



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA TIERRA



**EVOLUCIÓN GEOQUÍMICA DEL VOLCANISMO
JURÁSICO SUPERIOR-CRETÁCICO INFERIOR Y SU
RELACIÓN CON LA TECTÓNICA (25.5°-26° S,
CORDILLERA DE LA COSTA, CHILE)**

Memoria para optar al Título de Geólogo

Victoria Alejandra Galdames Laporte

Profesor Patrocinante: Dra. Fernanda Carolina Álvarez Amado.
Profesional Guía: Dr. Mauricio Esteban Espinoza Vargas.
Profesores Comisión: Dra. Verónica Laura Oliveros Clavijo.
Dr. Joaquín Alejandro Cortes Aranda.

Concepción, 2022

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Generalidades y planteamiento del problema	1
1.2. Objetivos	5
1.2.1. Objetivo general	5
1.2.2. Objetivos específicos	5
1.3. Ubicación	6
1.4. Metodología de trabajo	6
1.5. Trabajos anteriores	8
1.6. Agradecimientos	9
2. MARCO GEOLÓGICO	10
2.1. Marco geotectónico	10
2.2. Marco geológico regional	11
2.2.1. Complejo epimetamórfico Chañaral	11
2.2.2. Magmatismo Triásico-Jurásico Inferior	12
2.2.3. Arco volcánico de La Negra	13
2.2.4. Depósitos neógenos y cuaternarios	13
2.3. Marco geológico local	14
2.3.1. Unidades volcanosedimentarias	14
2.3.1.1. Formación La Negra	14
2.3.1.2. Formación Aeropuerto	16
2.3.2. Unidades intrusivas	19
2.3.2.1. Granodiorita Cerro Concha	19
2.3.2.2. Complejo intrusivo Quezada	19
2.3.2.3. Complejo intrusivo La Finca	20
2.3.2.4. Granodiorita Cerro del Pingo	20
2.3.2.5. Complejo intrusivo Barreal Seco	21
2.3.2.6. Complejo intrusivo Librillo	21
2.3.2.7. Intrusivos hipoabisales del Cretácico Inferior	22
2.4. Marco estructural	22
2.4.1. Sistema de Fallas de Atacama	22
2.4.2. Sistema de Fallas Taltal	25
3. RESULTADOS	26
3.1. Cortes transparentes	28
3.2. Análisis geoquímico	29
3.2.1. Análisis de elementos mayores	31
3.2.1.1. K ₂ O	31
3.2.1.2. Na ₂ O	32
3.2.1.3. Al ₂ O ₃	35
3.2.1.4. TiO ₂	35
3.2.1.5. Fe ₂ O ₃	36

3.2.1.6. MgO y MnO	39
3.2.1.7. CaO	40
3.2.1.8. P ₂ O ₅	42
3.2.2. Análisis de elementos traza	42
3.2.2.1. LILES y HFSEs	43
3.2.2.2. Tierras raras	44
4. DISCUSIÓN	47
4.1. Grado de alteración y errores analíticos.....	47
4.2. Composición y ambiente geotectónico	50
4.3. Origen del magma	53
4.4. Relación entre magmatismo y tectónica	57
5. CONCLUSIONES	62
6. REFERENCIAS	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. 1 Mapa geológico del área de estudio.....	3
1. 2 Ubicación del área de estudio entre las ciudades de Taltal y Chañaral	6
2. 1 Extensión y subdivisión de la Zona de Falla de Atacama	24
3. 1 Distribución de las muestras por unidad y edad	26
3. 2 Mapa de distribución de las muestras estudiadas según su edad	27
3. 3 Mapa de ubicación de cortes transparentes	28
3. 4 Diagramas de discriminación de rocas alcalinas y sub-alcalinas	30
3. 5 Diagrama AFM para la discriminación entra las series calco-alcalina y toleítica ...	31
3. 6 Diagrama de clasificación de rocas en base a su contenido de K ₂ O respecto a SiO ₂	32
3. 7 Variación de contenido de Na ₂ O en las muestras	33
3. 8 Mapa de distribución de Na ₂ O en el área.....	34
3. 9 Variación de contenido de Al ₂ O ₃ en las muestras	35
3. 10 Variación de contenido de TiO ₂ en las muestras	36
3. 11 Variación de contenido de Fe ₂ O ₃ en las muestras	37
3. 12 Mapa de distribución de Fe ₂ O ₃ en el área.....	38
3. 13 Variación de contenido de MgO en las muestras	39
3. 14 Variación de contenido de MnO en las muestras	39
3. 15 Variación de contenido de CaO en las muestras	40
3. 16 Mapa de distribución de CaO en el área.....	41
3. 17 Variación de contenido de P ₂ O ₅ en las muestras	42
3. 18 Gráficos de abundancia de elementos trazas normalizado al manto primitivo	43
3. 19 Gráficos de abundancia de tierras raras normalizado al condrito	45
4. 1 Mapa de distribución de Sr en el área.....	48

4. 2	Mapa de distribución de Ba en el área.....	49
4. 3	Gráficos de discriminación de ambiente tectónico	52
4. 4	Gráfico Sm/Yb vs La/Sm para la discriminación de la fuente magmática	54
4. 5	Gráficos de evolución del arco según las variaciones de Nb/Yb y Th/Yb en el tiempo	55
4. 6	Gráficos de relación entre las razones Sm/La, Th/La y el tiempo	56
4. 7	Distribución de razones de tierras raras en el tiempo	58
4. 8	Distribución elementos trazas en el tiempo	60



RESUMEN

Entre los 25,5°-26°S de la Cordillera de la Costa afloran dos principales secuencias volcanoclasticas, la Formación La negra y la Formación Aeropuerto, las cuales representan el volcanismo en el área durante el Jurásico Superior y Cretácico Inferior, respectivamente. En conjunto con estas dos unidades se encuentran una serie de cuerpos intrusivos asociados a la actividad del mismo arco magmático.

Hace 139-119 Ma (Seymour *et al.*, 2020), contemporáneo a la actividad del arco antes mencionado, el Sistema de Fallas de Atacama comienza su fase de deformación dúctil en el área y de la misma manera, su actividad frágil, entre los 116-96 Ma, coincide con el cese del magmatismo y abandono del arco (Seymour *et al.*, 2020).

Ambos procesos antes mencionados, el volcanismo de las formaciones La Negra y Aeropuerto y la deformación del SFA, parecen guardar estrecha relación con un proceso a gran escala que se ha observado en el margen continental chileno en esta época; el cambio en el ángulo de subducción que habría transformado el margen extensional imperante en el Jurásico en uno trasntensional a inicios del Cretácico (Dallmeyer *et al.*, 1996; Grocott & Taylor, 2002).

Con el objetivo de establecer como se relacionan todos estos procesos y que cambios produce en la composición de los magmas este cambio en el régimen tectónico, se han estudiados 122 análisis geoquímicos de rocas plutónicas y volcánicas tanto a rocas jurásicas como cretácicas. Esto permitió caracterizar los magmas de ambas épocas, así como dar indicios de su origen y el ambiente en que se habrían formado.

En todo el periodo de tiempo abarcado se observan comportamientos similares, caracterizándose ambos periodos. Se observan indicios de un ambiente de subducción como son: anomalías negativas de Nb-Ta y Ti y enriquecimiento general de tierras raras pesadas sobre livianas, así como también composiciones típicas de rocas de arco en casi la totalidad de las rocas; las que corresponden a lavas andesíticas a andesítico-basálticas instruidas por cuerpos menores de composiciones basálticas a riolíticas; todos estos con afinidades calco-alcalinas y en menor medida toleíticas.

Estas similitudes se han asociados a una fuente magmática común para todas las muestras, caracterizada por un magma parental que se habría formado a baja profundidad a partir un manto empobrecido metasomatizado por fluidos del *slab* y con bajo aporte de material cortical, el que luego se habría diferenciado por cristalización fraccionada (Oliveros *et al.*, 2018).

Si bien tanto las rocas cretácicas como jurásicas presentan una marcada homogeneidad composicional, en el periodo de los 130-140 Ma se observa un aumento en el aporte de sedimentos y de elementos traza que por lo general se concentran en la corteza a su composición la que podría asociarse temporalmente tanto al antes mencionado cambio en el ambiente tectónico como al establecimiento del SFA, lo que podrían haber gatillado este cambio en las composiciones ya sea porque (a) el ambiente trasnpresivo habría facilitado el ingreso de sedimentos del slab a la cámara magmática o (b) se habría generado un paulatino engrosamiento en la corteza que habría facilitado la interacción del magma con la corteza circundante.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades y planteamiento del problema

En la Cordillera de la Costa al sur de Taltal, en el área comprendida por las cartas geológicas Cifuncho (Contreras *et al.*, 2013) y Cerro del Pingo (Espinoza *et al.*, 2014), las rocas de las unidades volcanosedimentarias desarrolladas durante el Jurásico Medio-Superior y el Cretácico Inferior, representadas por las formaciones La Negra y Aeropuerto respectivamente, se observan en contacto a través del Sistema de Fallas de Atacama (Espinoza *et al.*, 2014).

La Formación La Negra corresponde a una sucesión de flujos de lavas de composición andesítica a andesítica-basáltica intercalados con niveles de areniscas, tufitas, brechas volcanoclásticas, tobas y cuerpos calcáreos lenticulares (Contreras *et al.*, 2013; Espinoza *et al.*, 2014) la cual ha sido interpretada como un ambiente volcánico marginal representando una fase transicional entre un ambiente marino y continental (Contreras *et al.*, 2013) y cuya edad varía ampliamente dentro del Jurásico en los diferentes estudios realizados dependiendo del área de esta que se considere. Específicamente dentro del área de estudio, mediante contenido fosilífero y dataciones U-Pb en circones, esta unidad fue constreñida a un rango Pliensbachiano-Titoniano (Contreras *et al.*, 2013; Espinoza *et al.*, 2014).

La Formación Aeropuerto, por otro lado, representa un ambiente volcánico casi netamente continental, cuyas rocas más antiguas estarían relacionadas espacialmente a importantes debilidades estructurales (Sistema de Fallas de Atacama y Falla Quezada). Esta unidad presenta una extensión reducida, formando una franja discontinua con orientación NNO-SSE confinada entre las ramas occidental y oriental de Sistema de Fallas de Atacama, para luego distribuirse hacia el sur y el este de un bloque formado por rocas plutónicas del Jurásico Superior-Cretácico (Figura 1.1). En cuanto a su composición; esta pareciera variar en el tiempo, reconociéndose 2 eventos de volcanismo distintos: el más antiguo (constreñido por edades U-Pb en circones entre los ca. 141-138 Ma), presenta gran similitud a la Formación La Negra, estando formado por lavas andesíticas, tobas de lapilli, tufitas y cuerpos lenticulares de calizas, mientras que las rocas del segundo evento (con un rango en base a edades U-Pb en circones de 109-104 Ma) corresponden a lavas más ácidas de composición dacítica a riolítica (Espinoza *et al.*, 2014).

Por otro lado, el establecimiento del Sistema de Fallas de Atacama (SFA) representa un evento deformacional a gran escala cuyas trazas se extienden desde Iquique hasta Vallenar, con una orientación principalmente N-S y ramificaciones principalmente NO-SE a NNO-SSE, presentando importantes quiebres en las zonas de Antofagasta y Taltal, lo que ha llevado a dividirla en 3 segmentos, de norte a sur: Salar del Carmen, Paposo y El Salado (Thiele & Pincheira, 1987; Brown *et al.*, 1993); siendo este último el correspondiente a la latitud de este estudio (Figura 1.1).

Considerando el significativo impacto geotectónico que habría producido el establecimiento del Sistema de Fallas de Atacama y que su formación se asocia al inicio de la migración del arco volcánico desde la Cordillera de la Costa a la Depresión Intermedia (Brown *et al.*, 1993), cabría esperar una variación en la composición de las lavas producidas contemporáneamente a la actividad de este sistema estructural, como son las de la Formación Aeropuerto, en comparación a la composición relativamente estable de las rocas del arco jurásico de la Formación la Negra. Identificar esta posible variación composicional, determinar cuáles serían sus características y su relación con la tectónica, corresponden a las principales preguntas que se intentan resolver en esta memoria.



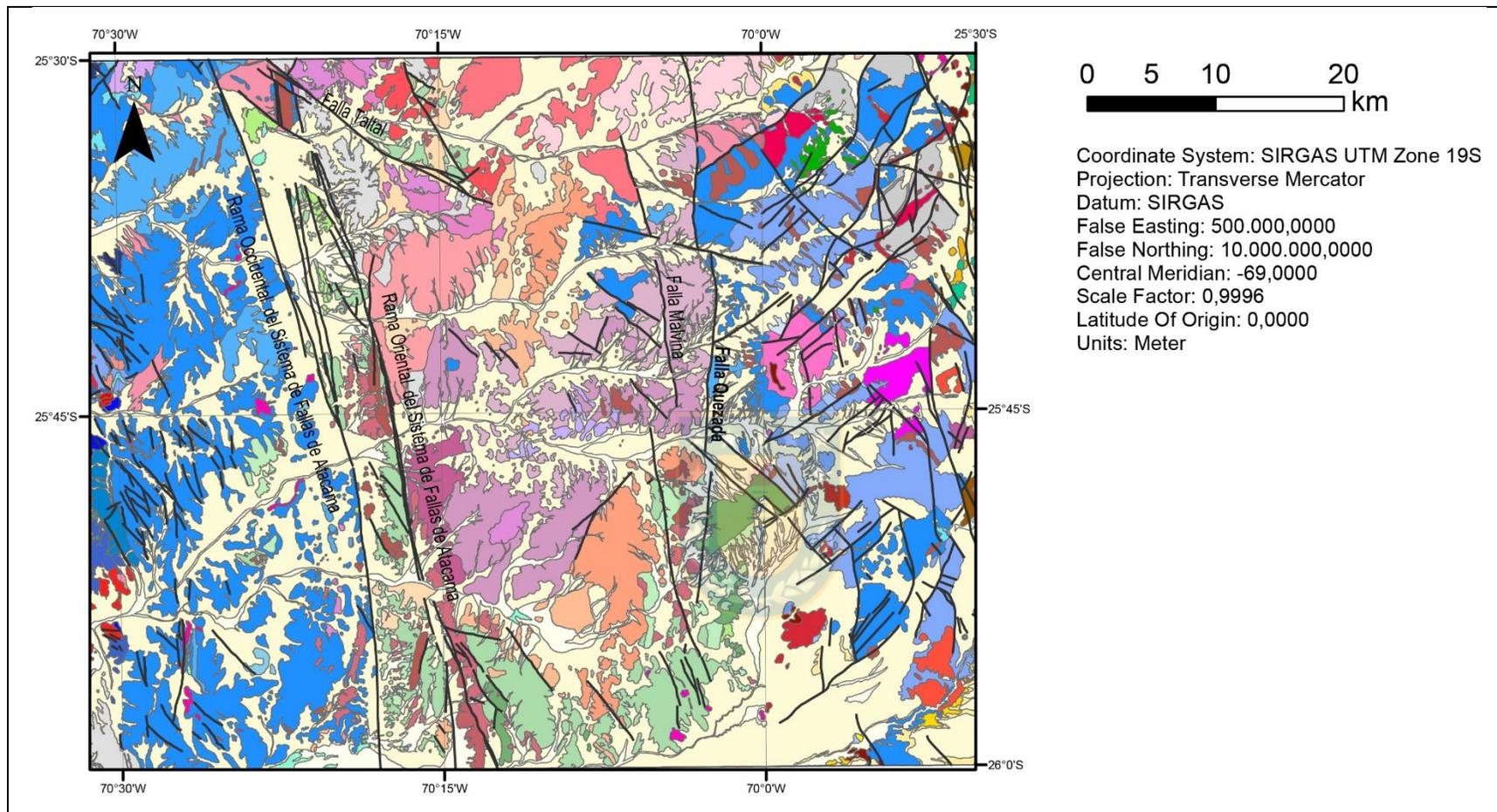


Figura 1.1: Mapa geológico del área de estudio. Compilado a partir de Matthews *et al.*, (2010); Contreras *et al.*, (2013) y Espinoza *et al.*, (2014). Leyenda en página siguiente.

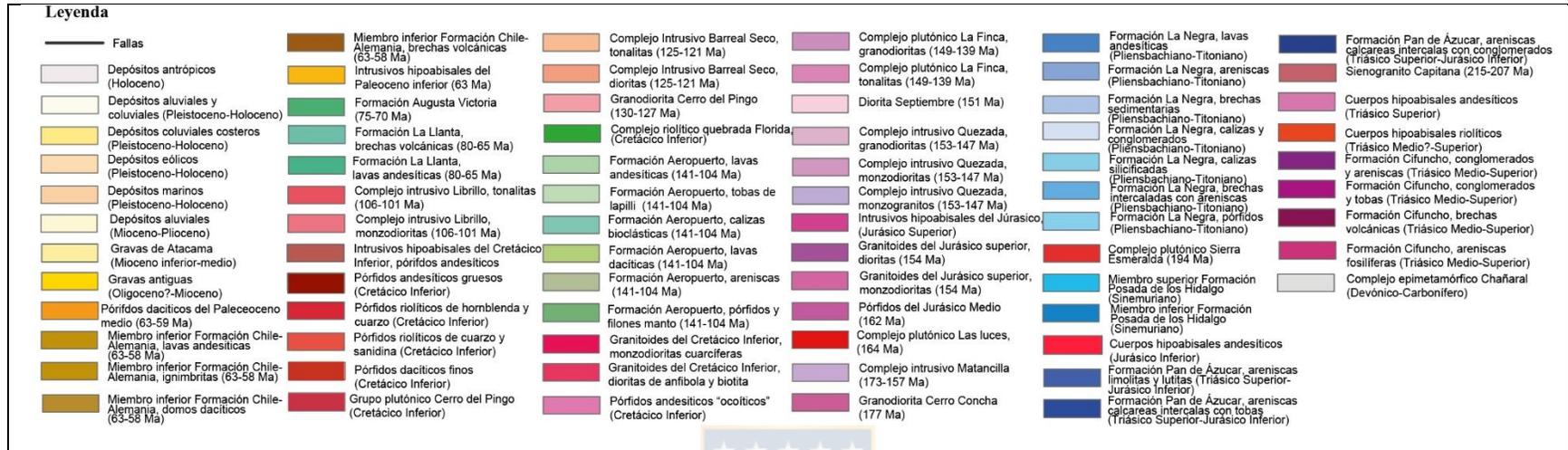


Figura 1.1: Leyenda mapa geológico del área de estudio. Compilado a partir de Matthews *et al.*, (2010); Contreras *et al.*, (2013) y Espinoza *et al.*, (2014). Mapa en página anterior.



La hipótesis que se plantea en este trabajo consiste en que a lo largo del tiempo se conservaría la afinidad calco-alcalina de las lavas, la que es común en los márgenes activos, pero que podría observarse un mayor aporte cortical, particularmente en las rocas del segundo evento volcánico de la Formación Aeropuerto. A su vez, una tectónica menos estable durante el Cretácico Inferior, comparada a la que caracteriza al arco del Jurásico se podría traducir en patrones de elementos menores menos regulares que los de Formación La Negra. Para confirmar esta hipótesis fue necesario determinar las características geoquímicas del volcanismo del Cretácico Inferior y particularmente de la Formación Aeropuerto; además de si la actividad del Sistema de Fallas de Atacama deja o no una impronta determinable en la composición de estas lavas.

Con ese fin se analizaron los datos geoquímicos de elementos mayores, menores y trazas incluidos en las cartas geológicas Cifuncho (Contreras *et al.*, 2013) y Cerro El Pingo (Espinoza *et al.*, 2014) para rocas de las formaciones La Negra y Aeropuerto, así como también de los cuerpos intrusivos de edades similares, con el fin de establecer patrones de evolución del volcanismo desde el Jurásico al Cretácico Inferior. Esto debido a que en el área representada por dichas cartas se observa un registro más o menos continuo entre el volcanismo de ambas edades y a la vez se dispone de abundantes datos para ambas, ya que, en comparación al Jurásico Superior, el volcanismo del Cretácico Inferior no esta tan ampliamente estudiado.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Comprender la evolución geoquímica del volcanismo Jurásico-Cretácico y su relación con la tectónica entre los 25,5°-26°S.

1.2.2 Objetivos específicos

- Establecer un patrón de evolución del volcanismo en el periodo comprendido por las formaciones consideradas.
- Caracterizar geoquímicamente las rocas volcánicas de la Formación La Negra (Jurásico) y de la Formación Aeropuerto (Cretácico Inferior).
- Comparar los diferentes contenidos de elementos trazas en ambas formaciones y establecer la relación con el ambiente tectónico.

1.3 Ubicación

El área de estudio comprende el segmento de la Cordillera de la Costa definido entre las coordenadas $25^{\circ}30' - 26^{\circ}00' S$ y $69^{\circ}50' - 70^{\circ}35' W$ (Figura 1.2). Lo que, a modo de referencia, corresponde a 10,8 km al sur de la ciudad de Taltal y 37,80 km al norte de Chañaral. Desde Concepción esto constituye un trayecto de 1524 km al noreste por la Ruta 5 hacia el norte.

En esta área se incluyen partes de las regiones de Antofagasta y Atacama, específicamente de las comunas de Taltal, al norte, y Chañaral, al sur.

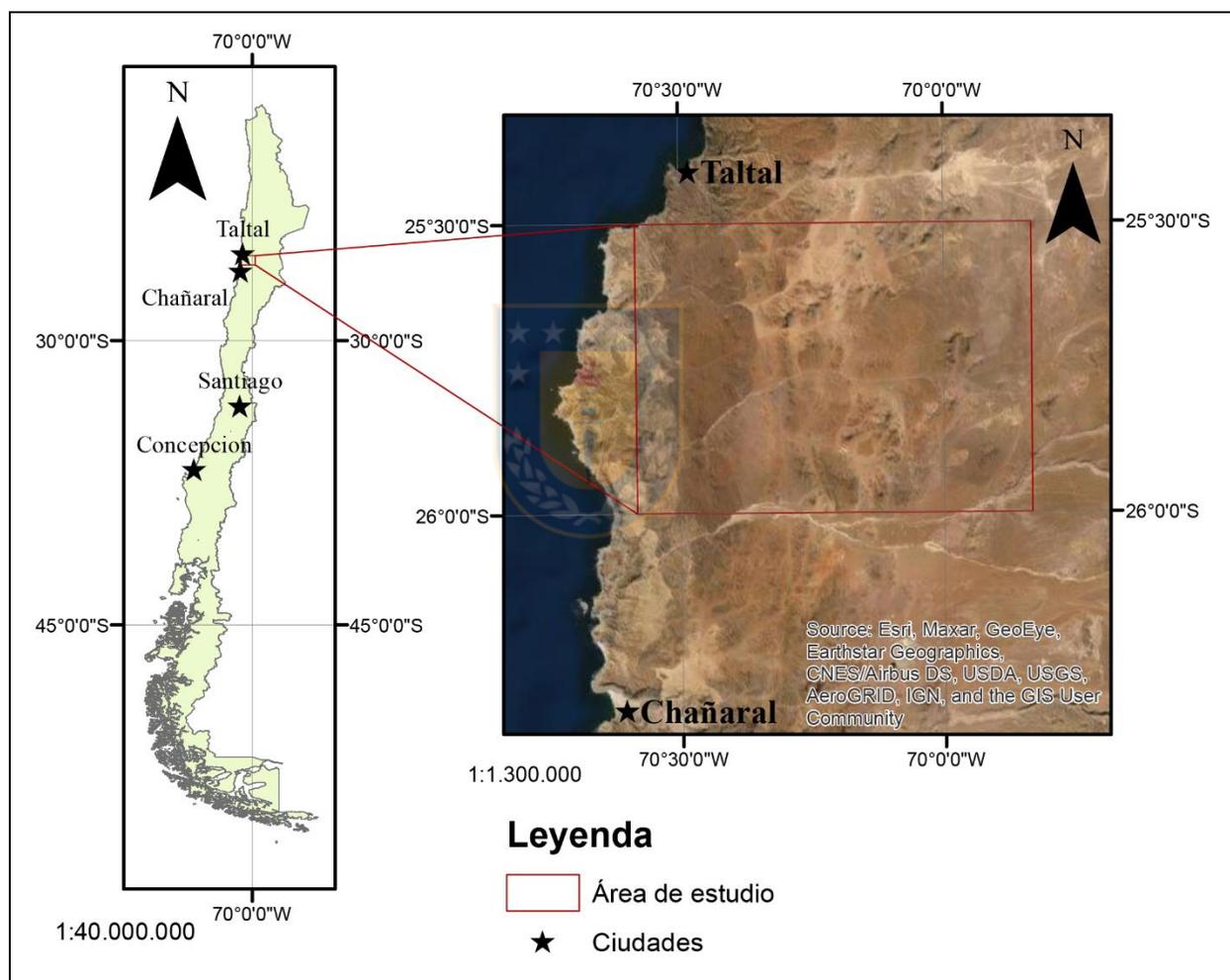


Figura 1.2: Ubicación del área de estudio entre las ciudades de Taltal y Chañaral.

1.4 Metodología de trabajo

Eta 1 Sistematización de datos: Se traspasaron los datos de análisis geoquímicos disponibles en las cartas Cifuncho y Cerro El Pingo a una base de datos con el fin de poder utilizarlos en la

elaboración del trabajo. Para esto se utilizó una plantilla Excel en la que se ordenó cada muestra con su respectiva composición química (Anexos 1,2,3), unidad a la que pertenece y ubicación geográfica en que fue recolectada, en coordenadas UTM.

A partir de los análisis químicos se corrigió la composición de elementos mayores restando el porcentaje de pérdida por calcinación y normalizando a 100% (Anexo 1). También se realizó la separación del óxido de hierro informado en Fe_2O_3 y FeO utilizando el diagrama de clasificación de rocas ígneas en base a la proporción de álcalis versus sílice propuesto por Le Maitre *et al.* (1989) y el factor de fraccionamiento de los óxidos de hierro propuesto por Middlemost (1989). Así mismo esto permitió calcular el contenido de FeO^* dado por la expresión: $\text{FeO}^* = 0,8998 * \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ (Anexo 4).

Etapa 2 Recopilación de información adicional: Se recolectaron datos de estudios científicos centrados en análisis geoquímicos publicados previamente tanto en el área como en zonas aledañas que registraran los mismos eventos geológicos a nivel regional y presentaran características litológicas afines, los que fueron utilizadas tanto como comparación para los datos de este estudio como para profundizar el entendimiento del contexto geotectónico imperante entre el Jurásico Superior-Cretácico Inferior.

Etapa 3 Procesamiento de datos: En esta etapa se procesaron los datos geoquímicos publicados en las cartas Cifuncho y Cerro el Pingo, confeccionando tablas comparativas de los contenidos absolutos de estas y diferentes tipos de diagramas que permitieron caracterizar los procesos magmáticos de los que derivan las diversas muestras.

Para esto se agruparon las muestras según 2 criterios: edad y tipo de rocas. Es decir, en primer lugar, se las clasificó según su edad cronoestratigráfica dividiéndolas en Jurásico y Cretácico, para luego separar estos 2 grupos en 4 sub-grupos según el origen de las rocas: volcánicas jurásicas, intrusivas jurásicas, volcánicas cretácicas e intrusivas cretácicas.

Cada uno de estos grupos fue caracterizado según su composición de elementos mayores (SiO_2 , Na_2O , CaO , K_2O , Al_2O_3 , MgO , MnO , Fe_2O_3 , TiO_2 , P_2O_5) utilizando diagramas binarios para comparar como varían cada uno de estos elementos en relación al SiO_2 y en el tiempo. Para los elementos traza por otro lado, se utilizaron diagramas spider normalizados al manto primitivo y condrito carbonáceo, ambos utilizando las composiciones de Sun & McDonough (1989).

Además de esto, para esta etapa se contó con 8 cortes transparentes de diferentes muestras de la base de datos los que fueron descritos bajo microscopio petrográfico y utilizados para complementar los datos geoquímicos e identificar posibles muestras con un alto grado de alteración.

Etapa 4 Análisis de los resultados: Luego de tener los datos para cada roca analizada se compararon las composiciones según su ubicación espacial, además se contrastaron los resultados con los datos obtenidos en la segunda etapa, a partir de esto se sacaron conclusiones relativas a la composición geoquímica de las lavas y cómo éstas evolucionaron durante el Jurásico-Cretácico Inferior, además de responder qué relación podría guardar esta evolución con el desarrollo del Sistema de Fallas de Atacama.

1.5 Trabajos anteriores

Brown *et al.* (1993) Describen la cinemática y desplazamiento del Sistema de Fallas de Atacama entre 25-27° S.

Lucassen *et al.* (2006) Estudian la composición de las rocas del arco mesozoico entre los 18-27° S y las relacionan a una fuente común.

Contreras *et al.* (2013) Realizan un mapeo a escala 1:100.000 entre las coordenadas 70°30'-71° W y 25°30'-26° S, describen las unidades litológicas, los rasgos estructurales presentes y realizan análisis geoquímicos de rocas volcánicas y plutónicas las que fueron utilizadas en este estudio.

Espinoza *et al.* (2014) Realizan un mapeo a escala 1:100.000 entre las coordenadas 70°-70°30' W y 25°30'-26° S, describen las unidades litológicas, los rasgos estructurales presentes y realizan análisis geoquímicos de rocas volcánicas y plutónicas las que fueron utilizadas en este estudio.

Oliveros *et al.* (2018) Recopilan y analizan estudios geoquímicos, geocronológicos y petrológicos disponibles para el periodo Triásico-Jurásico entre los 20-30° S.

Seymour *et al.* (2020) Relacionan temporal y genéticamente el emplazamiento de cuerpos intrusivos mesozoicos con la actividad del Sistema de Fallas de Atacama.

1.6 Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer a los profesionales que me han apoyado en este proceso, Fernanda Álvarez y Mauricio Espinoza por la oportunidad de trabajar este tema y su constante apoyo y paciencia a lo largo de todo el desarrollo de esta memoria tanto en la resolución de dudas como para conseguir los materiales necesarios.

En segundo lugar, a Juan Pablo Contreras, geólogo de SERNAGEOMIN, por facilitarme el acceso a cortes transparentes de las muestras utilizadas y por ayudar con su experiencia al análisis de resultados.

También agradezco al Departamento Ciencias de la Tierra de la Universidad de Concepción, por permitirme el acceso a microscopio para los análisis de cortes transparentes.

Por último, agradezco a mi familia, mis padres y hermanos que me han apoyado a lo largo de toda la carrera y especialmente en el proceso de escribir esta memoria.



2. MARCO GEOLÓGICO

2.1 Marco geotectónico

Actualmente el modelo más aceptado para explicar la formación de la Cordillera de la Costa del norte de Chile corresponde al propuesto por Ramos (1998), el cual describe una sucesión de terrenos alóctonos que se abrían acrecionado al margen occidental de Gondwana durante el Paleozoico inferior. En el actual borde costero del norte de Chile cobra especial importancia el terreno de Chilenia, el cual se habría adosado a la costa de Gondwana durante el Devónico (Ramos, 1998) generando la formación de un prisma de acreción, representado entre los 25°30'-27°S por el complejo Epimetamórfico Chañaral (Bell, 1982) y luego, avanzando hacia el oeste, una cuenca de antearco y un arco magmático. Todo esto durante lo que se conoce como la fase Gondwanica del ciclo Pre-andino.

En el periodo posterior a esto, entre el Triásico e inicios del Jurásico, la actividad en el margen continental de Chile se habría encontrado fuertemente controlada por el desmembramiento de Gondwana lo que se habría traducido en un periodo de *rifting*, representado en el paleomargen gondwánico por una serie de cuencas continentales a marino-continentales asociadas a volcanismo que se observan de manera discontinua entre Antofagasta y Concepción (Mpodozis & Ramos, 2008). Entre los 25-26° S este periodo se encuentra representado por la interdigitación de la Formación Cifuncho, Pan de Azúcar y Posada de los Hidalgo (Contreras *et al.*, 2013).

Por otro lado, durante el Jurásico el principal factor de control estructural en el margen continental habría pasado a ser la subducción oblicua de la placa de Phoenix lo que habría derivado en la configuración de un margen extensional que habría acomodado el estrés de esta subducción mediante el desarrollo de sistemas de estructuras transtensionales sinestrales (Oliveros *et al.*, 2020).

Esto habría derivado, en primer lugar, en la formación del arco volcánico acompañado de un sistema de cuencas de tras-arco en el margen occidental de América del Sur entre el sur de Perú y el centro de Chile (Mpodozis & Ramos, 2008). Este arco volcánico queda representado entre Arica y Copiapó por la Formación La Negra (Espinoza *et al.*, 2014).

Hacia fines del periodo de actividad del arco de La Negra, en respuesta a los cambios en el régimen tectónico previamente mencionado, se generan zonas de deformación dúctil paralelas al arco, generando lo que se conoce como Sistema de Fallas de Atacama (Mpodozis & Ramos, 2008). Esta deformación se alterna con las últimas etapas de volcanismo del arco, representado entre los 25°-26°S por la Formación Aeropuerto y más al norte, por los Estratos Quebrada San Cristóbal (Basso, 2004) y Estratos Paradero del Desierto (Cortés, 2000), entre los 23°-24°S y la Formación Punta Barranco entre los 20-21°S (Vasquez & Sepulveda, 2013).

Finalmente, hacia fines del Cretácico Inferior ocurre el paso de un margen fundamentalmente extensivo a uno compresivo y con ello la migración del arco volcánico desde la Cordillera de la Costa hasta su posición actual en la Cordillera de los Andes (Charrier *et al.*, 2007).

2.2 Marco geológico regional

2.2.1 Complejo epimetamórfico Chañaral

Las rocas más antiguas de la Cordillera de la Costa entre los 25°30'-27°S (Bell, 1982) corresponden a lo que originalmente se llamó Basamento Metamórfico, Formación Las Tórtolas y Melange de Chañaral pero que actualmente se agrupan bajo el nombre de Complejo Epimetamórfico Chañaral (Contreras *et al.*, 2013, Escribano *et al.*, 2013).

Estas rocas de edad Carbonífero representan una secuencia turbidítica afectada por metamorfismo regional, el que habría transformado los sedimentos pelíticos en pizarras, filitas y esquistos caracterizados por una marcada foliación y crenulación (Bell, 1982). Las areniscas por otro lado presentan un metamorfismo menos evidente, en forma de ruptura de cristales de turmalina, deformación de plagioclasas y feldespatos, y recristalización de cuarzos y micas (Bell, 1982).

Bell (1982) atribuye la deformación observada en estas rocas a 3 procesos, el primero de aplanamiento que habría generado la foliación, luego un segundo esfuerzo habría dado origen a la crenulación esto producto de un cambio en la dirección de subducción de norte a noreste y por último la intrusión de plutones paleozoicos habría llevado a la formación un metamorfismo de contacto localizado.

2.2.2 Magmatismo Triásico-Jurásico Inferior

Como consecuencia del comienzo de la fragmentación de Gondwana, se inició un periodo de extensión que duraría hasta el Jurásico y que llevaría a la extrusión de amplias secuencias de material volcánico depositado de manera discontinua sobre depósitos sedimentarios o directamente sobre el basamento metamórfico (Mpodozis & Ramos, 2008). Entre los 25-26°S este proceso es representado por las formaciones: Cifuncho, Pan de Azúcar, y Posada de los Hidalgo.

La formación Cifuncho (Triásico Medio (?)- Superior) corresponde a una sucesión de 4 facies principales, la primera correspondiente a areniscas y conglomerados polimícticos con estratificación y formación de abundantes paleocanales que han sido interpretadas como formadas en abanicos aluviales próximos a ríos trenzados. La segunda y tercera facies corresponden a material de origen volcánico: piroclastos (tobas y tufitas) y lavas (brechas y coladas andesíticas) respectivamente. La facies final corresponde al techo de la formación y se compone de areniscas amarillas con flora fósil depositadas en un ambiente de delta (Contreras *et al.*, 2013). Esta sucesión de litologías ha llevado a determinar que se habría tratado de una cuenca de subsidencia rápida formada en un graben asociado a una cuenca de *rift* (Suárez & Bell, 1992).

La Formación Pan de Azúcar (Triásico Superior- Jurásico Inferior) es una secuencia de areniscas, areniscas calcáreas, lutitas y tobas. Es rica en fósiles de amonites y sus facies presentan una marcada estratificación. El paso entre las formaciones Cifuncho y Pan de Azúcar es gradual y se ha asociado a una importante transgresión marina desarrollada durante el Jurásico Inferior (Contreras *et al.*, 2013).

Por último, La Formación Posada de los Hidalgo (Sinemuriano) se engrana lateralmente con la Formación Pan de Azúcar y representaría un alzamiento y posterior subsidencia de la cuenca. En su base se caracteriza por brechas volcánicas y conglomerados mal estratificados formando un abanico aluvial o delta. Sobre estos yacen areniscas tobáceas, lavas y calizas con marcada estratificación y abundantes fósiles marinos que han sido interpretados como marcadores de un ambiente tipo abanico submarino (Contreras *et al.*, 2013).

Estas secuencias marino-volcánicas, así como el basamento paleozoico, se encuentran además intruidas por una serie de cuerpos plutónicos e hipabisales con composiciones que varían

ampliamente desde granitos, monzogranitos, granodioritas, dioritas, riolitas y andesitas (Contreras *et al.*, 2013).

2.2.3 Arco volcánico de La Negra

El Jurásico Superior del norte de Chile, en la Cordillera de la Costa, se caracteriza por un sostenido volcanismo asociado a subducción el que se registra continuamente entre el sur de Perú a San Fernando en el centro de Chile (Mpodozis & Ramos, 2008). Este proceso se habría extendido a lo largo de todo el Jurásico Superior y hasta fines del Cretácico Inferior cuando el arco habría sido abandonado y comenzado su migración hacia la Depresión Intermedia.

Este volcanismo queda representado por una serie de unidades volcánicas entre las que se cuentan las formaciones Camaraca, Oficina Viz, Punta del Cobre (Mpodozis & Ramos, 2008), Punta Barranco (Vasquez *et al.*, 2015), Estratos Quebrada San Cristóbal (Basso, 2004), Estratos Paradero del Desierto (Cortés, 2000), Formación Aeropuerto y la de mayor extensión, Formación La Negra. Este volcanismo se caracteriza por tener composiciones bastante homogéneas en toda su extensión (Oliveros *et al.*, 2007).

De forma más específica, se trataría de lavas andesíticas altamente porfíricas con afinidad calco-alcalina, anomalías negativas de Nb y Ti, además de enriquecimiento de LILEs sobre HSFES y LREE sobre HREE; todas características típicas de rocas asociadas a subducción (Oliveros *et al.*, 2007).

Además, grandes cuerpos plutónicos cuyas edades decrecen hacia el este y varían entre 100-180 Ma, intruyen profusamente tanto al volcanismo Jurásico como a las unidades más antiguas (Mpodozis & Ramos, 2008). Al igual que ocurre con las rocas volcánicas estos cuerpos presentan afinidades geoquímicas de rocas de arco de subducción asociadas a una corteza delgada (Oliveros *et al.*, 2007; Mpodozis & Ramos, 2008).

2.2.4 Depósitos neógenos y cuaternarios

Posterior al abandono del arco se observa un hiatus depositacional en la Cordillera de la Costa de forma que sobreyaciendo a las unidades mesozoicas antes mencionadas se encuentran depósitos miocenos-holocenos de origen eólico, piroclástico, evaporítico y principalmente, aluvial (Espinoza *et al.*, 2014).

Estos depósitos corresponden principalmente a terrazas y abanicos aluviales semiconsolidados de edad Mioceno-Plioceno las que yacen en discordancia sobre las rocas mesozoicas y depósitos aluviales no consolidados asociados flujos intermitentes en quebradas (Espinoza *et al.*, 2014). Además de esto, en el área de estudio se reconocen una serie de depósitos eólicos de limitada extensión en las inmediaciones de Sistema de Fallas de Atacama y algunos depósitos salinos de edad Pleistoceno-Holoceno.

2.3 Marco geológico local

2.3.1. Unidades volcanosedimentarias

2.3.1.1 Formación La Negra (Pliensbachiano-Titoniano)

La Formación La Negra fue descrita por primera vez por Garcia (1967) en su localidad tipo, la quebrada La Negra, al SE de Antofagasta como una secuencia de lavas porfídicas parcialmente amigdaloidales con intercalaciones esporádicas de bancos de brechas con clastos porfídicos y areniscas gruesas arcillosa; la cual se encuentra intruida por abundantes cuerpos hipoabisales andesíticos (Espinoza *et al.*, 2014).

Dentro del área de estudio, los afloramientos siguen, en general, esta misma tendencia, sin embargo, también cabe destacar un importante control estructural en su aparición, limitado en este caso por el Sistema de Falla Tigrillo al oeste y el Sistema de Falla de Atacama (SFA) al este. Además, se observan afloramientos localizados más al este, asociados a las fallas Quezada y Taltal (Contreras *et al.*, 2013; Espinoza *et al.*, 2014).

Dentro del área, la Formación La Negra se encuentra sobreyaciendo en discordancia angular al Complejo Epimetamórfico de Chañaral, en paraconformidad a las formaciones Pan de Azúcar y Posada de los Hidalgo y en concordancia con la Formación Pan de Azúcar (Contreras *et al.*, 2013; Espinoza *et al.*, 2014).

Sobre la Formación La Negra se depositan en discordancia angular los depósitos no consolidados del Neógeno-Cuaternario y en contacto por falla se reconoce la Formación Aeropuerto (Espinoza *et al.*, 2014).

Además, la Formación La Negra se encuentra instruida por una serie de cuerpos intrusivos; estos son: el Complejo Intrusivo Matancilla, el Complejo Plutónico Las Luces, la Granodiorita

Goyenechea, el Complejo Intrusivo Quezada, el Complejo Intrusivo Librillo, el Complejo Intrusivo Barreal Seco, la Diorita Septiembre y numerosos cuerpos hipoabisales Jurásicos y Cretácicos (Espinoza *et al.*, 2014).

En cuanto a su composición, la Formación La Negra, ha sido dividida en 7 asociaciones de facies principales, según fueron identificadas en las cartas Cifuncho (Contreras *et al.*, 2013), Cerro del Pingo (Espinoza *et al.*, 2014) y Bahía Isla Blanca y Taltal (Escribano *et al.*, 2013) con la sucesión de letras a-g, de las cuales 5 se encuentran representadas en el área de estudio; estas corresponden a:

- (a) Flujos de lavas principalmente andesíticas y andesítico-basálticas y en menor medida basálticas y dacíticas; caracterizadas por fenocristales de grano grueso de plagioclasas y piroxeno además de amígdalas rellenas de calcita, clorita y sílice. En general se encuentran bien estratificados formando coladas de 5-10 m de espesor en las que se incluyen niveles desgarrados de areniscas tobáceas rojas que indican interacción entre estas dos facies al momento de depositación y algunos diques y filones mantos sub-paralelos que forman una pseudo-estratificación. Esta facies aflora preferencialmente hacia el oeste del SFA y en la zona norte del área de estudio.
- (b) Areniscas y tufitas rojas localmente calcáreas, estratificadas y compuestas principalmente de fragmentos volcánicos y piroclásticos. Los niveles calcáreos presentan fósiles de bivalvos, sin embargo, estos no constituyen fósiles guía. Esta facies aflora principalmente al noreste del área.
- (c) Calizas cuya composición varía ampliamente a lo largo de la formación presentándose como cuerpos lenticulares de calizas arenosas y calcilutitas insertos en las lavas de la facies (a), sucesiones bien estratificadas de calizas con importante contenido volcanoclástico en bancos de hasta 1 m de espesor, coquinas de hasta 10m de espesor con presencia de fósiles de bivalvos y gastrópodos e icnofósiles y conglomerados polimícticos con fragmentos de líticos volcánicos porfiricos y plagiocasas, estos últimos se asocian a las fases intermedias y tardías de la formación.
- (d) Brechas volcanoclásticas, areniscas rojas, tobas líticas y lavas andesíticas y andesítico-basáltico en secuencias intercaladas formando paquetes de hasta 2.400 m de espesor. Esta facies aflora de manera localizada en los sectores de llano Colorado, Quebrada Los Zajones y Quebrada Cifuncho.

(e)Cuerpos Hipoabisales, los que corresponden a diques, filos, stocks y domos con composiciones andesítica, andesítico-basáltica y ocoítica que intruyen la Formación La Negra (Contreras *et al.*, 2013; Espinoza *et al.*, 2014).

En cuanto a la geoquímica de esta formación, varios autores han estudiado tanto las rocas volcánicas como hipabisales de la Formación La Negra, donde distinguen una marcada composición calco-alcalina y en menor medida toleítica. (Lucassen & Franz 1994; Kramer *et al.*, 2005; Oliveros *et al.*, 2007) Además, se observa enriquecimiento en elementos LILE y empobrecimiento en HFSE, con un patrón relativamente constante cuando se compara respecto al manto primitivo (Lucassen *et al.*, 2006; Oliveros *et al.*, 2007).

Si bien la edad asignada para esta unidad es Pliensbachiano-Titoniano, a nivel local, dentro del área de estudio mediante datación U-Pb en circones este rango puede restringirse a 174-145 Ma (Espinoza *et al.*, 2014).

2.3.1.2 Formación Aeropuerto (Cretácico Inferior)

La Formación Aeropuerto fue inicialmente designada de manera informal por Ulriksen (1979) como una secuencia volcanosedimentaria compuesta por 2 miembros separados espacialmente por la intrusión de un batolito cretácico y posteriormente definida formalmente por Naranjo & Puig (1984) quienes la reconocen como una secuencia compuesta por intercalaciones de rocas sedimentarias marinas y continentales de origen volcanoclástico, desestimando, además, la necesidad de la división en miembros debido a la similitud litológica entre aquellos definidos originalmente. Además, se correlaciona por asociación litológica y edad con Formación Punta del Cobre, la cual aflora directamente al sur del área de estudio. Mientras que hacia el nortes se correlaciona con los Estratos Quebrada San Cristóbal (Basso, 2004) y Estratos Paradero del Desierto (Cortés, 2000), entre los 23°-24°S y la Formación Punta Barranco entre los 20-21°S (Vasquez & Sepulveda, 2013).

Su distribución es bastante limitada en cuanto a extensión y se encuentra fuertemente controlada por sistemas estructurales. Aflora principalmente como una franja discontinua con orientación NNO-SSE entre las ramas oriental y occidental del Sistema de Falla de Atacama (SFA) que se extiende entre el sector Punta del Diablo al norte y quebrada Pan de Azúcar al sur; sin embargo,

también fue reconocida más al este, con afloramientos asociados a la Falla Quezada al sur de quebrada La Cachina (Espinoza *et al.*, 2014).

En cuanto a relaciones de contacto; en el área la Formación Aeropuerto solo se observa en contacto por falla a la Formación La Negra mientras que hacía techo se encuentra también en contacto estructural con la Granodiorita Cerro del Pingo y el Complejo Intrusivo Barreal Seco; este último junto con una serie de intrusivos hipoabisales, también intruyen a la Formación Aeropuerto (Espinoza *et al.*, 2014).

Litológicamente se reconocen 6 asociaciones de facies para la Formación Aeropuerto:

(a) Lavas andesíticas macizas de color rojizo a verdoso, con escasas dacitas de color gris, cuyas texturas van de afaníticas a porfídicas. La facie andesítica presenta gran similitud con rocas de la Formación La Negra y se las distingue de estas por su alto nivel de autobrechización, menos tamaño de los fenocristales y escasas amígdalas.

(b) Tobas de lapilli y tufitas presentes de manera discontinua e intercaladas con las otras facies de la formación. Se compone de ignimbritas moderadamente soldadas formadas a partir de tobas de lapilli rojo a violáceo con abundantes fragmentos vítreos recristalizados y en menor medida, líticos andesíticos y cristales de plagioclasa, cuarzo, piroxeno y ortoclasa. Cabe destacar que esta facies suele presentar una marcada alteración argílica.

(c) Calizas bioclásticas fuertemente plegadas formando cuerpos lenticulares muy locales solo presentes en el área entre las ramas oriental y occidental del SFA.

(d) Lavas dacíticas y riolíticas de anfíbol con textura porfídica las cuales presentan fenocristales de plagioclasa, sanidina y cuarzo insertos en una masa fundamental de cuarzo fino recristalizado o microlitos de plagioclasa. Las riolitas ocasionalmente se presentan bandeadas.

Sus afloramientos se encuentran restringidos al norte del área abarcada por la formación, específicamente en los sectores de Aeródromo las Breas, sur de Quebrada del Pingo y sur de Sierra Overa.

(e) Areniscas rojas arcósicas gruesas y grauvacas de grano medio formando delgados paquetes de escasa distribución areal e intercalados con capas de tobas de ceniza vítreas. Esta facies aflora

restringidamente al suroeste de Aeródromo Las Breas, suroeste de Pampa Punta del Diablo y al sur de quebrada La Cachina.

(f) Cuerpos hipoabisales andesíticos y dacíticos asociados al Sistema de Fallas de Atacama que cortan a las otras facies mencionadas en (a) y (c). Estos cuerpos corresponden a filones manto (Espinoza *et al.*, 2014) y diques sin rumbo preferencial (Escribano *et al.*, 2013) caracterizados por la presencia de “ojos” de cuarzo, ortoclasa alterada a illita y una marcada hematización de la masa fundamental (Espinoza *et al.*, 2014).

Mediante dataciones radiométricas y análisis fosilífero se ha determinado que los depósitos de la Formación Aeropuerto representan 2 periodos de volcanismo (Espinoza *et al.*, 2014) que habrían ocurrido de forma previa a la migración del arco a la Depresión intermedia. (Matthews *et al.*, 2010). El primero de estos, tendría características más ácidas, correspondiéndose con las rocas dacíticas y riolíticas observadas entre las ramas oriental y occidental de la SFA, las que se presentan tanto como coladas, así como domos. El rango de edad que se ha calculado para este evento mediante dataciones U-Pb en circones de dacitas es de 138-141 Ma (Berriasiano-Valanginiano) mientras que la presencia de bivalvos de género *Exogyra* en los niveles carbonatados que se intercalan en las lavas (Ulriksen, 1979) indicaría que los niveles pertenecen al Cretácico y los restos de ammonites de *Olcostephanus* sp. observados 90 km al sur del área de estudio en el sector de Diego de Almagro restringirían su extensión al Valanginiano (Naranjo & Piug, 1984 en Espinoza *et al.*, 2014).

El segundo periodo, de composición intermedia y con marcadas características efusivas y piroclásticas, presenta edades correspondientes a 123,7 +0,6 -0,8 Ma obtenida mediante U-Pb en una toba dacítica en el sector sur de sierra Overa y de 128,2 ±0,1 Ma, calculada a través de U-Pb en circones en la zona de quebrada la Peineta y al norte de la falla Taltal (Las Cenizas, 2007 en Espinoza *et al.*, 2014). Otras edades de 115 ±4 Ma y 104±2Ma correspondientes a edades K-Ar en roca total obtenidas de lavas y rocas hipoabisales andesíticas (Münchmeyer, 2004 en Espinoza *et al.*, 2014) son señaladas por Espinoza *et al.* (2014) como edades mínimas de depositación debido al alto nivel de alteración de estas rocas. Lo anterior indica que este segundo evento se ubicaría en los pisos más tardíos del Cretácico Inferior (Albiano-Barremiano).

Estos 2 periodos representarían un ambiente principalmente continental-volcánico con transgresiones marinas esporádicas (representadas por los niveles calcáreos con presencia de

fósiles marinos antes mencionados). El origen del primer periodo se asocia a un adelgazamiento cortical a nivel regional durante un régimen tectónico extensional (Mpodozis y Ramos, 1989) y fluctuaciones locales del nivel eustático del mar mientras que el segundo representaría un volcanismo facilitado por el desarrollo de debilidades estructurales. (Espinoza *et al.*, 2014).

2.3.2 Unidades intrusivas

2.3.2.1 Granodiorita Cerro Concha (177,4 Ma)

Cuerpo compuesto principalmente por granodioritas de piroxeno, anfíbol y biotita que en sectores gradan a tonalitas de anfíbol y biotita. Aflora como un cuerpo tabular en la zona centro del área y restringido al este de la Rama Oriental del SFA cubriendo aproximadamente 25 km². (Espinoza *et al.*, 2014). Esta unidad se observa intruyendo al Complejo Epimetamórfico Chañaral y siendo intruida por el Complejo Intrusivo Quezada y cuerpos hipoabisales del Cretácico Inferior, lo que permite acotar su edad Jurásico medio. Además, mediante datación Ar/Ar se obtuvo una edad de 177,4 ±0,4 Ma para esta unidad (Espinoza *et al.*, 2014).

2.3.2.2 Complejo intrusivo Quezada (153-147 Ma)

Conjunto de cuerpos intrusivos que se extiende formando una franja con orientación NNE-SSO que se acuña hacia el este entre los sectores de Sierra del Carmen al sur y Quebrada La Peineta al norte, siendo delimitado por el este por la falla homónima (Espinoza *et al.*, 2014).

Se compone de 3 facies principales con contactos transicionales entre ellas. Estas son: granodioritas de biotita, piroxeno y anfíbol con tonalitas de anfíbol subordinadas, monzodioritas cuarcíferas de piroxeno y biotita con tonalitas de anfíbol y biotita subordinadas y monzogranitos que varían localmente a sienogranitos de biotita y anfíbol (Espinoza *et al.*, 2014).

Esta unidad se observa siendo intruida por el Complejo Intrusivo Barreal Seco y por el otro lado intruyendo al Complejo Epimetamórfico Chañaral, a la Granodiorita Cerro Concha y a la ormación. La Negra, encontrándose también en contacto estructural con esta última a través de la Falla Quezada (Espinoza *et al.*, 2014).

La edad estimada para el Complejo Intrusivo Quezada es de 153-147 Ma, la que fue calculada a partir de 4 edades de cristalización U-Pb en circones de granodioritas y monzodioritas cuarcíferas, 3 edades Ar/Ar en anfíbol y biotita y 2 edades K-Ar en biotita (Espinoza *et al.*, 2014).

2.3.2.3 Complejo intrusivo La Finca (149-139 Ma)

Conjunto de cuerpos intrusivos nombrados según la Sierra La Finca, ubicada al norte del área de estudio. Consta de 2 facies características: Granodioritas de anfíbol y biotita con granodioritas de biotita, piroxeno y anfíbol subordinadas y tonalitas de anfíbol y biotita que gradan a tonalitas y dioritas cuarcíferas (Espinoza *et al.*, 2014). Esta unidad abarca aproximadamente 32 km² y aflora entre la rama oriental del SFA y la falla Quezada (Espinoza *et al.*, 2014).

El Complejo Intrusivo La Finca se encuentra intruyendo al Complejo Metamórfico Chañaral y al Complejo Intrusivo Quezada mientras que se observa siendo intruido por la Granodiorita Cerro del Pingo. Cabe también destacar que esta última genera metamorfismo de contacto en las tonalitas del Complejo Intrusivo La Finca en el área al sur de la Falla Taltal. (Espinoza *et al.*, 2014).

Para esta unidad se ha calculado una edad de 149-139 Ma a través de dataciones K-Ar en biotita y Ar-Ar en biotita y anfíbol. (Espinoza *et al.*, 2014).

2.3.2.4 Granodiorita Cerro del Pingo (130-127 Ma)

Cuerpo compuesto casi exclusivamente por granodioritas de biotita y anfíbol, que aflora en las inmediaciones del cerro homónimo y al sur de la quebrada Cifuncho. Cabe señalar que su extensión se encuentra controlada al oeste por la rama oriental del SFA, donde se observa en contacto estructural con la Formación Aeropuerto (Espinoza *et al.*, 2014).

Además, se encuentra intruida por enjambres de diques con orientación ONO-ESE y NO-SE e intruye al Complejo Epimetamórfico Chañaral, el Complejo Intrusivo Quezada y Complejo Intrusivo La Finca (Espinoza *et al.*, 2014).

Se le asigna un rango de edad de 130-127 Ma considerando un conjunto de edades Ar-Ar en anfíbol y biotitas recolectadas tanto en inmediaciones de la SFA como en sectores sin deformación, las que indican el mismo rango de edad y por ende que el emplazamiento de este plutón sería contemporáneo a la actividad de la rama oriental de la SFA (Espinoza *et al.*, 2014).

2.3.2.5 Complejo intrusivo Barreal Seco (125-118 Ma)

Unidad compuesta por una amplia variedad de litologías que gradan desde tonalitas a dioritas y granodioritas. Recibe su nombre de la Pampa Barreal Seco donde afloran sus 2 facies con bajo grado de alteración. Se reconoce en el centro del área de estudio, restringida al este de la rama oriental de la SFA (Espinoza *et al.*, 2014).

Se observa en contacto intrusivo y estructural con la Formación Aeropuerto a través de la Falla Sierra del Carmen donde se genera foliación sub-paralela a la falla y milonitización local. También intruye al Complejo Intrusivo Quezada y es intruido por hipoabisales dioríticos del Cretácico Inferior (Espinoza *et al.*, 2014).

Se reconocen 2 facies principales para esta unidad. La primera compuesta principalmente por tonalitas de biotita, anfíbol y piroxeno que gradan a monzodioritas de piroxeno, biotita y anfíbol y la segunda correspondiente a dioritas y microdioritas cuarcíferas de piroxeno que gradan a monzodioritas cuarcíferas de piroxeno. Esta última se caracteriza también una marcada alteración propilítica (Espinoza *et al.*, 2014).

La edad calculada para esta unidad es de 125-118 Ma, contándose con una datación U-Pb en circón, 3 dataciones Ar/Ar en biotita y 4 dataciones K-Ar en biotita (Espinoza *et al.*, 2014).

2.3.2.6 Complejo intrusivo Librillo (106-101 Ma)

Unidad que aflora ocupando aproximadamente 62km² en el centro-norte del área de estudio, específicamente al norte de Falla Taltal. (Espinoza *et al.*, 2014). En cuanto a relaciones de contacto, se la observa intruyendo al Complejo Intrusivo La Finca, la Diorita Septiembre, la Formación Aeropuerto y al Complejo Intrusivo Barreal Seco (Espinoza *et al.*, 2014).

Se compone de 2 facies principales. La primera correspondiente a tonalitas y en menor medida granodioritas de biotita y anfíbol las que se encuentran levemente sericitizadas, mientras que la segunda se compone de monzodioritas cuarcíferas de anfíbol y biotita, subordinadamente con dioritas de anfíbol intensamente actinolizadas. Esta última facies se caracteriza además por una intensa sericitización y por la formación de zonas lixiviadas alrededor de planos de fractura (Espinoza *et al.*, 2014).

A través de 1 datación U-Pb en circón, 3 edades Ar-Ar en biotita y 1 edad Ar-Ar en anfíbol se determinó la edad de esta unidad entre 106-101 Ma (Espinoza *et al.*, 2014).

2.3.2.7 Intrusivos hipoabisales del Cretácico Inferior (127,7-118 Ma)

Unidad informal en la que se agrupa un conjunto de intrusivos hipoabisales de poca extensión observados preferentemente alrededor del SFA, tanto entre las ramas principales como alrededor del sistema y que intruyen a varias de las unidades mencionadas anteriormente; entre ellas: Formación La Negra, Complejo Intrusivo Quezada, Formación Aeropuerto y Complejo Intrusivo Barreal Seco (Espinoza *et al.*, 2014).

Litológicamente estos cuerpos corresponden a pórfidos andesíticos con fuerte alteración a clorita y epidota, y pórfidos microdioríticos a dioríticos generalmente alterados a clorita e illita-esmectita (Espinoza *et al.*, 2014).

Solo se dispone de una edad Ar-Ar de 118 Ma para estos hipoabisales pero por relaciones de contacto se infiere que tendrían entre 127,7-118 Ma (Espinoza *et al.*, 2014).

2.4 Marco Estructural

Dentro del área de estudio se reconocen 2 dominios estructurales principales representados por estructuras de orientación N-S a NNO-SSE y NO-SE respectivamente. Entre los primeros destacan estructuras a nivel regional asociadas al Sistema de Falla de Atacama (SFA) y otras más bien locales como son la falla Quezada, la falla Sierra del Carmen y la falla Malvina. Por otro lado, con orientación NO-SE se encuentran el Sistema de falla Fallas Taltal y la Falla San Luis. Además, cabe señalar de la Falla El Muelle que si bien pareciera derivarse del Sistema de Falla de Atacama a medida que se acerca a la falla Taltal va curvando su rumbo volviéndose paralela a esta última.

2.4.1 Sistema de Fallas de Atacama

La zona de Falla de Atacama representa un evento deformacional a gran escala que se extiende desde Iquique hasta Vallenar con una orientación principalmente N-S y ramificaciones NO-SE a NNO-SSE pero que presenta dos importantes quiebres, en las zonas de Antofagasta y Taltal. Por esto se lo ha dividido en 3 segmentos de norte a sur: Salar del Carmen, Paposos y El Salado (Brown

et al., 1993). Para efectos de este estudio se considerará solo este último ya que es el que está comprendido en la zona considerada (Figura 2.1).

En este segmento el Sistema de Fallas de Atacama está representada por 3 fallas subparalelas principales, descritas como falla central, falla occidental y falla oriental, las que presentarían una disposición subvertical con desplazamiento sinistral asociadas a un ambiente transtensional y se habrían desarrollado en un principio bajo un régimen dúctil y con una posterior deformación frágil sobreimpuesta (Brown *et al.*, 1993).

Las dataciones de la zona de fallas de Atacama a través de minerales neoformados le atribuyen una edad Ar/Ar de 128-125 Ma en el área (Espinoza *et al.*, 2014). Sin embargo, mediante dataciones U-Pb y U-Th/He se ha ampliado este rango dando edades de 132-119 Ma para la deformación dúctil mientras que la deformación frágil habría continuado hasta los 116-96 Ma, coincidiendo, el cese de su actividad, con el abandono del arco magmático (Seymour *et al.*, 2020).

Por otro lado, en los segmentos Salar del Carmen y Paposo la actividad de SFA habría sido más prolongada iniciando entre los 160-120 Ma (Scheuber & Gonzalez, 1999 en Seymour *et al.*, 2020).

Además de las ramas principales del SFA, dentro del área de estudio, se reconocen 2 fallas conjugadas, esta son la Falla Quezada y la Falla Malvina, ambas ubicadas al este del SFA (Figura 1.1). La configuración de estas fallas lleva a la generación de un alto de basamento cristalino en el área, en una configuración tipo horst, presentándose unidades Jurásicas al oeste del SFA y al este de las fallas Quezada y Malvina, mientras que entre estos 2 sets de fallas se conservan unidades Cretácicas (Espinoza *et al.*, 2014).

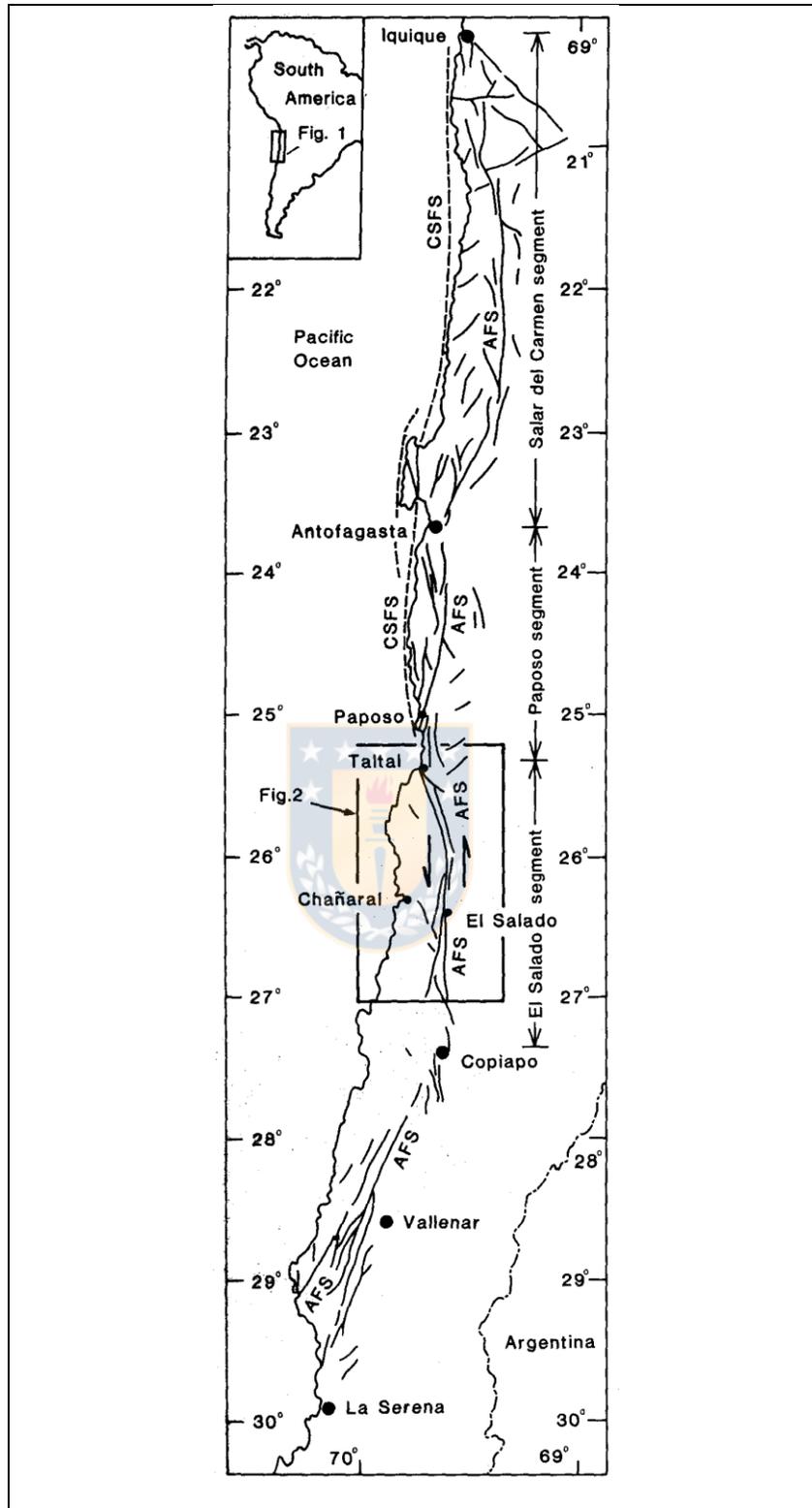


Figura 2.1: Extensión y subdivisión de la Zona de Falla de Atacama; tomado de Brown et al. (1993).

2.4.2 Sistema de Fallas Taltal

Este sistema agrupa una serie de estructuras con orientación NNO-SSE que habrían tenido actividad hacia fines del Jurásico y principios del Cretácico (Mavor *et al.*, 2020). Estas se caracterizan por ser fallas casi verticales, manteniendo levemente al noreste y con una componente sinistral que corta a las estructuras N-S del Jurásico Superior. Particularmente, dentro del área de estudio, corresponde a las fallas Taltal, Veraguas y Sierra Overa.

La Falla Taltal desplaza al SFA cerca de 10,6 km hacia el oeste en su bloque norte (Mavor *et al.*, 2020) y marca la transición entre los segmentos sur y norte de esta última (Thiele & Pincheira, 1987). Mientras que las fallas Sierra Overa y Veraguas cortan las fallas Quezada y Malvina.

Además de esto, el Sistema de Fallas Taltal representa un cambio en el régimen tectónico donde la deformación en lugar de acomodarse preferencialmente en estructuras N-S paralelas a la fosa pasa a hacerlo de manera perpendicular a la dirección de subducción (Mavor *et al.*, 2020).

La edad de actividad inferida para el Sistema de Fallas Taltal es de 114-107 Ma (Mavor *et al.*, 2020), lo que se corresponde con el fin de la actividad del SFA (Espinoza *et al.*, 2014), el inicio de la migración del arco magmático hacia el este y el cese del magmatismo en el área (Dallmeyer *et al.*, 1996). Por esto, Mavor *et al.* (2020) infieren que el origen del Sistema de Fallas Taltal se debería al proceso de subducción de las placas Phoenix y Farallón bajo la placa sudamericana seguido por un periodo de *flat-slab* y finalmente la ruptura del *slab* o bien a un proceso de reorganización global de las placas tectónicas y variación de las tasas de expansión del fondo oceánico.

3. RESULTADOS

Para la realización de este estudio se consideraron datos geoquímicos de 122 rocas recolectadas y analizadas durante la confección de las cartas Cifuncho (Contreras *et al.*, 2013) y Cerro del Pingo (Espinoza *et al.*, 2014) del SERNAGEOMIN, de las cuales 75 corresponden a unidades tanto intrusivas como volcánicas del Jurásico y las 47 restantes a rocas del mismo origen, pero de edad Cretácico Inferior (Figura 3.1).

	Edad	Unidad	Número de muestras
Jurásico	Pliensbachiano-Titoniano	Formación La Negra	56
	177 Ma	Granodiorita Cerro Concha	2
	153-147 Ma	Complejo intrusivo Quezada	11
	149-139 Ma	Complejo intrusivo La Finca	6
Cretácico Inferior	Cretácico Inferior	Formación Aeropuerto	20
	130-127 Ma	Granodiorita Cerro del Pingo	10
	127-118 Ma	Intrusivos hipoabisales del Cretácico Inferior	5
	125-118 Ma	Complejo intrusivo Barreal Seco	8
	106-101 Ma	Complejo intrusivo Librillo	4

Figura 3.1: Distribución de las muestras por unidad y edad.

A partir de las dataciones disponibles para la zona y recopiladas en los estudios de Contreras *et al.* (2013) y Espinoza *et al.* (2014), además de la ubicación de las muestras seleccionadas, se puede

observar una tendencia en las dataciones, donde las rocas se van volviendo más jóvenes hacia el oeste (Figura 3.2). Específicamente al este del Sistema de falla de Atacama (SFA) predominan edades entre 180-160 Ma, entre las ramas del SFA se observan edades entre 142-116 Ma y directamente al oeste del SFA varían entre 115-99 Ma; luego al extremo oeste del área se registran nuevamente edades cercanas al límite Jurásico Superior-Cretácico Inferior (160-143 Ma) junto a unidades de fines del Cretácico Inferior (115-99 Ma).

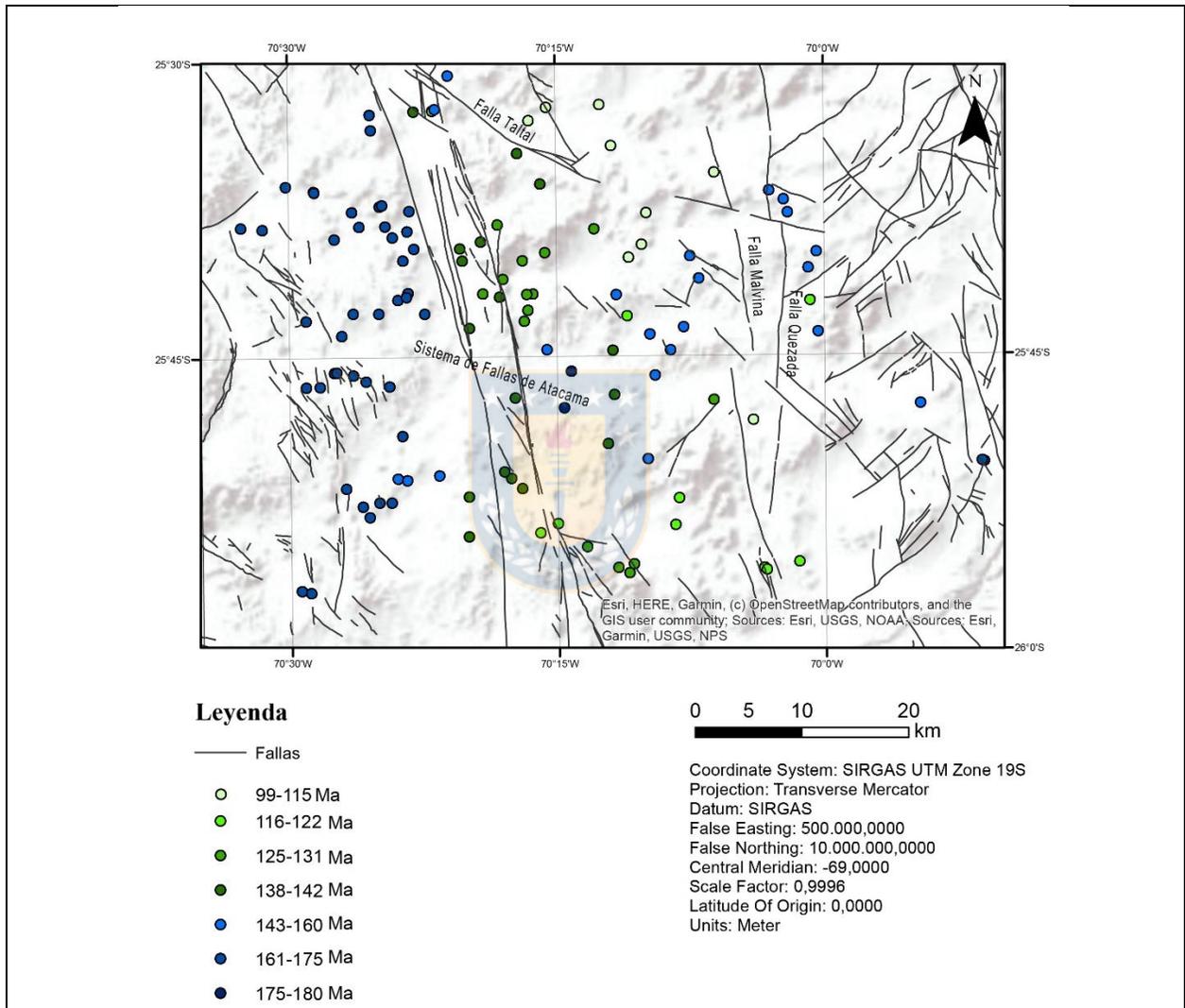


Figura 3.2: Mapa de distribución de las muestras estudiadas según su edad.

3.1 Cortes transparentes

Además de los análisis geoquímicos, se dispuso de cortes transparentes de 8 de estas muestras, identificadas con los códigos: CPE130, CPE135, CPV-091, CPV-138, CPV-146, CPV-147, CPV-203 y CPV-208 (Figura 3.3).

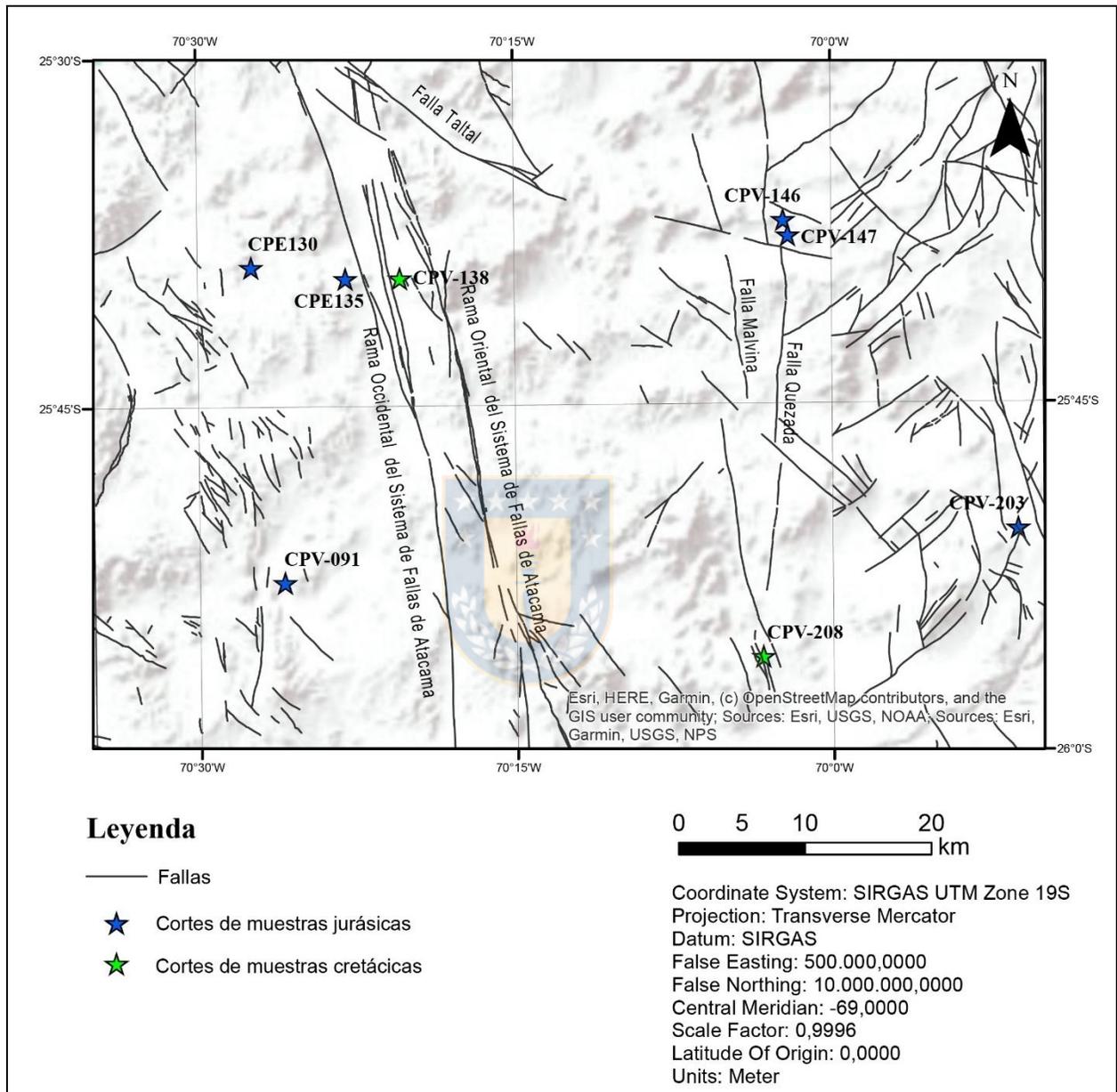


Figura 3.3: Mapa de ubicación de cortes transparentes.

CPE130 y CPE135 corresponden a rocas de la Formación La Negra ubicadas al noreste del área de estudio directamente al este del SFA. CPE130 es un pórfido microdiorítico medianamente alterado con aparición de clorita y arcillas, además presenta remplazo parcial de los fenocristales de

piroxeno por anfíbol y formación de coronas de opacos. Por otro lado, CPE135 corresponde a una lava andesítica con una marcada alteración a calcita en plagioclasas y amígdalas rellenas de cuarzo. Además, en ambas muestras se observan texturas de disolución en los bordes de los fenocristales de plagioclasa.

La muestra CPV-091 también perteneciente a la Formación La Negra, proviene del este del SFA, en la zona sur. Corresponde a una lava andesítica con abundante masa fundamental y alteración más bien leve expresada en la aparición de óxidos de hierro como relleno en bordes de fenocristales y vetas.

CPV-138 corresponde a una lava andesítica de la Formación Aeropuerto recolectada entre las ramas oriental y occidental de SFA, y se caracteriza por una alteración pervasiva a clorita, anfíbol y arcillas, además de vetas rellenas de calcita. CPV-208 también corresponde a la Formación Aeropuerto, pero ubicada en las inmediaciones de la falla Quezada, y en este caso se trataría de una toba lítica con fragmentos de diorita y en menor medida cristales de plagioclasa y anfíboles. Esta muestra también se encuentra altamente alterada, con aparición de clorita, óxidos de hierro y opacos.

Por último, las 3 muestras restantes corresponden a la Formación La Negra, ubicadas al oeste de la falla Quezada. CPV-146 se trata de una toba cristalina con cristales fragmentados y una marcada alteración a sericita y arcillas. Algo similar ocurre con CPV-147 la que, al igual que CPV-146, se ubica en el sector norte del área. Esta también se trata de una toba cristalina con cristales fragmentados, pero en este caso además de cristales de plagioclasa contiene ortopiroxenos y clinopiroxenos. La alteración en CPV-147 corresponde a abundantes arcillas y en menor medida óxidos de hierro asociados específicamente a los cristales de piroxenos.

La muestra CPV-203 se ubica al sur de las dos anteriores y corresponde a una lava andesítica de piroxeno con alta alteración, principalmente de clorita y en menor medida óxidos de hierro, arcillas y opacos.

3.2 Análisis geoquímico

En cuanto a su composición, en general se trata de rocas intermedias. Sin embargo, existe una amplia variación en el contenido de sílice, entre 49,14% y 74,32%, presentándose también rocas básicas y ácidas tanto en el Jurásico como en el Cretácico (Anexo 1). Esto se complementa con lo observado en el diagrama de Nb/Y vs Zr/Ti de Rickwood (1989), en donde la mayor parte de las muestras quedan clasificadas como andesitas o basaltos andesíticos (Figura 3.4 (a)).

Las rocas estudiadas muestran una marcada tendencia sub-alkalina (Figura 3.4 (b)) presentándose 31 de composición alcalina y 91 sub-alkalinas. También cabe señalar que, al comparar las muestras según su edad, en aquellas del Cretácico esta tendencia es más marcada, donde solo un 17,0% de las muestras presenta composición alcalina, mientras que en el Jurásico estas representan un 30,7%.

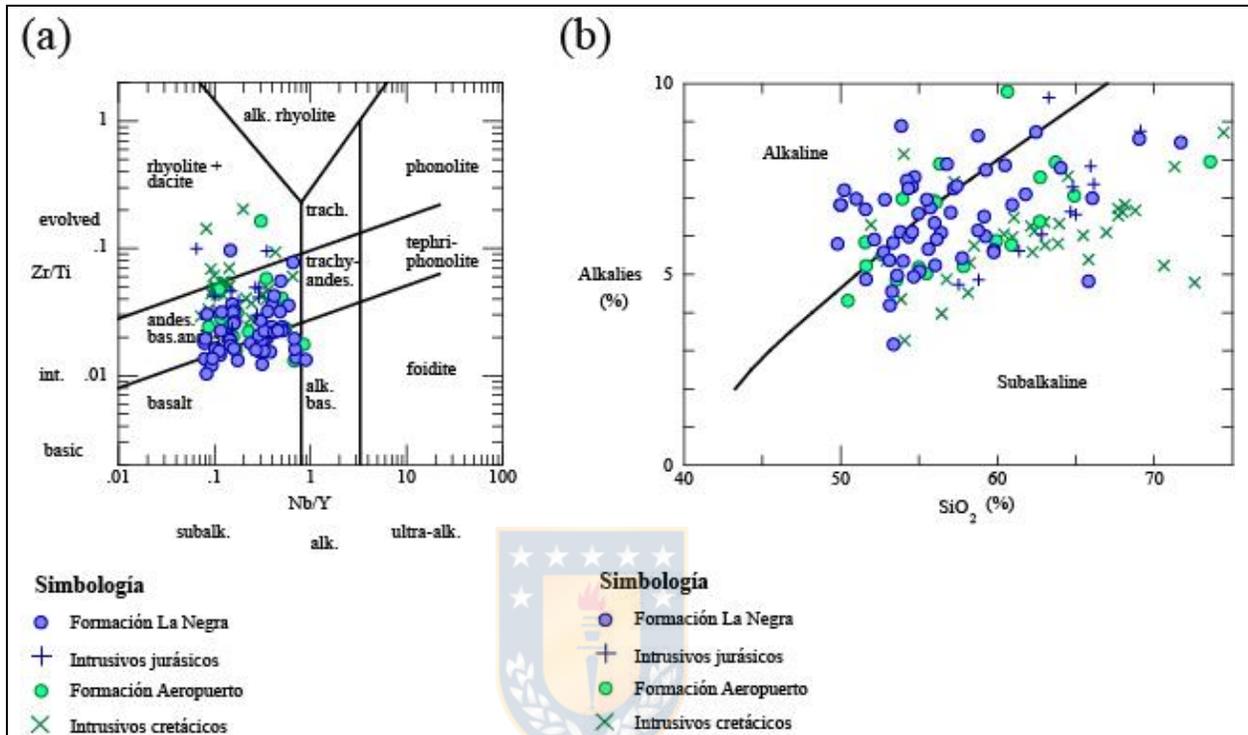


Figura 3.4: (a) Diagrama de discriminación de rocas alcalinas y sub-alkalinas para muestras alteradas según Rickwood (1989). (b) Diagrama Na₂O+K₂O vs SiO₂ para la discriminación entre las series alcalina y sub-alkalina confeccionado en base a Irvine & Baragar (1971).

Entre las muestras sub-alkalinas se observó una concordancia con lo esperado en base a los estudios anteriores mencionados en el capítulo 2, siendo estas predominantemente calco-alkalinas y en menor medida toleíticas (Figura 3.5). Sin embargo, se observan diferencias según la edad de las muestras. En el Cretácico casi la totalidad de las rocas analizadas corresponden a una composición calco-alkalina mientras que, entre las muestras del Jurásico, si bien la composición es preferentemente calco-alkalina, existe una mayor presencia de muestras toleíticas, representando un 21,3% de las muestras en comparación al 6,4% de las muestras del Cretácico. Además, es necesario señalar que este 21,3% de las muestras corresponde a su totalidad a muestras volcánicas de la Formación La Negra mientras que en las muestras Cretácicas existen tanto rocas intrusivas como extrusivas con dicha composición.

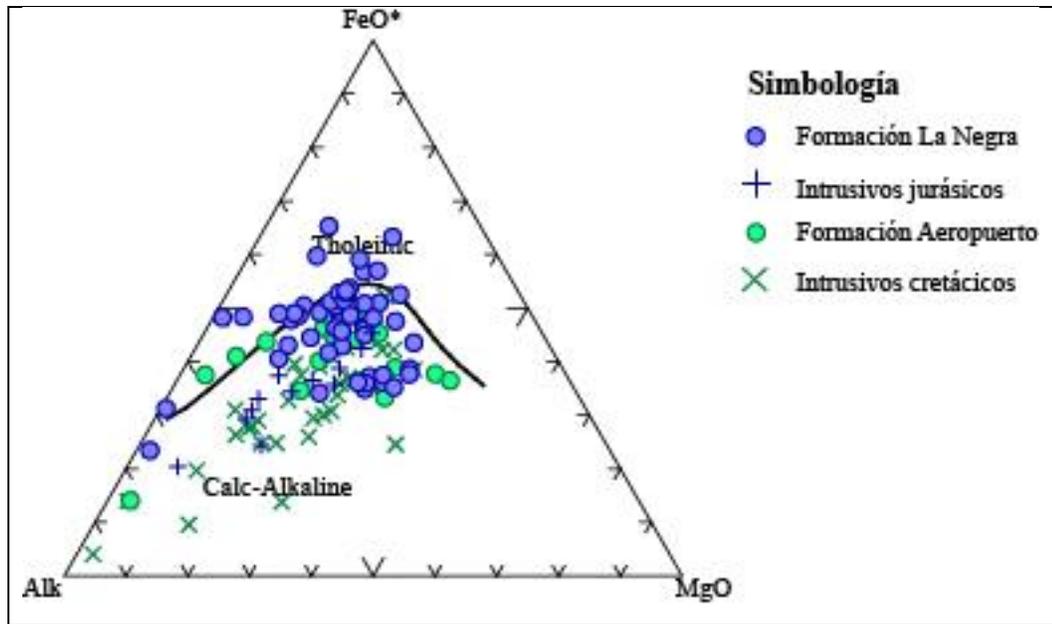


Figura 3.5: Diagrama AFM para la discriminación entre las series calco-alcalina y toleítica en base a Irvine & Baragar (1971).

También cabe destacar que las muestras toleíticas se concentran principalmente al oeste del Sistema de Falla de Atacama, mientras que aquellas de composición calco-alcalina, si bien presentan una distribución más amplia, se concentran hacia el este del área.

3.2.1 Análisis de elementos mayores

Para cada uno de los elementos mayores que componen las rocas, a excepción del sílice, se analizó cómo se comporta este elemento en relación a su grado de diferenciación, edad y ubicación en el mapa. Las observaciones obtenidas a partir de esto, se detallan a continuación.

3.2.1.1 K_2O

El contenido de potasio de las rocas varía entre 0,05-6,75% del peso total de la roca y presenta una tendencia a aumentar a medida que el magma se va haciendo más diferenciado, esto ocurre tanto en las rocas del Jurásico como en las del Cretácico, sin embargo, este aumento parece ser más pronunciado en las rocas más antiguas (Figura 3.6).

Cabe señalar también que se observan tanto muestras calco-alcalinas de alto K como de bajo K, en proporciones más o menos similares y constituyen casi la totalidad de las mediciones disponibles (Figura 3.6).

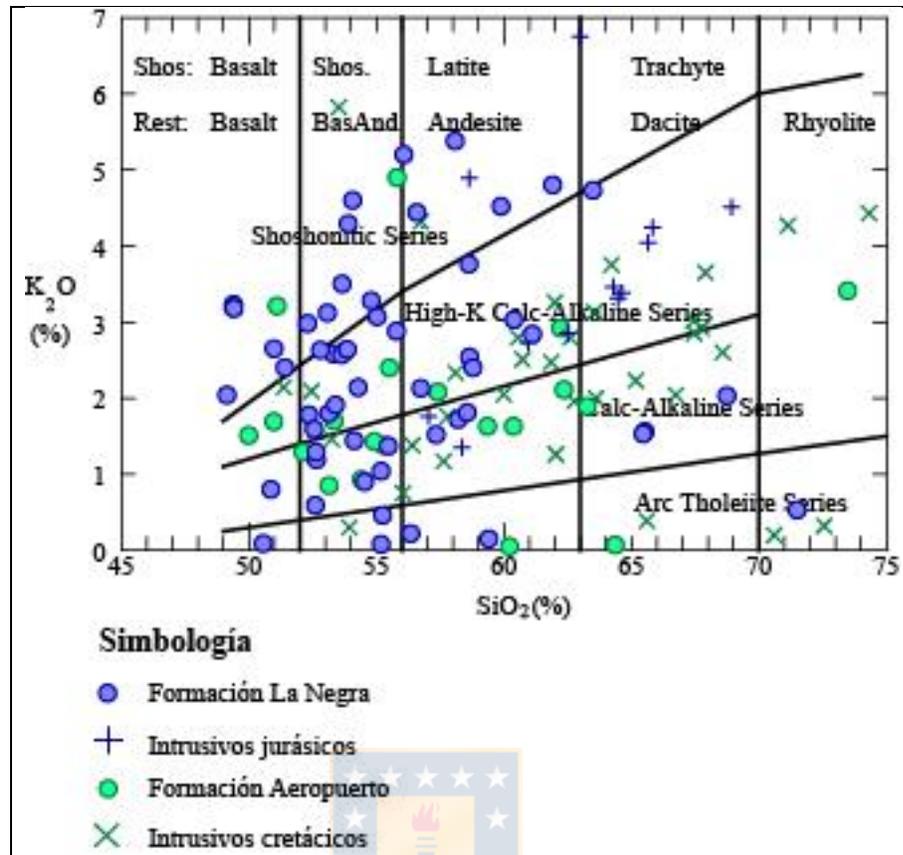


Figura 3.6: Diagrama de clasificación de rocas en base a su contenido de K_2O respecto a SiO_2 según Peccerillo & Taylor (1976).

3.2.1.2 Na_2O

La proporción de sodio varía ampliamente entre 1,96-9,67% del peso de la roca total, con la mayor parte de las muestras concentradas entre 2-5% y en general aumenta con el contenido de sílice. No se observan grandes diferencias entre el Cretácico y el Jurásico (Figura 3.7 (a)), sin embargo, los contenidos altos de Na_2O corresponden a las rocas más antiguas tanto del Jurásico como del Cretácico (Figura 3.7 (b)), las que tienden a concentrarse en las inmediaciones del SFA (Figura 3.8).

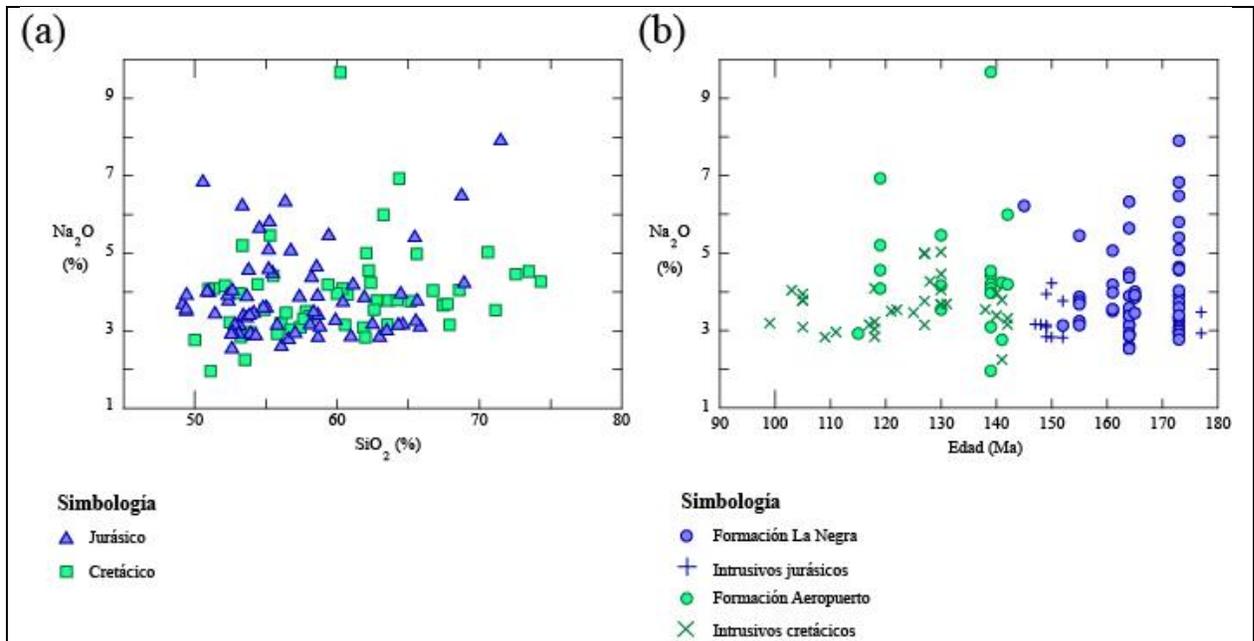


Figura 3.7: (a) Variación de contenido de Na_2O respecto a SiO_2 . (b) Variación de contenido de Na_2O respecto a la edad de la muestra.



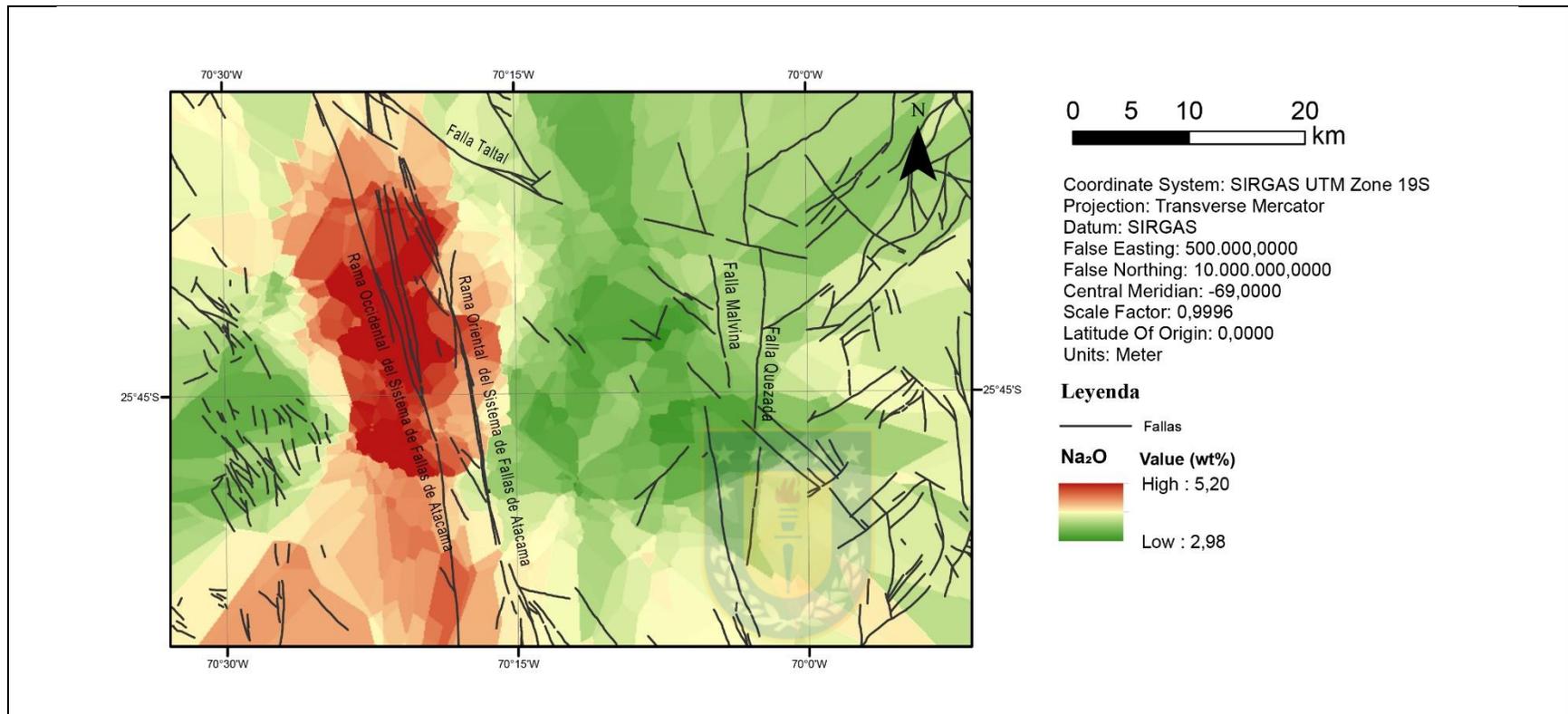


Figura 3.8 Mapa de distribución de Na₂O en el área. Se ilustra la concentración promedio en porcentaje masa de Na₂O presente en las muestras estudiadas según su distribución espacial en celdas de 100 m².

3.2.1.3 Al_2O_3

Las rocas cretácicas parecen tender a un mayor contenido de Aluminio. Si bien las proporciones de este elemento, en base al peso total de la roca, entre ambos grupos de muestras es similar, estas varían entre 13,03-19,90% en las rocas de Jurásico y entre 14,16-21,13% para las del Cretácico, por lo que se puede apreciar una tendencia a los contenidos más bajos en las rocas del Jurásico con respecto a las del Cretácico (Figura 3.9 (a)). También cabe señalar que la proporción de Al_2O_3 disminuye a medida que aumenta el contenido de Sílice, esto ocurre tanto en el Cretácico como en el Jurásico. Sin embargo, en estas últimas la diferencia parece estar relacionada con el tipo de roca ya que se observa una amplia dispersión en los datos de las rocas volcánicas mientras que las intrusivas se encuentran restringidas al rango de 15,26-18,18% de Al_2O_3 , lo que no ocurre en el Cretácico donde el comportamiento de rocas intrusivas y extrusivas es similar (Figura 3.9 (b)).

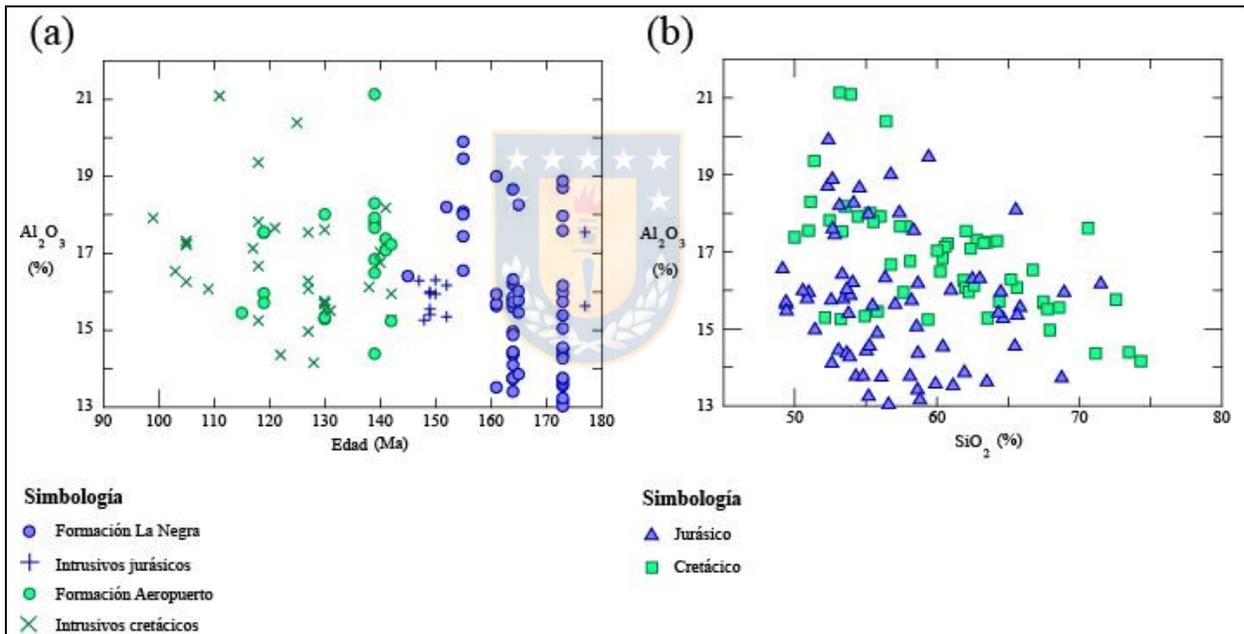


Figura 3.9: (a) Variación del contenido de Al_2O_3 con respecto a la edad de la roca. (b) Contenido de Al_2O_3 en relación a SiO_2 de las muestras analizadas.

3.2.1.4 TiO_2

El comportamiento del TiO_2 , muestra una clara correlación negativa entre este y el contenido de sílice para todas las muestras analizadas (Figura 3.10 (a)). En las rocas del Cretácico varía entre un 0,17-2,34% del peso total y en el Jurásico entre 0,26-2,63%, sin embargo, las muestras más jóvenes se concentran entre 0,17-1,22% con solo 3 muestras con contenidos cercanos al 2% (CPV-158,

CPV-160, CPV-162) mientras que en las rocas jurásicas presentan una distribución más amplia de las composiciones.

Con respecto a lo anterior, cabe señalar que en general las muestras del Jurásico Superior (<163 Ma) contienen un menor porcentaje de TiO_2 (<1%) con respecto a aquellas más antiguas (Figura 3.10 (b)).

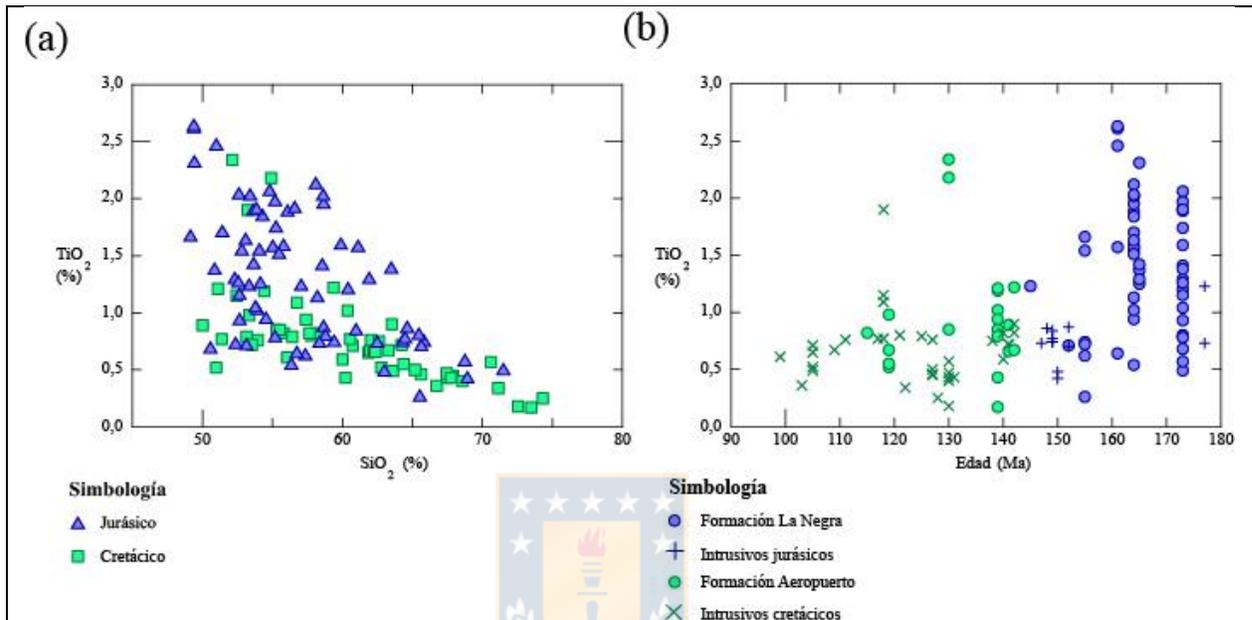


Figura 3.10: (a) Relación entre los contenidos de TiO_2 y SiO_2 en las muestras estudiadas. (b) Variación del contenido de TiO_2 en el tiempo.

3.2.1.5 Fe_2O_3

En cuanto al hierro, se observa una clara correlación negativa entre el contenido de este metal y el sílice (Figura 3.11 (a)). Además, al igual de lo que ocurre con el TiO_2 (Figura 3.10 (a)) se aprecia que las rocas del Jurásico, especialmente aquellas menos diferenciadas, presentan un rango amplio de contenido en hierro mientras que en el Cretácico los datos tienen menor dispersión y tienden a valores menores que los de las rocas más antiguas (Figura 3.11 (b)).

Esto también es visible a través de la distribución geográfica de las muestras; las mayores concentraciones de Fe_2O_3 , tienden a observarse al este del SFA mientras que las muestras con las menores concentraciones se ubican entre el SFA y la falla Quezada (Figura 3.12).

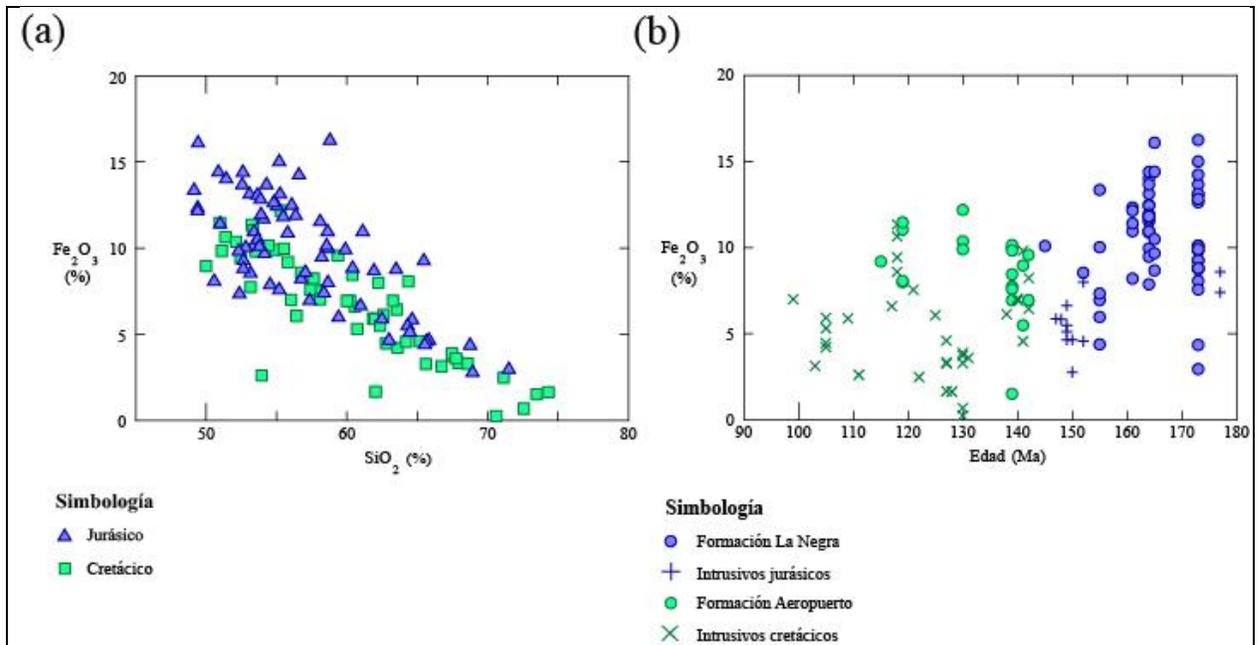


Figura 3.11: (a) Relación entre contenido de Fe_2O_3 y SiO_2 en las muestras. (b) Relación entre contenido de Fe_2O_3 y edad de las muestras.



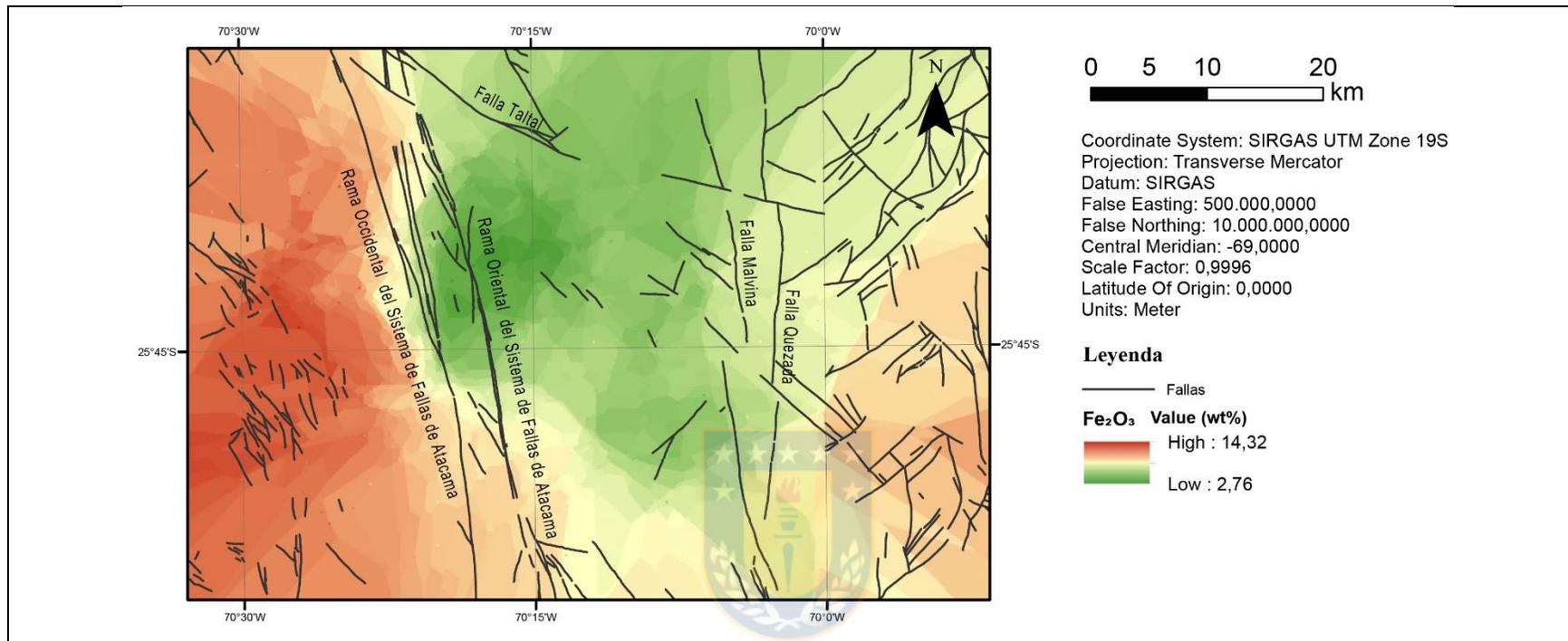


Figura 3.12: Mapa de distribución de Fe₂O₃ en el área. Se ilustra la concentración promedio en porcentaje masa de Fe₂O₃ presente en las muestras estudiadas según su distribución espacial en celdas de 100 m².

3.2.1.6 MgO y MnO

El contenido de MgO decrece a medida que las rocas se van haciendo más diferenciadas (Figura 3.13 (a)), observándose contenidos similares tanto en rocas del Cretácico como del Jurásico (Figura 3.13 (b)). Lo mismo ocurre con las proporciones de MnO (Figura 3.14 (a), (b)). Cabe destacar que a diferencia de lo que ocurre con el hierro y titanio, en estos dos casos las rocas cretácicas se encuentran más enriquecidas que las del Jurásico.

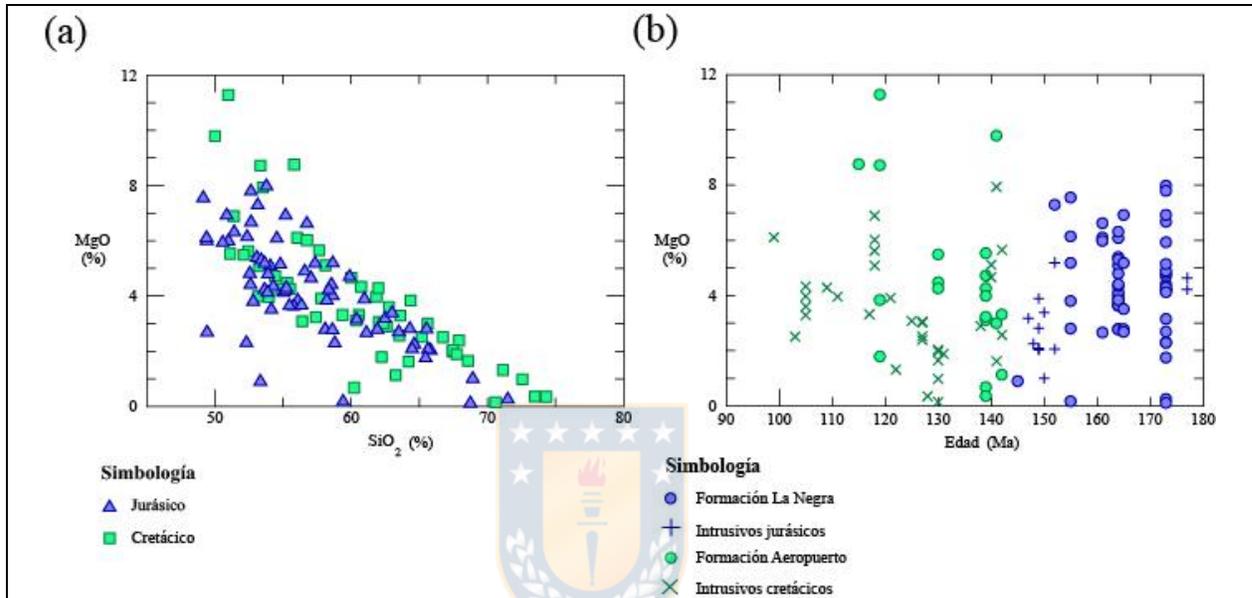


Figura 3.13: (a) Relación entre el contenido de MgO y SiO_2 en las muestras estudiadas. (b) Relación entre el contenido de MgO y la edad de las muestras estudiadas.

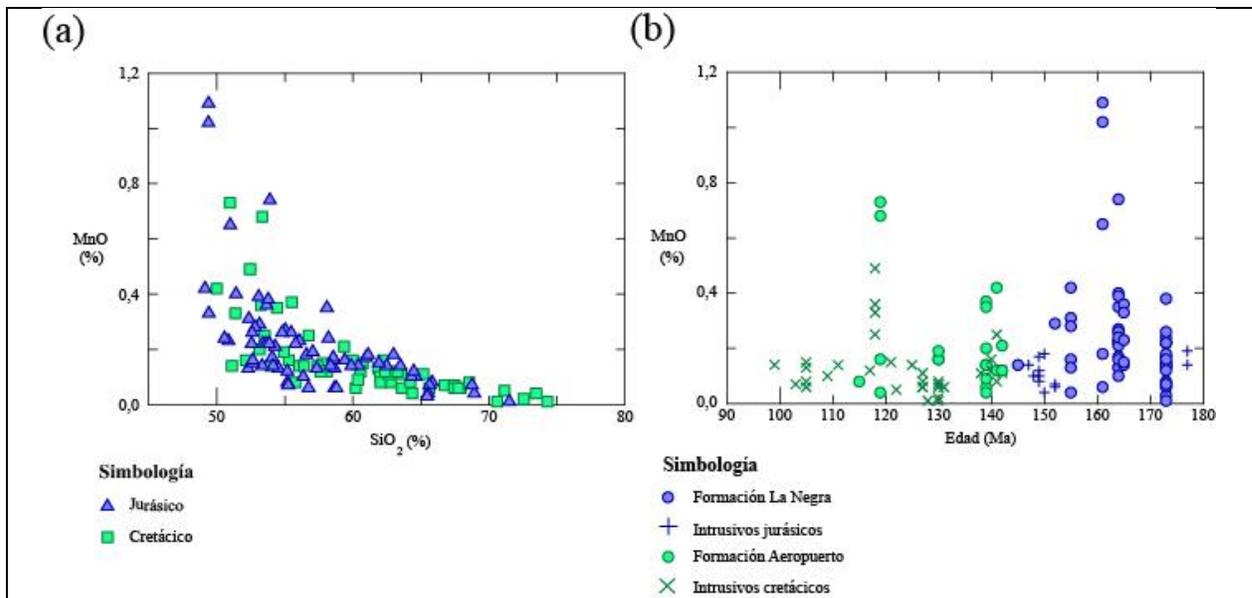


Figura 3.14: (a) Relación entre el contenido de MnO y SiO_2 en las muestras estudiadas. (b) Relación entre el contenido de MnO y la edad de las muestras estudiadas.

3.2.1.7 CaO

El calcio varía ampliamente entre las muestras; tanto en el Jurásico como el Cretácico (Figura 3.15 (a), (b)). Estas proporciones van en general entre 0,19-8,84% del peso de la roca total, aunque un par de muestras, CPK-095 y CPE135, presentan un contenido considerablemente mayor de CaO (14,06% y 11,50%, respectivamente). También en cuanto a la distribución de las muestras, se observa que el contenido de CaO tiende a aumentar hacia los bordes del área de estudio; particularmente al noroeste (Figura 3.16).

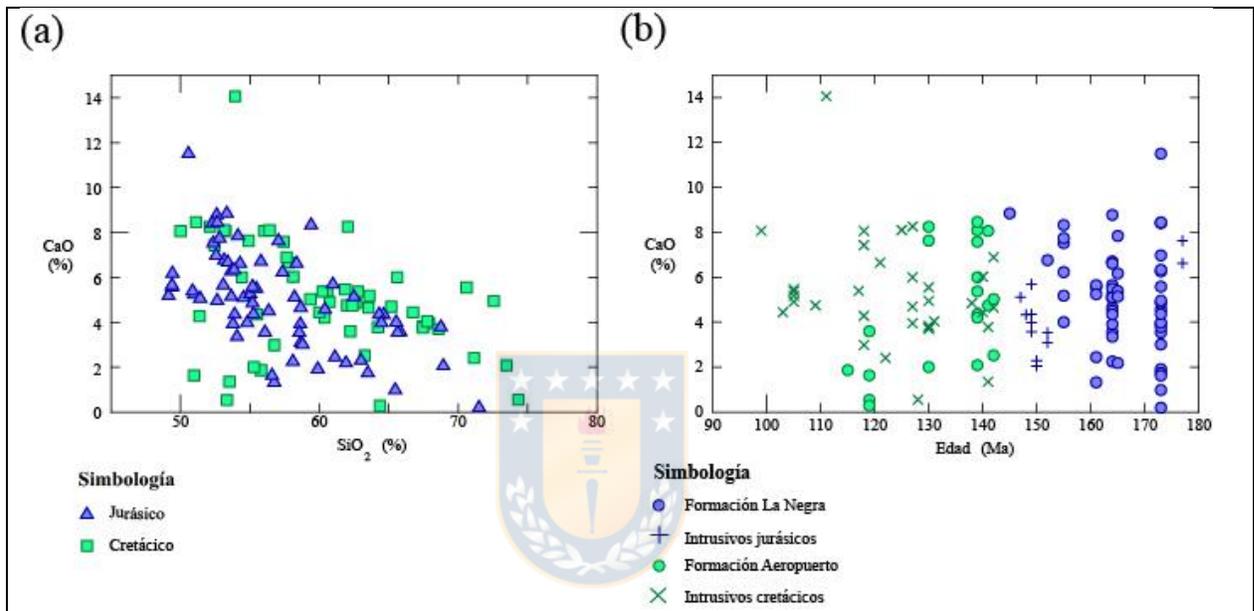


Figura 3.15: (a) Relación entre los contenidos de CaO y SiO₂ en las muestras estudiadas. (b) Variación del contenido de CaO en el tiempo.

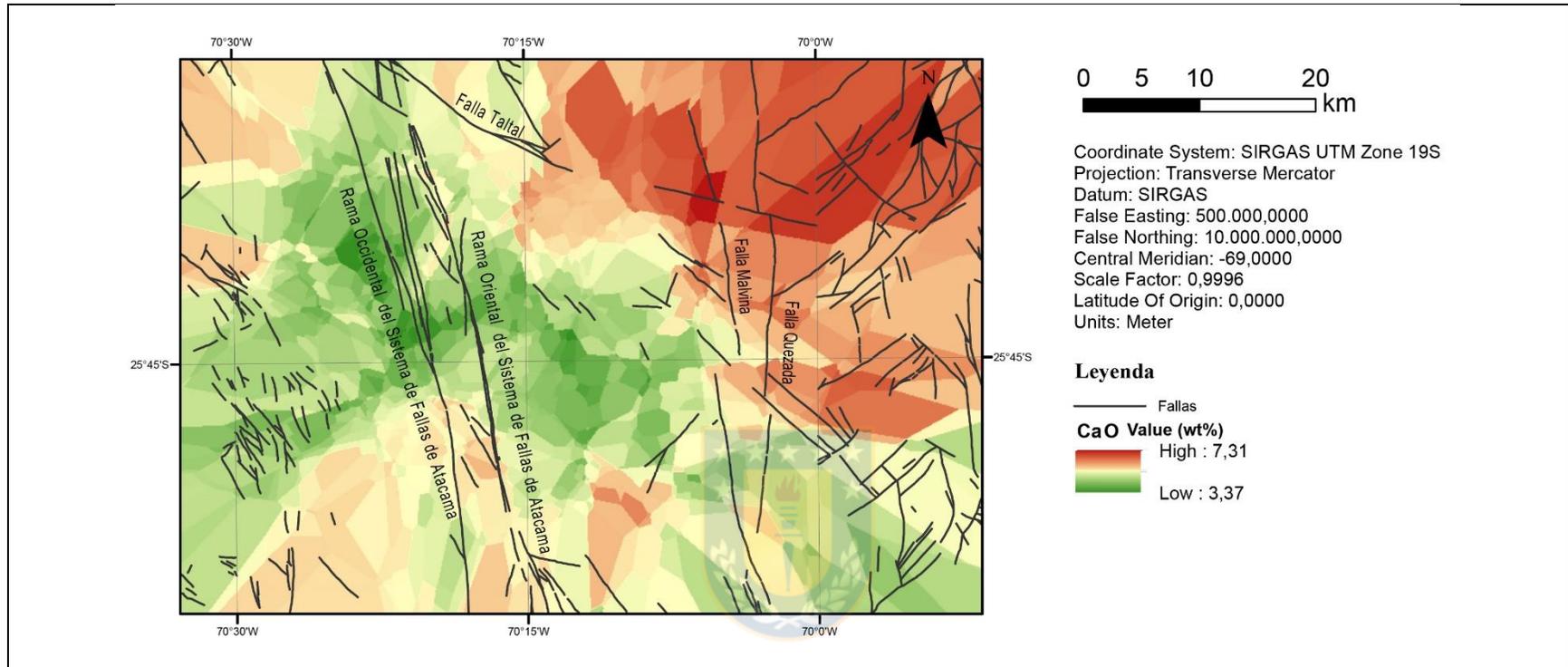


Figura 3.16: Mapa de distribución de CaO en el área. Se ilustra la concentración promedio en porcentaje masa de CaO presente en las muestras estudiadas según su distribución espacial en celdas de 100 m².

3.2.1.8 P_2O_5

El contenido de fósforo, al igual que lo observado con los otros elementos mayores, disminuye al aumentar la diferenciación de las rocas (Figura 3.17 (a)) y se concentra más en las rocas del Jurásico que en las del Cretácico (Figura 3.17 (b)). Cabe señalar que las mayores concentraciones de P_2O_5 del Jurásico se observan principalmente en la Formación La Negra y no en los cuerpos intrusivos de esta edad.

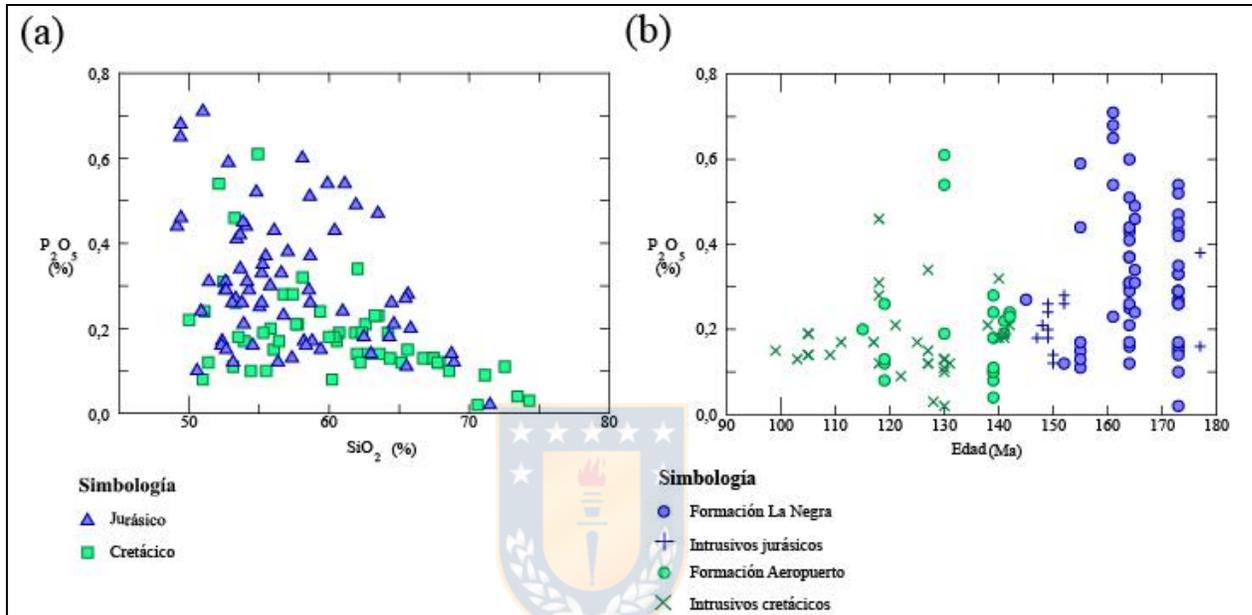


Figura 3.17: (a) Relación entre los contenidos de P_2O_5 y SiO_2 en las muestras estudiadas. (b) Variación del contenido de P_2O_5 en el tiempo

3.2.2 Análisis de elementos traza

En general, casi todos los elementos traza tienden a disminuir su concentración hacia edades más recientes; siendo la excepción los elementos: Cr, Rb, Sr, Zr, Nb, Ba, Pb, Ta, U, La y Ce; los que no muestran una tendencia clara en su comportamiento.

En cuanto a la distribución espacial, se observa claramente que las más altas concentraciones de elementos poco móviles como son Ce, Nb, Eu, Zn, Cr, Co y V se encuentran en los costados del área asociados a la Formación La Negra mientras que hacia el centro, se observan más altas concentraciones de los elementos relativamente más móviles: Sr, U, Pb, Nd, Th y Hf. Sin embargo, con algunas excepciones, la concentración de los elementos traza en general no muestra una correlación directa a las fallas que controlan el afloramiento de las diferentes unidades.

3.2.2.1 LILEs y HFSEs

Tanto las muestras jurásicas (Figura 3.18 (a)) como las cretácicas (Figura 3.18 (b)) muestran un leve enriquecimiento en elementos litófilos de alto radio iónico (LILEs) en relación a aquellos litófilos de alto potencial iónico (HSFEs).

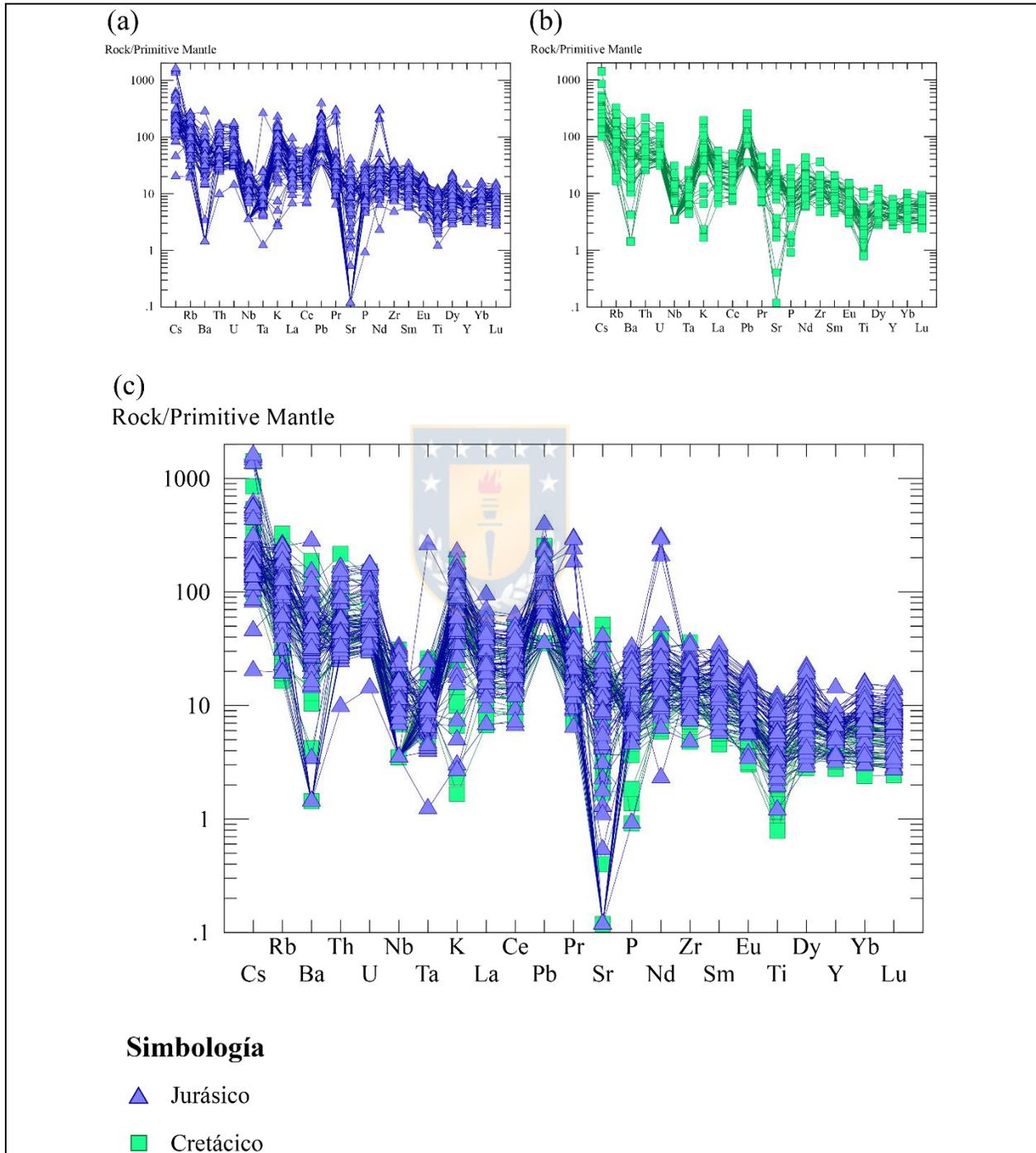


Figura 3.18: Gráficos de abundancia de elementos trazas normalizado al manto primitivo según composición del manto primitivo de Sun & Mcdonough (1989). (a) Muestras de edad Jurásico, (b) Muestras de edad Cretácico, y (c) Totalidad de las muestras analizadas.

Al graficar las composiciones de las muestras en comparación con el manto primitivo, el comportamiento de los elementos traza es similar en el Jurásico y el Cretácico (Figura 3.18 (c)). Se observan dos marcadas anomalías, la primera muestra un enriquecimiento en Th-U y junto a esto un empobrecimiento de Nb-Ta. Esto destaca como uno de los pocos rasgos consistentes en todas las muestras.

El Sr, por otro lado, varía ampliamente entre muestras, mostrando marcados *peaks* tanto negativos como positivos en proporciones similares. Algo similar, pero de menor magnitud se observa en el Ba, donde si bien la tendencia general es hacia el empobrecimiento de este elemento algunas muestras no presentan la anomalía negativa o bien tienen un pequeño enriquecimiento. Esto no ocurre con otros elementos relativamente móviles como Nd, Rb o los antes mencionados Th, U y Pb.

En los HSFÉ por otro lado, la variabilidad de composición es mucho menor y en general forman un patrón descendiente hacia los elementos menos móviles. El único de estos elementos que se comporta de forma distinta es Ti que presentan una anomalía negativa constante para todas las muestras.

3.2.2.2 Tierras Raras

Las tierras raras, normalizadas al condrito, en general se comportan de forma similar tanto en el Jurásico (Figura 3.19 (a)) como en el Cretácico (Figura 3.19 (b)).

La principal característica que se observa al normalizar las composiciones es un enriquecimiento de tierras raras livianas (LREE) sobre tierras raras pesadas (HREE), con pendientes (representadas por la proporción $(La)_n/(Yb)_n$) que varían ampliamente entre 1,36- 8,53 para el Jurásico y 1,68-10,46 para el Cretácico. Esta pendiente en general es más pronunciada para las LREE, mientras que en las HREE se observa un patrón casi plano. Esto se ve de forma más clara analizando los valores de $(La)_n/(Sm)_n$, que para el Jurásico varían entre 0,98-3,60 y para el Cretácico entre 0,75-3,67; por otro lado, las HREE, representadas por la proporción $(Gd)_n/(Yb)_n$, en su mayoría varían entre 0,56-1,92 para el Jurásico y 0,90-2,50 para el Cretácico.

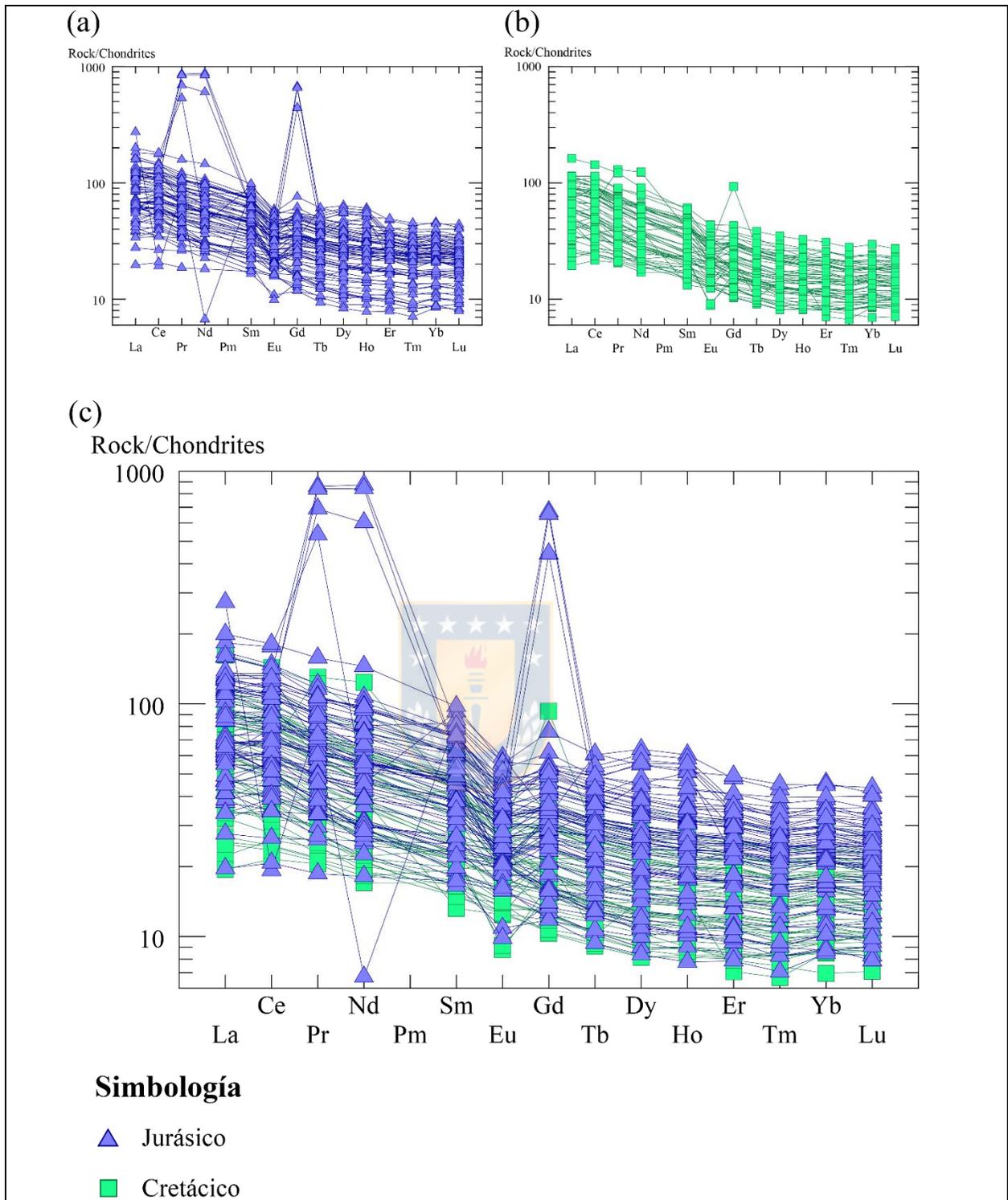


Figura 3.19: Gráficos de abundancia de tierras raras normalizado al condrito según composición del condrito de Sun & McDonough (1989). (a) Muestras de edad Jurásico, (b) Muestras de edad Cretácico, y (c) Totalidad de las muestras analizadas.

Sin embargo, 4 muestras presentan una tendencia distinta. Estas corresponden a las muestras jurásicas CPJ-091, CPJ-092 y CPJ-100 con pendientes de HREE de 15,99, 18,27 y 19,66, respectivamente y la muestra Cretácica CPV-162 cuya pendiente es 4,66, sin embargo, en todas estas muestras se observa un marcado enriquecimiento en Gd por sobre las otras REE por lo que $(Gd)_n/Yb_n$ no constituye un criterio representativo de las HREE en este caso específico.

Por otro lado, una parte de las muestras presentan una leve anomalía negativa de Eu, mas esta no es característica para ninguno de los 2 periodos de tiempo considerados (Figura 3.19 (c)) y en ambos existen también muestras sin esta anomalía o bien con contenidos de Eu superiores al condrito.

Cabe señalar que una serie de muestras se escapan de esta generalización, presentando enriquecimiento o empobrecimiento de uno o más elementos específicos, pero manteniendo la tendencia general de las composiciones. Estas corresponden a las rocas del Jurásico: CPV-189, CPJ-091, CPJ-100, CPJ-092, CPV-205 y CPE076; y la muestra cretácica: CPV-162.

Específicamente, la muestra CPV-189 presenta una marcada anomalía negativa de Ce; CPJ-091, CPJ-100 y CPJ-092 se encuentran enriquecidas en Pr, Nd y Gd; y CPV-205 y CPE076 por el contrario se caracterizan por un marcado empobrecimiento de Nd. Además, todas las muestras anteriores presentan un leve enriquecimiento en Dy y Ho. Por último, la muestra CPV-162 si bien se comporta de manera similar a las muestras CPJ-091, CPJ-100 y CPJ-092 con enriquecimiento en Pr, Nd y Gd; es la única de este grupo sin anomalías de Dy y Ho.

4. DISCUSIÓN

4.1 Grado de alteración y errores analíticos

El análisis de cortes transparentes indica un alto nivel de alteración en las rocas estudiadas. La presencia de minerales como epidota, anfíbol, calcita y cuarzo, tanto como remplazo de minerales preexistentes como en relleno de cavidades lleva a inferir el paso de fluidos hidrotermales por la zona, ocurriendo posterior a la formación de las rocas, alterando también la composición de las muestras. Esta alteración, tampoco es uniforme en el espacio, si no que afecta de manera mayor a las rocas cercanas a debilidades estructurales (Figura 3.3), tales como el Sistema de Fallas de Atacama (SFA) (CPV-138) y las fallas Quezada y Malvina (CPV-147, CPV-146, CPV-208) y en menor medida a las rocas más antiguas, al este del SFA (CPE130, CPE135, CPV-091). Esta alteración por fluidos, especialmente en las zonas con alteración más pervasiva, crea incertidumbre respecto a los análisis geoquímicos, especialmente en aquellos elementos más móviles en fase fluida.

Ejemplo de esto son el estroncio y el bario (Figura 3.18), los cuales muestran amplia variación en sus concentraciones sin distinguirse un patrón claro que asocie la mayor o menor presencia de estos elementos con una unidad, tipo de roca o edad en específico. En cuanto a su distribución espacial, estos mismo dos elementos presentan comportamientos considerablemente distintos; en el caso del Sr (Figura 4.1) una serie de muestras con concentraciones particularmente altas o bajas se encuentran rodeadas de otras con una tendencia distinta en un patrón que no parece guardar relación ni con el tipo de roca ni con la presencia de estructuras mientras que el Ba (Figura 4.2) pareciera concentrarse en zonas de deformación asociadas a las estructuras NNO-SSE y si bien se observan las mayores concentraciones en rocas de la Formación La Negra al oeste del área, esto también es visible en menor medida en rocas cretácicas y jurásicas en casi todo el sur del área de estudio por lo que es altamente probable que esta distribución esté controlada por la presencia de dichas estructuras que habrían facilitado el flujo de fluidos hidrotermales.

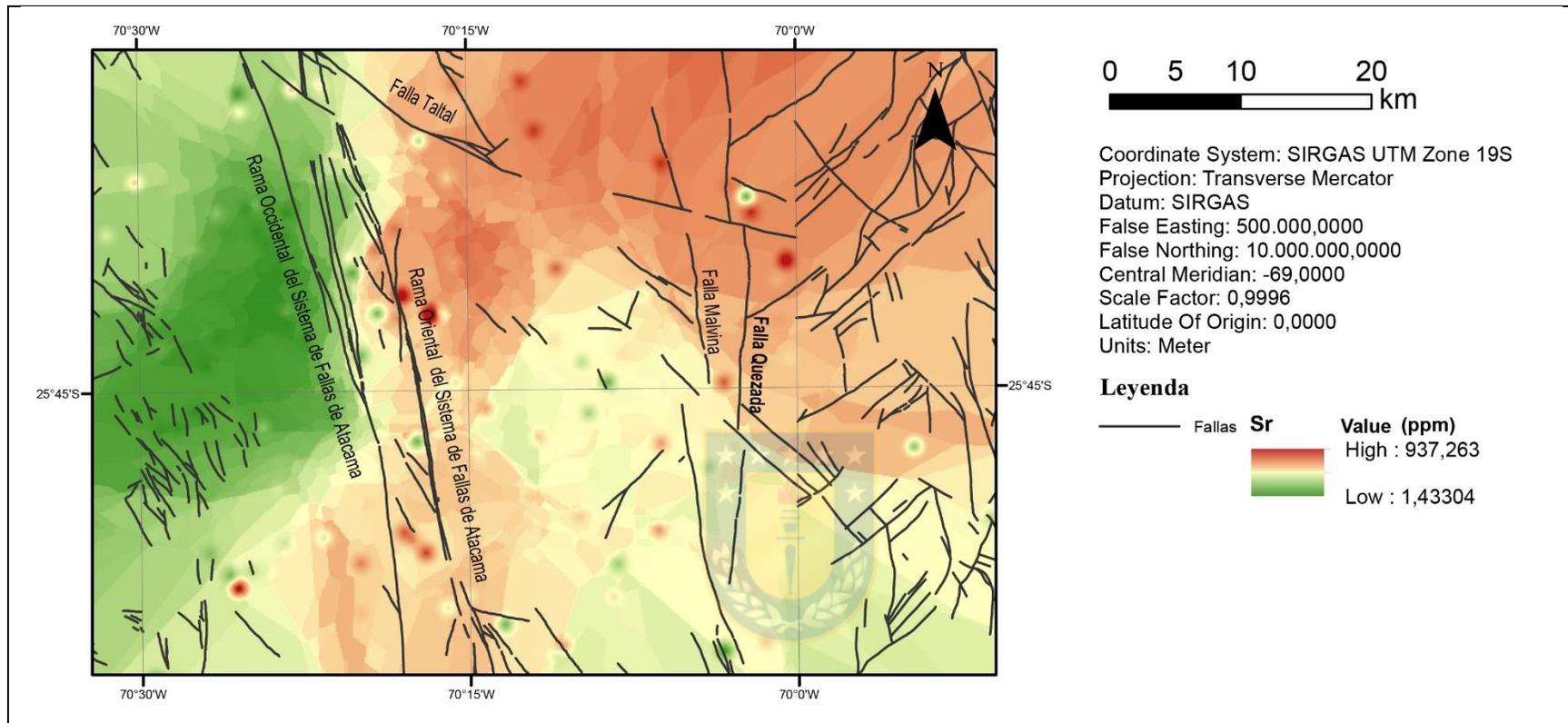


Figura 4.1: Mapa de distribución de Sr en el área. Se ilustra la concentración promedio en ppm de Sr presente en las muestras estudiadas según su distribución espacial en celdas de 100 m².

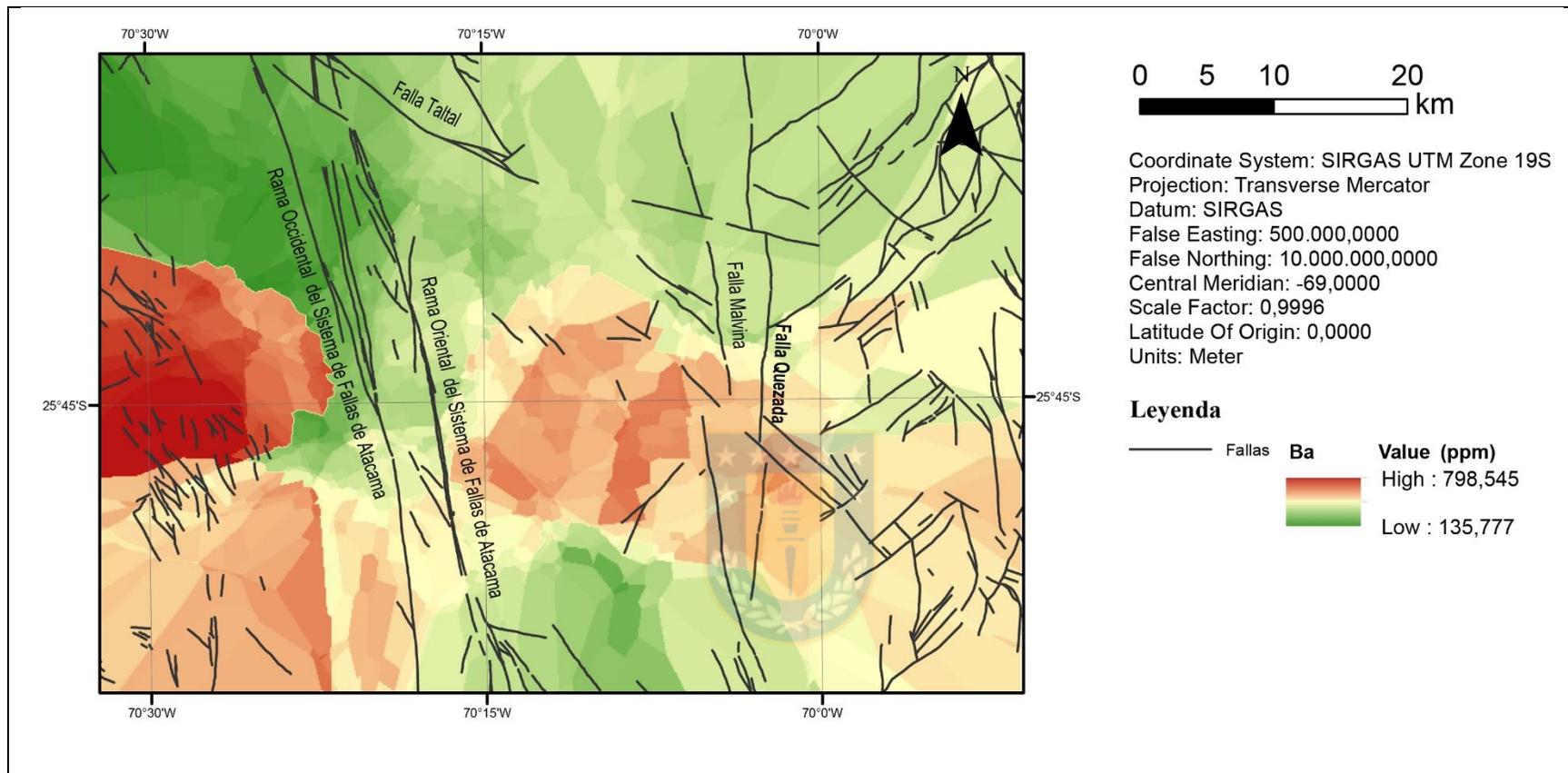


Figura 4.2: Mapa de distribución de Ba en el área. Se ilustra la concentración promedio en ppm de Ba presente en las muestras estudiadas según su distribución espacial en celdas de 100 m².

Es por esto que se ha considerado que los elementos más móviles no son del todo confiables para caracterizar el volcanismo y magmatismo Jurásico Superior-Cretácico Inferior en el área de estudio, y por ende no fueron utilizados en este estudio.

De la misma forma, cabe considerar la posibilidad de errores analíticos presentes en las composiciones obtenidas para las muestras. Con respecto a esto, el procedimiento de control de calidad, en donde se analizaron diferentes muestras estándar en conjunto con las muestras del estudio, indica un grado de inexactitud de las mediciones. Así, si bien se observaron composiciones sistemáticamente constantes para los distintos estándares (Anexos 5,6), las cuales indican una buena precisión, estos valores mostraron ciertas diferencias a las concentraciones esperadas (Plumlee, 1998). Particularmente, se observan variaciones de hasta 1,39% en algunos elementos mayores (Anexo 5) mientras que en los elementos traza existen variaciones locales que superan el 30% de la concentración (ppm) esperada (principalmente: Cr, Sr, Y, Sc, Hf, U, entre otros) (Anexo 6).

Junto con esto, en el análisis se incluían duplicados de algunas muestras (Anexos 7,8), los que indicaron una adecuada precisión para las mediciones ya que en su mayoría entregan las mismas composiciones de la muestra original. La excepción a esto último corresponde a un pequeño porcentaje de duplicados en que se observó altos contenidos de Nd y Gd (Anexo 8) en comparación a las muestras originales correspondientes, un dato que si bien no es constante en todos los duplicados analizados en el proceso de control de calidad, podría relacionarse con lo observado en las muestras: CPJ-091, CPJ-100, CPJ-092, CPJ-162 y CPV-205 las que, como se mencionó en el capítulo 3, se caracterizan por contenidos inesperadamente altos o bajos de estos mismos elementos. Sin embargo, el análisis de blancos (Anexo 9) se descarta que esto se deba a contaminación en el procedimiento ya que estos en su totalidad reportaron composiciones de >99,47% de SiO₂ donde el resto de los elementos presentes no superaban el 0,15%.

Por esto se plantea la posibilidad que exista cierto grado de error en el análisis de algunos elementos traza, sobre todo los antes mencionados Nd y Gd.

4.2 Composición y ambiente geotectónico

Aun tomando en cuenta el efecto de la alteración en las muestras, se observa una marcada uniformidad en su comportamiento tanto al analizar los elementos mayores como trazas. Es decir,

todos los elementos mayores, a excepción del K_2O , Na_2O y Al_2O_3 , tienden a menores concentraciones a medida que las rocas se van haciendo más jóvenes y más diferenciadas, manteniéndose esta tendencia durante el Jurásico y el Cretácico (Figuras 3.10, 3.11, 3.13, 3.14, 3.15, 3.17) y las 3 excepciones antes mencionadas si bien aumentan o mantienen su concentración a medida que se van haciendo más recientes y diferenciadas, tampoco muestran un cambio sustancial entre muestras jurásicas y cretácicas (Figuras 3.6, 3.7, 3.9). Esto mismo se observa en los elementos traza, donde ambos grupos de rocas, cretácicas y jurásicas, presentan patrones similares de distribución de estos elementos (Figuras 3.18, 3.19), los que además ocupan similares rangos de concentración absoluta, lo que se ve ilustrado en la superposición entre las áreas ocupadas por muestras jurásicas y cretácicas (Figuras 3.18(c), 3.19(c)).

Además, las muestras indican claramente un mismo ambiente de formación, el que correspondería a un arco volcánico (Figura 4.3(a), (b)) en una zona de subducción activa. Esto queda evidenciado por la presencia de rasgos geoquímicos típicos de rocas de subducción como son: anomalías negativas de Nb-Ta y Ti y enriquecimiento general de tierras raras pesadas sobre livianas (Figura 3.19) los que fueron observadas ampliamente en todo tipo de muestras, independiente de su edad o la unidad representada. De la misma manera casi la totalidad de las muestras muestran composiciones asociadas con rocas de arco (Figura 4.3(a), (b)), siendo la excepción solo las muestras CPV-160, CPV-204, CPJ-090 y CPV-206 las que al ser graficadas según las clasificaciones propuestas por Wood (1980) quedan clasificadas ya sea como OIB (Figura 4.3(a)) o E-MORB (Figura 4.3 (b)), sin embargo, esta discrepancia parece corresponder a casos aislados que no representarían un ambiente de formación distinto.

Este arco volcánico se habría caracterizado por lavas andesíticas a andesítico-basálticas de composición calco-alcalina y en menor medida toleítica (Figura 3.5) las que habrían sido intruidas por una serie de cuerpos plutónicos asociados a la actividad del mismo arco (Figura 4.3 (c)) los que muestran tendencias composicionales similares a las de las lavas, pero suelen corresponder a rocas más diferenciadas (Figura 3.4 (a)), en su mayoría dacitas a riolitas, con mayores contenidos de SiO_2 y menores de Fe_2O_3 , TiO_2 , MnO y MgO (wt%).

Este comportamiento, previamente descrito, para las rocas estudiadas en que tanto las rocas volcánicas como intrusivas se comportan de forma similar entre si independiente de su edad, ha sido ampliamente documentada con anterioridad entre los 18-26° S para rocas tanto volcánicas

como plutónicas, principalmente jurásicas (Lucassen et al., 2006; Oliveros et al., 2007; Oliveros et al., 2018) y en menor medida en el Cretácico Inferior (Jara et al., 2021a) lo que lleva a inferir un ambiente geotectónico relativamente estable y una fuente magmática común para las diversas unidades asociadas al volcanismo y magmatismo de la época.

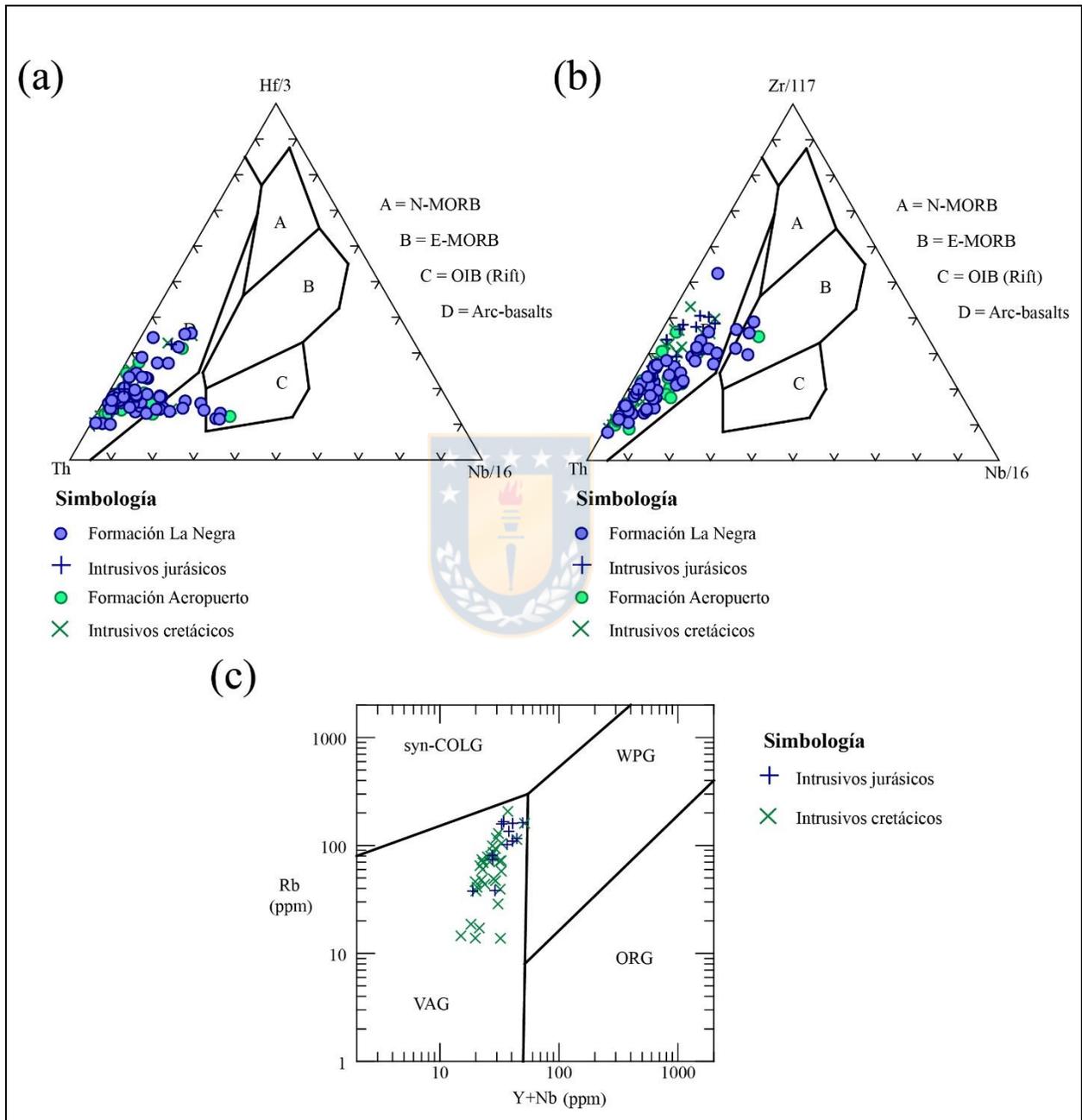


Figura 4.3: Gráficos de discriminación de ambiente tectónico (a) Grafico de discriminación de ambiente de formación basado en la composición de $\text{Th-Nb}/16\text{-Zr}/117$ en base a Wood (1980). (b) Grafico de discriminación de ambiente de formación basado en la composición de $\text{Th-Nb}/16\text{-Hf}/3$ en base a Wood (1980). (c) Grafico de discriminación de ambiente tectónico para cuerpos intrusivos (Pearce et al., 1984).

De la misma forma, los indicadores de subducción antes mencionados: anomalías negativas de Nb-Ta y Ti y enriquecimiento general de tierras raras pesadas sobre livianas (Figura 3.19) fueron observados ampliamente en todo tipo de muestras, independiente de su edad o la unidad representada, indicando claramente que el proceso de subducción en la costa chilena habría sido más o menos continuo entre el Jurásico Superior y el Cretácico Inferior, y que la actividad volcánica del área estaría asociada a este.

La continuidad del proceso de subducción para este período ha sido ampliamente documentada a través del registro de la Formación La Negra y otras unidades jurásicas a lo largo del norte de Chile (Lucassen *et al.*, 2006; Oliveros *et al.*, 2007; Oliveros *et al.*, 2018) así como también para el Triásico (Oliveros *et al.*, 2020) y Cretácico Inferior (Jara *et al.*, 2021a); lo que ha llevado a deducir que el proceso de subducción habría sido constante entre el Carbonífero- Cretácico Inferior (Oliveros *et al.*, 2018), en contraste con la teoría más clásica de que habría existido un cese en la subducción durante el Pérmico Tardío-Triásico (Ciclo Pre-andino sensu Charrier *et al.*, 2007).

4.3 Origen del magma

En cuanto a la fuente magmática, Kramer *et al.* (2005), Lucassen *et al.* (2006) y Oliveros *et al.* (2018) indican que el magma parental se habría formado a partir un manto empobrecido metasomatizado por fluidos del *slab* y con bajo aporte de material cortical, el que luego se habría diferenciado por cristalización fraccionada (Oliveros *et al.*, 2018). Rossel *et al.* (2020) además señalan que la fuente del magma sería un manto de peridotita-espinela. Esto podría guardar relación con la ausencia de granate en la fuente de las muestras analizadas, denotada por el patrón plano de HREE (Figura 3.19), la relación de entre LREE y HREE representada en el gráfico La/Sm vs Sm/Yb (Figura 4.4) y en menor medida, la ausencia de una marcada anomalía de Eu (Figura 3.19). Esto sugeriría que este magma parental tendría su origen a una baja profundidad, lo que no habría permitido la formación de granate.

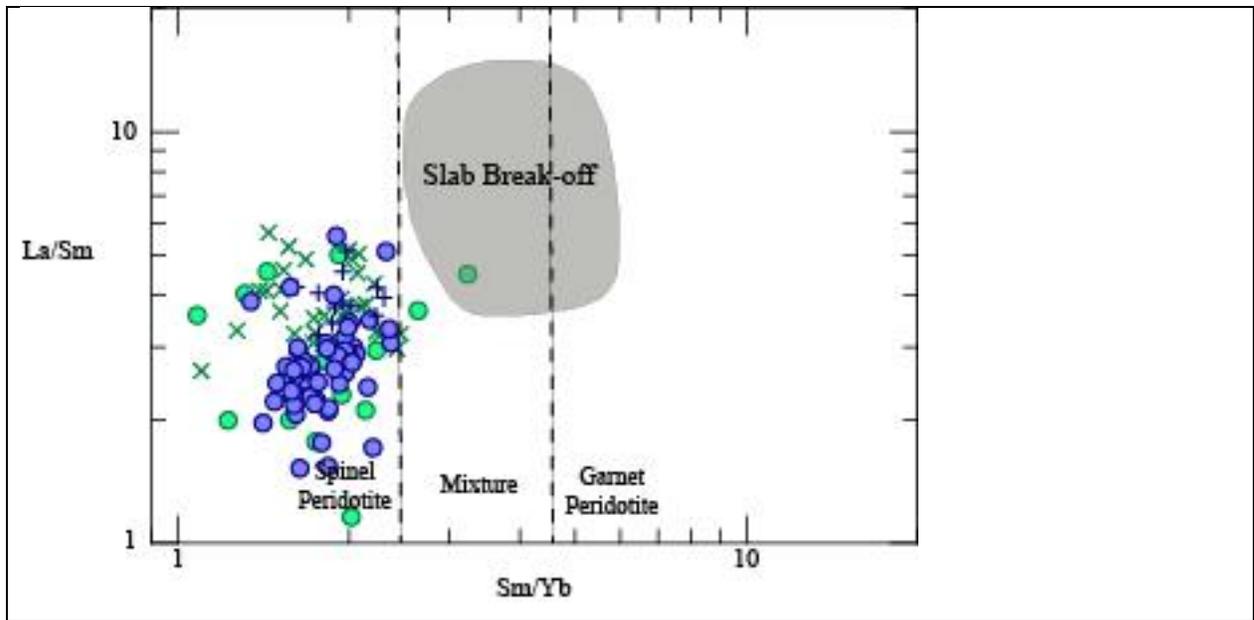


Figura 4.4: Gráfico Sm/Yb vs La/Sm para la discriminación de la fuente magmática según Rossel *et al.* (2013).

Por otro lado, al analizar la evolución del magma en el gráfico Th/Yb vs Nb/Yb es difícil discriminar entre las componentes de subducción y de asimilación de material cortical (Figura 4.5 (a)), ya que se observa una dispersión significativa de los datos, la que es mayor para el Jurásico. Sin embargo, al analizar la razón Th/Yb respecto a la edad (Figura 4.5 (b)) se observarían valores más altos a partir del Cretácico Inferior, sugiriendo mayor aporte de sedimentos transportados por la losa subductante.

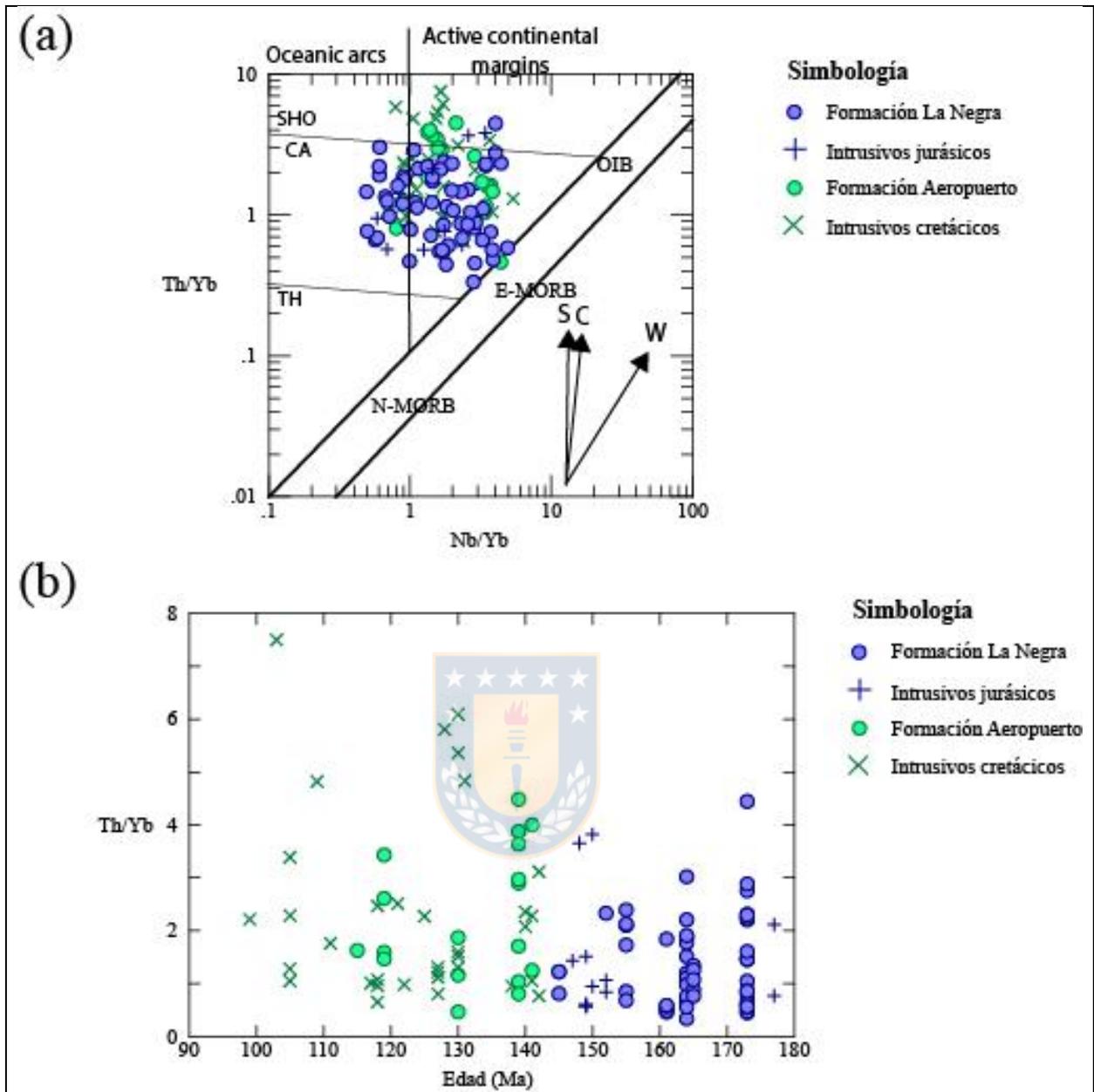


Figura 4.5: Gráficos de evolución del arco según las variaciones de Nb/Yb y Th/Yb en el tiempo (a) Relación Nb/Yb vs Th/Yb según Pearce (1982). S: Componente de subducción, C: Contaminación cortical, W: Enriquecimiento intraplaca, SHO: Composición shoshonítica, CA: Composición calcoalcalina, TH: Composición toleítica. (b) Variación de la relación Th/Yb en comparación a la edad de las muestras.

Esto último se reafirma al utilizar las razones Th/La y Sm/La (Figura 4.6 (a)) como indicadores de aporte cortical y mantélico respectivamente y al analizar la variación del primero a lo largo del tiempo (Figura 4.6 (b)). Esto pareciera indicar, tal como otros autores sugirieron anteriormente (Lucassen *et al.*, 2006; Oliveros *et al.*, 2007, Jara *et al.*, 2021b), que el aporte de material cortical

al magma aumenta levemente con el tiempo debido a que los mayores valores de las razones Th/Yb y Th/La parecen registrarse a principios de Cretácico Inferior y luego disminuyen levemente hacia el Cretácico medio.

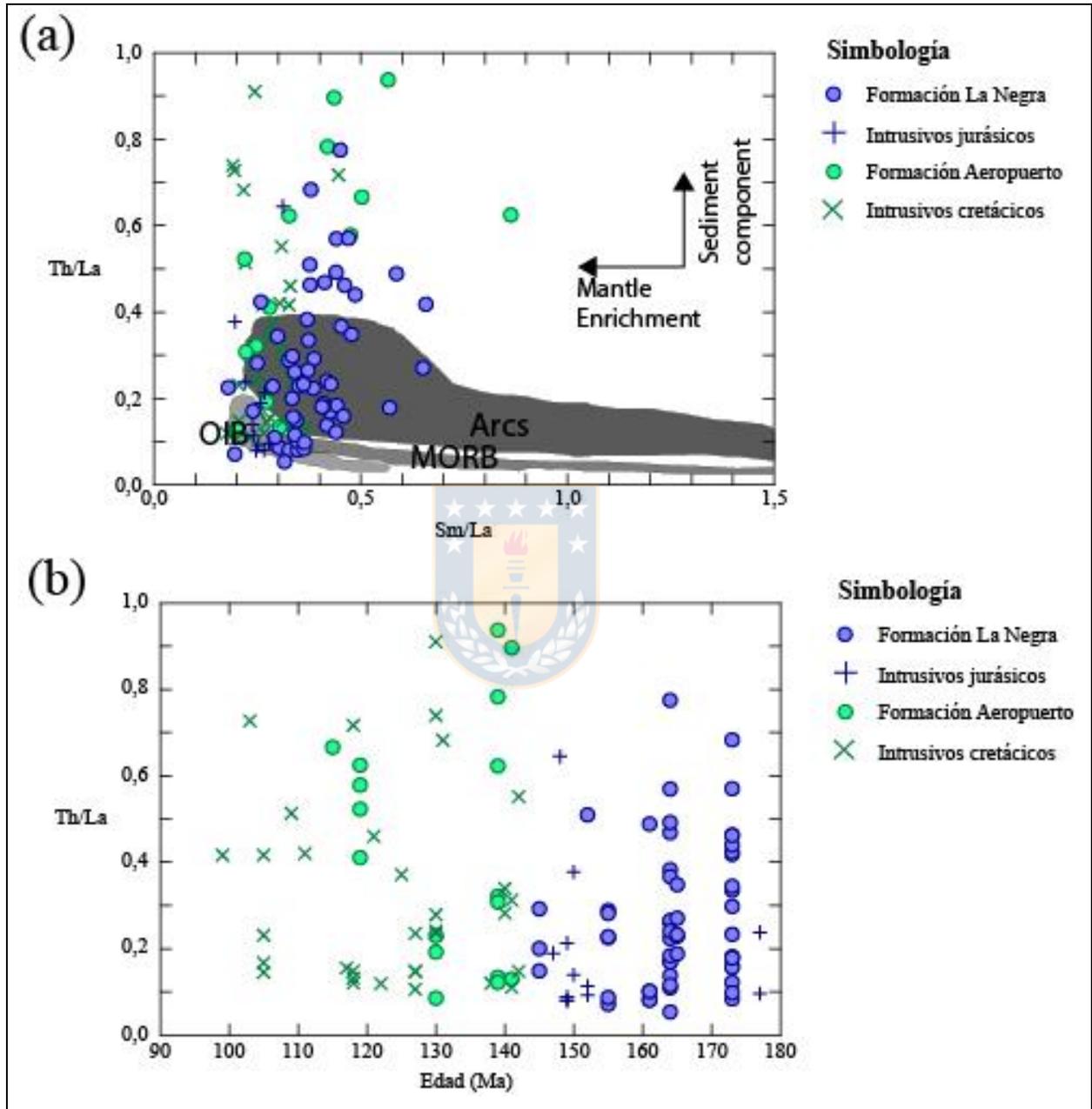


Figura 4.6: Gráficos de relación entre las razones Sm/La, Th/La y el tiempo (a) Sm/La vs Th/La según Plank (2005) en Oliveros *et al.* (2007) (b) Variación de la relación Th/La en comparación a la edad de las muestras.

El aumento de la razón Th/Yb en particular, se relaciona con la asimilación de sedimento del *slab* durante la subducción (Plank, 2005) por lo que el aumento de esta razón en el Cretácico constituye

un indicador no solo del rol que juegan estos sedimentos en la composición del magma, si no que podrían indicar también una relación con los procesos tectónicos de la época.

4.4 Relación entre magmatismo y tectónica

Como se señaló anteriormente, el aumento del aporte de material cortical en el magma entre los 140-130 Ma coincide temporalmente con procesos tectónicos a gran escala de la época, específicamente con la fase de deformación dúctil del SFA entre los 25,5-26° S (Seymour *et al.*, 2020). En el área de estudio, este tipo de deformación solo se ha descrito en las rocas cretácicas entre 132-119 Ma aledañas al SFA (Seymour *et al.*, 2020). Sin embargo, si se considera el segmento Salado del SFA de forma regional, el rango de actividad dúctil se amplía a 139-119 Ma (Seymour *et al.*, 2020). De esta manera, la actividad del SFA también sería contemporáneo al episodio representado por el conjunto de muestras de edades entre 140-130 Ma las que corresponden a las muestras más antiguas de Formación Aeropuerto, además del Complejo Intrusivo Barreal Seco y la Granodiorita Cerro del Pingo. Estos además se relacionan espacialmente con el SFA, la Formación Aeropuerto aflorando entre las rama Oriental y Occidental del sistema mientras que los dos últimos intrusivos se observan en las inmediaciones del SFA pero sin estar restringidos por este.

Siguiendo con esta tendencia, hacia fines del Jurásico, previo al periodo previamente descrito, se observa un aumento en el grado de fraccionamiento promedio de las rocas (Figura 4.7 (a)), dado por un aumento en la concentración de tierras raras livianas entre los 162-122 Ma (Figura 4.7 (b)) mientras que las proporciones de tierras raras pesadas se conservan estables (Figura 4.7 (c)).

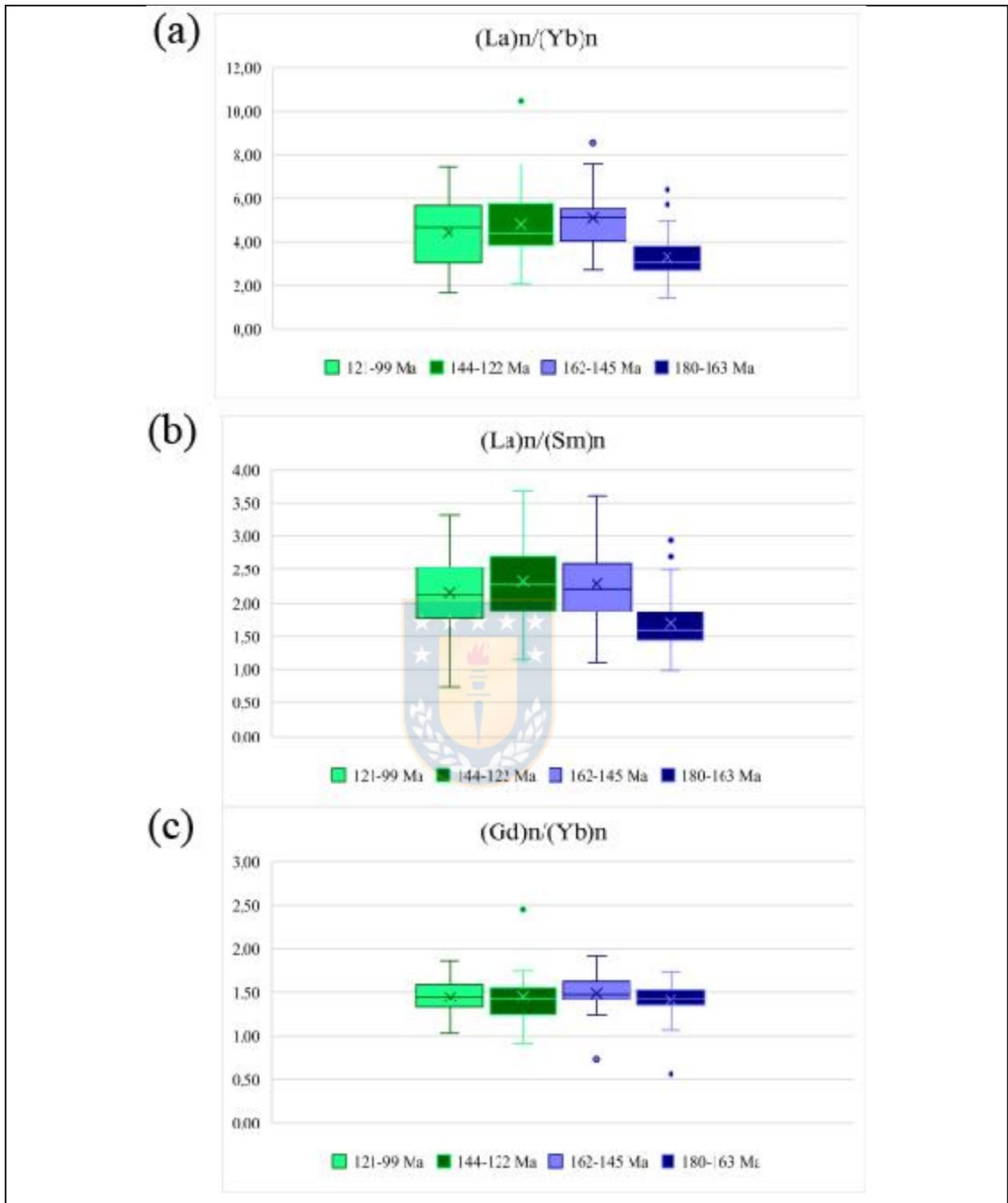


Figura 4.7: Distribución de razones de tierras raras en el tiempo indicando la distribución de las concentraciones en cuartiles, la mediana (línea entre los cuartiles 2 y 3) y el promedio (x). Los valores atípicos se incluyen en forma de puntos del color del rango temporal correspondiente. (a) Variación de la razón $(La)_n/(Yb)_n$ en el tiempo (b) Variación de la razón $(La)_n/(Sm)_n$ en el tiempo (c) Variación de la razón $(Gd)_n/(Yb)_n$, por razones de escala se han omitido las muestras con concentraciones anómalas de Gd: CPJ-091, CPJ-092 y CPJ-100. Todos los valores se encuentran normalizados al condrito según la composición de Sun & McDonough (1989).

Algo similar ocurre con otros elementos trazas que tienden a concentrarse en la corteza y cuya abundancia promedio en las rocas aumenta considerablemente en la primera mitad del Cretácico Inferior como son: Th (Figura 4.8 (a)), Pb (Figura 4.8 (b)) y Hf (Figura 4.8 (c)); esto también ocurre con las concentraciones de algunos elementos característicos del manto como: Ni (Figura 4.8 (d)) y Cr (Figura 4.8 (e)) aunque de forma menos marcada, mientras que otros elementos como Nb (Figura 4.8 (f)) muestran un empobrecimiento en el tiempo.

En base a lo anterior, se propone que tanto el desarrollo del SFA como este cambio en la composición de los magmas podrían atribuirse a un cambio del ambiente tectónico entre el Jurásico Superior y el Cretácico Inferior. Esto es, el paso de un periodo extensional a otro transtensional asociado a subducción oblicua entre los 150-125 Ma (Dallmeyer *et al.*, 1996; Grocott & Taylor, 2002), lo que se expresa como un reordenamiento en los esfuerzos principales en el margen continental donde σ_1 pasa de la vertical a la horizontal facilitando así el ingreso de sedimentos y fluidos del *slab* (Jara *et al.*, 2021a) al magma. Este sería el origen del aumento en el contenido de sedimentos en el magma observado entre 140-130 Ma (Figura 4.6) lo que se habría traducido en un enriquecimiento en elementos abundantes en la corteza como son Th (Figura 4.8 (a)), Pb (Figura 4.8 (b)) y tierras raras livianas (Figura 4.7 (b)) en las rocas.

Por otro lado, no se puede descartar que parte del enriquecimiento cortical observado a inicios del Cretácico pueda también deberse a asimilación de la corteza durante el ascenso del magma, particularmente considerando que el paso de un régimen extensional a uno transtensional habría venido acompañado de un progresivo engrosamiento de la corteza (Jara *et al.*, 2021b), lo que podría haber dificultado por un lado el ascenso del magma y facilitado la interacción entre este y la corteza circundante.

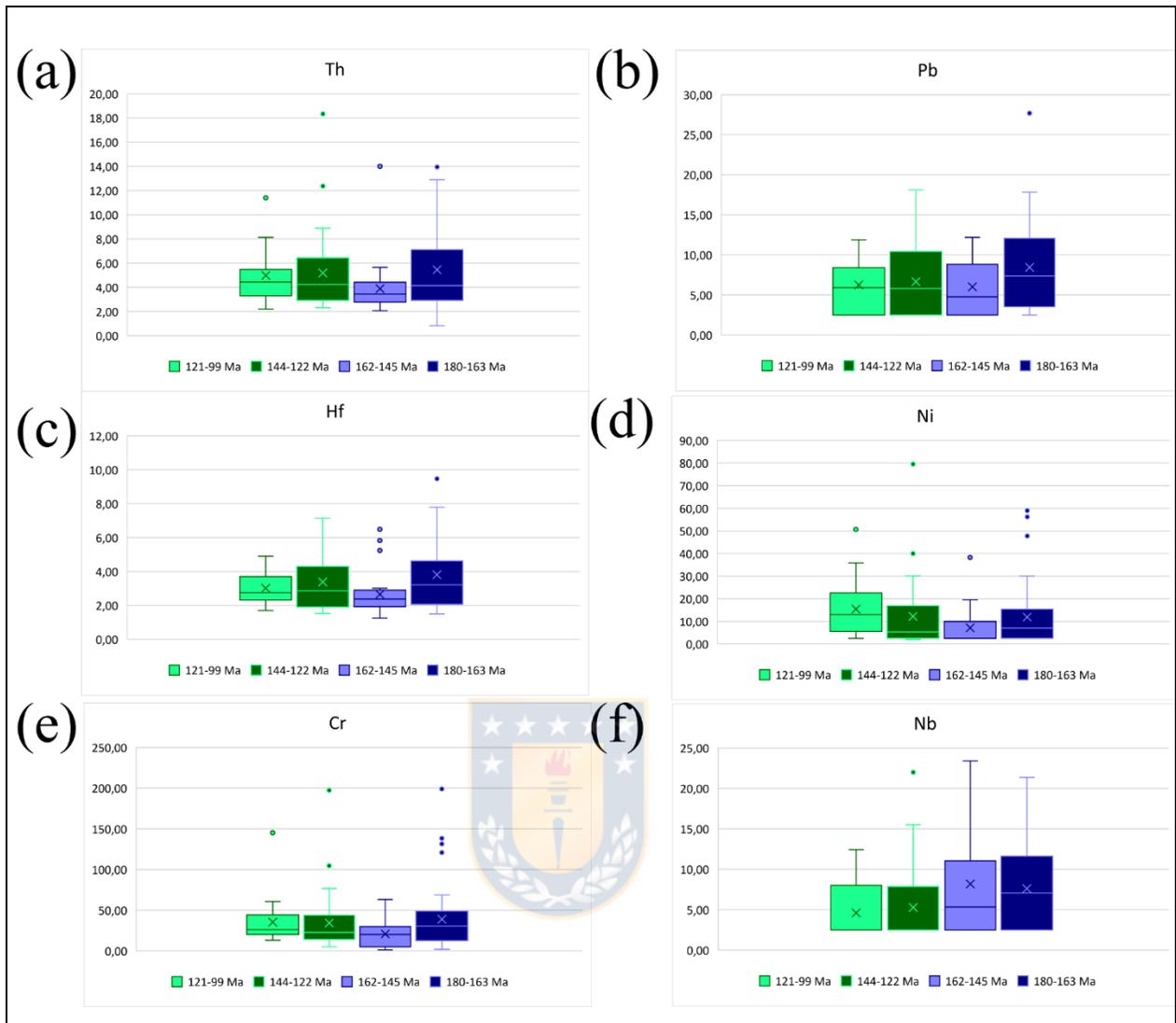


Figura 4.8: Distribución elementos trazas (medidos en ppm) en el tiempo indicando la distribución de las concentraciones en cuartiles, la mediana (línea entre los cuartiles 2 y 3) y el promedio (x). Los valores atípicos se incluyen en forma de puntos del color del rango temporal correspondiente. (a) Th. (b) Pb. (c) Hf. (d) Ni. (e) Cr. (f) Nb.

A la vez, la deformación originada por el cambio en la dirección de subducción se habría expresado en la formación del Sistema de Fallas de Atacama (Dallmeyer *et al.*, 1996; Grocott & Taylor, 2002; Mpodosis & Ramos, 2008) cuya actividad dúctil habría sido facilitada por el alto gradiente geotérmico asociado al desarrollo de un magmatismo syn-tectónico durante el Cretácico Inferior ca. 139-119 Ma (Seymour *et al.*, 2020) y posiblemente guarda relación con el engrosamiento cortical observado por Jara *et al.* (2021b).

Finalmente, posterior a este período habría habido una disminución del volumen de magma que ascendía hacia la corteza, lo que habría gatillado el enfriamiento del arco dando origen a un periodo de deformación frágil y finalmente al cese de la deformación y abandono del arco hacia el Cretácico medio (Seymour *et al.*, 2020).



5. CONCLUSIONES

1. El volcanismo que caracteriza la Cordillera de la Costa entre el Jurásico y Cretácico Inferior se habría producido como consecuencia del proceso de subducción en el margen continental y se habría desarrollado en un contexto geotectónico más o menos estable a partir de un magma parental que se habría diferenciado por cristalización fraccionada a partir de material del manto y con poco aporte cortical, aunque este último habría cobrado mayor importancia hacia el Cretácico Inferior.
2. Las lavas, tanto de la Formación La Negra como de la Formación Aeropuerto, son principalmente de composición andesítica a basáltico-andesita con afinidades calco-alcalinas y en menor medida toleíticas y alcalinas. También, ambas secuencias volcanoclásticas se habrían desarrollado a partir de un mismo magma mediante cristalización fraccionada.
3. Los cuerpos intrusivos del área están asociados a la misma fuente que las secuencias volcanoclásticas y representan la cristalización de las fases más diferenciadas del magma caracterizándose por composiciones dacíticas a riolíticas, en contraste con las andesitas y andesitas basálticas características de las lavas de las formaciones La Negra y Aeropuerto.
4. A inicios del Cretácico Inferior se observa el inicio de un aumento en la contaminación cortical, expresado principalmente en mayores concentraciones de elementos traza como Th, Pb y Hf, pero sin alterar la tendencia general de evolución del magma. Esto habría sido gatillado por el paso de un régimen extensional a uno transtensional lo que habría facilitado el ingreso de sedimentos del *slab*.

5. El establecimiento del Sistema de Fallas de Atacama estaría temporalmente ligado a un leve aumento de la contaminación cortical en los magmas y ambos serian consecuencia del cambio de régimen tectónico experimentado en el margen continental entre los 150-125 Ma.

6. El engrosamiento de la corteza producto del cambio en la dirección de subducción, 150-125 Ma y disminución en el volumen de magma ascendiendo hacia la superficie habrían llevado al aumento en la contaminación cortical de los magmas y el cambio de deformación dúctil a frágil en el Sistema de Fallas de Atacama. Este proceso habría concluido con el enfriamiento de la corteza en el área y migración del arco hacia el oeste a fines del Cretácico Inferior.



6. REFERENCIAS

BASSO, M. 2004. Carta Baquedano, Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, 82, mapa 1:100.000.

BELL, C.M. 1982. The Lower Paleozoic metasedimentary basement of the Coastal Ranges of Chile between 25° 30' and 27° S. *Revista geológica de Chile: An international journal on andean geology*, Vol. 17: 21-24.

BROWN, M.; DIAZ, F.; GROCCOTT, J. 1993. Displacement history of the Atacama fault system 25° 00' S-27° 00' S, northern Chile. *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 105: 1165-1174.

CHARRIER, R.; PINTO, L. & RODRÍGUEZ, M. P. 2007. Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. In: Moreno, T. & Gibbons, W. (eds) *The Geology of Chile*. Geological Society, London, 21-114 pp.

CONTRERAS, J.P.; ESPINOZA, M.; DE LA CRUZ, R.; JORQUERA, R.; KRAUS, S.; RAMÍREZ, C.; NARANJO, J.A.; ESCRIBANO, J. & MARTÍNEZ, P. 2013. Carta Cifuncho, Regiones de Antofagasta y Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 161, mapa escala 1:100.000. Santiago.

CORTÉS, J. 2000. Hoja Palestina, Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos, No.19., mapa escala 1:100 000. Santiago.

DALLMEYER, R.D.; BROWN, M.; GROCCOTT, J.; TAYLOR, G. K. & TRELOAR, P. J. 1996. Mesozoic magmatic and tectonic events within the Andean Plate boundary zone, 26°-27° 30'S, North Chile: constraints from 40Ar/39Ar mineral ages. *The Journal of Geology*, Vol. 104: 19-40.

ESCRIBANO, J.; MARTÍNEZ, P.; DOMAGALA, J.; PADEL, M.; ESPINOZA, M.; JORQUERA, R.; CONTRERAS, J.P.; DE LA CRUZ, R. & CALDERÓN, M. 2013. Cartas Bahía Isla Blanca y Taltal, Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, 164(165).

ESPINOZA, M.; CONTRERAS, J. P.; JORQUERA, R.; DE LA CRUZ, R.; KRAUS, S.; RAMÍREZ, C. & NARANJO, J. A. 2014. Carta Cerro del Pingo, Regiones de Antofagasta y de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 169. mapa escala 1:100.000. Santiago.

GARCÍA, F. 1967. Geología del Norte Grande de Chile. In Simposio Geosinclinal Andino, Sociedad Geológica de Chile 3. 138 pp.

GROCOTT, J. & TAYLOR, G.K. 2002. Magmatic arc fault systems, deformation partitioning and emplacement of granitic complexes in the Coastal Cordillera, north Chilean Andes (25° 30' S to 27° 00' S). *Journal of the Geological Society*, Vol. 159: 425-443.

IRVINE, T.N. & BARAGAR, W.R. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian journal of earth sciences*, Vol. 8: 523-548.

JARA, J.J.; BARRA, F.; REICH, M.; MORATA, D.; LEISEN, M. & ROMERO, R. 2021a. Geochronology and petrogenesis of intrusive rocks in the Coastal Cordillera of northern Chile: Insights from zircon U-Pb dating and trace element geochemistry. *Gondwana Research*, Vol. 93: 48-72.

JARA, J.J.; BARRA, F.; REICH, M.; MORATA, D.; LEISEN, M. & ROMERO, R. 2021b. Episodic construction of the early Andean Cordillera unravelled by zircon petrochronology. *Nature communications*, Vol. 12: 1-8.

KRAMER, W.; SIEBEL, W.; ROMER, R. L.; HAASE, G.; ZIMMER, M. & EHRlichMANN, R. 2005. Geochemical and isotopic characteristics and evolution of the Jurassic volcanic arc between Arica (18° 30' S) and Tocopilla (22° S), North Chilean Coastal Cordillera. *Geochemistry*, Vol. 65: 47-78.

LE MAITRE, R.; BATEMAN, P.; DUDEK, A.; KELLER, J.; LAMEYRE Le BAS, M.; SABINE, P.; SCHMID, R.; SORENSEN, H.; STRECKEISEN, A.; WOOLLEY, A. & ZANETTIN, B. 1989. *A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms*. Blackwell Scientific Publications: 193 pp. Oxford.

LUCASSEN, F. & FRANZ, G. 1994. Arc related Jurassic igneous and meta-igneous rocks in the Coastal Cordillera of northern Chile/Region Antofagasta. *Lithos*, Vol. 32: 273-298.

LUCASSEN, F.; KRAMER, W.; BARTSCH, V.; WILKE, H.G.; FRANZ, G.; ROMER, R.L. & DULSKI, P. 2006. Nd, Pb, and Sr isotope composition of juvenile magmatism in the Mesozoic large magmatic province of northern Chile (18°-27° S): indications for a uniform subarc mantle. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, Vol. 152: 571-589.

MATTHEWS, S.; ESPINOZA, F.; CORNEJO, P. & VENEGAS, C. 2010. Carta Altamira, Regiones de Antofagasta y Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 121: 66 p., mapa escala 1:100.000. Santiago.

MAVOR, S.; SINGLETON, J.; GOMILA, R.; HEUSER, G.; SEYMOUR, N.; WILLIAMS, S. & STOCKLI, D.F. 2020. Timing, kinematics, and displacement of the Taltal fault system, northern Chile: Implications for the Cretaceous tectonic evolution of the Andean margin. *Tectonics*, Vol. 39.



MIDDLEMOST, E.A. 1989. Iron oxidation ratios, norms and the classification of volcanic rocks. *Chemical geology*, 77(1), 19-26.

MPODOZIS, C. & RAMOS, V. 1989. The Andes of Chile and Argentina, in: G. Ericksen, M. Cañas Pinochet & J. Reinemud (eds.). *Geology of the Andes and its relation to hydrocarbon and mineral resources*. Circumpacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Sciences Series Vol. 11: 59 – 90.

MPODOZIS, C. & RAMOS, V.A. 2008. Tectónica jurásica en Argentina y Chile: extensión, subducción oblicua, rifting, deriva y colisiones?. *Revista de la Asociación geológica Argentina*, Vol. 63: 481-497.

NARANJO, J. & PUIG, A. 1984. Hojas Taltal y Chañaral. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile 62-63, mapa escala 1:250.000.

OLIVEROS, V.; GONZÁLEZ, J.; ESPINOZA, M.E.; VÁSQUEZ, P.; ROSSEL, P.; CREIXELL, C.; SEPULVEDA, F. & BASTIAS, F. 2018. The early stages of the magmatic arc in the Southern Central Andes. In *The Evolution of the Chilean-Argentinean Andes*. Springer, Cham. 165-190 pp.

OLIVEROS, V.; MORATA, D.; AGUIRRE, L.; FÉRAUD, G. & FORNARI, M. (2007). Jurassic to Early Cretaceous subduction-related magmatism in the Coastal Cordillera of northern Chile (18° 30'-24° S): geochemistry and petrogenesis. *Andean Geology*, Vol. 34: 209-232.

OLIVEROS, V.; VÁSQUEZ, P.; CREIXELL, C.; LUCASSEN, F.; DUCEA, M.N.; CIOCCA, I.; GONZÁLEZ, J.; ESPINOZA, M.; SALAZAR, E.; COLOMA, F. & KASEMANN, S.A. 2020. Lithospheric evolution of the Pre-and Early Andean convergent margin, Chile. *Gondwana Research*, Vol. 80: 202-227.

PEARCE, J.A. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorps, R.S. (Ed.), *Andesites*. John Wiley and Sons, New York, 525–548 pp.

PEARCE, J.A.; HARRIS, N.B. & TINDLE, A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of petrology*, Vol. 25: 956-983.

PECCERILLO, R. & TAYLOR, S. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contribution to Mineralogy and Petrology*. Vol. 58: 63 – 81.

PLANK, T. 2005. Constraints from thorium/lanthanum on sediment recycling at subduction zones and the evolution of the continents. *Journal of Petrology*, Vol. 46: 921-944.

PLUMLEE, G. 1998. United States Geological Survey Certificate of Analysis: Basalt, Columbia River, BCR-2. http://minerals.cr.usgs.gov/geo_chem_stand/basaltbcr2.html.

RAMOS, V.A., DALLMEYER, R.D. & VUJOVICH, G. 1998. Time constraints on the Early Palaeozoic docking of the Precordillera, central Argentina. *Geological Society, London, Special Publications*, Vol. 142: 143-158.

- RICKWOOD, P.C. 1989. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements. *Lithos*, Vol. 22: 247-263.
- ROSSEL, P.; ECHAURREN, A.; DUCEA, M.N.; MALDONADO, P. & LLANOS, K. 2020. Jurassic segmentation of the early Andean magmatic Province in southern central Chile (35–39° S): Petrological constrains and tectonic drivers. *Lithos*, Vol. 364-365
- ROSSEL, P.; OLIVEROS, V.; DUCEA, M.N.; CHARRIER, R.; SCAILLET, S.; RETAMAL, L. & FIGUEROA, O. 2013. The Early Andean subduction system as an analog to island arcs: Evidence from across-arc geochemical variations in northern Chile. *Lithos* Vol. 179: 211-230
- SEYMOUR, N. M.; SINGLETON, J.S.; MAVOR, S.P.; GOMILA, R.; STOCKLI, D.F.; HEUSER, G. & ARANCIBIA, G. 2020. The relationship between magmatism and deformation along the intra-arc strike-slip Atacama fault system, northern Chile. *Tectonics*, Vol. 39.
- SUÁREZ, M. & BELL, C.M. 1992. Triassic rift-related sedimentary basins in northern Chile (24–29 S). *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 6: 109-121.
- SUN, S.S. & MCDONOUGH, W.F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Geological Society, London, Special Publications, Vol. 42: 313-345.
- THIELE, R.; PINCHEIRA, M. 1987. Tectónica transpresiva v movimiento de desgarre en el segmento sur de la Zona de Falla Atacama, Chile. *Revista Geológica de Chile* Vol. 31: 77-94
- ULRIKSEN, C.E. 1979. Regional geology, geochronology and metallogeny of the coastal cordillera of Chile between 25°30' and 26° south. Dalhousie University: 221 p. Halifax, Canada.
- VÁSQUEZ, P. & SEPÚLVEDA, F. 2013. Cartas Iquique y Pozo Almonte, Región de Tarapacá. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica.
- VÁSQUEZ, P.; SEPÚLVEDA, F.A. & QUEZADA, A. 2015. 110 millones de años de volcanismo andesítico (Triásico Superior–Cretácico Inferior) en la Cordillera de la Costa (20 00'–

21 15' S): nuevas edades U/Pb. In XIV Congreso Geologico Chileno, La Serena, Chile (848-851 pp.).

WOOD, D.A. 1980. The application of a ThHfTa diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary Volcanic Province. Earth and planetary science letters, Vol. 50: 11-30.



ANEXOS



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Tabla de análisis químico de elementos mayores de las muestras estudiadas ..	1
2	Tabla de análisis químicos de elementos traza (excluyendo tierras raras) para las muestras estudiadas	11
3	Tabla de análisis químicos de tierras raras para las muestras estudiadas	16
4	Tabla de cálculo de Feo*	21
5	Tablas de composición de elementos mayores (%) para muestras estándar.....	25
6	Tablas de composición de elementos traza para muestras estándar.....	27
7	Tablas de composición de elementos mayores (%) para duplicados.....	31
8	Tablas de composición de elementos traza para duplicados.....	36
9	Tablas de composición para blancos.....	42



Anexo 1: Tabla de análisis químico de elementos mayores de las muestras estudiadas

Muestra	Coordenada Norte	Coordenada Este	Unidad Geológica	Edad (Ma)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	MnO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	Suma
CPE-021	7174501	363081	Formación La Negra	152	53,14	18,20	0,71	8,54	6,76	7,29	0,29	3,13	1,80	0,12	100
CPE-022	7174331	362829	Intrusivos Hipoabisales del Cretácico Inferior	118	51,37	19,36	0,77	10,64	4,28	6,89	0,33	4,09	2,14	0,12	100
CPE-023	7174274	361074	Formación Aeropuerto	141	62,36	17,08	0,66	5,49	4,75	3,00	0,12	4,24	2,11	0,19	100
CPE042	7173975	356986	Formación La Negra	173	52,31	18,70	1,29	9,82	8,41	2,30	0,13	3,91	2,98	0,16	100
CPE063	7156859	360479	Formación La Negra	173	65,46	14,54	0,80	9,25	0,98	1,75	0,03	5,40	1,53	0,27	100
CPE065	7157221	360627	Formación La Negra	173	58,56	15,05	1,41	10,12	3,54	4,41	0,17	4,64	1,81	0,29	100
CPE076	7149748	353752	Formación La Negra	164	56,08	13,74	1,88	12,48	3,55	3,83	0,23	2,59	5,20	0,43	100
CPE107	7172528	357079	Formación La Negra	173	52,65	17,59	0,93	9,26	8,44	6,67	0,15	2,96	1,19	0,15	100
CPE126	7163300	344947	Formación La Negra	164	58,65	14,36	1,95	9,95	4,65	4,00	0,13	3,40	2,54	0,37	100
CPE128	7163153	346974	Formación La Negra	164	54,54	18,66	0,94	7,87	5,09	6,08	0,13	5,64	0,90	0,16	100
CPE129	7162283	353703	Formación La Negra	165	50,87	15,78	1,37	14,40	5,38	6,92	0,23	4,00	0,80	0,24	100
CPE130	7162257	353692	Formación La Negra	165	54,14	18,26	1,25	9,67	7,84	3,51	0,14	3,45	1,44	0,31	100
CPE131	7163474	358472	Formación La Negra	173	53,78	15,39	1,04	10,08	3,92	7,98	0,38	4,56	2,62	0,26	100
CPE132	7165366	357941	Formación La Negra	173	58,79	13,15	0,79	16,24	3,01	2,29	0,06	3,09	2,40	0,17	100
CPE133	7165455	358139	Formación La Negra	173	60,40	14,53	1,20	8,82	4,56	3,15	0,14	3,73	3,03	0,43	100

Muestra	Coordenada Norte	Coordenada Este	Unidad Geológica	Edad (Ma)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	MnO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	Suma
CPE134	7162442	359128	Formación La Negra	173	59,89	13,56	1,59	9,90	1,91	4,70	0,14	3,26	4,52	0,54	100
CPE135	7161377	361160	Formación La Negra	173	50,57	15,98	0,68	8,06	11,50	5,93	0,24	6,83	0,09	0,10	100
CPE137	7160293	360124	Formación La Negra	173	63,49	13,62	1,38	8,75	1,74	2,69	0,14	2,99	4,73	0,47	100
CPE138	7164921	360705	Formación La Negra	173	71,50	16,16	0,49	2,95	0,19	0,25	0,01	7,90	0,53	0,02	100
CPE139	7166730	351758	Formación La Negra	173	52,56	15,74	1,26	13,66	6,97	4,81	0,22	2,90	1,59	0,29	100
CPJ-090	7148371	351115	Formación La Negra	164	58,09	13,76	2,12	11,52	2,25	2,79	0,35	3,15	5,38	0,60	100
CPJ-091	7148415	352416	Formación La Negra	164	54,07	16,20	1,54	11,68	3,35	5,08	0,17	2,86	4,60	0,44	100
CPJ-092	7149764	353950	Formación La Negra	164	58,63	13,41	2,02	10,95	3,91	2,77	0,16	3,89	3,76	0,51	100
CPJ-096	7149506	355531	Formación La Negra	164	51,42	14,97	1,70	14,01	5,06	6,31	0,40	3,43	2,40	0,31	100
CPJ-098	7148938	356708	Formación La Negra	164	55,03	14,43	1,57	12,43	5,25	4,12	0,27	3,59	3,07	0,25	100
CPJ-100	7148491	358925	Formación La Negra	164	55,79	14,88	1,58	10,87	6,70	3,63	0,22	3,14	2,88	0,30	100
CPJ-102	7139814	359717	Formación Aeropuerto	145	59,36	15,24	1,22	9,57	5,03	3,31	0,21	4,19	1,63	0,24	100
CPJ-104	7137562	357991	Formación La Negra	164	53,08	14,44	1,63	13,11	5,65	5,39	0,39	2,91	3,12	0,26	100
CPJ-106	7129272	350708	Formación La Negra	164	56,35	16,32	0,54	11,88	4,50	3,66	0,10	6,32	0,22	0,12	100
CPJ-107	7129086	351615	Formación La Negra	164	53,40	15,77	2,02	10,94	6,66	5,30	0,22	3,38	1,91	0,41	100
CPK-049	7163667	368981	Granodiorita Cerro del Pingo	127	65,61	16,07	0,46	3,27	6,00	3,01	0,06	4,98	0,39	0,15	100

Muestra	Coordenada Norte	Coordenada Este	Unidad Geológica	Edad (Ma)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	MnO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	Suma
CPK-061	7157156	371770	Granodiorita Cerro del Pingo	130	72,56	15,76	0,18	0,68	4,94	0,98	0,02	4,46	0,32	0,11	100
CPK-064	7171153	379598	Complejo Intrusivo Librillo	105	62,78	17,32	0,52	4,46	5,37	3,60	0,08	3,78	1,96	0,14	100
CPK-065	7160653	381286	Complejo Intrusivo Barreal Seco	111	53,95	21,09	0,76	2,61	14,06	3,96	0,14	2,96	0,30	0,17	100
CPK-069	7151942	379822	Complejo Intrusivo Quezada	141	53,53	18,18	0,72	9,81	1,35	7,93	0,25	2,25	5,82	0,18	100
CPK-085	7138149	366397	Complejo Intrusivo La Finca	140	60,00	17,03	0,59	6,93	4,44	4,66	0,16	3,96	2,05	0,18	100
CPK-086	7134400	366373	Complejo Intrusivo La Finca	140	58,11	16,76	0,82	7,03	6,02	5,11	0,12	3,38	2,33	0,32	100
CPK-237	7168684	389281	Complejo Intrusivo Librillo	103	66,74	16,53	0,36	3,14	4,44	2,51	0,07	4,04	2,04	0,13	100
CPK-241	7173479	371877	Intrusivos Hipoabisales del Cretácico Inferior	105	61,86	16,26	0,65	5,92	5,46	3,97	0,13	3,08	2,47	0,19	100
CPK-242	7167512	372986	Complejo Intrusivo La Finca	142	57,65	15,95	0,82	8,23	6,89	5,65	0,12	3,31	1,17	0,21	100
CPK-245	7158554	369497	Granodiorita Cerro del Pingo	130	70,61	17,61	0,57	0,25	5,55	0,15	0,01	5,03	0,20	0,02	100
CPK-246	7161078	373441	Granodiorita Cerro del Pingo	127	65,18	16,28	0,50	4,60	4,69	2,52	0,11	3,76	2,23	0,12	100

Muestra	Coordenada Norte	Coordenada Este	Unidad Geológica	Edad (Ma)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	MnO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	Suma
CPK-247	7163339	378037	Granodiorita Cerro del Pingo	127	67,91	14,97	0,45	3,34	3,95	2,39	0,06	3,15	3,65	0,12	100
CPK-248	7164840	382900	Complejo Intrusivo Barreal Seco	99	56,05	17,92	0,61	7,00	8,07	6,11	0,14	3,19	0,75	0,15	100
CPK-250	7157218	372324	Granodiorita Cerro del Pingo	130	67,46	15,68	0,43	3,74	3,82	1,98	0,07	3,68	3,02	0,13	100
CPK-251	7157180	380144	Complejo Intrusivo Quezada	149	64,31	15,41	0,74	5,49	4,35	2,81	0,10	3,14	3,46	0,18	100
CPK-256	7160835	387020	Complejo Intrusivo Quezada	147	62,49	16,29	0,73	5,87	5,12	3,18	0,14	3,16	2,85	0,18	100
CPK-261	7158727	387865	Complejo Intrusivo Quezada	149	64,47	15,95	0,77	5,12	3,97	2,08	0,12	3,94	3,31	0,26	100
CPK-264	7155180	381184	Complejo Intrusivo Barreal Seco	117	60,56	17,13	0,77	6,60	5,39	3,32	0,12	3,15	2,79	0,17	100
CPK-266	7151994	373651	Complejo Intrusivo Quezada	152	58,65	16,17	0,87	7,99	3,09	5,19	0,06	2,82	4,89	0,26	100
CPK-268	7153474	383281	Complejo Intrusivo Quezada	149	65,83	15,55	0,74	4,65	3,57	2,03	0,08	3,09	4,24	0,20	100
CPK-269	7151967	385250	Complejo Intrusivo Quezada	150	68,93	15,94	0,42	2,77	2,05	1,00	0,04	4,22	4,51	0,12	100

Muestra	Coordenada Norte	Coordenada Este	Unidad Geológica	Edad (Ma)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	MnO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	Suma
CPK-270	7154168	386451	Complejo Intrusivo Quezada	149	60,97	16,00	0,84	6,64	5,68	3,89	0,17	2,84	2,73	0,24	100
CPK-278	7149633	383785	Complejo Intrusivo Quezada	150	62,99	16,30	0,48	4,65	2,29	3,38	0,18	2,83	6,75	0,14	100
CPK-281	7147809	379978	Complejo Intrusivo Quezada	141	64,22	17,28	0,72	4,57	3,78	1,62	0,08	3,79	3,75	0,19	100
CPK-282	7149972	375942	Granodiorita Cerro Concha	177	58,36	17,55	0,73	7,40	6,62	4,22	0,14	3,47	1,35	0,16	100
CPK-283	7146524	375312	Granodiorita Cerro Concha	177	57,05	15,63	1,23	8,58	7,62	4,64	0,19	2,93	1,76	0,38	100
CPK-285	7143185	379420	Complejo Intrusivo La Finca	138	62,61	16,12	0,75	6,13	4,85	2,89	0,11	3,54	2,79	0,21	100
CPK-286	7141755	383138	Complejo Intrusivo Quezada	152	65,64	15,35	0,70	4,56	3,54	2,06	0,07	3,76	4,04	0,28	100
CPK-288	7147345	389311	Complejo Intrusivo Barreal Seco	127	62,04	17,54	0,76	1,66	8,26	3,06	0,08	5,00	1,26	0,34	100
CPK-295	7138098	386080	Complejo Intrusivo Barreal Seco	122	71,14	14,36	0,34	2,48	2,41	1,32	0,05	3,53	4,27	0,09	100
CPM-020	7154564	351072	Formación La Negra	165	53,66	16,02	1,42	10,49	5,14	5,18	0,36	3,88	3,50	0,34	100
CPM-021	7154567	351072	Formación La Negra	165	61,92	13,86	1,29	8,67	2,18	2,78	0,15	3,85	4,80	0,49	100

Muestra	Coordenada Norte	Coordenada Este	Unidad Geológica	Edad (Ma)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	MnO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	Suma
CPM-022	7153196	354438	Formación La Negra	165	49,42	15,46	2,31	16,08	6,17	2,68	0,33	3,91	3,18	0,46	100
CPM-024	7155312	357902	Formación La Negra	173	56,59	13,03	1,91	14,23	1,62	4,89	0,18	2,77	4,44	0,33	100
CPM-025	7156599	359671	Formación La Negra	173	55,19	13,24	1,97	15,00	4,85	4,18	0,08	5,08	0,08	0,33	100
CPM-026	7155296	362188	Formación La Negra	173	68,75	13,72	0,57	4,35	3,78	0,11	0,07	6,48	2,03	0,14	100
CPM-027	7153974	366374	Formación Aeropuerto	139	60,22	16,49	0,43	6,94	5,37	0,68	0,06	9,67	0,05	0,08	100
CPM-029	7145466	393017	Formación Aeropuerto	115	55,81	15,45	0,82	9,19	1,86	8,76	0,08	2,92	4,90	0,20	100
CPM-030	7131600	394080	Formación Aeropuerto	119	53,34	17,53	0,98	11,04	0,54	8,72	0,68	5,20	1,70	0,26	100
CPV-059	7140525	369710	Formación Aeropuerto	139	55,52	17,78	0,85	9,97	4,34	4,26	0,37	4,42	2,40	0,10	100
CPV-061	7139917	370357	Formación Aeropuerto	139	54,42	17,92	1,19	10,15	6,00	4,72	0,35	4,20	0,93	0,10	100
CPV-063	7138971	371387	Formación Aeropuerto	139	60,38	16,84	1,02	8,45	4,20	3,11	0,09	4,09	1,63	0,18	100
CPV-066	7133494	377453	Formación Aeropuerto	130	55,29	18,01	0,85	12,18	2,00	4,48	0,16	5,46	1,38	0,19	100
CPV-070	7132167	397373	Formación Aeropuerto	119	62,23	15,96	0,67	7,99	3,59	1,79	0,16	4,56	2,92	0,12	100
CPV-090	7138863	354888	Formación La Negra	164	53,90	15,86	1,02	11,93	4,34	4,79	0,74	2,92	4,29	0,21	100
CPV-091	7137209	356424	Formación La Negra	164	54,29	13,76	1,84	13,66	6,61	4,34	0,21	2,87	2,14	0,29	100
CPV-092	7136228	357074	Formación La Negra	164	52,61	14,10	2,03	14,39	8,77	4,41	0,26	2,53	0,59	0,31	100
CPV-093	7137594	359157	Formación La Negra	164	55,47	15,60	1,51	11,81	5,49	3,64	0,26	4,48	1,37	0,37	100

Muestra	Coordenada Norte	Coordenada Este	Unidad Geológica	Edad (Ma)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	MnO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	Suma
CPV-094	7139662	360607	Formación Aeropuerto	145	63,27	17,23	0,67	6,95	2,52	1,13	0,12	5,99	1,89	0,23	100
CPV-095	7140119	363622	Formación La Negra	145	53,33	16,41	1,23	10,09	8,84	0,90	0,14	6,22	2,58	0,27	100
CPV-128	7167170	349140	Formación La Negra	173	55,19	17,97	0,78	7,57	5,58	6,92	0,12	4,58	1,04	0,26	100
CPV-134	7166660	351810	Formación La Negra	173	52,64	18,88	1,15	8,80	4,96	7,79	0,16	4,03	1,29	0,29	100
CPV-135	7164830	355333	Formación La Negra	173	53,64	14,36	1,89	13,07	6,26	4,23	0,22	3,33	2,57	0,42	100
CPV-136	7163430	356038	Formación La Negra	173	54,80	13,76	2,06	12,63	3,97	5,14	0,26	3,59	3,28	0,52	100
CPV-137	7163030	360522	Formación La Negra	173	55,25	14,55	1,74	13,12	4,36	4,29	0,07	5,80	0,46	0,35	100
CPV-138	7161440	365487	Formación Aeropuerto	141	50,00	17,38	0,89	8,96	8,06	9,79	0,42	2,76	1,51	0,22	100
CPV-139	7162090	367421	Formación Aeropuerto	139	53,15	21,13	0,79	7,73	8,09	3,99	0,20	3,97	0,85	0,11	100
CPV-140	7160290	365709	Formación Aeropuerto	139	73,48	14,39	0,17	1,51	2,08	0,36	0,04	4,53	3,41	0,04	100
CPV-141	7156890	369218	Formación Aeropuerto	139	57,41	17,66	0,94	7,59	7,58	3,23	0,14	3,09	2,08	0,28	100
CPV-142	7167010	394424	Formación La Negra	155	65,53	18,08	0,26	4,38	4,00	2,80	0,04	3,24	1,56	0,11	100
CPV-146	7166140	395814	Formación La Negra	155	59,41	19,46	0,74	5,97	8,32	0,17	0,16	5,45	0,15	0,15	100
CPV-147	7164940	396185	Formación La Negra	155	57,35	18,01	0,62	6,95	6,23	5,18	0,13	3,87	1,52	0,13	100
CPV-148	7161280	398867	Formación La Negra	155	52,36	19,90	0,72	7,33	7,52	6,14	0,31	3,76	1,78	0,17	100
CPV-149	7159760	398115	Formación La Negra	155	52,81	17,44	1,54	10,02	7,74	3,80	0,28	3,14	2,63	0,59	100

Muestra	Coordenada Norte	Coordenada Este	Unidad Geológica	Edad (Ma)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	MnO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	Suma
CPV-150	7156720	398300	Intrusivos Hipoabisales del Cretácico Inferior	118	52,45	17,82	1,15	9,43	7,42	5,62	0,49	3,22	2,09	0,31	100
CPV-158	7131580	380397	Formación Aeropuerto	130	52,13	15,29	2,34	10,37	8,25	5,49	0,16	4,16	1,29	0,54	100
CPV-159	7131900	381862	Complejo Intrusivo Barreal Seco	125	56,41	20,39	0,79	6,07	8,10	3,08	0,14	3,46	1,38	0,17	100
CPV-160	7131070	381431	Formación Aeropuerto	130	54,92	15,33	2,18	9,90	7,63	4,26	0,19	3,54	1,43	0,61	100
CPV-161	7164830	355333	Formación La Negra	173	53,86	14,27	1,90	12,82	6,33	4,12	0,22	3,39	2,64	0,45	100
CPV-162	7135671	374732	Intrusivos Hipoabisales del Cretácico Inferior	118	53,25	15,25	1,90	11,35	8,06	5,08	0,36	2,84	1,46	0,46	100
CPV-165	7134792	373100	Intrusivos Hipoabisales del Cretácico Inferior	118	56,76	16,67	1,09	8,59	2,98	6,02	0,25	3,04	4,32	0,28	100
CPV-170	7147451	370685	Formación Aeropuerto	139	51,11	18,30	1,21	9,83	8,46	5,53	0,14	1,96	3,21	0,24	100
CPV-182	7143814	360134	Formación La Negra	164	58,21	15,73	1,13	9,47	5,11	3,84	0,24	4,37	1,72	0,17	100
CPV-188	7147078	408655	Formación La Negra	161	56,75	19,00	0,64	8,20	1,32	6,62	0,06	5,06	2,13	0,23	100
CPV-189	7153776	399086	Formación La Negra	155	49,14	16,55	1,66	13,35	5,18	7,55	0,42	3,68	2,04	0,44	100

Muestra	Coordenada Norte	Coordenada Este	Unidad Geológica	Edad (Ma)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	MnO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	Suma
CPV-203	7141707	414477	Formación La Negra	161	49,40	15,63	2,61	12,32	5,56	6,00	1,09	3,50	3,23	0,68	100
CPV-204	7141707	414477	Formación La Negra	161	49,39	15,69	2,63	12,14	5,65	6,10	1,02	3,55	3,19	0,65	100
CPV-205	7141707	414477	Formación La Negra	161	61,12	13,52	1,57	10,95	2,44	2,66	0,18	4,18	2,84	0,54	100
CPV-206	7141634	414664	Formación La Negra	161	50,99	15,94	2,46	11,40	5,24	5,98	0,65	3,98	2,65	0,71	100
CPV-207	7131417	394316	Formación Aeropuerto	119	50,98	17,55	0,52	11,46	1,63	11,28	0,73	4,08	1,69	0,08	100
CPV-208	7131417	394316	Formación Aeropuerto	119	64,37	15,71	0,55	8,06	0,28	3,84	0,04	6,93	0,07	0,13	100
CPV-229	7174982	378510	Complejo Intrusivo Librillo	105	63,61	17,25	0,49	4,21	5,17	3,29	0,06	3,78	2,00	0,14	100
CPV-239	7174733	373514	Complejo Intrusivo Librillo	105	60,74	17,22	0,71	5,31	4,91	4,33	0,15	3,94	2,51	0,19	100
CPV-282	7157218	367655	Granodiorita Cerro del Pingo	128	74,32	14,16	0,25	1,63	0,55	0,35	0,01	4,27	4,43	0,03	100
CPV-296	7154664	371529	Granodiorita Cerro del Pingo	130	68,58	15,55	0,40	3,29	3,70	1,65	0,08	4,05	2,60	0,10	100
CPV-297	7155694	371865	Granodiorita Cerro del Pingo	130	67,46	15,71	0,47	3,88	3,76	2,03	0,06	3,66	2,85	0,13	100
CPV-298	7160330	371340	Granodiorita Cerro del Pingo	131	67,75	15,51	0,43	3,59	4,04	1,89	0,06	3,69	2,92	0,12	100
CPV-313	7161869	382500	Complejo Intrusivo Barreal Seco	109	62,00	16,07	0,67	5,88	4,75	4,29	0,10	2,83	3,26	0,14	100

Muestra	Coordenada Norte	Coordenada Este	Unidad Geológica	Edad (Ma)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	MnO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	Suma
CPV-335	7135590	385750	Complejo Intrusivo Barreal Seco	121	57,80	17,66	0,80	7,55	6,65	3,91	0,15	3,50	1,76	0,21	100
CPV-338	7177676	364282	Complejo Intrusivo La Finca	148	64,63	15,26	0,86	5,83	4,33	2,25	0,10	3,15	3,38	0,21	100
CPV-344	7170369	370797	Complejo Intrusivo La Finca	142	63,54	15,28	0,90	6,44	4,65	2,57	0,11	3,16	3,13	0,23	100



Anexo 2: Tabla de análisis químicos de elementos traza (excluyendo tierras raras) para las muestras estudiadas

Muestra	Cu (ppm)	V (ppm)	Cr (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Zn (ppm)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Y (ppm)	Zr (ppm)	Nb (ppm)	Ba (ppm)	Pb (ppm)	Sc (ppm)	Cs (ppm)	Hf (ppm)	Ta (ppm)	Th (ppm)	U (ppm)
CPE-021	347,00	89,59	52,39	25,93	38,24	90,19	41,49	409,90	17,04	102,82	8,63	267,27	12,17	2,50	1,12	2,38	0,24	4,56	1,25
CPE-022	2,50	104,62	26,08	35,21	25,28	115,56	64,98	259,41	19,24	74,81	2,50	299,71	10,50	30,83	0,85	2,72	0,50	4,56	1,08
CPE-023	17,79	75,39	5,00	17,63	2,50	64,86	47,22	466,74	22,32	188,15	2,50	269,16	13,78	18,20	0,99	2,76	0,35	3,49	0,81
CPE042	2,50	147,87	9,78	28,63	2,50	20,65	68,70	2,50	22,75	95,03	7,13	10,00	2,50	31,44	2,26	1,82	0,33	2,38	0,68
CPE063	104,69	92,37	5,00	32,26	2,50	42,71	36,75	2,50	28,33	203,12	11,82	103,24	5,51	2,50	1,13	2,39	0,25	4,59	1,26
CPE065	2,50	195,57	22,33	33,42	2,50	199,34	48,23	113,69	27,12	189,67	8,98	187,10	17,14	28,76	1,85	6,61	0,98	6,73	1,89
CPE076	25,09	235,16	11,82	36,25	2,50	426,36	115,81	2,50	35,90	202,59	8,51	408,28	2,50	25,96	1,64	2,80	0,33	4,32	1,11
CPE107	2,50	116,25	23,33	28,62	2,50	99,04	26,75	387,21	17,19	105,38	2,50	135,25	4,94	19,12	3,92	4,15	0,38	6,77	2,18
CPE126	2,50	243,09	27,57	30,73	13,07	83,71	74,88	286,47	37,20	309,82	6,07	187,83	2,50	19,67	11,51	4,11	0,39	11,70	3,27
CPE128	2,50	133,20	34,52	26,09	13,98	89,29	32,21	319,93	21,52	127,05	2,50	152,30	8,55	26,57	1,83	2,12	0,30	3,37	1,03
CPE129	604,01	188,53	55,04	43,25	21,70	125,39	37,93	65,13	22,35	128,08	2,50	10,00	2,50	44,68	1,72	2,95	0,35	4,56	1,17
CPE130	194,99	154,82	32,40	30,12	15,17	81,44	42,32	276,31	24,47	155,15	7,07	103,65	2,50	24,79	1,06	4,70	0,17	3,76	0,83
CPE131	110,43	136,50	138,19	32,66	47,78	178,31	54,28	2,50	24,14	137,51	10,19	321,77	12,83	39,79	0,36	4,72	0,19	6,62	1,59
CPE132	2,50	110,00	131,52	50,07	58,95	19,19	45,73	2,50	17,00	81,38	2,50	113,68	5,27	26,13	1,74	3,89	10,56	4,14	0,89
CPE133	2,50	143,31	15,59	28,53	2,50	71,21	92,84	177,57	33,12	229,02	15,96	280,07	9,03	32,75	1,06	7,79	0,49	10,64	2,64
CPE134	2,50	191,40	2,50	31,45	2,50	273,19	111,09	2,50	39,89	259,23	12,01	249,90	16,66	38,81	1,72	9,47	0,49	13,95	3,64
CPE135	6,08	119,30	198,96	24,24	56,20	63,09	12,39	22,90	14,32	53,66	2,50	10,00	2,50	51,75	0,16	1,61	0,05	0,83	0,30
CPE137	2,50	158,58	2,50	28,11	2,50	133,98	117,17	2,50	43,53	263,66	15,58	244,06	2,50	20,88	1,55	9,68	0,35	9,79	2,39
CPE138	2,50	50,86	2,50	10,93	2,50	12,36	33,75	2,50	26,01	227,70	17,08	10,00	2,50	18,03	0,67	6,61	0,27	11,67	2,31
CPE139	236,36	172,63	49,80	41,20	17,56	105,44	46,73	189,80	22,00	115,65	8,38	200,05	2,50	38,13	0,91	4,12	0,31	3,17	0,83
CPJ-090	6,31	256,13	5,00	35,11	2,50	503,59	142,58	2,50	42,16	287,49	21,35	297,24	2,50	30,74	1,30	1,50	0,18	2,53	0,70
CPJ-091	2,50	187,92	30,57	35,26	13,09	195,58	156,04	2,50	35,13	196,41	12,14	319,50	12,30	48,53	1,95	6,97	1,03	7,09	1,99
CPJ-092	2,50	244,82	5,00	33,23	2,50	690,74	90,05	2,50	35,09	224,21	11,30	155,02	6,13	45,88	4,13	4,38	0,41	7,14	2,30
CPJ-096	27,98	242,00	58,27	42,25	16,21	329,21	93,52	91,19	27,60	125,56	2,50	287,35	7,38	50,09	12,13	4,34	0,41	12,38	3,45
CPJ-098	2,50	216,52	40,20	38,39	9,98	76,46	76,05	86,87	27,00	126,91	2,50	182,81	13,57	50,17	2,11	2,02	0,28	2,93	0,91
CPJ-100	13,36	208,61	40,08	33,36	11,69	90,18	84,46	201,87	29,44	177,31	9,11	342,88	12,46	30,59	1,46	5,13	0,54	3,12	1,05

Muestra	Cu (ppm)	V (ppm)	Cr (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Zn (ppm)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Y (ppm)	Zr (ppm)	Nb (ppm)	Ba (ppm)	Pb (ppm)	Sc (ppm)	Cs (ppm)	Hf (ppm)	Ta (ppm)	Th (ppm)	U (ppm)
CPJ-102	2,50	156,43	5,00	30,91	2,50	192,81	51,32	319,17	23,63	161,97	5,35	174,62	6,63	45,47	1,72	2,95	0,35	4,56	1,17
CPJ-104	2,50	220,86	27,67	39,05	8,39	249,31	141,53	221,07	31,68	132,02	2,50	695,78	17,84	34,42	2,11	2,02	0,28	2,93	0,91
CPJ-106	2,50	74,08	120,90	38,62	30,07	35,54	19,92	2,50	15,76	83,08	2,50	10,00	27,68	25,85	2,38	1,92	0,35	2,51	0,72
CPJ-107	5,87	255,60	39,49	34,22	15,69	118,08	67,30	143,16	30,24	235,60	20,54	536,08	11,86	23,72	3,87	3,22	0,42	4,15	1,13
CPK-049	2,50	48,91	15,08	10,67	9,77	47,85	17,18	552,39	18,97	150,13	2,50	72,85	2,50	8,67	0,96	2,67	0,34	3,39	0,78
CPK-061	2,50	5,00	6,16	2,50	2,50	24,25	14,55	1085,26	12,53	218,92	2,50	99,73	2,50	8,36	2,19	1,77	0,32	2,31	0,66
CPK-064	18,61	57,50	32,96	14,55	24,33	51,66	46,16	664,90	17,31	159,32	2,50	425,51	9,66	6,43	2,10	1,69	0,31	2,22	0,64
CPK-065	2,50	78,01	14,91	6,66	2,50	42,24	13,86	602,29	17,36	103,21	2,50	29,28	2,50	21,61	1,10	2,32	0,24	4,45	1,22
CPK-069	61,66	99,39	44,96	31,74	39,95	196,71	206,70	325,42	34,72	126,38	2,50	1302,77	12,00	28,70	1,69	6,52	0,92	6,19	1,88
CPK-085	4,00	68,28	19,37	22,71	10,52	147,15	70,52	547,86	23,67	154,17	2,50	314,11	18,12	8,04	3,80	4,02	0,37	6,57	2,12
CPK-086	107,30	96,10	42,71	23,16	20,53	68,58	57,61	432,72	24,50	194,46	8,36	293,61	8,65	16,34	1,17	5,79	0,61	6,01	1,74
CPK-237	13,09	34,29	24,46	10,20	13,06	47,40	37,87	681,22	17,63	150,45	2,50	450,67	6,83	11,01	11,16	3,99	0,37	11,40	3,17
CPK-241	76,67	75,16	16,00	19,29	2,50	77,56	77,13	396,62	26,10	182,89	2,50	308,42	11,89	20,64	3,56	2,96	0,38	3,81	1,04
CPK-242	2,50	100,99	34,60	26,12	13,63	60,79	47,18	366,20	23,62	137,47	5,69	133,30	5,26	36,53	1,35	4,72	0,50	2,87	0,97
CPK-245	2,50	56,11	5,00	2,50	2,00	29,38	13,77	871,95	19,54	205,48	12,76	99,29	8,99	6,95	1,68	1,95	0,28	3,10	0,94
CPK-246	26,66	52,00	17,18	15,17	2,00	63,72	60,04	436,04	20,36	128,16	2,50	330,73	8,21	9,35	1,94	1,86	0,26	2,69	0,84
CPK-247	28,50	46,16	45,70	10,65	12,25	40,17	98,93	480,22	25,12	164,65	2,50	425,84	5,80	10,79	1,98	1,89	0,26	2,74	0,85
CPK-248	2,50	72,12	44,27	22,39	22,00	63,66	18,63	502,96	15,76	100,10	2,50	176,58	5,56	17,15	0,83	2,67	0,49	4,47	1,06
CPK-250	17,92	42,77	23,95	12,14	2,50	52,96	79,57	382,26	24,23	128,60	2,50	419,39	5,94	16,05	0,97	2,70	0,34	3,42	0,79
CPK-251	85,22	83,28	25,41	17,68	2,50	59,13	109,74	348,60	31,52	217,42	9,22	373,82	4,67	24,22	1,21	1,39	0,17	2,40	0,65
CPK-256	137,73	84,07	43,40	19,01	5,35	72,43	80,99	418,98	25,10	185,18	2,50	377,01	11,58	19,75	1,05	2,21	0,23	4,25	1,16
CPK-261	62,18	85,85	11,96	17,11	2,50	74,64	101,81	282,65	29,00	227,69	7,71	397,20	7,48	8,66	0,79	2,53	0,46	4,25	1,01
CPK-264	134,06	91,52	26,43	20,91	2,50	65,39	86,22	383,42	25,55	232,01	2,50	310,71	2,50	11,49	0,92	2,57	0,32	3,25	0,75
CPK-266	226,32	107,52	63,27	25,58	19,51	36,11	165,73	267,53	31,81	161,92	2,50	514,43	2,50	24,58	2,10	1,69	0,31	2,22	0,64
CPK-268	111,61	80,70	18,73	14,83	2,50	53,55	135,30	218,94	33,07	203,72	4,93	391,04	4,78	7,59	1,15	1,33	0,16	2,24	0,62
CPK-269	2,50	38,74	1,35	8,60	2,50	34,13	160,02	47,48	38,43	250,51	2,50	452,07	7,51	12,77	1,52	2,61	0,30	4,02	1,03
CPK-270	61,22	98,12	20,26	21,08	5,44	222,58	74,39	378,59	25,37	159,94	2,50	298,26	4,72	18,16	1,14	1,25	0,16	2,07	0,61
CPK-278	2,50	54,70	5,00	15,13	2,50	104,32	157,80	172,80	28,02	111,12	5,04	1050,53	10,26	12,74	0,64	3,02	0,54	5,65	1,52

Muestra	Cu (ppm)	V (ppm)	Cr (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Zn (ppm)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Y (ppm)	Zr (ppm)	Nb (ppm)	Ba (ppm)	Pb (ppm)	Sc (ppm)	Cs (ppm)	Hf (ppm)	Ta (ppm)	Th (ppm)	U (ppm)
CPK-281	82,58	78,62	10,68	14,66	2,50	64,27	160,00	432,08	35,96	401,58	15,51	447,33	2,50	15,19	0,79	2,53	0,46	4,24	1,01
CPK-282	89,02	87,52	24,44	23,69	2,50	53,90	37,86	499,58	16,42	101,73	2,50	214,30	10,94	16,26	3,42	2,84	0,37	3,66	1,00
CPK-283	155,69	149,48	42,39	26,42	23,59	82,14	38,16	338,74	22,75	220,94	6,31	221,13	6,02	22,61	1,29	4,53	0,48	2,76	0,93
CPK-285	73,09	85,17	23,18	19,94	2,50	52,46	71,52	413,16	26,18	181,84	5,55	393,38	2,50	18,43	1,62	1,87	0,27	2,98	0,91
CPK-286	82,97	76,91	13,37	14,98	2,50	60,23	162,07	422,00	36,81	400,00	12,89	450,00	2,50	12,09	0,81	2,47	0,44	4,27	1,03
CPK-288	106,58	82,77	21,26	2,50	9,36	44,08	39,33	515,02	24,42	198,75	7,73	95,83	2,50	15,02	1,85	1,76	0,24	2,56	0,80
CPK-295	2,50	30,87	21,08	7,69	6,04	42,50	117,10	167,05	27,28	140,33	2,50	416,65	2,50	12,56	1,88	1,80	0,25	2,61	0,81
CPM-020	121,41	185,61	60,76	32,49	19,87	266,27	120,17	216,71	30,97	165,40	2,50	870,84	5,24	36,60	1,23	2,61	0,27	5,01	1,37
CPM-021	2,50	150,43	5,00	27,87	2,50	97,39	140,36	2,50	41,79	273,59	16,53	321,74	15,95	18,22	0,93	2,99	0,54	5,01	1,19
CPM-022	2,50	287,99	37,27	47,14	11,08	446,90	66,83	2,50	30,28	142,95	2,50	190,20	8,78	58,19	1,09	3,03	0,38	3,84	0,89
CPM-024	2,50	261,70	21,27	44,13	2,50	294,33	91,68	2,50	36,06	176,53	10,69	214,64	10,62	37,00	1,36	1,56	0,19	2,64	0,73
CPM-025	168,30	277,03	33,56	51,00	6,78	29,91	12,25	2,50	26,26	160,85	2,50	10,00	6,62	52,66	4,30	4,56	0,42	7,43	2,40
CPM-026	2,50	55,77	13,09	14,39	2,50	25,10	56,18	2,50	23,83	189,09	11,70	212,43	16,03	14,05	12,63	4,52	0,42	12,89	3,59
CPM-027	2,50	69,77	104,70	23,25	2,50	31,45	12,14	77,30	14,57	81,10	2,50	10,00	12,04	24,25	4,03	3,35	0,43	4,32	1,18
CPM-029	2,50	107,57	145,17	31,31	50,67	60,19	113,86	214,45	23,25	119,94	8,02	1161,09	5,59	36,38	1,91	2,20	0,32	3,51	1,07
CPM-030	1474,31	140,49	45,87	38,45	18,76	243,62	26,79	2,50	22,64	137,89	12,43	163,64	5,91	17,16	1,80	3,07	0,36	4,74	1,22
CPV-059	2,50	116,87	51,78	22,96	20,28	142,19	80,57	625,27	21,09	142,39	2,50	821,31	2,50	8,56	1,08	2,86	0,40	6,29	1,73
CPV-061	2,50	127,27	33,50	26,21	22,83	128,96	36,92	547,60	14,89	112,77	2,50	302,47	6,35	23,38	1,04	2,20	0,37	4,72	1,44
CPV-063	2,50	103,50	65,07	19,39	30,16	29,60	58,89	681,35	18,38	183,69	2,50	537,48	5,18	5,43	0,84	3,71	0,54	5,29	1,27
CPV-066	2,50	175,33	48,72	33,51	25,32	52,31	52,88	62,42	17,90	113,42	2,50	173,65	2,50	17,69	0,95	4,13	0,48	3,51	0,83
CPV-070	6,80	94,36	21,92	17,18	2,82	42,48	73,00	421,47	19,65	122,52	2,50	837,69	2,50	20,58	2,55	2,76	0,45	5,49	1,65
CPV-090	2,50	199,75	68,73	28,30	21,96	336,80	159,64	129,46	31,73	110,03	2,50	1956,85	9,69	38,03	1,72	3,61	0,40	5,20	1,35
CPV-091	13,28	330,77	52,76	36,50	4,13	81,00	69,50	94,64	26,73	132,43	2,50	134,14	9,81	33,68	4,41	5,15	0,48	7,86	2,68
CPV-092	951,38	345,05	44,99	38,55	7,00	90,39	19,48	855,58	23,30	196,19	2,50	23,79	11,00	38,00	10,70	5,23	0,48	9,10	2,54
CPV-093	2,50	235,09	18,38	30,23	2,50	190,10	44,59	288,07	24,61	146,72	2,50	516,58	6,52	31,27	3,90	4,31	0,47	3,41	0,91

Muestra	Cu (ppm)	V (ppm)	Cr (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Zn (ppm)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Y (ppm)	Zr (ppm)	Nb (ppm)	Ba (ppm)	Pb (ppm)	Sc (ppm)	Cs (ppm)	Hf (ppm)	Ta (ppm)	Th (ppm)	U (ppm)
CPV-094	55,97	60,90	5,00	16,77	2,50	97,66	50,18	250,76	29,60	232,43	10,23	366,97	2,50	13,86	1,45	5,83	0,55	2,89	0,97
CPV-095	2,50	130,27	5,00	20,98	2,50	49,58	72,38	252,27	21,95	106,92	2,50	662,06	7,40	4,51	1,86	2,85	0,44	2,80	0,84
CPV-128	2,50	91,25	4,18	25,19	2,50	101,72	30,39	452,50	21,12	147,49	2,50	213,62	4,53	21,46	1,21	2,56	0,26	4,91	1,35
CPV-134	2,50	142,65	1,93	28,28	2,50	105,53	60,35	237,40	25,20	155,12	11,59	10,00	7,20	20,92	1,34	1,56	0,19	2,35	0,66
CPV-135	2,50	253,42	48,08	41,06	12,26	119,37	82,48	191,42	30,37	184,94	4,83	294,47	5,61	41,27	1,07	2,97	0,38	3,76	0,87
CPV-136	2,50	276,33	26,49	39,89	6,09	168,76	84,78	37,10	64,81	374,03	5,44	265,92	13,27	31,01	2,43	1,96	0,35	2,56	0,74
CPV-137	2,50	253,07	56,17	44,34	7,07	29,70	25,06	2,50	24,54	162,81	7,99	10,00	8,18	48,50	1,33	1,53	0,18	2,59	0,72
CPV-138	133,30	108,23	197,33	26,81	79,52	132,73	42,54	363,39	17,94	107,45	2,50	229,26	7,07	31,34	1,99	7,11	1,05	7,24	2,03
CPV-139	2,50	99,58	10,93	24,96	8,23	106,25	29,15	549,41	16,01	95,79	2,50	206,19	2,50	9,02	4,22	4,47	0,41	7,28	2,35
CPV-140	2,50	5,00	12,02	2,50	2,50	21,30	113,17	35,86	26,27	166,79	8,01	369,24	2,50	13,54	3,95	3,28	0,42	4,23	1,15
CPV-141	7,05	113,66	26,25	24,03	2,50	49,98	53,77	513,28	23,41	193,24	10,38	308,58	7,84	10,95	1,49	5,24	0,55	3,19	1,07
CPV-142	71,87	35,31	21,22	13,64	16,37	38,85	48,42	558,60	17,07	150,41	2,50	581,80	2,50	9,23	1,87	2,16	0,31	3,44	1,05
CPV-146	2,50	80,80	2,43	17,82	2,50	26,07	14,33	11,31	17,62	87,68	2,50	10,00	9,70	31,01	1,76	3,01	0,35	4,65	1,20
CPV-147	2,50	72,90	28,20	23,13	19,02	46,24	29,04	693,76	16,40	135,36	2,50	218,65	2,50	16,09	2,15	2,06	0,28	2,99	0,93
CPV-148	2,50	88,14	25,93	23,47	10,50	115,14	39,93	845,27	15,67	139,09	2,50	180,69	8,68	17,91	1,49	5,24	0,55	3,19	1,07
CPV-149	2,50	185,91	18,76	30,56	2,50	78,48	63,29	433,01	30,14	222,89	11,88	411,36	4,76	17,02	1,87	2,16	0,31	3,44	1,05
CPV-150	2,50	143,19	26,30	29,23	14,90	134,81	48,78	480,66	22,96	166,89	5,27	482,43	7,95	22,82	2,15	2,06	0,28	2,99	0,93
CPV-158	117,70	285,29	37,37	32,25	9,24	71,70	31,83	366,58	21,13	182,95	14,30	10,00	5,82	33,32	1,19	2,51	0,26	4,81	1,32
CPV-159	16,42	89,81	15,79	19,94	2,50	96,30	47,90	515,90	19,87	105,32	2,50	162,61	2,50	6,54	1,94	1,81	0,60	4,22	1,04
CPV-160	2,50	267,57	40,81	30,48	5,31	63,19	34,48	266,88	25,94	229,52	21,99	10,00	5,28	34,41	1,31	1,53	0,18	2,31	0,64
CPV-161	2,50	248,71	44,43	38,73	13,99	114,99	79,99	184,97	29,79	181,31	8,02	337,16	2,50	43,06	2,43	1,96	0,35	2,56	0,74
CPV-162	72,70	237,15	47,35	35,35	11,84	91,06	28,68	340,19	22,69	173,82	8,14	111,32	7,79	24,02	0,90	4,32	0,78	2,19	0,67
CPV-165	458,85	142,69	60,74	27,73	35,85	97,88	129,02	266,15	28,56	216,47	2,50	850,60	2,50	46,45	1,04	2,91	0,37	3,68	0,85
CPV-170	2,50	135,58	76,70	27,97	41,48	52,11	136,93	43,67	28,73	175,34	2,50	89,56	2,50	40,39	2,38	1,92	0,35	2,51	0,72
CPV-182	2,50	150,66	15,40	30,69	7,51	203,11	46,27	287,13	23,14	152,34	11,72	282,43	7,56	26,55	3,67	3,05	0,39	3,93	1,07
CPV-188	2,50	87,05	5,00	29,59	2,50	29,96	37,72	107,72	16,08	119,95	2,50	779,92	4,22	22,93	1,74	2,01	0,29	3,20	0,97
CPV-189	408,29	225,55	20,83	40,50	2,50	249,58	43,76	382,80	26,43	197,05	9,36	540,88	9,82	28,48	1,86	2,75	0,50	4,61	1,09
CPV-203	100,00	323,23	33,39	34,89	9,50	748,25	55,86	220,72	27,04	216,29	19,15	225,55	2,50	23,48	2,04	1,95	0,27	2,83	0,88

Muestra	Cu (ppm)	V (ppm)	Cr (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Zn (ppm)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Y (ppm)	Zr (ppm)	Nb (ppm)	Ba (ppm)	Pb (ppm)	Sc (ppm)	Cs (ppm)	Hf (ppm)	Ta (ppm)	Th (ppm)	U (ppm)
CPV-204	102,36	323,52	34,28	34,19	10,73	750,91	51,68	217,27	26,12	209,34	23,40	220,00	2,50	28,18	2,00	1,91	0,26	2,78	0,86
CPV-205	2,50	185,75	5,00	35,05	2,50	75,96	41,88	27,18	37,73	334,75	22,35	242,23	8,97	26,70	1,00	2,78	0,35	3,53	0,82
CPV-206	9,00	311,22	31,57	33,80	5,59	578,03	49,34	216,80	28,30	237,96	19,61	100,17	7,34	16,78	1,25	1,44	0,17	2,43	0,67
CPV-207	2,50	77,62	35,10	38,44	14,94	220,65	32,30	8,46	16,54	53,56	4,88	468,24	5,53	40,95	1,09	2,31	0,24	4,43	1,21
CPV-208	36,89	72,34	36,13	31,39	7,45	29,01	10,44	2,50	19,69	134,26	9,86	10,00	8,40	25,58	0,82	2,64	0,48	4,42	1,05
CPV-229	4,95	53,19	20,69	14,45	22,56	37,07	40,99	660,43	18,01	145,99	2,50	395,36	11,66	2,50	0,83	2,75	0,70	3,29	0,77
CPV-239	2,50	85,56	13,20	18,63	7,10	73,68	72,41	547,95	23,98	200,79	8,81	434,36	2,50	19,72	1,12	4,72	0,59	8,13	2,02
CPV-282	2,50	20,40	5,00	4,86	2,50	25,74	104,40	60,52	30,50	214,24	2,50	813,06	11,88	9,60	0,96	6,49	0,68	18,34	2,77
CPV-296	2,50	39,22	15,71	11,27	2,50	54,84	73,76	363,15	20,06	131,09	2,50	393,89	13,99	2,50	2,18	3,01	0,57	8,89	1,16
CPV-297	12,88	48,69	18,84	13,24	2,50	44,71	78,30	363,38	22,59	128,75	2,50	428,37	12,56	12,94	2,17	3,21	0,60	8,52	1,40
CPV-298	2,50	43,27	13,14	12,17	2,50	39,73	69,05	424,50	20,60	138,18	2,50	452,09	12,22	8,68	1,74	2,99	0,57	7,93	0,92
CPV-313	66,53	77,78	14,29	19,90	8,38	49,67	93,43	462,91	26,84	176,99	2,50	492,10	6,33	23,81	1,02	4,91	0,65	11,47	2,59
CPV-335	674,70	96,82	20,29	25,42	5,54	85,28	43,66	395,99	21,35	120,44	2,50	209,55	2,50	23,68	2,01	3,70	0,57	6,10	1,39
CPV-338	112,92	98,76	25,39	19,73	2,50	71,93	115,93	187,95	34,42	212,28	9,90	420,40	2,50	19,36	4,79	6,49	0,75	14,00	2,90
CPV-344	118,38	104,76	22,61	21,69	2,50	73,34	113,27	192,65	35,71	198,96	8,69	420,42	2,50	21,21	6,72	7,15	0,96	12,37	2,24

Anexo 3: Tabla de análisis químicos de tierras raras para las muestras estudiadas

Muestra	La (ppm)	Ce (ppm)	Pr (ppm)	Nd (ppm)	Sm (ppm)	Eu (ppm)	Gd (ppm)	Tb (ppm)	Dy (ppm)	Ho (ppm)	Er (ppm)	Tm (ppm)	Yb (ppm)	Lu (ppm)
CPE-021	8,95	21,36	2,81	12,60	3,37	1,12	3,37	0,52	3,25	0,70	1,95	0,28	1,96	0,27
CPE-022	6,36	15,08	2,08	9,97	2,84	0,95	2,90	0,48	2,99	0,64	1,77	0,26	1,85	0,26
CPE-023	26,98	59,63	5,59	23,58	5,38	1,44	4,96	0,74	4,48	0,93	2,67	0,38	2,80	0,40
CPE042	15,18	36,77	4,57	19,92	5,11	1,47	4,94	0,78	4,82	1,01	2,81	0,40	2,79	0,38
CPE063	10,98	34,51	5,19	24,72	7,22	1,80	7,36	1,21	7,59	1,56	4,37	0,61	4,40	0,61
CPE065	20,10	51,53	6,58	29,57	7,51	1,91	7,52	1,20	7,60	1,60	4,52	0,64	4,53	0,62
CPE076	31,28	80,99	6,29	3,13	13,07	3,25	11,22	1,95	14,54	3,12	6,10	0,82	6,05	0,81
CPE107	9,91	24,78	3,25	14,43	3,76	1,22	3,82	0,62	3,92	0,83	2,36	0,34	2,35	0,32
CPE126	30,57	78,74	10,12	44,50	11,32	2,48	11,27	1,82	11,59	2,41	6,80	0,95	6,61	0,90
CPE128	9,19	25,83	3,27	13,88	4,16	1,39	4,35	0,74	4,64	0,99	2,82	0,40	2,81	0,38
CPE129	19,92	50,13	6,29	27,43	6,97	1,94	6,58	1,03	6,44	1,34	3,79	0,53	3,64	0,50
CPE130	16,17	39,86	5,09	22,45	5,84	1,54	5,89	1,00	6,07	1,33	3,63	0,53	3,50	0,52
CPE131	11,61	34,02	4,71	20,48	5,46	1,20	5,23	0,87	5,22	1,12	3,06	0,45	2,96	0,45
CPE132	9,78	21,12	2,58	10,53	2,53	0,63	2,42	0,40	2,53	0,61	1,81	0,28	1,88	0,29
CPE133	30,92	70,90	8,86	38,45	9,24	1,88	8,54	1,40	8,27	1,78	4,84	0,71	4,64	0,69
CPE134	30,16	72,65	10,05	45,64	11,39	2,14	10,73	1,76	10,50	2,27	6,27	0,91	6,04	0,91
CPE135	4,65	12,68	1,77	8,48	2,65	0,91	2,74	0,46	2,76	0,59	1,65	0,23	1,48	0,23
CPE137	32,88	76,69	9,81	43,96	11,01	2,30	10,79	1,83	11,21	2,45	6,80	1,01	6,77	1,02
CPE138	8,04	23,90	3,17	12,69	3,02	0,57	2,87	0,59	4,38	1,19	3,82	0,62	4,24	0,65
CPE139	13,61	38,04	4,65	21,16	5,82	1,79	5,92	1,01	6,23	1,36	3,76	0,55	3,67	0,55
CPJ-090	47,28	110,58	14,99	67,71	14,93	3,21	15,58	2,28	13,89	2,89	8,11	1,15	7,59	1,11
CPJ-091	27,13	68,02	65,48	280,75	9,23	1,87	90,67	1,51	12,19	2,64	4,80	0,65	4,69	0,62
CPJ-092	31,95	82,57	81,71	408,58	12,31	2,96	137,83	2,02	15,38	3,29	6,28	0,84	6,24	0,83
CPJ-096	15,98	43,18	5,77	25,69	7,20	2,08	7,03	1,14	7,04	1,49	4,18	0,59	4,10	0,58
CPJ-098	17,37	45,22	5,95	26,26	7,39	2,16	7,29	1,19	7,55	1,57	4,44	0,63	4,41	0,61
CPJ-100	27,04	65,18	79,79	393,00	9,21	2,17	134,33	1,79	14,14	3,11	5,71	0,75	5,65	0,73

Muestra	La (ppm)	Ce (ppm)	Pr (ppm)	Nd (ppm)	Sm (ppm)	Eu (ppm)	Gd (ppm)	Tb (ppm)	Dy (ppm)	Ho (ppm)	Er (ppm)	Tm (ppm)	Yb (ppm)	Lu (ppm)
CPJ-102	15,61	41,19	5,15	21,49	6,04	1,74	5,95	0,98	6,20	1,31	3,72	0,54	3,74	0,53
CPJ-104	15,95	41,51	5,46	24,20	7,05	2,22	6,94	1,13	7,19	1,52	4,32	0,60	4,26	0,59
CPJ-106	14,72	35,96	4,03	14,53	3,52	0,97	3,29	0,56	3,60	0,78	2,19	0,31	2,23	0,31
CPJ-107	37,98	87,08	10,99	47,54	11,08	2,62	10,90	1,70	10,22	2,13	6,02	0,83	5,51	0,80
CPK-049	14,41	30,99	3,78	17,23	3,94	1,32	3,76	0,61	3,75	0,80	2,36	0,36	2,60	0,38
CPK-061	8,30	19,56	2,91	18,30	2,02	0,72	4,38	0,38	3,65	0,83	1,17	0,17	1,45	0,21
CPK-064	13,27	28,97	3,59	13,52	3,38	0,97	3,13	0,48	2,89	0,61	1,74	0,25	1,74	0,26
CPK-065	10,59	31,11	3,63	13,64	3,22	1,23	3,59	0,61	3,91	0,85	2,45	0,35	2,53	0,34
CPK-069	19,79	48,45	6,07	24,48	6,07	1,83	4,94	0,76	4,30	1,01	2,83	0,37	2,72	0,36
CPK-085	19,36	45,18	5,47	21,91	5,43	1,58	4,80	0,75	4,48	0,95	2,67	0,40	2,79	0,40
CPK-086	21,35	52,61	6,63	28,51	6,61	1,54	5,95	0,90	5,17	1,11	3,00	0,43	2,90	0,43
CPK-237	15,68	33,47	3,82	13,63	3,04	1,10	2,58	0,38	2,22	0,47	1,38	0,20	1,52	0,23
CPK-241	26,25	61,73	7,50	28,74	7,18	1,56	6,27	0,96	5,76	1,22	3,50	0,51	3,64	0,49
CPK-242	19,44	45,46	5,50	21,55	6,03	1,53	5,96	0,95	6,01	1,31	3,71	0,53	3,76	0,51
CPK-245	13,12	37,25	4,69	18,04	4,38	1,50	3,88	0,60	3,70	0,77	2,23	0,33	2,38	0,32
CPK-246	18,25	38,84	4,33	16,87	3,73	1,17	3,35	0,54	3,24	0,69	2,06	0,30	2,22	0,33
CPK-247	25,84	56,54	6,47	24,15	5,12	1,18	4,27	0,64	3,89	0,80	2,33	0,34	2,46	0,37
CPK-248	10,74	23,83	3,04	14,26	3,50	1,22	3,32	0,52	3,24	0,69	2,00	0,29	2,02	0,30
CPK-250	14,19	30,71	3,66	14,90	3,44	1,12	3,18	0,52	3,17	0,68	2,02	0,29	2,26	0,34
CPK-251	29,98	70,64	8,52	33,67	7,96	1,47	7,03	1,06	6,50	1,34	3,84	0,56	3,94	0,55
CPK-256	22,42	52,84	6,29	24,86	5,80	1,22	5,31	0,81	5,03	1,06	3,03	0,42	2,98	0,43
CPK-261	19,96	46,60	5,62	22,95	5,33	1,11	5,11	0,78	4,79	1,00	2,87	0,40	2,82	0,40
CPK-264	20,96	49,25	6,04	24,39	5,87	1,21	5,47	0,86	5,30	1,12	3,25	0,46	3,24	0,48
CPK-266	24,17	56,34	6,66	26,41	6,13	1,23	5,53	0,83	5,01	1,02	2,86	0,40	2,66	0,38
CPK-268	25,37	60,75	7,52	30,64	7,41	1,22	6,79	1,08	6,68	1,40	4,04	0,57	3,96	0,57
CPK-269	28,93	65,95	7,79	30,36	6,91	1,26	6,35	1,01	6,55	1,41	4,18	0,61	4,27	0,62
CPK-270	26,07	57,36	6,36	25,70	6,43	1,23	5,78	1,29	11,55	2,87	3,62	0,47	3,64	0,47
CPK-278	14,98	31,53	3,62	13,62	2,93	0,91	2,60	0,39	2,28	0,51	1,40	0,21	1,48	0,23

Muestra	La (ppm)	Ce (ppm)	Pr (ppm)	Nd (ppm)	Sm (ppm)	Eu (ppm)	Gd (ppm)	Tb (ppm)	Dy (ppm)	Ho (ppm)	Er (ppm)	Tm (ppm)	Yb (ppm)	Lu (ppm)
CPK-281	38,38	87,67	11,58	42,42	8,99	1,70	7,79	1,25	6,94	1,32	4,29	0,58	4,05	0,56
CPK-282	15,41	31,32	3,65	13,31	3,38	1,18	3,23	0,48	3,03	0,62	1,78	0,24	1,73	0,25
CPK-283	28,82	67,53	8,41	34,98	8,06	1,86	7,53	1,13	6,79	1,39	3,87	0,53	3,61	0,51
CPK-285	24,86	56,83	6,94	28,63	6,61	1,43	6,08	0,90	5,55	1,15	3,25	0,45	3,15	0,45
CPK-286	37,68	86,83	10,25	41,63	9,03	1,54	7,83	1,18	7,06	1,44	4,13	0,58	4,02	0,58
CPK-288	17,36	55,14	7,03	26,77	6,03	1,90	5,68	0,86	5,37	1,13	3,23	0,46	3,19	0,45
CPK-295	21,93	46,42	5,14	17,54	3,86	0,82	3,59	0,56	3,53	0,77	2,33	0,36	2,67	0,40
CPM-020	14,40	43,61	5,98	26,60	6,88	1,97	6,96	1,08	6,48	1,32	3,85	0,55	3,74	0,54
CPM-021	26,66	77,33	10,28	44,42	10,93	2,04	10,68	1,64	9,84	1,99	5,86	0,84	5,68	0,81
CPM-022	14,20	48,22	7,14	33,27	9,24	2,31	9,45	1,45	8,77	1,75	5,12	0,73	5,02	0,72
CPM-024	21,62	56,63	7,77	35,02	9,52	2,47	10,03	1,60	9,97	2,04	6,02	0,87	5,94	0,86
CPM-025	16,89	48,59	6,71	30,68	8,22	2,10	8,63	1,37	8,54	1,76	5,23	0,74	5,09	0,75
CPM-026	8,03	21,11	3,19	13,85	4,10	0,94	4,22	0,68	4,27	0,87	2,70	0,41	2,90	0,44
CPM-027	4,61	13,17	1,95	7,96	2,61	0,81	2,53	0,39	2,41	0,49	1,45	0,21	1,49	0,22
CPM-029	5,27	15,92	2,29	9,39	2,65	0,76	2,68	0,44	2,87	0,63	2,02	0,30	2,16	0,33
CPM-030	7,59	22,80	3,77	18,08	6,55	1,67	6,24	1,00	6,05	1,22	3,44	0,48	3,24	0,46
CPV-059	10,10	24,10	3,11	13,00	3,30	1,03	3,16	0,50	2,96	0,65	1,79	0,27	1,73	0,27
CPV-061	6,03	14,90	2,05	8,90	2,53	0,82	2,56	0,43	2,62	0,57	1,59	0,24	1,59	0,24
CPV-063	17,20	36,20	4,28	16,50	3,82	1,54	3,50	0,50	2,62	0,51	1,31	0,19	1,18	0,18
CPV-066	18,30	47,90	6,01	23,90	4,98	1,33	3,95	0,56	3,10	0,67	1,88	0,28	1,88	0,30
CPV-070	10,50	22,40	2,53	9,80	2,30	0,80	2,12	0,34	2,07	0,46	1,33	0,22	1,60	0,26
CPV-090	11,10	28,60	3,85	16,90	4,58	1,42	4,79	0,78	4,79	1,05	2,88	0,42	2,78	0,42
CPV-091	15,98	42,29	5,72	26,04	7,04	1,89	7,21	1,18	7,22	1,57	4,28	0,62	4,12	0,62
CPV-092	15,98	42,40	5,80	26,19	7,05	1,90	7,23	1,18	7,15	1,57	4,27	0,63	4,13	0,62
CPV-093	14,18	37,12	4,92	22,04	5,92	1,79	6,14	0,99	6,04	1,33	3,62	0,53	3,50	0,53
CPV-094	19,49	49,11	6,44	27,73	6,70	1,72	6,38	0,98	5,81	1,28	3,55	0,53	3,58	0,55
CPV-095	13,99	34,91	4,58	19,66	4,67	1,45	4,29	0,65	3,87	0,84	2,32	0,35	2,29	0,35
CPV-128	10,63	31,17	4,28	18,49	4,90	1,40	4,94	0,79	4,89	1,02	3,04	0,45	3,06	0,46

Muestra	La (ppm)	Ce (ppm)	Pr (ppm)	Nd (ppm)	Sm (ppm)	Eu (ppm)	Gd (ppm)	Tb (ppm)	Dy (ppm)	Ho (ppm)	Er (ppm)	Tm (ppm)	Yb (ppm)	Lu (ppm)
CPV-134	13,03	33,10	4,32	18,24	5,32	1,55	5,42	0,91	5,74	1,22	3,56	0,50	3,56	0,50
CPV-135	20,82	53,15	6,97	31,24	8,46	2,13	8,31	1,32	8,24	1,72	4,94	0,69	4,79	0,67
CPV-136	30,58	78,68	10,11	45,16	11,10	2,49	10,27	1,60	9,79	2,01	5,63	0,78	5,48	0,76
CPV-137	16,28	42,27	5,70	26,04	7,46	1,64	7,18	1,16	7,34	1,54	4,38	0,60	4,28	0,60
CPV-138	8,08	20,47	2,80	11,48	3,52	1,20	3,36	0,53	3,32	0,68	1,91	0,26	1,81	0,25
CPV-139	5,90	14,39	2,00	8,51	2,96	1,22	3,04	0,49	3,15	0,66	1,90	0,26	1,88	0,26
CPV-140	13,17	29,62	3,36	12,11	3,26	0,53	3,08	0,53	3,53	0,76	2,30	0,33	2,48	0,34
CPV-141	23,84	57,44	7,01	29,71	7,25	1,76	6,21	0,92	5,54	1,12	3,17	0,44	3,09	0,43
CPV-142	15,28	31,16	3,36	11,75	2,74	0,94	2,43	0,35	2,12	0,44	1,30	0,18	1,44	0,21
CPV-146	16,52	39,02	4,66	18,27	4,12	1,07	3,74	0,59	3,76	0,78	2,20	0,31	2,19	0,31
CPV-147	13,13	30,13	3,69	14,78	3,77	1,23	3,28	0,47	2,88	0,58	1,66	0,23	1,73	0,24
CPV-148	11,06	26,71	3,48	14,36	3,61	1,22	3,12	0,46	2,72	0,57	1,56	0,21	1,52	0,20
CPV-149	39,53	90,33	11,54	49,98	11,92	2,70	10,68	1,55	9,23	1,86	5,24	0,72	5,06	0,67
CPV-150	24,87	56,86	7,26	29,86	7,72	1,94	6,53	0,97	5,81	1,18	3,33	0,45	3,13	0,45
CPV-158	20,93	51,63	6,43	27,85	7,54	2,38	7,48	1,19	7,55	1,56	4,29	0,60	4,15	0,59
CPV-159	11,37	24,95	3,09	12,66	3,23	1,02	3,17	0,51	3,14	0,70	1,90	0,28	1,86	0,28
CPV-160	27,11	69,75	8,54	37,37	9,36	2,53	8,82	1,43	8,85	1,84	5,11	0,71	5,01	0,69
CPV-161	26,08	64,29	8,28	35,24	9,49	2,41	8,91	1,38	8,48	1,73	4,86	0,68	4,68	0,63
CPV-162	16,62	40,11	12,38	57,81	6,08	1,65	19,10	1,03	6,63	1,47	3,65	0,52	3,39	0,50
CPV-165	24,87	67,73	8,43	36,00	8,38	2,01	7,18	1,04	6,17	1,26	3,48	0,49	3,45	0,48
CPV-170	20,59	54,10	6,89	29,15	7,00	1,42	5,95	0,91	5,41	1,13	3,19	0,45	3,13	0,43
CPV-182	14,82	36,78	4,67	20,43	5,52	1,58	5,54	0,92	5,87	1,25	3,54	0,50	3,56	0,49
CPV-188	6,55	16,20	2,48	12,07	3,84	1,36	3,30	0,49	2,86	0,57	1,62	0,23	1,74	0,25
CPV-189	64,75	11,76	7,90	37,63	12,66	3,06	12,63	1,82	13,88	2,98	5,55	0,74	5,44	0,73
CPV-203	28,02	64,71	8,72	38,97	9,76	2,59	9,31	1,49	9,02	1,87	5,19	0,71	5,00	0,68
CPV-204	27,50	64,55	8,60	38,14	9,52	2,59	9,38	1,44	8,83	1,81	4,97	0,69	4,76	0,65
CPV-205	43,35	107,75	50,58	21,26	14,17	3,42	6,79	2,26	16,21	3,42	7,90	1,09	7,77	1,05
CPV-206	30,03	73,04	9,43	41,22	10,43	2,82	9,98	1,55	9,41	1,95	5,30	0,73	5,06	0,70

Muestra	La (ppm)	Ce (ppm)	Pr (ppm)	Nd (ppm)	Sm (ppm)	Eu (ppm)	Gd (ppm)	Tb (ppm)	Dy (ppm)	Ho (ppm)	Er (ppm)	Tm (ppm)	Yb (ppm)	Lu (ppm)
CPV-207	7,66	17,02	2,43	10,33	3,64	1,38	3,80	0,55	3,24	0,67	1,78	0,25	1,70	0,25
CPV-208	10,77	17,59	2,17	10,20	3,01	0,85	4,47	0,80	5,11	1,06	2,82	0,39	2,78	0,38
CPV-229	14,26	30,14	3,45	13,13	2,92	0,82	2,58	0,39	2,27	0,50	1,38	0,21	1,44	0,22
CPV-239	19,52	44,17	5,40	22,03	5,14	1,17	4,59	0,71	4,16	0,90	2,47	0,37	2,40	0,35
CPV-282	9,12	29,42	3,02	12,49	3,48	0,51	3,43	0,62	4,12	0,95	2,83	0,45	3,16	0,47
CPV-296	12,03	23,75	2,68	9,87	2,29	0,74	2,14	0,35	2,07	0,47	1,34	0,21	1,46	0,23
CPV-297	9,36	19,20	2,33	8,90	2,28	0,72	2,21	0,37	2,22	0,51	1,45	0,23	1,59	0,26
CPV-298	11,62	23,06	2,67	10,22	2,52	0,73	2,41	0,39	2,39	0,54	1,53	0,24	1,64	0,25
CPV-313	22,35	49,13	5,57	21,84	4,93	1,01	4,39	0,69	4,08	0,88	2,42	0,36	2,38	0,36
CPV-335	13,26	31,75	4,08	17,57	4,37	1,21	4,31	0,68	4,10	0,91	2,51	0,37	2,43	0,37
CPV-338	21,71	50,76	6,45	27,04	6,78	1,14	6,72	1,11	6,80	1,48	4,03	0,59	3,83	0,56
CPV-344	22,44	54,34	6,65	27,63	6,93	1,16	6,91	1,13	6,99	1,53	4,17	0,61	3,97	0,58



Anexo 4: Tabla de cálculo de FeO*

Calculado a partir del Fe₂O₃ total y el factor fraccionamiento de los óxidos de hierro (R) propuesto por Middlemost (1989).

Muestra	Fe ₂ O ₃ total	R	FeO	Fe ₂ O ₃	FeO*
CPE-021	8,54	0,3	6,57	1,97	8,35
CPE-022	10,64	0,35	7,88	2,76	10,36
CPE-023	5,49	0,35	4,07	1,42	5,35
CPE042	9,82	0,35	7,27	2,54	9,56
CPE063	9,25	0,4	6,61	2,64	8,99
CPE065	10,12	0,4	7,23	2,89	9,83
CPE076	12,48	0,4	8,91	3,57	12,12
CPE107	9,26	0,3	7,13	2,14	9,05
CPE126	9,95	0,35	7,37	2,58	9,69
CPE128	7,87	0,35	5,83	2,04	7,66
CPE129	14,40	0,2	12,00	2,40	14,16
CPE130	9,67	0,3	7,44	2,23	9,44
CPE131	10,08	0,35	7,46	2,61	9,81
CPE132	16,24	0,35	12,03	4,21	15,82
CPE133	8,82	0,4	6,30	2,52	8,57
CPE134	9,90	0,4	7,07	2,83	9,61
CPE135	8,06	0,35	5,97	2,09	7,85
CPE137	8,75	0,5	5,83	2,92	8,45
CPE138	2,95	0,5	1,97	0,98	2,85
CPE139	13,66	0,3	10,50	3,15	13,34
CPJ-090	11,52	0,4	8,23	3,29	11,19
CPJ-091	11,68	0,35	8,65	3,03	11,38
CPJ-092	10,95	0,4	7,82	3,13	10,64
CPJ-096	14,01	0,35	10,37	3,63	13,64
CPJ-098	12,43	0,35	9,21	3,22	12,10
CPJ-100	10,87	0,35	8,06	2,82	10,59
CPJ-102	9,57	0,35	7,09	2,48	9,32
CPJ-104	13,11	0,35	9,71	3,40	12,77
CPJ-106	11,88	0,4	8,49	3,39	11,54
CPJ-107	10,94	0,3	8,42	2,52	10,69
CPK-049	3,27	0,4	2,34	0,93	3,18
CPK-061	0,68	0,5	0,45	0,23	0,65
CPK-064	4,46	0,4	3,18	1,27	4,33
CPK-065	2,61	0,3	2,00	0,60	2,55
CPK-069	9,81	0,35	7,27	2,54	9,56
CPK-085	6,93	0,35	5,13	1,80	6,75

Muestra	Fe ₂ O ₃ total	R	FeO	Fe ₂ O ₃	FeO*
CPK-086	7,03	0,35	5,21	1,82	6,85
CPK-237	3,14	0,4	2,24	0,90	3,05
CPK-241	5,92	0,35	4,39	1,54	5,77
CPK-242	8,23	0,35	6,10	2,13	8,02
CPK-245	0,25	0,4	0,18	0,07	0,24
CPK-246	4,60	0,4	3,28	1,31	4,47
CPK-247	3,34	0,4	2,39	0,96	3,25
CPK-248	7,00	0,3	5,39	1,62	6,84
CPK-250	3,74	0,4	2,67	1,07	3,64
CPK-251	5,49	0,4	3,92	1,57	5,33
CPK-256	5,87	0,35	4,35	1,52	5,72
CPK-261	5,12	0,4	3,66	1,46	4,97
CPK-264	6,60	0,35	4,89	1,71	6,43
CPK-266	7,99	0,4	5,71	2,28	7,76
CPK-268	4,65	0,4	3,32	1,33	4,51
CPK-269	2,77	0,5	1,85	0,92	2,68
CPK-270	6,64	0,35	4,92	1,72	6,47
CPK-278	4,65	0,5	3,10	1,55	4,50
CPK-281	4,57	0,5	3,04	1,52	4,41
CPK-282	7,40	0,35	5,48	1,92	7,20
CPK-283	8,58	0,35	6,35	2,22	8,36
CPK-285	6,13	0,35	4,54	1,59	5,97
CPK-286	4,56	0,5	3,04	1,52	4,41
CPK-288	1,66	0,35	1,23	0,43	1,62
CPK-295	2,48	0,5	1,65	0,83	2,40
CPM-020	10,49	0,35	7,77	2,72	10,22
CPM-021	8,67	0,5	5,78	2,89	8,38
CPM-022	16,08	0,35	11,91	4,17	15,67
CPM-024	14,23	0,4	10,16	4,07	13,82
CPM-025	15,00	0,3	11,54	3,46	14,65
CPM-026	4,35	0,5	2,90	1,45	4,21
CPM-027	6,94	0,5	4,63	2,31	6,71
CPM-029	9,19	0,4	6,57	2,63	8,93
CPM-030	11,04	0,35	8,18	2,86	10,75
CPV-059	9,97	0,4	7,12	2,85	9,68
CPV-061	10,15	0,3	7,81	2,34	9,92
CPV-063	8,45	0,35	6,26	2,19	8,23
CPV-066	12,18	0,4	8,70	3,48	11,83
CPV-070	7,99	0,4	5,71	2,28	7,76
CPV-090	11,93	0,35	8,84	3,09	11,62

Muestra	Fe ₂ O ₃ total	R	FeO	Fe ₂ O ₃	FeO*
CPV-091	13,66	0,3	10,50	3,15	13,34
CPV-092	14,39	0,3	11,07	3,32	14,06
CPV-093	11,81	0,35	8,75	3,06	11,50
CPV-094	6,95	0,5	4,64	2,32	6,72
CPV-095	10,09	0,4	7,21	2,88	9,80
CPV-128	7,57	0,35	5,61	1,96	7,37
CPV-134	8,80	0,35	6,52	2,28	8,57
CPV-135	13,07	0,35	9,68	3,39	12,73
CPV-136	12,63	0,35	9,36	3,27	12,30
CPV-137	13,12	0,35	9,72	3,40	12,78
CPV-138	8,96	0,2	7,47	1,49	8,81
CPV-139	7,73	0,3	5,94	1,78	7,55
CPV-140	1,51	0,5	1,01	0,50	1,46
CPV-141	7,59	0,35	5,62	1,97	7,39
CPV-142	4,38	0,4	3,13	1,25	4,25
CPV-146	5,97	0,35	4,43	1,55	5,82
CPV-147	6,95	0,35	5,15	1,80	6,77
CPV-148	7,33	0,35	5,43	1,90	7,14
CPV-149	10,02	0,35	7,42	2,60	9,76
CPV-150	9,43	0,35	6,98	2,44	9,18
CPV-158	10,37	0,35	7,68	2,69	10,10
CPV-159	6,07	0,3	4,67	1,40	5,93
CPV-160	9,90	0,3	7,62	2,29	9,68
CPV-161	12,82	0,35	9,50	3,32	12,49
CPV-162	11,35	0,3	8,73	2,62	11,09
CPV-165	8,59	0,4	6,13	2,45	8,34
CPV-170	9,83	0,3	7,56	2,27	9,60
CPV-182	9,47	0,35	7,02	2,46	9,23
CPV-188	8,20	0,4	5,85	2,34	7,96
CPV-189	13,35	0,3	10,27	3,08	13,04
CPV-203	12,32	0,35	9,13	3,20	12,00
CPV-204	12,14	0,35	8,99	3,15	11,82
CPV-205	10,95	0,4	7,82	3,13	10,64
CPV-206	11,40	0,35	8,45	2,96	11,11
CPV-207	11,46	0,35	8,49	2,97	11,16
CPV-208	8,06	0,4	5,76	2,30	7,83
CPV-229	4,21	0,4	3,00	1,20	4,08
CPV-239	5,31	0,35	3,93	1,38	5,17
CPV-282	1,63	0,5	1,08	0,54	1,57
CPV-296	3,29	0,4	2,35	0,94	3,20

Muestra	Fe ₂ O ₃ total	R	FeO	Fe ₂ O ₃	FeO*
CPV-297	3,88	0,4	2,77	1,11	3,77
CPV-298	3,59	0,4	2,57	1,03	3,49
CPV-313	5,88	0,35	4,36	1,53	5,73
CPV-335	7,55	0,35	5,59	1,96	7,35
CPV-338	5,83	0,4	4,17	1,67	5,67
CPV-344	6,44	0,4	4,60	1,84	6,25



Anexo 5: Tablas de composición de elementos mayores (%) para muestras estándar

Todas las muestras corresponden al estándar BCR-2 y cada tabla está acompañada de la composición reportada para dicho estándar (columnas destacadas en gris) por la USGS (Plumlee, 1998).

	USGS	±	CIF-2	±
SiO ₂	54,1	0,8	55,3	1,2
Al ₂ O ₃	13,5	0,2	14,23	0,73
TiO ₂	2,26	0,05	2,21	-0,05
Fe ₂ O ₃	13,8	0,2	13,01	-0,79
CaO	7,12	0,11	6,81	-0,31
MgO	3,59	0,05	2,49	-1,1
MnO	0,24	-	0,19	-0,05
Na ₂ O	3,16	0,11	3,48	0,32
K ₂ O	1,79	0,05	1,81	0,02
P ₂ O ₅	0,35	0,02	0,35	0
PPC	-	-	0,21	-
Suma	99,91		100,09	

	USGS	±	CIF-1	±
SiO ₂	54,1	0,8	54,54	0,44
Al ₂ O ₃	13,5	0,2	14,89	1,39
TiO ₂	2,26	0,05	2,2	-0,06
Fe ₂ O ₃	13,8	0,2	13,06	-0,74
CaO	7,12	0,11	6,79	-0,33
MgO	3,59	0,05	2,47	-1,12
MnO	0,24	-	0,19	-0,05
Na ₂ O	3,16	0,11	3,49	0,33
K ₂ O	1,79	0,05	1,8	0,01
P ₂ O ₅	0,35	0,02	0,35	0
PPC	-	-	0,15	-
Suma	99,91		99,93	

	USGS	±	CIF-3	±
SiO ₂	54,1	0,8	54,48	0,38
Al ₂ O ₃	13,5	0,2	14,63	1,13
TiO ₂	2,26	0,05	2,22	-0,04
Fe ₂ O ₃	13,8	0,2	13,05	-0,75
CaO	7,12	0,11	6,87	-0,25
MgO	3,59	0,05	2,58	-1,01
MnO	0,24	-	0,2	-0,04
Na ₂ O	3,16	0,11	3,51	0,35
K ₂ O	1,79	0,05	1,82	0,03
P ₂ O ₅	0,35	0,02	0,35	0
PPC	-	-	0,11	-
Suma	99,91		99,82	

	USGS	±	CPQ-111	±
SiO ₂	54,1	0,8	55,22	1,12
Al ₂ O ₃	13,5	0,2	13,85	0,35
TiO ₂	2,26	0,05	2,23	-0,03
Fe ₂ O ₃	13,8	0,2	13,07	-0,73
CaO	7,12	0,11	6,90	-0,23
MgO	3,59	0,05	2,51	-1,09
MnO	0,24	-	0,20	-0,05
Na ₂ O	3,16	0,11	3,49	0,33
K ₂ O	1,79	0,05	1,83	0,04
P ₂ O ₅	0,35	0,02	0,35	0,00
PPC	-	-	-0,12	-
Suma	99,91		99,51	

	USGS	±	CPQ-122	±
SiO ₂	54,1	0,8	54,48	0,38
Al ₂ O ₃	13,5	0,2	14,63	1,13
TiO ₂	2,26	0,05	2,22	-0,04
Fe ₂ O ₃	13,8	0,2	13,05	-0,75
CaO	7,12	0,11	6,87	-0,25
MgO	3,59	0,05	2,58	-1,02
MnO	0,24	-	0,20	-0,05
Na ₂ O	3,16	0,11	3,51	0,35
K ₂ O	1,79	0,05	1,82	0,03
P ₂ O ₅	0,35	0,02	0,35	0,00
PPC	-	-	-0,11	-
Suma	99,91		99,58	

	USGS	±	CPQ-152	±
SiO ₂	54,1	0,8	55,30	1,20
Al ₂ O ₃	13,5	0,2	14,23	0,73
TiO ₂	2,26	0,05	2,21	-0,05
Fe ₂ O ₃	13,8	0,2	13,01	-0,79
CaO	7,12	0,11	6,81	-0,31
MgO	3,59	0,05	2,49	-1,11
MnO	0,24	-	0,19	-0,05
Na ₂ O	3,16	0,11	3,48	0,32
K ₂ O	1,79	0,05	1,81	0,02
P ₂ O ₅	0,35	0,02	0,35	0,00
PPC	-	-	-0,21	-
Suma	99,91		99,67	

	USGS	±	CPQ-170	±
SiO ₂	54,1	0,8	53,81	-0,29
Al ₂ O ₃	13,5	0,2	14,16	0,66
TiO ₂	2,26	0,05	1,53	-0,73
Fe ₂ O ₃	13,8	0,2	14,57	0,77
CaO	7,12	0,11	7,13	0,01
MgO	3,59	0,05	3,81	0,22
MnO	0,24	-	0,15	-0,09
Na ₂ O	3,16	0,11	2,99	-0,17
K ₂ O	1,79	0,05	1,33	-0,46
P ₂ O ₅	0,35	0,02	0,26	-0,09
PPC	-	-	0,10	-
Suma	99,91		99,83	

	USGS	±	CPQ-184	±
SiO ₂	54,1	0,8	54,54	0,44
Al ₂ O ₃	13,5	0,2	14,89	1,39
TiO ₂	2,26	0,05	2,20	-0,06
Fe ₂ O ₃	13,8	0,2	13,06	-0,74
CaO	7,12	0,11	6,79	-0,33
MgO	3,59	0,05	2,47	-1,12
MnO	0,24	-	0,19	-0,05
Na ₂ O	3,16	0,11	3,49	0,33
K ₂ O	1,79	0,05	1,80	0,01
P ₂ O ₅	0,35	0,02	0,35	0,00
PPC	-	-	-0,15	-
Suma	99,91		99,65	



Anexo 6: Tablas de composición de elementos traza para muestras estándar

Todas las muestras corresponden al estándar BCR-2 y cada tabla está acompañada de la composición reportada para dicho estándar (columnas en gris) por la USGS (Plumlee, 1998).

	USGS (ppm)	± (%)	CIF-1	± (%)
Cu	19	10,53	<5	-
V	416	3,37	287	-31,01
Cr	18	11,11	24	33,33
Co	37	8,11	40	8,11
Ni	20	0,00	<5	-
Zn	127	7,09	91	-28,35
Rb	48	4,17	36	-25,00
Sr	346	4,05	257	-25,72
Y	37	5,41	21	-43,24
Zr	188	8,51	140	-25,53
Nb	-	-	<5	-
Ba	683	4,10	510	-25,33
Pb	11	18,18	12	9,09
Sc	33	6,06	17	-48,48
Cs	1,1	9,09	-	-
Hf	4,8	4,17	-	-
Ta	-	-	-	-
Th	6,2	11,29	-	-
U	1,69	11,24	-	-
La	25	4,00	29,81	19,24
Ce	53	3,77	65,37	23,34
Pr	6,8	4,41	7,74	13,82
Nd	28	7,14	32,9	17,50
Sm	6,7	4,48	7,76	15,82
Eu	2	5,00	2,33	16,50
Gd	6,8	4,41	7,2	5,88
Tb	1,07	3,74	1,13	5,61
Dy	-	-	6,89	-
Ho	1,33	45,11	1,41	6,02
Er	-	-	3,86	-
Tm	0,54	-	0,54	-
Yb	3,5	5,71	3,72	6,29
Lu	0,51	3,92	0,51	0



	USGS (ppm)	± (%)	CIF-2	± (%)
Cu	19	2	<5	-
V	416	14	289	-30,53
Cr	18	2	32	77,78
Co	37	3	40	8,11
Ni	20	-	<5	-
Zn	127	9	94	-25,98
Rb	48	2	41	-14,58
Sr	346	14	254	-26,59
Y	37	2	22	-40,54
Zr	188	16	138	-26,60
Nb	-	-	11	-
Ba	683	28	471	-31,04
Pb	11	2	11	0,00
Sc	33	2	22	-33,33
Cs	1,1	0,1	1,83	66,36
Hf	4,8	0,2	2,12	-55,83
Ta	-	-	0,3	-
Th	6,2	0,7	3,37	-45,65
U	1,69	0,19	1,03	-39,05
La	25	1	26,25	5,00
Ce	53	2	61,68	16,38
Pr	6,8	0,3	7,3	7,35
Nd	28	2	29,88	6,71
Sm	6,7	0,3	7,27	8,51
Eu	2	0,1	2,24	12,00
Gd	6,8	0,3	6,84	0,59
Tb	1,07	0,04	1,06	-0,93
Dy	-	-	6,36	-
Ho	1,33	0,6	1,31	-1,50
Er	-	-	3,63	-
Tm	0,54	-	0,51	-5,56
Yb	3,5	0,2	3,41	-2,57
Lu	0,51	0,02	0,48	-5,88

	USGS (ppm)	± (%)	CIF-3	± (%)
Cu	19	10,53	31	63,16
V	416	3,37	349	-16,11
Cr	18	11,11	67	272,22
Co	37	8,11	66	78,38
Ni	20	0,00	35	75,00
Zn	127	7,09	94	-25,98
Rb	48	4,17	42	-12,50
Sr	346	4,05	257	-25,72
Y	37	5,41	22	-40,54
Zr	188	8,51	141	-25,00
Nb	-	-	13	-
Ba	683	4,10	487	-28,70
Pb	11	18,18	9	-18,18
Sc	33	6,06	42	27,27
Cs	1,1	9,09	0,91	-17,27
Hf	4,8	4,17	2,93	-38,96
Ta	-	-	0,53	-
Th	6,2	11,29	4,91	-20,81
U	1,69	11,24	1,16	-31,36
La	25	4,00	25,98	3,92
Ce	53	3,77	58,26	9,92
Pr	6,8	4,41	6,84	0,59
Nd	28	7,14	28,23	0,82
Sm	6,7	4,48	7,09	5,82
Eu	2	5,00	2,17	8,50
Gd	6,8	4,41	6,73	-1,03
Tb	1,07	3,74	1,05	-1,87
Dy	-	-	6,48	-
Ho	1,33	45,11	1,33	0
Er	-	-	3,73	-
Tm	0,54	-	0,51	-5,56
Yb	3,5	5,71	3,54	1,14
Lu	0,51	3,92	0,48	-5,88

	USGS (ppm)	± (%)	CPQ-111	± (%)
Cu	19	10,53	<5	-
V	416	3,37	286,40	-31,15
Cr	18	11,11	27,88	54,89
Co	37	8,11	40,81	10,29
Ni	20	0,00	<5	-
Zn	127	7,09	92,73	-26,98
Rb	48	4,17	41,92	-12,68
Sr	346	4,05	<5	-
Y	37	5,41	22,25	-39,88
Zr	188	8,51	136,60	-27,34
Nb	-	-	<5	-
Ba	683	4,10	463,21	-32,18
Pb	11	18,18	12,44	13,13
Sc	33	6,06	30,56	-7,39
Cs	1,1	9,09	2,03	84,90
Hf	4,8	4,17	7,26	51,18
Ta	-	-	1,07	-
Th	6,2	11,29	7,39	19,15
U	1,69	11,24	2,07	22,54
La	25	4,00	20,67	-17,33
Ce	53	3,77	52,53	-0,88
Pr	6,8	4,41	6,68	-1,74
Nd	28	7,14	27,98	-0,09
Sm	6,7	4,48	6,94	3,57
Eu	2	5,00	2,12	6,17
Gd	6,8	4,41	7,03	3,32
Tb	1,07	3,74	1,09	1,95
Dy	-	-	6,64	-
Ho	1,33	45,11	1,33	0,13
Er	-	-	3,86	-
Tm	0,54	-	0,54	0,76
Yb	3,5	5,71	3,69	5,38
Lu	0,51	3,92	0,53	3,59



	USGS (ppm)	± (%)	CPQ-122	± (%)
Cu	19	10,53	30,67	61,44
V	416	3,37	349,01	-16,10
Cr	18	11,11	66,53	269,60
Co	37	8,11	66,31	79,23
Ni	20	0,00	35,21	76,05
Zn	127	7,09	94,40	-25,67
Rb	48	4,17	42,24	-11,99
Sr	346	4,05	257,22	-25,66
Y	37	5,41	21,62	-41,56
Zr	188	8,51	140,97	-25,01
Nb	-	-	13,48	-
Ba	683	4,10	486,64	-28,75
Pb	11	18,18	9,38	-14,70
Sc	33	6,06	42,28	28,11
Cs	1,1	9,09	0,91	-17,07
Hf	4,8	4,17	2,93	-38,99
Ta	-	-	0,53	-
Th	6,2	11,29	4,91	-20,83
U	1,69	11,24	1,16	-31,22
La	25	4,00	25,98	3,93
Ce	53	3,77	58,26	9,92
Pr	6,8	4,41	6,84	0,63
Nd	28	7,14	28,23	0,80
Sm	6,7	4,48	7,09	5,80
Eu	2	5,00	2,17	8,50
Gd	6,8	4,41	6,73	-0,99
Tb	1,07	3,74	1,05	-1,95
Dy	-	-	6,48	-
Ho	1,33	45,11	1,33	-0,31
Er	-	-	3,73	-
Tm	0,54	-	0,51	-5,86
Yb	3,5	5,71	3,54	1,24
Lu	0,51	3,92	0,48	-6,01

	USGS (ppm)	± (%)	CPQ-152	± (%)
Cu	19	10,53	<5	-
V	416	3,37	289,19	-30,48
Cr	18	11,11	31,86	77,03
Co	37	8,11	40,43	9,26
Ni	20	0,00	<5	-
Zn	127	7,09	93,91	-26,05
Rb	48	4,17	41,42	-13,72
Sr	346	4,05	253,99	-26,59
Y	37	5,41	21,65	-41,48
Zr	188	8,51	138,27	-26,45
Nb	-	-	11,17	-
Ba	683	4,10	470,81	-31,07
Pb	11	18,18	10,56	-4,02
Sc	33	6,06	21,79	-33,96
Cs	1,1	9,09	1,83	66,33
Hf	4,8	4,17	2,12	-55,90
Ta	-	-	0,30	-
Th	6,2	11,29	3,37	-45,63
U	1,69	11,24	1,03	-39,30
La	25	4,00	26,25	5,00
Ce	53	3,77	61,68	16,37
Pr	6,8	4,41	7,30	7,32
Nd	28	7,14	29,88	6,73
Sm	6,7	4,48	7,27	8,51
Eu	2	5,00	2,24	12,00
Gd	6,8	4,41	6,84	0,65
Tb	1,07	3,74	1,06	-1,40
Dy	-	-	6,36	-
Ho	1,33	45,11	1,31	-1,19
Er	-	-	3,63	-
Tm	0,54	-	0,51	-6,13
Yb	3,5	5,71	3,41	-2,55
Lu	0,51	3,92	0,48	-5,59



	USGS (ppm)	± (%)	CPQ-170	± (%)
Cu	19	10,53	<5	-
V	416	3,37	213,68	-48,63
Cr	18	11,11	15,55	-13,60
Co	37	8,11	30,54	-17,45
Ni	20	0,00	<5	-
Zn	127	7,09	73,11	-42,43
Rb	48	4,17	33,72	-29,75
Sr	346	4,05	153,45	-55,65
Y	37	5,41	18,05	-51,21
Zr	188	8,51	105,59	-43,84
Nb	-	-	<5	-
Ba	683	4,10	405,79	-40,59
Pb	11	18,18	7,17	-34,82
Sc	33	6,06	28,05	-14,99
Cs	1,1	9,09	2,10	90,99
Hf	4,8	4,17	2,01	-58,15
Ta	-	-	0,28	-
Th	6,2	11,29	2,91	-53,03
U	1,69	11,24	0,91	-46,40
La	25	4,00	18,78	-24,87
Ce	53	3,77	39,38	-25,69
Pr	6,8	4,41	5,03	-26,04
Nd	28	7,14	21,36	-23,72
Sm	6,7	4,48	4,96	-25,95
Eu	2	5,00	1,51	-24,29
Gd	6,8	4,41	5,28	-22,38
Tb	1,07	3,74	0,78	-27,08
Dy	-	-	4,83	-
Ho	1,33	45,11	0,96	-28,20
Er	-	-	2,78	-
Tm	0,54	-	0,38	-29,72
Yb	3,5	5,71	2,57	-26,67
Lu	0,51	3,92	0,37	-27,35

	USGS (ppm)	± (%)	CPQ-184	± (%)
Cu	19	10,53	<5	-
V	416	3,37	287,17	-30,97
Cr	18	11,11	23,59	31,03
Co	37	8,11	40,49	9,44
Ni	20	0,00	<5	-
Zn	127	7,09	91,25	-28,15
Rb	48	4,17	36,39	-24,18
Sr	346	4,05	256,99	-25,72
Y	37	5,41	21,23	-42,62
Zr	188	8,51	139,87	-25,60
Nb	-	-	<5	-
Ba	683	4,10	510,38	-25,27
Pb	11	18,18	11,56	5,11
Sc	33	6,06	16,56	-49,81
Cs	1,1	9,09	1,39	26,36
Hf	4,8	4,17	4,87	1,46
Ta	-	-	0,51	-
Th	6,2	11,29	2,96	-52,26
U	1,69	11,24	1,00	-40,83
La	25	4,00	29,81	19,23
Ce	53	3,77	65,37	23,33
Pr	6,8	4,41	7,74	13,86
Nd	28	7,14	32,90	17,50
Sm	6,7	4,48	7,76	15,77
Eu	2	5,00	2,33	16,67
Gd	6,8	4,41	7,20	5,88
Tb	1,07	3,74	1,13	5,22
Dy	-	-	6,89	-
Ho	1,33	45,11	1,41	6,14
Er	-	-	3,86	-
Tm	0,54	-	0,54	-0,60
Yb	3,5	5,71	3,72	6,33
Lu	0,51	3,92	0,51	-0,56

Anexo 7: Tablas de composición de elementos mayores (%) para duplicados

	CPV-061			CPV-095		
	Muestra	Duplicado	±	Muestra	Duplicado	±
SiO ₂	53,02	53,66	0,64	50,01	49,86	-0,15
Al ₂ O ₃	17,46	17,76	0,30	15,39	15,74	0,35
TiO ₂	1,16	0,83	-0,33	1,15	0,83	-0,33
Fe ₂ O ₃	9,89	8,87	-1,02	9,46	9,40	-0,06
CaO	5,84	5,91	0,06	8,29	8,60	0,31
MgO	4,60	4,87	0,27	0,84	0,81	-0,04
MnO	0,34	0,34	0,00	0,13	0,12	-0,01
Na ₂ O	4,10	4,06	-0,03	5,83	5,94	0,10
K ₂ O	0,91	0,99	0,08	2,42	2,40	-0,02
P ₂ O ₅	0,10	0,10	0,00	0,25	0,25	0,00
PPC	2,32	2,33	0,02	6,27	6,14	-0,13
Suma	99,74	99,72	-0,02	100,05	100,08	0,03

	CPV-070			CPV-090		
	Muestra	Duplicado	±	Muestra	Duplicado	±
SiO ₂	61,38	62,39	1,01	52,37	51,64	-0,73
Al ₂ O ₃	15,74	16,25	0,51	15,41	15,75	0,34
TiO ₂	0,66	0,56	-0,11	0,99	1,03	0,04
Fe ₂ O ₃	7,88	5,64	-2,24	11,60	9,93	-1,66
CaO	3,54	3,35	-0,19	4,22	3,99	-0,23
MgO	1,77	2,14	0,37	4,66	5,46	0,80
MnO	0,16	0,17	0,01	0,72	0,74	0,03
Na ₂ O	4,50	4,09	-0,41	2,84	2,75	-0,09
K ₂ O	2,88	3,77	0,89	4,17	5,38	1,21
P ₂ O ₅	0,12	0,13	0,01	0,20	0,20	0,00
PPC	1,23	1,30	0,07	2,86	2,88	0,02
Suma	99,86	99,78	-0,08	100,03	99,75	-0,28

	CPV-136			CPV-161		
	Muestra	Duplicado	±	Muestra	Duplicado	±
SiO ₂	53,35	53,04	-0,31	52,51	52,40	-0,11
Al ₂ O ₃	13,40	13,49	0,10	13,91	13,96	0,05
TiO ₂	2,01	1,99	-0,01	1,85	1,86	0,01
Fe ₂ O ₃	12,30	12,25	-0,05	12,50	12,52	0,02
CaO	3,86	3,89	0,03	6,17	6,20	0,02
MgO	5,00	5,13	0,13	4,01	4,02	0,01
MnO	0,25	0,25	0,00	0,22	0,22	0,00
Na ₂ O	3,49	3,49	-0,01	3,31	3,31	0,00
K ₂ O	3,19	3,15	-0,04	2,57	2,58	0,01
P ₂ O ₅	0,51	0,51	-0,01	0,44	0,44	0,01
PPC	2,44	2,45	0,01	2,23	2,17	-0,06
Suma	99,80	99,63	-0,17	99,72	99,69	-0,03

	CPI-090			CPI-107		
	Muestra	Duplicado	±	Muestra	Duplicado	±
SiO ₂	56,48	56,55	0,07	52,08	52,07	-0,01
Al ₂ O ₃	13,38	13,45	0,07	15,38	15,38	0,00
TiO ₂	2,06	2,08	0,02	1,97	1,97	0,00
Fe ₂ O ₃	11,20	11,15	-0,05	10,67	10,70	0,03
CaO	2,19	2,14	-0,04	6,49	6,47	-0,02
MgO	2,71	2,63	-0,08	5,17	5,17	0,00
MnO	0,34	0,34	0,00	0,21	0,22	0,00
Na ₂ O	3,06	3,11	0,05	3,29	3,29	0,00
K ₂ O	5,23	5,25	0,02	1,86	1,86	0,00
P ₂ O ₅	0,58	0,59	0,01	0,40	0,40	0,00
PPC	2,76	2,69	-0,07	2,51	2,52	0,01
Suma	99,99	99,98	-0,01	100,03	100,04	0,01

	CPE131			CPE-065		
	Muestra	Duplicado	±	Muestra	Duplicado	±
SiO ₂	52,05	52,12	0,07	57,42	57,39	-0,04
Al ₂ O ₃	14,90	14,88	-0,02	14,76	14,80	0,04
TiO ₂	1,01	1,00	0,00	1,38	1,39	0,00
Fe ₂ O ₃	9,75	9,73	-0,03	9,92	9,95	0,03
CaO	3,79	3,78	-0,01	3,47	3,49	0,02
MgO	7,72	7,67	-0,05	4,33	4,40	0,07
MnO	0,37	0,37	0,00	0,16	0,17	0,00
Na ₂ O	4,41	4,41	0,00	4,55	4,50	-0,05
K ₂ O	2,54	2,54	0,01	1,78	1,78	0,00
P ₂ O ₅	0,25	0,25	0,00	0,29	0,29	0,00
PPC	2,82	2,87	0,06	1,86	1,85	-0,02
Suma	99,60	99,63	0,02	99,92	99,98	0,06

	CPV-188			CPV-207		
	Muestra	Duplicado		Muestra	Duplicado	
SiO ₂	55,14	55,00	-0,14	48,64	48,58	-0,06
Al ₂ O ₃	18,47	18,49	0,02	16,74	16,77	0,03
TiO ₂	0,63	0,62	0,00	0,50	0,50	0,00
Fe ₂ O ₃	7,96	7,97	0,00	10,93	10,96	0,03
CaO	1,28	1,27	-0,01	1,55	1,56	0,00
MgO	6,43	6,46	0,03	10,76	10,87	0,11
MnO	0,06	0,06	0,00	0,70	0,69	0,00
Na ₂ O	4,92	4,91	-0,01	3,90	3,84	-0,06
K ₂ O	2,07	2,06	0,00	1,61	1,61	0,00
P ₂ O ₅	0,22	0,23	0,00	0,08	0,08	0,00
PPC	2,56	2,58	0,01	4,52	4,45	-0,07
Suma	99,73	99,63	-0,10	99,94	99,91	-0,03

	CPK-069			CPK-270		
	Muestra	Duplicado	±	Muestra	Duplicado	±
SiO ₂	51,73	51,68	-0,05	59,88	59,73	-0,15
Al ₂ O ₃	17,57	17,61	0,05	15,72	15,69	-0,03
TiO ₂	0,69	0,69	0,00	0,83	0,83	0,00
Fe ₂ O ₃	9,48	9,41	-0,07	6,52	6,56	0,03
CaO	1,30	1,36	0,06	5,58	5,59	0,00
MgO	7,66	7,58	-0,08	3,82	3,88	0,06
MnO	0,24	0,24	0,00	0,17	0,17	0,00
Na ₂ O	2,17	2,22	0,05	2,79	2,77	-0,02
K ₂ O	5,63	5,60	-0,02	2,68	2,68	0,00
P ₂ O ₅	0,17	0,17	0,00	0,23	0,24	0,00
PPC	3,29	3,30	0,02	1,36	1,47	0,10
Suma	99,93	99,88	-0,05	99,58	99,59	0,01

	CPK-251			CPV-338		
	Muestra	Duplicado	±	Muestra	Duplicado	±
SiO ₂	63,52	63,23	-0,29	64,02	64,16	0,14
Al ₂ O ₃	15,22	15,61	0,39	15,12	15,22	0,10
TiO ₂	0,73	0,73	0,00	0,85	0,85	0,00
Fe ₂ O ₃	5,42	5,43	0,01	5,78	5,73	-0,05
CaO	4,30	4,29	0,00	4,29	4,30	0,01
MgO	2,78	2,76	-0,02	2,23	2,23	0,00
MnO	0,09	0,09	0,00	0,10	0,10	0,00
Na ₂ O	3,11	3,03	-0,08	3,12	3,15	0,02
K ₂ O	3,42	3,45	0,03	3,35	3,34	0,00
P ₂ O ₅	0,18	0,18	0,00	0,21	0,21	0,00
PPC	1,16	1,10	-0,06	0,52	0,52	0,00
Suma	99,93	99,90	-0,03	99,59	99,81	0,22

	CPV-159		
	Muestra	Duplicado	±
SiO ₂	55,77	55,57	-0,20
Al ₂ O ₃	20,16	20,02	-0,14
TiO ₂	0,78	0,79	0,01
Fe ₂ O ₃	6,00	5,95	-0,05
CaO	8,01	8,19	0,18
MgO	3,05	3,16	0,12
MnO	0,14	0,14	0,00
Na ₂ O	3,42	3,46	0,03
K ₂ O	1,37	1,39	0,02
P ₂ O ₅	0,17	0,17	0,00
PPC	0,73	0,74	0,01
Suma	99,60	99,58	-0,02



Anexo 8: Tablas de composición de elementos traza para duplicados

	CPV-061			CPV-095			CPV-070		
	Muestra (ppm)	Duplicado (ppm)	± (%)	Muestra (ppm)	Duplicado (ppm)	± (%)	Muestra (ppm)	Duplicado (ppm)	± (%)
Cu	<5	<5	-	<5	<5	-	6,80	<5	-
V	127,27	129,59	1,83	130,27	129,77	-0,39	94,36	68,84	-27,05
Cr	33,50	32,25	-3,73	<10	<10	-	21,92	22,64	3,29
Co	26,21	26,37	0,59	20,98	21,19	0,96	17,18	18,86	9,76
Ni	22,83	21,32	-6,62	<5	<5	-	2,82	<5	-
Zn	128,96	130,61	1,28	49,58	47,63	-3,92	42,48	53,38	25,68
Rb	36,92	37,24	0,87	72,38	71,28	-1,52	73,00	83,62	14,55
Sr	547,60	544,08	-0,64	252,27	246,71	-2,20	421,47	414,78	-1,59
Y	14,89	15,56	4,50	21,95	22,85	4,10	19,65	19,71	0,29
Zr	112,77	111,38	-1,23	106,92	109,53	2,43	122,52	119,44	-2,51
Nb	<5	<5	-	<5	<5	-	<5	<5	-
Ba	302,47	306,57	1,36	662,06	667,17	0,77	837,69	871,43	4,03
Pb	6,35	<5	-	7,40	6,31	-14,71	<5	9,56	-
Sc	23,38	16,26	-30,46	4,51	8,16	81,01	20,58	29,14	41,61
Cs	1,22	1,21	-0,57	★ 1,70 ★	★ 1,96 ★	15,40	2,22	1,37	-38,36
Hf	1,42	1,40	-1,83	★ 1,97 ★	★ 1,88 ★	-4,62	1,78	1,59	-10,73
Ta	0,17	0,17	-2,81	★ 0,28 ★	★ 0,26 ★	-8,20	0,32	0,19	-40,49
Th	2,15	2,36	9,84	★ 3,13 ★	★ 2,72 ★	-13,18	2,34	2,40	2,89
U	0,60	0,65	9,42	★ 0,95 ★	★ 0,85 ★	-11,25	0,67	0,67	-0,08
La	8,67	6,72	-22,52	14,16	14,77	4,36	14,14	9,48	-33,00
Ce	17,84	14,58	-18,25	33,65	34,70	3,12	27,15	23,50	-13,44
Pr	44,58	2,01	-95,49	4,43	24,90	461,65	34,63	2,76	-92,04
Nd	188,48	6,91	-96,34	18,12	123,28	580,33	168,83	10,33	-93,88
Sm	2,87	2,64	-7,94	4,92	4,99	1,27	2,65	2,64	-0,47
Eu	0,85	0,83	-1,74	1,46	1,47	0,51	0,86	0,97	13,21
Gd	70,03	2,67	-96,19	4,33	48,65	1023,56	59,53	2,46	-95,87
Tb	0,59	0,44	-26,20	0,67	0,75	12,12	0,49	0,39	-20,10
Dy	6,27	2,75	-56,16	3,95	5,75	45,60	4,48	2,41	-46,13
Ho	1,46	0,60	-59,11	0,84	1,30	54,53	1,02	0,51	-50,46
Er	1,84	1,67	-9,02	2,38	2,46	3,23	1,57	1,57	-0,09
Tm	0,26	0,25	-3,60	0,34	0,36	3,65	0,24	0,25	3,47
Yb	1,94	1,80	-7,26	2,47	2,61	5,35	2,01	1,93	-3,91
Lu	0,26	0,25	-3,90	0,35	0,37	5,95	0,29	0,30	3,27

	CPV-090			CPV-136			CPV-161		
	Muestra (ppm)	Duplicado (ppm)	±(%)	Muestra (ppm)	Duplicado (ppm)	±(%)	Muestra (ppm)	Duplicado (ppm)	±(%)
Cu	<5	<5	-	<5	<5	-	<5	<5	-
V	199,75	148,68	-25,57	276,33	273,24	-1,12	248,71	248,34	-0,15
Cr	68,73	78,69	14,49	26,49	20,81	-21,44	44,43	45,04	1,39
Co	28,30	30,91	9,25	39,89	39,42	-1,18	38,73	38,82	0,23
Ni	21,96	25,99	18,31	6,09	6,35	4,30	13,99	12,51	-10,56
Zn	336,80	424,12	25,93	168,76	168,84	0,05	114,99	115,86	0,75
Rb	159,64	183,48	14,94	84,78	84,72	-0,07	79,99	80,17	0,23
Sr	129,46	129,40	-0,04	37,10	36,88	-0,58	184,97	183,73	-0,67
Y	31,73	34,77	9,59	64,81	32,47	-49,90	29,79	29,16	-2,09
Zr	110,03	112,05	1,84	374,03	221,71	-40,73	181,31	180,37	-0,52
Nb	<5	<5	-	5,44	10,61	95,01	8,02	9,35	16,58
Ba	1956,85	1881,29	-3,86	265,92	233,03	-12,37	337,16	340,85	1,10
Pb	9,69	5,23	-46,00	13,27	<5	-	<5	<5	-
Sc	38,03	25,96	-31,74	31,01	34,32	10,69	43,06	41,11	-4,53
Cs	1,60	1,52	-4,91	2,43	12,38	409,26	2,43	1,76	-27,63
Hf	2,75	5,34	94,66	1,96	4,43	126,07	1,96	3,01	53,87
Ta	0,32	0,56	75,72	0,35	0,42	17,52	0,35	0,35	-0,37
Th	4,24	3,25	-23,25	2,56	12,63	392,93	2,56	4,65	81,37
U	1,09	1,09	0,48	0,74	3,52	378,22	0,74	1,20	62,49
La	13,01	9,65	-25,80	30,58	32,03	4,74	26,08	26,49	1,57
Ce	29,43	27,83	-5,44	78,68	81,51	3,60	64,29	63,37	-1,44
Pr	37,10	4,09	-88,98	10,11	10,44	3,30	8,28	8,24	-0,46
Nd	186,95	18,15	-90,29	45,16	45,84	1,51	35,24	35,77	1,49
Sm	5,07	5,19	2,33	11,10	11,35	2,25	9,49	9,42	-0,79
Eu	1,48	1,70	14,73	2,49	2,51	1,04	2,41	2,45	1,87
Gd	75,28	5,43	-92,79	10,27	10,47	1,95	8,91	9,08	1,87
Tb	0,95	0,87	-8,61	1,60	1,61	0,68	1,38	1,39	0,73
Dy	7,97	5,38	-32,47	9,79	9,79	0,00	8,48	8,41	-0,88
Ho	1,79	1,10	-38,58	2,01	1,99	-1,16	1,73	1,75	1,11
Er	3,14	3,29	4,92	5,63	5,60	-0,55	4,86	4,90	0,86
Tm	0,44	0,47	7,13	0,78	0,77	-1,58	0,68	0,67	-1,21
Yb	3,26	3,25	-0,18	5,48	5,33	-2,75	4,68	4,76	1,66
Lu	0,44	0,48	7,41	0,76	0,73	-3,89	0,63	0,64	1,51

	CPJ-090			CPJ-107			CPE131		
	Muestra (ppm)	Duplicado (ppm)	± (%)	Muestra (ppm)	Duplicado (ppm)	± (%)	Muestra (ppm)	Duplicado (ppm)	± (%)
Cu	6,31	6,29	-0,40	5,87	5,34	-9,00	110,43	112,91	2,24
V	256,13	257,48	0,53	255,60	256,27	0,26	136,50	134,27	-1,63
Cr	<10	<10	-	39,49	35,68	-9,64	138,19	138,87	0,49
Co	35,11	35,11	0,01	34,22	34,11	-0,33	32,66	32,46	-0,61
Ni	<5	<5	-	15,69	14,36	-8,48	47,78	45,57	-4,62
Zn	503,59	502,98	-0,12	118,08	117,92	-0,13	178,31	176,04	-1,27
Rb	142,58	142,64	0,04	67,30	66,70	-0,89	54,28	54,07	-0,38
Sr	<5	<5	-	143,16	142,93	-0,16	<5	<5	-
Y	42,16	42,44	0,65	30,24	30,33	0,28	24,14	23,62	-2,15
Zr	287,49	286,69	-0,28	235,60	231,62	-1,69	137,51	136,66	-0,62
Nb	21,35	18,02	-15,57	20,54	19,64	-4,41	10,19	9,71	-4,71
Ba	297,24	300,57	1,12	536,08	543,33	1,35	321,77	322,11	0,11
Pb	<5	<5	-	11,86	11,35	-4,26	12,83	12,57	-1,97
Sc	30,74	35,76	16,33	23,72	26,44	11,45	39,79	38,55	-3,11
Cs	1,30	0,89	-31,43	3,87	1,46	-62,20	1,30	1,30	-0,57
Hf	1,50	2,87	91,12	3,22	5,13	59,62	1,52	1,49	-1,83
Ta	0,18	0,52	192,30	0,42	0,54	30,29	0,18	0,18	-2,81
Th	2,53	4,81	89,81	4,15	3,12	-24,70	2,30	2,52	9,84
U	0,70	1,14	61,88	1,13	1,05	-6,95	0,64	0,70	9,42
La	47,28	45,77	-3,19	37,98	37,66	-0,83	14,80	14,00	-5,41
Ce	110,58	107,25	-3,01	87,08	87,83	0,86	42,65	41,19	-3,42
Pr	14,99	14,77	-1,50	10,99	11,16	1,52	5,54	5,67	2,38
Nd	67,71	67,03	-1,00	47,54	47,34	-0,42	24,85	24,80	-0,20
Sm	14,93	14,53	-2,62	11,08	11,23	1,35	6,50	6,46	-0,60
Eu	3,21	3,15	-1,92	2,62	2,69	2,32	1,47	1,43	-2,89
Gd	15,58	15,89	1,98	10,90	10,98	0,76	5,85	5,86	0,23
Tb	2,28	2,19	-3,84	1,70	1,73	2,11	0,92	0,89	-3,44
Dy	13,89	13,43	-3,36	10,22	10,37	1,47	5,60	5,54	-1,00
Ho	2,89	2,82	-2,59	2,13	2,16	1,29	1,14	1,11	-3,07
Er	8,11	7,87	-2,98	6,02	6,06	0,73	3,24	3,29	1,49
Tm	1,15	1,12	-2,11	0,83	0,85	2,48	0,45	0,46	2,04
Yb	7,59	7,50	-1,28	5,51	5,59	1,33	3,08	3,16	2,38
Lu	1,11	1,10	-0,75	0,80	0,82	2,02	0,41	0,45	9,62

	CPE-065			CPV-188			CPV-207		
	Muestra (ppm)	Duplicado (ppm)	± (%)	Muestra (ppm)	Duplicado (ppm)	± (%)	Muestra (ppm)	Duplicado (ppm)	± (%)
Cu	<5	<5	-	<5	<5	-	<5	<5	-
V	195,57	197,54	1,00	87,05	87,42	0,43	77,62	78,16	0,69
Cr	22,33	19,00	-14,90	<10	<10	-	35,10	32,91	-6,23
Co	33,42	33,61	0,57	29,59	29,55	-0,14	38,44	38,57	0,36
Ni	<5	<5	-	<5	<5	-	14,94	12,51	-16,31
Zn	199,34	199,38	0,02	29,96	30,03	0,22	220,65	220,50	-0,06
Rb	48,23	48,42	0,40	37,72	37,12	-1,60	32,30	32,34	0,10
Sr	113,69	117,18	3,07	107,72	107,36	-0,34	8,46	9,51	12,39
Y	27,12	27,42	1,12	16,08	14,59	-9,26	16,54	16,32	-1,30
Zr	189,67	190,02	0,19	119,95	119,04	-0,76	53,56	54,07	0,94
Nb	8,98	10,00	11,33	<5	<5	-	4,88	6,60	35,18
Ba	187,10	180,00	-3,80	779,92	719,27	-7,78	468,24	476,12	1,68
Pb	17,14	15,73	-8,27	4,22	5,50	30,28	5,53	5,00	-9,54
Sc	28,76	31,09	8,10	22,93	26,64	16,17	40,95	40,26	-1,68
Cs	1,85	1,24	-32,97	1,74	2,28	31,03	1,09	1,11	1,83
Hf	6,61	1,45	-78,06	2,01	1,84	-8,46	2,31	2,41	4,33
Ta	0,98	0,17	-82,65	0,29	0,33	13,79	0,24	0,27	12,50
Th	6,73	2,19	-67,46	3,20	2,41	-24,69	4,43	4,12	-7,00
U	1,89	0,61	-67,72	0,97	0,69	-28,87	1,21	1,29	6,61
La	20,10	20,11	0,04	6,55	7,85	19,96	7,66	7,68	0,20
Ce	51,53	51,53	0,02	16,20	17,39	7,36	17,02	17,55	3,11
Pr	6,58	6,54	-0,61	2,48	2,64	6,18	2,43	2,53	4,37
Nd	29,57	29,45	-0,41	12,07	13,28	10,01	10,33	10,64	3,00
Sm	7,51	7,53	0,26	3,84	4,02	4,62	3,64	3,53	-2,91
Eu	1,91	1,88	-1,74	1,36	1,36	-0,18	1,38	1,40	1,75
Gd	7,52	7,47	-0,67	3,30	3,37	2,07	3,80	3,82	0,34
Tb	1,20	1,27	5,47	0,49	0,51	2,76	0,55	0,56	0,87
Dy	7,60	8,03	5,72	2,86	2,92	1,95	3,24	3,25	0,49
Ho	1,60	1,89	18,10	0,57	0,57	0,09	0,67	0,65	-2,60
Er	4,52	4,65	2,90	1,62	1,61	-0,77	1,78	1,81	1,40
Tm	0,64	0,66	2,81	0,23	0,23	-0,71	0,25	0,26	2,77
Yb	4,53	4,61	1,71	1,74	1,71	-1,82	1,70	1,75	2,94
Lu	0,62	0,64	3,35	0,25	0,25	-1,26	0,25	0,24	-3,14

	CPK-069			CPK-270			CPK-251		
	Muestra (ppm)	Duplicado (ppm)	± (%)	Muestra (ppm)	Duplicado (ppm)	± (%)	Muestra (ppm)	Duplicado (ppm)	± (%)
Cu	61,66	61,31	-0,57	61,22	63,80	4,21	85,22	81,38	-4,51
V	99,39	98,69	-0,71	98,12	98,25	0,13	83,28	84,24	1,15
Cr	44,96	48,40	7,65	20,26	18,74	-7,48	25,41	16,68	-34,35
Co	31,74	31,61	-0,40	21,08	21,23	0,72	17,68	17,69	0,02
Ni	39,95	37,89	-5,16	5,44	5,81	6,94	<5	<5	-
Zn	196,71	194,72	-1,01	222,58	224,25	0,75	59,13	58,68	-0,77
Rb	206,70	207,25	0,27	74,39	74,62	0,31	109,74	110,06	0,30
Sr	325,42	323,64	-0,55	378,59	382,89	1,14	348,60	348,06	-0,15
Y	34,72	35,01	0,84	25,37	24,88	-1,92	31,52	30,38	-3,60
Zr	126,38	124,86	-1,20	159,94	160,96	0,64	217,42	216,37	-0,49
Nb	<5	<5	-	<5	<5	-	9,22	<5	-
Ba	1302,77	1296,26	-0,50	298,26	314,80	5,55	373,82	408,52	9,28
Pb	12,00	14,99	24,90	4,72	7,02	48,94	4,67	<5	-
Sc	28,70	30,55	6,42	18,16	16,18	-10,91	24,22	10,10	-58,30
Cs	1,69	1,80	6,51	1,14	-	-	1,21	-	-
Hf	6,52	6,41	-1,69	1,25	-	-	1,39	-	-
Ta	0,92	0,95	3,26	0,16	-	-	0,17	-	-
Th	6,19	6,53	5,49	2,07	-	-	2,40	-	-
U	1,88	1,83	-2,66	0,61	-	-	0,65	-	-
La	19,79	17,48	-11,67	26,07	27,64	6,04	29,98	26,04	-13,14
Ce	48,45	46,52	-3,98	57,36	59,08	3,01	70,64	60,96	-13,71
Pr	6,07	6,03	-0,68	6,36	6,33	-0,51	8,52	7,23	-15,11
Nd	24,48	24,98	2,04	25,70	25,30	-1,56	33,67	29,42	-12,63
Sm	6,07	5,81	-4,28	6,43	6,57	2,14	7,96	6,85	-13,98
Eu	1,83	1,77	-2,90	1,23	1,25	1,35	1,47	1,24	-15,25
Gd	4,94	5,18	4,94	5,78	5,61	-2,91	7,03	6,28	-10,60
Tb	0,76	0,75	-1,85	1,29	1,27	-1,30	1,06	0,97	-8,51
Dy	4,30	4,39	2,23	11,55	12,58	8,84	6,50	5,98	-8,04
Ho	1,01	0,93	-8,08	2,87	2,83	-1,42	1,34	1,26	-6,02
Er	2,83	2,54	-9,98	3,62	3,74	3,36	3,84	3,63	-5,49
Tm	0,37	0,36	-1,88	0,47	0,48	2,50	0,56	0,51	-7,76
Yb	2,72	2,61	-4,30	3,64	3,69	1,14	3,94	3,52	-10,74
Lu	0,36	0,36	-1,48	0,47	0,49	5,19	0,55	0,51	-6,78

	CPV-338			CPV-159		
	Muestra	Duplicado	± (%)	Muestra	Duplicado	± (%)
Cu	112,92	106,80	-5,42	16,42	16,03	-2,38
V	98,76	99,30	0,54	89,81	89,16	-0,72
Cr	25,39	21,13	-16,74	15,79	20,78	31,60
Co	19,73	19,58	-0,74	19,94	19,95	0,08
Ni	<5	<5	-	<5	<5	-
Zn	71,93	61,70	-14,23	96,30	96,68	0,39
Rb	115,93	115,68	-0,22	47,90	48,19	0,60
Sr	187,95	179,81	-4,33	515,90	515,75	-0,03
Y	34,42	35,33	2,66	19,87	18,96	-4,59
Zr	212,28	209,32	-1,39	105,32	106,33	0,96
Nb	9,90	10,90	10,19	<5	<5	-
Ba	420,40	411,87	-2,03	162,61	165,24	1,61
Pb	<5	8,44	-	<5	6,32	-
Sc	19,36	22,56	16,53	6,54	17,40	166,26
Cs	4,79	-	-	1,94	-	-
Hf	6,49	-	-	1,81	-	-
Ta	0,75	-	-	0,60	-	-
Th	14,00	-	-	4,22	-	-
U	2,90	-	-	1,04	-	-
La	21,71	-	-	11,37	-	-
Ce	50,76	-	-	24,95	-	-
Pr	6,45	-	-	3,09	-	-
Nd	27,04	-	-	12,66	-	-
Sm	6,78	-	-	3,23	-	-
Eu	1,14	-	-	1,02	-	-
Gd	6,72	-	-	3,17	-	-
Tb	1,11	-	-	0,51	-	-
Dy	6,80	-	-	3,14	-	-
Ho	1,48	-	-	0,70	-	-
Er	4,03	-	-	1,90	-	-
Tm	0,59	-	-	0,28	-	-
Yb	3,83	-	-	1,86	-	-
Lu	0,56	-	-	0,28	-	-

Anexo 9: Tablas de composición para blancos

	CIF-1	CIF-2	CIF-3	CPQ-014	CPQ-112	CPQ-133	CPQ-147	CPQ-162	CPQ-178	CPQ-203	CPQ-224	CPQ-244
SiO ₂ (%)	99,48	99,52	99,51	99,47	99,51	99,51	99,52	99,50	99,48	99,53	99,52	99,51
Al ₂ O ₃ (%)	0,07	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,09
TiO ₂ (%)	0,03	0,03	0,03	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03
Fe ₂ O ₃ (%)	0,1	0,1	0,1	0,11	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,12	0,11	0,11
CaO (%)	0,13	0,13	0,14	0,15	0,15	0,14	0,13	0,15	0,13	0,01	0,13	0,14
MgO (%)	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
MnO (%)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Na ₂ O (%)	0,1	0,1	0,1	0,12	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
K ₂ O (%)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
P ₂ O ₅ (%)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PPC	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Suma	100	100,05	100,05	100,02	100,01	100,05	100,05	100,07	100,00	99,94	100,06	100,07
Cu (ppm)	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
V (ppm)	<10	<10	<1	<5	<10	<1	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Cr (ppm)	31	31	34	26	31	34	31	31	31	33	34	34
Co (ppm)	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ni (ppm)	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Zn (ppm)	11	12	11	9	12	11	12	13	11	12	12	12
Rb (ppm)	9	11	11	10	11	11	11	12	9	10	12	9
Sr (ppm)	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Y (ppm)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Zr (ppm)	635	628	634	661	628	634	628	658	635	658	635	626
Nb (ppm)	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ba (ppm)	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	22	<20	<20
Pb (ppm)	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Sc (ppm)	<5	11	<5	<5	<5	<5	11	<5	<5	<5	<5	<5

