

# Tabla de Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos . . . . .	2
1.1.1. Objetivo general . . . . .	2
1.1.2. Objetivos específicos . . . . .	2
1.2. Organización del informe . . . . .	2
<b>2. Revisión bibliográfica</b>	<b>3</b>
2.1. Cambio climático . . . . .	3
2.1.1. Escenarios RCP . . . . .	3
2.1.2. Evidencia y proyecciones en Chile . . . . .	4
2.1.3. Efecto en eventos meteorológicos extremos . . . . .	6
2.2. Hidrología de nieve . . . . .	7
2.2.1. Balance de energía . . . . .	8
2.2.2. Eventos de lluvia sobre nieve . . . . .	9
2.3. Modelación hidrológica . . . . .	11
2.3.1. Cold Regions Hydrological Model . . . . .	11
2.3.2. Estudios previos con CRHM en los Andes . . . . .	13
2.4. Métodos de estimación de caudales en cuencas no controladas . . . . .	13
2.4.1. Método DGA-AC para crecidas pluviales . . . . .	14
2.4.2. Método de Verni y King modificado para crecidas pluviales . . . . .	15
2.4.3. Método DGA-AC para crecidas de deshielo . . . . .	15
<b>3. Zona de estudio</b>	<b>17</b>
3.1. Antecedentes generales . . . . .	17
3.2. Clima . . . . .	18
3.3. Geomorfología . . . . .	19
3.4. Fluviometría . . . . .	20
3.5. Glaciares . . . . .	21
3.6. Cobertura de suelo . . . . .	21
<b>4. Metodología</b>	<b>23</b>
4.1. Información meteorológica . . . . .	23
4.2. Métodos empíricos en la estimación de caudales máximos . . . . .	24
4.2.1. Fluviometría . . . . .	24
4.2.1.1. Análisis de frecuencia de caudales extremos . . . . .	24
4.2.2. Formulas empíricas de precipitación - escorrentía . . . . .	25
4.2.2.1. Precipitación diaria máxima de periodo de retorno 10 años . . . . .	25
4.2.2.2. Área aportante pluvial . . . . .	26

4.2.2.3.	Estimación de caudales con métodos empíricos . . . . .	27
4.2.3.	Corrección coeficientes de fórmulas empíricas . . . . .	27
4.3.	Modelación en CRHM . . . . .	27
4.3.1.	Delimitación URH . . . . .	27
4.3.2.	Distribución de forzantes meteorológicas . . . . .	29
4.3.3.	Construcción del modelo . . . . .	30
4.3.4.	Calibración . . . . .	31
4.3.5.	Definición de eventos de ROS . . . . .	33
4.3.5.1.	Caracterización de eventos ROS extremos . . . . .	33
4.3.6.	Determinación isoterma 0°C . . . . .	34
<b>5.</b>	<b>Resultados</b>	<b>35</b>
5.1.	Resultados construcción del modelo en CRHM . . . . .	35
5.1.1.	Obtención de forzantes meteorológicas . . . . .	35
5.1.2.	Calibración del modelo . . . . .	36
5.1.3.	ROS históricos . . . . .	37
5.2.	Métodos de estimación de caudales máximos . . . . .	38
5.2.1.	Registros fluviométricos . . . . .	38
5.2.2.	Precipitación diaria máxima . . . . .	39
5.2.3.	Verificación de fórmulas empíricas precipitación - escorrentía . . . . .	40
5.3.	Modelo con cambio climático . . . . .	42
5.3.1.	ROS históricos con modelo CCSM4 . . . . .	43
5.3.2.	Variación isoterma 0°C . . . . .	45
5.3.3.	ROS futuros con modelo CCSM4 . . . . .	46
5.4.	Caracterización de eventos ROS extremos . . . . .	47
5.4.1.	Coefficiente de escorrentía directa . . . . .	47
5.4.2.	Variaciones del SWE . . . . .	50
<b>6.</b>	<b>Análisis de resultados</b>	<b>53</b>
6.1.	Sobre las forzantes . . . . .	53
6.2.	Calibración del modelo . . . . .	53
6.3.	Métodos de estimación de caudales . . . . .	55
6.4.	Eventos de lluvia sobre nieve (ROS) . . . . .	55
<b>7.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>57</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>59</b>
	<b>Anexo A. Grilla Balance Hídrico Nacional</b>	<b>63</b>
	<b>Anexo B. Disponibilidad datos de caudal</b>	<b>64</b>
	<b>Anexo C. Tablas Manual Calculo de Crecidas del MOP</b>	<b>65</b>
	<b>Anexo D. Definición URH</b>	<b>67</b>
	<b>Anexo E. Evaluación regresión lineal de temperatura</b>	<b>69</b>
	<b>Anexo F. Forzantes modelo CRHM</b>	<b>70</b>

Anexo G. Parámetros módulos de CRHM	73
Anexo H. SWE y humedad del suelo	75
Anexo I. Precipitación diaria máxima y curvas I-D-F	76
Anexo J. Caudales máximos instantáneos históricos	78