

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: Introducción	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Objetivos	4
Objetivo General.....	4
Objetivos Específicos	4
1.3. Estructura de Informe	4
CAPÍTULO 2: Zona de Estudio.....	6
CAPÍTULO 3: Metodología	10
3.1. Modelos Hidrológicos.....	10
3.2. Variables de entrada para los modelos Hidrológicos.....	13
3.3. Calibración y validación.	14
3.4. Cambio Climático.....	16
CAPÍTULO 4: Análisis de la información disponible.....	19
4.1 Análisis espacial de la información.	19
4.2 Análisis temporal de la información.....	26
CAPÍTULO 5: Resultados de la modelación hidrológica.....	32
5.1. DHSVM.....	32
5.2. WEAP.....	41
5.3. Discusión	46
CAPÍTULO 6: Comentarios y Conclusiones.....	51
Bibliografía.....	54
ANEXOS A: Artículo presentado en el XXVII Congreso Latinoamericano de ingeniería Hidráulica, Lima, Perú, Septiembre de 2016.....	I

ANEXOS B: Artículo por enviar a un Journal Científico	XIV
ANEXOS C: Forzantes climáticas	XXXIX
ANEXOS D: Ecuaciones modelos hidrológicos	XLI
1. Ecuaciones del modelo DHSVM.....	XLI
2. Ecuaciones del modelo WEAP.....	XLVIII
3. Otras ecuaciones	LII

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Zona de Estudio.	6
Figura 2.2 Curva de variación estacional en río Olivares antes de junta río Colorado. Fuente: modificado de DGA, 2000.	7
Figura 2.3 Curva hipsométrica de la cuenca del río Olivares.....	9
Figura 2.4 Distribución de la elevación y orientación de los pixeles glaciares comprendidos en la cuenca de estudio para los años 1986 y 2015.....	9
Figura 3.1 Esquema del módulo glaciar del modelo DHSVM. Fuente Naz et al., 2014.....	11
Figura 3.2 Esquema conceptual de cada sub-división con los procesos hidrológicos asociados. Fuente WEAP USER MANUAL, modificada para este trabajo.	12
Figura 3.3 Esquema conceptual modelo WEAP módulo Glaciar. Fuente Castillo, 2015.	13
Figura 4.1 Balance de volumen considerando como entrada la precipitación acumulada en la cuenca y el aporte glaciar según el tipo de año hidrológico (Castillo, 2015) y como salida la evapotranspiración.....	20
Figura 4.2 Comportamiento de la precipitación acumulada en la cuenca, en base al modelo de Cornwell et al., 2016 y la precipitación de verano, en los distintos años hidrológicos con la elevación.	20
Figura 4.3 Comportamiento de los coeficientes de la ecuación cúbica para el gradiente orográfico de precipitación frente a la precipitación acumulada en el año hidrológico en la estación Pirque.	21
Figura 4.4(izq) Balance de masa para el glaciar Juncal Norte. (der) Relación entre el balance de masa y la elevación señalada por el DEM para los glaciares que poseen información LIDAR los años 2012 y 2015.....	24
Figura 4.5 Mascara glaciar estimada mediante índice NDSI a la imagen LANDSAT 5 del 16-03-1989 y Espesor de las mediciones de radio-eco-sondaje en los principales glaciares de la cuenca, realizada el año 2012. En el fondo se encuentra el falso color de la imagen Landsat 5.	25
Figura 4.6 Relación entre el área y volumen. (izq) fuente Bahr, 1997, (der) obtenida para los glaciares de Chile central.....	26
Figura 4.7 Curva de variación estacional para la precipitación y temperatura de los 5 GCM	

seleccionados después de realizar el escalamiento espacial con la estación Pirque como base....	28
Figura 4.8 (a) Proyección de temperatura media anual, (b) curva de variación estacional de temperatura para el futuro cercano y (c) curva de variación estacional de precipitación para el futuro lejano.....	29
Figura 4.9 (a) Proyección de precipitación anual, (b) curva de variación estacional de precipitación para el futuro cercano y (c) curva de variación estacional de precipitación para el futuro lejano.....	31
Figura 4.10 Variabilidad entre los GCM seleccionados para la temperatura y precipitación en la línea base, futuro cercano y lejano.	31
Figura 5.1 Serie de (a) caudal y (b) cobertura nival observado y simulado para el período de calibración y validación obtenida en base al DHSVM.....	34
Figura 5.2 (a) Proyección caudal total anual, (b) curva de variación estacional del caudal total para el futuro cercano y (c) curva de variación estacional del caudal total para el futuro lejano en base al DHSVM.....	37
Figura 5.3 (a) Proyección caudal glaciar anual, (b) curva de variación estacional del caudal glaciar para el futuro cercano y (c) curva de variación estacional del caudal glaciar para el futuro lejano en base al DHSVM.	38
Figura 5.4 Proyección de (a) área y (b) volumen de los glaciares en la cuenca del río Olivares bajo el escenario RCP 8.5 para el modelo DHSVM.	38
Figura 5.5 Serie de (a) caudal y (b) cobertura nival observado y simulado para el período de calibración y validación obtenida en base al modelo WEAP.....	42
Figura 5.6 (a) Proyección caudal total anual, (b) curva de variación estacional del caudal total para el futuro cercano y (c) curva de variación estacional del caudal total para el futuro lejano en base al WEAP.....	44
Figura 5.7 (a) Proyección caudal glaciar anual, (b) curva de variación estacional del caudal glaciar para el futuro cercano y (c) curva de variación estacional del caudal glaciar para el futuro lejano en base al WEAP.	45
Figura 5.8 Proyección de (a) área y (b) volumen de los glaciares en la cuenca del río Olivares bajo el escenario RCP 8.5 para el modelo WEAP.....	45

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Documentación de retroceso glaciar en Chile Central.	2
Tabla 1.2 Trayectorias Representativas de Concentración. Fuente Modificada de Moss et al., 2010.	3
Tabla 2.1 Estaciones hidrometeorológicas y fluviométricas utilizadas.....	8
Tabla 4.1 Media de la Humedad Relativa, Velocidad del Viento y Nubosidad de la cuenca del Río Olivares para el período 2001/02-2011/12.	26
Tabla 4.2 Desviación estándar de la Humedad Relativa, Velocidad del Viento y Nubosidad de la cuenca del Río Olivares para el período 2001/02-2011/12	27
Tabla 4.3 Proyecciones de aumentos de temperatura para el futuro cercano y lejano.	29
Tabla 4.4 Proyecciones de variaciones porcentuales de precipitación para el futuro cercano y lejano.	30
Tabla 5.1 Criterios de eficiencia para la calibración y validación del caudal y cobertura nival Modelo DHSVM	34
Tabla 5.2 Proyecciones de caudal medio mensual y anual promedio para el futuro cercano y lejano. Modelo DHSVM.	36
Tabla 5.3 Proyecciones de caudal glaciar medio mensual y anual promedio para el futuro cercano y lejano. Modelo DHSVM.	37
Tabla 5.4 Fracción de aporte de glaciares al escurrimiento anual y en el período de deshielo según el año hidrológico en base al DHSVM.	39
Tabla 5.5 Proyecciones de caudal medio mensual y anual promedio para el futuro cercano y lejano. Modelo DHSVM considerando distribución homogénea del espesor perdido por el glaciar.	40
Tabla 5.6 Proyecciones de caudal glaciar medio mensual y anual promedio para el futuro cercano y lejano. Modelo DHSVM considerando distribución homogénea del espesor perdido por el glaciar.	40
Tabla 5.7 Criterios de eficiencia para la calibración y validación del caudal y cobertura nival obtenida en base al modelo WEAP.	42
Tabla 5.8 Proyecciones de caudal medio mensual y anual promedio para el futuro cercano y lejano.	

lejano. Modelo WEAP.....	43
Tabla 5.9 Proyecciones de caudal glaciar medio mensual y anual promedio para el futuro cercano y lejano. Modelo WEAP.	44
Tabla 5.10 Fracción de aporte de glaciares al escurrimiento anual y en el período nival según el año hidrológico en base al WEAP.....	46
Tabla 5.11 Resumen de proyecciones de caudal total y glaciar mediante los modelos DHSVM y WEAP.....	47
Tabla 5.12 Resumen de porcentajes de aporte glaciar según el tipo de año hidrológico. MS representa un año hidrológico muy seco, S un año seco, N un año normal, H un año húmedo y MH un año muy húmedo.....	49