5,01	-	5,15	-	3,16
SCr-01	300	13	30	-	17	3,45	0,94	3,1	-	2,9	0,62	1,75
DS-205	372	10	26	-	16	3,15	0,95	3,1	-	3,34	0,75	2,16
DS-299	107	12	28	-	12	2,06	0,4	2,65	-	2,78	0,78	2,47
StaL-01	518	6	13	-	7	1,76	0,97	2,3	-	2,73	0,57	1,57
TH-11	517	9	21	-	12	2,41	1,01	2,65	-	2,81	0,59	1,7
H-157	460	6	15	-	10	2,7	0,95	2,9	-	2,76	0,56	1,63
LS-1	580	7	17	-	11	2,8	0,95	2,82	-	2,58	0,53	1,54
SCr-02	290	9	21	-	13	3,5	1,25	4,24	-	4,9	1,03	3,07
AP-01	750	9	22	-	10	1,76	0,59	0,85	-	0,73	0,14	0,34
AG-451	723	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DS-241	792	3	8	-	6	0,92	0,51	0,86	-	0,93	0,21	0,41
DS-072	776	8	20	-	12	1,75	0,69	1,5	-	1,16	0,26	0,52
Ab45	512	22,7	47,5	-	26,7	5,26	1,44	3,69	3,74	0,81	2,23	26,7
Ab47	291	17,4	39,6	-	22,2	4,53	1,34	3,69	3,73	0,77	2,23	22,2
Ab49	194	15,6	35,5	-	20,2	4,04	1,37	3,68	3,61	0,72	1,99	20,2
Ab53	344	20,2	48,3	-	32,6	7,16	2,25	7,25	7,41	1,46	4,11	32,6
Ab56	111	17,3	39,5	-	22,2	4,93	1,27	4,58	7,5	0,85	2,31	22,2
Ab77	570	14,7	35,3	-	19,3	4,08	1,29	4,27	3,74	0,73	1,51	19,3
Ab86	650	10,7	26,4	-	15,4	3,08	1,04	3,08	2,98	0,52	1,18	15,4
Ab110	370	13,7	33,2	-	20,6	4,72	1,49	4,95	5,16	1,03	2,42	20,6
CC3	930	35,1	74,3	-	38	7,7	2,17	-		0,972	-	-
PS2	-	27,5	69,4	-	34	7,38	2,26	-		0,778	-	-
104	-	16,4	35,4	-	16,8	13,9	1	-	0,518	-	-	-
93	-	21,4	42	-	22,8	4,26	0,91	-	0,524	-	-	-
94	-	26,2	53,4	-	27,9	5,18	1,09	-	0,65	-	-	-
91	-	20	40,8	-	21,9	4,41	1,15	-	0,49	-	-	-

90	-	19,9	39,5	-	21	3,91	1,05	-	0,416	-	-	-
88	364	15,5	32,1	-	13	3,13	0,68	-	0,421	-	-	-
85	-	19,6	40,6	-	19,6	4,51	1,07	-	0,583	-	-	-
57	-	18,8	45,1	-	20,7	4,16	1,09	-	0,566	-	-	-
103	-	18,7	40,7	-	18,8	4	1,02	-	0,462	-	-	-
102	672	20,4	44,4	-	18	4,16	1,01	-	0,52	-	-	-
101	-	22,1	48,4	-	24,2	4,66	1	-	0,515	-	-	-
F51	750	19,5	19,5	38,1	4,61	17	2,95	0,96	0,257	1,32	0,236	0,611
LP48	699	18,4	18,4	37,3	4,58	16,8	2,73	0,849	0,228	1,14	0,193	0,514
LP75	530	16,6	16,6	35,2	4,27	15,4	2,62	0,742	0,201	0,976	0,177	0,465
LP62	499	16,2	16,2	36,2	4,24	15,3	2,79	0,802	0,244	1,2	0,214	0,549
LP61	443	14,5	14,5	30,5	3,44	11,9	1,9	0,566	0,152	0,837	0,153	0,439
LP14	633	24	24	49,9	6,29	22,4	3,88	0,972	0,298	1,41	0,236	0,598
LP13	523	17,3	17,3	35,3	3,97	13,5	2,13	0,633	0,16	0,788	0,133	0,347
LP56	478	14	14	28,3	3,04	10,9	1,82	0,541	0,118	0,63	0,118	0,338
LP47	408	17,6	17,6	35,7	4,28	15,3	2,4	0,539	0,145	0,641	0,145	0,252
LP16	306	16,2	16,2	31,3	3,64	12,5	1,9	0,444	0,117	0,491	0,117	0,165
LP44	483	15,2	15,2	30,7	3,81	14,1	2,48	0,691	0,217	1,16	0,217	0,563
LP46	731	19,5	19,5	30,7	3,81	14,1	2,48	0,691	0,217	1,16	0,217	0,563

Código	Yb	Lu	Hf	Ta	Cs	Zr	Nb	Y	Th	U	Edad (Ma)	Método
R-349	2,47	0,39	2,71	0,28	-	95	3,33	23,9	4,14	0,95	Cretácico inf.	
ACO-99	1,4	0,25	3,22	0,28	-	88	4,01	16,9	4,09	0,61	Cretácico inf	
ACO-9	4,91	0,75	11,6	1,3	-	374	17	54,2	12,8	3,62	Cretácico inf	
090491-3A	1,7	0,25	1,7	-	-	77	1	-	-	-	20,6	K-Ar roca total
090491-3A	1,45	0,23	1,8	-	-	50	1	-	-	-	21,2	K-Ar roca total
090491-3A	1,65	0,26	1,8	-	-	54	1	-	-	-		K-Ar roca total
Rb-07	2,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,9 ±1,9	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar plagioclasa
Rb-9B	2,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,6±1,2	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar plagioclasa
Rb-6A	3,14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,7±1,0	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar plagioclasa
SCR-01	1,79	-	-	-	-	102	5,6	16	-	-	28,3±0,7	K-Ar roca total
DS-205	2,14	-	2,3	-	-	120	3	22	3	-	26	K-Ar roca total
DS-299	2,38	-	4,2	-	-	160	5	20	11	-	27	K-Ar roca total
Stal-01	1,55	-	1,8	-	-	43	4	16	1	-	20,3±1,9	K-Ar roca total
TH-11	1,69	-	2,1	-	-	56	4	15	2	-	21,8±0,5	K-Ar roca total
H-157	1,65	-	1,8	-	-	54	2,2	14	-	-	22,3±1,8	K-Ar roca total
LS-1	1,48	-	-	-	-	50	3,2	13	-	-	21,1±3,7	K-Ar roca total
SCR-02	3,02	-	-	-	-	95	4	28	-	-	13,1±0,9	K-Ar roca total
AP-01	0,26	-	-	-	-	76	5	6	-	-	20,3±5,4	K-Ar roca total
AG-451	-	-	-	-	-	74	-	5	-	-	19,5±0,5	K-Ar roca total
DS-241	0,39	-	-	-	-	44	-	5	1	-	13	K-Ar roca total
DS-072	0,53	-	-	-	-	57	-	6	2	-	11,6±1,3	K-Ar roca total
Ab45	2,25	0,35	4,91	4,91	-	147	-	19,2	2,51	-		K-Ar roca total
Ab47	2,13	0,31	2,85	2,85	-	119	-	19,3	2,22	-	17,2-16,8	U-Pb circón
Ab49	1,89	0,29	2,44	2,44	-	102	-	18,7	1,71	-	17,2-16,8	U-Pb circón
Ab53	4,01	0,62	5,12	5,12	-	151	-	38,2	2,42	-	17,2-16,8	U-Pb circón
Ab56	2,27	0,36	3,64	3,64	-	113	-	23,4	4,14	-	17,2-16,8	U-Pb circón
Ab77	1,51	0,22	3,11	3,11	-	131	-	17,1	2,22	-	17,2-16,8	U-Pb circón
Ab86	1,18	0,16	2,44	2,44	-	104	-	13,2	2,05	-	17,2-16,8	U-Pb circón
Ab110	2,45	0,34	2,91	2,91	-	133	-	25,1	2,12	-	17,2-16,8	U-Pb circón

104	1,61	-	3,36	0,58	3,15	-	-	-	3,69	1,11	15,8-9,6	K-Ar roca total
93	1,86	-	3,75	0,66	1,23	-	-	-	5,78	2,3	15,8-9,6	K-Ar roca total
94	2,45	-	5,24		4,81	-	-	-	8,44	3,06	15,8-9,6	K-Ar roca total
91	1,35	-	3,81	0,6	1,9	-	-	-	4,63	1,35	15,8-9,6	K-Ar roca total
90	0,938	-	3,89	0,61	6,41	-	-	-	3,97	1,24	15,8-9,6	K-Ar roca total
88	1,56	-	3,1	0,67	4,08	-	-	-	5,11	2,31	15,8-9,6	K-Ar roca total
85	2,14	-	4,1	0,67	2,45	-	-	-	4,17	1,41	15,8-9,6	K-Ar roca total
57	1,85	-	3,36	0,58	4,3	-	-	-	6,2	1,67		
103	1,43	-	3,75	0,66	0,68	-	-	-	3,64	1,07	8,9	K-Ar roca total
102	1,6	-	5,24		1,09	-	-	-	4,2	1,13		
101	1,8	-	3,81	0,6	0,74	-	-	-	4,98	1,52		
F51	0,529	-	4,45	0,5	4,78	131	4		-	-		
LP48	0,472	-	3,68	0,9	5,3	127	5	6,42	-	-	9,9±1,0	K-Ar biotita
LP75	0,436	-	5		4,11	130	7	5,28	-	-	9,9±1,0	K-Ar biotita
LP62	0,498	-	4,07		5,51	121	1	4,89	-	-	9,9±1,0	K-Ar biotita
LP61	0,498	-	3,94		6,03	128	10	5,72	-	-	9,9±1,0	K-Ar biotita
LP14	0,592	-	4,21	1	5,04	124	3	4,3	-	-	9,9±1,0	K-Ar biotita
LP13	0,342	-	4,21	1	3,74	128	4	6,29	-	-	9,9±1,0	K-Ar biotita
LP56	0,398	-	3,56		2,48	111	6	3,39	-	-	9,9±1,0	K-Ar biotita
LP47	0,255	-	3,53	0,4	2,07	117	1	3,28	-	-	9,9±1,0	K-Ar biotita
LP16	0,143	-	3,45		1,61	103	5	2,35	-	-	9,9±1,0	K-Ar biotita
LP44	0,58	-	3,49	0,7	6,75	116	5	1,59	-	-	9,9±1,0	K-Ar biotita
LP46	0,58	-	3,48	0,4	7,7	115	4	4,91	-	-	9,9±1,0	K-Ar biotita

Tabla 12.6 Geoquímica de la Zona 23-24°S

Código	Referencia	Formación/Lugar	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO
GMC7	Gardeweg y Ramírez, 1985	Porfido Poquis	71,49	0,2	14,58	1,43	0,14
M121	Gardeweg y Ramírez, 1985	Pórfido Poquis	69,43	0,22	14,72	2,03	
GMC11	Gardeweg y Ramírez, 1985	Ceja Alta	67,78	0,46	15,4	2,07	0,42
GMC14	Gardeweg y Ramírez, 1985	Dacita Quilapana	68,45	0,45	15,79	2,58	0,26
PG301	Gardeweg y Ramírez, 1985	Dacita Quilapana	68,29	0,45	15,21	2,46	0,26
GMC16	Gardeweg y Ramírez, 1985	Ceja Alta	63,54	0,85	15,51	3,49	1,16
PG119	Gardeweg y Ramírez, 1985	Loma Negra	68,89	0,42	15,02	2,35	0,11

Código	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total	Cr	Ni	V	Ba	Rb
GMC7	0,04	0,33	1,89	2,75	4,91	0,16	-	99,54	-	-	-	-	-
M121	0,04	0,23	2,45	2,53	4,69	0,11	-	99,89	-	-	-	-	-
GMC11	0,04	0,97	2,52	3,57	3,76	0,15	-	99,99	-	-	-	-	-
PG294	0,04	0,33	2,47	3,66	3,75	0,16	-	100,02	-	-	-	-	-
PG301	0,03	0,56	2,58	3,44	3,7	0,14	-	99,02	-	-	-	-	-
GMC16	0,08	2,16	4,86	3,76	2,83	0,27	-	99,95	-	-	-	-	-
PG119	0,08	0,55	2,03	4,12	3,76	0,12	-	99,78	-	-	-	-	-

Tabla 12.7 Geoquímica de la Zona 37-39°S

Código	Referencia	Formación/Lugar	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO
CS92-4	Muñoz et al, 2000	Los Angeles, Temuco	61,25	0,53	13,7	1,48	0,05
CS92-6	Muñoz et al, 2000	Los Angeles, Temuco	62,25	0,58	14,18	1,76	0,41
CS92-1	Muñoz et al, 2000	Los Angeles, Temuco	60,45	0,92	17,79	1,93	3,6
CS92-1	Muñoz et al, 2000	Los Angeles, Temuco	60,65	0,63	17,68	2,92	2,15
2316	Muñoz y Niemeyer, 1984	Fm. Trapa-Trapa	64,82	0,7	15,55	4,1	1,97
2330	Muñoz y Niemeyer, 1984	Fm. Trapa-Trapa	59,21	0,93	16,76	4,23	2,12
2468	Muñoz y Niemeyer, 1984	Fm. Trapa-Trapa	55,58	0,95	17,38	4,38	4,4
2469	Muñoz y Niemeyer, 1984	Fm. Trapa-Trapa	60,51	0,73	16,47	5,01	2,91
2470	Muñoz y Niemeyer, 1984	Fm. Trapa-Trapa	60,44	0,98	16,26	5,82	1,79

Código	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total	Cr	Ni	V	Ba	Rb
CS92-4	0,13	4,69	5,41	2,29	2,46	0,12	4,46	99,9	27	112	172	346	58
CS92-6	0,11	4,1	5,01	3,02	2,58	0,15	2,55	99,81	34	<2	-	409	43
CS92-1	0,14	2,07	6,18	4,24	1,13	0,23	0,86	99,74	282	<2	107	323	39
CS92-1	0,1	3,15	6,44	3,59	1,34	0,13	1,04	99,82	33	<2	120	276	37
2316	0,12	0,99	3,28	4,94	1,77	0,17	1,17	99,82	75	34	-	340	16
2330	0,13	1,53	5,53	3,54	1,7	0,24	3,68	99,72	49	32	-	170	13
2468	0,17	3,37	7,27	3,61	1,14	0,18	1,79	100,28	124	25	-	280	19
2469	0,12	1,44	5,79	3,91	1,16	0,21	2,19	100,43	129	25	-	310	10
2470	0,12	0,8	5,93	3,34	0,64	0,35	3,94	100,46	66	25	-	160	4

Código	Sr	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er
CS92-4	265	12,2	26,3	-	14,9	3,9	0,88	-	0,71	-	-	-
CS92-6	563	13,2	31,2	-	18,6	4,19	1,14	-	0,7	-	-	-
CS92-1	302	12,1	10,2	-	18,2	4,06	1,28	-	0,81	-	-	-
CS92-1	480	11,6	28,4	-	15,1	2,88	0,86	-	0,46	-	-	-
2316	201	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2330	210	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2468	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2469	430	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2470	490	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Código	Yb	Lu	Hf	Ta	Cs	Zr	Nb	Y	Th	U	Edad (Ma)	Método
CS92-4	2,85	0,42	4,4	0,3	3	136	-	24	4,9	1,2	22,8	K-Ar roca total
CS92-6	2,46	0,37	3,5	0,21	1	135	-	23	3,5	0,6	25,2	K-Ar roca total
CS92-1	3	0,44	4	0,33	3,5	144	-	28	2,6	0,8	28,4	K-Ar roca total
CS92-1	1,58	0,25	3,4	0,27	0,6	104	-	18	3,7	0,9	28,1	K-Ar roca total

2316	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Mioceno medio a sup.
2330	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Mioceno medio a sup.
2468	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Mioceno medio a sup.
2469	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Mioceno medio a sup.
2470	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Mioceno medio a sup.

13. Anexo 4. Tablas de isotopía

Tabla 13.1 Razones Isotópicas de Sr y Nd de las zonas B, C, D y E

Zona B	Código	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	ϵNd
	Colo-2-5	0,70595	0,51251	-2,4
	Leon-2-3	0,70564	0,51257	-1,2
	Leon-1-32a	0,70588	0,51256	-1,3
	Qcn-94-2r8	0,70669	0,512446	-3,5
	9/10-R23	0,70571	0,51255	-1,5
	TC 2-3	0,70603	0,51247	-3,1
	Fn2-10	0,70606	0,51254	-1,8
	Sat-1-1	0,70596	0,51249	-2,8
	AQUA-2-19	0,70731	0,51239	-4,7
	Blan-2-23	0,70737	0,51238	-4,9
	Trin-97-2b2	0,70688	0,512421	-4,2
	Cy-94-1	0,70709	0,512432	-4
	Jun-97-4	0,70664	0,512436	-3,9
	Ped-97-12	0,70693	0,512432	-4
	14r11-S-27	0,70667	0,51247	-3,2
	5213-S-23-b1	0,70896	0,51238	-5
	Pari-2-17	0,70791	0,512418	-4,3
Zona C	CC58	0,705268	0,512564	-1,5
	CC24	0,705135	0,512574	-1,3
	CC159	0,705611	0,512528	-2,2
	CC28	0,704838	0,512620	-0,4
	J580	0,709541	0,512529	-2,1
	CO242	0,705541	0,512487	-2,4
	CO181	0,705859	0,512442	-3,3
	CO81	0,70586	0,5124424	-2,9
	CO271	0,706371	0,512278	-4,1
	CO36	0,705599	0,5124792	-2,6
Zona D	I62	0,70475	0,512645	0,6
	I100	0,70457	0,512677	1,2
	I64	0,7047	0,512608	-0,1
	I6	0,70474	0,512631	0,3
	I116	0,70499	0,512561	-1
	HC203	0,70523	0,512582	-0,6
	TOR12A	0,70509	0,512554	-1,2
	TOR2	0,70552	0,512512	-2
	IG4	0,70337	0,512658	1,3
Zona E	MA-1	0,70481	0,512578	1,17041655
	T-1	0,70474	0,512598	-0,7802777
	LS-1	0,703771	0,512911	5,32539531
	Scr-02	0,703786	0,512896	5,03279117
	APo-1	0,703745	0,512745	2,08724285
	090491-3A	0,703714	0,512841	3,95990933

	090491-02	0,703744	0,512937	5,83257581
	090491-02	0,70371	0,512913	5,36440919

Tabla 13.2 Razones isotópicas de Pb de las zonas B y D

Zona B	Código	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
	Colo-2-5	18,693	15,638	38,678
	Colo-1-33	18,688	15,628	38,634
	Leon-2-3	18,596	15,604	38,482
	Leon-1-32a	18,74	15,616	38,586
	Qcn-94-2r7	18,91	15,668	38,953
	Qcn-94-2r1	18,918	15,67	38,937
	Qcn-94-2r8	18,924	15,67	38,949
	Qcn-94-2r9	18,92	15,675	38,945
	9/10-R23	18,717	15,641	38,776
	TC 2-3	18,772	15,631	38,735
	Blan-2-17	18,757	15,693	38,725
	Blan-2-19	18,86	15,651	38,94
	AQUA-2-19	18,695	15,651	38,81
	Blan-2-23	18,833	15,623	38,794
	Fn2-10	18,879	15,634	38,918
	Sat-1-1	18,885	15,647	38,959
	Leon-T2r13	18,911	15,672	38,987
	Trin-97-2b2	18,864	15,627	38,887
	Cy-94-1	18,739	15,625	38,727
	Cy-94-2-b1	18,884	15,621	38,746
	Jun-97-4	19,115	15,653	38,925
	Ped-97-12	19,065	15,622	38,786
	14r11-S-27	18,75	15,632	38,753
Zona D	I64	18,644	38,392	15,631
	TOR12A	18,644	38,549	15,614
	TOR2A	18,626	38,538	15,614
	AC103	18,677	38,558	15,626
	IG4	17,587	37,458	15,485