

TABLA DE CONTENIDO

1	Introducción	1
1.1	Objetivos	2
1.1.1	Objetivo General.....	2
1.1.2	Objetivos específicos.....	2
1.2	Organización del informe	3
2	Revisión Bibliográfica.....	4
2.1	Hidrología de nieves.....	4
2.1.1	Balace de energía.....	4
2.1.2	Procesos hidrológicos subsuperficiales	8
2.1.3	Albedo	9
2.2	Tiempo de residencia	11
2.3	Estudios previos.....	13
2.4	Cold Regions Hydrological Model (CRHM)	15
2.4.1	Componentes de CRHM.....	15
2.4.2	Módulos del CRHM.....	16
2.5	Cambio climático	17
3	Zona de estudio	19
3.1	Ubicación	19
3.2	Hidrología y estaciones de monitoreo	20
3.2.1	Estación Valle Nevado – Universidad de Chile.....	22
3.3	Sistema natural	23
3.3.1	Topografía	23
3.3.2	Clima	24
3.3.3	Suelos y geología	25
3.3.4	Vegetación.....	25
4	Metodología	26
4.1	Recopilación de información y preparación de datos	26
4.2	Construcción modelo puntual en estación Valle Nevado	27
4.3	Construcción modelo semi-distribuido en la cuenca	29
4.3.1	Delimitación de Unidades de respuesta hidrológica	29
4.3.2	Distribución espacial variables meteorológicas	30
5	Resultados.....	33
5.1	Modelo de balance de energía puntual	33
5.1.1	Datos de entrada	33

5.1.2	Evolución del Albedo	35
5.1.3	Modelación del Snow Water Equivalent	37
5.1.4	Intercambio de energía en el manto de nieve.....	38
5.1.5	Derretimiento y contenido de frío.....	41
5.1.6	Análisis bajo cambio climático	43
5.2	Modelo semi-distribuido cuenca Mapocho en Los Almendros	46
5.2.1	Cobertura nival	46
5.2.2	Derretimiento semanal.....	50
5.2.3	Caudales	55
5.2.4	Tiempo de residencia	62
6	Discusión	65
6.1	Albedo	65
6.2	Balance de energía puntual	65
6.3	Modelo semi-distribuido en CRHM.....	66
7	Conclusiones	68
	Bibliografía	70
	Anexos	73
	Anexo A: Relleno de datos.....	73
	Temperatura	73
	Humedad Relativa	75
	Viento.....	76
	Precipitación	77
	Radiación solar	79
	Albedo.....	81
	Anexo B: Procesamiento imágenes MODIS	81
	Anexo C: Análisis sensibilidad a parámetros de suelo.....	82
	Anexo D: Comparación albedo	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Volumen de control para el cálculo de derretimiento de nieve (Fuente: Modificado de Pomeroy et al. 2007).....	4
Figura 2.2 Diagrama conceptual del modelo SNOBAL (Fuente: Modificado de Marks & Winstral, 2001)	7
Figura 2.3 Modelo conceptual del suelo de CRHM (Fuente: Modificado de Fang et al.,2013)	9
Figura 3.1 Mapa de la zona de estudio	19
Figura 3.2 Curva de variación estacional río Mapocho en Los Almendros.....	20
Figura 3.3 Mapa de subcuencas y estaciones de monitoreo	21
Figura 3.4 Estación Valle Nevado Abril 2016	22
Figura 3.5 Curva hipsométrica cuenca Mapocho en Los Almendros	24
Figura 3.6 Curvas hipsométricas según subcuenca.....	24
Figura 4.1 Respuesta espectral del LI-200R junto con la distribución energética en el espectro solar (Fuente: LI-COR página web oficial).....	28
Figura 4.2 Delimitación de unidades de respuesta hidrológica para modelo semi-distribuido. Elevación según satélite SRTM	30
Figura 4.3 Precipitación anual según estaciones de la cuenca por elevación.....	31
Figura 5.1 Temperatura en Valle Nevado año hidrológico 2015-2016	34
Figura 5.2 Precipitación en Valle Nevado año hidrológico 2015-2016	34
Figura 5.3 Albedo calculado en Valle Nevado desde agosto 2013 hasta octubre 2015.....	35
Figura 5.4 Decaimiento del albedo para invierno	36
Figura 5.5 Decaimiento del albedo para otoño.....	37
Figura 5.6 SWE y fracción cubierta de nieve en Valle nevado	38
Figura 5.7 Flujo de energía en el manto de nieve en Valle Nevado	39
Figura 5.8 Energía acumulada en el Manto de nieve Valle Nevado.....	40
Figura 5.9 Derretimiento diario	41
Figura 5.10 Derretimiento acumulado	42
Figura 5.11 Contenido de frío del manto de nieve.....	43
Figura 5.12 Comparación SWE bajo distintas condiciones de temperatura y precipitación	44
Figura 5.13 Comparación SWE para escenarios proyectados de cambio climático.....	44
Figura 5.14 SWE máximo y duración del manto según condiciones climáticas	45
Figura 5.15 Fractional Snow Covered Area subcuenca SFaYL	47
Figura 5.16 Fractional Snow Covered Area subcuenca YLaSF	48
Figura 5.17 Fractional Snow Covered Area subcuenca SFeYLyM.....	48
Figura 5.18 Fractional Snow Covered Area subcuenca MaSF.....	49
Figura 5.19 Derretimiento semanal por URH simulado en CRHM	54
Figura 5.20 Derretimientos semana 30 de Septiembre 2015	55
Figura 5.21 Caudales horarios modelado y observado subcuenca MaSF	56
Figura 5.22 Caudales horarios modelado y observado subcuenca YLaSF.....	56
Figura 5.23 Balance de masa en porcentaje para subcuenca río Molina antes junta río San Francisco	57
Figura 5.24 Balance de masa en porcentaje para subcuenca estero Yerba Loca antes junta río San Francisco	57
Figura 5.25 Balance de masa en mm para subcuenca río Molina antes junta río San Francisco.....	58

Figura 5.26 Balance de masa en mm para subcuenca estero Yerba Loca antes junta río San Francisco	58
Figura 5.27 Caudales medios diarios modelados y observados subcuenca estero Yerba Loca antes junta río San Francisco	61
Figura 5.28 Caudales medios diarios modelados y observados subcuenca río Molina antes junta río San Francisco.....	61
Figura 5.29 Caudales medios semanales modelados y observados subcuenca estero Yerba Loca antes junta río San Francisco	61
Figura 5.30 Caudales medios semanales modelados y observados subcuenca río Molina antes junta río San Francisco.....	61
Figura 5.31 Caudales medios mensuales modelados y observados subcuenca estero Yerba Loca antes junta río San Francisco	62
Figura 5.32 Caudales medios mensuales modelados y observados subcuenca río Molina antes junta río San Francisco.....	62
Figura 5.33 Derretimientos según banda de elevación subcuenca YLaSF	64
Figura 5.34 Derretimiento según banda de elevación subcuenca MaSF	64
Figura A - 1 Serie de temperaturas horarias en estaciones DGA.....	73
Figura A - 2 Temperatura promedio diaria medida en estaciones DGA y estación Valle Nevado.....	74
Figura A - 3 Distribución de temperatura horaria en Valle Nevado	74
Figura A - 4 Temperatura promedio diaria medida y calculada en estación Valle Nevado	75
Figura A - 5 Serie de humedad relativa horaria en estaciones DGA	76
Figura A - 6 Humedad relativa en Valle Nevado año hidrológico 2015-2016	76
Figura A - 7 Velocidad del viento en Valle Nevado año hidrológico 2015-2016	77
Figura A - 8 Precipitación horaria estaciones DGA dentro de la cuenca	77
Figura A - 9 Precipitación diaria MeLA y VN	78
Figura A - 10 Precipitación diaria YLaSF en VN.....	78
Figura A - 11 Precipitación diaria MaSF en VN.....	78
Figura A - 12 Precipitación diaria en Valle nevado medida y calculada con gradiente...79	
Figura A - 13 Radiación solar de onda corta incidente en Valle Nevado año hidrológico 2015-2016	80
Figura A - 14 Radiación de onda larga incidente en Valle Nevado año hidrológico 2015-2016	81
Figura A - 15 Albedo en Valle Nevado año hidrológico 2015-2016.....	81
Figura C - 1 Caudales subcuenca YLaSF con cambios en parámetros de suelo.....	83
Figura C - 2 Caudales subcuenca MaSF con cambios en parámetros de suelo	84
Figura D - 1 Comparación albedo modelado y medido	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Variables de estado de nieve y forzantes para el modelo SNOBAL (Fuente: Modificado de Marks & Winstral, 2001)	7
Tabla 3.1 Estaciones de monitoreo DGA	21

Tabla 3.2 Equipos estación Valle Nevado - Universidad de Chile.....	23
Tabla 4.1 Disponibilidad de datos 2015-2016	26
Tabla 4.2 Calicatas realizadas en Valle Nevado para 2015	27
Tabla 5.1 Series decaimiento del albedo para invierno	36
Tabla 5.2 Series decaimiento del albedo para otoño	37
Tabla 5.3 Comparación SWE calicatas y CRHM.....	38
Tabla 5.4 Componentes del balance de energía en el manto de nieve Valle Nevado ...	39
Tabla 5.5 Coeficiente de correlación R^2 para fSCA en cada subcuenca.....	49
Tabla 5.6 Indices de eficiencia del modelo.....	60
Tabla 5.7 Tiempo de residencia del agua en cada componente según subcuenca	63
Tabla C - 1 Parámetros de infiltración y suelo modelo distribuido.....	82
Tabla C - 2 Parámetros de conductividad hidráulica saturada modelo distribuido	83