

TABLA DE CONTENIDO

Abstract	iii
Tabla de contenido	iv
1. Introducción.....	1
1.1. Formulación del estudio propuesto.....	1
1.2. Hipótesis de trabajo	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Ubicación y zona de estudio	4
1.5. Clima del área de estudio.....	10
1.6. Metodología.....	14
1.6.1. Trabajo de gabinete preterreno.....	14
1.6.2. Trabajo en terreno.....	14
1.6.3. Trabajo de gabinete posterreno.....	15
2. Marco geológico.....	16
2.1. Antecedentes tectónicos y morfoestructurales.....	16
2.2. Unidades estratificadas	18
2.2.1. Formación Nieves Negras (Álvarez <i>et al.</i> , 1999, 2000).....	20
2.2.2. Formación Río Colina (González, 1963).....	21
2.2.3. Formación Río Damas (Klohn, 1960)	21
2.2.4. Formación Lo Valdés (González, 1963)	21
2.2.4.1. Formación Baños Morales y redefinición de Lo Valdés.....	22
2.2.5. Formación Colimapu (Klohn, 1960)	22
2.2.5.1. Unidad Las Coloradas (Mardones, 2019)	23
2.2.6. Formación Abanico (Aguirre, 1960)	23
2.2.7. Unidad Volcánica Antigua (Thiele y Katsui, 1969).....	23
2.2.8. Unidad Volcánica Nueva (Thiele y Katsui, 1969)	24
2.3. Unidades intrusivas.....	24
2.3.1. Unidad Intrusiva I (Thiele, 1980).....	24
2.3.2. Unidad Intrusiva II (Thiele, 1980).....	24
2.4. Depósitos no consolidados.....	24
2.4.1. Depósitos fluviales, fluvio-glaciales y aluviales.....	25
2.4.2. Depósitos lacustres	26

2.4.3.	Depósitos de remoción en masa	26
2.4.4.	Depósitos coluviales	26
2.4.5.	Depósitos glaciales	26
2.5.	Estructuras	26
2.5.1.	Falla Chacayes-Yesillo	27
2.5.2.	Falla El Diablo	27
2.5.3.	Falla Baños Colina	27
2.5.4.	Falla Estero Las Minas	27
2.6.	Sismicidad	27
2.7.	Volcanes en los Andes centrales	29
2.7.1.	Complejo Volcánico San José	30
2.8.	Glaciares en los Andes centrales	34
3.	Movimientos en masa de origen glaciar	39
3.1.	Glaciares, movimientos en masa y cambio climático	39
3.2.	Tipos de movimientos en masa	40
3.2.1.	Avalanchas de hielo	40
3.2.2.	<i>Surges</i>	45
3.2.3.	Deslizamientos catastróficos	50
3.2.4.	Inundaciones por vaciamiento de lagos glaciares (<i>GLOFs</i>)	54
3.2.5.	Lahares	60
3.3.	Factores condicionantes	63
3.3.1.	Avalanchas de hielo	63
3.3.2.	<i>Surges</i>	66
3.3.3.	Deslizamientos catastróficos	68
3.3.4.	<i>GLOFs</i>	70
3.3.5.	Lahares primarios	74
3.4.	Agentes desencadenantes	77
3.4.1.	Sismos	77
3.4.2.	Precipitación	78
3.4.3.	Temperatura	79
3.4.4.	Volcanismo	80
3.4.5.	Otros factores	81
3.5.	Evaluación de peligro	83
4.	Glaciares en el río Volcán	87
4.1.	Inventarios existentes	87
4.2.	Inventario Río Volcán 2022	90

4.3.	Tipos de glaciares	95
4.3.1.	Glaciares de montaña.....	96
4.3.2.	Glaciares de valle.....	99
4.3.3.	Glaciaretos	106
4.3.4.	Glaciares rocosos	107
4.4.	Variaciones y características generales.....	108
4.4.1.	Espesor	108
4.4.2.	Cambios de extensión.....	113
4.4.3.	Velocidad superficial	126
4.4.4.	Balance de masa	131
4.4.5.	Temperatura.....	135
4.4.6.	Hidrología.....	140
4.5.	Proyecciones futuras	142
5.	Análisis de susceptibilidad.....	147
5.1.	Susceptibilidad de movimientos en masa	147
5.2.	Metodología de análisis	149
5.2.1.	Escala de evaluación.....	150
5.2.2.	Ponderación de factores.....	152
5.2.2.1.	Avalanchas de hielo	153
5.2.2.2.	Surges	154
5.2.2.3.	Deslizamientos catastróficos	156
5.2.2.4.	GLOFs.....	158
5.2.2.5.	Lahares primarios	160
5.2.3.	Esquema de aplicación	162
6.	Resultados	164
6.1.	Catastro de movimientos en masa	164
6.2.	Mapas de susceptibilidad.....	168
6.2.1.	Área piloto I.....	168
6.2.2.	Área piloto II	172
6.2.3.	Subsubcuenca Río Volcán	176
6.2.3.1.	Avalanchas de hielo	176
6.2.3.2.	Surges	179
6.2.3.3.	Deslizamientos catastróficos	181
6.2.3.4.	GLOFs.....	183
6.2.3.5.	Lahares	185

7. Discusión	188
7.1. Evaluación de susceptibilidad.....	188
7.1.1. Avalanchas de hielo.....	190
7.1.2. <i>Surges</i>	192
7.1.3. Deslizamientos catastróficos	194
7.1.4. <i>GLOFs</i>	199
7.1.5. Lahares.....	203
7.2. Análisis crítico de la metodología	208
7.2.1. Factores condicionantes.....	209
7.2.2. Análisis simplificado	211
7.2.3. Comparación entre análisis.....	220
7.3. Aspectos generales.....	226
7.3.1. Insumos para su aplicación.....	226
7.3.2. Aplicabilidad a otras cuencas	228
7.3.3. Consideraciones finales	231
8. Conclusiones	233
8.1. Movimientos en masa de origen glaciar en los Andes centrales	233
8.2. Susceptibilidad ante movimientos en masa originados en glaciares	234
8.3. Recomendaciones y estudios futuros.....	237
Bibliografía.....	238
Anexos.....	260
Anexo A: Variabilidad climática del área de estudio	260
A.1. Cambios a escala global.....	261
A.2. Cambios a escala local.....	264
A.3. Comparativa ENSO	268
A.4. Alcances según tipo de movimiento en masa.....	272
Anexo B: Metodología para estimación de profundidad con radar para hielo (GPR)	274
Anexo C: Metodología para estimación de velocidad superficial con CIAS	278
Anexo D: Registro sísmico en el área de estudio	279
Anexo E: Inventario de glaciares Río Volcán 2022	281
Anexo F: Inventario de lagos glaciares Río Volcán 2022	281
Anexo G: Cálculo de IS por fenómeno (análisis detallado y simplificado)	283
Anexo H: Desglose factores condicionantes análisis simplificado	284
Anexo I: Ejemplo de aplicación del análisis de susceptibilidad.....	287
Anexo J: Imágenes satelitales y fotografías aéreas empleadas en el estudio	291