

## Tabla de contenido

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1. Formulación del problema</b> .....	1
<b>1.2. Hipótesis</b> .....	4
<b>1.3. Objetivos</b> .....	4
<b>1.3.1. Objetivo general</b> .....	4
<b>1.3.2. Objetivos específicos</b> .....	4
<b>1.4. Ubicación y vías de acceso</b> .....	4
<b>1.5. Metodología</b> .....	6
<b>1.5.1. Muestras</b> .....	6
<b>1.5.2. Caracterización petrográfica de rocas</b> .....	12
<b>2. MARCO GEOLÓGICO</b> .....	13
<b>2.1. Principales formaciones en la zona de estudio</b> .....	13
<b>2.2. Marco Tectónico y estructural</b> .....	15
<b>2.2.1. Generalidades</b> .....	15
<b>2.3. Evolución Tectono-estratigráfica</b> .....	17
<b>2.4. Marco estructural</b> .....	17
<b>3. MARCO TEÓRICO</b> .....	19
<b>3.1. Reconocimiento de minerales</b> .....	19
<b>3.2. Geotermometría</b> .....	29
<b>3.2.1. Geoquímica de Fluidos</b> .....	29
<b>4. RESULTADOS</b> .....	34
<b>4.1. Geoquímica de Fluidos</b> .....	34
<b>4.2. Geotermómetros</b> .....	40
<b>4.3. Petrografía</b> .....	41
<b>4.3.1. Quebrada Queuco</b> .....	43
<b>4.3.2. Quebrada Pangué</b> .....	49
<b>4.3.3. Quebrada Malla</b> .....	56
<b>4.3.4. Quebrada Quepuca</b> .....	63
<b>4.3.5. Quebrada Lomín</b> .....	70
<b>4.3.6. Río Biobío</b> .....	77
<b>5. DISCUSIONES</b> .....	84
<b>5.1. Mineralogía Secundaria</b> .....	84

5.1.1.	Geotermometría .....	84
5.1.2.	Temperatura asociación mineral .....	105
5.2.	Geoquímica/características del paleo-sistema .....	109
5.3.	Geoquímica de Fluidos.....	110
5.3.1.	Clasificación .....	110
5.3.2.	Geotermometría .....	113
5.4.	Estructuras y Perfiles.....	118
5.5.	Temporalidad .....	122
6.	CONCLUSIONES.....	125
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	127

## Índice de figuras

Figura 1: Vista en planta de la zona de interés, correspondiente al CFC. Se señalan la fisura principal estudiada por Sielfeld (2008) en color rojo, y las quebradas adyacentes a esta en color azul. También se encuentran marcadas las manifestaciones termales del Avellano y Trapa-Trapa. ....	2
Figura 2: Mineralogía de alteración común asociada a distintas condiciones de temperatura y pH, según Reyes (1990). ....	3
Figura 3: Principales rutas y vías de acceso a la zona aledaña al volcán Callaqui. El recuadro en azul muestra la zona de estudio. ....	5
Figura 4: Zona de estudio y ubicación de las localidades más cercanas al volcán Callaqui. .	5
Figura 5: Modelo de elevación digital (DEM) de la zona de estudio en donde se observan las quebradas y las muestras tomadas en cada uno de ellos. ....	6
Figura 6: Vaso precipitado con muestra de roca, agua y Calgon para realizar la separación de arcillas. ....	9
Figura 7: a) Vaso con muestra en licuadora. b) Vasos con muestras en ultrasonido. ....	9
Figura 8: a) Medición de la masa de las muestras en una balanza. b) Ubicación de muestras en la centrífuga. ....	10
Figura 9: Precipitación de la muestra en la parte inferior de los tubos de ensayo. ....	10
Figura 10: a) Portamuestra de vidrio con muestra recién colocada. b) Portamuestras con muestras secas listos para análisis de DRX. ....	11
Figura 11: a) Difractómetro Bruker D8 Advance. b) Muestras de arcillas en portamuestra de vidrio en el difractómetro. ....	12
Figura 12: Disposición de las placas tectónicas en el margen Sudamericano. Extraído de Lara et al. (2008) ....	16
Figura 13: Mapa geológico simplificado con las estructuras presentes entre los 37°20' - 38°40'S. También se reconocen las distintas unidades y formaciones presentes en la zona y se encuentra marcado con un cuadrado azul el Complejo Fisural Callaqui, Extraído de Sielfeld <i>et al.</i> (2016) ....	18
Figura 14: Espaciados basales de algunos grupos de filosilicatos. Tomado de Hillier (2003). ....	20
Figura 15: Espaciado basal entre capas repetidas de una arcilla en un difractograma. Tomado de Moore & Reynolds (1997). ....	21
Figura 16: Diferencias de intensidades entre distintas variedades de la clorita. ....	22
Figura 17: Difractogramas de algunas arcillas y sus <i>peaks</i> más característicos. Tomado de Moore & Reynolds (1997). ....	23
Figura 18: Variación de la esmectita con etilenglicol. Tomado de Moore & Reynolds (1997). ....	24
Figura 19: Ejemplos de difractogramas de I/S con y sin EG. Tomado de Moore & Reynolds (1997). ....	26
Figura 20: Ejemplos difractogramas de muestras C/S con y sin EG. Tomado de Moore & Reynolds (1997). ....	28

Figura 21: Diagrama de Piper (1944) para los análisis realizados en el presente estudio. Se incluyen, a modo de comparación, aquellos realizados por Hauser (1997), Hauser (2000), Risacher y Hauser (2008) y Olivares (2011). .....	35
Figura 22: Diagrama ternario propuesto por Giggenbach (1988), para clasificar aguas termales en base a sus aniones principales. Se observan aquellas muestras tomadas por Olivares (2011), llamadas AVE-2 y EMA-01, a modo de comparación.....	36
Figura 23: Diagrama propuesto por Giggenbach (1991), basado en las concentraciones de Cl-Li-B presentes en fluidos termales. Se incluyen muestras tomadas por Olivares (2011), llamadas AVE-2 y EMA-01. ....	37
Figura 24: Diagrama propuesto por Giggenbach & Glover (1992), basado en las concentraciones de Li-Rb-Cs en fluidos termales. ....	38
Figura 25: Gráfico correspondiente a la relación entre los isótopos estables de oxígeno e hidrógeno presentes en las muestras de aguas termales. Se incluyen aquellos datos tomados por Olivares (2011), así como la LMM y LML. ....	39
Figura 26: Geotermómetro propuesto por Giggenbach (1988), el cual combina los geotermómetros de Na-K y K-Mg. Se incluyen aquellas muestras tomadas por Olivares (2011), identificadas como AVE-2 y EMA-01. ....	41
Figura 27: Mapa geológico de la zona de estudio. Se encuentran señalados tanto los puntos de muestreo como las diferentes quebradas y los nombres que se les dieron en el presente trabajo. También se señalan las localidades de Ralco, El Avellano y Trapa Trapa, donde los últimos dos fueron los puntos de muestreo de aguas termales. Por último, aquellas muestras de color rojo fueron tomadas por C. Betancourt, mientras que las de color azul fueron tomadas por V. Vicencio en una campaña previa. ....	42
Figura 28: Afloramiento asociado a la muestra CQCB-03. Se observa el tono grisáceo, común en los afloramientos de esta estructura, al igual que un diaclasado con una leve orientación preferencial. ....	43
Figura 29: Muestra de mano correspondiente al punto CQCB-02. Se reconoce el origen ígneo intrusivo félsico de la muestra, al igual que algunas vetillas de menor tamaño. ....	44
Figura 30: Fotomicrografías tomadas en microscopio petrográfico. En las fotos A (Nícoles Paralelos) y B (Nícoles Cruzados) se observan cloritas y epidotas alterando a la mineralogía primaria, mientras que en la C (Nícoles Paralelos) y D (Nícoles Cruzados) se observa un vetilla rellena por epidota y cuarzo.....	45
Figura 31: Fotomicrografías tomadas mediante SEM-BSE. A la izquierda se observa clorita y epidota en equilibrio reemplazando a la mineralogía primaria, mientras que a la derecha se observa nuevamente la vetilla de epidota y cuarzo de la Figura 30. ....	46
Figura 32: DRX de la muestra CQCB-02 con las distintas fases minerales identificadas y sus respectivos peaks. ....	48
Figura 33: Afloramiento asociado a la muestra CQCB-25. Al igual que en otros afloramientos, se reconoce un diaclasado levemente orientado. ....	49
Figura 34: Muestra de mano correspondiente al afloramiento CQCB-25. Se reconoce un mineral blanco de alteración, identificado como wairakita mediante DRX.....	50
Figura 35: Fotomicrografías tomadas en microscopio petrográfico. En las imágenes A (Nícoles Paralelos) y B (Nícoles Cruzados) se observan prehnitas y wairakitas rellenas	

espacios, mientras que en las C (Nícoles Paralelos) y D (Nícoles Cruzados) se observa una amígdala con calcita y epidota. Por último en las imágenes E (Nícoles Paralelos) y F (Nícoles Cruzados) se observa un relleno de prehnita .....	52
Figura 36: Fotomicrografías tomadas mediante SEM-BSE. La imagen A corresponde a cloritas de la muestra CQCB-24, la imagen B son wairakitas encontradas en una microfractura de la muestra CQCB-25 y las imágenes C y D son cuarzos y espesartina encontrados en una amígdala de la muestra CQCB-21. ....	53
Figura 37: DRX de la muestra CQCB-24 con las distintas fases minerales identificadas y sus respectivos peaks. ....	55
Figura 38: Afloramiento correspondiente a la muestra CQCB-19. Se pueden observar una vetilla rellena por esencialmente cuarzo con leves cantidades de epidota. Así mismo, se reconocen diaclasas con una leve orientación. ....	56
Figura 39: Muestra de mano CQCB-18. Al igual que en el afloramiento, se observan espacios rellenos por cuarzo con leves cantidades de epidota. ....	57
Figura 40: Fotomicrografías tomadas en microscopio petrográfico. En las imágenes A (Nícoles Paralelos) y B (Nícoles Cruzados) se observa cuarzo y cloritas relleno una amígdala. En las imágenes C (Nícoles Paralelos) y D (Nícoles Cruzados) se observa una vetilla rellena con cuarzo y epidota. En las imágenes E (Nícoles Paralelos) y F (Nícoles Cruzados) se observa clinoptilolita y cuarzo relleno espacios. ....	59
Figura 41: Fotomicrografías tomadas mediante SEM-BSE. Las imágenes A y B corresponden a feldespatos alterados a clorita y epidota respectivamente. La imagen C corresponde a una clinoptilolita relleno espacios y la imagen D es una biotita reemplazada por clorita. ....	60
Figura 42: DRX de la muestra CQCB-19 con las distintas fases minerales identificadas y sus respectivos peaks. ....	62
Figura 43: Afloramiento correspondiente a las muestras CQCB-11A, CQCB-11B y CQCB-11C. Se reconocen variaciones en las diaclasas y la integridad de las muestras. ....	64
Figura 44: Muestra de mano CQCB-09. Se observa bastante alterada y con el mineral blanco siendo identificado como laumontita. ....	64
Figura 45: Fotomicrografías tomadas en microscopio petrográfico. En las imágenes A (Nícoles Paralelos) y B (Nícoles Cruzados) se observa laumontita y calcita reemplazando a minerales primarios. En las imágenes C (Nícoles Paralelos) y D (Nícoles Cruzados) se observa calcita relleno espacios. En las imágenes E (Nícoles Paralelos) y F (Nícoles Cruzados) se observa clorita y calcita relleno espacios. ....	66
Figura 46: Fotomicrografías tomadas mediante SEM-BSE. Las imágenes A y B corresponden a clorita y calcita relleno espacios en la muestra CQCB-13, mientras que las imágenes C y D corresponden a laumontitas de la muestra CQCB-09- ....	67
Figura 47: DRX de la muestra CQCB-12 con las distintas fases minerales identificadas y sus respectivos peaks. ....	69
Figura 48: Afloramiento correspondiente a la muestra CQCB-07. Se observa un diaclasado relativamente aleatorio. ....	71
Figura 49: Muestra de mano CQCB-07. Se logran distinguir fenocristales de feldespatos y algunas amígdalas. ....	71

Figura 50: Fotomicrografías tomadas en microscopio petrográfico. En las imágenes A (Nícoles Paralelos) y B (Nícoles Cruzados) se observa calcita reemplazando parcialmente a feldespato potásico. En las imágenes C (Nícoles Paralelos) y D (Nícoles Cruzados) se observa clorita relleno de espacios entre cristales de cuarzo y óxidos de hierro.....	73
Figura 51: Fotomicrografías tomadas mediante SEM-BSE. En la imagen A se observa clorita relleno de espacios entre cuarzo y óxidos de hierro. En la imagen B se observan cristales de heulandita.....	74
Figura 52: DRX de la muestra CQCB-07 con las distintas fases minerales identificadas y sus respectivos peaks.....	76
Figura 53: Afloramiento del que se extrajo la muestra CQCB-06. Se puede reconocer las fracturas por la cual emergen fluidos termales actualmente.....	77
Figura 54: Manifestación termal de la cual se obtuvieron los sedimentos fluviales de la muestra CQCB-05. ....	78
Figura 55: Fotomicrografías tomadas en microscopio petrográfico. En las imágenes A (Nícoles Paralelos) y B (Nícoles Cruzados) se observan epidotas y cloritas reemplazando totalmente la mineralogía primaria. En las imágenes C (Nícoles Paralelos) y D (Nícoles Cruzados) se observa una vetilla rellena por anhidrita. En las imágenes E (Nícoles Paralelos) y F (Nícoles Cruzados) se observa una amígdala rellena por clorita con un borde de cuarzo.....	80
Figura 56: Fotomicrografías tomadas mediante SEM-BSE. En las imágenes A y B se observan vetillas rellenas por epidota y clorita respectivamente. En la imagen C se observa una amígdala rellena por calcita con un borde de clorita y en la imagen D se observa una amígdala rellena por clorita con un borde de cuarzo. ....	81
Figura 57: DRX de la muestra CQCB-05 con las distintas fases minerales identificadas y sus respectivos peaks.....	83
Figura 58: Fotomicrografia de la muestra CQCB-20A, donde se observa marcado con azul ejemplos de epidotas “incipientes”.....	85
Figura 59: Fotomicrografia de la muestra CQCB-21 en la cual se observa epidota tipo 2 como reemplazo parcial de plagioclasas. ....	85
Figura 60: Fotomicrografia de la muestra CQVV-25 en la cual se observa epidota tipo 3 como un mineral secundario abundante. ....	86
Figura 61: Comparación de la ChC en el plano (001) para cada muestra.....	88
Figura 62: Comparación de la ChC en el plano (002) para cada muestra.....	89
Figura 63: Comparación de la ChC en el plano (003) para cada muestra.....	89
Figura 64: Correlación entre el porcentaje de C/S y la cristalinidad de la clorita en el plano (001) para las muestras de la zona.....	91
Figura 65: Comparación grafica entre las diferentes muestras a las cuales se aplicó el geotermómetro de clorita de Cathelineau (1988). ....	93
Figura 66: Comparación grafica entre las diferentes muestras a las cuales se aplicó el geotermómetro de clorita de Jowett (1991). ....	93
Figura 67: Correlación entre las temperaturas obtenidas mediante el geotermómetro de Cathelineau (1988) y la cristalinidad de la clorita en el plano (001).....	94

Figura 68: Representaciones gráficas de los geotermómetros de cloritas para las muestras CQCB-01 y CQCB-02, propuestos por Bourdelle <i>et al.</i> (2013) e Inoue <i>et al.</i> (2009). .....	96
Figura 69: Representaciones gráficas de los geotermómetros de cloritas para las muestras CQCB-08, CQCB-13 y CQCB-18, propuestos por Bourdelle <i>et al.</i> (2013) e Inoue <i>et al.</i> (2009). .....	97
Figura 70: Representaciones gráficas de los geotermómetros de cloritas para las muestras CQCB-24 y CQVV-28, propuestos por Bourdelle <i>et al.</i> (2013) e Inoue <i>et al.</i> (2009).....	98
Figura 71: Comparación de la IC en el plano (001) para cada muestra .....	102
Figura 72: Comparación entre la IC y la ChC para la mayoría de las muestras estudiadas salvo excepciones como las muestras CQCB-11B o CQCB-08.....	103
Figura 73: Rangos de temperatura asociados a la formación de la alteración en cada una de las muestras estudiadas. Se incluyen las temperaturas calculadas a partir de las cristalinidades de la clorita y la illita. ....	107
Figura 74: Mapa geológico de la zona de estudio. Se reconocen las muestras tomadas y la temperatura asociada a su mineralogía secundaria. ....	108
Figura 75: Diagrama de estabilidad para el sistema Na-Ca-K-Mg-Al-Si-H <sub>2</sub> O en función de la temperatura y el pH del fluidos. ....	112
Figura 76: Diagrama de estabilidad para el sistema Na-Ca-K-Mg-Al-Si-H <sub>2</sub> O en función de las actividades del Mg y del SiO <sub>2</sub> . ....	113
Figura 77: Comparación entre los geotermómetros de Na-K para la manifestación de El Avellano. Se reconocen dos tendencias marcadas con rojo y azul.....	114
Figura 78: Comparación entre los geotermómetros de Na-K para la manifestación de Trapa-Trapa. Se reconocen dos tendencias marcadas con rojo y azul. ....	114
Figura 79: Comparación entre distintos geotermómetros de cationes, incluyendo los de K-Mg, para la manifestación de El Avellano. ....	115
Figura 80: Comparación entre distintos geotermómetros de cationes, incluyendo los de K-Mg, para la manifestación de Trapa-Trapa.....	116
Figura 81: Perfil de la zona de estudio. Se observan las distintas estructuras y formaciones presentes en ésta, al igual que la zonas de recarga meteórica y algunas de las muestras asociadas a éstas. ....	120
Figura 82: Perfiles a lo largo de las quebradas Pangué y Quepuca. Se incluyen las temperaturas asociadas a cada muestra, al igual que sus cristalinidades de illita y/o clorita. ....	121
Figura 83: Ejemplo de un tubo de rayos X. Extraído de “The Physics of Radiology, 4th ed.” .....	196
Figura 84: Relación de ángulos de rayos incidentes y rayos difractados. ....	197
Figura 85: Ejemplo de un difractograma modificado de Moore & Reynolds (1997). .....	198
Figura 86: Principales minerales de alteración y rangos de temperatura a los que son estables. ....	199
Figura 87: Dependencia lineal entre la temperatura de un sistema geotermal y la cantidad de aluminio tetraédrico. Extraído de Cathelineau (1988).....	201
Figura 88: Clasificación a partir de la IC con las respectivas temperaturas asociadas a ella. Modificado de Verdel <i>et al.</i> (2011). ....	204

## Índice de tablas

Tabla 1: Equipo utilizado para mediciones en terreno. ....	8
Tabla 2: Peaks más característicos de algunas arcillas. Tomado de Moore & Reynolds (1997). ....	23
Tabla 3: Principales <i>peaks</i> de los minerales de alteración más comunes y sus respectivas intensidades entre parentesis. ....	24
Tabla 4: Peaks de I/S en función del porcentaje de illita.....	27
Tabla 5: Peaks de C/S en función del porcentaje de clorita. Tomado Moore & Reynolds (1997). ....	29
Tabla 6: Geotermómetros de Na-K aplicados en las aguas estudiadas. ....	31
Tabla 7: Geotermómetros de K-Mg y otros aplicados a las aguas estudiadas. ....	32
Tabla 8: Parámetros obtenidos en terreno de las dos manifestaciones termales analizadas. ....	34
Tabla 9: Resultados obtenidos de los analizas de cationes en las dos muestras tomadas. ...	34
Tabla 10: Resultados obtenidos de los analizas de aniones en las dos muestras tomadas y el balance iónico. ....	34
Tabla 11: Resultados de isótopos de las dos muestras analizadas.....	34
Tabla 12: Clasificación de las muestras en función a su química. Se incluyen las muestras correspondientes a estudios previos. ....	35
Tabla 13: Geotermómetros de Na-K propuestos por varios autores aplicados a ambas muestras.....	40
Tabla 14: Geotermómetros de Mg-K propuestos por Giggenbach (1988) y Fournier (1991). ....	40
Tabla 15: Geotermómetros de sílice propuestos por Fournier (1977).....	40
Tabla 16: Otros geotermómetros de cationes propuestos por diversos autores.....	40
Tabla 17: Tabla con las muestras tomadas en la Quebrada Queuco y sus respectivas coordenadas. Se indica el protolito al igual que la mineralogía de alteración.....	45
Tabla 18: Análisis químico semi-cuantitativo y desviación estándar ( $\sigma$ ) para 10 cloritas y 5 epidotas en la muestra CQCB-01, mediante SEM-EDS.....	46
Tabla 19: Análisis químico semi-cuantitativo y desviación estándar ( $\sigma$ ) para 12 cloritas y 9 epidotas de la muestra CQCB-02, mediante SEM-EDS.....	47
Tabla 20: Fórmula química aproximada de las epidotas presentes en las tres muestras de la Quebrada Queuco, calculada a partir de los promedios de la química obtenidos mediante SEM-EDS. ....	47
Tabla 21: Índices de cristalinidad para cloritas e illitas de las tres muestras de la Quebrada Queuco. Estas fueron calculadas a partir de la DRX.....	47
Tabla 22: Muestras tomadas en la Quebrada Pangué y sus respectivas coordenadas. Se indican los protolitos y la mineralogía de alteración identificada. ....	51
Tabla 23: Porcentajes de clorita o illita en los interestratificados de C/S e I/S.....	51
Tabla 24: Análisis químico semi-cuantitativo y su desviación estándar ( $\sigma$ ) para 7 cloritas y 5 cuarzos en la muestra CQCB-24, mediante SEM-EDS.....	54
Tabla 25: Análisis químico semi-cuantitativo y su desviación estándar ( $\sigma$ ) para 10 prehnitas, 4 wairakitas y 2 epidotas en la muestra CQCB-25, mediante SEM-EDS. ....	54



Tabla 26: Fórmula química aproximada de las epidotas presentes en las muestras QQCB-24 y QQCB-25 de la Quebrada Pangue, calculada a partir de los promedios de la química obtenidos mediante SEM-EDS. ....	54
Tabla 27: Índices de cristalinidad para cloritas e illitas de las muestras de la Quebrada Pangue, salvo la muestra QQCB-22. Estas fueron calculadas a partir de la DRX. ....	54
Tabla 28: Muestras tomadas en la Quebrada Malla y sus respectivas coordenadas. Se indican los protolitos al igual que la mineralogía de alteración. ....	58
Tabla 29: Porcentajes de clorita o illita en los interestratificados de C/S e I/S. ....	58
Tabla 30: Análisis químico semi-cuantitativo y su desviación estándar ( $\sigma$ ) para 4 cloritas, 12 epidotas y 2 cuarzos de la muestra QQCB-18, mediante SEM-EDS. ....	61
Tabla 31: Análisis químico semi-cuantitativo y su desviación estándar ( $\sigma$ ) para 4 cloritas/esmectitas y 4 clinoptilolitas de la muestra QQCB-19, mediante SEM-EDS. ....	61
Tabla 32: Fórmula química aproximada de la epidota presente en la muestra QQCB-18 de la Quebrada Malla, calculada a partir de los promedios de la química mediante SEM-EDS. ....	61
Tabla 33: Índices de cristalinidad para cloritas e illitas de las muestras alteradas de la Quebrada Malla. Estas fueron calculadas a partir de la DRX. ....	61
Tabla 34: Muestras tomadas en la Quebrada Quepuca y sus respectivas coordenadas. Se indican los protolitos al igual que la mineralogía de alteración. ....	65
Tabla 35: Análisis químico semi-cuantitativo y su desviación estándar ( $\sigma$ ) para 7 laumontitas y 15 cloritas de las muestras QQCB-09 y QQCB-13, mediante SEM-EDS. ....	68
Tabla 36: Porcentajes de clorita/esmectita e illita/esmectita de las muestras de la Quebrada Quepuca. ....	68
Tabla 37: Índices de cristalinidad para cloritas e illitas de las muestras de la Quebrada Quepuca. Estas fueron calculadas a partir de la DRX. ....	68
Tabla 38: Muestras tomadas en la Quebrada Lomín y sus respectivas coordenadas. Se indican los protolitos al igual que la mineralogía de alteración. ....	73
Tabla 39: Análisis químico semi-cuantitativo y su desviación estándar ( $\sigma$ ) para 8 cloritas y 5 heulanditas de las muestras QQCB-08 y QQCB-20A, mediante SEM-EDS. ....	74
Tabla 40: Porcentajes de clorita/esmectita e illita/esmectita de las muestras de la Quebrada Lomín. ....	74
Tabla 41: Índices de cristalinidad para cloritas e illitas de algunas muestras de la Quebrada Lomín. Estas fueron calculadas a partir de la DRX. ....	75
Tabla 42: Muestras tomadas en el valle del río Biobío y sus respectivas coordenadas. Se indican los protolitos al igual que la mineralogía de alteración. ....	79
Tabla 43: Análisis químico semi-cuantitativo y su desviación estándar ( $\sigma$ ) para 3 cloritas y 5 epidotas de la muestra CQVV-25, mediante SEM-EDS. ....	82
Tabla 44: Análisis químico semi-cuantitativo y su desviación estándar ( $\sigma$ ) para 17 cloritas y 3 cuarzos de las muestras CQVV-28, mediante SEM-EDS. ....	82
Tabla 45: Porcentajes de clorita/esmectita e illita/esmectita de las muestras del valle del río Biobío. ....	82
Tabla 46: Índices de cristalinidad para cloritas e illitas de algunas muestras del valle del río Biobío. Estas fueron calculadas a partir de la DRX. ....	82

Tabla 47: Clasificación de las epidotas observadas en la zona de estudio en base a lo propuesto por Reyes (1990).....	86
Tabla 48: Formula química de las epidotas analizadas mediante SEM-BSE. Se incluyen las proporciones de pistacita y clinozoisita para cada una. ....	87
Tabla 49: Proporción de la clorita en el interestratificado de C/S para las muestras analizadas. ....	90
Tabla 50: Resultados obtenidos a partir de la aplicación de los geotermómetros de clorita propuestos por Cathelineau (1988) y Jowett (1991) y sus respectivas cristalinidades.....	92
Tabla 51: Temperaturas extrapoladas en base a la cristalinidad de la clorita en el plano (001). ....	95
Tabla 52: Rango de temperaturas aproximadas a partir de los geotermómetros gráficos de Bourdelle <i>et al.</i> (2013) e Inoue <i>et al.</i> (2009). ....	99
Tabla 53: Proporción de la illita en el interestratificado de I/S para las muestras analizadas. ....	100
Tabla 54: Valores para la IC y la IC <sub>JIC</sub> en las muestras estudiadas. Se incluye la T (°C) calculada a partir de la IC <sub>JIC</sub> . ....	102
Tabla 55: Resultados química cloritas.....	192
Tabla 56: Resultados química epidotas. ....	193
Tabla 57: Resultados química cuarzos. ....	194