

Tabla de Contenido

1.	Introducción.....	1
1.1	Introducción.....	1
1.2	Área de estudio	2
1.3	Marco Teórico.....	3
1.4	Altura de la Línea de Equilibrio glaciar ELA.....	6
1.5	Zonación glaciar y marcadores geomorfológicos.....	10
1.6	Condicionantes climáticas en la posición de la ELA.....	12
1.7	Antecedentes de glaciaciones en Los Andes frente a Santiago.....	14
1.8	Marco Geológico	18
1.8.1	Rocas Estratificadas.....	18
1.8.1.1	Formación Nieves Negras.....	18
1.8.1.2	Formación Río Colina	18
1.8.1.3	Formación Río Damas	19
1.8.1.4	Formación Lo Valdés	19
1.8.1.5	Formación Colimapu	20
1.8.1.6	Formación Abanico	20
1.8.1.7	Formación Farellones	21
1.8.1.8	Unidad Volcánica Antigua	21
1.8.1.9	Unidad Volcánica Nueva.....	22
1.8.2	Depósitos No Consolidados	22
1.8.2.1	Depósitos fluviales, fluvioglaciales y aluviales.....	22
1.8.2.2	Depósitos lacustres	22
1.8.2.3	Depósitos de remociones en masa.....	22
1.8.2.4	Depósitos coluviales	23
1.8.2.5	Depósitos glaciales	23
1.8.3	Rocas Intrusivas.....	23
1.8.3.1	Intrusivos del Mioceno Inferior	23
1.8.3.2	Intrusivos del Mioceno Superior.....	24
1.8.4	Estructuras	24
1.9	Planteamiento Conceptual.....	26
1.10	Hipótesis.....	28
1.11	Objetivos.....	28
1.11.1	Objetivo General:.....	28

1.11.2	Objetivos Específicos:	28
2.	Metodología.....	29
2.1	Análisis histórico de la posición de los glaciares	29
2.1.1	Aplicación de índices normalizados	33
2.1.1.1	Índice de Diferencia Normalizada de Nieve (NDSI).....	33
2.1.1.2	Índice de Diferencia Normalizada Glaciar (NDGI)	36
2.1.1.3	Índice de Diferencia Normalizada de Nieve y Hielo (NDSII-2)	37
2.1.1.4	Índice de Diferencia Normalizada de IMD y sombra (IMD+Shadow)	39
2.1.2	Validación	40
2.1.3	Análisis climático	40
2.2	Identificación de rasgos geomorfológicos asociados a la posición de los glaciares	41
2.3	Estimación de la ELA en el período histórico con datos meteorológicos y sensores remotos	42
2.4	Determinación de la posición de los máximos avances de los glaciares durante el Pleistoceno tardío.....	44
2.5	Estimación de paleo-ELA's durante el Pleistoceno tardío-Holoceno	45
2.6	Comparación espacial y temporal de los factores que condicionan la ELA	48
2.6.1	Dataciones.....	48
2.6.1.1	Datación OSL	48
2.6.1.2	Datación mediante isótopos cosmogénicos.....	50
3.	Resultados Históricos.....	55
3.1	Análisis histórico de la posición de los glaciares y estimación de la Altura de la Línea de Equilibrio	55
3.2	Aplicación de Índices Normalizados.....	56
3.3	Validación	67
3.4	Estimación de Alturas de Líneas de Equilibrio (ELA's)	69
3.5	Análisis Climático	74
4.	Resultados Geomorfológicos y Geocronológicos.....	82
4.1	Antecedentes geomorfológicos y paleoclimáticos de los sistemas glaciales en Los Andes Subtropicales	82
4.2	Sistema Glacial de San Gabriel	85
4.2.1	Análisis morfoestratigráfico del Sistema Glacial de San Gabriel.....	85
4.2.2	Geocronología del Sistema Glacial de San Gabriel.....	92
4.2.3	Implicancias Paleoclimáticas del Sistema Glacial de San Gabriel	95
4.3	Sistema Glacial de La Engorda.....	99
4.3.1	Análisis morfoestratigráfico del Sistema Glacial de La Engorda	99
4.3.2	Geocronología del Sistema Glacial de La Engorda	115

4.3.3 Implicancias Paleoclimáticas del Sistema Glacial de La Engorda.....	122
5. Estimación de ELA's del Pleistoceno tardío en el río Volcán.....	125
5.1 Introducción.....	125
5.2 Estimación de ELA's y Paleo-ELA's y comparación de métodos	126
5.2.1 Método AAR (" <i>Accumulation Area Ratio</i> ").....	126
5.2.2 Método AABR (" <i>Area-Altitud Balance Ratio</i> ").....	132
5.2.3 Método THAR (" <i>Terminus Headwall Altitude Ratio</i> ").....	137
5.2.4 Comparación de métodos	139
5.3 Implicancias paleoclimáticas	140
6. Conclusiones	154
7. Bibliografía.....	157
8. Anexos.....	172

Lista de Anexos

Anexo A: Presentación Poster Aceptada en PAGES 2014.

Anexo B: Presentación Aceptada en GEOSUR 2013

Anexo C: Presentación en XIII Congreso Geológico Chileno 2012.

Anexo D: Sección de Metodología de Datación ^{14}C y OSL

Índice de Tablas

Tabla 1: Información de sensores remotos utilizados: fecha de adquisición, imagen, resolución, columna y fila de referencia.....	30
Tabla 2: Rangos de longitudes de onda y ancho de bandas espectrales y reflectancia de los diferentes sensores (en μm).....	34
Tabla 3: Valores de umbrales para la discriminación de clases o poblaciones aplicados a los índices normalizados NDSI, NDGI y NDSII-2 para cada escena analizada.....	35
Tabla 4: Índices espectrales normalizados NDSI, NDGI y NDSII-2, técnicas de extracción de información para el mapeo de coberturas supraglaciales desde sensores remotos y fuentes bibliográficas asociadas.....	39
Tabla 5: Información de Estaciones meteorológicas Quinta Normal y El Yeso, consideradas para el análisis climático.....	41
Tabla 6: Razones AAR sugeridas en la literatura científica.....	46
Tabla 7: Área en km^2 de clases correspondientes a las coberturas supraglaciales definidas para las escenas analizadas, considerando además el promedio (<i>Mean</i>), desviación estándar (<i>Desv</i>) y coeficiente de variación (<i>CV</i>).....	57
Tabla 8: Área en porcentaje de clases correspondientes a las coberturas supraglaciales definidas para las escenas analizadas.....	58
Tabla 9: Matriz de validación (<i>Confusion Matrix</i>), porcentajes de precisión en la clasificación y validación de coberturas supraglaciales para las escenas analizadas.....	68
Tabla 10: Estimación de la Altura Línea de Equilibrio (ELA) utilizando el método de Índices de Diferencias Normalizadas en imágenes satelitales Landsat para las escenas analizadas.....	70
Tabla 11: Tendencias climáticas anuales y estacionales en las estaciones Quinta Normal y El Yeso para el período 1964-2015. Se presenta la estación y temporada analizada; la pendiente de Sen correspondiente a la tendencia de los datos de la serie, los que pueden presentar tendencias positivas (aumentos) o negativas (disminuciones); el valor-p o <i>p-value</i> correspondiente a la significancia estadística de los resultados, el valor-p o <i>p-value</i> se convierte a % de confianza; las anomalías correspondientes a los rangos entre los cuales se presentan las variaciones de las tendencias.....	75
Tabla 12: Tendencias climáticas anuales en la estación Quinta Normal para el período 1911-1963. La pendiente de Sen corresponde a la tendencia de los datos de la serie, los que pueden presentar tendencias positivas (aumentos) o negativas (disminuciones); el <i>p-value</i> corresponde a la significancia estadística de los resultados.....	76
Tabla 13: Estimación de la Altura de la Línea de Equilibrio (ELA) utilizando el método matemático de Condom et al. (2007) para 3 escenas analizadas.....	80
Tabla 14: Edades ^{14}C y calibraciones del sistema glacial de La Engorda.....	118
Tabla 15: Sitios de muestreo y litología de bloques datados con método ^{36}Cl en sistema glacial La Engorda.....	119
Tabla 16: Edades método ^3He en sistema glacial La Engorda.....	121
Tabla 17: Estimación de ELA's aplicando el método AAR con diferentes relaciones de área de Acumulación y Ablación (0,60-0,65 y 0,67) para las cuencas paleoglaciales Volcán y La Engorda.....	129
Tabla 18: Estimación de ELA's aplicando el método AABR con diferentes relaciones de equilibrio o Balance Ratio [<i>BR</i>], considerando diferentes proporciones de área de Acumulación y Ablación o proporciones 0,60 y 0,65, para las cuencas paleoglaciales Volcán y La Engorda.....	134

Tabla 19: Estimación de ELA's aplicando el método THAR con diferentes proporciones de área de Acumulación y Ablación o proporciones 0,60 y 0,50, para las cuencas paleoglaciales Volcán y La Engorda.....	137
Tabla 20: Comparación de métodos de estimación de ELA's para las cuencas paleoglaciales Volcán y La Engorda.....	139

Índice de Figuras

Figura 1: Área de estudio. En línea negra límite de subcuenca el Volcán, cajón del Maipo.....	2
Figura 2: Distribución latitudinal y longitudinal de las ELA's entre los 30° y los 36°S (Brenning et al., 2005).....	7
Figura 3: Cálculo ELA's entre los 16° y los 55°S (Carrasco et al., 2008).....	7
Figura 4: Distribución longitudinal de las ELA's en la transecta valle del río Aconcagua-río Mendoza (Espizúa, 2002).....	8
Figura 5: Zonas glaciales, procesos y mecanismos de transporte de sedimentos asociados (Pedraza, 1996).....	10
Figura 6: Avances glaciales asincrónicos del Pleistoceno tardío-Holoceno en el Hemisferio Sur (Zech et al., 2008).....	12
Figura 7: Impacto de un aumento en la Altura de Línea de Equilibrio ELA en dos glaciares de valle, con diferentes gradientes. El impacto de un cambio en la ELA es mayor en el glaciar de valle B debido a que tiene un gradiente más plano y un ascenso en la línea de equilibrio afectará un área mayor de su superficie. [Modificado de Kerr (1993), Figura 4, p.335].....	13
Figura 8: Mapa Geológico Regional (33°30'-34°0'S y 70°0'-70°45'W). Fock (2005).....	25
Figura 9: Diagrama de flujo del procesamiento de imágenes satelitales. Modificado de Keshir et al. (2009).....	30
Figura 10: Diagrama de flujo del procesamiento de imágenes satelitales que incluye dos umbrales para el índice NDSII-2. Modificado de Keshir et al. (2009).....	31
Figura 11: Diagrama de flujo del procesamiento de imágenes satelitales incluyendo discriminación de sombra y aplicación de índice IMD+Shadow. Modificado de Keshir et al. (2009).....	32
Figura 12: Curvas Espectrales para las diferentes clases para los años 1989, 1999, 2007, 2013, 2014 y 2015. Elaboración propia.....	33
Figura 13: Histogramas de Índice de Diferencia Normalizada de Nieve (NDSI) para los años: 1989, 1999, 2007, 2013, 2014 y 2015. Elaboración propia.....	35
Figura 14: Histogramas Índice de Diferencia Normalizada Glaciar (NDGI) para los años: 1989, 1999, 2007, 2013, 2014 y 2015. Elaboración propia.....	37
Figura 15: Histogramas Índice de Diferencia Normalizada de Nieve y Hielo (NDSII-2) para los años: 1989, 1999, 2007, 2013, 2014 y 2015. Elaboración propia.....	38
Figura 16: Reconstrucción de paleo-ELA a través del método MELM. (Nesje & Olaf, 2000).....	42
Figura 17: Gráfico de barras correspondiente a los kilómetros cuadrados (km ²) de las coberturas supraglaciales definidas para las imágenes analizadas.....	58
Figura 18: Gráfico de barras correspondiente a los porcentajes (%) de las coberturas supraglaciales definidas para las imágenes analizadas.....	59
Figura 19: Gráfico de línea correspondiente al área total (km ²) de cobertura supraglacial para las imágenes analizadas.....	59
Figura 20: Vista 3D de distribución espacial de coberturas supraglaciales resultado de la aplicación Índices de Diferencias Normalizadas para el año 1989 en la cuenca del río Volcán.....	61
Figura 21: Vista 3D de distribución espacial de coberturas supraglaciales resultado de la aplicación Índices de Diferencias Normalizadas para el año 1999 en la cuenca del río Volcán.....	62
Figura 22: Vista 3D de distribución espacial de coberturas supraglaciales resultado de la aplicación Índices de Diferencias Normalizadas para el año 2007 en la cuenca del río Volcán.....	63
Figura 23: Vista 3D de distribución espacial de coberturas supraglaciales resultado de la aplicación Índices de Diferencias Normalizadas para el año 2013 en la cuenca del río Volcán.....	64
Figura 24: Vista 3D de distribución espacial de coberturas supraglaciales resultado de la aplicación Índices de Diferencias Normalizadas para el año 2014 en la cuenca del río Volcán.....	65

Figura 25: Vista 3D de distribución espacial de coberturas supraglaciales resultado de la aplicación Índices de Diferencias Normalizadas para el año 2015 en la cuenca del río Volcán.....	66
Figura 26: Gráfico de barras correspondiente a los porcentajes de validación de 5 clases, 4 de ellas correspondientes a coberturas supraglaciales de las escenas analizadas.....	67
Figura 27: Vista en 2D de la delimitación de las Alturas de las Líneas de Equilibrio (ELA) para los años 1989 y 1999 en el glaciar localizado en la pared oeste del volcán San José, a través de la aplicación del método de Índices de Diferencia Normalizada.....	71
Figura 28: Vista en 2D de la delimitación de las Alturas de las Líneas de Equilibrio (ELA) para los años 2007 y 2013 en el glaciar localizado en la pared oeste del volcán San José, a través de la aplicación del método de Índices de Diferencia Normalizada.....	72
Figura 29: Vista en 2D de la delimitación de las Alturas de las Líneas de Equilibrio (ELA) para los años 2014 y 2015 en el glaciar localizado en la pared oeste del volcán San José, a través de la aplicación del método de Índices de Diferencia Normalizada.....	73
Figura 30: Comportamiento de los períodos de ablación de las escenas analizadas, considerando la sumatoria de los días con temperaturas mínimas < 0°C (grados días de congelamiento). El período 1988-1989 y 2013-2014 concentran la mayor cantidad de días con temperaturas mínimas < 0°C. Elaboración propia.....	77
Figura 31: Comportamiento de los períodos de ablación de las escenas analizadas, considerando la sumatoria de los días con temperaturas mínimas > 0°C (grados días de fusión). El período 2006-2007 presenta al final de la época de ablación una menor cantidad de días con temperaturas mínimas > 0°C. Elaboración propia.....	78
Figura 32: Posición de las ELA's durante el período histórico 1984-2010 calculadas a partir del método de Condom et al. (2007) donde se presentan las líneas de equilibrio calculadas con los datos de temperatura y precipitación de las estaciones Queltehues (línea roja) y El Yeso (línea azul), comparadas con las ELA's calculadas por el DGF de la Universidad de Chile a través del procesamiento de imágenes MODIS (línea verde).....	80
Figura 33: Localización y distribución de cuatro sistemas glaciales identificados en el valle de del río Volcán. De este a oeste: sistema de La Engorda, sistema de Baños Colina, sistema de Las Arenas y sistema de San Gabriel.....	84
Figura 34: Geomorfología, estratigrafía y geocronología del sistema glacial de San Gabriel. Elaboración propia.....	90
Figura 35: Vista panorámica del sistema glacial de San Gabriel. De este a oeste se observan depósitos morrénicos correspondientes al sistema glacial El Yeso, superficie aterrazada, flujo de detritos en la zona media de la superficie aterrazada, depósitos coluviales correspondientes a conos coluviales en las laderas norte del valle, depósitos fluvio-glaciales correspondientes a planicie de lavado (<i>outwash plain</i>) dispuestos en terraza, depósito de remoción en masa correspondiente a deslizamiento en ladera norte del valle.....	91
Figura 36: Sitios de muestreo y edades método OSL, sistema glacial de San Gabriel. Elaboración propia.....	92
Figura 37: Lugar de muestreo RM07-01 método OSL, sistema glacial de San Gabriel: a) vista general del depósito correspondiente a la planicie de lavado (<i>outwash plain</i>) aterrazada vinculada a los sistemas glaciales del Maipo y Volcán; b) vista de estrato muestreado correspondiente a arenas laminares; c) mecanismo de toma de muestra correspondiente a RM07-01.....	93
Figura 38: Lugar de muestreo RM07-02 método OSL, sistema glacial de San Gabriel: a) vista general del depósito correspondiente a la planicie de lavado (<i>outwash plain</i>) aterrazada vinculada a	

los sistemas glaciales del Maipo y Volcán; b) vista de estrato muestreado correspondiente a arenas laminares; c) mecanismo de toma de muestra correspondiente a RM07-02.....	93
Figura 39: Lugar de muestreo RM07-03 método OSL, sistema glacial de San Gabriel: a) vista general del depósito correspondiente a la planicie de lavado (<i>outwash plain</i>) aterrizada vinculado al sistema glacial El Yeso; b) vista de estrato muestreado correspondiente a arenas laminadas; c) mecanismo de toma de muestra correspondiente a RM07-03.....	94
Figura 40: Contacto unidades morfoestratigráficas glaciales (morrenas y "glaciofluvial") río El Yeso (Ormeño, 2007).....	96
Figura 41: Transporte de detritos en los ambientes supraglacial, intraglacial y subglacial. Fuente: Principles of Physical Geology (ed. P. Mc L.D Duff), Chapman & Hallen en Bennett & Glasser (2009).....	96
Figura 42: Planta y sección transversal de formas de depósito en zonas intraglaciales y proglaciales. Fuente: en Encyclopedia of Geology (eds R.C. Selley, L.R.M. Cocks & I.R. Plimer), Elsevier, Amsterdam en Bennett & Glasser (2009).....	97
Figura 43: Esquema este-oeste del sistema glacial de la Engorda Alta, sistemas morrénicos en los márgenes externos del sistema, al interior del complejo se presentan superficies aterrizadas colgadas inferidas como terrazas. Fotografía vista este hacia el volcán San José, morrenas frontal-lateral (punta de arpón) y superficies aterrizadas colgadas.....	100
Figura 44: Detalle de la geomorfología y litología del sistema glacial La Engorda. Elaboración propia.....	102
Figura 45: Sistema glacial de La Engorda. Sistema morrénico represando sedimentos finos glaciolacustres de fondo y sedimentos más gruesos correspondientes a planicie aluvial en el techo del depósito. Casillas negras indican localización de calicatas y desarrollo de columnas estratigráficas. Fotografías: Izquierda M2 vista oeste del cordón morrénico 2 (tomada hacia el este del volcán San José); Derecha M1 vista noreste del cordón morrénico 1 (tomada hacia el oeste del valle de Las Arenas).....	103
Figura 46: Vista hacia el este del sistema glacial de La Engorda. Se observa el volcán San José y los glaciares actuales en las laderas del edificio volcánico, depósitos de ladera correspondiente a cono o abanico aluvial, conos de coluvio y remociones en masa. Se reconoce una planicie fluvio-glacial con depósitos de baja energía.....	104
Figura 47: Vista hacia el oeste del sistema glacial de La Engorda. Se observa el primer cordón morrénico (interno) correspondiente a M1 e incisión fluvial cortando el depósito, se reconocen también depósitos de ladera correspondientes a conos de coluvio y remoción en masa. Se identifica una planicie fluvio-glacial con depósitos de baja energía. En segundo plano, al fondo y como referencia, se observa la remoción en masa de Las Amarillas.....	104
Figura 48: Columna estratigráfica M1, primer cordón morrénico, sistema glacial de La Engorda. Elaboración propia.....	105
Figura 49: Columna estratigráfica correspondiente al segundo cordón morrénico (exterior) M2, del sistema glacial de La Engorda.....	106
Figura 50: a) Depósito de arena media masiva con escasos clastos de grava angulosa y subredondeados [M2-1-30]; b) Depósito lenticular de limo masivo [M2-2-40]; c) Depósito de gravilla a grava subredondeada a angulosa con mala selección [M2-3-100].....	106
Figura 51: Marcas de erosión glaciar en bloques del sistema glacial de La Engorda: a) estrías glaciares y marcas lunoides (<i>crescentic gouges</i>) que marcan la dirección del flujo de hielo; b) marcas lunoides (<i>crescentic gouges</i>) en bloque del lecho del valle glacial evidenciando erosión glaciar y direccionalidad del flujo de hielo.....	107
Figura 52: Vista hacia el este del valle de La Engorda, fotografía e interpretación morfológica con dirección hacia el volcán San José.....	108

Figura 53: Calicata sobre planicie fluvio-glacial aguas arriba de los cordones morrénicos de La Engorda. Elaboración propia.....	109
Figura 54: Sistema glacial del valle Las Arenas, sistema glacial complejo. De sur a norte depósitos fluvio-glaciales (inferidos), sistema morrénico compuesto (5 cordones) y depósitos morrénicos de fondo (inferidos). De este a oeste zoom zona intermorrénica, área de depósitos glaciofluviales. Elaboración propia.....	112
Figura 55: a) Primer cordón morrénico del sistema glacial del valle Las Arenas; b) Fotografía de calicata en primer cordón morrénico del sistema de Las Arenas. Elaboración propia.....	112
Figura 56: Sistema glacial de Las Arenas. Arriba sistema aguas arriba de las morrenas frontales, se observan canales glaciofluviales y depósitos morrénicos de fondo. Abajo se observa el límite entre el dominio glaciofluvial y el dominio fluvio-glacial vista aguas abajo del valle de Las Arenas.....	113
Figura 57: Qc Depósitos coluviales; Ql Depósitos lacustres; Qrmd (a) Depósitos de remoción en masa por avalancha de areniscas y conglomerados, fotografía e interpretación de González (2010). Depósitos lacustres formados por el represamiento del río Colina debido a una avalancha de roca a 24.5 ± 0.4 ¹⁴ C ka BP (Moreno, 1991).....	114
Figura 58: Muestras Morrena 1 [M1] a) Depósito oscuro de materia orgánica [M1-C14-15]; b) Depósito limo masivo [M1-C14-20]; c) Depósito lentes de arena fina irregular [M1-C14-46]; d) Depósito limo masivo [M1-C14-49].....	116
Figura 59: Muestras Morrena 2 [M2] a) Depósito lenticular de limo masivo [M2-C14-40]; b) Depósito limo [M2-C14-85]; c) Depósito limo masivo con alternancia de depósitos de distinta granulometría desde gravilla a grava con matriz de arena media a gruesa [M2-C14-165].....	116
Figura 60: Muestras calicata aguas arriba morrenas La Engorda a) Depósito de limo masivo cohesivo, con lentes escasos de arena fina a media [LE-1]; b) Depósito de lentes de arcilla masiva y arena media con laminación cruzada [LE-2]; c) Depósito de arena fina y limo con estratificación, niveles oscuros de materia orgánica [LE-3].....	117
Figura 61: Sitios de muestreo y edades método ³⁶ Cl. Croquis y datos de terreno del sistema glacial de La Engorda. Datos inéditos de este trabajo, elaboración propia.....	119
Figura 62: Bloques de muestreo método ³⁶ Cl, sistema glacial de La Engorda. Izquierda conglomerado M1 (ENG-I-1); Derecha brecha M2 (ENG-II-2).....	120
Figura 63: Sección estratigráfica del sistema glacial de La Engorda y detalle de la geocronología y métodos de datación. Elaboración propia.....	120
Figura 64: Sistema glacial de Las Arenas. Izquierda: Morrena frontal y planicie fluvio-glacial, facies proglacial; Derecha: Sistemas morrénicos y depósitos glaciofluviales, facies subglacial.....	124
Figura 65: Método AAR o Accumulation Area Ratio. Modificado de Porter (2001).....	126
Figura 66: Tipos de curvas hipsométricas: 1 curva convexa, 2 curva sinusoidal, 3 curva cóncava (modificado de Keller & Pinter, 1996).....	127
Figura 67: Distribución de alturas y porcentaje de área sobre los rangos altitudinales definidos, representados a través de las curvas hipsométricas en las cuencas paleoglaciales de El Volcán (curva azul) y La Engorda (curva roja).....	129
Figura 68: Estimación de ELA's utilizando el método AAR considerando proporciones de 0,60 - 0,65 - 0,67 entre el área de acumulación y área total. Las curvas hipsométricas de las cuencas paleoglaciales de El Volcán se representa en la curva azul y La Engorda corresponde a la curva roja.....	130
Figura 69: Comparación de posiciones de ELA's, en azul Altura de Líneas de Equilibrio moderna, en rojo posición de ELA durante el LGM, en verde estimación de ELA durante al LLLGM, utilizando	

el método AAR considerando razones de 0,60 - 0,65 - 0,67 entre el área de acumulación y área total.....	131
Figura 70: Reconstrucción de áreas de acumulación y ablación considerando diferentes proporciones (ratios) para el cálculo de las relaciones de equilibrio (BR). a) Paleoglaciario Volcán considerando razón 0,65 en violeta área de acumulación, en calipso área de ablación; b) Paleoglaciario Volcán considerando razón 0,60 en violeta área de acumulación, en calipso área de ablación; c) Paleoglaciario La Engorda considerando razón 0,65 en amarillo área de acumulación, en calipso área de ablación; d) Paleoglaciario La Engorda considerando razón 0,60 en amarillo área de acumulación, en calipso área de ablación.....	133
Figura 71: Estimación de ELA's utilizando método AABR para paleoglaciares La Engorda (arriba) y Volcán (abajo). Diferentes ELA's calculadas a partir de proporciones de 0,60 y 0,65 entregan como resultado variaciones de 100 metros para cada relación Acumulación/Ablación.....	135
Figura 72: Comparación de posiciones de ELA's, en azul Altura de Líneas de Equilibrio moderna, en rojo posición de ELA durante el LGM, en verde estimación de ELA durante al LLGM, utilizando el método AABR considerando proporciones 0,60 - 0,65 entre el área de acumulación y área total.....	136
Figura 73: Esquema del método THAR (Terminus Headwall Altitude Ratio). Modificado de Porter (2001).....	137
Figura 74: Comparación de posiciones de ELA's, en azul Altura de Líneas de Equilibrio moderna, en rojo posición de ELA durante el LGM, en verde estimación de ELA durante al LLGM, utilizando el método THAR considerando proporciones 0,50 - 0,60 entre el área de acumulación y área total.....	138
Figura 75: Estratigrafía glacial del valle del río Grande y correlación tentativa de la secuencia glacial con la del valle del Mendoza. Espizua & Bigazzi (1998).....	140
Figura 76: Comparación entre reconstrucciones de testigos de hielo de Groenlandia (GISP2) y reconstrucción de sedimentos marinos de Cariaco, costa venezolana. Se observa concordancia entre ambos proxys demostrando el carácter hemisférico del YD (Boes & Fagel, 2008).....	142
Figura 77: Comparación de testigos de hielo de Groenlandia (arriba en negro) y Antártica (abajo en verde) evidencia anticorrelación en el tardiglacial, más notorio para el Younger Dryas (Labeyrie et al., 2003).....	143
Figura 78: Mapa resumen de las investigaciones y asociaciones a eventos <i>Younger Dryas</i> y/o <i>Antarctic Cold Reversal</i> o sin asociación (Bravo & Herrera, 2012).....	144
Figura 79: Resumen de las condiciones paleoclimáticas del Pleistoceno tardío-Holoceno considerando datos de Lamy et al. (1999) y Stuut & Lamy (2004) para la reconstrucción del índice de humedad de la Costa en el Norte y Centro de Chile, Valero-Garcés et al. (2005) para la reconstrucción de indicadores lacustres de Chile Central, Espizua & Bigazzi (1998) para la reconstrucción de avances glaciales en Los Andes de Argentina y datos de la presente investigación para la reconstrucción de avances glaciales en Los Andes de Chile. Elaboración propia.....	149
Figura 80: Respuesta de las ELAs frente a la variabilidad climática actual. A) y C) variabilidad interanual (a 1σ) de la temperatura media anual y la precipitación media anual a través de Los Andes. B) y D) distribución latitudinal de la respuesta de las ELAs a un incremento de 1σ en la temperatura media anual y el total de precipitación anual (Sagredo et al., 2014).....	152
Figura 81: Respuesta de las ELAs frente a los cambios en precipitación y temperatura estratificados por regímenes climáticos. A) Cambio de la ELA frente a un incremento de 1 metro en la precipitación media anual. B) Cambio de la ELA frente a un incremento de 1°C en la temperatura. Los círculos representan la respuesta media de las ELAs para cada grupo climático. Las barras de error corresponden a 1σ de la media (Sagredo et al., 2014).....	152