

# Tabla de Contenido

<b>Capítulo 1 – Introducción</b> .....	1
1.1. Motivación .....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.2.1. Objetivos Generales .....	2
1.2.2. Objetivos Específicos .....	2
1.3. Organización del informe .....	2
<b>Capítulo 2 – Revisión Bibliográfica</b> .....	4
2.1. Modelo Hidrológico VIC .....	4
2.3. Cambio Climático .....	8
2.3.1. Variabilidad climática y sus forzantes .....	9
2.3.2. Modelos de Circulación General .....	10
2.3.3 Escenarios de simulación .....	11
2.3.4. Escalamiento de variables climáticas .....	12
2.4. Eventos de crecida .....	14
2.5. Factores generadores de un aluvión .....	16
2.6. Estudios previos que relacionan el cambio climático y los eventos extremos .....	18
<b>Capítulo 3 – Caracterización zona de estudio</b> .....	20
3.1. Descripción general .....	20
3.2. Clima .....	21
3.3. Hidrología .....	21
3.4. Geología .....	23
3.5. Hidrogeología .....	25
3.5. Información disponible .....	25
3.5.1. Estaciones Meteorológicas .....	26
3.5.2. Estaciones Fluviométricas .....	27
<b>Capítulo 4 – Metodología</b> .....	29
4.1. Caracterización eventos extremos históricos en la cuenca .....	29
4.2. Modelación Hidrológica en VIC .....	37
4.2.1. Regionalización .....	39
4.3. Experimentos de combinación de variables entre eventos seleccionados .....	40
4.4. Incorporación del cambio climático en el modelo .....	41
4.5. Confección de la actualización del mapa suelo de material no consolidado .....	44

<b>Capítulo 5 – Resultados</b> .....	46
5.2. Simulación hidrológica a partir del Modelo VIC .....	46
5.2.1 Simulación periodo histórico .....	46
5.2.2. Experimentos de distintos escenarios.....	47
5.3. Escenario futuro Cambio Climático .....	57
5.4. Actualización mapa de suelo con material no consolidado .....	61
<b>Capítulo 6 – Conclusiones y comentarios</b> .....	64
6.1. Caracterización de eventos extremos.....	64
6.2. Modelación hidrológica VIC .....	64
6.3. Experimentos combinación variables meteorológicas entre eventos.....	64
6.4. Incorporación proyecciones cambio climático .....	65
6.5. Actualización mapa de suelo de material no consolidado .....	65
<b>Bibliografía</b> .....	67
<b>Glosario</b> .....	70
<b>Anexo A – Análisis de frecuencia</b> .....	71
<b>Anexo B – Simulación en VIC y Regionalización</b> .....	72
<b>Anexo C – Escalamiento AR</b> .....	76
<b>Anexo D – Forzantes meteorológicas escaladas</b> .....	84

## Índice de Tablas

Tabla 3-1: Leyenda mapa geológico .....	24
Tabla 3-2: Coordenadas estaciones meteorológicas.....	26
Tabla 3-3: Coordenadas estaciones fluviométricas .....	27
Tabla 4-1: Precipitación acumulada de la tormenta y su periodo de retorno .....	30
Tabla 4-2: Precipitación acumulada de la tormenta y su periodo de retorno .....	31
Tabla 4-3: Precipitación acumulada de la tormenta y su periodo de retorno .....	33
Tabla 4-4: Precipitación acumulada de la tormenta y su periodo de retorno .....	34
Tabla 4-5: Precipitación acumulada de la tormenta y su periodo de retorno .....	36
Tabla 5-1: Componentes fórmula KGE.....	47
Tabla 5-2: Número de ocurrencia de eventos con precipitación mayores a 10 (mm) bajo el escenario RCP8.5. Método de escalamiento QDM. ....	59
Tabla 5-3: Número de ocurrencia de eventos con precipitación mayores a 10 (mm) bajo el escenario RCP8.5. Método de escalamiento AR.....	59
Tabla 5-4: Resumen variaciones anuales. Método QDM bajo el escenario RCP8.5 .....	61
Tabla 5-5: Resumen variaciones anuales. Método AR bajo el escenario RCP8.5 .....	61
Tabla 5-6: Nivel proyectado para la isoterma 0° promedio para el periodo 2030-2060, bajo el escenario RCP8.5. ....	62

## Índice de Imágenes

Figura 2-1: Esquema funcionamiento modelo VIC. Fuente: Gao et al, 2009 .....	5
Figura 2-2: Tipo de suelo según textura. Fuente: FAO, 2006 .....	6
Figura 2-3: Método Penman-Monteith. Fuente: Maurer, 2011 .....	7
Figura 2-4: Partición lluvia-nieve. Fuente: Gao et al, 2009 .....	7
Figura 2-5: esquema simulación nieve VIC. ....	8
Figura 2-6: Balance radiativo de la Tierra. Fuente: IPCC, 2013 .....	8
Figura 2-7: Reconstrucción de la temperatura a partir de distintas forzantes al sistema. Fuente: Crowley (2000).....	9
Figura 2-8: Diferencias de temperatura respecto al periodo 1961- 1990. Fuente: Trenberth, 2007 .....	10
Figura 2-9: Esquema general GCM. ....	11
Figura 2-10: Escenarios de desarrollo socioeconómicos RCPs. Fuente: AR5 del IPCC, 2013. ....	12
Figura 2-11: Esquema downscaling. Fuente: Assefa et al., 2014.....	13
Figura 2-12: Las respuestas anuales a variación precipitación (valores $\epsilon$ ) y temperatura (valores S) cambian. Fuente: Vano y Lettenmaeir (2014) .....	14
Figura 2-13: Respuestas mensuales para las elasticidades de precipitación (superior), $\epsilon$ y las sensibilidades de temperatura (inferior), S, en la cuenca del río Yakima calculadas utilizando diferentes incrementos de cambio (líneas de color). Fuente: Vano y Lettenmaeir (2014).....	16
Figura 2-14: esquema de un flujo de detritos canalizado. Fuente: .....	17
Figura 2-15: Número de desastres naturales registrados en el EMDAT. Fuente EMDAT, 2006 ..	18
Figura 2-16: Distribución de eventos meteorológicos dependiendo de la temperatura y la precipitación. Estudio realizado para zona central de Chile. Fuente: CEPAL, 2012 .....	19
Figura 3-1: Mapa ubicación zona de estudio.....	20
Figura 3-2: Climograma zona de estudio .....	21
Figura 3-3: Curva variación estacional. Estación fluviométrica río tránsito antes de la junta con el río Carmen .....	22
Figura 3-4: Curva de variación estaciones. Estación fluviométrica Ramadillas .....	23
Figura 3-5: Mapa geológico .....	24
Figura 3-6: Mapa hidrogeológico .....	25
Figura 3-7 Mapa estaciones meteorológicas .....	27
Figura 3-8: Mapa estaciones fluviométricas.....	28
Figura 4-1: Distribución espacial de la precipitación acumulada del evento 1. ....	30
Figura 4-2: Distribución espacial de la temperatura media para evento 1. ....	31
Figura 4-3: Distribución espacial de la precipitación acumulada del evento 2. ....	32
Figura 4-4: Distribución espacial de la temperatura media para evento 2. ....	32
Figura 4-5: Distribución espacial de la precipitación acumulada del evento 3. ....	33
Figura 4-6: Distribución espacial de la temperatura media para evento 3. ....	34
Figura 4-7: Distribución espacial de la precipitación acumulada del evento 4. ....	35
Figura 4-8: Distribución espacial de la temperatura media para evento 4. ....	35
Figura 4-9: Distribución espacial de la precipitación acumulada del evento 5. ....	36
Figura 4-10: Distribución espacial de la temperatura media para evento 1. ....	37
Figura 4-11: Esquema funcionamiento modelo VIC.....	38
Figura 4-12: Regionalización de parámetros calibrados .....	39
Figura 4-13: Esquema de la transposición para el caso de la temperatura .....	41
Figura 4-14: Esquema proceso de obtención de las forzantes a nivel local .....	42

Figura 4-15: Esquema escalamiento espacial.....	43
Figura 4-16: Capa de material no consolidado. Fuente: Cabré, A., 2019. ....	44
Figura 5-1: Simulación caudal periodo 1979 al 2015.....	46
Figura 5-2: Combinación de temperaturas para el evento 1 .....	47
Figura 5-3 Combinación de temperaturas para el evento 2 .....	48
Figura 5-4: Combinación de temperaturas para el evento 3 .....	49
Figura 5-5: Combinación de temperaturas para el evento 4 .....	49
Figura 5-6: Combinación de temperaturas para el evento 5 .....	50
Figura 5-7 Combinación de precipitación para el evento 1 .....	51
Figura 5-8: Combinación de precipitación para el evento 2.....	51
Figura 5-9: Combinación de precipitación para el evento 3.....	52
Figura 5-10: Combinación de precipitación para el evento 4.....	53
Figura 5-11: Combinación de precipitación para el evento 5.....	53
Figura 5-12: Modificación de la humedad antecedente a nivel alto para el evento 1 .....	54
Figura 5-13: Modificación de la humedad antecedente a nivel alto para el evento 2 .....	55
Figura 5-14: Modificación de la humedad antecedente a nivel alto para el evento 3 .....	55
Figura 5-15: Modificación de la humedad antecedente a nivel alto .....	56
Figura 5-16: Modificación de la humedad antecedente a nivel alto para el evento5 .....	57
Figura 5-17: Boxplot para precipitación mayor a 10 mm, para el periodo 2030 al 2060.....	58
Figura 5-18 Boxplot para temperatura asociada a la precipitación mayor a 10 mm, para el periodo 2030 al 2060 .....	58
Figura 5-19: Caudal medio mensual para el periodo 2030 al 2060 pata el método de escalamiento QDM, bajo el escenario RCP8.5. Línea base 1979-2015. ....	60
Figura 5-20: Caudal mayor a 30 m <sup>3</sup> /s, bajo el escenario RCP8.5.....	60
Figura 5-21: Mapa de material no consolidado zona de estudio .....	62