

UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

# **CAMBIO CLIMÁTICO Y EVENTOS DE EMERGENCIA EN EL SUMINISTRO DE AGUA POTABLE EN EL GRAN SANTIAGO**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**DAVID BUSTOS CAVADA**

**PROFESOR GUÍA**

GERARDO AHUMADA THEODULOZ

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN**

ERNESTO BROWN FERNÁNDEZ

JAMES MCPHEE TORRES

**SANTIAGO DE CHILE**

**MAYO DE 2011**

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**  
**POR: David Bustos Cavada**  
**FECHA: 5 de Agosto de 2011**  
**PROF. GUÍA: Gerardo Ahumada Theoduloz**

**“CAMBIO CLIMÁTICO Y EVENTOS DE EMERGENCIA EN  
EL SUMINISTRO DE AGUA POTABLE EN EL GRAN SANTIAGO”**

El trabajo desarrollado apunta a la elaboración de una propuesta de medidas de mitigación y de seguridad en el suministro de agua potable en el Gran Santiago, frente a emergencias relacionadas a los cambios climáticos proyectados para el período 2070 - 2100, con énfasis en las crecidas de origen pluvial y los eventos de turbiedad que afectan a la cuenca del río Maipo Alto (Región Metropolitana). Para ello, se realizó una revisión bibliográfica sobre los posibles impactos del cambio climático en el rubro sanitario, se hizo una descripción general de la zona de interés, y se estudió la evolución y/o estado actual de las precipitaciones, temperaturas, elevación de la isoterma 0° C, uso de suelo y parámetros fluviométricos en la subcuenca.

Más específicamente, se hizo un análisis, diagnóstico y verificación documental de los registros fluviométricos de la estación Río Maipo en El Manzano, representativos de la cuenca de interés tanto por su ubicación como por su cercanía a la Toma Independiente de Aguas Andinas. Mediante el uso de la curva hipsométrica de la subcuenca del Maipo Alto, en conjunto con información de la elevación de la isoterma 0 °C, obtenida de las estaciones de radiosonda Quintero y Santo Domingo; y de precipitaciones registradas en la estación Santiago Quinta Normal, se establecieron relaciones entre el caudal instantáneo máximo de un evento y las variables antes descritas. Un proceso análogo se efectuó para la turbiedad media de los eventos de turbiedad registrados entre 1997 y 2008, que no necesariamente coinciden con las crecidas.

Entre los principales resultados y conclusiones obtenidos del trabajo, se encuentran:

- La mayor amenaza al suministro de agua potable en el Gran Santiago no sería la mayor cantidad de nieve derretida durante el verano, sino la mucha menor capacidad potencial de acumularla durante el invierno, considerando que un posible futuro aumento permanente de la isoterma 0 °C de 200 m, 350 m, y 440 m se traduciría en un aumento del área de drenaje invernal del 18%, 34% y 42%, respectivamente, en relación a la situación actual.
- De manera de enfrentar satisfactoriamente un evento de turbiedad de 5 días de duración, se recomienda a Aguas Andinas la incorporación de 2 m<sup>3</sup>/s adicionales a la producción de emergencia de agua potable (a nivel de estanque), y la construcción de nuevos estanques de reserva que, en total, deberían contabilizar 250.000 m<sup>3</sup>.
- Cualquier estudio de crecidas que haga uso de registros fluviométricos en Río Maipo en El Manzano debería, a priori, utilizar información a partir de la sequía de 1968, dada la notoria mejoría en la regularidad, periodicidad y continuidad de las mediciones hechas a partir de entonces.

Además, se recomienda la incorporación de mediciones de radiosonda en estaciones de montaña, o incluso en Quinta Normal, de manera de tener mediciones más precisas de la isoterma 0 °C en la subcuenca del Río Maipo Alto.

**A mis padres y abuelos**

## Agradecimientos

A mi familia, en especial a mis padres, David y Mónica, por el invaluable cariño, formación y apoyo que me han dado a lo largo de mi vida, incluso cuando creí no ser merecedor de tantas atenciones. Espero algún día poder devolver a ustedes o, en su defecto, a quien lo requiera, lo que ustedes han hecho por mí.

A Nadine, por ser causante del punto de inflexión en mi rendimiento académico desde que estoy con ella. Al igual que con mi familia, me siento en deuda contigo, y espero que el tiempo me permita compensar ese desequilibrio.

A mis amigos, cuyo nombramiento individual daría para escribir un tomo adicional, pero cuya amistad valoro tremendamente, y cuyo recuerdo llevo siempre en mi memoria. Amigos, profesores y compañeros del Dunalastair, del Greenhouse, de Temuco, de la Universidad de Chile y de la vida con quienes todavía mantengo contacto; miembros del Taller Chilla, Los Herejes, Mechones 2003, Mechones 2004, Equipo Punto Verde, Oikitos, Los Cumas, Lolos Loleros y amistades que respondan al título de “no-primos”, este agradecimiento es para ustedes.

A las familias Assad Bustos, Hiriart Blome, Raglianti Kiessling y Rob Pérez, por invitarme tantas veces a compartir en su mesa, en tiempos en que mi familia estaba a 670 km, y mi estómago y refrigerador vacíos.

A mi profesor guía, don Gerardo Ahumada, a quien además tuve la fortuna de tener de profesor de pregrado y jefe de práctica profesional, le agradezco su tiempo, dedicación, buena disposición, profesionalismo, calidad humana y muy singular sentido del humor, que hicieron de la experiencia de la memoria una muy constructiva, a la vez de amena.

A mi profesor coguía, don Ernesto Brown, y a mi profesor integrante, don James McPhee, por su buena disposición a atender mis consultas con respecto a esta memoria, y por las útiles recomendaciones que de ellas fueron resultado.

A la Universidad de Chile, que como casa de estudios me entregó una educación y formación de excelencia, y que como institución librepensadora, pluralista y participativa contribuyó a mi formación como persona.

Finalmente, agradezco a la Dirección General de Aguas y a la Dirección Meteorológica de Chile, por la gran cantidad de información y estadística fluviométrica y pluviométrica que me facilitaron para poder realizar este trabajo.

# Índice

<b>I. Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Objetivos .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2.1. Objetivos Generales .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2.2. Objetivos Específicos.....</b>	<b>2</b>
<b>II. Revisión Bibliográfica.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Cambio Climático Global .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Agua Potable y Cambio Climático .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.1. Seguridad de Obras Sanitarias .....</b>	<b>8</b>
<b>III. Descripción de la Zona de Estudio .....</b>	<b>10</b>
<b>3.1. Zona de Estudio: Cuenca del Maipo y Gran Santiago.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1.1. Clima de la cuenca .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1.2. Geología, Geomorfología e Hidrogeología de la Subcuenca.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1.3. Uso de Suelo.....</b>	<b>12</b>
<b>3.1.4. Gran Santiago.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1.5. Seguridad en el Suministro de Agua Potable de Santiago .....</b>	<b>17</b>
<b>IV. Información Local Disponible.....</b>	<b>19</b>
<b>4.1. Cambio Climático Local .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1.1. Cambios en la Temperatura e Isotherma Cero .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1.2. Cambios en las Precipitaciones .....</b>	<b>21</b>
<b>4.1.3. Retroceso de Glaciares.....</b>	<b>21</b>
<b>4.2. Fluviometría .....</b>	<b>23</b>
<b>4.2.1. Calidad de los Registros Fluviométricos Históricos en la Estación Río Maipo en El Manzano .....</b>	<b>26</b>
<b>4.3. Evidencia Documental de Crecidas Catastróficas y Eventos Afines .....</b>	<b>30</b>
<b>4.3.1. Evidencia Documental de Caudales Extremos de Gran Magnitud.....</b>	<b>30</b>
<b>4.3.2. Evidencia Documental de Crecidas No Registradas por la Estación Río Maipo en El Manzano.....</b>	<b>37</b>
<b>4.4. Precipitaciones .....</b>	<b>38</b>
<b>V. Eventos de Turbiedad, Análisis de Frecuencia y Escenarios Futuros .....</b>	<b>43</b>
<b>5.1. Curva Hipsométrica de la Subcuenca drenada por la Estación Río Maipo en El Manzano .....</b>	<b>43</b>
<b>5.1.1. Crecidas y Área de Drenaje .....</b>	<b>44</b>
<b>5.1.2. Eventos de Turbiedad y Área de Drenaje.....</b>	<b>47</b>
<b>5.2. Análisis de Frecuencia.....</b>	<b>52</b>
<b>5.2.1. Corrección de Caudales .....</b>	<b>52</b>

5.2.2. <i>Análisis de Frecuencia con Caudales Corregidos</i> .....	53
5.3. Escenarios Futuros .....	56
5.3.1. <i>Escenario 1: Incremento de la Isotherma 0 °C media de 350 m (escenario IPCC B2), período 2070 – 2100</i> .....	56
5.3.2. <i>Escenario 2: Incremento de la Isotherma 0 °C media de 440 m (escenario IPCC A2), período 2070 – 2100</i> .....	57
5.3.3. <i>Escenario 3: Incremento de la Isotherma 0 °C media de 200 m (escenario arbitrario), período 2070 – 2100</i> .....	58
5.3.4. <i>Discusión con respecto a los Escenarios</i> .....	58
<b>VI. Recomendaciones y Conclusiones</b> .....	<b>67</b>
6.1. Cambio Climático .....	67
6.2. Datos de Entrada Ocupados para el Trabajo de Título .....	67
6.3. Isotherma 0 °C y Línea de Equilibrio .....	68
6.4. Precipitaciones y Crecidas .....	69
6.5. Fluviometría .....	69
6.6. Turbiedad .....	71
6.7. Uso de Suelo y Pisos Vegetacionales de la Subcuenca .....	72
6.8. Otros Criterios y Observaciones .....	73
<b>VII. Bibliografía</b> .....	<b>74</b>
<b>VIII. Anexos</b> .....	<b>78</b>

# I. Introducción

## 1.1. Introducción

El trabajo de título a desarrollar es la continuación del trabajo “Efecto del cambio climático en la seguridad de suministro de agua potable en el Gran Santiago” (González, 2010), y pretende elaborar una propuesta de medidas de mitigación y seguridad en el suministro de agua potable en el Gran Santiago, ante emergencias asociadas a las crecidas de origen pluvial del río Maipo, con una proyección futura de hasta 60 años. Esta propuesta considerará posibles efectos del cambio climático y de la actividad antrópogénica en el comportamiento de las inundaciones y crecidas, desde el punto de vista de su frecuencia, volumen y de la calidad del agua que transportan. Para ello, se analizarán factores cuya influencia sea determinante en la permisividad de captación y tratamiento del agua cruda, y se definirán distintos escenarios en los que la población y los sistemas de agua potable que la abastecen pudieran verse involucrados.

El abordar este tema desde el punto de vista del cambio climático y la acción del ser humano, tiene como motivación la importancia que diversas organizaciones de la salud, entre las que destacan la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS), han dado a un abastecimiento seguro y confiable del agua potable, tanto por sus consecuencias en materias de salud pública, desarrollo y calidad de vida de la población. A su vez, son estas mismas organizaciones las que han catalogado al cambio climático como uno de los desafíos de mayor relevancia para el siglo XXI, dada su condición de fenómeno global que representa más amenazas que oportunidades. Dentro de estas amenazas, la OMS hace hincapié en la imperiosa necesidad de alertar a gobiernos, agencias, organizaciones y comunidades acerca de la estrecha conexión que existe entre este evento e impactos negativos en los servicios sanitarios.

Por lo anterior, la seguridad de los sistemas de abastecimiento de agua potable debe ser considerada un problema país de alta prioridad, que en este trabajo será abordado con un enfoque local, con el fin de elaborar un conjunto de medidas que apunten a mejorar las actuales condiciones en que los sistemas de abastecimiento de agua potable del Gran Santiago enfrentan eventos de crecidas asociados a inundación y arrastre de sedimento, bajo la premisa de que en el mediano plazo la frecuencia de ocurrencia y/o la intensidad de estos pueda ser mayor. De esta manera, se espera proveer un documento que sirva a la prevención o reducción de los intervalos de tiempo en que el suministro de agua potable se vea interrumpido, ya sea a causa de la inhabilitación de las captaciones por obstrucción con sedimento, o a la infactibilidad del tratamiento de agua cruda de alta turbiedad, como ocurrió en mayo de 2008 en 15 comunas de la capital, con los respectivos inconvenientes sanitarios y de calidad de vida que ellos implicaron.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivos Generales**

- Desarrollar una propuesta de medidas de mitigación y de seguridad de suministro de agua potable, en emergencias frente al desafío del cambio climático y la actividad humana.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Analizar factores que actualmente representen una amenaza al sistema de abastecimiento de agua potable en el Gran Santiago, identificando emergencias asociadas a ellos.
- Definir diferentes escenarios de cambio climático en el mediano plazo (desde 2030 hasta 2070) para las emergencias identificadas, que tengan repercusión en la frecuencia, volumen y calidad del agua de las crecidas del río Maipo.
- Analizar la seguridad de abastecimiento de agua potable en el Gran Santiago en casos de emergencia, con respecto a la seguridad física (estructural) de las obras.
- Analizar la seguridad de abastecimiento de agua potable en el Gran Santiago en casos de emergencia, con respecto de la alta turbiedad que las aguas crudas adquieren durante las crecidas invernales, o durante eventos de arrastre masivo de sedimentos, que hacen inviable su tratamiento y distribución.
- Proponer medidas de mitigación y seguridad para los sistemas de abastecimiento de agua potable, en conformidad a los puntos expuestos anteriormente.

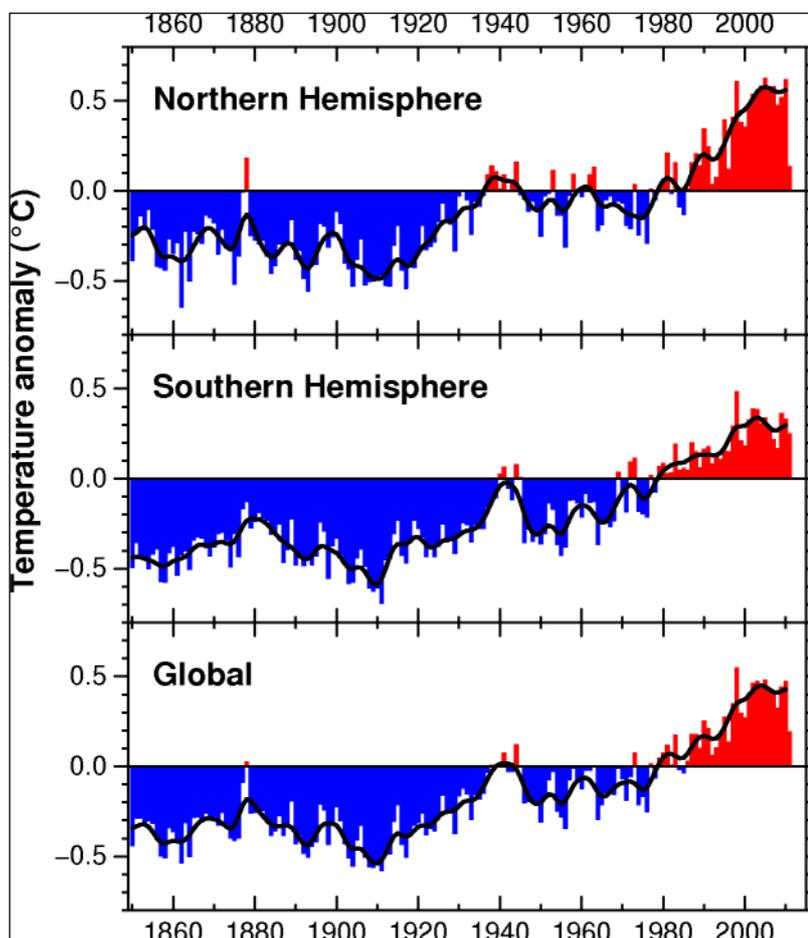
## II. Revisión Bibliográfica

### 2.1. Cambio Climático Global

La Convención Marco de Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático define cambio climático como un cambio en el clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables. Por lo tanto, y de acuerdo a la definición citada, para efectos de este trabajo no interesará qué o quiénes son los responsables de estos cambios, sino que dar testimonio de su ocurrencia y sus posibles efectos en el servicio de agua potable, en particular del servicio suministrado en la ciudad de Santiago de Chile.

Entre los cambios climáticos detectados en las últimas décadas, destacan el aumento de la temperatura media global, el alzamiento del nivel del mar, alteraciones en la escorrentía y las precipitaciones; y el retroceso de los glaciares y el casquete polar ártico. La siguiente figura muestra de forma gráfica los cambios térmicos globales en los últimos 160 años, expresados como anomalías en relación al período 1961 – 1990.

**Figura 1: Cambios en la temperatura media global, 1860 – 2010**

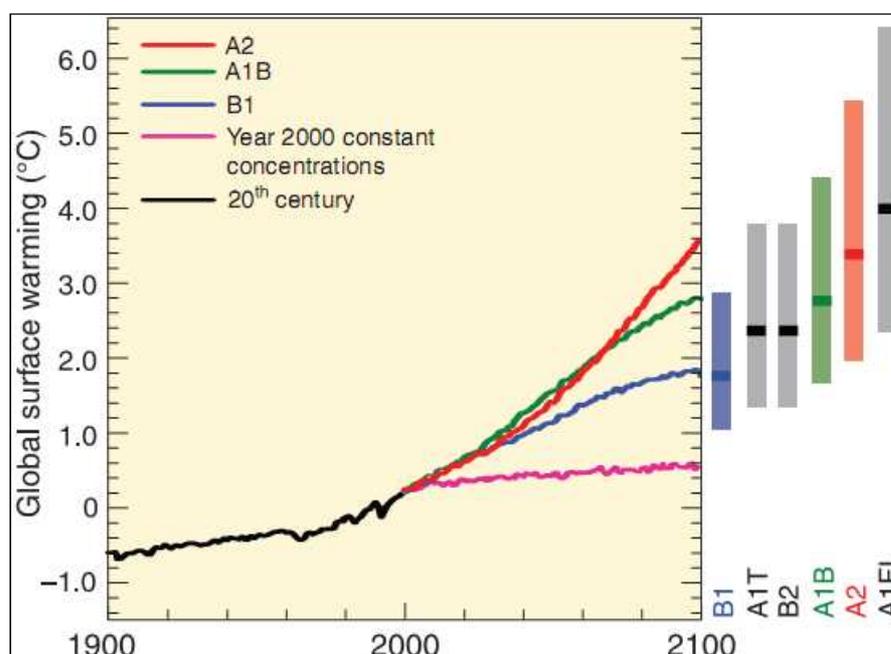


Fuente: Climatic Research Unit (2010)

La razón de por qué el período 1961 – 1990 no se encuentra justamente en la línea del cero se debe a que no todas las estaciones de las regiones consideradas tienen información completa para este período de referencia de 30 años, por lo que las anomalías no promedian exactamente cero.

Del gráfico anterior se aprecia que los aumentos en la temperatura han sido más evidentes en el hemisferio norte, pero de todas formas se observa una tendencia similar en el hemisferio sur y en el planeta como conjunto. En términos globales, la década 1991 – 2000 presentó un alza de 0,24 °C con respecto al período de referencia (1961 – 1990), mientras que el período 2001 - 2009 supera al mismo en 0,43 °C. En lo que respecta al siglo XXI, las estimaciones más optimistas (escenario B1) y más pesimistas (escenario A2) predicen aumentos en la temperatura media global de entre 1,1 – 2,9 °C y 2,0 – 5,4 °C, respectivamente, con respecto al período 1980 – 1999.

**Figura 2: Estimaciones de Calentamiento Global para el siglo XXI**

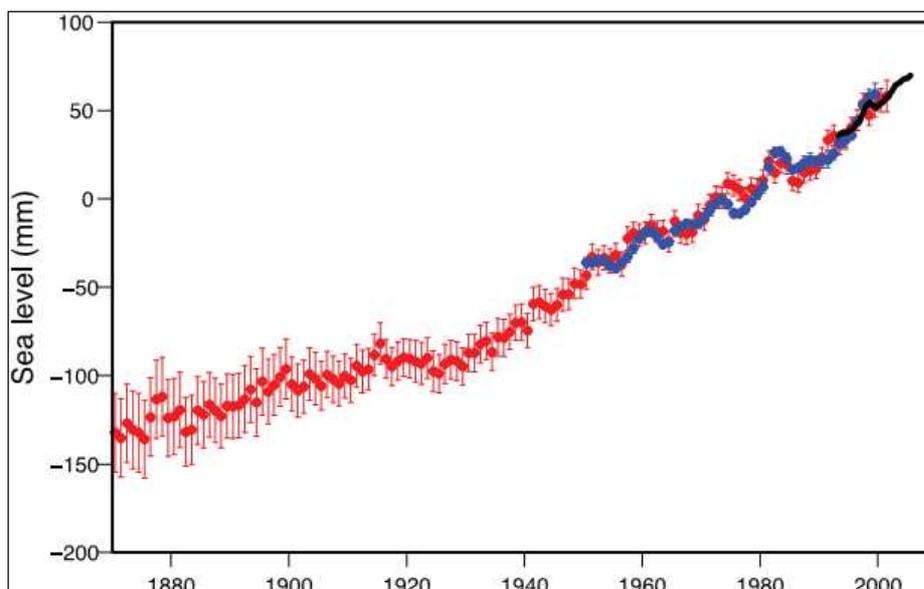


Fuente: IPCC 4th Assessment Report (2007)

A grandes rasgos, el escenario A1 asume un mundo de rápido crecimiento económico, una población mundial que alcanza su máximo a mediados del siglo XXI, y una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes. El escenario B1 describe un mundo convergente, con el mismo crecimiento poblacional que el escenario A1, pero con cambios más rápidos en la estructura económica. En cuanto al escenario B2, describe un mundo con crecimiento demográfico y económico intermedio, enfatizando soluciones locales a la sustentabilidad económica, social y medioambiental. Por último, el escenario A2 asume un mundo muy heterogéneo de alto crecimiento poblacional, con desarrollo económico y cambio tecnológico lento.

El nivel del mar también ha sufrido variaciones, atribuidas, entre otros factores, a la expansión térmica del agua y al deshielo en los polos. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) cuantificó dicho aumento, resumido en la siguiente figura.

**Figura 3: Cambios en el nivel medio anual del mar**



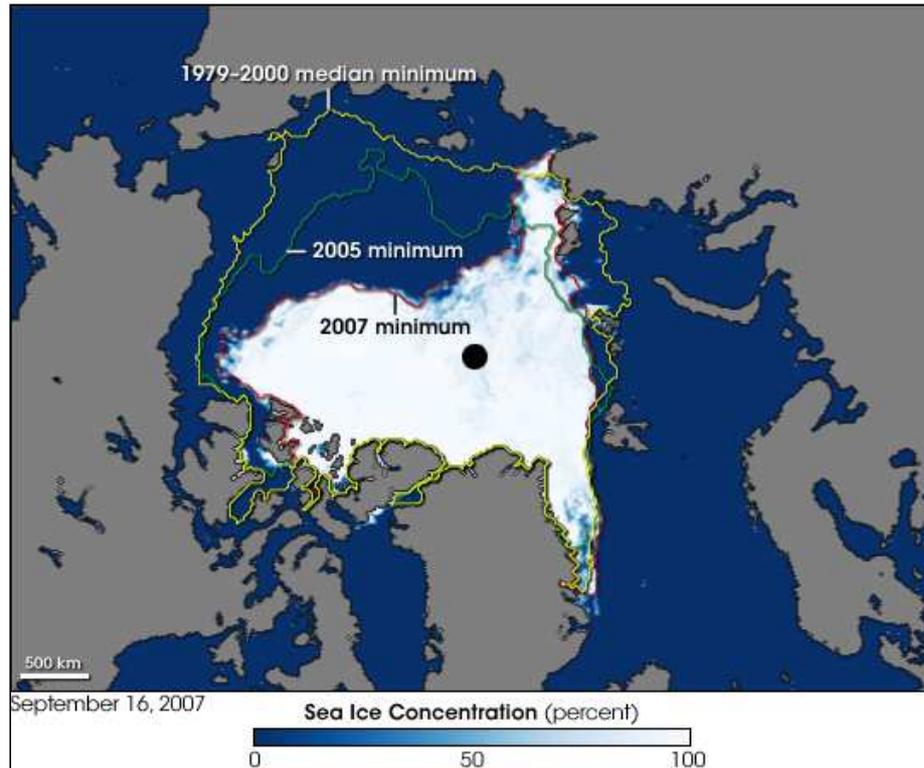
Fuente: IPCC (2007)

Del gráfico se observa una tendencia al alza, que se vuelve más pronunciada a partir de la década de 1930, y que coincide con los inicios de la Segunda Guerra Mundial. No obstante, entre 1900 y 1930, período que contiene la Primera Guerra Mundial y la Gran Depresión de 1929, este aumento es mucho menos evidente y prácticamente no se registra variación en el nivel del mar. La relación entre estos eventos históricos y el nivel del mar es incierta, pero los impactos que ellos tuvieron en la actividad industrial y sus emisiones, podrían explicar, en parte, este fenómeno.

Al igual que con la temperatura, las variaciones están medidas con respecto a la media del período de referencia 1961 – 1990. La serie roja corresponde a datos reconstruidos desde 1870, la serie azul corresponde a mediciones instrumentales de mareas desde 1950, y la serie negra representa altimetría satelital, disponible desde 1993. Del gráfico se tiene que en el período comprendido entre 1961 y 2003, el nivel medio del mar ascendió a una tasa de  $1,8 \pm 0,5$  mm/año, y para fines del siglo XXI, se estiman ascensos medios que varían entre 0,18 – 0,38 m (escenario B1) y 0,23 – 0,51 (escenario A2), con respecto al período 1980 – 1999.

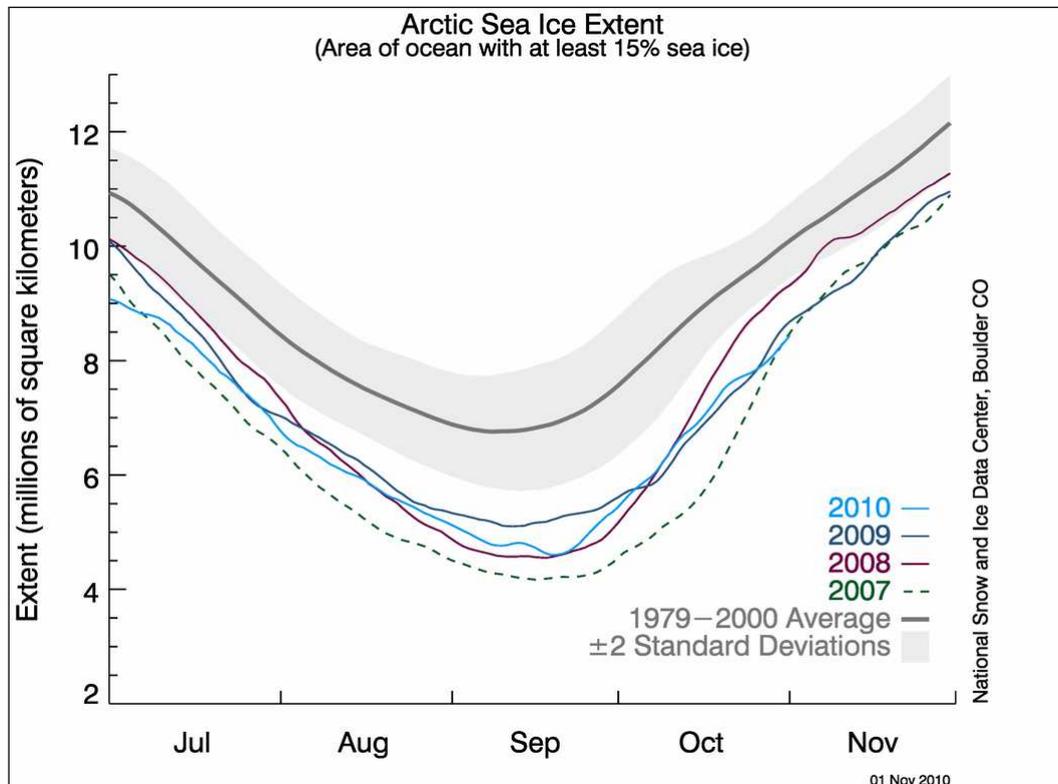
En cuanto a los deshielos, la IPCC dice que la mayoría de los glaciares de montaña están retrocediendo, la cubierta de nieve se retira más tempranamente en primavera, el hielo marítimo del ártico disminuye en todas las estaciones, y las capas de hielo de Groenlandia y la Antártica están adelgazando. Con respecto a las proyecciones futuras, se prevé un retroceso en los hielos árticos y antárticos, inclusive en los escenarios más optimistas, y en algunas proyecciones se estima que el hielo ártico veraniego desaparezca casi por completo hacia fines del siglo XXI.

Figura 4: Cambios en la extensión del hielo ártico



Fuente: NASA Earth Observatory

Figura 5: Cambios en la extensión del hielo ártico



Fuente: National Snow and Ice Data Center (NSIDC)

## 2.2. Agua Potable y Cambio Climático

El agua potable representa el 15% del uso humano del agua a nivel mundial. En 2006, más de la mitad de la población mundial con acceso a agua potable, la obtuvo a través de una red de tuberías doméstica. Hacia 2020, se espera que su participación se incremente ligeramente, hasta un 55%. Esta tendencia es altamente deseable por sus beneficios sociales, económicos y sanitarios, entre los cuales destacan el mejoramiento de la higiene por mayor uso del agua y mayor disponibilidad de tiempo para el cuidado de niños y actividades laborales, que se traducen en mayor poder adquisitivo para usos medicinales y otras medidas preventivas. Dentro de este contexto, diversos organismos y asociaciones han advertido acerca de los efectos que el cambio climático podría ejercer sobre la seguridad en el suministro de agua potable y el bienestar de la población.

La American Water Works Association (AWWA) afirma que el cambio climático es una de las tendencias más influyentes para el futuro de la industria del agua potable. La planificación tradicional en la gestión de recursos hídricos considera al clima como estacionario, asumiendo que comportamientos climáticos e hidrológicos pasados pueden ser usados para predecir su comportamiento futuro. Hoy en día, la validez de este supuesto para ser usado en planificación y diseño a largo plazo ha sido puesta en tela de juicio.

Los impactos del cambio climático en el recurso agua están interrelacionados, a menudo de manera compleja, y podrían potencialmente afectar la infraestructura de una planta de agua potable, además de la cantidad y la calidad del suministro de agua. Cambios en el ciclo hidrológico podrían repercutir en su disponibilidad, por posibles alteraciones en la cantidad, frecuencia e intensidad de las precipitaciones y la escorrentía. Efectos en el manto de nieve podrían incluir disminución y derretimiento temprano del mismo, mientras que efectos en la calidad de las aguas superficiales podrían generar un aumento de la temperatura del agua, cambios en su composición química (como disminución del oxígeno disuelto o acidificación de las fuentes de agua), aumento de la actividad biológica, donde posibles florecimientos de algas podrían generar consecuencias en el sabor, olor y pH del agua; incremento en la turbiedad, inducida por un mayor grado de erosión, aumento de la presencia de contaminantes (incluyendo nutrientes y materiales peligrosos) por efecto de concentración, dada una menor escorrentía estival, mayor variabilidad en los sólidos disueltos totales y aumento de los mismos por intrusión de agua de mar en fuentes de agua costeras, y alteración de la agresividad del agua. Todo esto afectaría tanto los procesos de tratamiento como la salud del ecosistema acuático.

Con respecto al agua tratada, los impactos nombrados anteriormente podrían traer como consecuencia un aumento en la dosificación de desinfectante y coagulante, y en la generación de subproductos de desinfección. Por otra parte, la demanda residencial de agua potable está significativamente correlacionada a la temperatura máxima diaria promedio: un estudio sobre el uso de agua en Nueva York, EE.UU., indicó que en días con máximas de 25 °C o más, el consumo de agua se incrementa en 11 l/habitante/día/°C (Means et al, 2010). Luego, los métodos predictivos tradicionales de demanda de agua potable que sólo consideran crecimiento de la población, factores socioeconómicos y consideraciones conservacionistas, deberían también comenzar a tomar en cuenta las variaciones en la temperatura y las precipitaciones, como consecuencia del cambio climático.

En tanto, la OMS asegura que el cambio climático es ampliamente percibido como una amenaza más que como una oportunidad. Sin embargo, podría haber beneficios significativos para la salud y el desarrollo si se lograra una adaptación al cambio climático, con medidas tales como estimular el mejoramiento de los niveles de servicio, y una mayor presión a racionalizar la elección de las tecnologías a ser usadas a futuro, para entregar un servicio más efectivo y sustentable.

A pesar de que las tendencias climáticas a nivel regional son inciertas en algunas zonas, hay conocimiento suficiente para informar de cambios urgentes y prudentes en las políticas y la planificación de la mayoría de las regiones. En África resulta de particular interés una adaptación temprana, para no mermar los avances logrados en ampliar el bajo nivel de acceso al agua potable que se tiene actualmente, y para poder hacer frente a la posible escasez del recurso; mientras que en Sudamérica la adaptación debería apuntar a hacer frente a posibles daños estructurales, debido a eventos extremos exacerbados por el cambio climático. En términos generales, la variabilidad climática podría manifestarse de las siguientes maneras: las inundaciones podrían inhabilitar o incluso dañar estructuralmente una instalación sanitaria, y las sequías podrían ocasionar secado de pozos, aumentando las distancias que el agua debe recorrer entre origen y destino para satisfacer la demanda. Entre los efectos indirectos del cambio climático en el suministro de agua potable, se incluyen interrupciones en el suministro eléctrico, que disminuirían la seguridad de los sistemas de agua en presión y del tratamiento de aguas servidas.

### ***2.2.1. Seguridad de Obras Sanitarias***

Con respecto a la seguridad de obras sanitarias, la OMS advierte que los sistemas de agua potable de gran extensión son intrínsecamente vulnerables porque son grandes y complejos, pero esta situación podría ser contrarrestada con una combinación de personal capacitado y financiamiento adecuado, que permita invertir en mejores tecnologías e infraestructura redundante, lo que dotaría a un sistema de una resiliencia suficiente para hacer frente a los desafíos del cambio climático. En la práctica, muchas instalaciones no son potencialmente resilientes, debido a suministro intermitente y fugas excesivas, que conllevan riesgo de contaminación del agua, mayor demanda energética y mayor huella ecológica. Para lograr una disminución efectiva del riesgo asociado a un sistema de agua potable, debería priorizarse la reducción de las pérdidas y fugas, que contribuirían a economizar energía y agua, además de reducir el riesgo de contaminación de la última. Otras medidas incluyen la modernización progresiva del sistema, incremento de la capacidad de almacenaje a través de embalses o recarga artificial de acuíferos, y diversificación de las fuentes de agua potable.

Por otra parte, el nivel de descentralización es determinante en la forma en que el servicio de agua potable es suministrado. La combinación con más capacidades adaptativas al cambio climático es aquella que cuenta con centralización institucional, que puede asegurar alta competencia tecnológica y aprovechar economías de escala en su administración; y una red de tuberías integrada que se conecte a múltiples fuentes, independientes una de otra (descentralización del suministro). De esta forma, la inundación o daño de una fuente tiene menores probabilidades de generar una falla catastrófica en el sistema.

Como complemento, la AWWA ha hecho un listado con varias estrategias que han sido discutidas para afrontar exitosamente los desafíos del cambio climático, entre las cuales destacan la implementación de embalses superficiales o subterráneos de agua cruda, para ser tratada y distribuida en caso de que la calidad del agua de la fuente principal se deteriore temporalmente; monitoreo continuo y en tiempo real de los parámetros críticos del agua cruda usada como fuente, relocalización y modificación de los procesos de tratamiento, elevación de muros de protección en obras de captación, tanto de agua superficial como subterránea (punteras costeras), y cubrimiento de los estanques de almacenamiento de agua para distribución, de modo de reducir su temperatura y prevenir su contaminación con materia orgánica, lo que a su vez previene el florecimiento de algas y la generación de subproductos de desinfección.

### III. Descripción de la Zona de Estudio

#### 3.1. Zona de Estudio: Cuenca del Maipo y Gran Santiago

La cuenca hidrográfica del río Maipo abarca prácticamente la totalidad del territorio de la Región Metropolitana, drenando una superficie de 15.380 km<sup>2</sup>. El río que da origen a su nombre tiene régimen pluvionival, con régimen pluvial entre los meses de Abril y Septiembre, y régimen nival desde Octubre hasta Marzo; nace en las laderas del volcán Maipo y desemboca en el Océano Pacífico, a la altura de Lolleo (V región). Su extensión es de 250 km y conduce un caudal medio anual de 92,3 m<sup>3</sup>/s, con el que satisface alrededor del un 90% de las demandas de riego y cerca de un 70% de la demanda actual de agua potable de la región, del cual un 51% se extrae desde la primera de las tres secciones en que está dividido el río, convirtiéndolo en la principal fuente de agua de la Región Metropolitana.

Para efectos de este trabajo, interesará conocer las características de la parte más alta de la cuenca del río Maipo, en adelante subcuenca del Río Maipo Alto, que se origina en el nacimiento de los ríos Maipo, Colorado, Yeso, Olivares y Colina, hasta la confluencia de los ríos Maipo y Colorado. La importancia de la subcuenca, de 4.859 km<sup>2</sup>, se basa en que abastece a la Toma Independiente de Aguas Andinas, cuya capacidad es de captación es de 18,4 m<sup>3</sup>/s de agua cruda y cuyo caudal de aducción medio anual es del orden de 14 m<sup>3</sup>/s.

**Figura 6: Subcuenca del río Maipo Alto**



Fuente: CNR

### **3.1.1. Clima de la cuenca**

Los climas que se distinguen en la cuenca del río Maipo, en la zona de interés, corresponden al Templado de tipo Mediterráneo con estación seca prolongada y Frío de altura en la Cordillera de los Andes.

#### **3.1.1.1. Clima Templado Mediterráneo con Estación Seca Prolongada**

Se desarrolla prácticamente en toda la cuenca del río Maipo. Su característica principal es la presencia de una estación seca prolongada y un invierno bien marcado con temperaturas extremas que llegan a cero grados. Santiago registra una temperatura media anual de 14,5 °C, pero los contrastes térmicos son fuertes. En verano las máximas alcanzan valores superiores a 30 °C durante el día.

Por efectos del relieve, en el sector centro de la cuenca (estación Santiago Quinta Normal, 520 msnm) se presentan áreas de mayor sequedad y montos menores de precipitación, del orden de 300 mm/año, en comparación al sector costero de la misma, que sobrepasa los 400 mm/año. En sectores más elevados, las precipitaciones aumentan alcanzando valores medios anuales de 536 mm (estación San José de Maipo, 940 msnm) y temperaturas medias anuales de 14,2 °C (estación Las Melosas, 1.530 msnm).

#### **3.1.1.2. Clima Frío de Altura**

El Clima Frío de Altura se localiza en la Cordillera de los Andes por sobre los 3.000 m de altura, y se caracteriza por sus bajas temperaturas y precipitaciones sólidas, permitiendo la acumulación de nieve y campos de hielo de tipo permanentes en cumbres y quebradas de la alta cordillera, lo que a su vez explica el régimen nival del río Maipo entre los meses de Octubre y Marzo.

En general, para ambos tipos climáticos, los valores registrados de precipitación, son mayores durante las temporadas invernales especialmente durante los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto.

### **3.1.2. Geología, Geomorfología e Hidrogeología de la Subcuenca**

La geología de la cuenca del río Maipo presenta rellenos por sedimentos fluviales, fluvio-glaciales y cenizas volcánicas; rocas graníticas paleozoicas y mesozoicas, además de rocas volcánicas y sedimentarias cretácicas. Principalmente en el nacimiento del río Maipo, existen rocas sedimentarias del jurásico superior-cretácico inferior; secuencias sedimentarias marinas litorales o plataformales, calizas, lutitas, areniscas calcáreas, arseniscas y coquinas. El área comprendida entre el nacimiento del río Maipo hasta la confluencia con el río Colorado, se encuentra influenciado por lavas y formaciones carbonatadas. El río Olivares presenta una leve influencia de andesitas en la parte alta del cauce. Desde el sector de río Colorado hasta el Estero Colina, nuevamente se encuentran lavas y formaciones carbonatadas.

En la zona andina de la cuenca, altas cumbres alimentan la hoya superior del río Maipo, con alturas que fluctúan entre los 2.000 y 6.000 msnm. Este río ha tenido una actividad compleja y dinámica, caracterizada por ciclos de sedimentación y posterior erosión que rellenan la cuenca y a la vez forman aterrazamientos en los bordes.

Producto de la excavación del lecho del río, la cordillera de los Andes presenta rocas graníticas a la entrada de la cuenca, las que conforman una barrera hidrogeológica que impide el paso de aguas subterráneas a la misma. En consecuencia, las aguas de las hoyas de los ríos Colina, Mapocho, Maipo Superior y Angostura, sólo pueden ingresar a la cuenca superficialmente para luego infiltrarse en el relleno. La permeabilidad de esta zona de la cuenca es prácticamente nula, caracterizándose por suelos esqueléticos sobre afloramiento rocoso. La litología y disposición de formaciones geológicas de las hoyas hidrográficas de los ríos antes mencionados, no son favorables a la acumulación y transmisión de aguas subterráneas, aunque es posible una escasa infiltración a poca profundidad. La erosión se produce sobre las laderas escarpadas, arrastrando material hacia los lechos encajonados y enturbando las aguas que sirven de materia prima a las empresas sanitarias.

Existe también un acuífero en la zona cordillerana de la cuenca, específicamente en el sector del río Volcán y río Yeso, conocido como Acuífero de Santiago. Esta reserva de aguas subterráneas se localiza desde la precordillera hasta Talagante, con dimensiones cercanas a 10.000 millones de metros cúbicos, equivalentes a 40 embalses El Yeso. Siguiendo el sentido de escurrimiento del río Maipo, otro acuífero se localiza en el sector del río Volcán, en donde éste se junta con el río Maipo. En el área restante de la zona cordillerana no hay acuíferos.

### **3.1.3. Uso de Suelo**

Es relevante conocer el uso de suelo en una cuenca, debido a su influencia en la escorrentía generada por lluvias: una cubierta vegetal puede limitar el impacto de las precipitaciones en las partículas de suelo, a la vez que mantiene una actividad biológica sana en él, mejorando su estructura en las capas superiores. Esto se logra ya que, al enlazar partículas unas con otras. De esta forma, si las raíces son suficientemente profundas, se crean enlaces entre la masa de suelo en cuestión y las capas de suelo más profundas, contribuyendo a la cohesión del mismo. Además, las raíces mejoran la infiltración del agua hacia el suelo, limitando la escorrentía y, con ello, la erosión de las capas más superficiales y el transporte de sedimentos a los cauces de agua (Dolidon, 2008).

La Comisión Internacional para la Protección del Río Danubio (ICPDR, en sus siglas en inglés), en Europa, hace hincapié en el mismo punto en su “Programa de acción para la prevención sustentable de inundaciones en la cuenca del Danubio” (ICPDR, 2009), específicamente en el documento que concierne al río tributario Hron, en Eslovaquia. El Hron es un río de 298 km de largo que se origina en la cordillera del Bajo Tatra, a 980 msnm, y desemboca en el Danubio a 112 msnm, drenando una cuenca de 5.453 km<sup>2</sup>. Su caudal medio es de 53,7 m<sup>3</sup>/s, con instantáneos máximos del orden de los 1.000 m<sup>3</sup>/s. A excepción de su reducida pendiente, en relación al río Maipo, sus restantes características son comparables a las de este último.

El plan de acción para inundaciones en la cuenca del Hron enfatiza la regulación del uso del suelo como medio de control de la escorrentía de origen pluvial y sus inundaciones asociadas. En general, la capacidad de retención de agua de los bosques es siempre mayor

a la de un suelo deforestado, oscilando entre los 22 mm y 65 mm de precipitación, con una media de 45 mm. Un suelo deforestado alcanza una capacidad entre un 50% a un 60% de los valores antes citados. Es claro que un suelo con buena capacidad de infiltración, tal como un bosque, probablemente no pueda retener la totalidad de la escorrentía generada por una tormenta extrema, pero sí puede reducirla, además de prolongar el tiempo de concentración de la cuenca.

### **3.1.3.1. Uso de suelo en la comuna de San José de Maipo**

La evolución del uso del suelo en los terrenos de la subcuenca del Maipo Alto y, por consiguiente, de la Toma Independiente de Aguas Andinas, puede ser aproximada a los cambios en el uso de suelo experimentados por la comuna de San José de Maipo, ubicada en el borde oriental de la Región Metropolitana. Específicamente, de acuerdo al D.F.L. N° 3-18.715, con fecha 9 de junio de 1989, las delimitaciones de esta comuna son:

**Al Norte:** la línea de cumbres que limita por el sur la hoya del río Aconcagua, desde el cerro Altar hasta el límite con Argentina.

**Al Este:** el límite con Argentina, desde la línea de cumbres que limita por el sur la hoya del río Aconcagua hasta el paso de Maipo.

**Al Sur:** el límite con Argentina, desde el paso de Maipo hasta la línea de cumbres que limita por el sur la hoya del alto río Maipo.

**Al Oeste:** la línea de cumbres que limita por el sur y poniente la hoya del alto río Maipo, desde la frontera con Argentina hasta el morro Purgatorio, pasando por los cerros Toro Seco, San Roque y Yerba Buena; la línea de cumbres de la loma el Litre Copado, desde el morro Purgatorio hasta el trigonométrico El Litre; el meridiano astronómico del trigonométrico El Litre, desde el citado trigonométrico hasta el río Maipo; el río Maipo, desde el meridiano astronómico del trigonométrico El Litre hasta el meridiano astronómico del trigonométrico La Obra; el meridiano astronómico del trigonométrico La Obra, desde el río Maipo hasta el mencionado trigonométrico; la línea de cumbres de la loma del Socavón y de los cerros San Juan del Peral, desde el trigonométrico La Obra hasta la cota 2251 de la carta del Instituto Geográfico Militar escala 1:50.000; la línea de cumbres del cordón Las Minillas, desde la cota 2251 hasta el morro Negro; la línea de cumbres que limita por el sur y el oriente la quebrada de Macul, desde el morro Negro hasta el cerro San Ramón; la línea de cumbres que limita por el sur y oriente la hoya del río Mapocho, desde el cerro San Ramón hasta el cerro Altar, pasando por los cerros La Gruca, Bismarck y Nevado El Plomo.

En cuanto a sus áreas protegidas, la comuna de San José de Maipo contiene el Monumento Nacional “El Morado”, de 30 km<sup>2</sup> de extensión, los Santuarios de la Naturaleza “Cascada de las Ánimas” y “San Francisco de Lagunillas y Quillayal”, de 36 km<sup>2</sup> y 134 km<sup>2</sup>, respectivamente; y el “Sendero Patrimonial Parque Olivares”, de 250 km<sup>2</sup>. En conjunto, las áreas protegidas abarcan el 9% de la superficie comunal, valor que se ajusta a la Estrategia Nacional de Biodiversidad, de la cual una de sus metas es lograr la protección de al menos el 10% de la superficie de cada uno de los ecosistemas relevantes del país, antes del año 2010 (CONAMA). A nivel de la comuna de San José de Maipo, la estrategia contempla un listado de sitios prioritarios, no necesariamente protegidos, que reúnen características ecosistémicas relevantes, junto con consideraciones importantes para los habitantes de cada región.



**Tabla 1: Piso vegetacional de la subcuenca del río Maipo Alto**

<b>Piso vegetacional</b>	<b>Elevación [msnm]</b>	<b>Área [km<sup>2</sup>]</b>	<b>Área [%]</b>
<b>Bosque esclerófilo y matorral espinoso</b>	Hasta 2.200	721	14,8%
<b>Matorral bajo andino</b>	2.200 - 2.600	543	11,1%
<b>Herbazal andino</b>	2.600 - 3.300	1.324	27,2%
<b>Desierto</b>	Desde 3.300	2.285	46,9%

Fuente: Elaboración propia

La clasificación propuesta es una aproximación representativa y no excluye la presencia de especies características de un estrato en algún otro.

Los bosques esclerófilos de Chile han estado sometidos a fuertes presiones antrópicas (incendios, talas, pastoreo), razón por la que actualmente se encuentran muy degradados. La degradación de bosque esclerófilo original tiene como efecto una transformación estructural y cambios en la composición florística, que dependen del tipo y nivel de perturbación. Los primeros estadios de degradación producen la transformación estructural de bosque a matorral arborescente. Perturbaciones más severas podrían producir la transformación completa del bosque en un espinal o incluso en una pradera anual. Teóricamente, en ausencia de perturbaciones, estas comunidades de degradación tienden a recuperarse a través de mecanismos de facilitación, para retornar a su estado original, cuya composición de especies dominantes dependerá de las condiciones específicas del sitio, en especial de la disponibilidad hídrica.

El matorral bajo habita en condiciones climáticas severas, con alta radiación solar, bajas temperaturas, y fuertes vientos, que determinan la fisionomía de la vegetación. Es posible que la presión de ganado produzca una alteración de la estructura y composición de la vegetación, disminuyendo en su cobertura y provocando la invasión de especies introducidas.

El estrato desértico, si bien cuenta con especies herbáceas, éstas crecen muy esparcidas entre las rocas, para refugiarse de las condiciones extremas de fuertes vientos y bajas temperaturas (Luebert y Pliscoff, 2006). Otro punto destacable de este estrato es que su frontera con el herbazal, a 3.300 msnm, coincide casi perfectamente con la elevación actual de la isoterma 0 °C media invernal, ubicada a 3.240 msnm, lo que tiene sentido, considerando que es poco factible que la vegetación prolifere abundantemente en terrenos permanentemente nevados o congelados durante casi la mitad del año.

Con respecto al uso de suelo propiamente tal, los censos agropecuarios de los años 1930, 1935, 1955, 1965, 1975, 1997 y 2007 (no hubo censo agropecuario en las décadas de 1940 y 1980), entregan la siguiente evolución de su uso en la comuna de San José de Maipo.

**Tabla 2: Uso de suelo en la comuna de San José de Maipo, según censos agropecuarios**

Censo	Total [ha]	Agrícola [ha]	Riego [ha]	Praderas naturales [ha]	Estéril [ha]	Infraestructura [ha]
1930	357.019	-	2.066	197.944	157.105	-
1935	351.192	55.114	2.138	-	296.078	-
1955	480.578	354.104	1.409	233.084	126.474	-
1965	438.316	-	1.053	100.815	326.303	-
1975	497.044	101.757	903	81.362	395.123	164
1997	505.454	120.775	870	73.928	384.679	1.818
2007	462.718	158.856	736	15.294	331.613	678

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3: Uso de suelo en la comuna de San José de Maipo, según censos agropecuarios (porcentajes)**

Censo	Riego [%]	Praderas naturales [%]	Estéril [%]	Infraestructura [%]
1930	0,58%	55,4%	44,0%	-
1935	0,61%	-	84,3%	-
1955	0,29%	48,5%	26,3%	-
1965	0,24%	23,0%	74,4%	-
1975	0,18%	16,4%	79,5%	0,03%
1997	0,17%	14,6%	76,1%	0,36%
2007	0,16%	3,3%	71,7%	0,15%

Fuente: Elaboración propia

De la tabla se ve que los censos son poco consistentes con respecto al área censada total. Asimismo, la fracción estéril<sup>1</sup> experimenta cambios muy abruptos entre los censos de 1930 y 1965, haciendo que la información provista por los mismos sea cuestionable. Es posible que estos cambios se hayan debido a diferencias en la inclusión de sectores de alta montaña entre un censo y otro, o la falta de rigurosidad de las personas encargadas de llenar las fichas censales. Cabe recordar que los censos agropecuarios son elaborados a partir de cédulas censales que los mismos productores llenan en nombre de la explotación agropecuaria que representan, no existiendo participación de funcionarios públicos o fiscalizadores de por medio.

Por otra parte, las definiciones de “riego”, “praderas naturales” y “estériles” no son necesariamente iguales para todos los censos, en especial para el caso de las superficies de riego, lo que dificulta aún más la tarea de establecer comparaciones en el uso de suelo entre censos. Con respecto a la infraestructura, su evolución es muy irregular a través de los tres censos que contienen información de ella, lo que refuerza la presunción de que la información disponible es sesgada.

<sup>1</sup> **Estériles:** terrenos estériles y otros no aprovechables: corresponde a la superficie de aquellos terrenos existentes en la explotación, que no reúnen potencial productivo, como son los terrenos desérticos, cerros áridos, dunas, pedregales, etc. (INE, 1997).

Incluso tomando en cuenta las consideraciones explicadas anteriormente, a partir del censo de 1965 se observa una relativa estabilidad en la fracción en torno a la cual varían los estériles (70% - 80% del total censado) y, a grandes rasgos, desde 1930 a la fecha se aprecia una continua disminución de las tierras dedicadas a riego y a praderas naturales, posiblemente en favor de procesos de urbanización.

### **3.1.4. Gran Santiago**

Dentro de la cuenca del río Maipo se encuentra la ciudad de Santiago<sup>2</sup> (33° 27' S, 70° 42' W, 567 msnm), capital y principal centro urbano del país, que alberga los principales organismos administrativos, comerciales, culturales, educacionales, financieros y gubernamentales, con la excepción del Congreso Nacional y el Ministerio de Cultura. Con alrededor de 6.060.000 habitantes (INE, 2010), es hogar de cerca del 35,5% de la población de Chile y, si bien el río Maipo no atraviesa la ciudad, sí lo hace el río Mapocho, afluente del anterior y su mayor tributario.

Con respecto al servicio de agua potable en la ciudad, el principal actor en su suministro es el Grupo Aguas (Aguas Andinas, Aguas Manquehue y Aguas Cordillera), cuya red de 11.365 km de tuberías subterráneas satisface las demandas de más de 6 millones de personas, repartidos en una concesión de 70.000 hectáreas, que abarcan un total de 32 comunas.

Otra entidad de importancia en el rubro es el Servicio Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Maipú (SMAPA), que abastece a las comunas de Maipú, Cerrillos y parte de Estación Central, sirviendo a más de 700 mil habitantes. En conjunto, el Grupo Aguas y SMAPA representan cerca del 95% de la oferta de agua potable en la ciudad.

### **3.1.5. Seguridad en el Suministro de Agua Potable de Santiago**

Para este apartado se tomará como referencia las “Bases Definitivas del Estudio Tarifario de la Empresa de Servicios Sanitarios Aguas Andinas S.A., Período 2010 – 2015” (SISS, 2009), por ser representativo del suministro de agua potable en el Gran Santiago.

De acuerdo a las bases, la continuidad del servicio de agua potable está sujeta a lo dispuesto en el artículo 35 de la Ley General de Servicios Sanitarios (DFL MOP N° 382/88), “el prestador deberá garantizar la continuidad y la calidad de los servicios, las que sólo podrán ser afectadas por causa de fuerza mayor” agregándose que, “sin perjuicio de lo anterior, podrá afectarse la continuidad del servicio, mediante interrupciones, restricciones y racionamientos, programados e imprescindibles para la prestación de éste, los que deberán ser comunicados previamente a los usuarios. La entidad normativa podrá solicitar los antecedentes respectivos y calificar dichas situaciones”. El artículo 97 del DS N° 1199/04 da más profundidad a lo expresado anteriormente, señalando que las razones de fuerza mayor en la discontinuidad del servicio son calificadas por la Superintendencia de Servicios

---

<sup>2</sup> “Santiago” o “Gran Santiago” se define como la conurbación formada por las comunas de Cerrillos, Cerro Navia, Conchalí, El Bosque, Estación Central, Huechuraba, Independencia, La Cisterna, La Florida, La Granja, La Pintana, La Reina, Las Condes, Lo Barnechea, Lo Espejo, Lo Prado, Macul, Maipú, Ñuñoa, Pedro Aguirre Cerda, Peñalolén, Providencia, Pudahuel, Puente Alto, Quilicura, Quinta Normal, Recoleta, Renca, San Bernardo, San Joaquín, San Miguel, San Ramón, Santiago Centro y Vitacura.

Sanitarios, y que toda interrupción, restricción y racionamiento programado e imprescindible para la prestación del servicio, debe ser comunicada al usuario con, a lo menos, 24 hrs. de anticipación. El mismo artículo hace mención a las excepciones a la regla, sus horarios, frecuencias y duración de los cortes programados. Si bien recae en la SISS la calificación de eventos de fuerza mayor, no existe, en términos legales, una definición de los mismos.

Cabe señalar que, aunque es favorable al consumidor, existe una inconsistencia entre lo estipulado en las Bases Definitivas y en el artículo 97 del DS N° 1199/04: mientras que el primero cita al segundo, diciendo que los cortes en el suministro deben ser avisados con al menos 48 horas de anticipación, el documento legal indica que dicho período es en realidad de 24 horas.

Con respecto a dimensionamiento de infraestructura y planes de expansión, las bases obedecen a la NCh. 691/98, que además exige la existencia de estanques de regulación, que consideren adicionalmente un volumen de reserva en caso de emergencias (incendios, ruptura de tuberías, cortes de energía); y norma las presiones de servicio.

Retomando el DS N° 1199/04, Brown ha hecho ver que este sólo considera la frecuencia de ocurrencia de las fallas (10%), sin definir su magnitud máxima admisible o en qué lapso de tiempo deben cuantificarse. Adicionalmente, al artículo 26 del decreto indica que la concesionaria “debe acreditar dominio, usufructo o uso de los derechos de aprovechamiento de aguas superficiales o subterráneas (consuntivos, permanentes o continuos) suficientes para atender la demanda de servicio, a lo menos, el día de máximo consumo del quinto año de su plan de desarrollo previsto”, sin considerar que el día de máximo consumo pueda darse en otro año, ni mencionar la posibilidad de uso de derechos consuntivos permanentes discontinuos o alternados, que son mucho más poderosos que los eventuales (Brown, 2006).

Dentro del mismo contexto, Ahumada concluye que, en general, la normativa chilena no maneja los conceptos de obra de seguridad ni gestión de riesgo con respecto a crecidas y eventos de turbiedad, aunque rescata lo expuesto en la norma chilena NCh. 2369.Of2003 (Diseño sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales), que refleja la preocupación a nivel país de que los estanques de agua potable sean resistentes a terremotos, y que su funcionalidad no se vea afectada en caso de emergencia o desastre de origen sísmico (Ahumada, 2006).

En lo que a crecidas concierne, la normativa nacional, a través de la NCh. 777/1.Of2008, indica que las obras de captación de agua potable se deben diseñar para resistir una crecida de período de retorno mayor o igual que 100 años. En cuanto a eventos de turbiedad, el último proceso tarifario para Aguas Andinas (2010 – 2015) contempla un plan de contingencia basado en el evento de Mayo de 2008, que asegura, para la empresa modelo, una satisfacción del 80% de la demanda de agua potable en el Gran Santiago, por espacio de 5 días, en los que se asume que la capacidad de producción se ve reducida por efecto de los sólidos suspendidos presentes en el agua cruda.

## IV. Información Local Disponible

### 4.1. Cambio Climático Local

Además del cambio climático global expuesto en el **capítulo II**, es relevante conocer los cambios climáticos en la zona de estudio, cuyos parámetros de mayor interés se detallan a continuación.

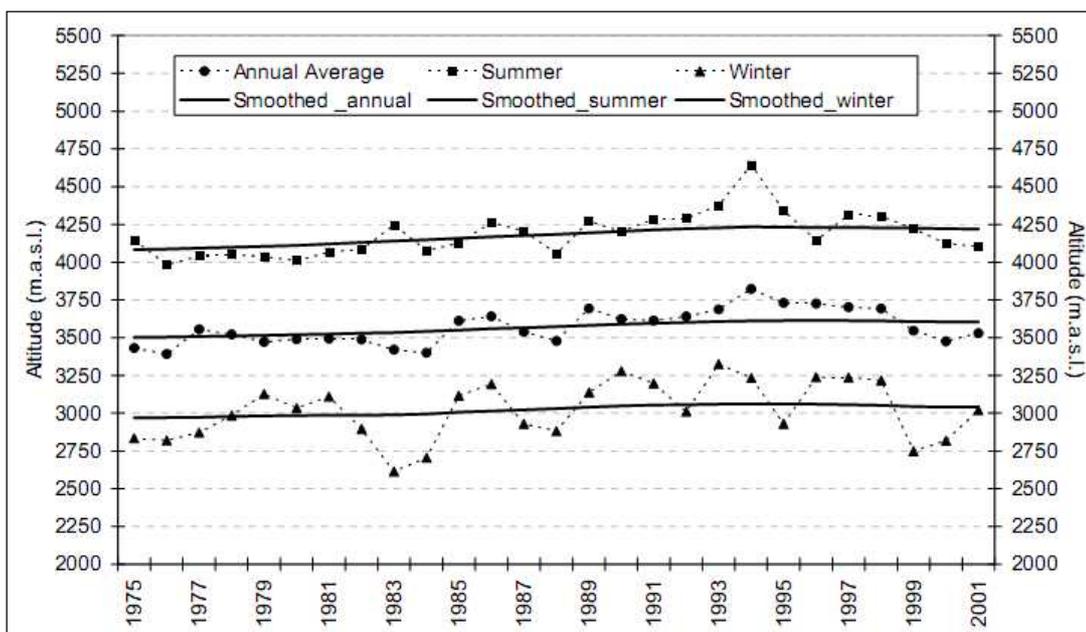
#### 4.1.1. Cambios en la Temperatura e Isotherma Cero

Asumiendo una tendencia lineal en la temperatura media anual del aire para el período 1901 – 2005, el 4th Assessment Report de la IPCC establece que ha habido un calentamiento de entre 0,2 y 1,1 °C en Chile, al norte de los 38° S. En lo que respecta a Chile central, entendido como el área comprendida entre los 30° S y los 38° S, se mostró un aumento significativo de la temperatura, cercano a los 2,8 °C, desde fines del siglo XIX hasta fines del siglo XX. Más específicamente, en Santiago se ha registrado un aumento de la temperatura mínima media anual de 0,77 °C, para el período 1961 – 2006, durante la estación de verano (Diciembre – Febrero); y un aumento de 0,99 °C para la estación de invierno (Junio – Agosto) (Carrasco et al, 2008).

Utilizando información de radiosonda de las estaciones Quintero y Santo Domingo (32° 74' S, 71° 33' O, 8 msnm y 33° 38' S, 71° 38'O, 77 msnm, respectivamente), Carrasco determinó que la isoterma cero representativa para Chile central, en el período 1975 – 2001, ha elevado su altura media anual, representada por el mes de Marzo, en  $152 \pm 4$  m, con incrementos de  $200 \pm 6$  m en verano (Diciembre – Febrero) y  $122 \pm 8$  m en invierno (Junio – Agosto). Sin embargo, los registros sugieren que esta tendencia positiva se frenó a principios de la década de 1990, lo que concuerda con la estabilidad de las temperaturas observada en las últimas décadas. Además, considerando sólo los días con precipitaciones en Chile central, la isoterma cero exhibió un pequeño incremento de 12 m durante el período antes mencionado, de donde se infiere que, en promedio, el área que normalmente recibe precipitaciones en forma de nieve no ha sufrido grandes cambios, aunque el derretimiento de nieve en días sin precipitaciones sí ha aumentado.

Hacia fines del siglo XXI, la línea de equilibrio (línea que separa la zona de acumulación de la zona de ablación en la superficie de un glaciar) en Chile central podría elevarse entre 350 m y 440 m, según los aumentos de temperatura y disminución de las precipitaciones de los escenarios B2 y A2, respectivamente. Los resultados de esta predicción indicaron que alrededor de un 85% de la influencia en la elevación de la línea de equilibrio y el retroceso de los glaciares en la zona de estudio es atribuible al calentamiento de la tropósfera, relegando el cambio en las precipitaciones a un segundo plano (Carrasco et al, 2008).

**Figura 8: Isotherma 0 °C en Chile Central**



Fuente: Carrasco et al (2005).

De acuerdo a las estimaciones latitudinales específicas para Santiago (33° 27' S), la isoterma 0 °C media anual se encuentra a 3.740 msnm, mientras que la línea de equilibrio media anual está a 3.970 msnm, siendo ambos valores representativos para comienzos del siglo XXI (período 2001 – 2005). Como no se cuenta con información detallada de estos parámetros en las estaciones de invierno y verano, y considerando la similitud entre las elevaciones de la isoterma cero y la línea de equilibrio en Santiago, se asumirá para ambos casos que su variación estacional en relación a las medias anuales es del orden +500 m en verano y -500 m en invierno, en concordancia con la franja observada en la **figura 8**. Asimismo, se asumirá que los cambios predichos en la elevación de la línea de equilibrio serán igualmente aplicables a la isoterma 0 °C.

**Tabla 4: Isotherma cero y línea de equilibrio en Santiago, comienzos del siglo XXI**

	<b>Anual</b>	<b>Verano</b>	<b>Invierno</b>
<b>Isotherma 0 °C [msnm]</b>	3.740	4.240	3.240
<b>Línea de Equilibrio [msnm]</b>	3.970	4.470	3.470

Fuente: Elaboración propia

### **4.1.2. Cambios en las Precipitaciones**

Análisis de datos entre 1900 y 2000 indican que no ha habido un cambio significativo en la cantidad de precipitaciones en Santiago (estación Santiago Quinta Normal), en contraste con las ciudades de La Serena, Valparaíso y Concepción, que han experimentado una disminución de las mismas en el mismo período de tiempo. Sin embargo, análisis de los períodos 1950 – 2000 y 1970 – 2000 sugieren un pequeño incremento en las precipitaciones al norte de los 33° S y 34° S, respectivamente, aunque dicho incremento no es estadísticamente significativo. Por otra parte, el estudio de precipitaciones a nivel diario en Chile central indica que los días del año donde ocurren precipitaciones han caído desde 1970. Por lo tanto, en el caso de Santiago, los eventos de precipitación se han vuelto menos frecuentes, pero más intensos en el último tercio del siglo XX (Carrasco et al, 2005).

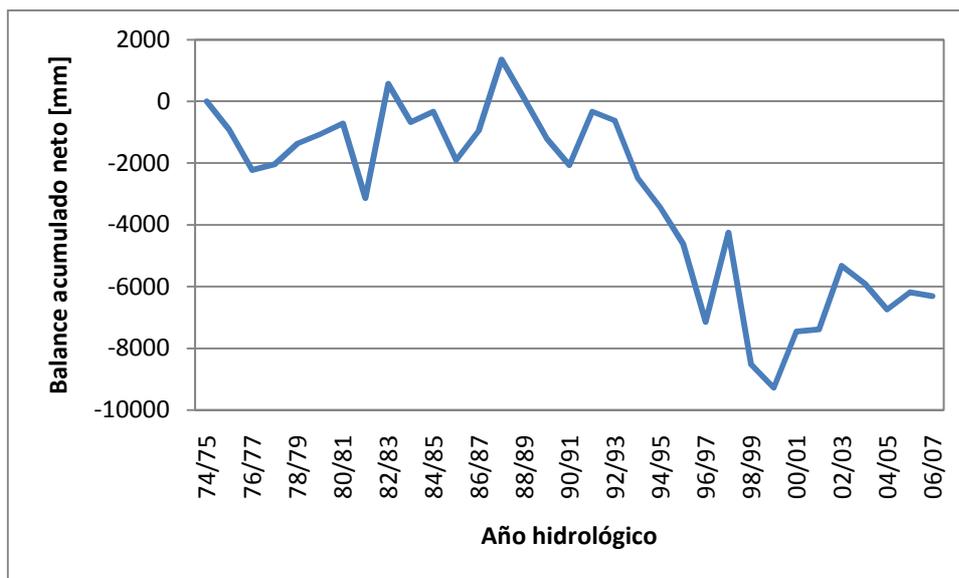
### **4.1.3. Retroceso de Glaciares**

El glaciar Echaurren Norte (33° 33' S, 70° 08' O, 3.750 msnm) se ubica en la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes, en la parte superior de la cuenca del Maipo (Laguna Negra, subcuenca del río Yeso), frente a Santiago. Su superficie es de 40 hectáreas y, considerando que ha sido estudiado ininterrumpidamente desde 1974, convirtiéndolo en el glaciar sudamericano de período más largo de mediciones, resulta de particular interés su estudio para hacer un acercamiento local al fenómeno del cambio climático.

Del estudio "Balance de masa en el Glaciar Echaurren Norte, 1975-1992" (Escobar et al, 1995) y de un complemento de este último (Escobar et al, 1997) se observa que, en concordancia a los efectos del cambio climático global y local explicados en puntos anteriores, el glaciar ha experimentado un retroceso en términos de la diferencia entre acumulación y ablación. Para datos posteriores a 1997, se recurrió al World Glacier Monitoring Service (WGMS), con los que se complementó y corrigió la información previa.

Dado que los datos de la WGMS para el glaciar Echaurren Norte son sólo de balance de masa, no fue posible realizar una comparación de la evolución en acumulación y ablación para el período 1997 – 2007, comparación que sí fue posible hacer con los datos de Escobar. Con ellos, se vio que la ablación acumulada fue un 13,0% mayor a la acumulación total en el período 1974 - 1997.

**Figura 9: Balance de masa acumulado en el glaciar Echaurren Norte**



Fuente: Elaboración propia

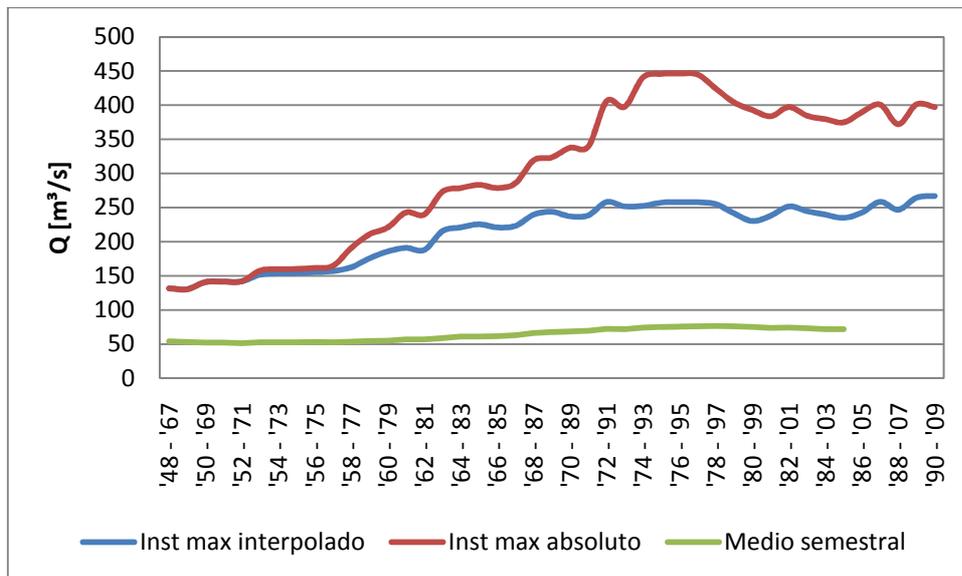
Cabe destacar que la abrupta caída en el balance acumulado neto, entre 1992 y 1999, coincide con el período en que se registraron las mayores elevaciones medias de la isoterma cero en Chile central, entre 1975 y 2001. En términos de precipitaciones, esta disminución también es consistente con la seguidilla de años secos que afectaron a Santiago a mediados y fines de la década de 1990, en donde las lluvias invernales en la estación Quinta Normal sumaron 225 mm en 1994, 163 mm en 1995, 158 mm en 1996, 630 mm en 1997 (año húmedo que coincide con el máximo local de balance acumulado neto entre 1995 y 2007), y 85 mm en 1998. Este último año se caracterizó por la falla en el abastecimiento de agua potable de la capital (SISS, 2009), y por cortes programados en el suministro eléctrico del Sistema Interconectado Central, como consecuencia de los bajos niveles de los embalses destinados a generación.

## 4.2. Fluviometría

Para hacer un diagnóstico del comportamiento de las crecidas de origen pluvial a nivel histórico, se hizo uso de información proveniente de la estación fluviométrica “Río Maipo en El Manzano” (33° 36' S, 70° 23' O, 890 msnm), la cual se encuentra inmediatamente aguas abajo de la confluencia entre los ríos Maipo y Colorado, y cuya área de drenaje es de 4.968 km<sup>2</sup>, representando fielmente la subcuenca del Río Maipo Alto. Otra característica que hace de esta estación una referencia de interés es el hecho de que la Toma Independiente de Aguas Andinas, que es una de las de mayor importancia para la empresa y, por ende, de la población de Santiago, también se encuentra en las cercanías de la confluencia, por lo que cualquier evento reportado por la estación escogida es sentido casi idénticamente por la captación en cuestión.

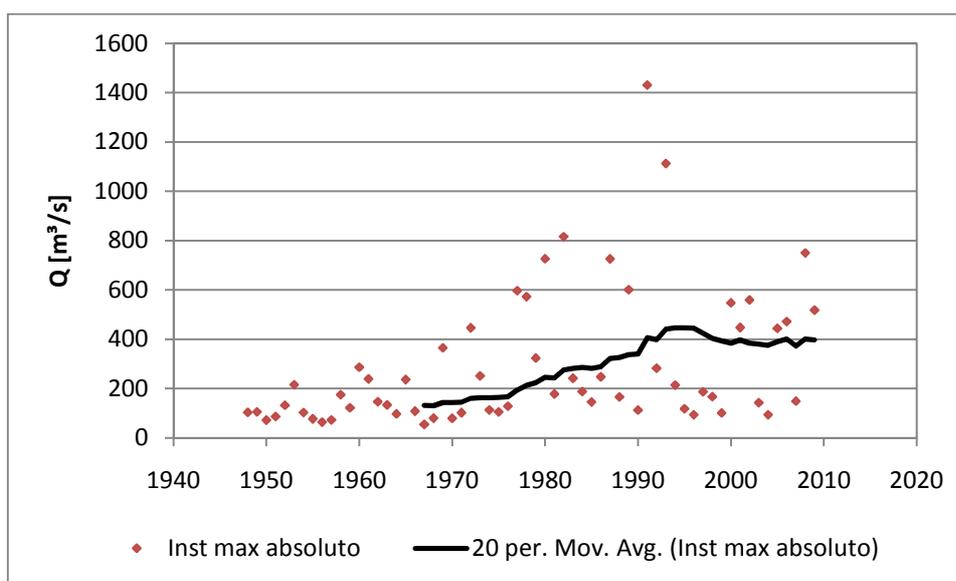
Como primer acercamiento al estudio de crecidas, se presenta una media móvil de 20 años de los caudales instantáneos máximos semestrales de origen pluvial, en el período 1948 – 2009, y para el caudal medio semestral del período pluvial entre los años 1948 – 2004. Por período pluvial se entiende el intervalo de tiempo conformado por los meses de Abril, Mayo, Junio, Julio, Agosto y Septiembre, que son los que concentran la mayoría de los eventos de precipitación en Chile central.

**Figura 10: Media móvil de 20 años para caudal medio e instantáneos máximos semestrales, estación Río Maipo en El Manzano (1948 – 2009)**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 11: Media móvil de 20 años para caudales instantáneos máximos semestrales absolutos, estación Río Maipo en El Manzano (1948 – 2009)**



Fuente: Elaboración propia

La decisión de separar la serie de caudales en interpolados y absolutos, donde absoluto corresponde al máximo entre el caudal instantáneo máximo interpolado y el caudal instantáneo máximo extrapolado de la curva de descarga, radica en que el listado de extremos instantáneos mensuales y anuales elaborado por la DGA considera sólo este último, sin contemplar qué tan extrapolado está el caudal en cuestión, en caso de ser el máximo un dato extrapolado. Por lo tanto, al hacer esta discriminación, se tiene una cota inferior y una superior del caudal instantáneo máximo real, asumiendo que los datos interpolados son confiables, y que los extrapolados tienen una incerteza intrínseca, proporcional a su alejamiento de la curva de descarga utilizada como parámetro.

De la figura se ve que tanto el caudal medio semestral como los caudales instantáneos máximos, interpolados y absolutos de la curva de descarga, presentan una tendencia alcista, especialmente los últimos. El ensanchamiento abrupto de la brecha entre la curva interpolada y absoluta que se produce a partir de la media móvil 1972 – 1991, se debe a que en los años 1991 y 1993 se registraron los caudales instantáneos máximos de mayor magnitud en toda la serie semestral. Los eventos en cuestión corresponden a los caudales registrados el 28 de mayo de 1991, con un caudal instantáneo máximo extrapolado de  $1.430 \text{ m}^3/\text{s}$  (el máximo interpolado semestral de 1991 fue de  $480 \text{ m}^3/\text{s}$ ); y el 3 de mayo de 1993, con un caudal instantáneo máximo extrapolado de  $1.110 \text{ m}^3/\text{s}$  (el máximo interpolado semestral de 1993 fue de  $270 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Cabe mencionar que estos dos registros son los únicos que superan los  $1.000 \text{ m}^3/\text{s}$  en todo el historial de caudales instantáneos 1946 – 2009, incluso considerando los 12 meses del año.

Con respecto a la capacidad máxima de agua que el río Maipo puede conducir en el sector de la Toma Independiente de Aguas Andinas, perfiles transversales de la zona indican que el cauce tiene capacidad para un caudal de  $1.500 \text{ m}^3/\text{s}$  (Instituto Nacional de Hidráulica, 1989), por lo que los caudales máximos mencionados serían teóricamente registrables.

En la siguiente tabla se resumen las diferencias entre caudales instantáneos máximos semestrales, interpolados y extrapolados, en los años que el máximo correspondió a un caudal extrapolado de la curva de descarga.

**Tabla 5: Diferencias entre caudales instantáneos máximos semestrales**

Año	Q inst max interpolado [m <sup>3</sup> /s]	Q inst max absoluto [m <sup>3</sup> /s]	ΔQ [m <sup>3</sup> /s]
1972	325	446	121
1976	96	128	32
1977	183	597	414
1978	438	573	135
1980	390	726	336
1982	699	816	117
1986	154	248	94
1987	380	726	346
1989	181	601	420
1991	489	1.430	941
1992	194	282	88
1993	268	1.110	842
1994	210	214	4
1997	127	187	60
2002	427	559	132
2005	297	444	147
2008	518	750	232
2009	230	518	288

Fuente: Elaboración propia.

No se incluyó la diferencia de alturas limnigráficas porque los máximos interpolados y extrapolados no se registraron necesariamente el mismo mes, por lo que las curvas de descarga utilizadas para cada caudal pueden ser distintas, incompatibilizando toda comparación a nivel de alturas.

Sólo se registraron extrapolaciones entre abril de 1999 y julio de 2002, agosto de 2003; y entre mayo de 2004 y abril de 2005. De ahí que varios de estos años no presenten comparación entre datos interpolados y extrapolados, dada la inexistencia de los primeros. Debido a esto, se hizo uso de los caudales extrapolados disponibles en los meses donde no existe interpolación alguna, para calcular la media móvil de caudales interpolados presentada anteriormente. Se consultó a la DGA el porqué de esta situación, que es exclusiva para los meses mencionados, pero no se recibió respuesta al respecto.

El hecho de que las primeras medias interpoladas y absolutas se hayan encontrado en torno a los 150 m<sup>3</sup>/s, y que tras un paulatino aumento de ambas a través de un período que en total abarca 62 años, se haya llegado a que las últimas medias se encontraron cercanas a los 270 m<sup>3</sup>/s, en el caso de los datos interpolados; y cercanas a los 400 m<sup>3</sup>/s, en el caso de los instantáneos máximos absolutos, motivó a evaluar la calidad de los registros fluviométricos instantáneos a nivel horario, con el fin de encontrar algún posible nexo entre éstos y el abrupto aumento en la magnitud de las crecidas en un período de tiempo inferior a un siglo.

#### **4.2.1. Calidad de los Registros Fluviométricos Históricos en la Estación Río Maipo en El Manzano**

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, este trabajo de título tiene como prioridad el estudio de las crecidas de origen pluvial por sobre las crecidas estivales, que son de origen nival. Con el propósito de evaluar la calidad de las mediciones hechas hasta 2009, se revisó la fluvimetría histórica de caudales instantáneos a nivel horario en la estación Río Maipo en El Manzano, para los meses de Abril, Mayo, Junio, Julio, Agosto y Septiembre. Del conjunto de datos estudiados se distinguieron dos subconjuntos: el período comprendido entre 1948 y 1967, y el período comprendido entre 1968 y 2009. El primero se caracterizó por un gran número de series mensuales incompletas o vacías, es decir, períodos de días o semanas en que no se midió en lo absoluto; mientras que el segundo período (1968 – 2009) contó con más regularidad en cuanto a series mensuales completas.

En las siguientes tablas se resume el recuento de series mensuales completas (todos los días con mediciones), incompletas (al menos un día sin mediciones), vacías (ningún día con mediciones) y parcialmente completas, para los períodos 1948 – 1967 y 1968 – 2009. Se definió “serie parcialmente completa” como aquella serie mensual incompleta que carece de un máximo de 5 días con mediciones (es decir, tiene aproximadamente un 85% de los días con mediciones), y que no tiene más de 3 días seguidos sin mediciones (es decir, no puede tener más de un 10% de días seguidos sin mediciones).

**Tabla 6: Calidad de las mediciones en la estación Río Maipo en El Manzano, para el periodo 1948 – 1967**

	Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Total período 1948 - 1967	
	Total	[%]	Total	[%]	Total	[%]	Total	[%]	Total	[%]	Total	[%]	Total	[%]
Series mensuales	20	100,0%	20	100,0%	20	100,0%	20	100,0%	20	100,0%	20	100,0%	120	100,0%
Series mensuales completas	1	5,0%	8	40,0%	6	30,0%	6	30,0%	9	45,0%	11	55,0%	41	34,2%
Series mensuales incompletas	19	95,0%	10	50,0%	14	70,0%	13	65,0%	11	55,0%	9	45,0%	76	63,3%
Series mensuales vacías	0	0,0%	2	10,0%	0	0,0%	1	5,0%	0	0,0%	0	0,0%	3	2,5%
Series mensuales parcialmente completas	0	0,0%	3	15,0%	1	5,0%	3	15,0%	2	10,0%	2	10,0%	11	9,2%
Series mensuales completas o parcialmente completas	1	5,0%	11	55,0%	7	35,0%	9	45,0%	11	55,0%	13	65,0%	52	43,3%

Fuente: Elaboración propia

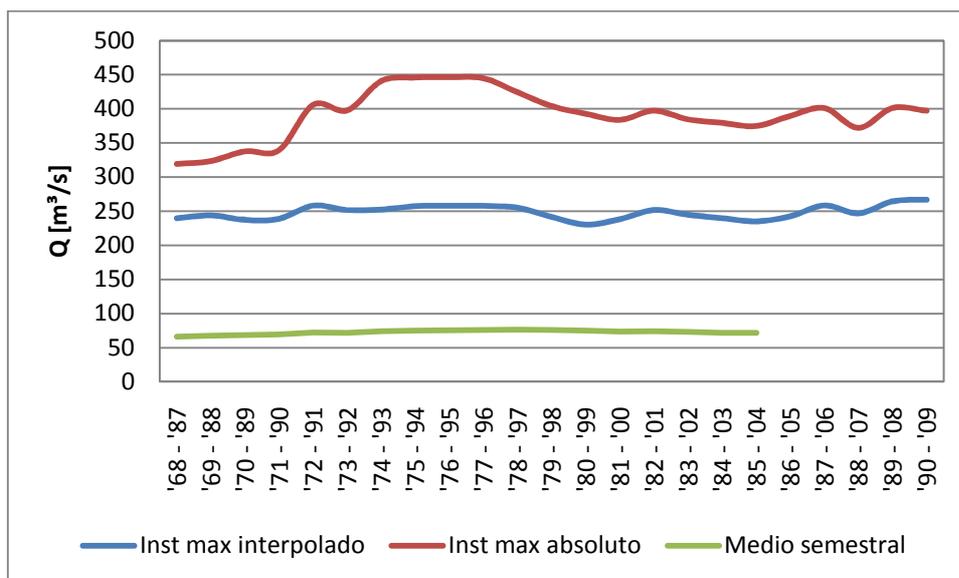
**Tabla 7: Calidad de las mediciones en la estación Río Maipo en El Manzano, para el periodo 1968 – 2009**

	Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Total período 1968 - 2009	
	Total	[%]	Total	[%]	Total	[%]	Total	[%]	Total	[%]	Total	[%]	Total	[%]
Series mensuales	42	100,0%	42	100,0%	42	100,0%	42	100,0%	42	100,0%	42	100,0%	252	100,0%
Series mensuales completas	36	85,7%	37	88,1%	37	88,1%	36	85,7%	38	90,5%	36	85,7%	220	87,3%
Series mensuales incompletas	5	11,9%	5	11,9%	5	11,9%	6	14,3%	4	9,5%	6	14,3%	31	12,3%
Series mensuales vacías	1	2,4%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	1	0,4%
Series mensuales parcialmente completas	3	7,1%	2	4,8%	0	0,0%	2	4,8%	3	7,1%	4	9,5%	14	5,6%
Series mensuales completas o parcialmente completas	39	92,9%	39	92,9%	37	88,1%	38	90,5%	41	97,6%	40	95,2%	234	92,9%

Fuente: Elaboración propia

Al comparar estas tablas con las medias móviles de 20 años mostradas en las **figuras 10 y 11**, se observa que el año en que la calidad de las mediciones empieza a mejorar (1968) coincide con el aumento de la brecha entre caudales instantáneos máximos interpolados e instantáneos máximos absolutos. Esto sugiere que es probable que el cambio abrupto observado en las medias móviles de los caudales instantáneos máximos se deba, en parte, a factores climáticos, y en forma no despreciable a la calidad de los datos tomados desde 1968, año en que también se registró una de las mayores sequías documentadas en la historia de Santiago, que a su vez explicaría el porqué de la mejoría en la regularidad de los registros, en el sentido de que la gran sequía habría levantado la voz de alerta y actuado como motivación para tener mediciones más completas y consistentes. Luego, dado que las primeras dos décadas de registros cuentan sólo con un 43,3% de series mensuales completas o parcialmente completas, en contraste con el período 1968 – 2009, que tiene un 92,9% de sus series mensuales completas o parciamente completas, resulta razonable suponer que varias de las crecidas de origen pluvial del período 1948 – 1967 hayan ocurrido sin ser registradas, quedando como máximo instantáneo absoluto un caudal cuya magnitud se encuentra minorada. Luego, resulta apropiado observar la tendencia entre 1968 y 2009, por ser un período de 42 años que contiene información más consistente que el período histórico de 1948 a 2009.

**Figura 12: Media móvil de 20 años para caudal medio e instantáneos máximos semestrales, estación Río Maipo en El Manzano (1968 – 2009)**



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 8: Variación entre medias de 20 años para caudales instantáneos máximos interpolados**

	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Semestre</b>
<b>Media 1968 - 1987 [m<sup>3</sup>/s]</b>	106	120	144	166	122	112	240
<b>Media 1990 - 2009 [m<sup>3</sup>/s]</b>	113	163	142	151	138	124	267
<b>Variación [%]</b>	5,9%	35,9%	-1,4%	-9,0%	12,6%	10,9%	11,4%

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 9: Variación entre medias de 20 años para caudales instantáneos máximos absolutos**

	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Semestre</b>
<b>Media 1968 - 1987 [m<sup>3</sup>/s]</b>	132	136	155	211	126	112	319
<b>Media 1990 - 2009 [m<sup>3</sup>/s]</b>	119	274	155	169	149	141	397
<b>Variación [%]</b>	-9,8%	101,1%	-0,2%	-19,8%	18,1%	26,3%	24,4%

Fuente: Elaboración propia

Si bien se produjo un aumento del 24,4% en la media de 20 años de los caudales instantáneos máximos absolutos, ese aumento no es homogéneo en todos los meses estudiados, apreciándose variaciones negativas en los meses de Abril y Julio; una práctica invariabilidad en el mes de Junio (-0,2%), y variaciones al alza en los meses de Mayo, Agosto y Septiembre. El aumento más significativo fue experimentado por el mes de Mayo, con una variación del 101,1%, fuertemente influenciado por los valores extremos de 1991 y 1993, que sobrepasaron los 1.000 m<sup>3</sup>/s.

A modo de aclaración, la omisión de los años 1988 y 1989 de las tablas anteriores se debió exclusivamente a que las medias consideradas fueron de 20 años, y el total de años entre 1968 y 2009 es 42. De esta forma, si se consideran los primeros y últimos 20 años de la serie, quedarán excluidos dos datos, que corresponden a los años 1988 y 1989.

## **4.3. Evidencia Documental de Crecidas Catastróficas y Eventos Afines**

### **4.3.1. Evidencia Documental de Caudales Extremos de Gran Magnitud**

Asumiendo que el cauce del río Maipo a la altura de la Toma Independiente puede conducir caudales máximos en torno a los 1.500 m<sup>3</sup>/s, tal como indicó el INH, por el momento no existiría necesidad de cuestionar la calibración de las curvas de descarga hecha por la DGA. Sin embargo, se consideró relevante la revisión de cobertura mediática e información documental de todas las crecidas entre Abril y Septiembre, desde 1968 a 2009, cuya magnitud superó los 500 m<sup>3</sup>/s, para verificar su real ocurrencia, descartar que los máximos registrados correspondieran a algún error de medición en la estación, y dejar en evidencia las consecuencias catastróficas que ellas conllevan. Los eventos anteriores a 1993 fueron confirmados mayoritariamente a partir de su referencia en el libro “Catástrofes en Chile 1541-1992” (Urrutia y Lanza, 1993), y eventos ocurridos durante o después de 1993 fueron confirmados a partir de artículos publicados en diarios nacionales.

La lista de crecidas cuya magnitud se ajusta al criterio de búsqueda es la siguiente:

#### **4.3.1.1. Sequía de 1968**

Si bien no corresponde a una crecida, se consideró importante incluir este evento que marca el inicio de las mediciones de mejor calidad en la estación Río Maipo en El Manzano, para reforzar la idea de que esta sequía motivó a mejorar la continuidad y consistencia de los registros.

“La peor sequía en 100 años” y “Terremoto seco” fueron algunos de los titulares de los diarios en Julio de 1968, para graficar el problema del agro, ganadería, electricidad, alimentación, industria, minería y prácticamente de todos los rubros del quehacer nacional afectados por la falta de agua. El problema comenzó en 1967, año relativamente seco, en que, por ejemplo, en el sector de Lagunillas (RM), hubo sólo 27 cm de nieve, en circunstancias que normalmente llegaba a los 130 cm. Al año siguiente, Lagunillas estaba totalmente desprovisto de nieve en el mes de Julio.

Las pérdidas en el sector agrícola se estimaron en 1.010.000 quintales métricos de papas, 280.000 quintales métricos de arroz, 770.000 quintales métricos de maíz, entre otros. Debido a la falta de agua y pasto, la ganadería sufrió la pérdida de 100.000 vacunos y 1.000.000 de ovinos, mientras que las cabezas de ganado sobrevivientes experimentaron bajas de peso que diezmaron la producción de lana, con pérdidas estimadas en 2.100 toneladas; y de leche, con 98.000.000 de litros menos.

El déficit de agua superficial en ríos, lagos y lagunas fue del 80% en la zona de crisis, comprendida entre Valparaíso, Aconcagua y Santiago, ciudad en que el descenso de las aguas subterráneas fluctuó entre 2 y 13 metros.

Los principales embalses quedaron casi secos: en Julio de 1968, los tranques Tutuvén (VII región) y La Paloma (IV región) estuvieron a un 13,9% y 5,3% de sus

respectivas capacidades. Para Diciembre del mismo año, los embalses Cogotí (IV región) y Peñuelas (V región) alcanzaron el 2,8% y 55,3% de capacidad, respectivamente. El déficit de energía hidroeléctrica gatillado por esta situación, hizo que las centrales termoeléctricas de Ventanas, Renca y Laguna Verde funcionaran a máxima capacidad, consumiendo toda la producción y reservas carboníferas de Lota-Schwager, al punto que tuvo que importarse 250.000 toneladas del mineral desde EE.UU., Polonia y Alemania Federal.

#### **4.3.1.2. 22 de Julio de 1977 (caudal máximo instantáneo de 598 m<sup>3</sup>/s)**

Entre el miércoles 20 y la mañana del 22 de Julio de 1977, llovió más de 50 horas sin parar, desde La Serena hasta Puerto Montt, dejando un saldo de 11 muertos, 16.800 damnificados (14.000 de ellos en la RM), muchos de ellos aislados debido al desborde de 53 ríos y esteros, además de algunos embalses y tranques. En vialidad, se produjo deterioro en 58 puentes y se cortaron 98 caminos que fragmentaron la carretera Panamericana.

En el sector oriente de la Región Metropolitana, el reblandecimiento del terreno originó el desprendimiento de piedras de hasta 700 kg de peso, las que fueron a dar al puente Luis Pasteur, sobre el río Mapocho, azotando y cortando sus pilotes, lo que dejó aislado a todo el sector de Lo Curro.

#### **4.3.1.3. 28 de Julio de 1978 (caudal máximo instantáneo de 573 m<sup>3</sup>/s)**

14 días de lluvia en el sur y una semana en la zona central, durante el mes de Julio de 1978, dejaron por lo menos 8 muertos y 4.000 damnificados. Se descompusieron más de 4.000 teléfonos, hubo daños en puentes y túneles, mientras que el reblandecimiento de la tierra, los derrumbes y la crecida de los ríos provocaron problemas en los caminos.

Al cortarse el puente sobre el río Tinguiririca, deteriorarse la carretera Panamericana Norte en varios tramos, más la obstrucción de los túneles Lo Prado y Zapata, la ciudad de Santiago quedó aislada y decenas de camiones a la altura de Angostura quedaron sin poder llegar a la capital. Portillo y Lagunillas también quedaron aislados.

#### **4.3.1.4. 17 de Abril de 1980 (caudal máximo instantáneo de 726 m<sup>3</sup>/s)**

En Abril de 1980, un sistema frontal se extendió desde la II a la VIII región, con un saldo de 34 muertos, 18 heridos, 53 desaparecidos, 926 viviendas dañadas, 23 destruidas y 4.396 damnificados. A mediados del mismo mes, el mal tiempo causó daños materiales, principalmente en Valparaíso, donde 18 pescadores murieron tras naufragar sus embarcaciones. En Santiago, el ventarrón con rachas de más de 100 km/h botó árboles y ramas, dañando los tendidos de energía eléctrica y teléfonos, suspendiéndose ambos suministros durante varias horas.

#### **4.3.1.5. 27 de Junio de 1982 (caudal máximo instantáneo de 816 m<sup>3</sup>/s)**

Entre el 25 y el 28 de Junio de 1982, un sistema frontal se extendió entre la IV y la VII región. Hubo 18 muertos, 802 heridos. 18.474 personas damnificadas, 578 viviendas

destruidas y 3.161 dañadas. Se produjeron cortes en los suministros de energía eléctrica, agua potable, comunicaciones telefónicas e interrupción del alcantarillado. Se cortaron 61 tramos de caminos, se inundaron 9 pasos bajo nivel en Santiago, 23 ríos y canales salieron de sus cauces, hubo 58 puentes inhabilitados, la vía férrea se cortó en tres sectores de la VI región y 17 localidades quedaron aisladas. Los mayores daños se registraron en la Región Metropolitana: el río Mapocho se desbordó en varios sectores, hacia el oriente a la altura del puente Lo Curro, inundando cientos de casas, los subterráneos de los edificios de departamentos y las principales calles de Las Condes; hacia el centro se desbordó a la altura del puente Pío Nono, anegando parte del sector céntrico de la ciudad, y hacia el poniente a la altura de la comuna de Quinta Normal. También se salieron de sus cauces el canal San Carlos y el Zanjón de la Aguada. La mayoría de las calles y avenidas de Santiago se convirtieron en verdaderos ríos. Diversos sectores y poblaciones quedaron varios días sin agua potable, sin luz y sin teléfonos. Los damnificados de la región sumaron más de 11.000 personas.

Un estudio realizado por un geógrafo de la Pontificia Universidad Católica, sobre este frente de mal tiempo, señala, en resumen, que un frente frontal cálido que significó que a niveles que en la cordillera normalmente las precipitaciones son en forma de nieve, esta vez fueron en forma de lluvia, provocando el rápido derretimiento de la nieve, que escurrió en forma de agua hacia la cuenca de Santiago.

#### **4.3.1.6. 16 de Julio de 1982 (caudal máximo instantáneo de 613 m<sup>3</sup>/s)**

A mediados de Julio, un nuevo frente de mal tiempo se extendió entre La Serena y Valdivia. En Santiago, las poblaciones más dañadas fueron las de Renca, San Miguel, Cerrillos, Lo Valledor, Pudahuel y la Gran Avenida, que se anegó en varios puntos entre San Miguel y La Cisterna.

#### **4.3.1.7. 14 de Junio de 1987 (caudal máximo instantáneo de 726 m<sup>3</sup>/s)**

Dos frentes de mal tiempo azotaron gran parte del país en Julio de 1987: el primero se inició el día 9, abarcando desde la V a la X región. El segundo empezó el día 18, extendiéndose hasta la II región. Entre los daños que dejaron ambos temporales hay que destacar que quedaron 116.636 damnificados, 50 muertos, 18 heridos; se desbordaron varios ríos, entre éstos, el río Mapocho; los caminos se cortaron en 172 puntos, se destruyeron puentes, decenas de localidades quedaron aisladas, faltó energía eléctrica en 18 lugares y en 42 sectores se cortó el sistema telefónico.

#### **4.3.1.8. Alud en Cajón del Maipo en Noviembre de 1987**

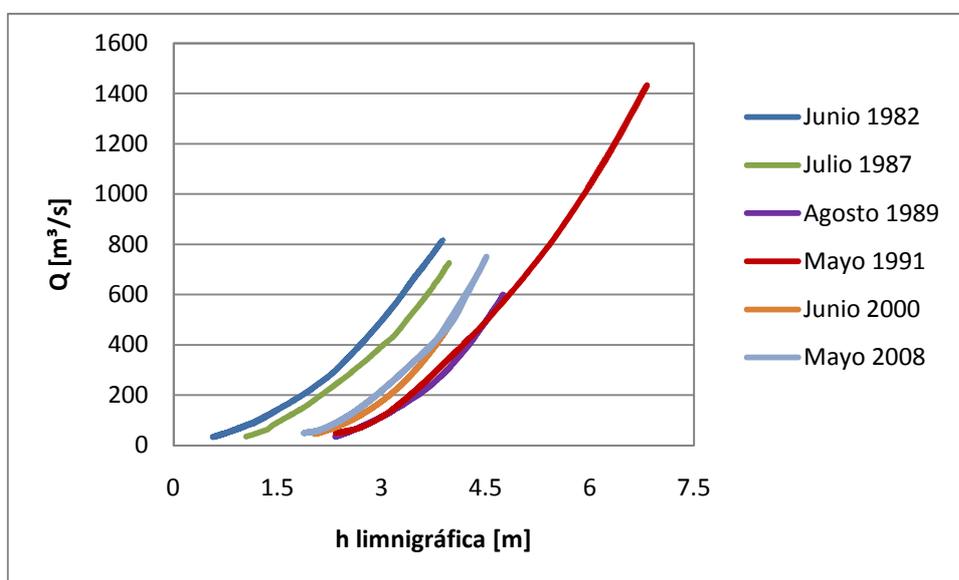
Este evento no pertenece al semestre pluvial, pero resulta de importancia mencionarlo, debido a sus consecuencias en el lecho del río Maipo. La ausencia de registros en la estación Río Maipo en El Manzano entre el 4 de Noviembre de 1987 y el 26 de Mayo de 1988, fechas entre las cuales la curva de descarga sufre un desplazamiento abrupto de aproximadamente 1,30 metros (basado en la comparación de las curvas de Julio de 1987 y Agosto de 1989), motivaron a investigar las causas del mismo.

Por lo menos 35 personas, entre muertos y desaparecidos, fue el saldo que dejó una avalancha de nieve, agua, barro y piedras provenientes de la alta montaña, que se precipitó sobre un campamento en el sector de El Alfalfal, en el Cajón del Maipo, el 29 de Noviembre de 1987. Fueron cerca de 15 millones de metros cúbicos de material que se desprendieron de una ladera ubicada en la naciente del estero Parraguirre, en el sector de Las Juntas con el río Colorado, las que cayeron desde veinte metros de altura, a más de 100 km/h, las que arrasaron con las viviendas de madera del campamento de operarios que trabajaban en un proyecto hidroeléctrico de la zona.

El desastre dejó sin agua potable, por varios días, a Ñuñoa, Peñalolén, Isla de Maipo, San Luis de Macul, Puente Alto y La Florida, y a otros sectores con la mitad del suministro normal.

La información fue confirmada tras consultar a la DGA, que además informó que la estación fluviométrica fue destruida por el aluvión, pero fue reconstruida en el mismo lugar, con un cambio notorio en la sección transversal del río (Pastén, 2010).

**Figura 13: Curvas de descarga para distintos eventos**



Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.1.9. 24 de Agosto de 1989 (caudal máximo instantáneo de 601 m³/s)

No se encontró evidencia documental o mediática sobre esta crecida. Sin embargo, la precipitación máxima en 24 horas en la estación Santiago Quinta Normal se registró el día 23, con 30 mm caídos. Por otra parte, información de radiosonda de la estación Quintero indicó que la isoterma 0 °C alcanzó una elevación superior a 2.700 msnm el mismo día, lo que equivale a un área de drenaje de 1.890 km<sup>2</sup> en la estación Río Maipo en El Manzano.

Por lo tanto, a pesar de que no se encontró evidencia documental, la exacta coincidencia entre la información fluviométrica, pluviométrica y de radiosonda, todas obtenidas de fuentes independientes, acusan la probable ocurrencia de una crecida, por lo que la información fluviométrica puede ser considerada válida.

#### **4.3.1.10. 28 de Mayo de 1991 (caudal máximo instantáneo de 1.430 m<sup>3</sup>/s)**

Un sistema frontal comenzó el 28 de Mayo de 1991, extendiéndose desde Santiago hasta la VIII región. En la capital, las intensas precipitaciones provocaron el desborde del río Mapocho a la altura de Tabancura, dañando más de 2 km del camino en construcción, que ampliaba la avenida Santa María hacia el oriente. La carretera Panamericana Sur se cortó a la altura del río Tinguiririca, que al desbordarse destruyó los terraplenes.

Una explicación a la escasa información mediática de los eventos del 28 de Mayo de 1991 puede atribuirse a la ocurrencia del “Aluvión de Antofagasta”, el 18 de Junio del mismo año, evento mucho más catastrófico y que acaparó una muy superior cobertura documental y prioridad a nivel gubernamental, que el frente del mal tiempo que afectó a la capital. Otra prueba de la magnitud del frente del 28 de mayo se verifica en la crecida del río Melado (estación La Lancha, VII región), el mismo día: el caudal instantáneo máximo se estimó en 3.100 m<sup>3</sup>/s, el máximo histórico de esa estación, y que corresponde a un período de retorno de alrededor de 450 años (Arias, 2011).

#### **4.3.1.11. 3 de Mayo de 1993 (caudal máximo instantáneo de 1.110 m<sup>3</sup>/s)**

Durante mayo de 1993, fuertes temporales se produjeron entre la V y VI región. En la madrugada del día 3, las precipitaciones en altura, con temperaturas mayores a los de 15 °C, derritieron la nieve, provocando un desprendimiento de detritos que, en conjunto con la alta pendiente de la quebrada de Macul, favorecieron el arrastre de sedimentos. El aluvión provocado siguió el cauce de la quebrada, destruyendo todo asentamiento alrededor de ella. Se produjo el desborde de los canales San Carlos y Las Perdices, además del zanjón de La Aguada, inundando las poblaciones aledañas.

La catástrofe dejó un saldo de 26 muertos, 85 heridos y 8 desaparecidos. Materialmente, damnificó a 32.654 personas, siendo 3.486 albergadas. Las viviendas destruidas del sector fueron 307 y otras 5.610 fueron dañadas. Para evitar la ocurrencia de una catástrofe similar, se creó una zona de exclusión para la construcción en un radio cercano a la quebrada y su cauce. En noviembre de 1994 fueron construidas 7 piscinas decantadoras en el comienzo de la quebrada, las que son mantenidas y monitoreadas en épocas de intensas lluvias por el Ministerio de Obras Públicas.

#### **4.3.1.12. 14 de Junio de 2000 (caudal máximo instantáneo de 548 m<sup>3</sup>/s)**

Carabineros informó que el 75% de las vías de las comunas de La Reina, San Bernardo, Maipú y Pudahuel se volvieron intransitables a raíz del frente de mal tiempo que azotó desde la V a la X región a mediados de Junio de 2000.

En La Reina, el canal San Ramón se desbordó a la altura de calles Príncipe de Gales esquina Salvador Izquierdo, anegando la calzada e interrumpiendo totalmente el tránsito vehicular. En tanto, en San Bernardo se interrumpió el tránsito para todo tipo de vehículos por la ruta G-45 "San Bernardo-Alto Jahuel", debido al socavamiento de la carpeta asfáltica 10 metros al norte del puente Los Morros, que cruza el Río Maipo.

En Maipú se rebalsaron los colectores, los cuales se encontraban obstruidos con basura, lo que produjo que las villas Isabel Riquelme y Héroes de Iquique quedaran

inundadas con un metro de agua sobre nivel. Por otra parte, en Pudahuel los lugares anegados fueron el campamento Lo Castillo, la villa Pablo VI y la villa Santa Cruz.

#### **4.3.1.13. 25 de Mayo de 2002 (caudal máximo instantáneo de 559 m<sup>3</sup>/s)**

A fines de Mayo de 2002, un frente de mal tiempo se produjo entre las regiones IV y X. En Santiago, los más de 63 milímetros caídos en 24 horas (25 de Mayo, estación Santiago Quinta Normal) provocaron rodados menores en la zona cordillerana y la interrupción del contacto con la comuna de San José de Maipo. Los sectores más afectados fueron Alto Jahuel en Pudahuel y El Arenal en Cerro Navia.

Los más de 50 centímetros de nieve en la vecindad del Paso Los Libertadores, junto con los rodados de piedras registrados en la jornada y lo resbaladizo del pavimento, obligaron a las autoridades de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas a cerrar el paso fronterizo. Asimismo, las intensas precipitaciones en la capital motivaron a las autoridades a ordenar la rotura de la ataguía, ubicada en las cercanías del puente Purísima, que canalizaba al río Mapocho para la realización de los trabajos subterráneos de la autopista Costanera Norte.

Con respecto a las calles de Santiago, completamente inundadas y cerradas al tránsito de vehículos menores se encontraron los sectores de la Ruta 5 Sur con Toesca y avenida Grecia con la rotonda Quilín, entre otras calles en distintas comunas. A ello, se sumó los anegamientos de los pasos bajo nivel de Exposición con Antofagasta, Línea Férrea con Lo Sierra, Callejón Lo Ovalle, y Departamental con avenida Mayor.

#### **4.3.1.14. 23 de Mayo de 2008 (caudal máximo instantáneo de 750 m<sup>3</sup>/s)**

El 23 de mayo de 2008, un sistema frontal con intensas precipitaciones azotó la zona centro sur del país. En la Región Metropolitana se produjo el desborde del canal San Ramón, en La Reina; y del río Angostura, en el sector de Paine, sumado al anegamiento de calles, avenidas y pasos bajo nivel en varias comunas de Santiago.

El súbito incremento de la turbiedad en las aguas del río Maipo, de 150 a 23.500 UNT en pocas horas, dejó fuera de operación a la Planta de Producción de La Florida, por lo que la capacidad de producción de agua potable de Aguas Andinas se redujo en un 50% por varios días, dejando sin suministro a 10 comunas de la capital y disminuyendo la presión de la red en los sectores que no sufrieron cortes. A raíz de los hechos, se decretó la suspensión de las clases en las 52 comunas de la región.

#### **4.3.1.15. 4 de Junio de 2008 (caudal máximo instantáneo de 577 m<sup>3</sup>/s)**

Un sistema frontal que abarcó de la V a la X región se dejó caer el día 3 de Junio, siendo sus consecuencias menos graves que las dejadas por el frente de Mayo del mismo año: dos pistas en la calzada sur de la Costanera Andrés Bello, antes de Suecia, presentaron daños porque cedió el pavimento; y se registró mal funcionamiento de semáforos en diversas comunas de la capital, así como tránsito vehicular lento en varias avenidas.

Debido al aumento súbito del caudal, el Canal de Ramón estuvo cerca de desbordarse, lo que obligó, como medida preventiva, a cortar el tránsito en Príncipe de Gales con Vicente Pérez Rosales, en dirección a Tobalaba.

#### **4.3.1.16. 6 de Septiembre de 2009 (caudal máximo instantáneo de 518 m<sup>3</sup>/s)**

Durante los primeros días de Septiembre de 2009, intensas precipitaciones se dejaron caer entre las regiones V y IX. El día 6, la isoterma 0 °C de la zona precordillerana de Santiago se estimó en 2.900 msnm, que, junto a los casi 53 mm de agua caídos el mismo día, generaron un alud de agua, rocas, ramas y barro, que a la postre sería conocido como el “Aluvión de Farellones”, y cuyo saldo fue de una víctima fatal y una desaparecida; obstaculización del camino a Farellones, la evacuación preventiva de 40 personas, y daños materiales a 5 viviendas del sector. Durante el mismo día, otro evento de similares características se manifestó en el sector de El Arrayán, destruyendo 5 casas y dejando 21 damnificados.

En la capital, los canales Las Perdices, en Peñalolén; y De Ramón, en La Reina, se salieron de sus cauces y arrastraron ramas y piedras por las calles de ambas comunas. El agua escurrió por las avenidas, aunque no ingresó a las viviendas.

El catastro de las situaciones de emergencia a nivel nacional fue el siguiente: 2 personas fallecidas, una lactante desaparecida, 414 personas damnificadas, 80 personas aisladas, 23 viviendas con daño menor habitable, 57 viviendas con daño mayor no habitable y 156 viviendas destruidas, sumado al cierre de 23 puertos, para embarcaciones menores.

Un punto a destacar es que, antes de 1970, se tienen al menos 22 años de registros fluviométricos sin ninguna crecida por sobre los 300 m<sup>3</sup>/s (el máximo instantáneo del período 1948 – 1970 es de 286 m<sup>3</sup>/s, en 1961). Esto puede ser, en parte, atribuible a la poca fidelidad e inconsistencia de las mediciones previas a 1968, como se discutió anteriormente.

### **4.3.2. Evidencia Documental de Crecidas No Registradas por la Estación Río Maipo en El Manzano**

Entre 1968 y 2009, hay períodos de días o semanas en que la estación fluviométrica carece de registros. Para discriminar si dichas brechas correspondieron a eventos extremos que inhabilitaron la capacidad de medición, o bien a períodos de mantención o agotamiento de la tinta del limnógrafo, se procedió a buscar evidencia documental de crecidas en los períodos de tiempo antes mencionados.

#### **4.3.2.1. Junio – Julio de 1974 (estación carece de mediciones entre el 28/06 y el 07/07)**

25 muertos, miles de damnificados, 134 edificios públicos inhabitables, 20.500 casas perdidas, 64 puentes dañados, 850 km de caminos y 23 tramos ferroviarios destruidos dejó el temporal de lluvia y viento que azotó desde Valparaíso hasta Osorno entre el 25 de Junio y los primeros días de Julio de 1974. En la provincia de Santiago, casi todas las comunas resultaron anegadas.

La crecida más grande hasta esa fecha es de 446 m<sup>3</sup>/s (Mayo de 1972), por lo que esta crecida debió ser mayor a este valor.

#### **4.3.2.2. Junio de 1986 (estación carece de mediciones entre el 04/06 y el 03/07)**

Un temporal de viento, lluvia y nieve se desató entre el 15 y el 17 de Junio de 1986, aislando las regiones V, VI, VII, VIII y Metropolitana. Hubo 15 muertos, 54.795 personas damnificadas, 1.421 viviendas destruidas, 11.145 viviendas dañadas e importantes cortes en el suministro de agua potable en Santiago. Se desbordaron los ríos Mapocho, Maipo y Tinguiririca. Se produjeron destrozos en la carretera Panamericana Sur y en la vía férrea, que impidieron el tráfico hacia el sur por al menos 10 días. Decenas de pueblos y comunidades quedaron aislados, y hubo serios daños en agricultura. Fueron declaradas “zonas de catástrofe” 18 comunas de la Región Metropolitana y todas las comunas de las VI y VII regiones.

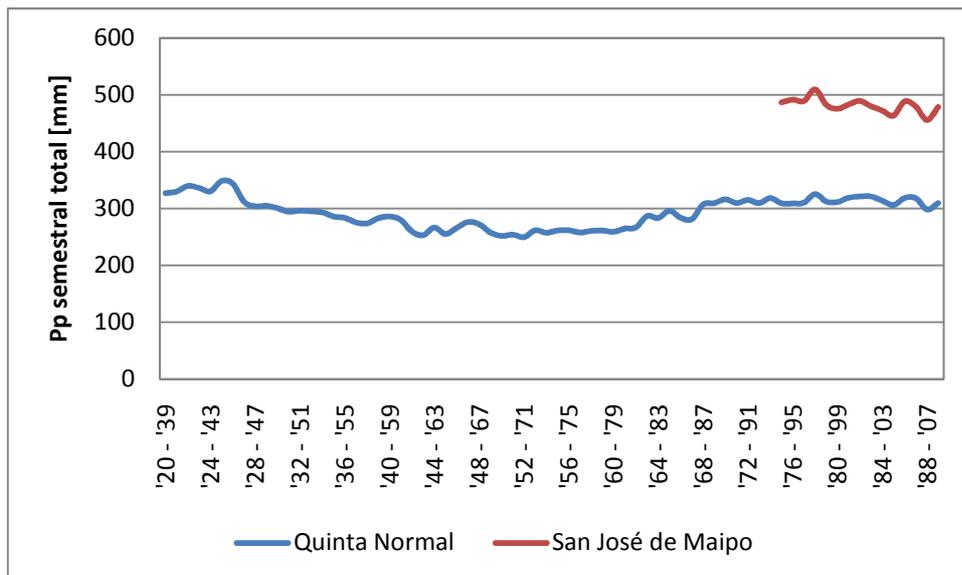
La crecida más grande hasta esa fecha es de 816 m<sup>3</sup>/s (Junio de 1982), por lo que esta crecida debió ser mayor a este valor. Estimaciones presentadas en el IX Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica (1989) sugieren un caudal máximo instantáneo del orden de 2.000 m<sup>3</sup>/s (Vega, 1989), lo que parece ser una sobreestimación si se toma como referencia la capacidad aproximada del cauce, de 1.500 m<sup>3</sup>/s, calculada por el INH. Por lo tanto, considerando que esta crecida provocó el desborde del río Maipo, puede suponerse que su magnitud fue del orden de 1.500 m<sup>3</sup>/s, comparable a la crecida de Mayo de 1991.

## 4.4. Precipitaciones

Otro indicador útil para dilucidar el incremento de magnitud en las crecidas son las precipitaciones, que para efectos de este trabajo serán obtenidas desde dos estaciones distintas: estación Santiago Quinta Normal (33° 26' S, 70° 41' O, 520 msnm) y estación San José de Maipo (33° 38' S, 70° 21' O, 940 msnm), ambas dependientes de la Dirección Meteorológica de Chile. La primera fue escogida por ser representativa de la ciudad de Santiago y por ser la estación con el registro más extenso del país, con mediciones anteriores al siglo XX, lo que permite ver tendencias en un intervalo de tiempo mayor. La segunda estación fue considerada por estar ubicada en las cercanías de la estación fluviométrica Río Maipo en El Manzano, dando una mejor aproximación de las precipitaciones que caen en la subcuenca de la misma.

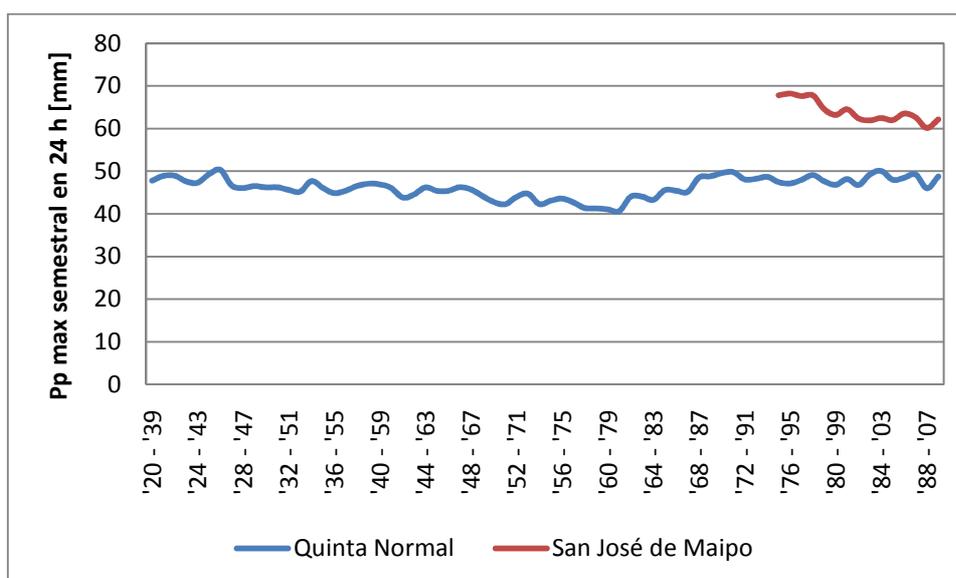
Las siguientes figuras entregan la media móvil de 20 años para precipitaciones semestrales totales y precipitaciones máximas semestrales en 24 horas. Los períodos abarcados van de 1920 a 2008, en el caso de Santiago Quinta Normal; y de 1975 a 2008 en el caso de San José de Maipo, que corresponden a la totalidad de los registros en esta última estación.

**Figura 14: Media móvil de 20 años para precipitación semestral total (Abril – Septiembre)**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 15: Media móvil de 20 años para precipitación máxima en 24 horas (Abril – Septiembre)**



Fuente: Elaboración propia

Tanto para las precipitaciones totales semestrales, como para las máximas en 24 horas, llama la atención el valle que se produce en la tendencia de los registros de la estación Santiago Quinta Normal, entre las medias móviles de 1924 – 1943 y 1968 – 1987. Parte del valle se explica por las escasas precipitaciones otoñales e invernales registradas en los períodos 1923 – 1924, 1937 - 1939, 1945 – 1946, 1953 – 1956, 1959 - 1961, y 1967 – 1969, en los cuales la lluvia caída total no excedió los 100 mm en 6 meses (Abril – Septiembre). Asimismo, el ligero incremento de las precipitaciones a partir de fines de la década de 1960 es consistente con las observaciones de Carrasco, discutidas en el **capítulo IV**.

A priori, se observa una similitud en la tendencia de las medias móviles de ambas estaciones pluviométricas, en el período 1975 - 2008. Este comportamiento se hizo más evidente tras correlacionar las precipitaciones, tanto a nivel mensual como a nivel semestral. La cantidad de datos correlacionados varió para cada mes, dado que no necesariamente hubo precipitaciones en todos los meses del semestre pluvial de un determinado año, hecho que destaca más en los meses de Abril y Septiembre. Otro punto a considerar es la inexistencia de anuario climatológico para el año 1979 (confirmado por la DMC tras consulta en la biblioteca de la institución), y que los anuarios climatológicos de 1977 y 2007 no incluyen registros de la estación San José de Maipo, razón por la cual el máximo de datos comparados es 31, siendo que el período completo considera un total de 34 años.

La siguiente tabla contiene un resumen de la correlación hecha entre ambas estaciones. La columna “ $R^2$  período” contiene los coeficientes de correlación obtenidos al comparar las precipitaciones totales mensuales y semestrales, mientras que la columna “ $R^2$  max 24 h” contiene los coeficientes resultantes de comparar las precipitaciones máximas en 24 horas registradas a nivel mensual y semestral.

**Tabla 10: Correlación de precipitaciones, estación Santiago Quinta Normal versus estación San José de Maipo (1975 – 2008)**

<b>Censo</b>	<b>Riego [%]</b>	<b>Praderas naturales [%]</b>	<b>Estéril [%]</b>	<b>Infraestructura [%]</b>
1930	0,58%	55,4%	44,0%	-
1935	0,61%	-	84,3%	-
1955	0,29%	48,5%	26,3%	-
1965	0,24%	23,0%	74,4%	-
1975	0,18%	16,4%	79,5%	0,03%
1997	0,17%	14,6%	76,1%	0,36%
2007	0,16%	3,3%	71,7%	0,15%

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los coeficientes obtenidos, se constata una buena correlación positiva entre las precipitaciones totales mensuales y semestrales en el período 1975 – 2008, con un  $R^2$ .mayor o igual a 0,75 en todos los casos En cuanto a las precipitaciones máximas en 24 horas, la correlación es buena para los meses de Mayo, Junio y Agosto ( $R^2$ .mayor a 0,66); regular para el mes de Abril y para el semestre completo, con un  $R^2$ .de 0,54 y 0,48, respectivamente; y mala para los meses de Julio y Septiembre, cuyos coeficientes de correlación son inferiores a 0,33. La peor correlación entre máximos en 24 horas puede estar fuertemente influenciado por el hecho de que la estación Santiago Quinta Normal se ubica en la Depresión Intermedia, libre de obstáculos para las nubes, mientras que la estación San José de Maipo se encuentra en el sector cordillerano andino, donde las montañas distorsionan la homogeneidad de la intensidad de las precipitaciones, situación que no ocurre en la primera.

Para efectos de establecer una comparación equivalente a la hecha con las medias de 20 años para los caudales de la estación Río Maipo en El manzano, se elaboraron las siguientes tablas:

**Tabla 11: Variación entre medias de 20 años para precipitaciones mensuales totales (Quinta Normal)**

	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Semestre</b>
<b>Media 1968 - 1987 [mm]</b>	10,2	57,7	81,8	95,0	42,4	20,3	307,4
<b>Media 1989 - 2008 [mm]</b>	21,2	56,4	84,4	64,7	54,2	28,9	309,7
<b>Variación [%]</b>	107,4%	-2,2%	3,2%	-31,9%	27,8%	42,6%	0,8%

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 12: Variación entre medias de 20 años para precipitaciones máximas en 24 horas (Quinta Normal)**

	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Semestre</b>
<b>Media 1968 - 1987 [mm/24 h]</b>	7,5	26,7	29,8	30,2	21,6	12,8	48,6
<b>Media 1989 - 2008 [mm/24 h]</b>	12,6	24,1	32,6	27,4	25,1	13,9	48,8
<b>Variación [%]</b>	68,8%	-9,8%	9,3%	-9,5%	16,6%	8,5%	0,4%

Fuente: Elaboración propia

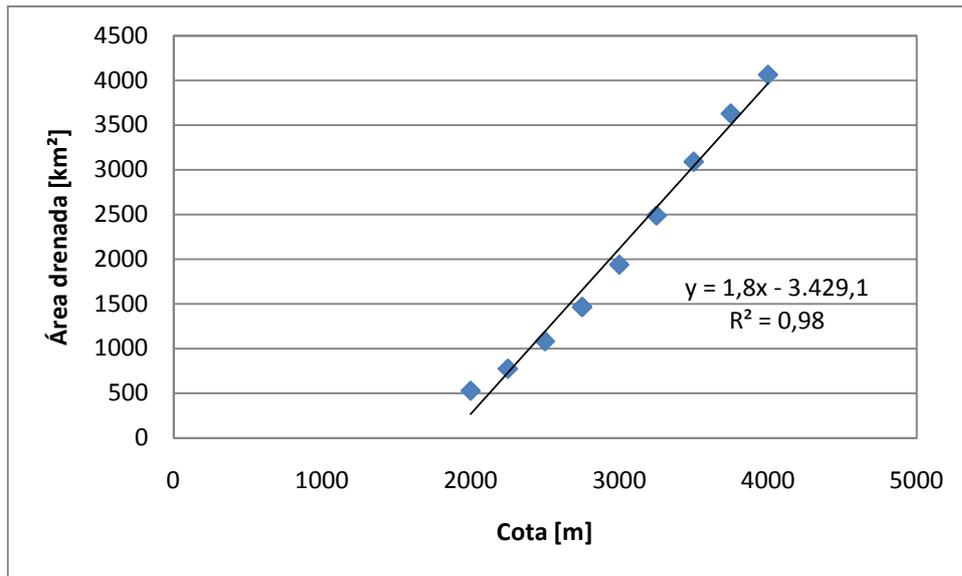
En comparación a la variación del 24,4% observada en los caudales instantáneos máximos, las precipitaciones totales y máximas en 24 horas a nivel semestral no han experimentado cambios significativos. Donde sí se ve un cambio es a nivel mensual, en ambos casos, especialmente en el mes de Abril. Otro punto a considerar es el contraste entre el significativo aumento de las crecidas en el mes de Mayo (101,1%), versus la práctica invariabilidad de las precipitaciones en el mismo mes (-1,3 mm o -2,2% en las precipitaciones totales, y -2,6 mm o -9,8% en la intensidad de las precipitaciones máximas en 24 horas), para el período 1968 – 2009.

De acuerdo a los resultados observados en precipitaciones, uso de suelo y radiosonda, el aumento en la magnitud de las crecidas no puede ser atribuido al cambio en las precipitaciones, sino al alzamiento de la línea de equilibrio y de la isoterma cero, demostrado por Carrasco; y, en menor parte, al cambio en el uso de suelo en la comuna de San José de Maipo sugerido por la información censal.

Eventos de elevación súbita de la isoterma 0° C entre Abril y Septiembre, donde a la vez ocurran precipitaciones intensas, pueden conllevar una serie de consecuencias que gatillan crecidas de alta turbiedad, de características catastróficas desde el punto de vista estructural, civil, vial, como con respecto a la continuidad del servicio de agua potable. Las zonas montañosas que son incluidas como área de drenaje al elevarse la isoterma, generalmente nevadas en las estaciones de otoño e invierno, aportan gran cantidad de terreno por metro de altura, especialmente entre los 2.000 y 4.000 msnm, donde la elevación en un metro aporta con poco más de 1,8 km<sup>2</sup> de superficie de drenaje adicional. Luego, incluso si las precipitaciones no han experimentado un cambio significativo de su intensidad en el tiempo, el área adicional incluida por la elevación de la isoterma se traduce en una mayor cantidad de agua precipitada y una menor cantidad de nieve acumulada.

Además, la incorporación de terrenos nevados al área de drenaje propicia el derretimiento de la misma por parte de la lluvia que cae, haciendo que el caudal incorporado sea mayor al caudal generable exclusivamente por la lluvia, lo que incrementa el riesgo de crecidas y aluviones. La escasa vegetación de estos terrenos montañosos, homologables a estériles para efectos prácticos, sumada a la alta pendiente de los mismos, favorece la escorrentía con limitada infiltración y la tendencia a fluir en régimen supercrítico, generando mayor socavación y arrastre de sedimentos, que implican un incremento significativo de la turbiedad de las aguas usadas como materia prima en la producción de agua potable.

**Figura 16: Curva hipsométrica de la cuenca, entre los 2.000 y 4.000 msnm**



Fuente: Elaboración propia

Esta figura tiene la única función de respaldar lo dicho anteriormente, con respecto a la adición de área de drenaje conforme aumenta la altura entre los 2.000 msnm y los 4.000 msnm, y está incluida en la curva hipsométrica que se considera más adelante.

## V. Eventos de Turbiedad, Análisis de Frecuencia y Escenarios Futuros

### 5.1. Curva Hipsométrica de la Subcuenca drenada por la Estación Río Maipo en El Manzano

Con el fin de establecer el área drenada por la estación en determinadas fechas, en función de la elevación de la isoterma cero proporcionada por las estaciones de radiosonda Quintero y Santo Domingo, se hizo uso de la curva hipsométrica elaborada por González (González, 2010), caracterizada a continuación.

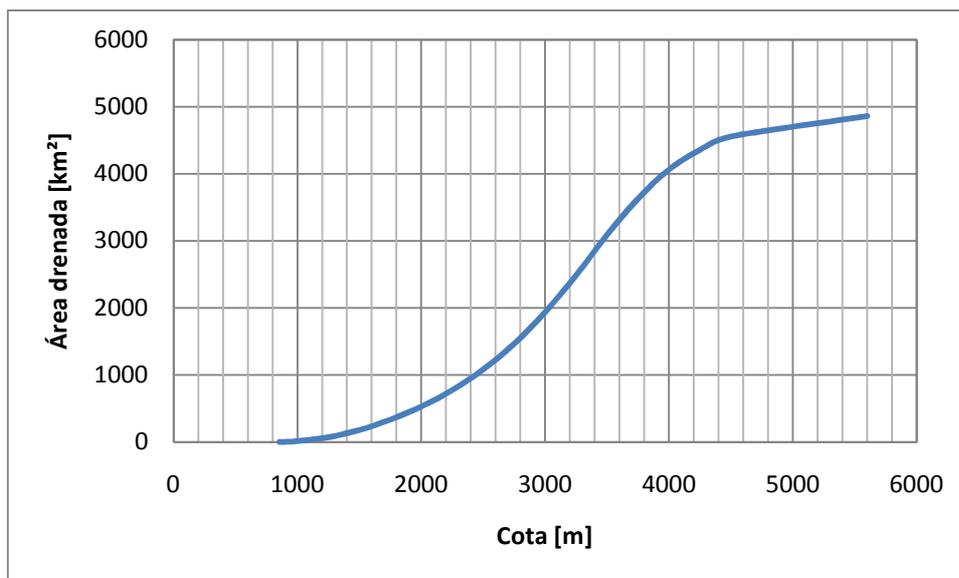
**Tabla 13: Curva hipsométrica de la estación Río Maipo en El Manzano**

Cota [msnm]	Área Cuenca [Km <sup>2</sup> ]	Área Superior [Km <sup>2</sup> ]	Área Cuenca [%]
855	0	4.873	0%
1.000	13	4.860	0,3%
1.250	71	4.802	1,5%
1.500	178	4.695	3,7%
1.750	333	4.540	6,8%
2.000	528	4.345	10,8%
2.250	774	4.099	15,9%
2.500	1.081	3.792	22,2%
2.750	1.464	3.409	30%
3.000	1.937	2.936	39,7%
3.250	2.487	2.386	51%
3.500	3.088	1.785	63,4%
3.750	3.627	1.246	74,4%
4.000	4.061	812	83,3%
4.250	4.355	518	89,4%
4.500	4.552	321	93,4%
5.600	4.858	15	99,7%

Fuente: González (2010)

Gráficamente, la curva puede ser representada por dos polinomios, que describen la curva desde los 855 m hasta los 3.500 m, y desde los 3.500 m hasta los 5.600 m, respectivamente.

**Figura 17: Curva hipsométrica de la estación Río Maipo en El Manzano**



Fuente: Elaboración propia

**Ecuación 1: Curva hipsométrica de la estación Río Maipo en El Manzano**

$$y = \begin{cases} 0,00049 \cdot x^2 - 0,972 \cdot x + 510,9, & x \in [855 \text{ m}, 3.500 \text{ m}) \\ 0,0000023 \cdot x^3 - 0,0037 \cdot x^2 + 19,745 \cdot x - 31.018,8, & x \in [3.500 \text{ m}, 5.600 \text{ m}] \end{cases}$$

Donde  $y$  es el área de drenaje que abarca la subcuenca de la estación fluviométrica Río Maipo en El Manzano [km<sup>2</sup>], y  $x$  es la elevación de la isoterma 0 °C [msnm], medida a través de radiosonda en las estaciones de monitoreo Quintero y Santo Domingo (University of Wyoming Atmospheric Soundings). En ambos casos, el coeficiente de determinación R<sup>2</sup> es superior a 0,999, lo que da validez a la modelación.

### **5.1.1. Crecidas y Área de Drenaje**

Con el área de drenaje en función de la elevación de la isoterma 0 °C y con información pluviométrica extendida hasta el día anterior a los eventos de crecida, es posible establecer relaciones entre el caudal instantáneo máximo y otros parámetros. En la siguiente tabla se resumen los parámetros más relevantes en relación a los eventos de crecida, definidos como aquellos eventos cuyo caudal instantáneo máximo haya sido mayor o igual a 450 m<sup>3</sup>/s, entre Abril y Septiembre de los años 1968 a 2009.

**Tabla 14: Eventos de crecida entre Abril y Septiembre, período 1968 – 2009**

Año	Mes	Día	Q inst max [m <sup>3</sup> ]	Pp 24 h [mm]	Pp 48 h [mm]	Isoterma 0 °C [msnm]	Área drenada [km <sup>2</sup> ]
1977	Julio	22	597	25,8	45,8	2.581	1.235
1978	Julio	18	573	7,6	26,4	2.889	1.753
1980	Abril	10	726	17,6	33,6	3.291	2.569
1982	Junio	27	816	50,1	85,2	2.522	1.146
1982	Julio	16	613	15,8	38,7	2.838	1.660
1987	Julio	14	726	57,0	102,8	3.015	1.992
1989	Agosto	24	601	30	47,4	2.813	1.617
1991	Mayo	28	1.430	2,0	15,4	3.532	3.164
1993	Mayo	3	1.112	14,6	17,5	3.973	4.017
2000	Junio	14	548	55,2	101,3	2.511	1.130
2000	Junio	30	530	22,1	42,1	2.519	1.142
2002	Mayo	25	559	63,5	63,8	3.294	2.575
2002	Agosto	25	467	15,4	16,8	3.195	2.358
2006	Julio	12	472	29,0	48,3	2.925	1.820
2008	Mayo	23	750	35,7	36	3.487	3.023
2009	Septiembre	6	518	19,2	34,7	2.528	1.155

Fuente: Elaboración propia

El área drenada se calculó en función de la elevación de la isoterma cero de cada evento, a partir de la **ecuación 1**. “Pp 24 h” y “Pp 48 h” indican las precipitaciones registradas 24 y 48 horas antes de la crecida, respectivamente. Como no se contó con registros de precipitación a nivel horario, las precipitaciones acumuladas en 24 y 48 horas se calcularon como una proporción de las precipitaciones diarias, ocurridas hasta la hora en que se registró el caudal instantáneo máximo.

De la tabla se ve que el mes de Junio de 2000 fue escenario de dos crecidas cuyos caudales superaron los 500 m<sup>3</sup>/s, y cuyas áreas de drenaje, prácticamente iguales, aproximan a 1.100 km<sup>2</sup>. Su única diferencia significativa son las dos semanas que los separan temporalmente, y la intensidad de sus precipitaciones, acaparando la primera crecida más del doble de las precipitaciones que acaparó la segunda. Parte de este fenómeno puede explicarse del estado de saturación del suelo al momento de ocurrir la segunda crecida, pero esto se discutirá más ampliamente en el apartado “Eventos de turbiedad y área de drenaje”.

Tomando todos los eventos de crecidas, con la excepción de la crecida de Agosto de 2002, por ser un valor atípico, se procedió a hacer una regresión de múltiples variables, obteniéndose lo siguiente:

**Ecuación 2: Caudal instantáneo máximo en función de las precipitaciones y el área drenada**

$$Q = 9,97 \cdot P + 0,388 \cdot A - 0,0059 \cdot P \cdot A - 44$$

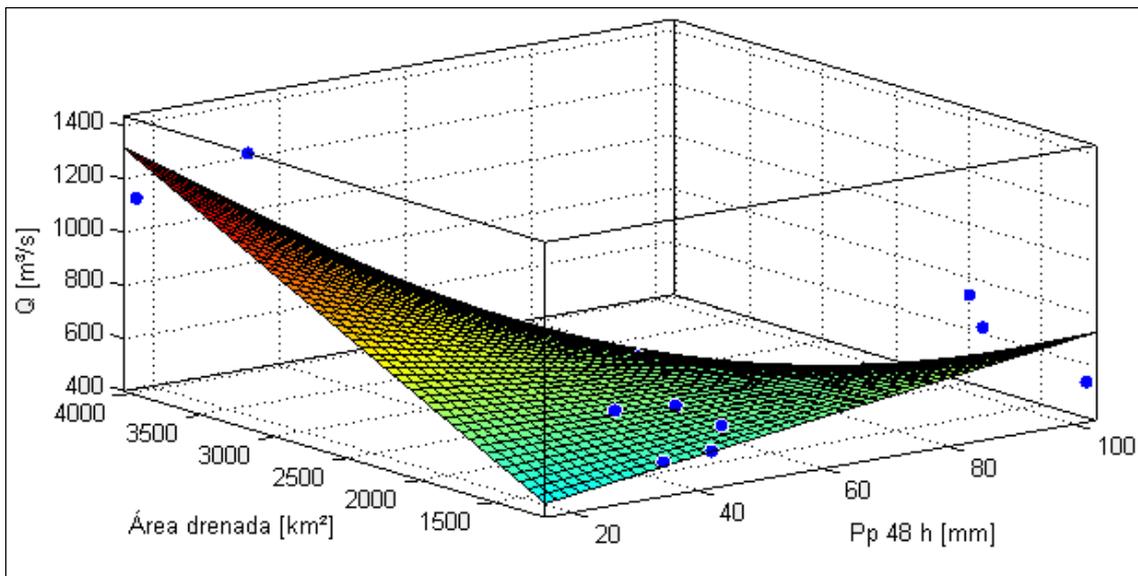
Donde  $Q$  representa el caudal instantáneo máximo del evento [ $m^3/s$ ],  $P$  las precipitaciones registradas 48 horas antes de la crecida [ $mm$ ], en la estación Santiago Quinta Normal; y  $A$  el área de drenaje que abarca la subcuenca de la estación Río Maipo en El Manzano [ $km^2$ ].

**Tabla 15: Estadísticos de la ecuación 2**

<b>R<sup>2</sup></b>	0,67
<b>Error estándar de Q [<math>m^3/s</math>]</b>	165
<b>Estadístico F</b>	7,59
<b>F crítico (95% de confianza)</b>	3,59
<b>Probabilidad de que un F mayor se produzca por azar [%]</b>	0,5%

Fuente: Elaboración propia

**Figura 18: Caudal instantáneo máximo en función de las precipitaciones y el área drenada**



Fuente: Elaboración propia

A pesar de ser netamente empírica y carecer de sentido físico, la **ecuación 2** logra establecer una relación estadísticamente confiable entre la magnitud de una crecida, el área de drenaje de la subcuenca y las precipitaciones registradas 48 horas antes del evento.

### 5.1.2. Eventos de Turbiedad y Área de Drenaje

Se dispuso de registros de turbiedad entre 1997 y 2008, proporcionados por el Estudio Tarifarios de la Empresa Sanitaria Aguas Andinas S.A. (período 2010 – 2015), los que fueron complementados con información pluviométrica, fluviométrica, hipsométrica y de radiosonda. En la siguiente tabla se resumen los parámetros más relevantes en relación a los eventos de turbiedad entre Abril y Septiembre de los años mencionados anteriormente. Por evento de turbiedad se entiende la cantidad de horas consecutivas en que la turbiedad del río Maipo supera las 1.000 UNT.

**Tabla 16: Eventos de turbiedad entre Abril y Septiembre, período 1997 – 2008**

Año	Mes	Días	Duración [horas]	Día Pp max 24 h [mm]	Pp evento [mm]	Pp mensual [mm]	Turbiedad media [UNT]	Q inst max [m³/s]	Isoterma 0 °C [msnm]	Área drenada [km²]
1997	Abril	24 - 25	44	23	0,5	0,5	11.179	165	4.159	4.258
2000	Abril	14 - 15	17	13	2,3	17,6	3.429	76	3.070	2.101
2000	Junio	12 - 14	52	13	144,5	261,5	3.345	548	2.307	851
2000	Junio	30/06 - 01/07	27	13	31,7	261,5	3.063	530	2.400	972
2001	Abril	14	9	13	13,5	16,1	2.367	116	3.849	3.819
2001	Julio	19	17	18	61,2	186,6	2.533	448	sin info.	-
2001	Julio	30	11	18	62,9	186,6	3.055	220	2.492	1.102
2002	Mayo	25 - 26	22	25	102,6	137,9	4.830	559	2.747	1.502
2002	Agosto	24 - 26	43	24	16,8	74,2	2.677	467	3.211	2.393
2003	Mayo	21	8	20	78,9	82,5	2.129	110	2.593	1.254
2005	Agosto	27	23	26	73,6	137,3	5.390	395	3.036	2.033
2006	Julio	11 - 13	36	12	54,8	130	1.945	472	2.977	1.918
2008	Mayo	19 - 23	111	22	60,8	109,9	7.241	750	3.544	3.194
2008	Junio	4 - 5	56	4	31,1	51	3.799	577	3.043	2.047
2008	Agosto	15 - 16	18	15	81,9	130,8	6.012	375	2.480	1.085

Fuente: Elaboración propia

Por “Pp evento” se entiende la suma de las precipitaciones desde el día anterior al inicio del evento, hasta el último día del mismo. El área drenada se calculó en función de la elevación de la isoterma cero de cada evento, a partir de la **ecuación 1**.

Como puede verse de la tabla, los eventos de turbiedad no necesariamente vienen asociados a una crecida con consecuencias catastróficas desde el punto de vista estructural o de inundaciones, siendo 5 de ellos (33%) caracterizados por un caudal máximo instantáneo menor o igual a 220 m³/s; y los 10 restantes (67%) por un caudal instantáneo máximo mayor o igual a 375 m³/s.

Mención especial merece el evento de Abril de 1997, cuya turbiedad media y elevación de la isoterma cero son las más altas de todas; y sus precipitaciones las mínimas, casi despreciables, con 0,5 mm medidos en la estación Santiago Quinta Normal. Para verificar que no hubo error en el registro de precipitaciones, se consultó la estación pluviométrica San José de Maipo, que registró precipitaciones de 3,5 mm el día 23, y que, tal como en Quinta Normal, representó el total de precipitaciones mensuales. Constatada la consistencia de la información pluviométrica, la turbiedad registrada es cuestionable, puesto que el historial de turbiedad para aquel evento experimentó un salto de 3.750 UNT a 100.000 UNT en menos de una hora, y se mantuvo por sobre las 18.000 UNT por 8 horas, influyendo significativamente en la turbiedad media. Si bien no se cuestiona que este evento

haya ocurrido, sí se pone en duda la cantidad registrada por el nefelómetro. Por otra parte, dada la escasa precipitación registrada por las estaciones pluviométricas consultadas, ubicadas en la vecindad de las cotas 500 msnm y 1.000 msnm, la turbiedad de las aguas del río Maipo pudo haberse generado como consecuencia de precipitaciones más intensas entre los 2.000 msnm y 4.000 msnm, de las cuales no se dispone. Esta idea es respaldada por el hecho de que la isoterma 0 °C sobrepasó los 4.000 m de altura durante el evento, otorgando un área de drenaje superior a los 4.200 km<sup>2</sup>.

En general, los denominadores comunes de los eventos de turbiedad son intensas precipitaciones el día previo y durante su ocurrencia, combinadas con una inusual elevación de la isoterma cero, aunque cabe hacer una distinción entre ellos: los tres episodios registrados en Abril (1997, 2000 y 2001) se caracterizan por una escasa precipitación, en comparación a los otros eventos de la serie, y un caudal del orden de los 100 m<sup>3</sup>/s. A pesar de ello, su turbiedad media está a la par con cualquiera de los eventos ocurridos en otros meses. La explicación a este fenómeno, exclusivo del mes de Abril, podría ser que, dado que el mes en cuestión está al comienzo del semestre pluvial, los terrenos montañosos cuentan con poca nieve acumulada, lo que limita o imposibilita el derretimiento de la misma por parte del agua caída. De esta forma, la escasa precipitación y/o precipitaciones de altura, sumada a la mayor área de drenaje carente de nieve, otorgada por el alzamiento de la isoterma 0 °C, genera un caudal de baja magnitud y elevada concentración de material acumulado durante meses de menor lluvia (Octubre – Marzo), que es arrastrado por la escorrentía. El mismo principio puede ser aplicable al mes de Mayo, en caso de que en Abril no se haya registrado tormentas.

Lo expuesto anteriormente puede verificarse de la comparación entre los eventos de Abril de 2001 y Agosto de 2002, ya que ambos son similares en términos de precipitación total (por evento) y turbiedad media. Sin embargo, el primero tuvo un caudal instantáneo máximo de 116 m<sup>3</sup>/s y una isoterma cero media de 3.849 m, mientras que su contraparte tuvo un caudal instantáneo máximo de 467 m<sup>3</sup>/s y una isoterma cero media de 3.211 m. A pesar de que el evento de Agosto de 2002 tuvo una isoterma 0 °C más de 600 m por debajo de la del evento de Abril de 2001, su caudal instantáneo máximo fue cuatro veces mayor. Esto podría ser consecuencia de que, como el mes de Agosto se encuentra al final del semestre pluvial, las precipitaciones ocurridas en él tienen mayor probabilidad de derretir nieve invernal acumulada e incorporarla a la escorrentía, al contrario de un mes ubicado al inicio del semestre pluvial, como es Abril.

Otro factor a considerar en la influencia de las precipitaciones y la elevación de la isoterma cero en la generación de eventos de turbiedad, es el estado de saturación del suelo, ya que un suelo previamente saturado favorecerá la escorrentía de nuevas precipitaciones, mientras que un suelo no saturado la limitará. Parte de la diferencia entre los caudales instantáneos máximos de Abril de 2001 y Agosto de 2002 también podría ser atribuido a esto, considerando que el primer evento acaparó un 83% de las precipitaciones totales del mes, y que el segundo sólo acaparó un 23% de las mismas, dando a entender que el suelo pudo haber estado parcialmente saturado al inicio del segundo evento. No se contó con la precipitación detallada por día, por lo que no fue posible rastrear la actividad pluvial varios días hacia atrás y verificar la hipótesis. Sin embargo, como el evento de Agosto de 2002 ocurrió los días 24 (día de precipitación máxima en 24 horas), 25 y 26, es razonable pensar que el 76% faltante de las precipitaciones no cayeron en los cinco días restantes del mes, sino que mayoritariamente antes. Donde también se evidencia la posible acción de la saturación del suelo es en las dos crecidas de Junio de 2000, separadas por cerca de dos semanas: todos sus parámetros son prácticamente idénticos, con la sola

excepción del agua caída durante cada evento, de 144 mm y 31 mm, respectivamente. El hecho de que sus caudales máximos instantáneos difieran en un 3%, siendo que sus precipitaciones lo hacen casi en un 450% a favor del primero evento, podría ser explicado por el hecho de que, para el día en que comenzó a registrarse el segundo evento, las precipitaciones acumuladas en el mes de Junio de 2000 sumaban por lo menos 230 mm.

Una nueva comparación puede hacerse entre los eventos de Agosto de 2002 y 2008, para evaluar los efectos de la elevación de la isoterma cero. A grandes rasgos, el evento de 2002 tiene un quinto de las precipitaciones a nivel de evento, la mitad de las precipitaciones a nivel mensual, pero un 25% más de caudal instantáneo máximo que el evento de 2008. Lo anterior adquiere sentido al comparar sus elevaciones en la isoterma 0 °C, que difieren en aproximadamente 730 m, lo que en términos de área drenada representa una diferencia de 1.300 km<sup>2</sup> a favor del primer evento, cuya superficie de drenaje total fue de 2.393 km<sup>2</sup>, más del doble del área total disponible en el evento de 2008 (1.085 km<sup>2</sup>).

Con respecto a la duración de los eventos, la brevedad del período estudiado (1997 – 2008) impide hacer análisis estadísticos de significancia. A pesar de ello, se proporciona la siguiente tabla como información referencial de la duración de los mismos.

**Tabla 17: Duración de los eventos de turbiedad, semestre pluvial 1997 – 2008**

Duración menor o igual a [horas]	Cantidad de eventos	Cantidad de eventos [%]
6	0	0%
12	3	20%
24	8	53%
36	10	67%
48	12	80%
60	14	93%
72	14	93%
111	15	100%

Fuente: Elaboración propia

De la tabla se ve que en todo el período no existen eventos de duración inferior a 6 horas, aunque los menores a 12 horas contabilizan el 20% del total de los eventos. El 80% de los eventos reportados no excedieron las 48 horas de duración, y el 93% de los mismos duraron menos que 60 horas, siendo el evento de Mayo de 2008 el único evento de duración mayor a esa cantidad de horas, con 111 horas, valor que duplica al segundo evento más largo.

Si se hace el mismo ejercicio con la totalidad de los eventos de turbiedad (Enero – Diciembre), la caracterización de ellos es la siguiente:

**Tabla 18: Duración de los eventos de turbiedad, 1997 – 2008**

Duración menor o igual a [horas]	Cantidad de eventos	Cantidad de eventos [%]
6	0	0%
12	3	10%
24	10	34%
36	12	41%
48	16	55%
60	24	83%
72	26	90%
103	28	97%

Fuente: Elaboración propia

Bajo este nuevo escenario, el 53% de los eventos a nivel anual tiene una duración menor o igual que 48 horas, versus el 80% de los eventos del período pluvial, lo que indica cierta tendencia a eventos de turbiedad más largos en los meses de verano.

Tomando únicamente los eventos de turbiedad del semestre pluvial cuya precipitación por evento superó los 10 mm, y descartando el evento de Agosto de 2008, por ser un valor atípico, se procedió a hacer una regresión cuadrática, obteniéndose lo siguiente:

**Ecuación 3: Turbiedad media en función de las precipitaciones y el área drenada (mejor ajuste)**

$$T = 3,36 \cdot 10^{-7} \cdot (P \cdot A)^2 - 0,049 \cdot (P \cdot A) + 4.363$$

Donde  $T$  representa la turbiedad media del evento [UNT],  $P$  las precipitaciones registradas durante el evento [mm] en la estación Santiago Quinta Normal, y  $A$  el área media de drenaje que abarcó la subcuenca de la estación Río Maipo en El Manzano [km<sup>2</sup>] en el mismo lapso de tiempo.

**Tabla 19: Estadísticos de la ecuación 3**

<b>R<sup>2</sup></b>	0,84
<b>Error estándar de T [UNT]</b>	712
<b>Estadístico F</b>	21,61
<b>F crítico (95% de confianza)</b>	4,46
<b>Probabilidad de que un F mayor se produzca por azar [%]</b>	0,1%

Fuente: Elaboración propia

La **ecuación 3** no es estrictamente creciente, por lo que si se impone dicha condición a la regresión, se tiene una nueva ecuación, definida como sigue:

**Ecuación 4: Turbiedad media en función de las precipitaciones y el área drenada (estrictamente creciente)**

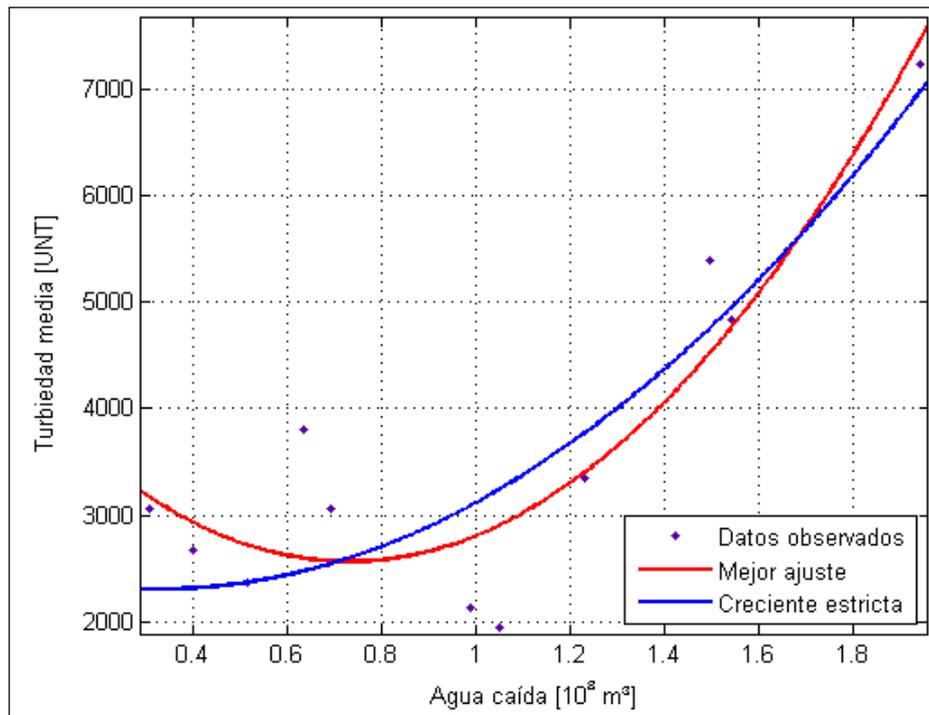
$$T = 1,80 \cdot 10^{-7} \cdot (P \cdot A)^2 - 0,012 \cdot (P \cdot A) + 2.500$$

**Tabla 20: Estadísticos de la ecuación 4**

<b>R<sup>2</sup></b>	0,77
<b>Error estándar de T [UNT]</b>	815

Fuente: elaboración propia

**Figura 19: Turbiedad media en función de las precipitaciones y el área drenada**



Fuente: Elaboración propia

## 5.2. Análisis de Frecuencia

El análisis de frecuencia presentado a continuación tiene como finalidad estimar qué caudal está asociado a un período de retorno de 100 años en la vecindad de la estación Río Maipo en El Manzano y, por extensión, en la Toma Independiente de Aguas Andinas. Como se mencionó en el **capítulo III**, las obras de captación de agua potable se deben diseñar para resistir una crecida de período de retorno mayor o igual que 100 años (NCh. 777/1.Of2008).

Para efectos de cálculo, se utilizaron los caudales instantáneos máximos anuales en la estación Río Maipo en El Manzano, desde 1968 a 2009, previa corrección de aquellos caudales máximos minorados, cuya magnitud no fue registrada debido al cese de las funciones de la estación fluviométrica en el lapso de su ocurrencia, como fue el caso de las crecidas de Junio – Julio de 1974 y Junio de 1986. La elección del período 1968 – 2009 se fundamentó en la confiabilidad y calidad de las mediciones, expuestas en puntos anteriores.

### 5.2.1. Corrección de Caudales

A partir de de información de radiosonda y precipitaciones diarias disponibles para las fechas cuyas magnitudes de crecida son desconocidas, se hizo uso de la **ecuación 2** para estimar las crecidas o registradas de las fechas mencionadas anteriormente.

**Tabla 21: Caudales instantáneos máximos estimados**

Año	Mes	Día	Pp 48 h [mm]	Área drenada [km <sup>2</sup> ]	Q inst max estimado [m <sup>3</sup> /s]
1974	Junio	28	36,4	1560	588
1974	Junio	29	57,6	1686	610
1974	Junio	30	77,5	1574	618
1974	Julio	1	34,9	1826	635
1986	Junio	16	59,2	3304	672
1986	Junio	17	20,7	2851	918

Fuente: elaboración propia

De la tabla se ve que, de acuerdo a la ecuación utilizada, el caudal instantáneo máximo del evento de Junio – Julio de 1974 rondó los 600 m<sup>3</sup>/s, por lo que, para efectos de análisis de frecuencia, se reemplazará el valor que la DGA tiene como máximo para dichos meses sin registros completos (88,4 m<sup>3</sup>/s) por el valor recién estimado.

Con respecto al evento de Junio de 1986, la estimación máxima según la **ecuación 2** bordea los 900 m<sup>3</sup>/s. Sin embargo, dada la información histórica existente y estimaciones hidráulicas de dicha crecida, se considerará un caudal instantáneo máximo de 1.500 m<sup>3</sup>/s para análisis de frecuencia. En todo caso, cualquiera de estos dos valores debiera representar una mejor aproximación a la realidad que los 77,4 m<sup>3</sup>/s que la DGA tiene como máximo del mes, que carece de registros completos.

## 5.2.2. Análisis de Frecuencia con Caudales Corregidos

Una vez corregidos los caudales cuestionados, el listado de caudales instantáneos máximos del semestre pluvial (Abril – Septiembre), quedó como muestra la siguiente tabla:

**Tabla 22: Caudales instantáneos máximos, semestre pluvial 1968 – 2009**

Año	Mes	Q inst max [m³/s]	Año	Mes	Q inst max [m³/s]
1968	Abril	80	1989	Agosto	601
1969	Junio	365	1990	Agosto	113
1970	Septiembre	79	1991	Mayo	1.430
1971	Septiembre	102	1992	Mayo	282
1972	Mayo	446	1993	Mayo	1.112
1973	Julio	251	1994	Julio	214
1974	Junio	600	1995	Mayo	118
1975	Abril	106	1996	Abril	94
1976	Junio	128	1997	Agosto	187
1977	Julio	597	1998	Abril	167
1978	Julio	573	1999	Septiembre	101
1979	Agosto	324	2000	Junio	548
1980	Abril	726	2001	Julio	448
1981	Mayo	178	2002	Mayo	559
1982	Junio	816	2003	Abril	143
1983	Abril	242	2004	Abril	94
1984	Julio	188	2005	Junio	444
1985	Mayo	146	2006	Julio	472
1986	Mayo	1.500	2007	Julio	149
1987	Julio	726	2008	Mayo	750
1988	Agosto	166	2009	Septiembre	518

Fuente: Elaboración propia

A partir de la tabla anterior, se procedió a hacer análisis de frecuencia, siendo las distribuciones Log-Normal, Pearson III y Log-Pearson las de mejor ajuste. Gráficamente, la distribución Pearson III tuvo un buen ajuste para caudales pequeños, pero no así para caudales de período de retorno mayor a 10 años, por lo que se descartó. Con respecto a las distribuciones Log-Normal y Log-Pearson, sus parámetros estadísticos fueron muy similares, pero se optó por adoptar la primera como la de mejor representatividad, por simple inspección de su ajuste gráfico para caudales de período de retorno mayor a 10 años.

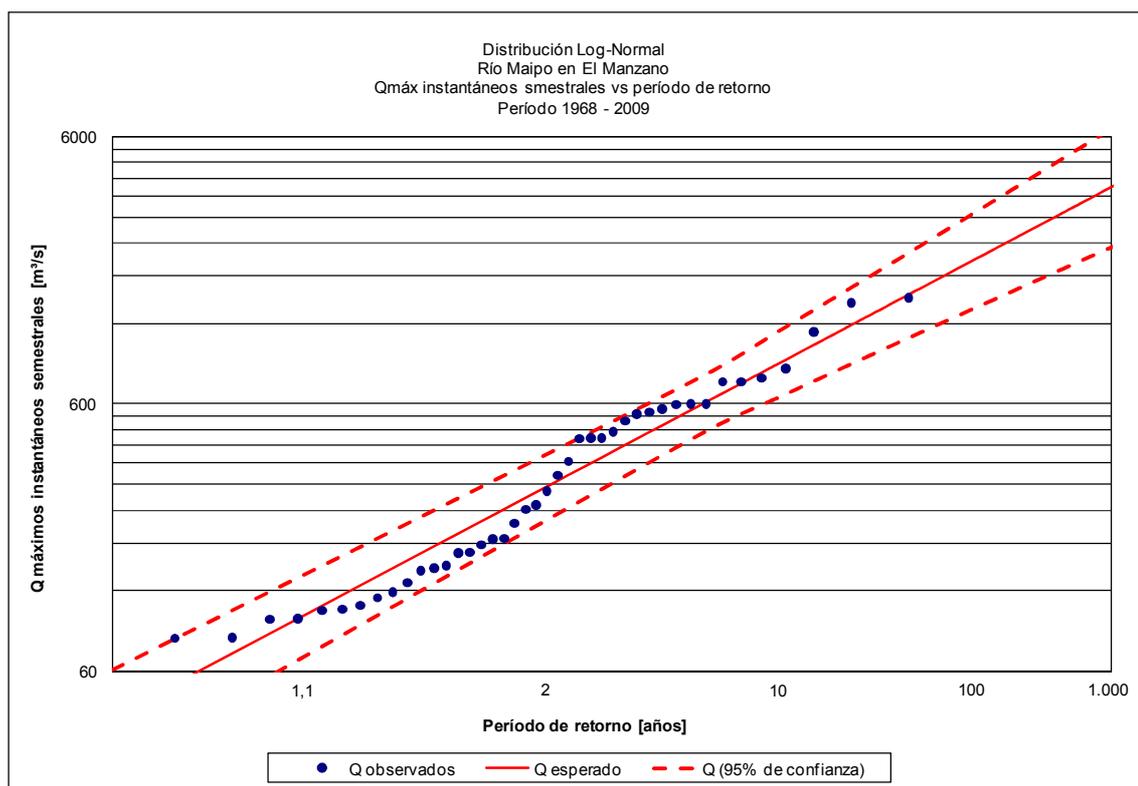
**Tabla 23: Bondad de ajuste para distintas distribuciones**

Distribución	Prueba Chi Cuadrado			R²	ECM
	X² calculado	X² límite	Resultado		
Normal	39,6	15,5	Rechazado	0,82	147,2
Log-Normal	10,1	15,5	Aprobado	0,97	65,1
Pearson III	8,3	14,1	Aprobado	0,96	74,7
Log-Pearson	8,0	14,1	Aprobado	0,97	65,4
Gumbel	7,1	15,5	Aprobado	0,93	92,7

Fuente: Elaboración propia

Gráficamente, el ajuste de la distribución Log-Normal para caudales instantáneos máximos semestrales esperados, según período de retorno, quedó como sigue.

**Figura 20: Caudales instantáneos máximos semestrales versus Período de retorno, distribución Log-Normal**



Fuente: Elaboración propia

La misma información proporcionada por la figura anterior se entrega, en forma tabulada, a continuación.

**Tabla 24: Caudales instantáneos máximos semestrales versus Período de retorno, distribución Log-Normal**

Período de retorno [años]	Q instantáneo máximo [m³/s]		
	Inferior (95% de confianza)	Esperado	Superior (95% de confianza)
5	453	581	745
10	631	842	1.123
20	824	1.143	1.587
30	890	1.250	1.756
50	1.107	1.613	2.351
100	1.345	2.029	3.062

Fuente: Elaboración propia

De esta última tabla se tiene que el período de retorno de un caudal del orden de los 1.600 m³/s es de 50 años. Este valor implicaría que, en promedio, debiera producirse un desborde del río Maipo a la altura de la estación Río Maipo en El Manzano, cada 50 años.

La tabla incluye caudales de período de retorno hasta 100 años ya que, para efectos de este trabajo, sólo interesarán los caudales cuyo orden de magnitud se encuentre en el rango estipulado por la NCh 777/1.Of2008. Sin embargo, los valores superiores (95% de confianza) de la tabla parecen ser muy elevados en comparación a los datos observados,

considerando que en los 42 años de registros utilizados para el cálculo, no se ha estimado ninguna crecida por sobre los  $1.700 \text{ m}^3/\text{s}$ , cantidad que es asignada a un período de retorno inferior a 30 años en la columna de caudales instantáneos máximos superiores.

### 5.3. Escenarios Futuros

En concordancia con los puntos expuestos a lo largo del trabajo, se procederá a hacer una proyección basada principalmente en la elevación de la isoterma 0 °C, por ser una variable que, como se vio en el **capítulo IV**, ejerce influencia sobre la magnitud de las crecidas y la turbiedad media de las mismas; y por ser su variación en la zona de estudio más significativa que las precipitaciones. Como se vio anteriormente, las precipitaciones no han sufrido un cambio importante en su cantidad, pero sí en su distribución temporal, al disminuir la cantidad de días con este tipo de evento meteorológico en las últimas décadas, lo que quiere decir que la cantidad de lluvia caída (en mm) se ha mantenido, pero su precipitación se ha vuelto más intensa.

Por lo anterior, los escenarios futuros a considerar no contemplarán variación en las precipitaciones anuales con respecto a la situación actual, y se basarán sólo en las proyecciones de elevación de la isoterma 0 °C propuestas por Carrasco, de 350 m y 440 m, representativos para los escenarios de emisión de la IPCC B2 y A2, respectivamente, para el período 2070 – 2100.

Combinando la información de la **tabla 4** y la **ecuación 1**, puede obtenerse las áreas de drenaje representativas para distintas épocas de año.

**Tabla 25: Isoterma cero y área drenada por la subcuenca del Maipo Alto, 2001 – 2005**

	<b>Anual</b>	<b>Verano</b>	<b>Invierno</b>
<b>Isoterma 0 °C [msnm]</b>	3.740	4.240	3.240
<b>Área drenada [km<sup>2</sup>]</b>	3.620	4.344	2.456

Fuente: Elaboración propia

Tomando esta última tabla como base, los escenarios futuros proyectados se describen a continuación.

#### **5.3.1. Escenario 1: Incremento de la Isoterma 0 °C media de 350 m (escenario IPCC B2), período 2070 – 2100**

**Tabla 26: Isoterma cero y área drenada por la subcuenca del Maipo Alto, 2070 – 2100, aumento de 350 m con respecto a situación actual**

	<b>Anual</b>	<b>Verano</b>	<b>Invierno</b>
<b>Isoterma 0 °C [msnm]</b>	4.090	4.590	3.590
<b>Área drenada [km<sup>2</sup>]</b>	4.175	4.612	3.302
<b>Cambio con respecto a período actual [km<sup>2</sup>]</b>	555	268	846
<b>Cambio con respecto a período actual [%]</b>	15%	6%	34%

Fuente: Elaboración propia

La elevación de 350 m de la isoterma 0 °C, generaría un aumento del 6% en el área drenada por la cuenca en verano, siendo casi la totalidad de esta incorporación perteneciente al piso vegetacional de tipo desértico (sobre 3.300 msnm), descrito en la **tabla**

1. Sin embargo, dado que los meses de verano presentan escasas precipitaciones, la preocupación principal no serían las crecidas de origen pluvial que este aumento pudiera favorecer, sino el mayor derretimiento de la nieve acumulada en la cordillera y el posible impacto de este fenómeno en la turbiedad del agua.

Con respecto a la elevación en invierno, el aumento en el área de drenaje sería de 846 km<sup>2</sup>, equivalentes a un incremento del 34% con respecto a la situación actual. Las implicancias de este cambio en las crecidas de origen pluvial se discutirán más adelante, y por ahora sólo se observará que tal elevación y consiguiente incorporación de área de drenaje permanente, afectarían la acumulación invernal de nieve y hielo, que abastecen de agua a las plantas de tratamiento de agua potable en los meses de verano.

En cuanto a la línea de equilibrio, un incremento de 350 m en su elevación media invernal implicaría subirla de los actuales 3.470 msnm a 3.820 msnm, ubicándola por sobre el glaciar Echaurren (3.750 msnm).

### **5.3.2. Escenario 2: Incremento de la Isoterma 0 °C media de 440 m (escenario IPCC A2), período 2070 – 2100**

**Tabla 27: Isoterma cero y área drenada por la subcuenca del Maipo Alto, 2070 – 2100, aumento de 440 m con respecto a situación actual**

	<b>Anual</b>	<b>Verano</b>	<b>Invierno</b>
<b>Isoterma 0 °C [msnm]</b>	4.180	4.680	3.680
<b>Área drenada [km<sup>2</sup>]</b>	4.281	4.658	3.499
<b>Cambio con respecto a período actual [km<sup>2</sup>]</b>	661	314	1.043
<b>Cambio con respecto a período actual [%]</b>	18%	7%	42%

Fuente: Elaboración propia

Una elevación de 440 m de la isoterma cero tendría prácticamente las mismas consecuencias que la elevación propuesta en el escenario anterior, en lo que a la estación veraniega se refiere: el aumento del área de drenaje sería de un 7% con respecto a la situación actual, siendo sólo un 1% superior a la incorporación de área predicha anteriormente. Este cambio poco significativo se debe a que la curva hipsométrica disminuye notoriamente su pendiente por sobre los 4.000 msnm, otorgando un bajo aporte de área de drenaje por metro de elevación. Al igual que en el escenario 1, las escasas precipitaciones que caracterizan a la estación estival no deberían representar una amenaza desde el punto de vista de las inundaciones, aunque sí podrían influir sobre la turbiedad del agua, ya que, a pesar de que el aumento es inferior al 10%, la adición de 661 km<sup>2</sup> de área de drenaje permanente no dejaría de ser despreciable.

En cuanto a la estación invernal, la elevación sugerida generaría un aporte adicional al área de drenaje del orden de 1.000 km<sup>2</sup>, equivalentes a un incremento del 42% con respecto a la situación actual. Al igual que en el escenario 1, los terrenos incorporados a la escorrentía serían principalmente de tipo desértico y, a diferencia del escenario 1, si la isoterma 0 °C efectivamente alcanzara los 3.680 m de altura media en los meses de invierno, se encontraría en la vecindad del glaciar Echaurren, situado a 3.750 msnm. Con respecto a la línea de equilibrio, un incremento de 440 m en su elevación media invernal

implicaría subirla de los actuales 3.470 msnm a 3.910 msnm, ubicándola holgadamente por sobre los terrenos ocupados por el glaciar.

### **5.3.3. Escenario 3: Incremento de la Isoterma 0 °C media de 200 m (escenario arbitrario), período 2070 – 2100**

Debido a que las elevaciones estimadas para los escenarios B2 y A2 exceden o igualan los 350 m, se optó por incluir un escenario arbitrario intermedio entre la situación actual y el escenario 1, sin antecedentes como base, pero que servirá para vislumbrar un estado intermedio entre la situación actual y las proyecciones basadas en los escenarios de la IPCC.

**Tabla 28: Isoterma cero y área drenada por la subcuenca del Maipo Alto, 2070 – 2100, aumento de 200 m con respecto a situación actual**

	<b>Anual</b>	<b>Verano</b>	<b>Invierno</b>
<b>Isoterma 0 °C [msnm]</b>	3.940	4.440	3.440
<b>Área drenada [km<sup>2</sup>]</b>	3.967	4.517	2.909
<b>Cambio con respecto a período actual [km<sup>2</sup>]</b>	347	173	454
<b>Cambio con respecto a período actual [%]</b>	10%	4%	18%

Fuente: Elaboración propia

Al igual que en los escenarios anteriores, el cambio en el área de drenaje estival es mucho menor, y casi despreciable, en comparación al cambio proyectado para la estación invernal, que alcanza un 18% de variación, al incorporar cerca de 450 km<sup>2</sup>. Desde el punto de vista de la línea de equilibrio, este escenario arbitrario es el único que no perturbaría directamente al glaciar Echaurren (3.750 msnm), ya que la elevación media invernal de la línea de equilibrio pasaría de 3.470 msnm a 3.670 msnm.

A pesar de que el aumento de la isoterma 0 °C impuesto para este escenario fue del orden del 50% inferior a los aumentos establecidos para los escenarios 1 y 2, su impacto en la incorporación de área de drenaje en invierno sigue siendo significativo.

### **5.3.4. Discusión con respecto a los Escenarios**

Dado que ambos escenarios IPCC y el escenario arbitrario tienen en común la incorporación del mismo tipo de piso vegetacional (desértico) al área de drenaje, se hará una discusión común, ya que la única diferencia apreciable entre ellos es la cantidad de superficie agregada a la escorrentía.

Del Hydraulic Design Manual (Texas Department of Transportation, 2009), se extrajeron los coeficientes de escorrentía del Método Racional para cuencas rurales, representativos para cada piso vegetacional según tipo de terreno, capacidad de infiltración, cubierta vegetal y superficie. Cada uno de los cuatro parámetros mencionados se traduce en un coeficiente de escorrentía independiente, cuya suma representa el coeficiente de escorrentía total ( $\Sigma C$ ) para un determinado terreno.

La información de la siguiente tabla es netamente referencial, y sólo tiene la finalidad de expresar la diferencia de capacidad de generación de escorrentía, a partir de precipitaciones, de los distintos pisos vegetacionales. Esto se debe a que el método racional (ver su fórmula y coeficiente en anexos) es válido para terrenos menores a 80 hectáreas, y los pisos vegetacionales estudiados abarcan superficies de cientos de kilómetros cuadrados.

**Tabla 29: Coeficientes de escorrentía para los pisos vegetacionales de la subcuenca del río Maipo Alto**

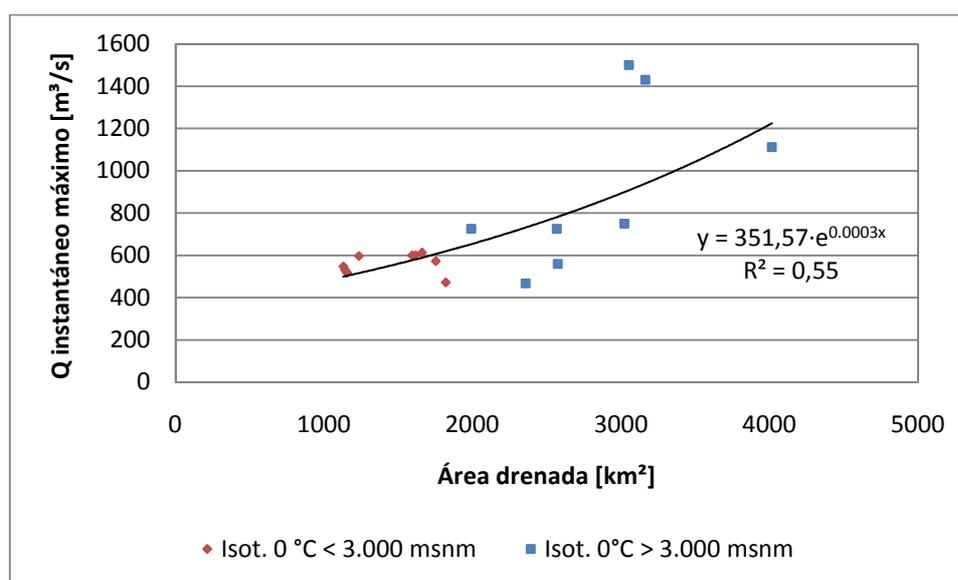
	Terreno (Cf)	Infiltración (Ci)	Cubierta vegetal (Cv)	Superficie (Cs)	$\Sigma C$
<b>Bosque esclerófilo (&lt; 2.200 msnm)</b>	0,20	0,07	0,06	0,08	0,41
<b>Matorral (2.200 – 2.600 msnm)</b>	0,21	0,08	0,08	0,09	0,46
<b>Herbazal (2.600 – 3.300 msnm)</b>	0,22	0,10	0,12	0,10	0,54
<b>Desierto (&gt; 3.300 msnm)</b>	0,26	0,14	0,14	0,10	0,64

Fuente: Elaboración propia

Estos coeficientes son válidos para caudales de período de retorno menor o igual a 10 años. Para períodos de retorno mayores, de 25, 50 y 100 años, los coeficientes de la tabla deben multiplicarse por 1,1, 1,2 y 1,25, respectivamente.

Como puede verse de la tabla, el coeficiente de escurrimiento incrementa a medida que se incorporan terrenos más elevados, especialmente a partir de los 3.300 metros de altura, que es donde se produce el cambio de herbazal a desierto. Para describir con mayor detalle el efecto de la incorporación de terreno desértico al área de drenaje, se hizo una regresión de caudal versus área de drenaje con el registro de crecidas históricas, discriminando entre eventos cuya isoterma cero fue menor o mayor a 3.000 msnm. Este ejercicio incluyó también la crecida de 1986, estimada en 1.500 m<sup>3</sup>/s.

**Figura 21: Caudales instantáneos máximos versus área de drenaje**



Fuente: elaboración propia

Se eliminó el dato correspondiente a la crecida de Junio de 1982 (816 m<sup>3</sup>/s), por ser un valor muy alejado de la tendencia en la serie de caudales con isoterma 0 °C menor a 3.000 msnm.

La correlación encontrada es poco representativa. Sin embargo, lo que interesa ver de la figura es la tendencia que se produce: la pendiente es más pronunciada en el tramo de la curva que pasa por los puntos de la serie cuya isoterma 0 °C es mayor a 3.000 msnm y, por ende, representan eventos que, probablemente, incorporaron una cuota no despreciable de terrenos desérticos a su área de drenaje. Esto sugiere que el aporte de caudal por unidad de área es mayor a partir de una cierta cota, la que se encontraría en la vecindad de la interfaz entre los estratos herbáceo y desértico.

En términos lineales, la pendiente de la recta interpolada para crecidas de isoterma cero inferior a 3.000 msnm indica un aporte aproximado de 10 m<sup>3</sup>/s por cada 100 km<sup>2</sup> incorporados al área de drenaje, mientras que su símil para crecidas cuya isoterma cero fue superior a 3.000 msnm, indica un aporte aproximado de 40 m<sup>3</sup>/s por cada 100 km<sup>2</sup> incorporados al área de drenaje. Estos valores no deben ser considerados absolutos, pero dan una idea del efecto producido por las precipitaciones de altura, generalmente más intensas que las de baja altura, como se vio en la descripción de la zona de estudio, sobre superficies de baja infiltración, alta escorrentía y, generalmente, mayor cantidad de nieve acumulada con potencial de ser derretida. Lo anteriormente descrito podría gatillar, en el transcurso del siglo, un mayor número de crecidas de magnitud cercana al millar de metros cúbicos por segundo, si la elevación de la isoterma 0 °C alcanza los niveles sugeridos por Carrasco y si las precipitaciones se mantienen dentro del rango observado hasta hoy.

En lo que a eventos de turbiedad respecta, la información disponible de 11 años es cronológicamente muy breve como para hacer un análisis de frecuencia estadísticamente válido, y tampoco se encontró una relación suficientemente representativa entre la duración de un evento de turbiedad y variables como precipitación, elevación de la isoterma cero y área de drenaje, como para hacer proyecciones en base a ella, más allá de las existentes en el proceso tarifario vigente (2010 – 2015). Sin embargo, dado que en el último proceso tarifario de Aguas Andinas, la infraestructura de seguridad contra eventos de turbiedad está basada en la empresa modelo, resulta de interés conocer la respuesta de la empresa real ante el evento modelo, de 5 días de duración.

Antes que todo, la propuesta de seguridad para la empresa modelo, presentada en el último estudio tarifario de Aguas Andinas, es la siguiente:

**Tabla 30: Balance Oferta – Demanda en Evento modelo de Turbiedad, Empresa Modelo**

<b>Pérdidas en distribución [%]</b>	15%
<b>Demanda media invernal (nivel clientes) [m³/s]</b>	10,86
<b>Demanda media invernal (nivel estanque) [m³/s]</b>	12,77
<b>Demanda a suplir en emergencia [%]</b>	80%
<b>Demanda a suplir en emergencia (nivel estanque) [m³/s]</b>	10,22
<b>Producción de pozos modelados [m³/s]</b>	1,77
<b>Producción de pozos proyectados Cerro Negro [m³/s]</b>	1,86
<b>Producción de emergencia Maipo-Florida (nivel estanque)</b>	5,60
<b>Duración del evento modelo [días]</b>	5
<b>Déficit de producción de AP [m³/s]</b>	0,98
<b>Déficit de producción de AP al 5° día [m³]</b>	423.755
<b>Reserva estanques modelados (NCh 691) [m³]</b>	138.371
<b>Reserva seguridad Florida [m³]</b>	100.000
<b>Reserva seguridad Maipo [m³]</b>	204.085
<b>Reserva total [m³]</b>	442.456
<b>Reserva restante al 5° día [m³]</b>	18.701

Fuente: SISS

Como referencia, la capacidad operativa conjunta del complejo Maipo-Florida es de 17,5 m³/s (caudal instalado Empresa Modelo), en situación normal. Para la empresa real, la capacidad conjunta operativa es del orden de 20 m³/s.

Bajo las condiciones establecidas en la tabla, la empresa modelo sería capaz de satisfacer el 80% de la demanda de agua potable en el Gran Santiago, por espacio de 5 días. Se asume que las autoridades jugarán un rol informativo, advirtiendo a la población la situación de emergencia e instándola a regular su consumo habitual, de manera que el 80% de suministro entregado por la sanitaria sea suficiente para atender sus necesidades.

No obstante, existen varios supuestos que hacen del balance oferta – demanda propuesto para la empresa modelo una simulación alejada de la realidad: en primer lugar, las pérdidas de la empresa real son del orden del 31% (SISS, 2009), y no del 15% asumido para la empresa modelo; segundo, si bien se concuerda con la consideración exclusiva del período invernal para modelar la demanda, puesto que el evento modelo está fijado para que ocurra entre Abril y Septiembre, se estimó inseguro asumir que la demanda a suplir es un 80% de la media invernal, ya que las demandas medias en Abril y Mayo están por sobre el valor base utilizado por la SISS, de 12,77 m³/s (a nivel de estanque). Como la infraestructura de seguridad de la empresa modelo no considera el uso de algunos sondajes actualmente en operación, ni la producción combinada real del complejo Maipo-Florida, ni el aprovechamiento de la capacidad ociosa de los estanques de distribución de la empresa real como reserva, se decidió simular el evento real de 111 horas, para la empresa modelo y para la empresa real, bajo condiciones de infraestructura y producción reales, y utilizando la demanda media máxima invernal como base de los cálculos.

**Tabla 31: Balance Oferta – Demanda en Evento modelo de Turbiedad, condiciones reales**

	<b>Empresa modelo</b>	<b>Empresa real</b>
<b>Pérdidas en distribución [%]</b>	15%	31%
<b>Estanques enterrados empresa real [m³]</b>	717.000	717.000
<b>Estanques elevados empresa real [m³]</b>	18.000	18.000
<b>Total estanques de distribución [m³]</b>	735.000	735.000
<b>Estanque de reserva La Florida [m³]</b>	100.000	100.000
<b>Demanda máxima diaria (Enero, nivel clientes) [m³/s]</b>	16,33	16,33
<b>Demanda máxima diaria (Enero, en estanque) [m³/s]</b>	19,21	23,67
<b>Volumen de regulación NCh 691 [m³]</b>	248.984	306.720
<b>Volumen de reserva NCh 691 [m³]</b>	138.325	170.400
<b>Volumen total de estanque NCh 691 [m³]</b>	387.309	477.120
<b>Volumen total de estanque empresa real [m³]</b>	835.000	835.000
<b>Volumen adicional de reserva [m³]</b>	447.691	357.880
<b>Volumen total de reserva [m³]</b>	586.016	528.280
<b>Demanda media máxima invernal (Abril, nivel clientes) [m³/s]</b>	12,80	12,80
<b>Demanda media máxima invernal (Abril, nivel estanque) [m³/s]</b>	15,06	18,56
<b>Demanda a suplir en emergencia [%]</b>	80%	80%
<b>Demanda a suplir en emergencia (nivel estanque) [m³/s]</b>	12,05	14,84
<b>Producción de emergencia Maipo-Florida (nivel estanque) [m³/s]</b>	8,51	8,51
<b>Producción de pozos empresa real (nivel estanque) [m³/s]</b>	2,77	2,39
<b>Producción de pozos proyectados Cerro Negro (nivel estanque) [m³/s]</b>	1,86	1,86
<b>Duración del evento modelo [horas]</b>	111	111
<b>Déficit de producción de AP (nivel estanque) [m³/s]</b>	0	2,09
<b>Déficit de producción de AP en 111 horas [m³]</b>	0	833.703
<b>Volumen de estanque faltante para atender emergencia [m³]</b>	0	305.423

Fuente: Elaboración propia

El volumen de regulación NCh 691 corresponde al 15% del volumen de agua proyectado para el día de máxima demanda (mes de Enero), mientras que el volumen de reserva NCh 691 corresponde a 2 horas de suministro en el mismo día.

El aporte de los pozos reales, con la excepción de los proyectados en Cerro Negro, fue corregido a niveles de demanda invernal. Si bien los pozos son capaces de producir 2,77 m³/s, en los meses de invierno no debería haber tal demanda en los sectores específicos que ellos abastecen. Por ello, se multiplicó el valor nominal por el cociente entre los consumos medios de Abril y Enero (0,86), lo que, a pesar de ser una aproximación, se consideró más representativo. No se aplicó el mismo criterio con los pozos proyectados, ya que estos están diseñados para distribuir su producción en un área mayor, que probablemente sí haga uso de toda el agua que ellos puedan entregar.

A diferencia de la modelación hecha por la SISS, los cálculos de la última tabla consideraron que la demanda a satisfacer durante la emergencia debe ser, al menos, el 80% del caudal medio máximo invernal (mes de Abril). Bajo estas nuevas condiciones, la

empresa modelo no sufre déficit de producción durante el evento, al contrario de la empresa real, cuyo déficit producción hace que el volumen de estanque faltante para atender la emergencia sea de 305.000 m<sup>3</sup>. Si la emergencia se extiende a 120 horas, como en el evento modelo, la empresa real necesitaría de 68.000 m<sup>3</sup> de estanque adicionales.

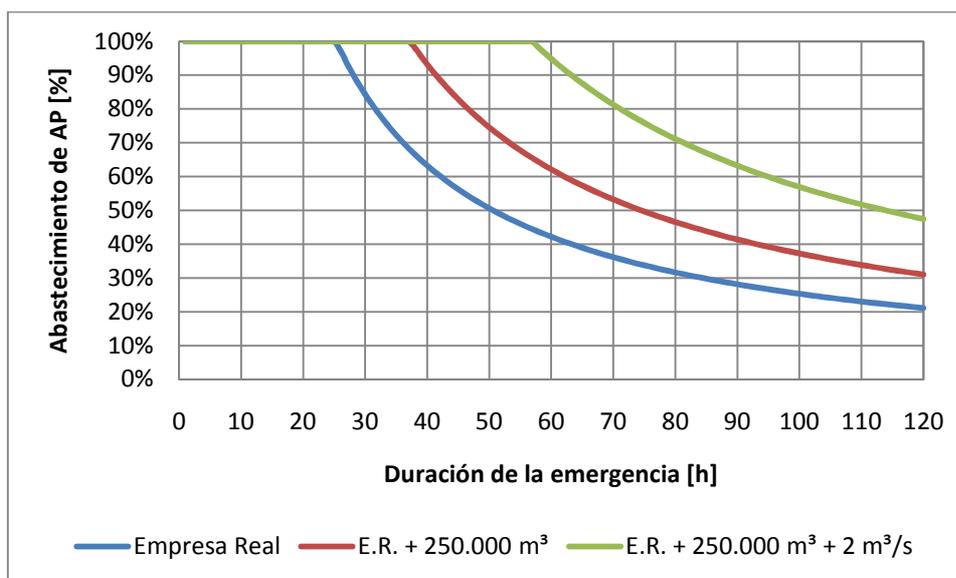
Imponiendo nuevas condiciones de operación, en las que para la empresa real se construyera un estanque de reserva adicional de 250.000 m<sup>3</sup> y/o se dispusiera de 2 m<sup>3</sup>/s adicionales de aguas subterráneas (a nivel de estanque) para atender la emergencia, los porcentajes de abastecimiento de emergencia, en función de la duración del evento, vendrían dados por las siguientes curvas.

**Tabla 32: Déficit de producción y volumen de reserva, 100% de demanda suplida**

	Infraestructura actual	Inf. actual + 250.000 m <sup>3</sup>	Inf. actual + 250.000 m <sup>3</sup> + 2 m <sup>3</sup> /s
<b>Demanda media máxima invernal (Abril, nivel estanque) [m<sup>3</sup>/s]</b>	18,56	18,56	18,56
<b>Demanda a suplir en emergencia [%]</b>	100%	100%	100%
<b>Demanda a suplir en emergencia (nivel estanque) [m<sup>3</sup>/s]</b>	18,56	18,56	18,56
<b>Producción total de emergencia (nivel estanque) [m<sup>3</sup>/s]</b>	12,76	12,76	14,76
<b>Déficit de producción de AP (nivel estanque) [m<sup>3</sup>/s]</b>	5,80	5,80	3,80
<b>Volumen total de reserva [m<sup>3</sup>]</b>	528.280	778.280	778.280

Fuente: Elaboración propia

**Figura 22: Abastecimiento de agua potable versus duración de la emergencia, 100% de demanda suplida**



Fuente: Elaboración propia

En caso que se decida suministrar un 100% del caudal medio máximo invernal, la empresa real sería capaz de atender, satisfactoriamente, emergencias de 25, 37 y 57 horas,

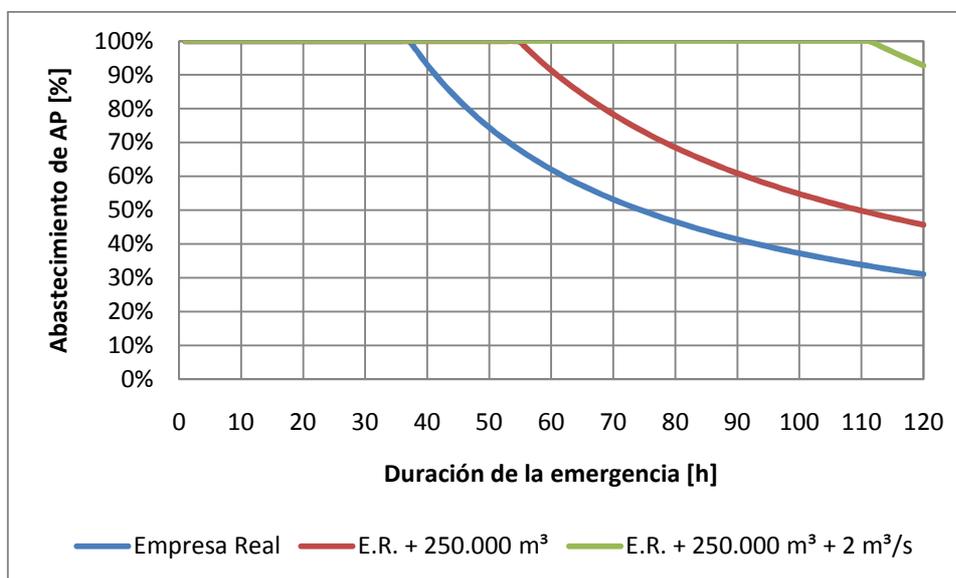
dependiendo del escenario. Duraciones mayores a las mencionadas implicarían, necesariamente, efectuar cortes en el suministro. Análogamente, para el caso en que se suministrara el 90% del caudal medio máximo invernal como caudal de emergencia, se tendría lo siguiente:

**Tabla 33: Déficit de producción y volumen de reserva, 90% de demanda suplida**

	Infraestructura actual	Inf. actual + 250.000 m <sup>3</sup>	Inf. actual + 250.000 m <sup>3</sup> + 2 m <sup>3</sup> /s
<b>Demanda media máxima invernal (Abril, nivel estanque) [m<sup>3</sup>/s]</b>	18,56	18,56	18,56
<b>Demanda a suplir en emergencia [%]</b>	90%	90%	90%
<b>Demanda a suplir en emergencia (nivel estanque) [m<sup>3</sup>/s]</b>	16,70	16,70	16,70
<b>Producción total de emergencia (nivel estanque) [m<sup>3</sup>/s]</b>	12,76	12,76	14,76
<b>Déficit de producción de AP (nivel estanque) [m<sup>3</sup>/s]</b>	3,94	3,94	1,94
<b>Volumen total de reserva [m<sup>3</sup>]</b>	528.280	778.280	778.280

Fuente: Elaboración propia

**Figura 33: Abastecimiento de agua potable versus duración de la emergencia, 90% de demanda suplida**



Fuente: Elaboración propia

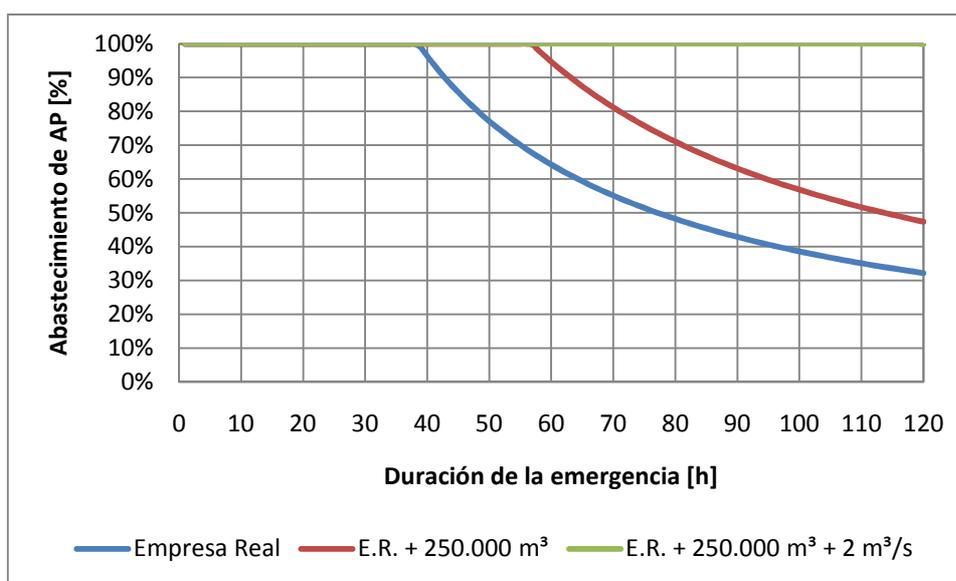
Bajo estas circunstancias, la empresa real sería capaz de mantener el suministro de emergencia a todos sus clientes por 37, 55 y 111 horas, respectivamente. Finalmente, repitiendo el ejercicio con un caudal de emergencia equivalente al 80% del medio máximo invernal, se tiene:

**Tabla 34: Déficit de producción y volumen de reserva, 80% de demanda suplida**

	Infraestructura actual	Inf. actual + 250.000 m <sup>3</sup>	Inf. actual + 250.000 m <sup>3</sup> + 2 m <sup>3</sup> /s
<b>Demanda media máxima invernal (Abril, nivel estanque) [m<sup>3</sup>/s]</b>	18,56	18,56	18,56
<b>Demanda a suplir en emergencia [%]</b>	80%	80%	80%
<b>Demanda a suplir en emergencia (nivel estanque) [m<sup>3</sup>/s]</b>	14,84	14,84	14,84
<b>Producción total de emergencia (nivel estanque) [m<sup>3</sup>/s]</b>	12,76	12,76	14,76
<b>Déficit de producción de AP (nivel estanque) [m<sup>3</sup>/s]</b>	2,09	2,09	0,09
<b>Volumen total de reserva [m<sup>3</sup>]</b>	528.280	778.280	778.280

Fuente: Elaboración propia

**Figura 24: Abastecimiento de agua potable versus duración de la emergencia, 80% de demanda suplida**



Fuente: Elaboración propia

En este caso, la empresa real sería capaz de mantener el suministro de emergencia a todos sus clientes por 70, 104 y más de 240 horas (10 días), respectivamente. El último valor debe su extensión a su déficit casi despreciable, de 90 l/s.

La combinación de suministrar el 80% del caudal medio máximo invernal, más la construcción de un estanque de reserva adicional de 250.000 m<sup>3</sup>, más la incorporación de 2 m<sup>3</sup>/s de aguas subterráneas (a nivel de estanque) en la producción de agua potable mientras dura la emergencia, es la única capaz de atender el evento modelo (120 horas) propuesto por la SISS. Sin embargo, la combinación anterior, sujeta a un suministro del 90% del caudal medio máximo invernal, en lugar del 80%, alcanzaría a cubrir completamente el evento real (111 horas), y en un 93% el evento modelo (120 horas). Esta última alternativa

representaría un menor impacto en el diario vivir de los clientes, en comparación a la solución propuesta por la SISS.

Aparte del evidente alivio percibido por los consumidores durante la emergencia, por el hecho de ser abastecidos con el 90% del caudal medio máximo invernal, versus el 80% de demanda media invernal propuesto por la Superintendencia, debe considerarse que el racionamiento no afectaría a todos por igual: mientras algunas zonas seguirían recibiendo su caudal habitual inalterado, ya sea porque no puede reducirse más la presión sin comprometer la totalidad del suministro de agua potable, o porque son abastecidas por pozos que alimentan sectores acotados, que no pueden distribuir sus excedentes a través de toda la red de suministro; otras zonas verían su suministro reducido en más de un 10%, para compensar esta heterogeneidad. Por lo tanto, sería preferible, desde el punto de vista de la calidad de vida, considerar una demanda media suplida del 90%, de modo que los clientes más perjudicados fueran abastecidos con cerca del 80% de su demanda habitual.

## **VI. Recomendaciones y Conclusiones**

### **6.1. Cambio Climático**

El cambio climático, a nivel global y en términos del incremento de la temperatura de la tropósfera, ha sido más evidente en el Hemisferio Norte que en el Hemisferio Sur. En lo que respecta al Hemisferio Sur, el fenómeno se ha manifestado de manera observable en la subcuenca del río Maipo Alto, en la Región Metropolitana de Chile. El incremento de la temperatura en esta zona se ve mayoritariamente reflejado en la elevación de la isoterma 0 °C y la línea de equilibrio en el macizo andino, lo que ha contribuido al retroceso del glaciar Echaurren, cuyo último balance de masa positivo se registró a fines de la década de 1980. Considerando que el cambio en las precipitaciones en Santiago no ha sido significativo en los últimos 100 años, el retroceso progresivo del glaciar sería mayormente atribuible a las mayores temperaturas en altura que a la escasez de precipitaciones. Cabe señalar que la elevación media de la isoterma 0 °C en los últimos 35 años sólo ha sido significativa en días sin precipitaciones, por lo que el glaciar ha sido capaz de acumular nieve normalmente en invierno, pero la ablación en el mismo ha sido, en general, progresivamente mayor en los meses de verano.

### **6.2. Datos de Entrada Ocupados para el Trabajo de Título**

La información de radiosonda utilizada para este trabajo de título correspondió a la obtenida de las estaciones Quintero y Santo Domingo, ambas ubicadas en la costa del país; y los registros de precipitación fueron mayoritariamente consultados desde la estación Santiago Quinta Normal, ubicada en la depresión intermedia. Considerando la existencia de una correlación entre estas variables y los eventos de crecida y turbiedad originados en la cordillera y precordillera andina, siendo que los datos de entrada provinieron de áreas de latitud equivalente, pero longitudes y climas diferentes, las ecuaciones podrían ser perfeccionadas si se utilizara precipitaciones de montaña y una descripción más representativa de la isoterma en la sección andina de la Región Metropolitana. Las estaciones meteorológicas en la subcuenca del Maipo Alto que podrían ser ocupadas como fuente adicional de información son Las Melosas y El Yeso Embalse, a 1.527 msnm y 2.475 msnm, respectivamente, y ambas en operación desde 1962.

La razón por la que se dispuso de información de radiosonda costera fue porque la estación Santo Domingo es la única que actualmente provee este tipo de datos en todo Chile central. Por lo tanto, una forma de tener registros más representativos de la isoterma 0 °C en la zona de estudio, sería la incorporación de mediciones de radiosonda en estaciones de montaña, o incluso en Quinta Normal. La justificación a los costos de inversión y mantención de esta propuesta es idéntica a la expuesta en el párrafo anterior: el hecho de que el suministro de agua potable de una ciudad tan poblada y llena de actividad humana como Santiago, dependa tan fuertemente del comportamiento del río Maipo y su cuenca, harían de la medida una inversión en seguridad, preservación de la calidad de vida de sus habitantes y resguardo de los intereses del país.

Cabe recalcar que más allá de que la información pluviométrica de Santiago Quinta Normal provenga de una zona geográfica distinta a la de donde se generan los fenómenos

de crecida y turbiedad, la justificación y propuesta de emplear información pluviométrica de mayor altitud recae en las correlaciones establecidas entre las estaciones Santiago Quinta Normal y San José de Maipo. En términos de precipitación acumulada mensual, para la serie de meses Abril – Septiembre del período 1975 – 2008, el coeficiente de determinación  $R^2$  fue igual 0,85 entre la estación ubicada en la depresión intermedia y la ubicada en terrenos cordilleranos, de lo que se concluye que existe una buena correlación entre ambas estaciones, en cuanto a precipitaciones mensuales se refiere. Sin embargo, al hacer este mismo ejercicio con las precipitaciones máximas en 24 horas de ambas estaciones, el coeficiente de determinación  $R^2$  fue de 0,48, lo que no permitió concluir lo mismo que en el caso anterior. Esto último cobra especial relevancia, ya que, en general, las ecuaciones usadas para el estudio de crecidas y eventos de turbiedad dependen de registros diarios puntuales de precipitación, y no del total acumulado mensual en que se registró el evento de interés. Luego, en caso de que se hagan estudios posteriores sobre el tema, se recomienda priorizar información pluviométrica de estaciones ubicadas a mayor altura, ya que, probablemente, sus registros de precipitación sigan un patrón mejor definido y menos disperso con respecto a crecidas y eventos de turbiedad.

### **6.3. Isotherma 0 °C y Línea de Equilibrio**

La elevación de la isoterma cero hacia fines del siglo XXI generaría cambios más pronunciados en el área de drenaje durante los meses de invierno (pluviales), que en los de verano (nivales). Mientras que para los últimos se estiman aumentos del 6% y 7% con respecto al nivel actual, según escenarios B2 y A2, respectivamente, para los meses de régimen pluvial se estiman aumentos del 34% y 42%, respectivamente. Incluso un aumento de 200 m en la elevación de la isoterma, prácticamente la mitad de lo proyectado por Carrasco para los escenarios antes mencionados, implicaría un aumento del 18% del área de drenaje invernal.

Lo anterior indicaría que la mayor amenaza al suministro de agua potable en la Región Metropolitana no sería la mayor cantidad de nieve derretida durante el verano, sino la mucha menor capacidad potencial de acumularla durante el invierno. Si a esto se le suma la relación que existe entre la magnitud de una crecida y el área de drenaje asociado a la misma, y que los escenarios futuros prevén la incorporación de terrenos desérticos de altura, caracterizados por un superior coeficiente de escorrentía y una mayor intensidad de precipitaciones, respectivamente, se concluye que los eventos de crecida futuros serían más catastróficos que los registrados hasta hoy, bajo el supuesto de que las precipitaciones no variarían significativamente.

Por otra parte, las proyecciones futuras planteadas en el trabajo sugieren que la capacidad de acumulación del glaciar Echaurren podría verse comprometida hacia fines del siglo XXI, de mantenerse la tendencia observada hasta la fecha: actualmente, la línea de equilibrio invernal media en la zona de estudio alcanza los 3.470 msnm., por lo que tanto un aumento de 350 m (escenario B2) o 440 m (escenario A2) en su elevación hacia fines de siglo, afectarían directamente la acumulación invernal de nieve en el glaciar, ubicado a 3.750 msnm, lo que diezmaría una importante fuente de agua dulce que sirve a los habitantes y actividades humanas de la capital del país, en los meses de verano.

## 6.4. Precipitaciones y Crecidas

Con respecto al cambio en las precipitaciones en la zona de estudio, si bien el cambio en la cantidad de agua caída no ha variado significativamente en los últimos 100 años, los días con precipitaciones han disminuido, lo que significa que las tormentas se han vuelto más intensas. Esto implicaría que durante el curso del presente siglo, el riesgo de crecidas e inundaciones podría aumentar debido al efecto sinérgico de una mayor área de drenaje en la subcuenca del río Maipo Alto, producto de la elevación de la isoterma cero; y a la mayor intensidad de las precipitaciones. Lo anterior se basa en la relación empírica encontrada entre la magnitud de una crecida y las dos variables mencionadas anteriormente.

Según los resultados de Carrasco, la elevación invernal de la isoterma ha sido notoriamente más pronunciada en días sin lluvia (122 m de elevación, contra 12 m en días con precipitaciones), pero esto no asegura la no ocurrencia de excepciones, o que a futuro la situación se mantenga invariable. Como se vio en la descripción de los eventos de crecida registrados hasta la fecha, casi un tercio presentaron una elevación de la isoterma 0 °C superior a la media invernal de 3.240 msnm, por lo que, aunque en promedio la elevación más evidente de la línea en cuestión se ha producido, o se produzca a futuro, en días sin precipitación, basta o bastaría un solo evento atípico que combine una inusual elevación de la isoterma e intensas precipitaciones, para tener chances de un evento de características catastróficas.

Conforme a las descripciones documentales y meteorológicas de las crecidas del período pluvial, existen otros factores, aparte de las precipitaciones líquidas en la parte alta de la cuenca, que también influyen sobre la magnitud de una crecida: nieve previamente acumulada y estado de saturación del suelo inmediatamente antes de la ocurrencia de un evento. La primera, aparte de derretirse e incorporarse a la escorrentía por efecto de la elevación de la isoterma cero, también lo hace por efecto de las precipitaciones líquidas, que aceleran el proceso una vez que entran en contacto con la nieve acumulada. Con respecto al segundo factor mencionado, el estado de saturación del suelo, su contribución a la magnitud de una crecida consiste en que un suelo parcial o totalmente saturado tenderá a infiltrar menos agua, fomentando la escorrentía.

## 6.5. Fluviometría

La información fluviométrica de la estación Río Maipo en El Manzano es poco confiable en términos de caudales instantáneos máximos, desde el inicio de sus operaciones hasta 1967. Luego, cualquier estudio de crecidas que haga uso de sus registros debiera, a priori, utilizar información a partir de la sequía de 1968, dada la notoria mejoría en la regularidad, periodicidad y continuidad de las mediciones hechas a partir de entonces. Como se demostró en el trabajo, el período pluvial 1948 – 1967 tiene un sólo un 43,3% de sus series mensuales completas o parcialmente completas<sup>3</sup>, mientras que el período 1968 – 2009 tiene un 92,9% de sus series mensuales en esas condiciones. Esto revela la alta probabilidad de que la mayoría de las crecidas ocurridas entre Abril y Septiembre en el

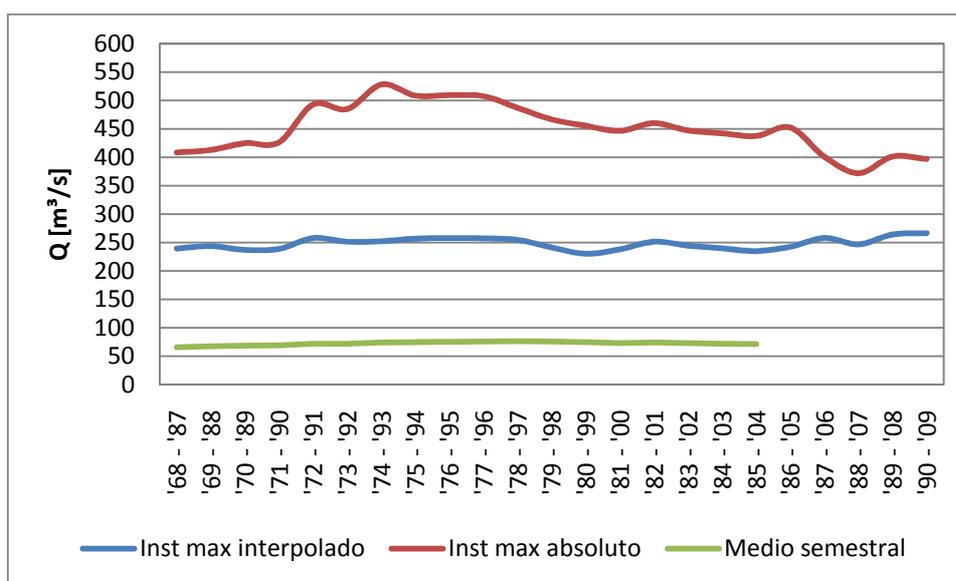
---

<sup>3</sup> Serie mensual incompleta que carece de un máximo de 5 días con mediciones (es decir, tiene aproximadamente un 85% de los días con mediciones), y que no tiene más de 3 días seguidos sin mediciones (es decir, no puede tener más de un 10% de días seguidos sin mediciones).

período 1948 – 1967, hayan ocurrido sin ser registradas, produciéndose una minoración de los caudales instantáneos máximos que, por razones de seguridad, no puede ser incorporada a un análisis de frecuencia destinado a la prevención de riesgo, ya que su inclusión tenderá a entregar como resultado caudales cuyo período de retorno real es menor.

Dentro del período 1968 – 2009, considerado confiable para efectos de análisis de frecuencia, se logra apreciar un cambio al alza en la tendencia de los caudales instantáneos máximos anuales, siempre en torno de los 400 m<sup>3</sup>/s y con oscilaciones entre los 320 m<sup>3</sup>/s y los 450 m<sup>3</sup>/s. Los valores mínimos de la media móvil se registraron al comienzo del período mencionado, y probablemente se debieron a la influencia de la gran sequía de fines de los '60, y a la exclusión de las crecidas de 1974 y 1986 de los registros de la DGA. De incluirse los valores propuestos, de 600 m<sup>3</sup>/s y 1.500 m<sup>3</sup>/s, para las respectivas crecidas, la media móvil de 20 años se ubica entre 400 m<sup>3</sup>/s y los 550 m<sup>3</sup>/s, con máximos que se registran en las medias móviles que incluyen la década compuesta por los fines de los '80 y comienzos de los '90, lo que es consistente con las grandes crecidas registradas en esos años, dos de ellas ( o tres, si se incluye el valor de 1986) mayores a 1.000 m<sup>3</sup>/s.

**Figura 25: Media móvil de 20 años para caudal medio e instantáneos máximos semestrales corregidos, estación Río Maipo en El Manzano (1968 – 2009)**



Fuente: elaboración propia

De la figura se ve que, tras la incorporación de los caudales corregidos, no existe una diferencia significativa entre las primeras y últimas medias móviles, que en un comienzo se estimó 20% a favor de las últimas. Cabe señalar que, tanto para comienzos como para fines de la serie, existe la influencia de sendas sequías: la de 1968, mencionada en el informe y que generó cuatro años seguidos de fallas (1968/69 – 1971/72) en el suministro de agua potable del Gran Santiago; y la de 1997 a 1999, que si bien no fue tan severa como la primera, en términos de suministro de agua potable, sí ocasionó falla en el año hidrológico 1997/98, además de racionamiento energético. Sin embargo, a pesar de que a nivel semestral no se apreció un cambio en las primeras y últimas medias móviles, a nivel mensual sí se produjo una variación, en que Mayo, Junio y Julio han sufrido los cambios más notorios en la tendencia de sus caudales instantáneos máximos, de +101%, -32% y -29%, respetivamente.

De acuerdo al análisis de frecuencia realizado, el caudal de período de retorno 100 años en la estación Río Maipo en El Manzano es del orden de 2.000 m<sup>3</sup>/s, lo que supone el desborde del río Maipo a esa altura. Dado que este caudal excede con creces cualquier extrapolación existente de la curva de descarga, a priori no podría hacerse uso de ella para estimar su altura limnigráfica. En caso de poder establecerse el eje hidráulico que un caudal de esta naturaleza desarrollara entre la estación mencionada y la Toma Independiente de Aguas Andinas, aguas abajo, podría conocerse la altura limnigráfica con que el agua llegaría a esta última obra. Con dicha información, y en virtud de los requisitos generales expuestos en la NCh 777/1.Of2008, podría tenerse una mejor aproximación de la altura de muros requerida para proteger la captación de la crecida objetivo.

## 6.6. Turbiedad

A pesar de que la información disponible sobre eventos de turbiedad, de 1997 a 2008, es insuficiente para hacer un análisis de frecuencia, sí permite dilucidar cierta tendencia, en la que el 90% los eventos a nivel anual tiene una duración inferior a 72 horas. El evento de mayor duración correspondió al de Mayo de 2008, de 111 horas (~5 días), el que fue tomado como base para la definición del “evento modelo” del último proceso tarifario para Aguas Andinas (2010 – 2015), y en base al cual se diseñó un plan de contingencia.

El balance de oferta y demanda para el evento modelo de turbiedad propuesto por la SISS, elaborado en base a la empresa modelo, es insuficiente para atender la emergencia en términos reales. Por ello, se propone el rediseño del balance en función de la capacidad productiva e infraestructura de reserva reales de Aguas Andinas; con la demanda a suplir en 111 horas igual al 90% del caudal medio máximo invernal, correspondiente al mes de Abril. Para lograr el objetivo de abastecer durante la emergencia a la totalidad de los clientes del Gran Santiago, suministrando, en términos medios, 14,76 m<sup>3</sup>/s, sería necesaria la incorporación de 2 m<sup>3</sup>/s adicionales a la producción de emergencia de agua potable (a nivel de estanque), y la construcción de nuevos estanques de reserva que, en total, deberían contabilizar 250.000 m<sup>3</sup>.

Dado que se trata de una emergencia, las autoridades competentes podrían difundir las siguientes recomendaciones, dirigidas a la población servida durante los días que dura el evento, para disminuir en un 10% el nivel de consumo medio de agua potable: evitar el baño o lavado de mascotas y vehículos, utilizar menos loza y vajilla en las comidas y, una vez usada, maximizar su acumulación para un lavado más eficiente; lavar la menor cantidad de ropa posible, a carga completa si es inevitable, y privilegiar el uso de prendas limpias guardadas; optimizar el uso del excusado y la ducha, intentando tomar baños más cortos; cocinar en mayores volúmenes y guardar lo preparado para almuerzos o cenas posteriores, restringir el riego con fines ornamentales y fomentar la revisión del “Manual para el Hogar” elaborado por la SISS, cuya finalidad es la de incentivar el consumo responsable de agua potable.

En términos normativos, se propone que en la próxima revisión de la NCh 691, “Agua potable – Conducción, regulación y distribución”, se discuta la inclusión explícita de los eventos de turbiedad, actualmente ausentes, como variable a considerar en el volumen de reserva de los estanques de regulación, y la extensión del tiempo mínimo de 2 horas, en base al que se calcula dicho volumen a, por lo menos, 12 horas, en caso de tratarse de sistemas de agua potable cuya principal fuente sean aguas superficiales susceptibles a

eventos de turbiedad. Asimismo, se sugiere la discriminación entre volumen de regulación invernal y estival, de modo que en los meses de invierno se pueda disponer de un volumen de reserva extra, provisto por la capacidad ociosa que se generaría de la diferencia entre los volúmenes de regulación de invierno y verano. El cálculo de este nuevo volumen podría ser hecho a partir del día de máximo consumo entre los meses de Abril y Septiembre, y su vigencia podría ser extendida en el mismo período.

De todas maneras, el monitoreo de la turbiedad debe seguir haciéndose a lo largo del tiempo, con el fin de poder contar con un banco de datos lo suficientemente consistente para establecer períodos de retorno estadísticamente significativos, que a su vez permitan hacer recomendaciones óptimas con respecto a criterios de seguridad y autonomía del sistema de agua potable de la capital.

## **6.7. Uso de Suelo y Pisos Vegetacionales de la Subcuenca**

La información censal de uso de suelo en la comuna de San José de Maipo, provista por los Censos Agropecuarios del INE, desde 1930 a 2007, presenta una variabilidad muy alta en sus categorías, las que además no son necesariamente iguales y/o comparables entre un censo y otro, generando desconfianza en su veracidad y dificultades comparativas al momento de hacer paralelos cronológicos. Considerando el rol que el monitoreo y control de uso de suelos tiene en el manejo de cuencas y en la limitación de la erosión y la escorrentía, y dada la importancia de la subcuenca representada por la comuna mencionada, en cuanto a la fracción del país, mayor a un tercio, que abastece de agua potable; y a la gran cantidad de instituciones, entes estatales, organizaciones, fuentes de trabajo y desarrollo, centros educacionales, comerciales, artísticos, culturales, financieros y de investigación que dependen, en buena parte, del suministro de agua potable proveniente de ella, el INE debiera adoptar una cédula censal agropecuaria lo más estandarizada y estable en tiempo, con el fin de poder establecer comparaciones cronológicas fidedignas que permitan apreciar fácilmente los cambios a largo plazo en el uso del suelo en la zona de interés. Para un mejor y más fiel catastro de los tipos y usos de suelo de la comuna, se sugiere además la asignación de censos fiscales capacitados, medida cuyo costo sería marginal si se lleva a cabo cada diez años, y cuyos beneficios representarían una inversión en seguridad. Esta medida podría extenderse a todas las comunas cuya área cubra total o parcialmente cuencas que sean relevantes a nivel país, en cuanto a la población, servicios e industrias que sirven o sustentan.

Los estratos vegetacionales presentes en la zona de estudio con más potencial de infiltración de las precipitaciones y retención de la escorrentía, son los que concentran el bosque esclerófilo, los matorrales espinosos y los matorrales bajos de altitud, todos los cuales se ubican entre los 1.000 msnm y 2.600 msnm de la subcuenca del río Maipo Alto, abarcando una superficie de 1.264 km<sup>2</sup>, o un 25,9% del área de la misma. Recordando que las áreas protegidas en la comuna de San José de Maipo suman 450 km<sup>2</sup>, existen al menos 814 km<sup>2</sup> de bosque esclerófilo y matorrales que no cuentan con algún tipo de protección. En virtud de la Estrategia Nacional de Biodiversidad, y del rol que la vegetación y el control del uso del suelo ejercen sobre la limitación de la escorrentía y la infiltración de las lluvias en una cuenca, los esfuerzos de protección de áreas silvestres deberían enfocarse más en los estratos mencionados anteriormente, que han estado históricamente sometidos a fuertes presiones antrópicas, que en los ubicados a mayor altitud (herbazales y desierto). Esto se vuelve especialmente prioritario si la isoterma cero comienza a elevarse a los niveles

predichos en los escenarios B2 o A2, tanto por la necesidad de hacer frente a una muy superior área de drenaje, de mayor coeficiente de escorrentía que los terrenos más bajos, como por la oportunidad de expandir el bosque esclerófilo hacia estratos superiores, donde las condiciones climáticas que determinan la fisionomía de la vegetación serían menos severas, producto del calentamiento local de los mismos.

## **6.8. Otros Criterios y Observaciones**

Adicionalmente a lo propuesto con respecto a eventos de turbiedad y crecida, se reitera la consideración de las observaciones hechas por Brown al DS 1199, en su próxima revisión, en cuanto a establecer una definición más clara de frecuencia de ocurrencia de fallas, la inclusión explícita de derechos consuntivos permanentes discontinuos o alternados como recurso para suplir la demanda de agua potable, y la revisión de lo que actualmente se considera el día de máximo consumo de agua potable, que perfectamente podría acaecer en un año que no sea el quinto del plan de desarrollo.

La detección de la inconsistencia en las Bases Definitivas del Estudio Tarifario de Aguas Andinas (2010 – 2015), con respecto al artículo 97 del DS 1199/04, plantea la necesidad de revisar las bases en su totalidad, y hacer coincidir fielmente lo estipulado en ellas, con lo escrito en los documentos legales, en caso de que existan más errores presentes. Si bien sólo se encontró una irregularidad, que en términos prácticos es favorable al consumidor de agua potable (legalmente, éste debe ser avisado con 24 horas de anticipación en caso de interrupción del servicio, y no 48 horas como dicen las bases), esto no implica que ella sea la única, ni que, de haber otras, sean igualmente favorables al usuario final.

## VII. Bibliografía

**AHUMADA, Gerardo. 2006.** Seminario AIDIS. *Vulnerabilidad de Abastecimiento de Agua Potable y Aspectos Normativos sobre Calidad de Servicios.* 2006.

**ARCTIC SEA ICE DATA CENTER.** Arctic Sea Ice News & Analysis. *Arctic ice extent remains low despite rapid growth.* [En línea] [Citado el: 12 de Diciembre de 2010.]  
<http://nsidc.org/arcticseaicenews/2010/110210.html>.

**ARIAS, Claudio. 2011.** *Evolución temporal de la Seguridad Hidrológica de Obras Hidráulicas. Aplicación en la Cuenca del Río Maule.* Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile : s.n., 2011. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil.

**BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL DE CHILE.** Sistema Integrado de Información Territorial. *Hidrografía Región Metropolitana de Santiago.* [En línea] [Citado el: 12 de Diciembre de 2010.]  
<http://siit2.bcn.cl/nuestropais/region13/hidrografia.htm>.

**BROWN, Ernesto. 2006.** Seminario AIDIS. *Vulnerabilidad de Abastecimiento de Agua Potable y Aspectos Normativos sobre Calidad de Servicios.* 2006.

**CARRASCO, Jorge et al. Diciembre de 2005.** *Changes of the 0 °C Isotherm and Equilibrium-line altitude in Central Chile during the Last Quarter of the 20th Century.* Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques, 50(6). Diciembre de 2005. págs. 933-948.

—. **2008.** *Secular Trend of the Equilibrium-line Altitude on the Western Side of the Southern Andes, derived from Radiosonde and Surface Observations.* Dirección Meteorológica de Chile. Santiago, Chile : s.n., 2008. 13 p.

**CLIMATIC RESEARCH UNIT.** Data. *Temperature.* [En línea] [Citado el: 24 de Febrero de 2011.]  
<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/>.

**COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO. 2009.** Sistema de Información Integral de Riego. [En línea] 2009. [Citado el: 15 de Febrero de 2011.] <http://esiir.cnr.cl/>.

**COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE.** *Estrategia para la Conservación de la Biodiversidad en la Región Metropolitana de Santiago.* Santiago, Chile : s.n. 92 p.

—. **2010.** SINIA Territorial. *Formaciones de pisos vegetacionales de Pliscoff & Luebert.* [En línea] 2010. [Citado el: 15 de Febrero de 2011.]  
[http://territorial.sinia.cl/ficha/ficha.php?accion=ficha&o\\_id=2313](http://territorial.sinia.cl/ficha/ficha.php?accion=ficha&o_id=2313).

**D.F.L 382. 2005.** Ley General de Servicios Sanitarios. 2005. 15 p.

**D.F.L. N° 3-18.715. 2005.** *Delimitaciones de las Comunas del País.* Chile : s.n., 2005. 235 p.

**D.S. 1199. 2005.** Reglamento de las Concesiones Sanitarias. 2005. 40 p.

**DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. 1995.** *Balance de Masa en el Glaciar Echaurren Norte, 1975 a 1992. Resultados Preliminares.* Santiago, Chile : s.n., 1995. 70 p.

—. **1948 - 2009.** Caudales Instantáneos, estación Río Maipo en El Manzano. [Planilla de cálculo]. Santiago, Chile : s.n., 1948 - 2009.

—. **1948 - 2005.** Caudales Medios Mensuales, estación Río Maipo en El Manzano. [Planilla de cálculo]. Santiago, Chile : s.n., 1948 - 2005.

—. **1997.** *Complemento N° 1, años 1993 - 1996, al "Balance de Masa en el Glaciar Echaurren Norte, 1975 a 1992. Resultados Preliminares"*. Santiago, Chile : s.n., 1997. 17 p.

—. **2004.** *Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Aguas según Objetivos de Calidad: Cuenca del Río Maipo*. Santiago, Chile : s.n., 2004. 195 p.

**DIRECCIÓN METEOROLÓGICA DE CHILE. 1920 - 2008.** *Anuarios Climatológicos (múltiples volúmenes)*. Santiago, Chile : s.n., 1920 - 2008.

—. **2011.** *Certificado de Agua Caída (múltiples fechas), estación Santiago Quinta Normal*. Santiago, Chile : s.n., 2011.

**DOLIDON, Nicolas. 2008.** *Landslides and Gullies in Managed Watersheds: Risks, Mitigation Strategies, Upstream-Downstream Linkages*. AgroParisTech. Paris, Francia : s.n., 2008. Master Thesis. 63 p.

**EL MERCURIO. 2009.** Nacional. *Derrumbe en El Arrayán arrasó con cinco casas y dejó a más de veinte personas damnificadas*. [En línea] 8 de Septiembre de 2009. [Citado el: 12 de Diciembre de 2010.] <http://diario.elmercurio.cl/detalle/index.asp?id={e9f9bd89-4221-4b1e-8e71-a242fb8f9f63}>.

**EL MERCURIO ONLINE. 2000.** Noticias. *Intransitable 75% de calles en cuatro comunas de Santiago*. [En línea] 14 de Junio de 2000. [Citado el: 12 de Diciembre de 2010.] <http://www.emol.com/noticias/nacional/detalle/detallenoticias.asp?idnoticia=23561>.

—. **2002.** Noticias. *Autoridades evalúan daños por el frente de mal tiempo*. [En línea] 26 de Mayo de 2002. [Citado el: 12 de Diciembre de 2010.] <http://www.emol.com/noticias/nacional/detalle/detallenoticias.asp?idnoticia=86211>.

—. **2008.** Noticias. *Canal de Ramón podría desbordarse otra vez por las lluvias*. [En línea] 5 de Junio de 2008. [Citado el: 12 de Diciembre de 2010.] <http://www.emol.com/noticias/nacional/detalle/detallenoticias.asp?idnoticia=307254>.

—. **2009.** Noticias. *Riesgo de deslizamiento de terreno amenaza a 8 casas en Lo Barnechea*. [En línea] 7 de Septiembre de 2009. [Citado el: 12 de Diciembre de 2010.] <http://www.emol.com/noticias/nacional/detalle/detallenoticias.asp?idnoticia=374932>.

**GONZÁLEZ ÁLVAREZ, María José. 2010.** *Efecto del Cambio Climático en la Seguridad de Suministro de Agua Potable en el Gran Santiago*. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile : s.n., 2010. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. 162 p.

**INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. 1933.** *Censo Agropecuario 1929/30*. Santiago, Chile : s.n., 1933. 117 p.

—. **1938.** *Censo Agropecuario 1935/36*. Santiago, Chile : s.n., 1938. 672 p.

—. **1955.** *Censo Agropecuario 1955, Tomo II*. Santiago, Chile : s.n., 1955. 258 p.

- . **1967.** *Censo Agropecuario 1964/65, Tomo VIII.* Santiago, Chile : s.n., 1967. 356 p.
- . **1976.** *Censo Agropecuario 1975/76, Región Metropolitana.* Santiago, Chile : s.n., 1976. 295 p.
- . **1998.** *Censo Agropecuario 1997, Uso de Suelo.* [Planilla de cálculo]. Santiago, Chile : s.n., 1998.
- . **2007.** *Censo Agropecuario 2007, Uso de Suelo.* [Planilla de cálculo]. Santiago, Chile : s.n., 2007.
- . *Demografía y Vitales. Proyecciones de Población.* [En línea] [Citado el: 15 de Diciembre de 2010.] [http://www.ine.cl/canales/chile\\_estadistico/demografia\\_y\\_vitales/proyecciones/MenPrincOK.xls](http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/demografia_y_vitales/proyecciones/MenPrincOK.xls).

**INSTITUTO NACIONAL DE HIDRÁULICA. 1989.** *Perfiles Transversales Río Maipo, Q = 1500 m<sup>3</sup>/s.* [Plano]. Peñaflo, Chile : s.n., 1989.

**INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. 2008.** NCh. 691.Of98. *Agua Potable - Conducción, regulación y distribución.* 2008. 9 p.

—. **2008.** NCh777/1.Of2008. *Agua Potable - Fuentes de abastecimiento y obras de captación - Parte 1: Captación de aguas superficiales.* 2008.

**INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2007.** *Climate Change 2007: Synthesis Report.* Valencia, España : s.n., 2007. 73 p.

**INTERNATIONAL COMMISSION FOR THE PROTECTION OF THE DANUBE RIVER. 2009.** *Flood Action Plan for the Vah, Hron and Ipel Rivers Basin.* Bratislava, Eslovaquia : s.n., 2009. 24 p.

**LA NACIÓN.cl. 2008.** Sociedad. *Nueve comunas afectadas por cortes de agua.* [En línea] 24 de Mayo de 2008. [Citado el: 12 de Diciembre de 2010.] [http://www.lanacion.cl/prontus\\_noticias\\_v2/site/artic/20080524/pags/20080524104825.html](http://www.lanacion.cl/prontus_noticias_v2/site/artic/20080524/pags/20080524104825.html).

**LUEBERT, Federico y PLISCOFF, Patricio. 2006.** *Sinópsis bioclimática y vegetal de Chile.* Santiago, Chile : Editorial Universitaria, 2006. 279 p.

**MEANS, Edward et al. Junio de 2010.** *Impacts of Climate Change on Infrastructure Planning and Design: Past Practices and future Needs.* Journal AWWA, 102(6). Junio de 2010. págs. 56-65.

**NASA EARTH OBSERVATORY.** Image of the Day. *Record Sea Ice Minimum.* [En línea] [Citado el: 12 de Diciembre de 2010.] <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=8126>.

**ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. 1992.** *Convención Marco de Las Naciones Unidas sobre El Cambio Climático.* Nueva York, Estados Unidos : s.n., 1992. 24 p.

**ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. 2006.** *El Desafío del Sector de Agua y Saneamiento en la Reducción de Desastres: Mejorar la Calidad de Vida reduciendo Vulnerabilidades.* Washington D.C., Estados Unidos : s.n., 2006. 37 p.

**PASTÉN, Ismael. 2011, <dbustos@ing.uchile.cl>.** RV: Solicitud BNA N°355. [En línea] <dga.cirh@mop.gov.cl>, 12 de Enero de 2011, <dbustos@ing.uchile.cl>. [Citado el: 12 de Enero de 2011.]

**SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS SANITARIOS. 2009.** *Bases Definitivas - Estudio Tarifario de la Empresa de Servicios Sanitarios Aguas Andinas S.A. Período 2010 - 2015.* Santiago, Chile : s.n., 2009. 224 p.

—. **2009.** *Estudio Tarifario de la Empresa de Servicios Sanitarios Aguas Andinas S.A. Período 2010 - 2015.* Santiago, Chile : s.n., 2009.

—. **2009.** *Informe de Gestión del Sector Sanitario 2009.* Santiago, Chile : s.n., 2009. 163 p.

—. *Manual para el Hogar.* Santiago : s.n. 44 p.

**TEXAS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. 2009.** *Hydraulic Design Manual.* Austin (TX), EE.UU. : s.n., 2009. 450 p.

**UNIVERSITY OF WYOMING.** Department of Atmospheric Science. *Atmospheric Soundings, Quintero and Santo Domingo stations.* [En línea] <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>.

**URRUTIA, Rosa y LANZA, Carlos. 1993.** *Catástrofes en Chile: 1541 - 1992.* Santiago, Chile : La Noria, 1993. 440 p.

**VEGA, Solano.** Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica, IX Congreso Nacional de Ingeniería Hidráulica (1989). *Criterios de cálculo de ejes hidráulicos en lecho móvil y su verificación por mediciones en el río Maipo.* [En línea] [Citado el: 12 de Enero de 2011.] [http://www.sochid.cl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=535:congreso198908&catid=56:congreso-1989&Itemid=76](http://www.sochid.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=535:congreso198908&catid=56:congreso-1989&Itemid=76).

**WORLD GLACIER MONITORING SERVICE. 2009.** *Glacier Mass Balance Bulletin N° 10 (2006/07).* Zúrich, Suiza : s.n., 2009. 96 p.

**WORLD HEALTH ORGANIZATION. 2009.** *Summary and Policy Implications Vision 2030: The Resilience of Water Supply and Sanitation in the Face of Climate Change.* Ginebra, Suiza : s.n., 2009. 41 p.

## VIII. Anexos

**Tabla A1: Coeficientes de escorrentía para cuencas rurales**

	<b>Extreme</b>	<b>High</b>	<b>Normal</b>	<b>Low</b>
Relief - $C_r$	0.28-0.35 steep, rugged terrain with average slopes above 30%	0.20-0.28 hilly, with average slopes of 10-30%	0.14-0.20 rolling, with average slopes of 5-10%	0.08-0.14 relatively flat land, with average slopes of 0-5%
Soil Infiltration - $C_i$	0.12-0.16 no effective soil cover either rock or thin soil mantle of negligible infiltration capacity	0.08-0.12 slow to take up water, clay or shallow loam soils of low infiltration capacity or poorly drained	0.06-0.08 normal; well drained light or medium textured soils, sandy loams	0.04-0.06 deep sand or other soil that takes up water readily, very light well drained soils
Vegetal Cover - $C_v$	0.12-0.16 no effective plan cover, bare or very sparse cover	0.08-0.12 poor to fair; clean cultivation, crops or poor natural cover, less than 20% of drainage area over good cover	0.06-0.08 fair to good; about 50% of area in good grassland or woodland, not more than 50% of area in cultivated crops	0.04-0.06 good to excellent; about 90% of drainage area in good grassland, woodland, or equivalent cover
Surface - $C_s$	0.10-0.12 negligible; surface depression few and shallow, drainage ways steep and small, no marshes	0.08-0.10 well defined system of small drainage ways, no ponds or marshes	0.06-0.08 normal; considerable surface depression storage lakes and ponds and marshes	0.04-0.06 much surface storage, drainage system not sharply defined; large floodplain storage of large number of ponds or marshes
NOTE: The total runoff coefficient based on the four runoff components is $C = C_r + C_i + C_v + C_s$				

Fuente: Texas Department of Transportation (2009)

### Ecuación A1: Método Racional

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360}$$

Donde  $Q$  es el caudal instantáneo máximo [m<sup>3</sup>/s],  $C$  el coeficiente de escorrentía (adimensional),  $I$  la intensidad media de las precipitaciones en un tiempo igual al tiempo de concentración [mm/h], y  $A$  el área de drenaje de la cuenca [ha]. Por condiciones de validez del modelo, esta última variable debe ser inferior a 80 hectáreas.

**Tabla A2: Precipitaciones en la estación Santiago Quinta Normal, semestre pluvial 1920 – 1926**

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Total mensual [mm]</b>	<b>Máximo en 24 h [mm]</b>	<b>Día del máximo</b>
1920	Abril	0,2	0,2	17
1920	Mayo	100,9	29,2	25
1920	Junio	81,4	18,9	6
1920	Julio	47,9	34	20
1920	Agosto	23,7	22,9	12
1920	Septiembre	0,9	0,9	13
1921	Abril	14,5	14,2	24
1921	Mayo	248,5	65	24
1921	Junio	95	35,4	24
1921	Julio	0,9	0,7	19
1921	Agosto	52,5	29,9	4
1921	Septiembre	21,8	11,5	22
1922	Abril	0,1	0,1	19
1922	Mayo	24	19,4	21
1922	Junio	215,8	72,6	10
1922	Julio	52,8	34,5	30
1922	Agosto	85,5	29,2	16
1922	Septiembre	39,1	24,1	16
1923	Abril	0,3	0,2	28
1923	Mayo	7	6,7	6
1923	Junio	71,9	21,4	12
1923	Julio	98,4	31,7	15
1923	Agosto	78,9	19,8	26
1923	Septiembre	13,1	11,9	27
1924	Abril	0,9	0,9	20
1924	Mayo	-	-	-
1924	Junio	16,5	10,9	6
1924	Julio	10	8,1	3
1924	Agosto	11	11	8
1924	Septiembre	11,8	5,1	14
1925	Abril	2,3	2,3	5
1925	Mayo	24,5	23,3	8
1925	Junio	8,5	8,2	11
1925	Julio	72,2	29,1	23
1925	Agosto	1,5	1,5	17
1925	Septiembre	138,5	27	6
1926	Abril	0,1	0,1	10
1926	Mayo	34,9	21,9	21
1926	Junio	433	103,4	18
1926	Julio	234,3	63,3	6
1926	Agosto	44	21,5	11
1926	Septiembre	8	5,7	7

Fuente: DMC

**Tabla A3: Precipitaciones en la estación Santiago Quinta Normal, semestre pluvial 1927 – 1933**

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Total mensual [mm]</b>	<b>Máximo en 24 h [mm]</b>	<b>Día del máximo</b>
1927	Abril	0,9	0,9	20
1927	Mayo	77,5	36,4	27
1927	Junio	110,7	50,4	1
1927	Julio	111,5	34,4	5
1927	Agosto	29,2	25	12
1927	Septiembre	68,3	18,5	1
1928	Abril	32,2	31,8	9
1928	Mayo	96,9	40,4	28
1928	Junio	159,3	40,3	4
1928	Julio	36,2	27	11
1928	Agosto	4,1	2,5	9
1928	Septiembre	10,2	9,5	3
1929	Abril	18	12,3	25
1929	Mayo	15	9	8
1929	Junio	90	61,3	12
1929	Julio	95	34,7	17
1929	Agosto	151	60,7	29
1929	Septiembre	12	5,9	22
1930	Abril	18	12,3	25
1930	Mayo	15	9	8
1930	Junio	90	61,3	12
1930	Julio	95	34,7	17
1930	Agosto	151	60,7	29
1930	Septiembre	15	5,9	22
1931	Abril	7	4,7	19
1931	Mayo	21	19,1	22
1931	Junio	47	14	25
1931	Julio	101	46,1	22
1931	Agosto	63	20,3	12
1931	Septiembre	44	24,1	9
1932	Abril	7	7	2
1932	Mayo	43	17,6	20
1932	Junio	66	51,7	23
1932	Julio	91	36,2	20
1932	Agosto	106	48	4
1932	Septiembre	20	19,2	18
1933	Abril	0,1	0,1	8
1933	Mayo	66	21,7	18
1933	Junio	82	26,1	11
1933	Julio	31	9	25
1933	Agosto	55	23,2	22
1933	Septiembre	24	20,8	17

Fuente: DMC

**Tabla A4: Precipitaciones en la estación Santiago Quinta Normal,  
semestre pluvial 1934 – 1940**

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Total mensual [mm]</b>	<b>Máximo en 24 h [mm]</b>	<b>Día del máximo</b>
1934	Abril	-	-	-
1934	Mayo	268	73	19
1934	Junio	146	55,5	3
1934	Julio	30	9,1	31
1934	Agosto	9	1,5	6
1934	Septiembre	14	12,4	5
1935	Abril	3	2	12
1935	Mayo	22	13,5	16
1935	Junio	86	45,3	13
1935	Julio	37	17,3	8
1935	Agosto	29	11,2	6
1935	Septiembre	30	19,8	2
1936	Abril	17	10,4	20
1936	Mayo	134	27,1	19
1936	Junio	65	17,5	19
1936	Julio	76	32,3	22
1936	Agosto	62	28,3	19
1936	Septiembre	11	10,5	3
1937	Abril	0,1	0,1	6
1937	Mayo	42	17,1	15
1937	Junio	69	36,6	24
1937	Julio	95	25,6	15
1937	Agosto	71	12,6	22
1937	Septiembre	49	13,5	15
1938	Abril	9	5,6	14
1938	Mayo	46	28,1	19
1938	Junio	59	36	19
1938	Julio	30	12,8	30
1938	Agosto	1,4	1,2	26
1938	Septiembre	0,5	0,5	17
1939	Abril	-	-	-
1939	Mayo	71	48,9	12
1939	Junio	89	42,3	23
1939	Julio	15	10,6	31
1939	Agosto	39	21,3	8
1939	Septiembre	18	16,6	1
1940	Abril	18	14,5	20
1940	Mayo	18	12,4	22
1940	Junio	84	41,8	6
1940	Julio	148	56,2	19
1940	Agosto	21	9,7	28
1940	Septiembre	23	6,6	6

Fuente: DMC

**Tabla A5: Precipitaciones en la estación Santiago Quinta Normal, semestre pluvial 1941 – 1947**

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Total mensual [mm]</b>	<b>Máximo en 24 h [mm]</b>	<b>Día del máximo</b>
1941	Abril	86	30,7	26
1941	Mayo	100	50,1	8
1941	Junio	120	42,4	7
1941	Julio	167	61,4	23
1941	Agosto	145	65,7	9
1941	Septiembre	9,3	9,3	1
1942	Abril	-	-	-
1942	Mayo	33	18,6	16
1942	Junio	95	46,1	13
1942	Julio	84	26,8	15
1942	Agosto	117	25,6	9
1942	Septiembre	16	7,8	17
1943	Abril	6	5,7	28
1943	Mayo	31	14,4	27
1943	Junio	25	7,9	21
1943	Julio	31	13,2	17
1943	Agosto	32	25,2	18
1943	Septiembre	27	9,7	19
1944	Abril	13	9,8	2
1944	Mayo	65	30,5	12
1944	Junio	136	48	10
1944	Julio	21	11	6
1944	Agosto	173	51	14
1944	Septiembre	2	1,2	2
1945	Abril	21	16,5	26
1945	Mayo	5	5,3	12
1945	Junio	-	-	21/29
1945	Julio	37	11,3	18
1945	Agosto	72	50,2	1
1945	Septiembre	27	14,5	11
1946	Abril	11	10	8
1946	Mayo	14	11	20
1946	Junio	29	9	25
1946	Julio	39	29	9
1946	Agosto	26	24	24
1946	Septiembre	1	1	2
1947	Abril	2,7	2,2	29
1947	Mayo	22,7	21,3	20
1947	Junio	110,8	39,3	30
1947	Julio	31,2	16,7	16
1947	Agosto	63	32,8	28
1947	Septiembre	3	1,2	26

Fuente: DMC

**Tabla A6: Precipitaciones en la estación Santiago Quinta Normal, semestre pluvial 1948 – 1954**

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Total mensual [mm]</b>	<b>Máximo en 24 h [mm]</b>	<b>Día del máximo</b>
1948	Abril	47,1	30,5	21
1948	Mayo	80,2	49,2	13
1948	Junio	32,4	32,4	20
1948	Julio	164,7	41,5	12
1948	Agosto	11,5	8,6	9
1948	Septiembre	21,1	12,5	25
1949	Abril	-	-	-
1949	Mayo	185,1	55	19
1949	Junio	46	19	21
1949	Julio	21,6	18,8	11
1949	Agosto	39,3	22,1	12
1949	Septiembre	2,2	1,6	23
1950	Abril	77,2	61,7	6
1950	Mayo	80,9	44,3	13
1950	Junio	16,8	16,6	17
1950	Julio	0,1	0,1	12
1950	Agosto	45,1	15,2	31
1950	Septiembre	39,3	13,8	8
1951	Abril	20	11,5	20
1951	Mayo	81	29,6	16
1951	Junio	65	23	13
1951	Julio	106	34	5
1951	Agosto	13	9	1
1951	Septiembre	36	13,7	9
1952	Abril	-	-	-
1952	Mayo	98	29,2	12
1952	Junio	102	43,3	21
1952	Julio	40	18,9	9
1952	Agosto	28	11,9	22
1952	Septiembre	41	19,4	13
1953	Abril	24,2	24,2	19
1953	Mayo	23,2	23,2	26
1953	Junio	20,9	20,9	24
1953	Julio	48,1	48,1	7
1953	Agosto	76,1	76,1	19
1953	Septiembre	31,2	31,2	1
1954	Abril	60,7	30	7
1954	Mayo	67,9	30,8	25
1954	Junio	95,2	22,8	3
1954	Julio	71,1	40,7	13
1954	Agosto	13,5	8	1
1954	Septiembre	12	10,9	3

Fuente: DMC

**Tabla A7: Precipitaciones en la estación Santiago Quinta Normal, semestre pluvial 1955 – 1961**

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Total mensual [mm]</b>	<b>Máximo en 24 h [mm]</b>	<b>Día del máximo</b>
1955	Abril	14	8,3	6
1955	Mayo	45	20,8	15
1955	Junio	53	17,8	4
1955	Julio	21	14,5	4
1955	Agosto	21	11,5	30
1955	Septiembre	5	2,2	20
1956	Abril	13	9	26
1956	Mayo	37	20	26
1956	Junio	5	4	8
1956	Julio	64	44	16
1956	Agosto	77	25	1
1956	Septiembre	14	7	21/31
1957	Abril	2	2	26
1957	Mayo	161	59	19
1957	Junio	23	11	14
1957	Julio	44	14	6
1957	Agosto	42	39	22
1957	Septiembre	16	9	6
1958	Abril	0,2	0,2	10
1958	Mayo	98	46,2	15
1958	Junio	108	32,9	1
1958	Julio	23	13,7	26
1958	Agosto	91	46	14
1958	Septiembre	7,2	6,3	3
1959	Abril	60	28,6	14
1959	Mayo	58	45,7	14
1959	Junio	79	24,8	23
1959	Julio	45	29,7	3
1959	Agosto	42	9,4	5
1959	Septiembre	11	9,6	7
1960	Abril	-	-	-
1960	Mayo	21,2	21,2	17
1960	Junio	89	38,7	22
1960	Julio	54,3	19,3	28
1960	Agosto	21,1	11,2	11
1960	Septiembre	5,3	4,5	22
1961	Abril	-	-	-
1961	Mayo	21,7	17,6	30
1961	Junio	79,5	20,7	6
1961	Julio	16,8	5,5	10
1961	Agosto	67,7	21,4	28
1961	Septiembre	32,3	19,6	2

Fuente: DMC

**Tabla A8: Precipitaciones en la estación Santiago Quinta Normal, semestre pluvial 1962 – 1968**

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Total mensual [mm]</b>	<b>Máximo en 24 h [mm]</b>	<b>Día del máximo</b>
1962	Abril	0,4	0,2	6/29
1962	Mayo	12,9	4,6	28
1962	Junio	149,9	60,3	24
1962	Julio	14,1	10,5	7
1962	Agosto	32,1	14,9	9
1962	Septiembre	6	4,2	26
1963	Abril	0,4	0,4	14
1963	Mayo	27,1	18	21
1963	Junio	34,1	29,3	26
1963	Julio	146,5	53,4	10
1963	Agosto	104,7	58,8	20
1963	Septiembre	108	31,8	2
1964	Abril	0,9	0,5	29
1964	Mayo	0,2	0,2	13
1964	Junio	84	34,4	2
1964	Julio	36	28,1	6
1964	Agosto	61	25	16
1964	Septiembre	0,3	0,2	24
1965	Abril	36,4	14,2	9
1965	Mayo	33,3	24	12
1965	Junio	14,7	10,2	5
1965	Julio	130,8	48,5	24
1965	Agosto	159,4	50,7	10
1965	Septiembre	3,5	2	3
1966	Abril	35	19	18
1966	Mayo	7	7	20
1966	Junio	133	31	15
1966	Julio	104	45,9	10
1966	Agosto	45	18,9	1
1966	Septiembre	1	0,5	29
1967	Abril	1,3	1,3	22
1967	Mayo	12,4	7,6	17
1967	Junio	36,2	18,3	4
1967	Julio	55,2	12,4	18
1967	Agosto	20	17,6	28
1967	Septiembre	30,7	28,9	10
1968	Abril	14	13,7	18
1968	Mayo	-	-	-
1968	Junio	7,8	4,1	16
1968	Julio	4,6	4,5	23
1968	Agosto	9,9	9,6	17
1968	Septiembre	32,7	18	8

Fuente: DMC

**Tabla A9: Precipitaciones en la estación Santiago Quinta Normal, semestre pluvial 1969 – 1975**

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Total mensual [mm]</b>	<b>Máximo en 24 h [mm]</b>	<b>Día del máximo</b>
1969	Abril	19,9	13,4	30
1969	Mayo	22,5	15,1	10
1969	Junio	62,6	26,7	7
1969	Julio	22,1	17,7	4
1969	Agosto	45,8	25,6	4
1969	Septiembre	1,6	1,6	28
1970	Abril	-	-	-
1970	Mayo	75,8	27,1	3
1970	Junio	32,3	19,7	16
1970	Julio	164,9	51,5	4
1970	Agosto	6,9	5,8	12
1970	Septiembre	21,6	15,9	30
1971	Abril	2,2	2,2	20
1971	Mayo	33	29,4	23
1971	Junio	129,2	68,7	20
1971	Julio	31,3	29,7	1
1971	Agosto	32,4	13,5	2
1971	Septiembre	5,7	5	10
1972	Abril	4	4	23
1972	Mayo	125,7	38,8	6
1972	Junio	166,2	32,9	13
1972	Julio	52,6	42,4	5
1972	Agosto	151,2	58	12
1972	Septiembre	49,5	13,4	16
1973	Abril	4	2,5	27
1973	Mayo	17,4	4,5	18
1973	Junio	32,1	26,8	15
1973	Julio	77,2	25,8	8
1973	Agosto	0,7	0,7	14
1973	Septiembre	6	5,9	27
1974	Abril	-	-	-
1974	Mayo	100,8	49	21
1974	Junio	228,1	57,3	29
1974	Julio	35,3	14,7	1
1974	Agosto	14,1	9,3	28
1974	Septiembre	22	12,6	24
1975	Abril	14,9	10,8	21
1975	Mayo	18,3	14,2	30
1975	Junio	2,2	1,9	1
1975	Julio	111,4	30,5	3
1975	Agosto	20,1	7,2	1
1975	Septiembre	1,1	0,7	24

Fuente: DMC

**Tabla A10: Precipitaciones en la estación Santiago Quinta Normal, semestre pluvial 1976 – 1982**

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Total mensual [mm]</b>	<b>Máximo en 24 h [mm]</b>	<b>Día del máximo</b>
1976	Abril	1,6	1,6	17
1976	Mayo	18,4	9,9	27
1976	Junio	51,9	25,6	4
1976	Julio	6,5	4,5	19
1976	Agosto	34,8	12	7
1976	Septiembre	16,5	10,6	27
1977	Abril	20,5	20,3	30
1977	Mayo	28,9	12,9	24
1977	Junio	123,1	29,9	26
1977	Julio	121,4	31,4	22
1977	Agosto	48,2	32,5	11
1977	Septiembre	1,5	1,5	12
1978	Abril	-	-	-
1978	Mayo	19,1	15,9	12
1978	Junio	54,5	26,7	18
1978	Julio	222,3	44,8	14
1978	Agosto	14,9	10,8	28
1978	Septiembre	26,1	10,7	16
1979	Abril	***	***	***
1979	Mayo	***	***	***
1979	Junio	***	***	***
1979	Julio	***	***	***
1979	Agosto	***	***	***
1979	Septiembre	***	***	***
1980	Abril	48,6	19,4	10
1980	Mayo	44,9	25,5	9
1980	Junio	60,3	20,1	23
1980	Julio	63,9	31,1	18
1980	Agosto	14,1	8,4	3
1980	Septiembre	61,8	30	29
1981	Abril	0,7	0,5	24
1981	Mayo	183	85,6	30
1981	Junio	20	19,4	20
1981	Julio	30	10,6	14
1981	Agosto	11	7,9	30
1981	Septiembre	14,5	5,9	8
1982	Abril	0,8	0,6	17
1982	Mayo	111	51,9	12
1982	Junio	275,5	61,2	26
1982	Julio	102,9	25,5	15
1982	Agosto	64,8	42,7	12
1982	Septiembre	39,5	21	14

Fuente: DMC

\*\*\*: El anuario climatológico de 1979 se extravió.

**Tabla A11: Precipitaciones en la estación Santiago Quinta Normal, semestre pluvial 1983 – 1989**

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Total mensual [mm]</b>	<b>Máximo en 24 h [mm]</b>	<b>Día del máximo</b>
1983	Abril	24,5	17,2	23
1983	Mayo	57,5	30,5	18
1983	Junio	103	44,3	18
1983	Julio	89,8	44,3	5
1983	Agosto	44,5	11,7	28
1983	Septiembre	34,9	12,5	27
1984	Abril	1,4	1,4	15
1984	Mayo	65,5	28,6	3
1984	Junio	40,5	11,2	10
1984	Julio	245,9	77,6	4
1984	Agosto	48,6	16,9	17
1984	Septiembre	24,4	12,9	23
1985	Abril	0,2	0,2	25
1985	Mayo	37,4	11,2	17
1985	Junio	19,7	18	13
1985	Julio	67,6	21,5	3
1985	Agosto	7,7	7,1	5
1985	Septiembre	6,5	48	12
1986	Abril	26,1	23,8	20
1986	Mayo	90	40,2	27
1986	Junio	108,3	40,6	15
1986	Julio	0,6	0,4	28
1986	Agosto	53,8	36,3	20
1986	Septiembre	3,1	3,1	15
1987	Abril	10,5	10,3	30
1987	Mayo	46,4	17,9	6
1987	Junio	36,7	31,7	2
1987	Julio	354,9	65,7	15
1987	Agosto	182,3	93,8	11
1987	Septiembre	16,2	14,1	1
1988	Abril	-	-	-
1988	Mayo	5	4,2	15
1988	Junio	12	5,6	16
1988	Julio	33,1	16,5	16
1988	Agosto	52,7	23,2	18
1988	Septiembre	10,2	4,7	21
1989	Abril	38,2	37,1	29
1989	Mayo	25	18,6	3
1989	Junio	17,7	17	29
1989	Julio	95,1	40,8	26
1989	Agosto	108,7	30	23
1989	Septiembre	15,5	7,6	3

Fuente: DMC

**Tabla A12: Precipitaciones en la estación Santiago Quinta Normal, semestre pluvial 1990 – 1996**

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Total mensual [mm]</b>	<b>Máximo en 24 h [mm]</b>	<b>Día del máximo</b>
1990	Abril	1,1	1	23
1990	Mayo	6,4	5,6	9
1990	Junio	1,6	1,5	22
1990	Julio	75,1	44	7
1990	Agosto	70,3	56,1	30
1990	Septiembre	23,4	13,4	18
1991	Abril	1,9	1,4	12
1991	Mayo	72,2	33	26
1991	Junio	112,2	36,1	19
1991	Julio	94,7	33,1	19
1991	Agosto	3,2	1,4	31
1991	Septiembre	52,5	24,4	15
1992	Abril	41	15,3	29
1992	Mayo	129,5	44,3	25
1992	Junio	170,3	60,8	5
1992	Julio	23,3	14,8	1
1992	Agosto	57,7	26	30
1992	Septiembre	20,7	20	16
1993	Abril	101,7	35,2	14
1993	Mayo	80,2	35,4	5
1993	Junio	34,7	17	3
1993	Julio	52,2	31,8	1
1993	Agosto	30,7	29,8	29
1993	Septiembre	7,1	4,6	21
1994	Abril	19,3	11,6	26
1994	Mayo	44,5	27,8	22
1994	Junio	44,5	17,9	29
1994	Julio	82,7	33,5	20
1994	Agosto	16,5	11,1	7
1994	Septiembre	17,6	17,6	23
1995	Abril	18,7	13,1	27
1995	Mayo	8,6	8,6	5
1995	Junio	47,2	14,5	5
1995	Julio	54,8	24,8	23
1995	Agosto	22,3	17,7	13
1995	Septiembre	11,6	17,6	12
1996	Abril	54	41,4	2
1996	Mayo	14,7	14,7	15
1996	Junio	31,7	26,1	13
1996	Julio	25,2	15,3	6
1996	Agosto	29,8	13,1	5
1996	Septiembre	2,2	2,1	17

Fuente: DMC

**Tabla A13: Precipitaciones en la estación Santiago Quinta Normal, semestre pluvial 1997 – 2003**

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Total mensual [mm]</b>	<b>Máximo en 24 h [mm]</b>	<b>Día del máximo</b>
1997	Abril	0,5	0,5	23
1997	Mayo	126,1	50,9	29
1997	Junio	259	43,1	22
1997	Julio	60,2	36	30
1997	Agosto	98,9	54,2	16
1997	Septiembre	85,5	20,1	6
1998	Abril	32,7	16,5	26
1998	Mayo	13,8	6,7	10
1998	Junio	22,6	11,4	5
1998	Julio	0,2	0,2	23
1998	Agosto	0,6	0,6	23
1998	Septiembre	15,1	11	25
1999	Abril	12,9	7,6	1
1999	Mayo	0,9	0,7	27
1999	Junio	31,2	24,4	28
1999	Julio	43,4	18,6	11
1999	Agosto	109,9	28	29
1999	Septiembre	100,1	31,3	7
2000	Abril	17,6	14,2	13
2000	Mayo	20	13,9	14
2000	Junio	261,5	58,4	13
2000	Julio	28,5	18,1	20
2000	Agosto	0,5	0,2	-
2000	Septiembre	116,5	52,9	9
2001	Abril	16,1	13,5	13
2001	Mayo	32,3	19	14
2001	Junio	0,3	0,3	30
2001	Julio	186,6	57,7	18
2001	Agosto	50,2	25,4	25
2001	Septiembre	15,8	9,5	29
2002	Abril	13,6	9,8	9
2002	Mayo	137,9	63,5	25
2002	Junio	247,5	111,1	3
2002	Julio	92,3	47,4	20
2002	Agosto	74,2	15,4	24
2002	Septiembre	28,3	16,3	4
2003	Abril	0,2	0,2	16
2003	Mayo	82,5	60,3	20
2003	Junio	31,3	10,9	14
2003	Julio	68,3	36,6	7
2003	Agosto	5,5	4	4
2003	Septiembre	19,9	5,6	27

Fuente: DMC

**Tabla A14: Precipitaciones en la estación Santiago Quinta Normal, semestre pluvial 2004 – 2008**

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Total mensual [mm]</b>	<b>Máximo en 24 h [mm]</b>	<b>Día del máximo</b>
2004	Abril	39,2	22,6	21
2004	Mayo	16,4	10,9	20
2004	Junio	44,1	30,8	9
2004	Julio	95,2	35,8	13
2004	Agosto	55,9	30,4	2
2004	Septiembre	23,7	13,1	6
2005	Abril	5,7	2,6	28
2005	Mayo	54,4	17,8	18
2005	Junio	146	57,5	27
2005	Julio	27,8	11,2	1
2005	Agosto	137,3	43,4	26
2005	Septiembre	16,6	8,3	3
2006	Abril	1,5	1,2	12
2006	Mayo	7,3	5,9	15
2006	Junio	79,8	57,4	7
2006	Julio	130	30,3	12
2006	Agosto	50,3	18,2	8
2006	Septiembre	1,1	1,1	18
2007	Abril	-	-	-
2007	Mayo	145	9	31
2007	Junio	53,9	28	13
2007	Julio	22,9	6,8	13
2007	Agosto	31,1	19,5	8
2007	Septiembre	0,6	0,4	13
2008	Abril	7,5	7,3	27
2008	Mayo	109,9	35,7	22
2008	Junio	51	28,2	4
2008	Julio	34,7	10,4	22
2008	Agosto	130,8	78,3	15
2008	Septiembre	4,3	1,2	4

Fuente: DMC

**Tabla A15: Precipitaciones en la estación San José de Maipo (Subcom.), semestre pluvial 1975 – 1981**

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Total mensual [mm]</b>	<b>Máximo en 24 h [mm]</b>
1975	Abril	*	*
1975	Mayo	54	32
1975	Junio	30	25
1975	Julio	50	20
1975	Agosto	98	34,5
1975	Septiembre	-	-
1976	Abril	3	3
1976	Mayo	43	17
1976	Junio	72	48
1976	Julio	25	14
1976	Agosto	26	11
1976	Septiembre	67,5	39
1977	Abril	Sin información	Sin información
1977	Mayo	Sin información	Sin información
1977	Junio	Sin información	Sin información
1977	Julio	Sin información	Sin información
1977	Agosto	Sin información	Sin información
1977	Septiembre	Sin información	Sin información
1978	Abril	-	-
1978	Mayo	36	36
1978	Junio	89,5	35,5
1978	Julio	453	89
1978	Agosto	24	23
1978	Septiembre	52	25,5
1979	Abril	***	***
1979	Mayo	***	***
1979	Junio	***	***
1979	Julio	***	***
1979	Agosto	***	***
1979	Septiembre	***	***
1980	Abril	128,5	56
1980	Mayo	110	45
1980	Junio	111,5	32
1980	Julio	128,5	56
1980	Agosto	17	16
1980	Septiembre	70,5	40,5
1981	Abril	10	4
1981	Mayo	257	110
1981	Junio	21	12,3
1981	Julio	30	14,5
1981	Agosto	30	8,5
1981	Septiembre	21	19,5

Fuente: DMC

\*: Precipitación caída en forma de nieve.

\*\*\*: El anuario climatológico de 1979 se extravió.

**Tabla A16: Precipitaciones en la estación San José de Maipo (Subcom.), semestre pluvial 1982 – 1988**

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Total mensual [mm]</b>	<b>Máximo en 24 h [mm]</b>
1982	Abril	-	-
1982	Mayo	149	50
1982	Junio	586,8	109,3
1982	Julio	129	27
1982	Agosto	103	42
1982	Septiembre	86,5	19,5
1983	Abril	49,5	49,5
1983	Mayo	51,5	25,5
1983	Junio	122	48
1983	Julio	133,5	53
1983	Agosto	38	13,5
1983	Septiembre	49	30
1984	Abril	22,5	22,5
1984	Mayo	81	29
1984	Junio	57	26
1984	Julio	256	50
1984	Agosto	40	11
1984	Septiembre	70	19
1985	Abril	7,5	4
1985	Mayo	65	23
1985	Junio	11,5	11,5
1985	Julio	134,2	47,5
1985	Agosto	22,3	22,3
1985	Septiembre	16,5	13
1986	Abril	29	19,5
1986	Mayo	192,8	88
1986	Junio	261,1	80
1986	Julio	2,5	2,5
1986	Agosto	92,3	61
1986	Septiembre	9	6
1987	Abril	1	1
1987	Mayo	82	31
1987	Junio	60,5	45
1987	Julio	460	89,5
1987	Agosto	306	110
1987	Septiembre	18	8,5
1988	Abril	-	-
1988	Mayo	25	20
1988	Junio	12	8,5
1988	Julio	70	16
1988	Agosto	129,5	55
1988	Septiembre	15	7

Fuente: DMC

**Tabla A17: Precipitaciones en la estación San José de Maipo (Subcom.), semestre pluvial 1989 – 1995**

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Total mensual [mm]</b>	<b>Máximo en 24 h [mm]</b>
1989	Abril	55,5	43
1989	Mayo	44,5	24,5
1989	Junio	26	21,5
1989	Julio	11	36,5
1989	Agosto	163,5	62,5
1989	Septiembre	43,5	27,5
1990	Abril	22,5	11,5
1990	Mayo	22	20,5
1990	Junio	6,5	4,5
1990	Julio	13,6	7,5
1990	Agosto	75	52
1990	Septiembre	82,5	40
1991	Abril	16	9,5
1991	Mayo	154	56,5
1991	Junio	154	42,5
1991	Julio	198,5	53
1991	Agosto	9,5	9,5
1991	Septiembre	88	50,5
1992	Abril	84,5	35
1992	Mayo	157,5	57
1992	Junio	169,5	48
1992	Julio	54,5	26
1992	Agosto	53	27
1992	Septiembre	37	33,5
1993	Abril	126	40
1993	Mayo	212	76
1993	Junio	30,5	13,5
1993	Julio	62,5	19
1993	Agosto	27	27
1993	Septiembre	25,5	10
1994	Abril	38,5	16,5
1994	Mayo	80,5	42
1994	Junio	50,5	21,5
1994	Julio	203,5	66
1994	Agosto	20,5	16,5
1994	Septiembre	34,5	26
1995	Abril	32	26,5
1995	Mayo	16,5	16,5
1995	Junio	96,8	28
1995	Julio	60	19,5
1995	Agosto	74	42
1995	Septiembre	38	18

Fuente: DMC

**Tabla A18: Precipitaciones en la estación San José de Maipo, semestre pluvial 1996 – 2002**

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Total mensual [mm]</b>	<b>Máximo en 24 h [mm]</b>
1996	Abril	53	37
1996	Mayo	8	8
1996	Junio	49	22
1996	Julio	33	13
1996	Agosto	51	17
1996	Septiembre	-	-
1997	Abril	3,5	3,5
1997	Mayo	116	71
1997	Junio	442	65,5
1997	Julio	70,5	52,5
1997	Agosto	122	53
1997	Septiembre	120,5	36
1998	Abril	67,5	27
1998	Mayo	18	11,5
1998	Junio	32,5	12
1998	Julio	-	-
1998	Agosto	-	-
1998	Septiembre	18	9,5
1999	Abril	37,5	21,5
1999	Mayo	25	23,5
1999	Junio	59,5	38
1999	Julio	22,5	19,5
1999	Agosto	101	29,5
1999	Septiembre	103,5	30
2000	Abril	38,5	19,5
2000	Mayo	26	12
2000	Junio	479,5	82,5
2000	Julio	46,5	29
2000	Agosto	4	4
2000	Septiembre	123	32,5
2001	Abril	34,5	18,5
2001	Mayo	59	21
2001	Junio	10	6
2001	Julio	281	67
2001	Agosto	109	45
2001	Septiembre	-	-
2002	Abril	18,5	10,5
2002	Mayo	214	66
2002	Junio	278,5	100
2002	Julio	124	60,5
2002	Agosto	178	47,5
2002	Septiembre	49	15

Fuente: DMC

**Tabla A19: Precipitaciones en la estación San José de Maipo, semestre pluvial 2003 – 2008**

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Total mensual [mm]</b>	<b>Máximo en 24 h [mm]</b>
2003	Abril	-	-
2003	Mayo	59,5	30
2003	Junio	84	26
2003	Julio	107	64,5
2003	Agosto	3,5	3,5
2003	Septiembre	39,5	15,5
2004	Abril	49	22,5
2004	Mayo	22	17
2004	Junio	57,5	27,5
2004	Julio	81,5	30,5
2004	Agosto	87,5	40
2004	Septiembre	54	28,5
2005	Abril	9,5	4
2005	Mayo	136	34
2005	Junio	332,5	78,5
2005	Julio	35	78,5
2005	Agosto	35	14
2005	Septiembre	211,5	68
2006	Abril	2,5	2,5
2006	Mayo	14,5	12
2006	Junio	93,5	35
2006	Julio	240,5	70
2006	Agosto	31	19
2006	Septiembre	19	16
2007	Abril	Sin información	Sin información
2007	Mayo	Sin información	Sin información
2007	Junio	Sin información	Sin información
2007	Julio	Sin información	Sin información
2007	Agosto	Sin información	Sin información
2007	Septiembre	Sin información	Sin información
2008	Abril	23	14,5
2008	Mayo	278,5	66
2008	Junio	112,5	54
2008	Julio	56	22,5
2008	Agosto	215	93
2008	Septiembre	5,5	3,5

Fuente: DMC

**Tabla A20: Fluviometría de la estación Río Maipo en El Manzano,  
semestre pluvial 1948 – 1954**

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Q medio mensual [m³/s]</b>	<b>Qmax interpolado [m³/s]</b>	<b>h limnigráfica [m]</b>	<b>Día</b>	<b>Qmax extrapolado de formulario [m³/s]</b>	<b>h limnigráfica [m]</b>	<b>Día</b>
1948	Abril	47,4	63,5	0,69	29	-	-	-
1948	Mayo	46,9	75,8	0,79	7	-	-	-
1948	Junio	40,5	54,8	0,60	20	-	-	-
1948	Julio	52,6	103,4	1,01	24	-	-	-
1948	Agosto	59,7	88,4	0,90	30	-	-	-
1948	Septiembre	69,7	98,8	0,98	30	-	-	-
1949	Abril	63,7	73,4	0,77	13	-	-	-
1949	Mayo	46,4	105,6	1,03	3	-	-	-
1949	Junio	44,4	64,4	0,69	30	-	-	-
1949	Julio	39,4	64,5	0,70	29	-	-	-
1949	Agosto	60,7	93,3	0,94	24	-	-	-
1949	Septiembre	62,5	86,2	0,88	1	-	-	-
1950	Abril	54,7	59,0	0,64	30	-	-	-
1950	Mayo	45,4	66,5	0,71	20	-	-	-
1950	Junio	41,0	57,0	0,62	18	-	-	-
1950	Julio	37,0	52,1	0,57	11	-	-	-
1950	Agosto	39,2	72,1	0,76	23	-	-	-
1950	Septiembre	49,4	70,0	0,75	26	-	-	-
1951	Abril	51,1	61,1	0,66	17	-	-	-
1951	Mayo	47,2	68,2	0,73	19	-	-	-
1951	Junio	52,1	85,9	0,88	14	-	-	-
1951	Julio	55,1	86,6	0,89	6	-	-	-
1951	Agosto	57,6	77,1	0,81	21	-	-	-
1951	Septiembre	56,0	72,4	0,77	3	-	-	-
1952	Abril	51,7	64,1	0,68	20	-	-	-
1952	Mayo	56,1	132,1	1,28	15	-	-	-
1952	Junio	49,6	97,9	0,99	22	-	-	-
1952	Julio	50,1	59,4	0,63	7	-	-	-
1952	Agosto	45,2	60,2	0,64	31	-	-	-
1952	Septiembre	62,4	83,4	0,86	14	-	-	-
1953	Abril	60,0	78,8	0,82	3	-	-	-
1953	Mayo							
1953	Junio	58,8	79,7	0,83	14	-	-	-
1953	Julio	52,8			0	56,0	0,60	26
1953	Agosto	82,9	215,6	1,89	19	-	-	-
1953	Septiembre	109,4	173,2	1,59	24	-	-	-
1954	Abril	68,9	102,9	1,03	1	-	-	-
1954	Mayo	55,7	61,4	0,65	1	-	-	-
1954	Junio	59,7	84,4	0,87	9	-	-	-
1954	Julio	54,9	61,2	0,65	28	-	-	-
1954	Agosto	55,4	83,8	0,87	28	-	-	-
1954	Septiembre	56,4	68,8	0,73	1	-	-	-

Fuente: DGA

**Tabla A21: Fluviometría de la estación Río Maipo en El Manzano,  
semestre pluvial 1955 – 1961**

Año	Mes	Q medio mensual [m³/s]	Qmax interpolado [m³/s]	h limnigráfica [m]	Día	Qmax extrapolado de formulario [m³/s]	h limnigráfica [m]	Día
1955	Abril	51,1	62,3	0,66	3	-	-	-
1955	Mayo	43,3	77,2	0,81	15	-	-	-
1955	Junio	50,5				59,5	0,65	5
1955	Julio	45,3				47,8	0,51	17
1955	Agosto	42,0				46,2	0,49	7
1955	Septiembre	45,0				51,8	0,56	25
1956	Abril	46,8	61,9	0,68	30	-	-	-
1956	Mayo	42,4	55,9	0,61	3	-	-	-
1956	Junio	39,5	44,0	0,46	1	-	-	-
1956	Julio	32,6	44,1	0,46	25	-	-	-
1956	Agosto	35,8	46,9	0,50	9	-	-	-
1956	Septiembre	43,8	64,0	0,70	30	-	-	-
1957	Abril	51,2	45,0	0,48	29	59,5	0,65	3
1957	Mayo	40,3	72,7	0,78	20	-	-	-
1957	Junio	41,5	51,1	0,55	19	-	-	-
1957	Julio	41,9	54,3	0,59	4	-	-	-
1957	Agosto	41,1	51,5	0,56	3	52,6	0,57	28
1957	Septiembre	45,5	56,4	0,62	23	-	-	-
1958	Abril	44,9	50,1	0,50	21	-	-	-
1958	Mayo	40,7	63,6	0,64	23	-	-	-
1958	Junio	54,1	175,0	1,54	16	-	-	-
1958	Julio	44,7	55,9	0,56	13	60,0	0,60	2
1958	Agosto	40,0	64,3	0,64	31	-	-	-
1958	Septiembre	61,5	88,5	0,87	19	-	-	-
1959	Abril	65,6	91,8	0,90	18	-	-	-
1959	Mayo	57,1	79,6	0,79	1	-	-	-
1959	Junio	49,2	63,9	0,64	2	-	-	-
1959	Julio	59,3	122,0	1,14	17	-	-	-
1959	Agosto	60,9	72,1	0,72	18	-	-	-
1959	Septiembre	68,9	113,2	1,07	26	-	-	-
1960	Abril	58,7	73,5	0,62	17	-	-	-
1960	Mayo	48,1	63,9	0,54	1	-	-	-
1960	Junio	58,7	286,4	1,84	25	-	-	-
1960	Julio	54,9	67,2	0,57	29	67,4	0,57	13
1960	Agosto	57,2	74,5	0,63	26	-	-	-
1960	Septiembre	66,4	111,2	0,89	30	-	-	-
1961	Abril	76,2	132,7	1,03	3	-	-	-
1961	Mayo	52,9	119,2	0,95	31	-	-	-
1961	Junio	71,7	239,0	1,60	7	-	-	-
1961	Julio					-	-	-
1961	Agosto	58,6	70,6	0,60	16	-	-	-
1961	Septiembre	76,4	131,4	1,02	30	-	-	-

Fuente: DGA

**Tabla A22: Fluviometría de la estación Río Maipo en El Manzano,  
semestre pluvial 1962 – 1968**

Año	Mes	Q medio mensual [m³/s]	Qmax interpolado [m³/s]	h limnigráfica [m]	Día	Qmax extrapolado de formulario [m³/s]	h limnigráfica [m]	Día
1962	Abril	72,6	75,0	0,63	28	90,0	0,75	1
1962	Mayo	56,6	77,7	0,66	5	-	-	-
1962	Junio	57,2	146,6	1,11	25	-	-	-
1962	Julio	59,7	77,5	0,65	12	-	-	-
1962	Agosto	58,9	79,2	0,67	4	-	-	-
1962	Septiembre	59,4	84,0	0,71	22	-	-	-
1963	Abril	59,5	-	-		68,6	0,58	3
1963	Mayo	47,0	63,8	0,54	10	-	-	-
1963	Junio	41,5	-	-		54,0	0,45	30
1963	Julio	49,7	95,2	0,91	9	-	-	-
1963	Agosto	56,9	133,6	1,18	21	-	-	-
1963	Septiembre	68,7	109,0	1,01	3	-	-	-
1964	Abril	81,2	97,1	0,93	1	-	-	-
1964	Mayo	58,3	72,5	0,73	19	-	-	-
1964	Junio	51,7	66,9	0,68	8	-	-	-
1964	Julio	48,5	94,7	0,91	6	-	-	-
1964	Agosto	42,9	57,4	0,58	6	-	-	-
1964	Septiembre	49,4	76,3	0,76	25	-	-	-
1965	Abril	68,9	142,1	1,24	13	-	-	-
1965	Mayo	45,2	55,0	0,56	29	-	-	-
1965	Junio	45,9	73,1	0,73	9	-	-	-
1965	Julio	43,5	61,9	0,63	25	-	-	-
1965	Agosto	71,4	236,5	1,80	15	-	-	-
1965	Septiembre	82,5	105,9	0,99	28	-	-	-
1966	Abril	92,7	96,6	0,92	1	-	-	-
1966	Mayo	58,2	71,2	0,72	25	-	-	-
1966	Junio	58,5	83,3	0,82	23	-	-	-
1966	Julio	57,3	81,7	0,81	23	-	-	-
1966	Agosto	53,0	80,2	0,79	30	-	-	-
1966	Septiembre	71,5	108,4	1,01	25	-	-	-
1967	Abril	48,8	54,7	0,56	22	-	-	-
1967	Mayo	-	-	-	-	-	-	-
1967	Junio	35,6	44,9	0,44	25	-	-	-
1967	Julio	34,1	44,4	0,43	12	-	-	-
1967	Agosto	34,5	44,6	0,43	17	-	-	-
1967	Septiembre	37,3	52,9	0,54	16	-	-	-
1968	Abril	50,7	80,0	0,71	6	-	-	-
1968	Mayo	35,8	65,0	0,57	7	-	-	-
1968	Junio	24,3	41,4	0,34	6	-	-	-
1968	Julio	24,6	36,9	0,29	27	-	-	-
1968	Agosto	23,2	29,7	0,21	15	-	-	-
1968	Septiembre	27,5	49,3	0,86	24	-	-	-

Fuente: DGA

**Tabla A23: Fluviometría de la estación Río Maipo en El Manzano,  
semestre pluvial 1969 – 1975**

Año	Mes	Q medio mensual [m³/s]	Qmax interpolado [m³/s]	h limnigráfica [m]	Día	Qmax extrapolado de formulario [m³/s]	h limnigráfica [m]	Día
1969	Abril	33,4	66,0	1,03	29	-	-	-
1969	Mayo	31,9	51,9	0,89	11	-	-	-
1969	Junio	39,6	315,8	2,42	7	364,8	2,62	7
1969	Julio	28,7	95,0	1,25	21	-	-	-
1969	Agosto	33,7	57,6	0,95	16	-	-	-
1969	Septiembre	41,1	66,3	1,03	22	-	-	-
1970	Abril	44,9	62,7	1,00	8	-	-	-
1970	Mayo	39,5	77,2	1,13	28	-	-	-
1970	Junio	36,3	49,4	0,86	14	-	-	-
1970	Julio	40,4	71,1	1,08	15	-	-	-
1970	Agosto	34,1	53,3	0,90	1	-	-	-
1970	Septiembre	46,7	79,4	1,15	24	-	-	-
1971	Abril	37,0	66,3	1,03	5	-	-	-
1971	Mayo	26,5	37,6	0,73	8	-	-	-
1971	Junio	24,6	51,0	0,88	28	-	-	-
1971	Julio	34,4	58,6	0,96	21	-	-	-
1971	Agosto	35,6	50,6	0,88	27	-	-	-
1971	Septiembre	47,8	102,0	1,29	28	-	-	-
1972	Abril	49,1	72,7	1,09	6	-	-	-
1972	Mayo	80,5	324,8	2,46	9	446,2	2,88	9
1972	Junio	106,2	266,4	2,20	9	-	-	-
1972	Julio	67,1	93,3	1,24	1	-	-	-
1972	Agosto	90,2	274,3	2,23	13	348,3	2,56	13
1972	Septiembre	98,6	154,7	1,62	23	-	-	-
1973	Abril	140,0	181,7	1,77	1	-	-	-
1973	Mayo	79,7	99,3	1,28	19	-	-	-
1973	Junio	60,2	78,3	1,14	2	-	-	-
1973	Julio	68,8	251,3	2,12	8	-	-	-
1973	Agosto	59,2	66,6	1,04	30	-	-	-
1973	Septiembre	54,6	81,0	1,16	24	-	-	-
1974	Abril	55,5	79,2	1,14	10	-	-	-
1974	Mayo	51,4	113,2	1,37	22	-	-	-
1974	Junio	59,8	88,4	1,20	11	-	-	-
1974	Julio	52,7	75,0	1,11	10	-	-	-
1974	Agosto	51,0	72,3	1,09	17	-	-	-
1974	Septiembre	63,3	87,7	1,20	11	-	-	-
1975	Abril	65,6	105,5	1,32	13	-	-	-
1975	Mayo	51,9	64,5	1,02	15	-	-	-
1975	Junio	39,5	59,5	0,97	12	-	-	-
1975	Julio	47,1	62,3	0,99	4	-	-	-
1975	Agosto	51,8	67,2	1,04	22	-	-	-
1975	Septiembre	61,9	79,9	1,15	25	-	-	-

Fuente: DGA

**Tabla 24: Fluviometría de la estación Río Maipo en El Manzano, semestre pluvial 1976 – 1982**

Año	Mes	Q medio mensual [m³/s]	Qmax interpolado [m³/s]	h limnigráfica [m]	Día	Qmax extrapolado de formulario [m³/s]	h limnigráfica [m]	Día
1976	Abril	49,1	67,2	0,98	6	-	-	-
1976	Mayo	36,9	48,8	0,81	27	-	-	-
1976	Junio	41,0	96,3	1,21	16	128,3	1,45	15
1976	Julio	34,4	47,5	0,79	7	-	-	-
1976	Agosto	32,7	42,2	0,73	30	-	-	-
1976	Septiembre	36,2	61,9	0,94	17	-	-	-
1977	Abril	50,6	77,3	1,06	4	-	-	-
1977	Mayo	40,2	63,6	0,95	5	-	-	-
1977	Junio	41,7	126,1	1,43	30	153,0	1,60	30
1977	Julio	70,2	183,0	1,82	23	596,8	3,29	22
1977	Agosto	65,5	122,4	1,49	11	-	-	-
1977	Septiembre	88,1	164,6	1,72	25	-	-	-
1978	Abril	69,0	91,9	1,17	3	-	-	-
1978	Mayo	54,6	93,7	1,19	13	-	-	-
1978	Junio	48,2	76,8	1,04	2	-	-	-
1978	Julio	96,8	438,4	2,85	18	572,5	3,23	18
1978	Agosto	76,4	91,8	1,17	24	-	-	-
1978	Septiembre	76,0	113,9	1,35	24	-	-	-
1979	Abril	73,7	99,4	1,25	1	-	-	-
1979	Mayo	68,9	104,3	1,29	17	-	-	-
1979	Junio	56,5	71,7	1,03	2	-	-	-
1979	Julio	44,9	130,2	1,46	31	-	-	-
1979	Agosto	58,8	323,7	2,45	31	-	-	-
1979	Septiembre	64,2	96,8	1,23	1	-	-	-
1980	Abril	123,7	233,6	2,04	21	726,1	3,60	10
1980	Mayo	117,2	389,6	2,66	11	443,8	2,87	10
1980	Junio	98,7	199,0	1,85	28	-	-	-
1980	Julio	96,2	161,5	1,63	18	-	-	-
1980	Agosto	87,0	115,1	1,33	12	-	-	-
1980	Septiembre	91,6	124,7	1,39	26	-	-	-
1981	Abril	76,5	98,9	1,22	2	-	-	-
1981	Mayo	74,2	178,3	1,73	30	-	-	-
1981	Junio	66,2	88,3	1,15	1	-	-	-
1981	Julio	55,3	67,5	0,95	4	-	-	-
1981	Agosto	52,4	66,2	0,93	21	-	-	-
1981	Septiembre	54,4	81,9	1,08	26	-	-	-
1982	Abril	59,1	72,0	0,99	6	-	-	-
1982	Mayo	49,9	112,1	1,31	12	-	-	-
1982	Junio	104,1	698,8	3,56	27	815,8	3,88	27
1982	Julio	142,7	613,2	3,33	16	-	-	-
1982	Agosto	100,0	198,1	1,85	25	-	-	-
1982	Septiembre	144,1	329,2	2,45	15	-	-	-

Fuente: DGA

**Tabla A25: Fluviometría de la estación Río Maipo en El Manzano, semestre pluvial 1983 – 1989**

Año	Mes	Q medio mensual [m³/s]	Qmax interpolado [m³/s]	h limnigráfica [m]	Día	Qmax extrapolado de formulario [m³/s]	h limnigráfica [m]	Día
1983	Abril	160,7	241,8	1,83	24	-	-	-
1983	Mayo	99,9	159,8	1,44	1	-	-	-
1983	Junio	78,9	104,4	1,14	21	-	-	-
1983	Julio	90,7	174,4	1,52	7	-	-	-
1983	Agosto	87,9	131,0	1,29	8	-	-	-
1983	Septiembre	74,2	96,7	1,09	12	-	-	-
1984	Abril	67,7	89,4	1,15	4	-	-	-
1984	Mayo	57,0	75,5	1,05	17	-	-	-
1984	Junio	44,3	58,9	0,91	1	-	-	-
1984	Julio	63,4	188,0	1,89	4	-	-	-
1984	Agosto	60,2	81,6	1,17	31	-	-	-
1984	Septiembre	71,8	96,2	1,30	30	-	-	-
1985	Abril	87,4	132,4	1,69	1	-	-	-
1985	Mayo	76,9	145,6	1,78	17	-	-	-
1985	Junio	65,8	77,2	1,26	7	-	-	-
1985	Julio	52,0	94,7	1,39	3	-	-	-
1985	Agosto	46,1	69,6	1,18	26	-	-	-
1985	Septiembre	59,9	85,5	1,33	30	-	-	-
1986	Abril	111,4	93,7	1,29	3	118,8	1,49	21
1986	Mayo	97,2	88,3	1,25	28	247,6	2,34	27
1986	Junio	115,0	77,2	1,17	3	-	-	-
1986	Julio	88,6	104,7	1,69	15	-	-	-
1986	Agosto	66,7	154,2	2,00	21	-	-	-
1986	Septiembre	83,7	115,9	1,76	12	-	-	-
1987	Abril	96,3	114,3	1,75	12	-	-	-
1987	Mayo	69,0	98,4	1,65	8	-	-	-
1987	Junio	69,1	249,2	2,48	3	-	-	-
1987	Julio	127,4	376,7	2,93	16	725,8	3,97	14
1987	Agosto	130,3	380,3	2,95	14	-	-	-
1987	Septiembre	122,4	162,6	1,94	25	-	-	-
1988	Abril	-	-	-	-	-	-	-
1988	Mayo	63,2	76,4	2,80	29	-	-	-
1988	Junio	59,6	78,3	2,82	2	-	-	-
1988	Julio	48,1	54,7	2,55	1	-	-	-
1988	Agosto	52,8	165,9	3,39	19	-	-	-
1988	Septiembre	56,5	88,4	2,92	30	-	-	-
1989	Abril	67,8	91,3	2,84	2	-	-	-
1989	Mayo	52,8	72,8	2,69	3	-	-	-
1989	Junio	40,5	53,4	2,51	13	-	-	-
1989	Julio	36,0	48,7	2,47	26	-	-	-
1989	Agosto	68,7	180,8	3,41	23	600,8	4,75	24
1989	Septiembre	82,4	109,7	2,97	30	-	-	-

Fuente: DGA

**Tabla A26: Fluviometría de la estación Río Maipo en El Manzano, semestre pluvial  
1990 – 1996**

Año	Mes	Q medio mensual [m³/s]	Qmax interpolado [m³/s]	h limnigráfica [m]	Día	Qmax extrapolado de formulario [m³/s]	h limnigráfica [m]	Día
1990	Abril	62,7	84,6	2,83	1	-	-	-
1990	Mayo	58,8	88,9	2,87	10	-	-	-
1990	Junio	50,5	61,6	2,58	22	-	-	-
1990	Julio	49,7	61,5	2,58	7	-	-	-
1990	Agosto	52,3	112,7	3,00	31	-	-	-
1990	Septiembre	56,8	85,2	2,82	19	-	-	-
1991	Abril	63,1	121,2	3,05	13	-	-	-
1991	Mayo	116,6	489,2	4,49	28	1430,3	6,82	28
1991	Junio	79,0	97,8	2,68	30	-	-	-
1991	Julio	102,7	97,8	2,68	12	452,8	4,36	9
1991	Agosto	77,9	94,9	2,73	28	-	-	-
1991	Septiembre	101,8	161,6	3,15	16	-	-	-
1992	Abril	94,7	138,4	2,92	29	-	-	-
1992	Mayo	80,1	193,8	3,25	26	282,4	3,71	26
1992	Junio	80,0	97,9	2,64	5	-	-	-
1992	Julio	71,2	97,9	2,64	2	-	-	-
1992	Agosto	68,4	87,1	2,54	24	-	-	-
1992	Septiembre	80,7	139,8	2,93	30	-	-	-
1993	Abril	103,4	268,4	3,92	19	300,4	4,06	19
1993	Mayo	306,6	187,8	3,39	3	1112,4	6,18	3
1993	Junio	97,7	92,1	2,64	17	126,2	2,93	27
1993	Julio	85,1	92,1	2,64	6	-	-	-
1993	Agosto	76,4	87,6	2,60	23	-	-	-
1993	Septiembre	78,5	165,0	3,27	27	-	-	-
1994	Abril	69,5	165,0	3,27	27	-	-	-
1994	Mayo	60,7	74,4	2,76	1	-	-	-
1994	Junio	60,2	84,7	2,83	21	-	-	-
1994	Julio	76,4	209,5	3,48	25	214,1	3,50	25
1994	Agosto	75,8	90,9	2,87	30	-	-	-
1994	Septiembre	82,0	128,8	3,09	22	-	-	-
1995	Abril	75,6	107,6	2,74	5	-	-	-
1995	Mayo	60,3	118,0	2,80	5	-	-	-
1995	Junio	61,2	87,1	2,62	27	-	-	-
1995	Julio	55,4	72,3	2,53	4	-	-	-
1995	Agosto	57,4	110,3	2,76	31	-	-	-
1995	Septiembre	77,9	113,1	2,77	5	-	-	-
1996	Abril	69,5	93,7	2,66	3	-	-	-
1996	Mayo	50,0	65,8	2,49	1	-	-	-
1996	Junio	42,8	52,6	2,39	22	-	-	-
1996	Julio	41,4	53,9	2,40	8	-	-	-
1996	Agosto	38,6	54,0	2,40	17	-	-	-
1996	Septiembre	38,2	54,9	2,41	2	-	-	-

Fuente: DGA

**Tabla A27: Fluviometría de la estación Río Maipo en El Manzano,  
semestre pluvial 1997 – 2003**

Año	Mes	Q medio mensual [m³/s]	Qmax interpolado [m³/s]	h limnigráfica [m]	Día	Qmax extrapolado de formulario [m³/s]	h limnigráfica [m]	Día
1997	Abril	43,6	62,3	2,53	1	164,7	3,03	23
1997	Mayo	33,9	40,2	2,43	18	80,7	2,65	30
1997	Junio	65,4	117,0	2,85	23	135,2	2,98	4
1997	Julio	61,2	94,7	2,72	30	-	-	-
1997	Agosto	80,1	126,6	2,89	17	187,1	3,19	31
1997	Septiembre	119,2	127,3	2,89	23	183,0	3,17	3
1998	Abril	102,7	166,9	2,97	10	-	-	-
1998	Mayo	72,4	86,8	2,48	11	-	-	-
1998	Junio	60,4	72,2	2,36	1	-	-	-
1998	Julio	50,4	61,2	2,26	1	-	-	-
1998	Agosto	44,8	57,6	2,23	6	-	-	-
1998	Septiembre	39,1	52,4	2,18	1	-	-	-
1999	Abril	42,0	-	-	-	58,4	2,19	1
1999	Mayo	41,7	-	-	-	54,4	2,14	30
1999	Junio	38,0	-	-	-	50,3	2,09	28
1999	Julio	37,8	-	-	-	47,4	2,06	30
1999	Agosto	40,7	-	-	-	51,6	2,11	6
1999	Septiembre	60,8	-	-	-	101,0	2,56	22
2000	Abril	55,3	-	-	-	76,1	2,36	14
2000	Mayo	52,2	-	-	-	63,3	2,24	7
2000	Junio	81,9	-	-	-	547,5	4,13	14
2000	Julio	76,9	-	-	-	446,3	3,90	1
2000	Agosto	69,0	-	-	-	85,6	2,44	25
2000	Septiembre	73,4	-	-	-	133,6	2,78	30
2001	Abril	89,7	-	-	-	118,1	2,68	5
2001	Mayo	73,1	-	-	-	93,2	2,51	18
2001	Junio	61,5	-	-	-	93,9	2,51	14
2001	Julio	80,6	-	-	-	447,5	3,90	19
2001	Agosto	89,4	-	-	-	303,8	3,50	29
2001	Septiembre	83,5	-	-	-	128,4	2,75	1
2002	Abril	73,4	-	-	-	88,3	2,47	11
2002	Mayo	63,3	-	-	-	559,0	4,15	25
2002	Junio	81,6	-	-	-	132,2	2,77	4
2002	Julio	65,8	-	-	-	100,2	2,56	21
2002	Agosto	94,7	426,6	3,78	25	467,0	3,89	25
2002	Septiembre	76,6	141,5	2,57	5	-	-	-
2003	Abril	106,7	142,6	2,63	2	-	-	-
2003	Mayo	72,7	109,8	2,46	21	-	-	-
2003	Junio	73,5	111,8	2,47	7	-	-	-
2003	Julio	71,3	123,9	2,54	7	-	-	-
2003	Agosto	58,6	-	-	-	77,9	2,25	1
2003	Septiembre	69,6	111,0	2,47	27	-	-	-

Fuente: DGA

**Tabla A28: Fluviometría de la estación Río Maipo en El Manzano, semestre pluvial 2004 – 2009**

Año	Mes	Q medio mensual [m³/s]	Qmax interpolado [m³/s]	h limnigráfica [m]	Día	Qmax extrapolado de formulario [m³/s]	h limnigráfica [m]	Día
2004	Abril	66,2	93,8	2,36	16	-	-	-
2004	Mayo	52,3	-	-	-	62,4	2,12	1
2004	Junio	50,2	-	-	-	83,9	2,29	16
2004	Julio	48,9	-	-	-	62,9	2,13	18
2004	Agosto	50,7	-	-	-	71,0	2,20	11
2004	Septiembre	65,0	-	-	-	85,0	2,29	15
2005	Abril	55,3	-	-	-	63,3	2,13	1
2005	Mayo	50,1	89,6	2,33	10	-	-	-
2005	Junio	-	296,8	3,33	28	443,8	3,90	27
2005	Julio	-	195,2	2,88	2	-	-	-
2005	Agosto	-	275,2	3,24	28	394,7	3,75	27
2005	Septiembre	-	158,0	2,73	10	-	-	-
2006	Abril	-	138,3	2,63	1	-	-	-
2006	Mayo	-	97,0	2,39	1	-	-	-
2006	Junio	-	88,5	2,33	8	-	-	-
2006	Julio	-	471,7	3,98	12	-	-	-
2006	Agosto	-	106,5	2,45	21	-	-	-
2006	Septiembre	-	160,2	2,74	29	-	-	-
2007	Abril	-	91,0	2,35	1	-	-	-
2007	Mayo	-	70,1	2,19	13	-	-	-
2007	Junio	-	66,0	2,15	13	-	-	-
2007	Julio	-	148,9	2,69	5	-	-	-
2007	Agosto	-	-	-	-	61,8	2,11	1
2007	Septiembre	-	82,7	2,29	8	-	-	-
2008	Abril	-	69,2	2,18	5	-	-	-
2008	Mayo	-	512,8	4,07	23	749,8	4,51	23
2008	Junio	-	517,8	4,08	4	577,4	4,19	4
2008	Julio	-	75,1	2,23	2	-	-	-
2008	Agosto	-	374,7	3,62	16	-	-	-
2008	Septiembre	-	114,6	2,50	26	-	-	-
2009	Abril	-	104,1	2,52	1	-	-	-
2009	Mayo	-	194,1	2,99	13	-	-	-
2009	Junio	-	82,9	2,37	20	-	-	-
2009	Julio	-	65,2	2,24	17	-	-	-
2009	Agosto	-	101,1	2,50	26	-	-	-
2009	Septiembre	-	229,7	3,14	7	517,8	4,08	6

Fuente: DGA