

# Tabla de Contenido

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introducción</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1      | Motivación . . . . .   | 2         |
| 1.2      | Alcances y Objetivo General . . . . .                            | 2         |
| 1.3      | Objetivos Específicos . . . . .                                  | 3         |
| 1.4      | Estructura del informe . . . . .                                 | 3         |
| <b>2</b> | <b>Antecedentes y revisión bibliográfica</b>                     | <b>4</b>  |
| 2.1      | Almacenamiento hidrológico . . . . .                             | 4         |
| 2.2      | Procesos físicos asociados al manto nival . . . . .              | 5         |
| 2.2.1    | Transporte eólico . . . . .                                      | 6         |
| 2.2.2    | Condición del manto nival . . . . .                              | 9         |
| 2.2.3    | Balance de energía . . . . .                                     | 10        |
| 2.3      | Instrumentación automatizada para la medición de nieve . . . . . | 16        |
| 2.3.1    | Snow Scale . . . . .   | 16        |
| 2.3.2    | Snow Pack Analyser (SPA) . . . . .                               | 18        |
| 2.4      | Cold Regions Hydrological Model (CRHM) . . . . .                 | 19        |
| <b>3</b> | <b>Zona y periodo de estudio</b>                                 | <b>21</b> |
| 3.1      | Ubicación . . . . .  | 21        |
| 3.2      | Fisiografía . . . . .  | 21        |
| 3.3      | Clima y régimen hidrológico . . . . .                            | 26        |
| 3.4      | Monitoreo fluviométrico y meteorológico . . . . .                | 26        |
| 3.4.1    | Estación UChile – Valle Nevado . . . . .                         | 28        |
| <b>4</b> | <b>Condiciones meteorológicas y del manto de nieve</b>           | <b>31</b> |
| 4.1      | Condiciones meteorológicas . . . . .                             | 31        |
| 4.1.1    | Variables calculadas . . . . .                                   | 32        |
| 4.1.2    | Evntos de precipitación . . . . .                                | 34        |
| 4.2      | Condiciones del manto nival . . . . .                            | 36        |
| <b>5</b> | <b>Balance de energía y derretimiento a nivel puntual</b>        | <b>39</b> |
| 5.1      | Construcción del modelo CRHM a nivel puntual . . . . .           | 39        |
| 5.2      | Resultados . . . . .   | 39        |
| <b>6</b> | <b>Modelación distribuida con CRHM</b>                           | <b>43</b> |
| 6.1      | Discretización espacial: Definición de URH . . . . .             | 43        |
| 6.2      | Distribución de variables meteorológicas . . . . .               | 45        |
| 6.2.1    | Temperatura . . . . .  | 45        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 6.2.2    | Precipitación . . . . .                                     | 46        |
| 6.2.3    | Radiación . . . . .   | 48        |
| 6.3      | Evolución temporal y distribución espacial de SWE . . . . . | 50        |
| 6.3.1    | Módulos CRHM . . . . .                                      | 50        |
| 6.4      | Modelación hidrológica con CRHM . . . . .                   | 51        |
| <b>7</b> | <b>Discusión y conclusiones</b>                             | <b>54</b> |
| 7.1      | Discusión . . . . .   | 54        |
| 7.1.1    | Zona de estudio, monitoreo y modelamiento . . . . .         | 54        |
| 7.1.2    | Observaciones nivométricas . . . . .                        | 54        |
| 7.1.3    | Medición de radiación solar . . . . .                       | 55        |
| 7.1.4    | Modelo de balance de energía . . . . .                      | 55        |
| 7.1.5    | Modelo hidrológico de escorrentía superficial . . . . .     | 56        |
| 7.2      | Conclusiones . . . . .                                      | 56        |
|          | <b>Bibliografía</b>   | <b>59</b> |
| <b>A</b> | <b>Medición de la radiación solar</b>                       | <b>62</b> |
| A.1      | Piranómetros y corrección espectral . . . . .               | 62        |
| A.2      | Comparación de medición radiación neta sensores . . . . .   | 65        |

# Índice de figuras

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 2.1 | Temperatura crítica para la separación de eventos de lluvia o nieve . . . . .                                   | 5  |
| 2.2 | Modos de transporte de nieve por viento . . . . .   | 7  |
| 2.3 | Volumen de control transporte de nieve por viento . . . . .   | 8  |
| 2.4 | Esquema de flujos para balance de energía en el manto . . . . .   | 11 |
| 2.5 | Instalación Snow Scale en estación UChile-Valle Nevado. Mayo 2013 . . . . .                                     | 17 |
| 2.6 | Dimensiones Snow Scale . . . . .  | 17 |
| 2.7 | Pictures of animals . . . . .   | 18 |
|     |   |    |
| 3.1 | Cuenca Río Mapocho en Los Almendros . . . . .   | 22 |
| 3.2 | Mapa de elevaciones - Mapocho en Los Almendros . . . . .  | 23 |
| 3.3 | Unidades geológicas y subcuencas . . . . .  | 25 |
| 3.4 | Variaciones estacionales de: a) temperatura, b) precipitación y c) caudal en Mapocho en Los Almendros . . . . . | 27 |
| 3.5 | Estaciones fluviométricas y meteorológicas . . . . .  | 27 |
| 3.6 | Estación UChile – Valle Nevado. Agosto 2013 . . . . .   | 28 |
| 3.7 | Estación UChile – Valle Nevado. Junio 2013 . . . . .  | 29 |
| 3.8 | Alturas instrumentales . . . . .  | 30 |
|     |   |    |
| 4.1 | Datos estación UChile – Valle Nevado . . . . .  | 33 |
| 4.2 | Datos estación UChile – Valle Nevado, por evento de precipitaciones . . . . .                                   | 35 |
| 4.3 | Mediciones SPA estación UChile – Valle Nevado . . . . .   | 36 |
| 4.4 | Mediciones SPA estación UChile – Valle Nevado. 22 al 29 de sept . . . . .                                       | 37 |
|     |   |    |
| 5.1 | Balance de energía en estación UChile – Valle Nevado . . . . .  | 41 |
| 5.2 | Balance de energía en estación UChile – Valle Nevado. Periodo 2 . . . . .                                       | 42 |
|     |   |    |
| 6.1 | Curvas hipsométricas subcuencas en Mapocho en Los Almendros . . . . .   | 44 |
| 6.2 | Resumen topografía de unidades de respuesta hidrológica . . . . .   | 44 |
| 6.3 | Delimitación de URH - Mapocho en Los Almendros . . . . .  | 45 |
| 6.4 | Gradientes de temperatura . . . . .   | 46 |
| 6.5 | Precipitación registrada en las estaciones . . . . .  | 47 |
| 6.6 | Precipitación en la temporada registrada según elevación . . . . .  | 48 |
| 6.7 | Mapa de radiación global en la cuenca Mapocho en Los Almendros para 08 de agosto . . . . .                      | 49 |
| 6.8 | SWE modelada por CRHM . . . . .   | 51 |
| 6.9 | Simulación de caudales para subcuenca del Río Molina antes de la junta con Río San Francisco . . . . .          | 52 |

|      |   |    |
|------|---|----|
| A.1  | Respuesta espectral normalizada del piranómetro Li-200 comparada con la distribución de la radiación global . . . . . | 62 |
| A.2  | Radiación solar global medida por fotodiodo de silicio (ordenadas) y termopila (abscisas) . . . . .                   | 63 |
| A.3  | Radiación solar global medida por fotodiodo de silicio (ordenadas) y termopila (abscisas) . . . . .                   | 63 |
| A.4  | Radiación solar medida por piranómetros Li200 . . . . .   | 64 |
| A.5  | Radiación OC, OL y extraterrestre en la estación . . . . .  | 65 |
| A.6  | Comparación OC neta. Diferenciación por intervalo de días . . . . .   | 66 |
| A.7  | Comparación OC neta. Diferenciación por condiciones de cielo . . . . .  | 66 |
| A.8  | Comparación OC neta. Diferenciación horaria . . . . .   | 67 |
| A.9  | Comparación OC reflejada (OCre) e incidente (OCin). 07 de agosto. . . . .   | 68 |
| A.10 | Comparación OC reflejada (OCre) e incidente (OCin). 09 de agosto. . . . .   | 68 |
| A.11 | Radiación solar medida por piranómetros Li200 . . . . .   | 69 |

# Índice de tablas

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 3.1 | Superficies subcuencas . . . . .                                       | 24 |
| 3.2 | Estaciones meteorológicas y fluviométricas . . . . .                   | 28 |
| 3.3 | Sensores instalados en estación UChile – Valle Nevado . . . . .        | 29 |
| 4.1 | Eventos de precipitaciones durante el priodo de medición . . . . .     | 34 |
| 6.1 | Nomenclatura subcuencas . . . . .                                      | 43 |
| 6.2 | Estaciones meteorológicas DGA con registros de temperatura . . . . .   | 45 |
| 6.3 | Estaciones meteorológicas DGA con registros de precipitación . . . . . | 47 |