

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo 1: Introducción	1
1.1 Formulación del estudio propuesto	1
1.2 Hipótesis de trabajo	3
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Metodología	4
1.4.1 Campañas de terreno	4
1.4.2 Trabajo de gabinete y laboratorio	5
1.5 Ubicación y vías de acceso al área de estudio	6
Capítulo 2: Marco Geológico Local	7
2.1 Trabajos anteriores	7
2.2 Basamento del volcán Calbuco.....	8
2.2.1 Rocas Metamórficas y Plutónicas (Paleozoico Superior).....	8
2.2.2 Granitoides del Batolito Norpatagónico (Mioceno Inferior a Medio)	8
2.2.3 Rocas Estratificadas	8
2.3 Geología del volcán Calbuco	8
2.3.1 Unidad Calbuco 1 (Pleistoceno Medio a Superior)	9
2.3.2 Unidad Calbuco 2 (Pleistoceno Superior)	9
2.3.3 Unidad Calbuco 3 (Pleistoceno Superior Tardío - Holoceno)	10
2.3.4 Unidad Calbuco 4 (Holoceno histórico).....	10
2.4 Centros eruptivos menores (Pleistoceno Superior – Holoceno).....	11
2.5 Depósitos sedimentarios del Pleistoceno – Holoceno.....	11
2.6 Estructuras.....	11
Capítulo 3: Resultados	13

3.1 Erupción del 22-23 de abril de 2015	13
3.2 Características generales del depósito piroclástico de caída.....	17
3.3 Estratigrafía de los depósitos de la erupción	21
3.4 Petrografía de los juveniles	23
3.5 Análisis sedimentológico	26
3.5.1 Generalidades	26
3.5.2 Análisis granulométrico	27
3.5.3 Análisis de componentes	29
3.6 Morfogranulometría.....	34
3.7 Geoquímica de los juveniles	37
3.8 Volúmenes de los depósitos de caída.....	39
3.8.1 Métodos de estimación de volumen.....	39
3.8.2 Resultados de estimación de volúmenes.....	43
3.9 Altura de las columnas eruptivas y velocidad del viento	48
3.9.1 Densidades de los juveniles	50
3.9.2 Alturas de columnas eruptivas obtenidas	51
3.10 Tasa eruptiva	54
3.11 Magnitud e intensidad de la erupción.....	56
Capítulo 4: Discusión	58
4.1 Introducción	58
4.2 Relación entre los niveles del depósito y pulsos eruptivos	59
4.2.1 Cronología	60
4.2.2 Altura de la columna eruptiva	60
4.2.3 Fragmentos líticos.....	61
4.2.4 Parámetros morfológicos	61
4.2.5 Potencia y tasa eruptiva.....	62

4.3 Estilo de fragmentación.....	64
4.3.1 Morfología y vesicularidad	65
4.3.2 Fragmentos líticos.....	65
4.4 Dinámica eruptiva	67
4.4.1 Diferencias petrográficas	67
4.4.2 Tasa eruptiva	68
4.5 Parámetros eruptivos	74
4.5.1 Volumen emitido por ambos pulsos	74
4.5.2 Altura de las columnas y magnitud del viento	77
4.5.3 Magnitud e Intensidad.....	79
4.6 Comparación con otras erupciones explosivas en Chile	80
4.6.1 Comparación con erupciones recientes en Chile.....	80
4.6.2 Comparación con erupciones históricas del volcán Calbuco	81
4.7 Peligro volcánico y prevención.....	83
4.7.1 Antecedentes	83
4.7.2 Recomendaciones	84
Capítulo 5: Conclusiones	85
BIBLIOGRAFÍA	86
ANEXOS	90
Anexo 1: Datos de Química de roca total para juveniles.....	90
Anexo 2: Datos espesores de los depósitos estudiados	90
Anexo 3: Datos de clastos mayores para el nivel (1) y (3)	92
Anexo 4: Datos de tamizaje para 5 muestras	93
Anexo 5: Datos de separación de componentes.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Impacto de la erupción de abril de 2015 del volcán Calbuco en la zona de Ensenada.	2
Figura 2: Ubicación Zona de Estudio.	6
Figura 3: Mapa geológico del volcán Calbuco, Sellés y Moreno (2011).	12
Figura 4: Primer pulso eruptivo ocurrido el 22 de abril de 2015.	14
Figura 5: Segundo pulso eruptivo ocurrido en la madrugada del 23 de abril de 2015....	15
Figura 6: Depósitos generados por la erupción.	15
Figura 7: Fotografías posteriores a la erupción del 23 de abril y del evento del 30 de abril de 2015.	16
Figura 8: Tipos de alerta volcánica del SERNAGEOMIN.	17
Figura 9: Mapa con la ubicación y distribución de los puntos del depósito de caída muestreados para este estudio.	18
Figura 10: Depósito de caída visto a distintas distancias respecto a la fuente de emisión (ver Figura 9).	20
Figura 11: Columnas estratigráficas de flujos piroclásticos y depósito de caída (FD) en el sector del río Frío y río Blanco (Modificado de Clavero <i>et al.</i> , 2015).	22
Figura 12: Tipos de escorias presentes en el depósito.	23
Figura 13: Detalle microscópico de los tres tipos de juveniles.	24
Figura 14: Vista en SEM de la morfología de los juveniles.	25
Figura 15: Mapa de ubicación de las muestras analizadas granulométricamente.	26
Figura 16: Columna tipo realizada en el punto KAL-17 ubicado a 6 km del cráter.	28
Figura 17: Componentes del depósito.	30
Figura 18: Triángulo de componentes de la muestra KAL-17, ubicada a 6km del cráter.	31
Figura 19: Porcentaje de componentes de la muestra KAL-17, ubicada a 6 km del cráter, para la fracción de 4 milímetros.	31
Figura 20: Distribución de componentes por nivel, de la muestra KAL-17, ubicada a 6 km, para los tamaños de 16, 8, 4, 2 y 1 mm.	32
Figura 21: Distribución de tipos de líticos según nivel, de la muestra KAL-17, ubicada a 6 km para los tamaños de 16, 8, 4,2 y 1 milímetros.	33
Figura 22: Fotografía de morfo granulómetro G3.	34

Figura 23: Parámetros de forma utilizados para este trabajo, modificado de Leibrandt y Le Pennec (2015).....	35
Figura 24 Parámetros de forma para los niveles (0), (1), (2) y (3).....	36
Figura 25: Diagrama TAS para el análisis de química de roca total de escorias para siete muestras extraídas de tres afloramientos de depósitos de caída.	38
Figura 26: Isópaca distal de 0,1 cm.....	43
Figura 27: Isópacas proximales de 30, 20, 15, 10,5 y 1 cm.	44
Figura 28: Gráfico obtenido con el método de decaimiento exponencial (Pyle, 1989), con modificaciones propuestas por Bonadonna y Houghton (2005).	45
Figura 29: Gráfico obtenido con el método de decaimiento según ley de potencia (Bonadonna y Houghton 2005).	46
Figura 30: Gráfico obtenido con el método de decaimiento con ajuste de Weibull (Bonadonna y Costa 2012).....	47
Figura 31: Esquema de zonas de una columna eruptiva (Carey y Sparks, 1986).....	48
Figura 32: Imagen modificada de los gráficos propuestos por Carey y Sparks (1986). .	49
Figura 33: Isópletas de 5, 4 y 3 cm construidas a partir de los clastos mayores del nivel (1), (Anexo 3).	52
Figura 34: Isópletas de 3, 2 y 1 cm construidas a partir de los clastos mayores del nivel (3), (Anexo 3).	53
Figura 35: Criterios de estimación del Índice de Explosividad Volcánica, IEV.	56
Figura 36: Dispersión de las plumas eruptivas.....	58
Figura 37: Relación entre niveles (0), (2) y (3) con los pulsos eruptivos que los habrían generado.	59
Figura 38: Fragmentos líticos anaranjados y su distribución porcentual en el depósito. 61	
Figura 39: Comparación de las líneas de tendencias obtenidas para la convexidad, solidez y circularidad de los 4 niveles del depósito.	62
Figura 40: Imágenes SEM tomadas a los juveniles en cada nivel del depósito.	66
Figura 41: Imágenes en SEM tomadas a los tres tipos de escorias.....	68
Figura 42: Evolución de la columna eruptiva del primer pulso, desarrollado entre las 18:05 y 19:35 horas del día 22 de abril de 2015.	69
Figura 43: Expansión de la región paraguas a partir de los relámpagos de la erupción.	70

Figura 44: Resumen esquemático de la cronología eruptiva del primer pulso.	72
Figura 45: Resumen esquemático de la cronología eruptiva del segundo pulso.....	73
Figura 46: Comparación de gráficos obtenidos en cálculo de volumen.	75
Figura 47: Comparación de isópacas distales y proximales realizadas este trabajo con las de Van Eaton <i>et al.</i> (2016).	77
Figura 48: Gráficos de medianas versus desviación estándar para distintos depósitos piroclásticos.....	79
Figura 49: Comparación de pluma eruptiva generada por las erupciones de Chaitén 2008, Cordón Caulle 2011 y Villarrica 2015.	80
Figura 50: Fotografías de las erupciones de 1917 y 1929 del volcán Calbuco. A: Erupción de 1917, vista desde el poniente de la actividad eruptiva (fotografía de O. Framm, 1917). B: Erupción de 1929, vista desde Puerto Varas de la columna eruptiva (fotografía de E. Karl).	81
Figura 51: Fotografías erupción de 1961 del volcán Calbuco.	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Puntos muestreados y su respectiva distancia a la fuente eruptiva (coordenadas en Anexo 2)	26
Tabla 2: Escala Phi, Folk y Ward (1957).	27
Tabla 3: Tipo de selección de los depósitos piroclásticos, Walker (1971).....	27
Tabla 4: Valores de áreas de cada isópaca y sus respectivas raíces cuadradas.....	44
Tabla 5: Resultados obtenidos con el método de decaimiento exponencial (Pyle, 1989)	45
Tabla 6: Resultados obtenidos con el método de decaimiento según ley de potencia (Bonadonna y Houghton 2005).	46
Tabla 7: Resultados obtenidos con el método de decaimiento con ajuste tipo Weibull (Bonadonna y Costa 2012).....	47
Tabla 8: Comparación de volumen del depósito obtenido mediante los métodos de Pyle (1989), Bonadonna y Houghton (2005) y Bonadonna y Costa (2012).....	47
Tabla 9: Valores de densidades obtenidos para las escorias Pardas.	51
Tabla 10: Valores de densidades obtenidos para escorias Grises Densas.....	51

Tabla 11: Valores obtenidos a partir de las isópletas construidas con los clastos mayores del nivel (1).	51
Tabla 12: Valores obtenidos a partir de las isópletas construidas con los clastos mayores del nivel (3).	52
Tabla 13: Valores de tasa eruptiva calculados para los niveles (1) y (3).....	54
Tabla 14: Valores de tasa eruptiva calculados para el primer y segundo pulso según los valores de altura máximas estimadas por Van Eaton <i>et al.</i> (2016).	55
Tabla 15: Resultado para el cálculo de tasa eruptiva promedio considerando el primer y segundo pulso eruptivo.	55
Tabla 16: Valores obtenidos de magnitud e intensidad promedio considerando ambos pulsos.....	57
Tabla 17: Comparación de altura máxima de la columna eruptiva del primer y segundo pulso con las alturas de columnas que habrían generado los niveles (1) y (3) del depósito de caída.	60
Tabla 18 Tasa eruptiva y volumen máximo teórico y porcentaje de volumen emitido para el primer y segundo pulso, usando los datos de altura de columna eruptiva de Van Eaton <i>et al.</i> , 2016.	62
Tabla 19: Valores obtenidos para volúmenes y tasas eruptivas considerando el nivel (1) como emitido durante el primer pulso y considerándolo como emitido en el segundo pulso.....	63
Tabla 20: Comparación de tasas eruptivas obtenidas para los niveles (1) y (3) con las estimadas para el primer y segundo pulso.	64
Tabla 21: Vesicularidad estimada de los fragmentos juveniles que componen el depósito (escoria Parda, escoria Gris Densa y escoria Blanquecina).	65
Tabla 22: Diferencias en vesicularidad, porcentaje de cristales y presencia de microlitos en los tres tipos de escorias identificados.	67
Tabla 23: Comparación de valores obtenidos con tres métodos de cálculo de volumen en este estudio.	75
Tabla 24: Volumen obtenido por Romero <i>et al.</i> (2016), Van Eaton <i>et al.</i> (2016) y por este estudio.	76
Tabla 25: Comparación de los valores de altura máxima de columnas obtenido en este trabajo y en Romero <i>et al.</i> (2016).	78

Tabla 26: Comparación de alturas obtenida para cada pulso por el SERNAGEOMIN y Van Eaton <i>et al.</i> , 2016.....	78
Tabla 27: Comparación de parámetros eruptivos las erupciones ocurridas en los últimos diez años en Chile.....	80
Tabla 28: Tabla resumen erupciones históricas volcán Calbuco, modificada de Petit-Breuilh (1999).....	82
Tabla 29: Química de roca total para tres muestras de escorias.	90
Tabla 30: Datos de espesores totales de los depósitos de caída dejados por el primer y segundo pulso. Las coordenadas se presentan en Datum WGS 84.	90
Tabla 31: Datos de espesores totales de los depósitos de caída dejados por el primer y segundo pulso y espesores medidos para cada nivel. Las coordenadas se presentan en Datum WGS 84.	91
Tabla 32: Datos de diámetros de clastos mayores para los niveles (1) y (3). Las coordenadas se presentan en Datum WGS 84.....	92
Tabla 33: Valores de tamizaje para la muestra KAL-17 ubicada a 6 km del cráter.	93
Tabla 34: Valores de tamizaje para la muestra KAL-26 ubicada a 10 km del cráter.	93
Tabla 35: Valores de tamizaje para la muestra KAL-27 ubicada a 14 km del cráter.	94
Tabla 36: Valores de tamizaje para la muestra KAL-49 ubicada a 26 km del cráter.	94
Tabla 37: Porcentajes de componentes para cada nivel y tamaño de la muestra KAL-17 ubicada a 6km del conducto.....	99