



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

**EFFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA SEGURIDAD DE
SUMINISTRO DE AGUA POTABLE EN EL GRAN SANTIAGO**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

MARÍA JOSÉ GONZÁLEZ ÁLVAREZ

**PROFESOR GUÍA
GERARDO AHUMADA THEODULOZ**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN
RAÚL ROMERO ARRIAZA
ERNESTO BROWN FERNÁNDEZ**

**SANTIAGO DE CHILE
MAYO 2010**

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

POR: María José González Álvarez.

FECHA: 9 de Junio de 2010

PROF. GUÍA: Sr. Gerardo Ahumada T.

“EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA SEGURIDAD DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE EN EL GRAN SANTIAGO”

Estudios realizados en todo el mundo señalan la necesidad de afrontar la posibilidad de un cambio climático que afectaría la vida humana en todos sus aspectos. En nuestro país también se han llevado a cabo investigaciones que permiten establecer cambios en la temperatura y en la precipitación de la región. Un estudio realizado por la CEPAL (2009), indica que se podría esperar variaciones en la escorrentía de ríos. En particular, de esta información puede deducirse que el río Maipo en el Manzano podría presentar una disminución de hasta un 11,7% en su caudal medio anual en el periodo 2035-2065. Ya que el río Maipo corresponde a la principal fuente de abastecimiento de agua potable en la zona del gran Santiago, una disminución como ésta podría afectar este servicio.

Basándose en esta posible disminución en el caudal del río Maipo, el objetivo de este Trabajo de Título es establecer criterios que permitan evaluar la seguridad hidrológica del suministro de agua potable del gran Santiago. Para determinar en qué medida se vería afectada la seguridad debido a esta variación de caudal, se diseñó un modelo del sistema de abastecimiento de agua potable con el que se analizó el comportamiento de dieciocho Escenarios de Estudio. En estos escenarios se combinaron distintos escenarios de demanda de agua potable, demanda de riego y estado inicial del Embalse El Yeso. La variable utilizada para evaluar el comportamiento de la seguridad de suministro fue la cantidad de derechos de aprovechamiento de aguas en el río Maipo que pertenecen a las Empresas Sanitarias. De esta forma se puede establecer la cantidad de derechos que sería necesario tener para satisfacer las demandas futuras de agua potable.

Los índices utilizados para evaluar la seguridad de suministro fueron el de Seguridad Mensual y el de Porcentaje de Demanda Suplida Mínimo (PDS_{Min}). Como resultado de este análisis, se obtuvo que en ninguno de los dieciocho escenarios en estudio se alcanza una Seguridad Mensual igual o mayor a 90%, en el periodo descrito. Además, al evaluar los escenarios utilizando el índice PDS_{Min} en el mejor de los casos se alcanza un 60,7% en el mejor de los casos.

Luego, se plantea como solución posible la adquisición de derechos de aprovechamiento de agua del Maipo hasta alcanzar una Seguridad Mensual de un 90% o un PDS_{Min} de 80%. De este modo, alcanzar una Seguridad Mensual de 90% tendría un costo que fluctúa entre 370 mil y 2,2 millones de dólares anuales entre los años 2011 y 2035, dependiendo del Escenario de Estudio que ocurriese. Los costos más bajos corresponden a los Escenarios con menor demanda de agua potable, en que las pérdidas existentes entre el punto de salida de producción y el de facturación de agua son controladas para llegar a niveles cercanos al 20%. Esto indicaría la conveniencia de realizar planes de control de pérdidas que permitan disminuir estos niveles que en la actualidad alcanzan en promedio un 30%.

También es importante reconocer que, debido a los bajos caudales que se proyectaron para algunos periodos, no existe mayor diferencia entre un escenario con Embalse inicialmente lleno, medio o vacío. De hecho, este último tipo de escenario requiere alrededor de un 2% más de derechos de aprovechamiento por sobre un escenario con Embalse Lleno y uno Medio.

A MIS PADRES

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer, en primer lugar, a mis padres, Adriana y Pedro, por su amor, su apoyo, por creer en mí y en que me la podía; sin su presencia, yo no sería quién soy, ni habría podido alcanzar este momento. Gracias a mi hermana, por su comprensión, por sus consejos que me ayudaron a creer en mis capacidades y darme cuenta de que a pesar de cualquier adversidad yo iba a ser capaz de alcanzar las metas que me había propuesto: los amo mucho!

También quiero agradecer a los profesores que me han apoyado en la construcción de esta Memoria. Especialmente a mi profesor Guía, Gerardo Ahumada, por sus consejos e indicaciones, que en los momentos más críticos, me ayudaron a tener más confianza en mi trabajo y en mí misma, algo que realmente valoro mucho, pues traspasará este trabajo y me ayudará a ser una mejor profesional desde el día de hoy. Muchas gracias profesor, por todo el tiempo que me brindó, para que pudiese sacar adelante la Memoria que hoy tiene en sus manos.

De igual manera, quiero agradecer a Raúl Alejandro Romero, quien desde su experiencia en el área sanitaria, pudo orientar y mejorar mi trabajo. Muchas gracias también al profesor Ernesto Brown, cuyas explicaciones y comentarios me sirvieron muchísimo para enriquecer mi trabajo.

También quiero agradecer a quienes fueron mis compañeros en el 3° Piso, que, en la última etapa de mi Memoria, me brindaron su compañía y ayuda, en forma gratuita y en el momento justo, cuando más la necesitaba.

Al mirar hacia atrás, es inevitable recordar a mucha gente que en distintas etapas y a lo largo de la carrera me entregó su amistad, y que hoy, gracias a Dios, conservo como un tesoro invaluable, que espero mantener vivo, especialmente, ahora que se termina esta gran etapa de mi vida. Gracias Pila, Javi, Fabi, Tito, Sebas, Rodrigo y Héctor. Muchas gracias a todos ustedes, que compartieron conmigo tantos estudios, momentos felices y cosas de la vida, de verdad, muchas gracias. Es importante para mí, agradecer también a una persona que estuvo siempre apoyándome en las buenas, en las malas y en las complicadas, gracias Jaime.

Agradezco también, a mis amigos del colegio, esos que ya son amigos de la vida. Que siempre tienen una palabra de ánimo y una sonrisa amorosa, de las que te sacan de cualquier apuro, y que cuando ya no quería más guerra, me daban las energías necesarias para seguir adelante. Gracias Melu, Eli, Chuppy, Carlitos y José. Les quiero mucho!

A mis amigos de la Pastoral de Ingeniería, en especial, a mis hermanos de Comunidad, que siempre estuvieron ahí para entregarme su cariño y echarme porras. Gracias Darío, Claudia, Hugo, Claudio, Paulita y Miguel.

Finalmente, lo más importante, quiero dar gracias a Dios, por todo lo que he vivido dentro de la Facultad, desde Primer Año, hasta este momento; porque todas esas experiencias, me permiten decir hoy que soy ingeniera y que comienzo a trabajar al servicio de Chile.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCION.....	1
1.1	Motivación.....	1
1.2	Objetivos.....	2
1.2.1	Objetivos Generales.....	2
1.2.2	Objetivos Específicos.....	2
1.3	Organización del Informe.....	2
2.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1	Introducción.....	4
2.2	Concepto de Cambio Climático.....	4
2.3	Seguridad de Abastecimiento de Agua Potable.....	8
2.4	Servicio de Agua Potable.....	8
3.	BÚSQUEDA DE ANTECEDENTES.....	10
3.1	Descripción del Fenómeno del Cambio Climático.....	10
3.1.1	Efecto Meteorológico y Disponibilidad de Agua en el Mundo y en Chile Central.....	10
3.1.2	Efecto Meteorológico y Disponibilidad de Agua en la cuenca del río Maipo.....	16
3.2	Descripción de la Zona en Estudio y Sistemas de Abastecimiento Existentes.....	19
3.2.1	Descripción General Cuenca del río Maipo.....	19
3.2.2	Marco Geológico.....	21
3.2.3	Clima.....	23
3.2.4	Pluviometría y Temperatura.....	23
3.2.5	Fluviometría.....	24
3.3	Proyección del Caudal del río Maipo en el periodo 2035-2065.....	25
3.3.1	Correlación de Caudales.....	26
3.3.2	Transposición de Caudales.....	30
4.	DEMANDA DE AGUA.....	34
4.1	Proyección de Población en el Gran Santiago.....	34
4.1.1	Análisis Modelos Matemáticos de Proyección de Población.....	34
4.2	Proyección de la Demanda de Agua Potable para el Gran Santiago.....	39
4.2.1	Cálculo de la Dotación de Agua Potable.....	40
4.2.2	Cálculo de la Demanda de Producción de Agua Potable.....	46
4.3	Demanda de Riego en el río Maipo.....	47
5.	ANÁLISIS CRÍTICO.....	49
5.1	Variables en el Balance Oferta-Demanda.....	49
5.1.1	Demanda de Agua Potable en el Gran Santiago.....	49
5.1.2	Demandas de Riego sobre el río Maipo.....	53
5.1.3	Derechos de Agua de las Empresas Sanitarias del Gran Santiago.....	54
5.1.4	Disponibilidad de agua en Fuentes Superficiales.....	56
5.1.5	Disponibilidad de agua en Captaciones Subterráneas.....	59
5.1.6	Capacidad y Derechos de agua en el Embalse El Yeso.....	59
5.2	Escenarios a Analizar.....	60

5.3	Modelo de Simulación del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable del Gran Santiago.....	61
5.3.1	Etapa 1: Establecer Oferta y Demanda.....	61
5.3.2	Etapa 2: Balance Oferta-Demanda.....	63
6.	APLICACIÓN DE CRITERIOS DE SEGURIDAD Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	71
6.1	Escenarios a Analizar.....	71
6.2	Aplicación de Criterios de Seguridad y Análisis de Sensibilidad.....	72
6.2.1	Índice de Seguridad Mensual.....	72
6.2.2	Porcentaje de Demanda Suplida.....	86
7.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y PROPOSICIÓN DE PLAN DE ACCIÓN.....	92
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	98
9.	BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS.....	108
10.	ANEXOS.....	112
	ANEXO A: Antecedentes Atmosféricos e Hídricos de la Zona en Estudio.....	113
	ANEXO B: Criterios de Seguridad.....	118
	ANEXO C: Marco Regulador.....	124
	C.1 Norma Chilena NCh777/1.....	124
	C.2 Ley General de Servicios Sanitarios y Ley de Tarifas.....	127
	ANEXO D: Método de Correlación: Caudales Medios Mensuales Proyectados en la Zona de Estudio.....	129
	ANEXO E: Método de Transposición: Caudales Medios Mensuales Proyectados.....	131
	ANEXO F: Muestra del Modelo de Simulación del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable en el Gran Santiago.....	141
	ANEXO G: Caudales Medios Mensuales Proyectados en el río Yeso.....	146
	ANEXO H: Porcentajes de Seguridad de Suministro de Agua Potable.....	147
	ANEXO I: Porcentajes de Demanda Suplida para Escenarios de Estudio.....	149

1. INTRODUCCION

1.1 Motivación

El cambio climático es un fenómeno que se ha abordado hace ya varias décadas, considerándose un tema que no deja indiferente, pues todos se ven afectados de una u otra forma por sus efectos. Algunos de los cambios que se han producido y seguirán desarrollándose son la variación de temperatura en distintos lugares de la tierra, el derretimiento de glaciares, el cambio de nivel en los lagos y en el mar, la modificación de las precipitaciones, etc.

La Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2008), afirma que, en el último siglo, la temperatura media de la superficie terrestre aumentó 0,74°C, existiendo una tendencia de recalentamiento lineal durante los últimos 50 años, lo que es casi el doble de lo medido durante los últimos 100 años. Este documento afirma que “los climatólogos proyectan que el calentamiento proseguirá a lo largo del siglo y más adelante, junto con cambios de la pluviosidad y la variabilidad climática”. Por otro lado, la ONU en un Tercer Informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo, titulado: “El agua en un mundo en cambio”, describe una contemporaneidad perturbadora: cada día, más regiones presentarán un mayor déficit de agua potable (AP). Se señala, además, que los efectos del cambio climático, las perturbaciones financieras y el increíble aumento de la demanda derivarán en una sobreexplotación con graves consecuencias para la humanidad.

Luego, es natural reconocer que la disponibilidad de agua, como elemento vital para los seres humanos, se verá afectada por todos estos cambios en el medio ambiente, por lo que resulta lógico preguntarse: “¿de qué forma se verán afectadas las fuentes de AP en Chile?”.

El AP, entre otras cosas, es importante para mantener a la población saludable y, por lo tanto es necesario garantizar la seguridad de su suministro. Volviendo al problema generado por el cambio climático, se observará que, en las regiones costeras por ejemplo, podría producirse una salinización del agua subterránea, mientras que en otros sectores, el aumento de las temperaturas podría generar un ambiente desértico, en el que disminuiría la humedad y por ende, mermaría las fuentes de agua de la zona, es decir, existirían problemas para asegurar el suministro adecuado de AP en algunos lugares del planeta.

Este problema se ha abordado en varios Foros y Congresos de la OPS y la ONU. En ellos se ha concluido que serán los países latinoamericanos los más afectados por estos cambios, a pesar de que se culpa esencialmente a los países desarrollados de ser los principales gestores del fenómeno del cambio climático. Países emergentes o en vías de desarrollo serán quienes deban enfrentarse más duramente a una posible escasez de agua debido a factores económicos que los limitan.

Chile es un país que se encuentra en vías de desarrollo, y no se ve claro qué problemas podrían darse si alguna alteración en las fuentes de recursos hídricos lo afectase. Con esta motivación, surge este tema de tesis, que abarcará la seguridad de suministro de AP en el Gran Santiago, con una evaluación, a mediano plazo, de las consecuencias que el cambio climático, podría tener para la cuenca del río Maipo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Generales

- Desarrollar una propuesta de criterios para evaluar la seguridad de suministro de Agua Potable frente al desafío del cambio climático.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analizar diversos escenarios de cambio climático en el mediano plazo para la cuenca del río Maipo.
- Analizar la Seguridad Hidrológica de las fuentes principales de abastecimiento de agua potable del Gran Santiago.
- Proponer criterios de seguridad hidrológica en los sistemas de abastecimiento de agua potable.
- Definir costos de los criterios de seguridad exigidos a las empresas sanitarias para alcanzar un adecuado nivel de abastecimiento.

1.3 Organización del Informe

En el Capítulo 2, se entregan antecedentes generales acerca del cambio climático, de la seguridad de abastecimiento y del servicio de agua potable en el Gran Santiago. Además, se mencionan las fuentes de información que se utilizan en los capítulos siguientes.

En el Capítulo 3, se entregan los resultados de la búsqueda de antecedentes del cambio climático y la forma en que éste afecta la disponibilidad de agua potable. En él se mencionan los posibles cambios que se predicen para algunas variables atmosféricas como precipitación y temperatura. También se describe un estudio realizado para la Comisión Económica para Latinoamérica (CEPAL) por investigadores chilenos; de este estudio, se obtendrá una proyección de caudales para el periodo 2035-2065, que es uno de los datos principales para llevar a cabo el balance hídrico. Además, en este capítulo se entregan los antecedentes que permiten generar la línea base de la zona en estudio, contextualizando el problema para una situación bien definida, en la cuenca del río Maipo.

También se encuentra en este Capítulo la proyección de caudales del río Maipo, que se refiere a la metodología y resultados de la traslación de datos desde la cuenca del río Maipo en San Alfonso, al río Maipo en El Manzano, que es el punto en estudio que interesa conocer.

En el Capítulo 4, se entregan tres escenarios de demandas de agua potable para el periodo 2035-2065, periodo en que según estudios realizados, comenzaría a mostrarse con mayor claridad, el efecto del cambio climático sobre los recursos hídricos. Además, se plantea la demanda de riego existente actualmente, para incluir estos datos en la simulación del sistema de aguas en el Gran Santiago.

En el Capítulo 5, se plantean los Escenarios de Estudio, proponiendo distintos estados iniciales y demandas. Sobre estos escenarios se efectúa un análisis entre la Oferta de agua que se entregará, incluyendo los efectos del cambio climático, y la Demanda que se ha planteado anteriormente a

través de un modelo del sistema de abastecimiento de agua del Gran Santiago. Como resultado, para cada Escenario de Estudio y variando la cantidad de derechos del río Maipo que corresponden a las Empresas Sanitarias, es posible conocer si la demanda es suplida, si existe déficit y de producirse éste, de qué magnitud sería el déficit.

En el Capítulo 6, basándose en los criterios de seguridad, en el balance Oferta Demanda y en los límites que establece el marco regulatorio, se realiza una selección de los índices y criterios adecuados de seguridad hidrológica. Además, se analiza la sensibilidad de cada resultado a las variables establecidas en cada escenario, para conocer cuáles son los más favorables o desfavorables.

En el Capítulo 7, se discuten los resultados obtenidos, para poder plantear un plan de medidas que puedan disminuir el efecto del cambio climático sobre la seguridad hidrológica de abastecimiento de agua potable en la zona de estudio.

En el Capítulo 8, se entregan las conclusiones obtenidas del estudio.

En los ANEXOS, se entregan Tablas de datos correspondientes a información requerida, como a resultados obtenidos. También, se entregan los criterios de seguridad existentes para las obras hidráulicas. En los ANEXOS también se mencionan las normas que regulan el servicio de agua potable, para su adecuado funcionamiento.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introducción

En el presente capítulo se presenta la investigación bibliográfica realizada que servirá de información base para los siguientes capítulos.

Se inicia el estudio, describiendo el cambio climático según la definición dada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC). Para conocer cuáles son los factores que producen este cambio climático en el mundo, se recurrió a estudios de la Climatic Research Unit, perteneciente a la University of East Anglia, en Gran Bretaña. A nivel nacional, se recopiló información de diversas Tesis y el estudio realizado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), titulado “La Economía del Cambio Climático en Chile”, en donde se realizaron proyecciones para todo el siglo XXI en nuestro país.

Para conocer cómo ha afectado el cambio climático a nuestra región, se hace una revisión de una presentación realizada para Aguas Andinas por dos académicos del Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile (Garreaud, 2008). También se ha recopilado información de varias regiones del país.

Para el estudio de la seguridad de suministro de agua potable, se consultará la Tesis de Pablo Lagos (2006), en la que se abarcan diversos criterios de seguridad hidrológica, los que se mencionan en el [ANEXO B](#).

2.2 Concepto de Cambio Climático

Según la definición entregada por la OPS (2008) en su documento “Resumen: ‘Cambio climático y salud humana - Riesgos y respuestas’ ”, se entiende por Cambio Climático a una importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad que persiste durante largo tiempo (normalmente decenios o incluso más), que puede deberse a procesos naturales internos o a forzamientos externos o bien a cambios antropogénicos persistentes en la composición de la atmósfera. Otro concepto similar, entrega la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC), que lo define como: “un cambio de 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 periodos comparables”. El modelo energético humano basado en la quema de combustibles fósiles como el petróleo, carbón y gas, produce un aumento en la emisión de dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, halocarburos y ozono en la tropósfera, estos gases “de efecto invernadero”(GEI) absorben aproximadamente el 17 % de la energía solar que la atraviesa. Gran parte de la energía solar que llega a la superficie terrestre, es absorbida y emitida de nuevo como radiación infrarroja, pero debido a la presencia de estos GIE, parte de la radiación infrarroja saliente es absorbida por estos gases en las capas bajas de la atmósfera, lo que contribuye a un mayor calentamiento de la superficie terrestre. Este calentamiento se llama Efecto Invernadero. En la Tabla siguiente se muestran ejemplos de varios gases de efecto invernadero y se resumen sus concentraciones en 1790 (periodo pre-industrial) y

1998, su tasa de variación durante el periodo 1990-1999 y su tiempo de permanencia en la atmósfera.

Tabla 1: Ejemplos de gases de efecto invernadero afectados por las actividades humanas

	CO ₂ (dióxido de carbono)	CH ₄ (metano)	N ₂ O (óxido nitroso)	CFC-11 (clorofluoro-carburo-11)	HFC-23 (hidrofluoro-carburo-23)	CF ₄ (perfluoro-metano)
Concentración preindustrial	~280 ppm	~700 ppmm	~270 ppmm	cero	cero	40 ppb
Concentración en 1998	365 ppm	1745 ppmm	314 ppmm	268 ppb	14 ppb	80 ppb
Tasa de variación de la concentración ^b	1.5 ppm/año ^a	7.0 ppmm/años ^a	0.8 ppmm/años ^a	-1.4 ppb/años	0.55 ppb/años	1 ppb/años
Tiempo de permanencia en la atmósfera	5-200 años ^c	12 años ^d	114 años ^d	45 años	260 años	>50,000 años

a La tasa fluctuó entre 0,9 y 2,8 ppm/año para el CO₂ y entre 0 y 13 ppmm/año para el CH₄ durante el periodo 1990-1999.

b Tasa calculada durante el periodo 1990-1999.

c No se puede definir un tiempo fijo de permanencia para el CO₂, porque las tasas de captación por los diversos procesos de eliminación son distintas.

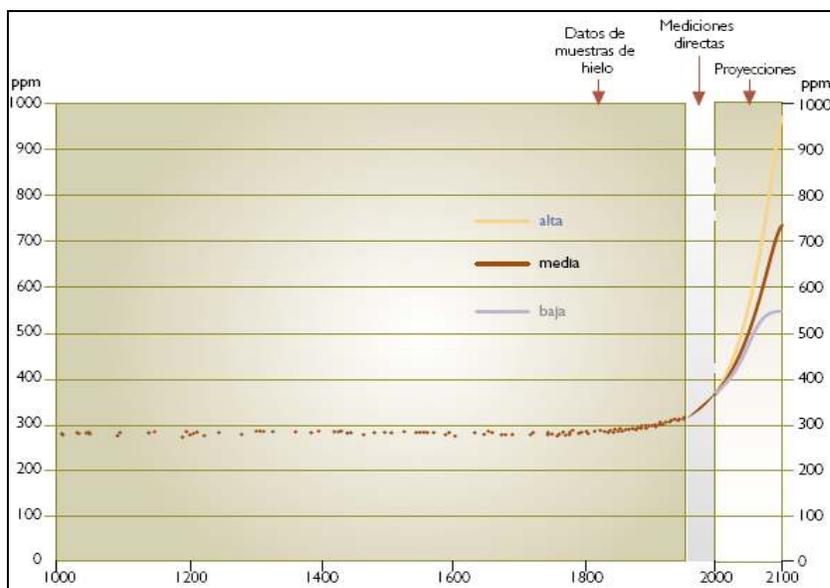
d Este tiempo de permanencia se ha definido como un «tiempo de ajuste» que tiene en cuenta el efecto indirecto del gas en su propio tiempo de permanencia.

ppm: partes por millón. ppmm: partes por mil millones. ppb: partes por billón.

Fuente: IPCC (2007).

La concentración de dióxido de carbono en la atmósfera ha aumentado más de un 35%, desde el comienzo de la Revolución Industrial (OPS, 2008); tal como se aprecia en el *Gráfico 1*; también se presenta una proyección del aumento en la concentración atmosférica de CO₂ para el periodo entre los años 2000-2100, basándose en los seis escenarios ilustrativos del “Special Report on Emissions” del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) y el escenario IS92a.

Gráfico 1: Concentración atmosférica de CO₂ desde el año 1000 hasta el 2000 y proyecciones para el próximo siglo.

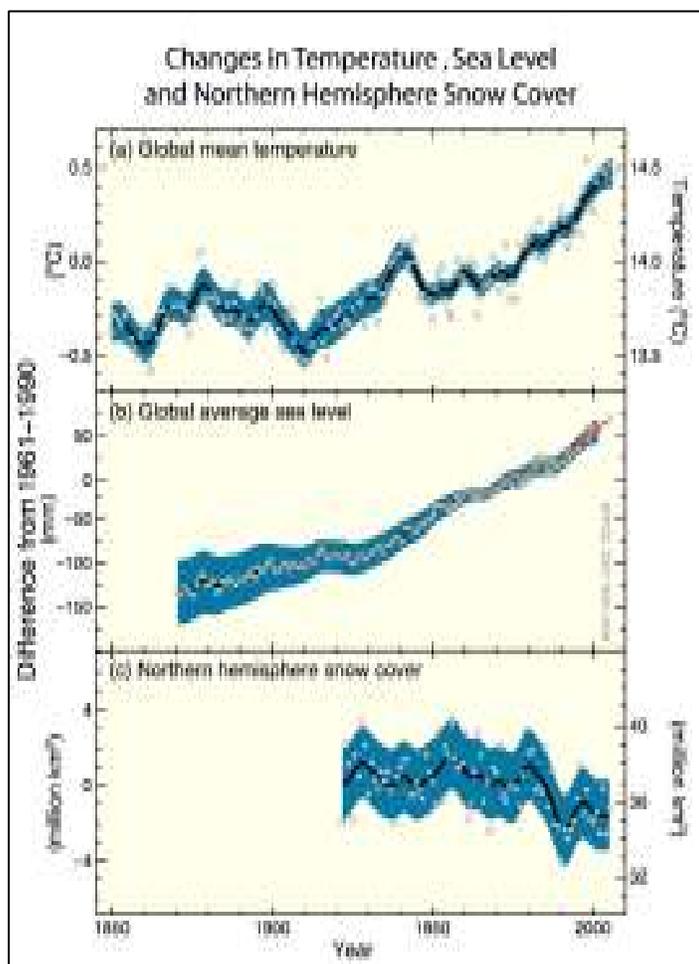


Fuente: Watson et al., 2001 (Los datos proceden de cilindros de hielo polar y mediciones atmosféricas directas realizadas durante los últimos decenios).

Como muestra el gráfico anterior, dependiendo del escenario adoptado, los niveles de CO₂ podrían aumentar entre un 50% y 170%, respecto al nivel actual de CO₂. Este incremento en los niveles de dióxido de carbono, influye directamente en el crecimiento del efecto invernadero, que es uno de los actores relevantes en la ocurrencia del cambio climático.

Según Climatic Research Unit, el cambio climático se debe al efecto invernadero, la variación en la cantidad de energía solar emitida, la polución volcánica, el efecto de los episodios atmosféricos-oceánicos de La Niña y El Niño. Estos fenómenos provocan una variación en la temperatura y precipitación del planeta, tal como se puede apreciar en el *Gráfico 2* en el que se muestran las variaciones de temperatura, nivel del mar y cubierta de nieve en el hemisferio norte. En cuanto a la temperatura, ha habido un aumento de temperatura de 0,5 °C los últimos 50 años, un incremento de 50 mm en el nivel promedio global del mar y una disminución en la cubierta de nieve.

Gráfico 2: Evidencia de la Variación de Temperatura, Nivel del Mar y Cubierta de Nieve en el Hemisferio Norte.

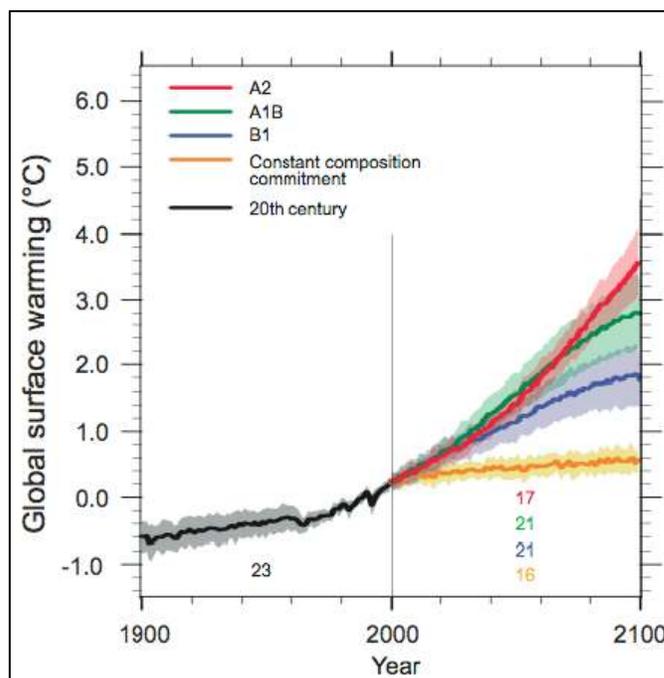


Fuente: IPCC (2007).

Estos cambios de temperatura y precipitación, posiblemente, afectarán la forma de vivir en el planeta tierra, ya que restringirán los recursos disponibles en ella y, específicamente, se producirá un cambio en la disponibilidad de agua tanto en fuentes subterráneas como superficiales.

Para un mediano y largo plazo, la proyección de variables atmosféricas como la temperatura y las precipitaciones, puede cambiar de forma notable, dependiendo del escenario que se adopte, es decir, dependiendo del conjunto de suposiciones en cuanto a características demográficas, sociales, económicas y de cambio tecnológico, que se proyecten para el futuro. El *Gráfico 3* permite ilustrar los posibles escenarios que plantea el IPCC (2007), con proyecciones de distintas variaciones de temperatura para el siglo XXI. El escenario más crítico es el A2, en el que se prevé un incremento de la temperatura en 3,6 °C en un siglo, influyendo también en un cambio en las precipitaciones, lo que refuerza la idea de que estas variaciones en el clima del planeta acarrearán problemas para el ser humano, pues el cambio climático intensifica los eventos extremos del clima, afectando las obras que el hombre ha construido para vivienda, conectividad, abastecimiento, etc.

Gráfico 3: Evidencia del calentamiento de la superficie terrestre



Fuente: IPCC (2007).

En Chile, también existe preocupación por las consecuencias del cambio climático en el medio ambiente, y se han estudiado modelos (Garreaud, 2008; Vargas, 2008) que permitan predecir variaciones de temperatura, precipitación y también sobre los caudales de los ríos que sirven de fuente de agua tanto para riego como para consumo humano. En la presentación realizada por René Garreaud¹ y Mark Falvey² para Aguas Andinas el año 2007, “Cambio climático y bases físicas e impactos en Chile” (Garreaud & Falvey, 2007), en Chile Central disminuirá la precipitación media anual, pero las tormentas cálidas aumentan al doble.

¹ Ingeniero Civil (Hidráulico), Universidad de Chile. Académico del Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile.

² BSc en Geofísica, Victoria University of Wellington. Académico del Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile.

2.3 Seguridad de Abastecimiento de Agua Potable

En el presente Trabajo de Título se desea estudiar la seguridad hidrológica de abastecimiento en la cuenca del río Maipo. En esta zona se concentra aproximadamente el 40% de la población y cerca del 50% del PIB del país, por lo que es una zona de clara importancia a nivel nacional, razón por la que interesa conocer cuál sería el comportamiento del sistema de abastecimiento de agua potable, frente a un probable cambio de disponibilidad de agua, a causa del cambio climático. Según el Ing. Humberto Peña, en la X Jornada Francisco Javier Domínguez, en su presentación “Cambio climático: Implicancias sobre la disponibilidad y aprovechamiento de los recursos hídricos en Chile” (Peña, 2008), las principales amenazas a la disponibilidad de recursos hídricos derivadas de los escenarios climáticos son la disminución y mayor variabilidad de la disponibilidad de agua desde la III Región a la VI. Esta posibilidad debe estudiarse para definir las acciones que se deben tomar para estar preparados para enfrentar este posible problema.

El concepto de seguridad en sistemas de abastecimiento de agua, está relacionado con la capacidad de dichos sistemas de satisfacer ciertas demandas en un momento dado. Si las demandas no son satisfechas, entonces estamos ante una situación de falla en el sistema. Como referencia bibliográfica, se estudiará la Tesis para optar a Magíster en Ciencias de la Ingeniería, mención Recursos y Medio Ambiente Hídrico y Tesis para optar al Título de Ingeniero Civil de Pablo Lagos S., “Criterios de seguridad hidrológicos en sistemas de abastecimiento de agua potable” (Lagos, 2006), en la que se aborda el problema de la seguridad hidrológica, frente a episodios de sequías, en sistemas de abastecimiento de AP, entregando índices y criterios de seguridad, clasificados según el tipo de falla.

En este Trabajo de Título se abarca la seguridad hidrológica del sistema de abastecimiento de agua potable, es decir, se desea verificar si el agua que se proyecta tener para el periodo 2035-2065 será suficiente para satisfacer la demanda de agua potable que se espera para esos años. Para lo anterior, se diseña un modelo que permita representar el sistema actual de abastecimiento de agua potable. En él no se desea verificar si la capacidad física de las Empresas Sanitarias, sea la adecuada para que el sistema no falle, si no que se desea conocer si la disponibilidad hidrológica proyectada será o no suficiente, y también, se desea comprobar si los derechos de aprovechamiento que en la actualidad satisfacen el sistema, permitirán satisfacerlo en el futuro, y si no lo hacen, cuántos derechos son necesarios para poder hacerlo.

2.4 Servicio de Agua Potable

El sistema de abastecimiento de agua potable en la zona del Gran Santiago depende de varias empresas sanitarias, entre ellas, las más importantes y con mayor cantidad de clientes, se pueden nombrar: Aguas Andinas, Aguas Cordillera, Aguas Manquehue y el Servicio Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Maipú (S.M.A.P.A.), entre otras. En el presente Trabajo de Título, se construirá un modelo que permita simular la operación de todas estas empresas en conjunto, para el abastecimiento de agua potable en el Gran Santiago. El objetivo de este modelo es realizar el Balance Oferta-Demanda entre la disponibilidad de agua que entregará el nuevo escenario que se ve afectado por el cambio climático y la demanda de agua potable que depende de la población, clientes, dotación, pérdidas, etc. Éstas son entregadas a la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), por las Empresas Sanitarias, en los Estudios Tarifarios y Planes de Desarrollo, en los que se informan los detalles del proceso de producción y distribución de agua potable de

cada Empresa. Este análisis permitirá conocer si la demanda está siendo suplida o si existe déficit en la fuente. Para conocer estos datos, se construirán proyecciones de demanda, basándose en las facturaciones y pérdidas de los últimos 10 años, y en la información de los Censos de Población, para proponer una tasa de crecimiento y establecer la población en el Gran Santiago en el periodo 2035-2065. Además, se deberá establecer el sistema de operación de la producción de agua potable en la zona, las distintas fuentes desde donde ésta se obtiene, y que incluye al río Maipo como principal captación, y el Embalse El Yeso, como obra de seguridad para eventos de emergencia.

3. BÚSQUEDA DE ANTECEDENTES

3.1 Descripción del Fenómeno del Cambio Climático

3.1.1 Efecto Meteorológico y Disponibilidad de Agua en el Mundo y en Chile Central

En la presente Tesis, es de gran importancia conocer los antecedentes que existan respecto a las variaciones de temperatura y precipitación en el gran Santiago, ya que esta información permitirá realizar un análisis de sensibilidad del caudal, respecto a un cambio porcentual de alguna de las variables atmosféricas antes mencionadas. Se recopilarán antecedentes de proyecciones realizadas, en las que se establezcan valores aproximados para los cambios de precipitación y temperatura que se tendrán en el futuro. Además, sería conveniente tener estudios en los que se analice el comportamiento pasado de las variables mencionadas, para reconocer tendencias que podrían tenerse en el futuro.

Para estudiar los antecedentes existentes del efecto del cambio climático sobre las dos variables ambientales analizadas, precipitación y temperatura, se diferenciarán los estudios internacionales de los que se han realizado a nivel nacional. A continuación se presentan los antecedentes recopilados a nivel internacional.

3.1.1.1 Antecedentes Internacionales

Según el Cuarto Informe del IPCC (2007), la temperatura media mundial en la superficie de la Tierra aumentó $0,74 \pm 0,18$ [°C] en el último siglo y $0,13 \pm 0,3$ [°C] en los últimos 50 años. Además, en este informe se indica que probablemente la temperatura media anual global se incrementará en un rango de $1,4-5,8$ °C a lo largo del siguiente siglo.

En cuanto a la tendencia de la precipitación, el IPCC señala que entre los años 1900 y 2005 existe un incremento en las zonas al este de Norteamérica y Sudamérica, el Norte de Europa y Asia Norte y Central. Mientras que se ha observado disminuciones de precipitación en el Sahel³, el Mediterráneo, el Sur de África y algunas zonas al sur de Asia. Por otro lado, el nivel global promedio del mar se ha incrementado, en promedio, en $1,8$ [mm], ($1,3$ a $2,3$ [mm]), por año entre 1961 y 2003.

En el trabajo llevado a cabo por el CCSP Workshop, Virginia (Barnett et al, 2005), se plantea que en las cuencas nivales habrá un cambio de régimen, debido a deshielos tempranos y menor almacenamiento de nieve acumulada, lo que finalmente reduciría la disponibilidad de agua durante el periodo verano-otoño, que corresponde a los meses de mayor demanda. Se predice que los deshielos se producirán en invierno, lo que aumentaría los caudales durante esta época, pero disminuirían los caudales en la época de primavera-verano. Esta situación no sería permanente, pues los glaciares no se renuevan, conllevando también a una disminución del caudal en el periodo de verano (Molina, 2007).

Hreiche et al. (2007) realizó un modelo en donde simuló el impacto del cambio climático en las costas de los ríos libaneses. El modelo climático de escorrentía fue usado para determinar el

³ Zona del Continente Africano ubicada al sur del Desierto del Sáhara. Es un área de transición entre Senegal hasta el Níger, entre el desierto y la sabana.

impacto del incremento de 2°C de temperatura en el flujo de la cuenca afectada por la capa de hielo. Las modificaciones en el tipo de régimen son significativas: las sequías podrían producirse 15 días a un mes antes y las inundaciones ocurrirían un mes antes, produciendo un gran impacto en el manejo de los recursos hídricos en el futuro.

En Black Hills al Sur de Dakota, EE.UU., se realizó una investigación llevada a cabo por un grupo de científicos (Fontaine et al, 2001), en la que se analiza la respuesta al cambio climático que se produce debido a la variación de CO₂ atmosférico, temperatura y precipitación. Los resultados muestran que un incremento en la temperatura causa una disminución en el rendimiento del agua, y al contrario, un incremento en la precipitación, provoca un incremento en el rendimiento del agua. Un aumento en el CO₂ y en la precipitación causa un gran incremento en el rendimiento.

En India se realizó un estudio de los impactos del cambio climático debido a los gases de efecto invernadero, Divya y Mehrotra (1995). El mayor impacto del cambio climático en India se podría dar sobre el ciclo hidrológico, los recursos hídricos y la agricultura del país, también se espera un aumento en el nivel del mar debido a la expansión térmica y el derretimiento de hielos en las más altas montañas. Entre los posibles impactos que el cambio climático provocaría se encuentran el incremento en la evaporación estival, un aumento en las tormentas producidas por un incremento en las precipitaciones convectivas en los meses de verano, un aumento en la intensidad de las tormentas tropicales y un incremento en las lluvias monsoonicas en los trópicos.

La temperatura media anual en India durante el periodo 1901-1982 muestra una tendencia de calentamiento en 0,4°C en esas ocho décadas. Este calentamiento es causado por el fenómeno post-monsoon y el periodo invernal.

En un estudio realizado por McCabe & Hay (1995) se analizó el efecto potencial del cambio climático en los recursos hídricos de la cuenca de uno de los tributarios del río Colorado, EE.UU., el río Gunnison. Este estudio consistió en suponer variaciones en la temperatura y precipitación de la cuenca, luego, se calcularon los caudales que se obtendrían. Los resultados se analizaron y compararon con la situación actual de la cuenca. En otros estudios realizados en el Colorado, Nash & Gleick (1991) obtuvo que la escorrentía era más sensible a los cambios de precipitación que a los cambios en la temperatura. Este último estudio también indicó que con incrementos de temperatura, la escorrentía estacional se adelantaba en el año, produciendo disminuciones en la escorrentía estival y aumentando la escorrentía durante la época de invierno-primavera.

Tabla 2: Cambios en el promedio estacional y anual de escorrentía expresado como una diferencia entre las condiciones actuales (mm) y como cambios porcentuales (% en paréntesis) resultantes de cambios hipotéticos específicos en temperatura y precipitación.

Escenario Climático		Cambio de Escorrentía [mm(%)]				
Cambio		Invierno	Primavera	Verano	Otoño	Anual
Temperatura	Precipitación					
Sin/Cambio	+ 20%	+ 3 (+ 26)	+ 43 (+ 21)	+ 55 (+ 41)	+ 12 (+ 33)	+ 114 (+ 29)
Sin/Cambio	Sin/Cambio	-	-	-	-	-
Sin/Cambio	- 20%	- 3 (- 26)	- 49 (- 24)	- 46 (- 34)	- 10 (- 28)	- 107 (- 28)
+ 4° C	+ 20%	+ 8 (+ 70)	+ 80 (+ 39)	- 19 (- 14)	+ 21(+ 58)	+ 90 (+ 23)
+ 4° C	Sin/Cambio	+ 4 (+ 35)	+ 24 (+ 12)	- 51 (- 38)	+ 7 (+ 19)	-16 (- 4)
+ 4° C	- 20%	- 1 (- 9)	-34 (- 17)	- 76 (- 56)	- 6 (- 17)	- 116 (- 30)
- 4° C	+ 20%	+ 5 (+ 44)	- 32 (- 16)	+ 174 (+ 129)	+ 9 (+ 25)	+ 157 (+ 40)
- 4° C	Sin/Cambio	+ 2 (+ 17)	- 55 (- 27)	+ 91 (+ 67)	- 2 (- 6)	+ 36 (+ 9)
- 4° C	- 20%	- 2 (- 17)	-84 (- 41)	+ 15 (+ 11)	- 11 (- 30)	- 81 (- 21)

Fuente: McCabe & Hay (1995)

Por otro lado, el estudio de McCabe & Hay (1995) sugiere que cambios hipotéticos en la temperatura tendrían un efecto en el momento en que comienza el deshielo y subsecuente escorrentía durante las épocas de primavera y verano. Por ejemplo, para los escenarios que incluyeron un incremento en la temperatura, sin disminuciones en la precipitación, la escorrentía de primavera se incremento, mientras que la de verano se vio disminuida. En contraste, para los escenarios con menor temperatura y sin variación de precipitación, la escorrentía primaveral disminuyó y la estival, aumentó. El incremento de temperaturas produciría un deshielo temprano, lo que implicaría una menor escorrentía y una disminución en la temperatura que a su vez provocaría un deshielo tardío en los años húmedos y un incremento en la escorrentía. Se concluyó que cambios en temperatura tienen un efecto menor en magnitud de la escorrentía anual, pero afectan enormemente la distribución temporal de la escorrentía, afectando la tasa de lluvia de nieve durante los meses de primavera y verano. Al variar la precipitación, la magnitud de la escorrentía se vio directa y enormemente afectada en todas las estaciones.

3.1.1.2 Antecedentes Nacionales

Algunos antecedentes acerca de investigaciones sobre el cambio climático en Chile, los podemos encontrar en los trabajos de título de D’Arcangeli (1997), Ledermann (2001), López (2001) y Naudón (2004).

La Tesis de D’Arcangeli (1997) es un primer acercamiento a los efectos producidos por el cambio climático. En el trabajo de D’Arcangeli (1997) titulado “Variación temporal de algunos factores meteorológicos en Chile”, se realizó un análisis de series estadísticas de precipitaciones, temperaturas medias, temperaturas mínimas medias, temperaturas máximas medias, presión atmosférica y radiación solar. El estudio se realizó para las series más largas y confiables de las existentes en Chile entre Copiapó y Punta Arenas.

Como resultado de este análisis, se detectó la existencia de tendencia, en algunos casos significativa, a la disminución de las precipitaciones en 15 de las 17 series estudiadas, efecto que es, en general, más marcado hacia el sur del país. Por otra parte, las series de temperatura, presión atmosférica y radiación solar no muestran un patrón común de comportamiento a lo largo del

país, encontrándose tendencias significativas de aumento o disminución de estas variables, en algunos de los casos estudiados (D'Arcangeli, 1997).

Ledermann (2001) estudió el efecto del cambio climático global en el diseño de un embalse de riego en Chile, con el fin de proponer una metodología que permitiera analizar el comportamiento de los embalses frente a condiciones climáticas que se tendrán en el futuro. El resultado final de este trabajo de título, concluyó que la situación futura se caracterizaría por una disminución en los niveles medios mensuales de precipitación, que implicaría una menor escorrentía superficial. Además, según Ledermann, un aumento en los niveles de evaporación producto del aumento de los niveles medios mensuales de temperatura, provocaría problemas para satisfacer la demanda futura de riego en las obras diseñadas para las condiciones actuales, pues se tendrían seguridades de riego inferiores al 85%. Finalmente, se concluye que si se mantienen los niveles actuales de emisión de dióxido de carbono a la atmósfera, obras de riego como embalses de regulación no podrían cumplir con las actuales necesidades de las zonas de riego a abastecer.

También, el trabajo de López (2001) permite tener antecedentes sobre los impactos en los recursos hídricos de Chile Central producto de cambios climáticos que puedan ocurrir debido a aumentos de temperatura. Se consideró un aumento de temperatura de 4,5°C, una redistribución mensual de las precipitaciones y una variación de la línea de nieve de acuerdo al aumento pronosticado de temperatura, y se obtuvo como resultado una disminución de la escorrentía media de primavera (34%) y de verano (10%), así como un aumento de los caudales de otoño (15%) e invierno (24%).

El trabajo de Título de Naudón (2004) se refiere a cómo se ven reflejados a nivel regional los cambios globales que afectan a las variables ambientales, tales como precipitación, temperatura, radiación u otras similares; y específicamente al estudiar los caudales medios diarios de una cuenca pluvial. Como ejemplo, se usa la cuenca del estero Alhué en Quilamuta, cuyos resultados señalan una dramática disminución de los caudales medios diarios. Para la probabilidad de 85% se obtiene una reducción cercana al 50% y para la probabilidad de 10%, ésta alcanza una reducción cercana al 30%.

En los últimos años se han llevado a cabo varios trabajos de título en que se ha estudiado el impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos en nuestro país. Entre ellos podremos nombrar los estudios realizados por Molina (2007), Figueroa (2008), Mena (2009) y Mardones (2009).

Molina (2007) realiza un análisis de los efectos de los cambios climáticos globales sobre los regímenes de caudales en las cuencas andinas del Chile Central, a través del estudio de nueve cuencas entre la IV y VIII región. El análisis principal se centró en calcular las tendencias lineales en el largo plazo que se desprendieran de las series de tiempo que fueron rellenadas y corregidas para distintos periodos de tiempo. Se encontraron tendencias lineales en el largo plazo que se desprendieron de dichas series, para distintos periodos de tiempo. Como resultado, se encuentra presencia de tendencias de aumento de caudal en las curvas de escorrentía en la mayoría cuencas analizadas, lo que es asociado al cambio climático que se ha producido en nuestro país. Lo anterior se manifestaría en décadas recientes, principalmente como una redistribución de los caudales estacionales con aumentos importantes de caudal en invierno y disminuciones en primavera y verano. Molina recomienda una gestión que tienda a mejorar el manejo del recurso hídrico en el país, ya se aumentando las fuentes de almacenamiento u optimizando las prioridades asignadas a los distintos usos del recurso.

Figueroa (2008) evalúa los efectos del cambio climático sobre la disponibilidad de recursos hídricos superficiales y subterráneos de una cuenca chilena. Además, valora la manera en que

afectarían estos efectos a la agricultura, la minería, la generación hidroeléctrica y el consumo de agua potable. La cuenca estudiada fue la del río Cachapoal, que se encuentra en la VI Región.

Los resultados de este trabajo permitieron verificar aumentos en los valores mensuales, estacionales y anuales promedio de temperatura, mientras que para la estación Convento Viejo se verificaron disminuciones con respecto al periodo en observación (1980-2005). Respecto a las precipitaciones, en las estaciones estudiadas se observó una tendencia al aumento en los valores mensuales, estacionales y anuales promedio en el periodo observado (1971-2005). De acuerdo a lo anterior, los caudales medios mensuales de salida de la cuenca del río Cachapoal se verían afectados por el cambio climático, ya que con respecto al periodo base de calibración (1999-2005) se obtuvieron aumentos de los valores promedio en el periodo de deshielo y disminuciones en el periodo invernal. Respecto a los recursos hídricos subterráneos, no se pudo comprobar alguna tendencia provocada por el cambio climático.

En cuanto a los efectos que tendría el cambio climático sobre las diversas actividades que se abastecen de agua desde la cuenca del Cachapoal, Figueroa concluye que en el riego se observó una disminución de la satisfacción de la demanda con respecto al periodo base en toda la cuenca, excepto en la parte baja; para las extracciones superficiales de las plantas de agua potable y de las centrales hidroeléctricas, se obtuvo una disminución de los caudales asociados a las mayores seguridades de abastecimiento. La única actividad que no se vería afectada sería la minería.

En el trabajo de Mena (2009), se analizaron los impactos del cambio climático en la cuenca andina del río Teno, con el fin de contribuir al proceso de toma de decisiones sobre medidas de adaptación frente a estos cambios. Para llevar a cabo este estudio, Mena utilizó un Modelo de simulación hidrológica generado por el Instituto del Medio Ambiente SEI (Stockholm Environment Institute), conocido como Water Evaluation And Planning System o simplemente WEAP, que fue calibrado y validado a partir de datos históricos mensuales disponibles para la cuenca. Las variables de entrada utilizadas en este modelo se obtuvieron desde el Modelo PRECIS por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, para el escenario A2 en los periodos 2036-2065 y 2071-2100.

Los resultados obtenidos por Mena, indican que dadas las disminuciones de precipitación anual de 26% y 35% y variaciones de temperatura media anual de 0,5°C y 1,3°C, los resultados mostraron una baja de los caudales medios mensuales futuros del río Teno de un 30% y 40% para los años 2036-2065 y 2071-2100 respectivamente. Además, se verificó el aumento en el número y prolongación de periodos secos en la cuenca, como consecuencia de las variaciones de la precipitación anual y la temperatura media anual indicadas anteriormente. Otro aspecto importante a rescatar entre las conclusiones de esta tesis, es la constatación de un desplazamiento del máximo de primavera del mes de Diciembre a Noviembre, provocado por el adelantamiento de los deshielos en la parte alta de la cuenca. Además de este desplazamiento, se halló una disminución en la diferencia entre magnitudes del peak de invierno y primavera y un aumento de veranos con meses secos, atribuidos a la disminución de las precipitaciones anuales y a un aumento en las temperaturas medias anuales.

Mardones (2009) también hizo uso del modelo WEAP, pero para utilizarlo en cuencas nivales de la IVª Región para el análisis del cambio climático. Esta región del país es reconocida por su desarrollo agrícola, lo que hace del agua un recurso sumamente necesario, por lo que resulta interesante, económicamente hablando, conocer cómo afectaría el cambio climático a la disponibilidad de agua en esta zona, en especial para el riego de los cultivos que ahí se desarrollan. Entonces, el objetivo principal del trabajo es simular mediante el modelo hidrológico WEAP, los caudales futuros en los periodos 2036-2065 y 2071-2100 en las cuencas nivales de la

IV región Elqui en Algarrobal y Hurtado en San Agustín. Para simular las condiciones meteorológicas futuras se han desarrollado posibles escenarios de emisión de gases de efecto invernadero y aerosoles, basándose en distintas directrices de desarrollo de la población mundial. En aquel estudio se utilizaron los resultados del modelo PRECIS para el escenario A2 generados por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile.

Las variables generadas por el modelo PRECIS en la zona de estudio, sobreestiman las precipitaciones y entregan datos de temperatura más bajos que los registrados en las estaciones para el periodo de observación, por lo que Mardones corrigió los datos mediante métodos estadísticos. Como resultado, se obtuvo que en la cuenca Elqui en Algarrobal se observa que de 140[mm/año], entre los años 1979-2005, la precipitación disminuye a 130[mm/año] entre los años 2071-2100. Por otro lado, en la cuenca Hurtado en San Agustín, la precipitación es de 175 [mm/año], entre los años 1977-2005 y se reduce a 125[mm/año] entre los años 2071-2100. En cuanto a la temperatura, ambas cuencas tendrían un aumento de 4,4 °C en su temperatura media anual para el periodo 2036-2065, y de 6,2 °C en el periodo comprendido entre los años 2071-2100. Esto implicaría una disminución en los caudales en ambas cuencas analizadas, en el caso de la cuenca Elqui en Algarrobal el caudal medio anual disminuiría de un valor de 12,8[m³/s] en el periodo de observación, a un caudal de 10,5[m³/s] para el periodo 2036-2065 y a 9,8[m³/s] entre 2071-2100. Los resultados son similares para la cuenca Hurtado en San Agustín, en donde el caudal medio anual disminuiría de un valor de 3,2[m³/s] en el periodo de observación, a un caudal 2,7[m³/s] para el periodo 2036-2065 y a 2,3[m³/s] en el periodo 2071-2100. Esta disminución de caudales produciría un cambio en el régimen de ambas cuencas, adelantándose el derretimiento de nieves. Para el caso de la cuenca Elqui en Algarrobal se generaría que el mayor promedio mensual pase del mes de Diciembre como se observa en los datos registrados, a Octubre para el caso del periodo 2036-2065 y a Septiembre en el periodo 2071-2100. Para la cuenca Hurtado en San Agustín, se pasaría de un régimen nival a uno que en el periodo 2036-2065 presentaría un desplazamiento hacia el mes de Julio y un nuevo peak inferior y menos definido en el mes de Septiembre. Respecto al periodo 2071-2100, presentaría un régimen pluvial con su mayor valor medio en el mes de Julio. Estos cambios en el régimen hidrológico se originarían por un adelantamiento en el derretimiento de nieve, y provocaría un aumento en el estrés hídrico y períodos más prolongados de sequías.

A modo de resumen, se entrega la siguiente tabla, en la que se entregan algunos de los valores entregados anteriormente para las variaciones de Precipitación y temperatura que interesa obtener:

Tabla 3: Cuadro Resumen Antecedentes de Cambio Climático

Estudio	Ubicación Geográfica	Valores actuales o supuestos			Variación Proyectada		
		T ^a	Pp	Q	T ^a	Pp	Q
IPCC	Mundial	+ 0,74 ± 0,18 °C	-	-	+ 1,4 – 5,8 °C (^a)	-	-
López (2001)	Chile Central	-	-	-	+ 4,5 °C	(^b)	Primavera: - 34% Verano: - 10% Otoño: + 15% Invierno: + 24%
Mardones (2009)	Cuenca Elqui en Algarrobal	-	140[mm/año]	12,8[m ³ /s]	+ 6,2 °C	130[mm/año]	9,8[m ³ /s]
Mardones (2009)	Cuencas Hurtado en San Agustín	-	175[mm/año]	3,2[m ³ /s]	+ 6,2 °C	125[mm/año]	2,3[m ³ /s]
Mena (2009)	Cuenca río Teno	-	-	-	+ 1,3 °C	-35%	-40%

(^a): Temperatura en el siguiente siglo.

(^b): Redistribución mensual de las precipitaciones.

Como se puede observar, en la tabla anterior, se tienen proyecciones de temperatura que oscilan entre los 1,3 y 6,2 °C, rango muy similar al que predice el IPCC. Según López (2001), existiría un aumento de 4,5°C de temperatura en Chile Central, además, postula variaciones porcentuales de la escorrentía media, dependiendo de la estación del año, estas variaciones podrían servir para postular los escenarios que se desean definir para poder analizar el cambio en la disponibilidad de agua para producir AP.

3.1.2 Efecto Meteorológico y Disponibilidad de Agua en la cuenca del río Maipo

El río Maipo, como se ha mencionado anteriormente, es la fuente principal de agua para producción de agua potable en la Región Metropolitana, de ahí la importancia de conocer el efecto que el cambio climático tendría sobre este río y, como resultado, la disponibilidad que se tendría para la producción de agua potable.

A continuación, se presenta un estudio sobre los efectos del cambio climático en nuestro país. Este estudio tiene como objetivo visualizar las consecuencias económicas que traería para Chile el Cambio Climático en los próximos 100 años. De entre los impactos que se evalúan, se encuentra el efecto sobre los recursos hídricos, por lo que en el estudio se realizan proyecciones de disponibilidad sobre el río Maipo, que permiten conocer la oferta de caudal que existiría bajo escenarios debidamente establecidos.

3.1.2.1 La Economía del Cambio Climático en Chile

En Noviembre del 2009, se efectuó el estudio titulado: “La Economía del Cambio Climático en Chile”, realizado por una serie de científicos y colaboradores que coordinados por el Ingeniero Civil Industrial y director del Centro de Cambio Global de la Pontificia Universidad Católica de Chile, Sebastián Vicuña, desarrollaron este estudio para la Comisión Económica para América Latina (CEPAL), en el que se analiza el efecto económico que pueda tener el cambio climático en Chile en los próximos 100 años.

Los resultados que se presentan en el trabajo realizado, tienen que tomarse en su justa medida, es decir, como el resultado de un análisis sobre la base de escenarios y, por lo tanto, no deben considerarse como un pronóstico de la situación del país en los próximos 100 años.

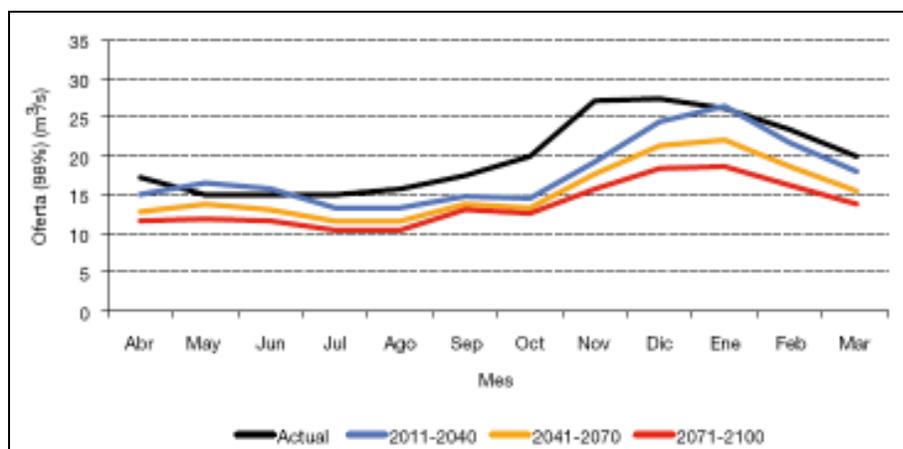
Los escenarios climáticos usados en la evaluación, indican de manera bastante consistente que el promedio de la temperatura en el país aumentaría aproximadamente 1°C en los próximos 30 años, entre 1°C y 2°C en un periodo intermedio (2040-2070), llegando a un aumento de entre 3°C y 4°C a finales del siglo. En el estudio que se realizó respecto a la precipitación, se muestran resultados que apuntan a una reducción entorno al 30% a finales de siglo para las precipitaciones anuales en Chile Central.

El estudio realiza un análisis de impactos en el sector sanitario de la cuenca del Maipo, pues en ella se concentra prácticamente un 40% de la población y un 50% del PIB nacional, lo que la convierte en una cuenca estratégica en el país y cuyo análisis es relevante respecto a los impactos que el cambio climático pudiese tener en ella, y en particular, este estudio se ocupa también de analizar los impactos del cambio climático sobre el sector sanitario. La empresa Aguas Andinas se utiliza como una empresa representativa de las empresas sanitarias que se encuentran en la zona del Maipo, ya que abastece a la gran mayoría de la población de la región.

Este estudio basa su análisis en una proyección, a través de un modelo hidrológico, de la disponibilidad de recursos en la principal fuente de abastecimiento de la empresa Aguas Andinas, el río Maipo. La proyección realizada considera los cambios hidrológicos y las restricciones operacionales existentes, tales como la tenencia de derechos de agua y la capacidad de la infraestructura de distribución. Los resultados obtenidos para disponibilidad se entregan en el *Gráfico 4*. Este análisis complementa la oferta obtenida contrastándola con proyecciones de demanda de agua potable para la región. Al realizar la comparación, existen algunos meses con déficit, y también se destaca que el caudal disponible total en el río Maipo en el lugar de toma de Aguas Andinas para la misma probabilidad de excedencia es de 30 a 40[m³/s], siendo este caudal usado en la actualidad, mayormente por el sector agrícola, es decir, se produciría un cambio en el uso de los derechos de agua del sector.

A continuación se presenta el gráfico con los caudales disponibles obtenidos, por este estudio:

Gráfico 4: Oferta de agua (Asociada a Escenario A2) para la empresa sanitaria Aguas Andinas en la Región Metropolitana



Fuente: CEPAL, “Economía del Cambio Climático en Chile”, 2009.

Como se puede apreciar en el *Gráfico 4*, el cambio de disponibilidad planteado por este estudio implicaría la necesidad de adquirir nuevos derechos de agua. En el estudio se señala que, en caso de que la demanda de agua supere la oferta, se asume que la empresa tiene que incurrir en costos para asegurar el correcto suministro en el futuro, asumiendo como supuesto, en dicho trabajo, que el costo se manifiesta en términos de compra de derechos de agua. Se supone que la compra de derechos tiene que tomar en cuenta que los cambios en la disponibilidad promedio de agua en el río incidirán en el precio a que se transen los derechos. Ya que es el objetivo del estudio, se presenta el impacto asociado al sector sanitario en la cuenca del Maipo, resumiéndose los precios estimados de compras de acciones, en la siguiente tabla:

Tabla 4: Impactos asociados al cambio climático (Escenarios A2 y B2) en el sector sanitario de la Región Metropolitana de Santiago

Periodo	Compra de acciones	Precio [Dólares/acción]	Costo	Costo
			[MM US\$]	[MM US\$/año]
Escenario A2				
2011-2040	634	52.233	33	1,1
2041-2070	951	62.313	59	2,0
2071-2099	441	67.353	30	1,0
Escenario B2				
2011-2040	1121	52.233	59	2,0
2041-2070	904	62.313	56	1,9
2071-2099	6	67.353	0	0,0

Fuente: CEPAL, “Economía del Cambio Climático en Chile”, 2009.

Según el estudio, y observando la Tabla anterior, los costos para el sector bordearían los 2 millones de dólares al año, lo que significaría un aumento de, aproximadamente, dos dólares al año en la cuenta del agua de una familia promedio. También se hace mención a la probabilidad de que no sea sólo éste el costo en que deba incurrir la empresa sanitaria, pues existe la posibilidad de que se deban realizar cambios en infraestructura, como por ejemplo, no queda claro si con la metodología aplicada, el embalse El Yeso tenga las condiciones suficientes para

seguir operando de manera adecuada frente a los cambios hidrológicos presentados en el futuro, o también, se podría incurrir en gastos asociados a problemas en la calidad del agua, por el aumento en la concentración de sedimentos producto del aumento de la isoterma cero. Se concluye, que la compra de derechos sería el mínimo costo que se debería considerar como impacto económico en la operación del sistema de distribución de AP en la Región Metropolitana.

En el análisis planteado por el estudio “La Economía del Cambio Climático en Chile”, no se tomó en cuenta la relación que tiene el sector sanitario con otros sectores usuarios de la cuenca, como el sector agrícola, y los posibles problemas de gestión de los recursos que podrían surgir en el futuro, producto de los cambios hidrológicos proyectados.

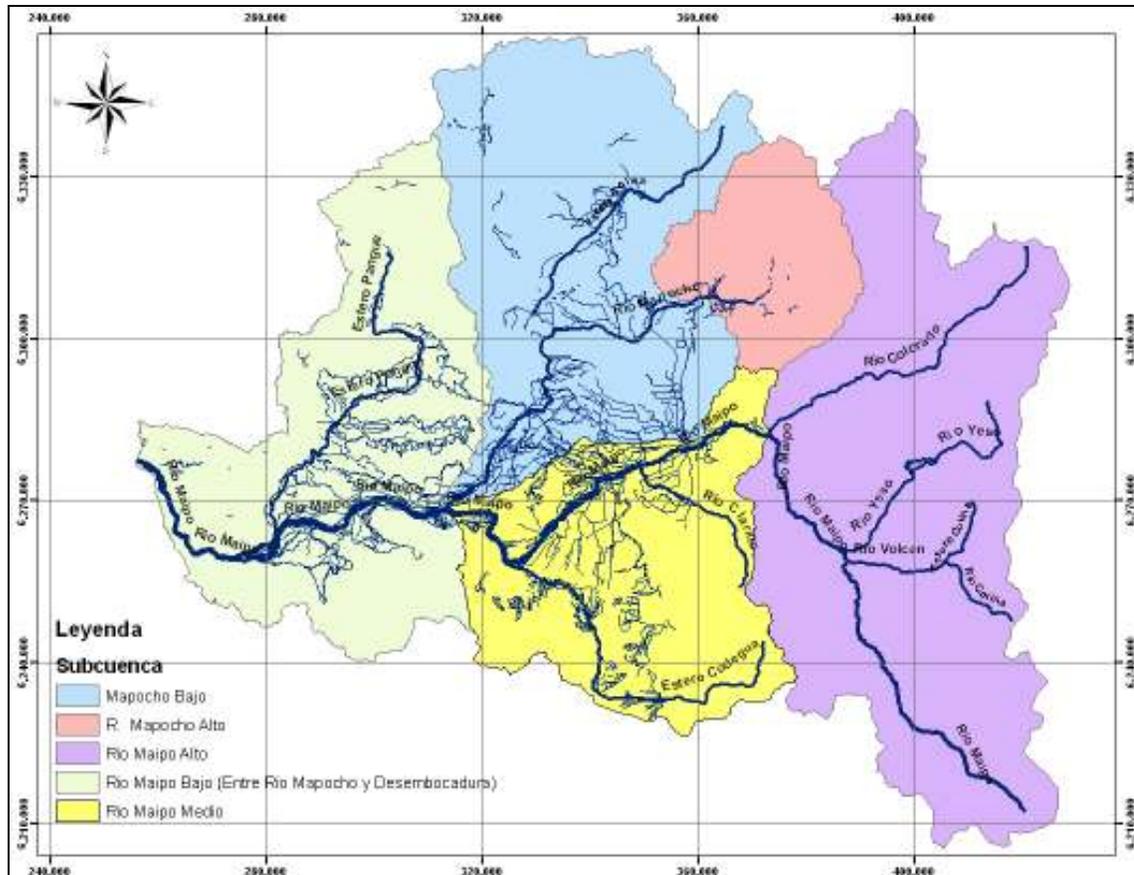
En el presente Trabajo de Título se utilizará la proyección de disponibilidad de agua en el río Maipo en San Alfonso, para el periodo 2035-2065, que entrega este estudio, para calcular los caudales proyectados en el río Maipo en El Manzano. Luego, se construirá un modelo que permita simular el sistema de abastecimiento de agua para producción de agua potable en el Gran Santiago, incluyendo, además de Aguas Andinas, a empresas sanitarias que si bien suministran agua potable a un menor porcentaje de población, son también parte del sistema Gran Santiago. Además, se desea incluir en el modelo la interacción entre el sector sanitario y el sector agrícola, que tiene casi un 75% de los derechos de aprovechamiento de agua del río Maipo; aunque el objetivo principal, sigue siendo, conocer la probabilidad de déficit para diversos escenarios que se presentarán en los capítulos siguientes.

3.2 Descripción de la Zona en Estudio y Sistemas de Abastecimiento Existentes

3.2.1 Descripción General Cuenca del río Maipo

La hoya del río Maipo tiene una extensión de 15.380 [Km²], se origina al pie occidental del volcán del mismo nombre. Este río tiene un régimen de alimentación mixta, presentando dos crecidas anuales: en invierno por precipitaciones y otra en primavera por deshielos cordilleranos, su escurrimiento posee un caudal medio anual de 92,3[m³/s]. El río Maipo en su sector alto recibe tres grandes tributarios, ellos son los ríos Volcán, Colorado y Yeso. En la Región Metropolitana, recibe por el norte al río Mapocho, su principal afluente; este río drena la parte norte de la cuenca que atraviesa la ciudad de Santiago. En el curso inferior sus tributarios son el estero Pangue, de origen cordillerano costero y régimen pluvial, por lo que su aporte de aguas lo produce en invierno. En el curso medio, el río Maipo recibe a los ríos Clarillo y Angostura, el primero de ellos desagua una hoyada lateral en donde se encuentra el embalse Pirque. En el curso superior caen al Maipo otros esteros de escaso caudal como son Popeta, el Sauce y San Juan. Finalmente, tras un recorrido de 250 [Km], el río Maipo desemboca en Lolleo, inmediatamente al sur del puerto de San Antonio (Región de Valparaíso). La cuenca del río Maipo presenta una alta concentración de habitantes y concentra diversas industrias, lo que ha llevado a diversos problemas, como la contaminación de sus aguas. Se debe destacar que el río Maipo atiende alrededor del 70% de la demanda actual de agua potable y cerca de un 90% de las demandas de regadío, otro aprovechamiento intensivo es el hidroeléctrico.

Figura 1: Esquema del río Maipo



Se encuentran constituidos sobre sus aguas los tres tipos de derechos más frecuentemente empleados que son los: permanentes y consuntivos; permanentes y no consuntivos y eventuales. De manera aproximada, entre los primeros de ellos se distribuyen 140 [m³/s]; a los segundos 160 [m³/s] y a los terceros 37 [m³/s]. Los primeros van esencialmente al riego y al abastecimiento del agua potable de la ciudad de Santiago. Los segundos a la generación de energía eléctrica que realizan 4 generadoras a través de 7 centrales hidroeléctricas. Los regantes se encuentran organizados en 7 asociaciones de canalistas, que cubren una superficie cercana a las 100.000 hectáreas de riego. A su vez los derechos eventuales que hoy en día se encuentran en uso, están destinados en su gran mayoría al agua potable de Santiago, mediante su embalsamiento en el Embalse El Yeso, que se encuentra en el Sector de El Romeral, a 73 [Km] de Santiago en el Cajón del Maipo, ubicado a 2.500 [m] de altura, cerrando el río del mismo nombre.

Como se observa en la *Figura 1*, el río Maipo, administrativamente y desde un punto de vista operativo, se encuentra dividido en tres secciones, las que representan tres mercados distintos de derechos de agua, es decir, al terminar la primera sección del río Maipo, se supone que todo el caudal es consumido y que a partir de ese punto, nace un nuevo río, con un nuevo mercado de aguas para ser consumidas. La Primera Sección del río es la que interesa estudiar, pues es la que abastece de agua a las Empresas Sanitarias, para suministro de agua potable. También existen extracciones para riego, para producción de energía hidroeléctrica y para producción y manufactura en industrias. La primera sección va desde el nacimiento del río en las faldas del Volcán del Maipo en la Cordillera de Los Andes, hasta el puente del ferrocarril Paine-Talagante. La segunda sección comprende desde el fin de la primera hasta la confluencia de los ríos Maipo y

Mapocho. Sus principales afluentes son los ríos Angostura y Maipo. La tercera sección comprende desde la confluencia de los ríos Maipo y Mapocho, hasta el Océano Pacífico. Esta sección no posee fuentes propias que la abastezcan y sus recursos de agua provienen principalmente de recuperaciones producto de retornos de riego, así como de excedentes aportados por el estero Puangue. Existe también un sinnúmero de esteros pequeños de los cuales no puede esperarse un aporte significativo.

La cuenca posee como cuerpos de agua de importancia la Laguna Negra, Lo Encañado y el ya mencionado, Embalse el Yeso. Los tres se encuentran bajo la administración de Aguas Andinas S.A. en su calidad de concesionario del agua potable de Santiago. Existen también, a gran altura, pequeñas lagunas de muy difícil acceso y también los grandes glaciares, que son pieza fundamental en la alimentación del agua de la cuenca, ya que como se mencionó, esta cuenca es de régimen mixto, por lo que en verano, se alimenta de estos glaciares.

3.2.2 Marco Geológico⁴

3.2.2.1 Geología y volcanismo

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.

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.

La influencia volcánica en la cuenca es variada, en cuanto a su actividad. Los volcanes Tupungato y Marmolejo están inactivos, los volcanes activos son el Tupungatito, San José y Maipo. Esto revela una gran influencia volcánica en la zona. Los volcanes Tupungatito (5.682 [m.s.n.m.]) y San José (5.856 [m.s.n.m.]), presentan estructura de estratovolcán. El primero presenta fumarolas permanentes. Por otro lado, el volcán Maipo (5.264 [m.s.n.m.]) perteneciente a la categoría de caldera, es un volcán activo que no ha presentado erupciones en los últimos dos siglos.

3.2.2.2 Hidrogeología

Producto de la excavación del lecho del río, la cordillera de los Andes presenta rocas graníticas a la entrada de la cuenca, éstas conforman una barrera hidrogeológica que impide el paso de aguas subterráneas a la cuenca. El río Mapocho y los esteros Colina y Angostura, ingresan a la cuenca a través de lechos excavados en rocas volcánicas impermeables. 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.

La depresión intermedia, corresponde a una fosa tectónica, que por sus características geológicas, hace que su permeabilidad sea media-alta.

⁴ Fuente: Cade-Idepe (2004)

La cordillera de la costa está constituida por rocas graníticas paleozoicas, además de rocas volcánicas y sedimentarias cretácicas, las que en su meteorización ha formado “maicillo”, éste permite la infiltración y acumulación de aguas subterráneas. La permeabilidad de esta zona es media-baja.

La información de la cuenca del Maipo que se puede extraer del Mapa Hidrogeológico confirma que sólo un acuífero se ubica en el sector cordillerano, específicamente en el sector del río Volcán y río Yeso. Esta reserva de aguas subterráneas llamada acuífero de Santiago, 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.

3.2.2.3 Geomorfología

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 [m.s.n.m].

La zona de piedemonte y planicie se caracterizan por los procesos de relleno de los ríos Maipo, Mapocho y Angostura (en su curso inferior) originados por procesos de glaciación y volcanismo de zonas cordilleranas. La actividad volcánica ha producido relleno de cenizas y piedra pómez; mezcladas con materiales como arcillas, arenas y bloques de depósitos más antiguos. Los fenómenos de relleno hacen que la cuenca presente distintas alturas, siendo los puntos más altos Apoquindo y Puente Alto (700 [m]). Desde esos puntos el terreno se deprime en todas direcciones hasta alcanzar su altura mínima en el extremo sur, en la localidad de Hospital con 348 [m] y en Talagante con 343 [m].

En el centro de la cuenca, por encima de estos materiales existe ripio aluvial producido por los conos recientes del río Mapocho. Dos son los conos de este río: el interno desde El Arrayán hasta el cerro Santa Lucía y el externo desde la estrechez de los cerros San Cristóbal y Santa Lucía. La superposición de éstos y el cono del Maipo son las formas más representativas del valle de la cuenca.

Al norte de Santiago, la cuenca muestra caracteres morfológicos distintos, ya que no existe ningún río de importancia, por lo que la superficie de la planicie ha quedado por debajo de los conos de deyección de los ríos Maipo y Mapocho, dificultando el drenaje de las aguas.

La parte sur de la cuenca (Paine y Hospital) ha sufrido una tectónica de hundimiento reciente, por lo cual el nivel del relleno llega al pie de los cerros sin que aparezcan conos, taludes, etc. Existe ausencia de terrazas fluviales, encontrándose en estos sectores importantes y profundas reservas de agua subterránea de toda la cuenca.

Por el valle del estero Arrayán descendieron las morrenas glaciares hacia el valle del Mapocho. Al interior del Cajón de Olivares se forman pequeños conos y bolsones producto de la lluvia de cenizas desde la cordillera andina. Estos depósitos, al igual que en el río Yeso, corresponden a cenizas eólicas. Las acumulaciones en Pudahuel, son cenizas arrastradas por ríos con dinámica de aluvión.

Siguiendo el curso del Mapocho, entre El Arrayán y El Monte, tres sectores pueden identificarse: entre El Arrayán y Quinta Normal, el lecho es con difluencias y los canales se adaptan a los bancos de ripio y grava. En Pudahuel, el Mapocho atraviesa la terraza cinerítica en canal único y calibrado; por último, aguas abajo de las cineritas, el drenaje se abre en canales anastomosados.

El río Mapocho ha sido desplazado hacia el norte por el cono del río Maipo, describiendo un arco y descendiendo hacia el sur por causa de la Cordillera de la Costa hasta desembocar en el Maipo.

El Maipo, ha tenido una actividad más compleja y dinámica, caracterizada por ciclos de sedimentación y posterior erosión que rellenan la cuenca y a la vez forman aterrazamientos en los bordes.

En la localidad de El Monte se interrumpe el cordón costero permitiendo el paso del sistema fluvial Maipo – Mapocho, donde confluyen sus aguas.

La característica más importante desde la perspectiva de morfología fluvial, es que tanto el río Maipo como el Mapocho, al atravesar el llano central de la cuenca presentan un cauce ancho con presencia de bancos con material de gravas y arenas, dándoles el carácter de ríos anastomosado.

3.2.3 Clima

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

3.2.3.1 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.

Los montos de precipitación media anual registrados en el sector costero de la cuenca alcanzan valores aproximados de 404 mm/año y temperaturas de 14,9° C. Por efectos del relieve, en el sector centro de la cuenca (estación Quinta Normal), se presentan áreas de mayor sequedad y montos menores de precipitación (300 mm/año). En sectores más elevados, las precipitaciones aumentan alcanzando valores medios anuales de 536 mm (San José de Maipo) y temperaturas medias anuales de 14,2°C (Las Melosas).

3.2.3.2 Clima Frío de Altura

El Clima Frío de Altura, se localiza en la Cordillera de los Andes por sobre los 3.000 metros de altura. Las bajas temperaturas y las precipitaciones sólidas caracterizan este tipo climático, permitiendo la acumulación de nieve y campos de hielo de tipo permanentes en cumbres y quebradas de la alta Cordillera.

3.2.4 Pluviometría y Temperatura

Los datos de precipitación y temperatura servirán como antecedente para la confección de la línea base del presente estudio, es por ello que se ha solicitado información a la Dirección General de Aguas (DGA), de algunas Estaciones Meteorológicas que se encuentran al interior de la cuenca del río Maipo. Las estaciones fueron seleccionadas por su ubicación representativa de las secciones del Maipo en San Alfonso y el Maipo en el Manzano. En la siguiente Figura, se

encuentra la zona de estudio y un esquema de la ubicación de las Estaciones Meteorológicas y Fluviométricas elegidas.

Figura 2: Ubicación Estaciones Meteorológicas y Fluviométricas



A continuación se entrega la descripción de la información entregada por la DGA:

Tabla 5: Información Meteorológica entregada por la DGA

CÓDIGO	NOMBRE	PARÁMETRO	FECHA INICIO	FECHA TERMINO	ALT.	CORD. GEO	
						LAT.	LONG.
05710007-9	LA OBRA RECINTO EMOS	Pluviómetro	Ene-95	Actual	820	33° 35'	70° 28'
05704004-1	SAN GABRIEL	Pluviómetro	Dic-77	Actual	1195	33° 47'	70° 14'
05703008-9	EMBALSE EL YESO	Term. Max-Min	Abr-62	Actual	2475	33° 40'	70° 05'

Se adjunta en [ANEXO A](#), estadística de las estaciones consideradas.

3.2.5 Fluviometría

El río Maipo, en su primera sección, es una de las principales fuentes del sistema de agua potable del Gran Santiago, abarcando un 51% de la producción de agua, lo que implica que una variación en su caudal en un futuro próximo, podría impactar gravemente la situación actual de los sistemas de agua potable. Es por ello que resulta de gran importancia analizar el comportamiento del caudal del río Maipo y recopilar información acerca de su posible variación futura, pues como se detalló en el segundo capítulo de esta Tesis, diversos estudios apuntan a que el cambio climático disminuirá los caudales medios mensuales, mientras que los caudales máximos serían mayores que los actuales (Pérez, 2009). De esta forma, resulta interesante conocer en cuánto cambiaría el caudal en el río Maipo y cómo ese cambio podría afectar la seguridad física e hidrológica de los sistemas de captación, producción y distribución de agua potable.

Debido a lo anterior, se ha recopilado la información de caudales actuales en dos Estaciones Fluviométricas al interior de la Cuenca, éstas son, El Manzano y San Alfonso. La primera estación, se eligió porque es en Maipo en el Manzano donde se encuentra la Toma Independiente

de Aguas Andinas, que corresponde a una de las principales captaciones de agua, para su posterior tratamiento y distribución. Mientras que la segunda estación, de Maipo en San Alfonso, se escogió debido a que se desea realizar un análisis comparativo entre los datos del Maipo en San Alfonso y el Maipo en el Manzano, para establecer una correlación entre ambas cuencas. Esta correlación será fundamental para el cálculo del caudal medio mensual en el periodo de estudio. El procedimiento a seguir para el cálculo de los caudales, se entregará en el subcapítulo de Obtención del Caudal Futuro del río Maipo.

Los caudales históricos se solicitaron a la DGA, la que entregó la siguiente información:

Tabla 6: Información Fluviométrica entregada por la DGA

CÓDIGO	NOMBRE	PARÁMETRO	FECHA INICIO	FECHA TERMINO	ALT.	CORD. GEO	
						LAT.	LONG.
05704002-5	RÍO MAIPO EN SAN ALFONSO	Caudal	Dic-40	Actual	1108	33° 44'	70° 18'
05710001-K	RÍO MAIPO EN EL MANZANO	Caudal	Dic-46	Actual	850	33° 35'	70° 24'

Las estadísticas fluviométricas se presentan en el [ANEXO A](#).

3.3 Proyección del Caudal del río Maipo en el periodo 2035-2065

Como se ha mencionado anteriormente, el río Maipo es la principal fuente de agua para el sistema de AP en el Gran Santiago. Lo expuesto significa que, realizar una estimación del caudal futuro del río Maipo permite evaluar la disponibilidad de agua en esta ciudad. Para calcular esta disponibilidad, se utilizarán los resultados del Estudio “Economía del Cambio Climático en Chile”(CEPAL, 2009). Este estudio entrega los caudales medios proyectados para el período 2035-2065, en el río Maipo en San Alfonso. Estos datos se pueden observar en el [ANEXO D](#).

Para obtener el caudal se analizarán dos alternativas de cálculo. La primera es una correlación de caudales del río Maipo en dos Estaciones Fluviométricas, el Maipo en San Alfonso y el Maipo en El Manzano. El problema con esta correlación, es que podría no entregar caudales válidos para este análisis, pues debido al cambio climático, la línea de nieve subirá en altura y cambiará la relación entre las áreas nivales y pluviales de la cuenca del río Maipo, lo que a su vez, no mantendría la relación existente hoy en día entre las cuencas del Maipo en San Alfonso y en El Manzano.

La segunda alternativa que se planteará resuelve el problema de la variación de la línea de nieve utilizando información recopilada acerca de proyecciones de la línea de Nieve en el periodo en estudio. Con esta información se obtiene la altura aproximada de la línea de nieve y se realizará la transposición de las Cuencas del Maipo en San Alfonso y el Maipo en el Manzano, utilizando la diferenciación entre área nival y pluvial.

3.3.1 Correlación de Caudales

Dado que el punto de interés en este análisis es el río Maipo en El Manzano, y sólo se tienen caudales proyectados en el río Maipo en San Alfonso, se decide realizar una serie de pasos que permiten obtener caudales medios proyectados en el Manzano.

1. Se realiza una correlación entre los datos actuales de caudal en las cuencas del río Maipo en San Alfonso y en el Manzano, para obtener una expresión que permita calcular el caudal del Maipo en el Manzano a partir del caudal en San Alfonso.
2. Luego, se acepta la suposición de que esta relación se mantendrá en el futuro, lo que no sería necesariamente cierto si ocurriese un aumento en la altura de la línea de nieve. Se utiliza esta relación para obtener el caudal medio proyectado en el Maipo en El Manzano a partir del caudal medio proyectado en San Alfonso.

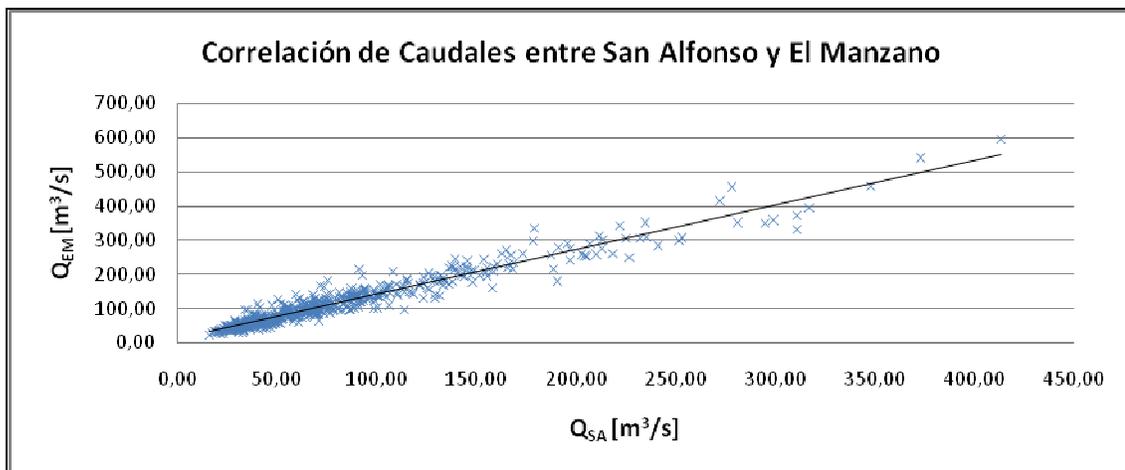
El primer problema de cálculo que se plantea ante esta alternativa, es que los caudales del Maipo en El Manzano y en San Alfonso que fueron entregados por la DGA, tienen datos incompletos. Algunos de los caudales medios mensuales no fueron calculados con los 30 caudales medios diarios, sino que, para cada caso, se explicita que el caudal medio mensual fue calculado con: más de 20 datos, 11-20 datos, o sólo 1-10 datos. Para continuar con el análisis, se decidió tomar el siguiente criterio:

- descartar los caudales calculados con sólo 1-10 datos.
- dejar fuera los caudales que no tenían su correspondiente en la otra cuenca del estudio.

Al realizar esta selección, se eliminaron 150 datos, de los 1.430 valores de caudales iniciales, es decir, los datos eliminados representan el 10,5% de los caudales entregados. Debido a este bajo porcentaje de datos eliminados, se plantea que la carencia de estos no disminuiría la veracidad del análisis siguiente, pues con los 640 datos restantes en cada cuenca, es decir, 1280 datos en total, se puede establecer una correlación adecuada.

Con los datos seleccionados anteriormente, se obtuvo la relación que se grafica a continuación:

Gráfico 5: Relación entre el Caudal Medio Mensual del Maipo en El Manzano (Q_{EM}) y en San Alfonso (Q_{SA})



Realizando una regresión lineal en el gráfico anterior se obtiene la siguiente relación entre los caudales:

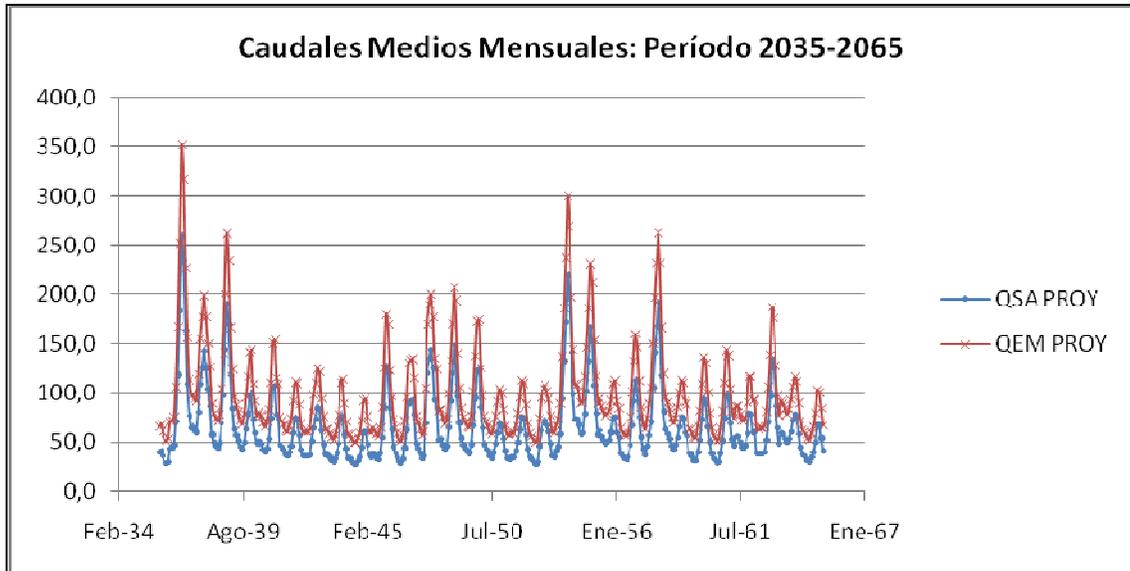
Ecuación 3-1

$$Q_{EM} = 1,2978 \cdot Q_{SA} + 12,553$$

La correlación entre ambos caudales entrega un $R^2=0,938$; lo que implica que existe una relación válida entre el caudal que se mide en el Maipo en San Alfonso, y el caudal medido en el Maipo en El Manzano, por lo que es factible adoptar esta transformación de caudales para realizar la proyección futura, para el periodo de estudio entre los años 2035 y 2065.

En el siguiente gráfico, se presentan los caudales proyectados en el río Maipo en San Alfonso y en El Manzano.

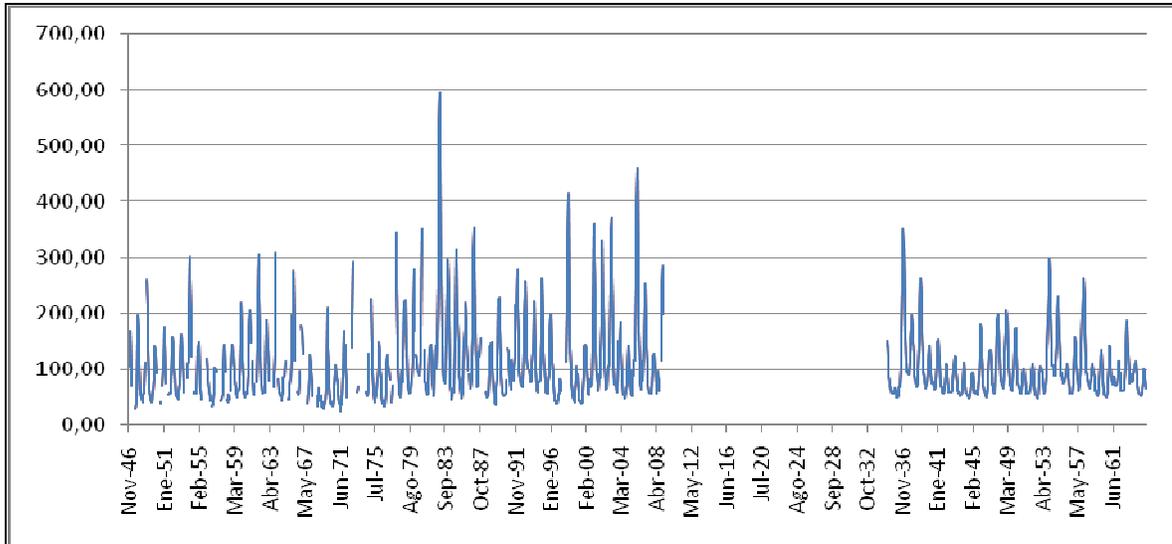
Gráfico 6: Caudales Medios Mensuales en San Alfonso (Q_{SA}) y El Manzano (Q_{EM})



Gráficamente, es posible observar que para la cuenca del Maipo en El Manzano, los caudales se encuentran entre aproximadamente, 50 y 350 [m³/s] y que tiene seis peak sobre 200[m³/s] en el periodo de 30 años de estudio, pero esta información no sirve de mucho si no se compara con los caudales históricos en la cuenca. Es por esta razón, que a continuación se realiza un análisis gráfico y, luego, uno estadístico que permite conocer la variación entre los datos históricos y proyectados.

Para comenzar, se presenta un gráfico, en el que se muestran los caudales medios mensuales históricos y proyectados en la cuenca del río Maipo en El Manzano. Al observar el gráfico, se confirma visualmente, una disminución en los valores extremos en el periodo proyectado, respecto a los valores encontrados en la serie histórica de caudales medios mensuales.

Gráfico 7: Caudales Medios Mensuales Históricos y Projectados en el río Maipo en El Manzano



A continuación se presentan los caudales promedio mensual históricos y proyectados en la cuenca del río Maipo en El Manzano y algunos valores de interés.

Tabla 7: Caudales Promedio Mensuales Histórico (1946-2008) y Proyectado (2035-2065)

Variable		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Valor Medio Anual ^a
Datos Históricos	Q_{medio} [m ³ /s]	193,4	144,8	99,1	71,1	60,2	60	62,6	61,7	69,6	97,9	155,2	210,3	109,5
	σ^b	99,3	68,6	38,8	24,7	19,4	18,1	24,7	21,7	22,4	31,4	52,9	95,7	39,4
	$Q_{medio}^{Máx}$ [m ³ /s]	592,8	455,1	261,1	160,7	117,2	104,1	142,7	130,3	144,1	155,5	256,7	539,5	238,4
	Q_{medio}^{Min} [m ³ /s]	66,7	75,9	51,4	33,4	31,9	24,6	28,7	29,5	36,2	33,8	50,6	43	49,4
Datos Proyectados	Q_{medio} [m ³ /s]	149,0	114,3	91,8	71,5	69,4	67,3	63,4	63,9	78,9	100,6	126,6	157,1	96,1
	σ	56,2	37,1	25,2	15,6	14,7	13,4	12,6	14,3	24,4	39,0	51,5	66,4	26,4
	$Q_{medio}^{Máx}$ [m ³ /s]	316	224,5	153,7	111,1	106,2	99,5	92	103,3	148,1	195,1	250,4	350,3	156,1
	Q_{medio}^{Min} [m ³ /s]	65,4	58,8	49,3	48,7	50,9	49,8	46,5	45,2	51,8	55	58,4	63,7	62,5

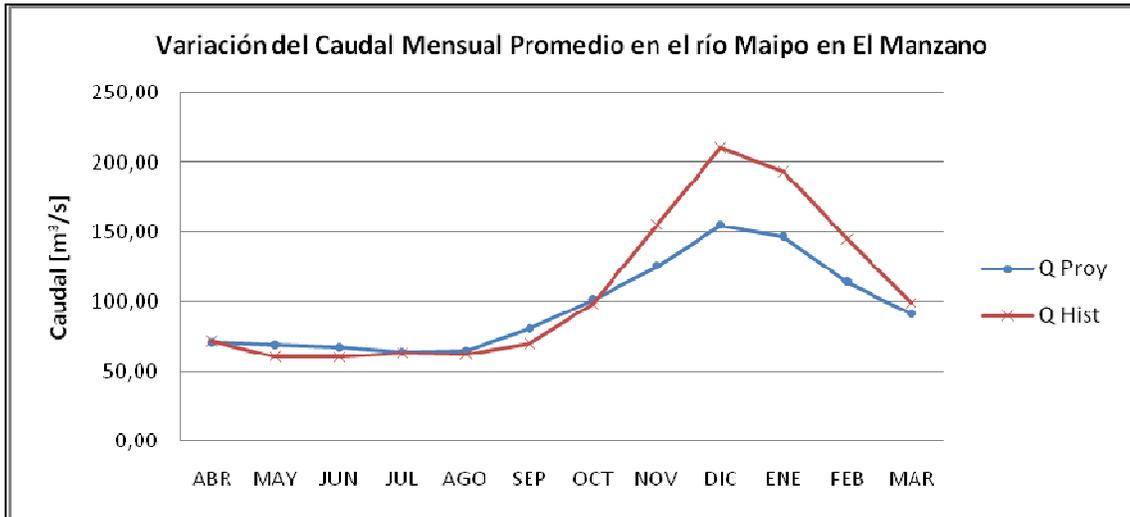
^a: Valor medio en un año hidrológico.

^b: Desviación Estándar

Según los datos expuestos en la tabla anterior, existe una disminución de un 12% en el caudal promedio anual proyectado, respecto a los valores históricos. Este nivel de disminución está dentro de lo esperado, pues valores mayores a 30% hubiesen sido poco probables en el periodo en estudio. Además, se confirma la apreciación visual de una variación en los valores extremos para la serie proyectada, pues se observan disminuciones en los caudales máximos registrados,

teniendo una reducción de 34,5% en promedio y un aumento porcentual de los caudales mínimos de 26,6% en promedio. La desviación estándar de los datos históricos es en promedio, mayor a la de los valores proyectados, lo que también indica una menor dispersión de los datos, manteniéndolos en una banda de menor área. Con esta disminución de caudal, se proseguirá a evaluar la seguridad de abastecimiento de agua potable en el Gran Santiago.

Gráfico 8: Variación de Caudal Mensual Promedio del período Histórico y Proyectado, en un Año Hidrológico en el río Maipo en El Manzano



Como se observa en el gráfico anterior, existe un peak menor en el periodo de verano para los valores proyectados, disminuyendo en el peor de los casos, casi 50 [m³/s], mientras que en el periodo de invierno, el caudal promedio mensual es bastante similar a los valores del periodo histórico. Este tipo de comportamiento implica una pérdida de agua, que disminuiría el volumen de agua disponible para las distintas actividades que se llevan a cabo en el río, tales como riego, abastecimiento de agua para centrales hidroeléctricas, empresas y, obviamente, agua potable, lo que haría suponer algún posible déficit. De esta posibilidad, se hablará en el Capítulo 5.

La serie completa de Caudales Medios Mensuales proyectados para el Maipo en San Alfonso y El Manzano, se encuentra en el [ANEXO D](#).

El análisis gráfico y estadístico de las proyecciones obtenidas permite concluir lo siguiente:

- El caudal medio anual para el periodo 2035-2065 en el río Maipo en El Manzano disminuyen en promedio en un 12%, haciendo factible un balance hídrico que pudiese verificar la posible existencia de déficit en el Sistema de Abastecimiento de Agua Potable.
- Los caudales medios mensuales proyectados tienen una menor desviación estándar, lo que significa una menor variación para los caudales medios mensuales, que se ve reflejada en la *Tabla 7*, en donde se encuentran Caudales Históricos Medios mensuales cercanos a los 600[m³/s], mientras que el máximo alcanzado por los caudales Proyectados Medios mensuales es de 350[m³/s], en el periodo estival. Pero esto no significa que en el futuro existan eventos de caudales máximos instantáneos menores, si no que al contrario, los estudios sobre el cambio climático indican que aumentarán los caudales máximos instantáneos, por lo que existirán mayores eventos como inundaciones, pero serán de

corta duración, por lo que en vez de permitir acumular agua, estos eventos acarrearían desastres y daños.

- Existen años con un promedio anual muy bajo, cercano a los $70[\text{m}^3/\text{s}]$, como los años 2035, 2043, 2044, 2050, 2051, 2052 y 2064, sabiendo que el caudal medio anual actual es de $96,7[\text{m}^3/\text{s}]$.

3.3.2 Transposición de Caudales

La transposición de caudales es la segunda alternativa que se propone para el cálculo de los caudales medios mensuales proyectados en la cuenca de El Manzano. El procedimiento a seguir es el siguiente:

1. Adoptar la altura de la línea de nieve, de acuerdo a la información recopilada.
2. Calcular las curvas hipsométricas de las Cuencas del Maipo en El Manzano y del Maipo en San Alfonso. Con las curvas hipsométricas y la altura de la línea de nieve, obtener las áreas nivales y pluviales de las cuencas.
3. Calcular el volumen de agua mensual de San Alfonso y obtener el volumen de agua mensual en El Manzano mediante transposición, utilizando las áreas correspondientes dependiendo de la estación verano o invierno; de esta forma se obtiene el caudal para el Maipo en El Manzano.

3.3.2.1 Altura de la Línea de Nieve

En el “Estudio de la Variabilidad Climática en Chile para el siglo XXI”, realizado para la CONAMA, por el Departamento de Geofísica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, se describe el alza de la isoterma 0°C , que para el periodo 2065 varía entre unos 300 a 500[m], lo que implica un aumento en la superficie de las cuencas hidrológicas aportantes a las crecidas de ríos y una reducción del área capaz de retener acumulación nival. Se menciona que sobre Chile y entre las latitudes 30 y 35°S , la línea de nieve se localiza próxima a una altura de 3.000[m] y si asciende 400[m], significaría una reducción general de un 23% del área aportante nival, perdiéndose unos $5.000[\text{Km}^2]$ de superficie capaz de retener la nieve depositada en meses invernales, incluyendo las vertientes en la Cordillera de Los Andes.

Con esta información, se puede asumir una línea de nieve a 3.400 m.s.n.m. durante el periodo de interés.

3.3.2.2 Cálculo de Curvas Hipsométricas

Para este cálculo se utilizó el programa *WMS 7.1*, siguiendo las instrucciones del “*Tutorial WMS 7.1 para determinar CURVA TIEMPO ÁREA*” del curso de Hidrología. Los pasos que se siguieron para cada una de las cuencas relevantes en este estudio, se mencionan a continuación.

1. Importar los DEM y acotarlos entre las latitudes -33° y $-34^\circ30'$ ($-34,5$) y entre las longitudes $-70^\circ42'$ ($-70,7$) y $-69^\circ30'$ ($-69,5$), ubicación geográfica de la Cuenca del río Maipo.
2. Convertir las coordenadas desde Geográficas a UTM.
3. Computar la información del flujo.

4. Antes de delimitar la cuenca, se debe realizar un TRIM entregando en ELEVATION la altura a la que se desea conocer el área aportante.
5. Delimitar la cuenca, creando un punto de salida.
6. Definir la Cuenca.
7. Obtener el área para la altura anteriormente señalada.

El área que se obtiene mediante esta metodología corresponde al área inferior a la cota señalada en el cuarto paso, es decir, al área bajo la altura de la línea de nieve, que se define como el área pluvial; mientras que el área superior de la cuenca, es el área nival.

El área nival corresponde al área aportante en la estación estival, debido a los deshielos que son la principal fuente de escorrentía en esa época del año; mientras que el área pluvial es el área aportante durante la época invernal. En la siguiente Tabla se entrega la Curva Hipsométrica para la cuenca del Maipo en San Alfonso:

Tabla 8: Datos Curva Hipsométrica de la Cuenca del Maipo en San Alfonso

Cota [m]	Área Cuenca [Km ²]	Área Superior [Km ²]	%
1.093	0,0	2.794,2	0,0
1.500	34,1	2.760,2	1,2
1.750	93,3	2.700,9	3,3
2.000	175,6	2.618,7	6,3
2.250	294,8	2.499,5	10,5
2.500	445,7	2.348,6	16,0
2.750	685,4	2.108,8	24,5
3.000	1.009,5	1.784,8	36,1
3.250	1.414,4	1.379,9	50,6
3.500	1.858,6	935,7	66,5
3.750	2.224,6	569,7	79,6
4.000	2.476,7	317,6	88,6
4.250	2.618,1	176,2	93,7
4.500	2.694,8	99,5	96,4
5.500	2.787,7	6,6	99,8
5.600	2.790,1	4,2	99,9

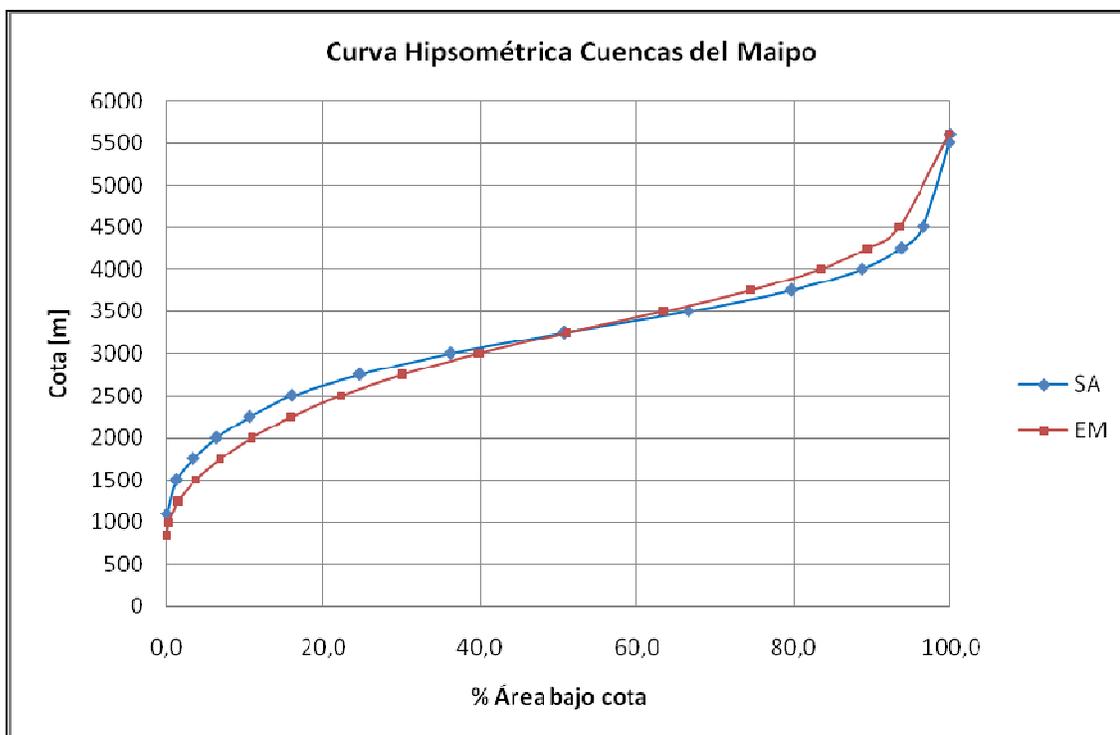
A continuación, se encuentran los datos de la Curva Hipsométrica de la cuenca en estudio, del río Maipo en El Manzano.

Tabla 9: Datos Curva Hipsométrica de la Cuenca del Maipo en El Manzano

Cota[m]	Área Cuenca [Km ²]	Área Superior [Km ²]	%
855	0,0	4.872,9	0,0
1.000	13,3	4.859,6	0,3
1.250	71,3	4.801,6	1,5
1.500	178,4	4.694,5	3,7
1.750	333,0	4.539,9	6,8
2.000	527,7	4.345,2	10,8
2.250	774,0	4.098,9	15,9
2.500	1.081,3	3.791,6	22,2
2.750	1.464,3	3.408,6	30,0
3.000	1.936,5	2.936,4	39,7
3.250	2.487,0	2.385,9	51,0
3.500	3.088,2	1.784,7	63,4
3.750	3.626,7	1.246,2	74,4
4.000	4.060,8	812,1	83,3
4.250	4.355,0	517,9	89,4
4.500	4.552,1	320,8	93,4
5.600	4.857,6	15,3	99,7

En forma gráfica, se presentan las Curvas Hipsométricas del Maipo en San Alfonso y del Maipo en El Manzano.

Gráfico 9: Curvas Hipsométricas el Maipo en San Alfonso (SA) y en El Manzano (EM).



Debido a que la cuenca de San Alfonso es subcuenca de la Cuenca de El Manzano, era de esperar que ambas curvas fueran similares entre sí, pero aún así se puede observar que para cotas menores a los 3.250 m.s.n.m. aproximadamente, existe un menor porcentaje de área bajo la cota en la cuenca del Maipo en San Alfonso, que en El Manzano, y viceversa, para cotas mayores a dicho valor.

Ya que la altura de la línea de nieve asumida para el periodo en estudio es de 3.400 m.s.n.m., el gráfico anterior permite observar que entre San Alfonso y El Manzano, existe una diferencia mínima entre el porcentaje de área en El Manzano y San Alfonso. Esta diferencia permitiría suponer que el cálculo desarrollado en la primera metodología de obtención de caudales, tiene la validez esperada, ya que indica que los porcentajes de cuenca dentro de las áreas nivales y pluviales en la actualidad, se mantendrían similares en un mediano plazo.

3.3.2.3 Transposición de Caudales en el Maipo en El Manzano

Recordando que la altura de la línea de nieves, en el periodo en estudio, se establece como 3.400 m.s.n.m., y utilizando las curvas hipsométricas antes calculadas, el área superior a la línea de nieves en la cuenca del Maipo en San Alfonso es de 1.113[Km²] y el área superior de la cuenca del Maipo en El Manzano es de 2.025[Km²], estas áreas corresponden a las áreas nivales; respecto a las áreas pluviales para San Alfonso y El Manzano, éstas son 1.681[Km²] y 2.848[Km²], respectivamente.

Por otro lado, se define como período invernal, el que transcurre entre Abril y Septiembre, así como se define el período estival, como el que transcurre entre Octubre y Marzo de cada año. De esta forma, se pueden obtener los volúmenes de agua mensuales como el caudal por el tiempo transcurrido. Los volúmenes obtenidos se pueden observar en el [ANEXO E](#).

La transposición de los volúmenes de una cuenca a otra, en invierno y verano, está dada por las siguientes Ecuaciones:

Ecuación 3-2

$$V_{EM}^{INV} = \frac{V_{SA}^{INV} \cdot A_{EM}^{Pluvial}}{A_{SA}^{Pluvial}}$$

Ecuación 3-3

$$V_{EM}^{VER} = \frac{V_{SA}^{VER} \cdot A_{EM}^{Nival}}{A_{SA}^{Nival}}$$

Luego, llevando estos volúmenes a caudal, se obtienen los caudales proyectados en el río Maipo en El Manzano. El detalle de los caudales obtenidos, se encuentra en el [ANEXO E](#), además de un gráfico en que se comparan los dos métodos de obtención de caudal del río Maipo en El Manzano.

Finalmente, y observando en el [ANEXO E](#), los caudales obtenidos por este método, se decide utilizar como input al sistema de abastecimiento de agua potable que se modelará más adelante, los caudales generados por la regresión lineal de los datos, pues los resultados obtenidos con la primera metodología resultan más restrictivos para la disponibilidad de agua, que es justamente lo que se desea evaluar en este Trabajo de Título, un escenario con escasez de agua y cómo enfrentarse a él.

4. DEMANDA DE AGUA

4.1 Proyección de Población en el Gran Santiago

La demanda de agua potable tiene directa relación con la población abastecida, por lo que para calcular esta demanda, se comenzará por realizar una proyección de la población del Gran Santiago para el periodo en estudio, que corresponde a los años 2035-2065.

El Gran Santiago está compuesto, en orden alfabético, por las siguientes comunas:

- 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
- Vitacura

Para conocer el crecimiento de las distintas comunas mencionadas, se utilizó el documento “Chile: Población Censada y Tasas de Crecimiento Anual, según ciudades, 1952-2002”, de la página *Memoria Chilena*, portal web de la Dirección de Bibliotecas, Archivos y Museos (DIBAM). En este documento, se encuentran, tal como lo dice su nombre, el tamaño de la población de las comunas del Gran Santiago para los censos entre los años 1952 y 2002.

Con esta información se analizó el crecimiento del Gran Santiago utilizando Modelos Matemáticos de Proyección de Población, estos modelos se mencionan a continuación.

4.1.1 Análisis Modelos Matemáticos de Proyección de Población

4.1.1.1 Modelo Aritmético

Este modelo está definido por la siguiente expresión:

Ecuación 4-1

$$P_n = P_0 + t \cdot n$$

Donde, P_n : Población en el año n

P_0 : Población en el año inicial

t : Tasa de crecimiento aritmética

n : Año en el que se desea conocer la población

Utilizando los datos para el período 1952-2002, para ajustarlos con la *Ecuación 4-1*, los resultados son los siguientes:

Tabla 10: Tasas de Crecimiento Aritmético

Año	n	Tasa de Crecimiento Aritmético $t_{(n,0)}$
1952	0	-
1960	8	79.379
1970	18	75.303
1982	30	82.779
1992	40	82.315
2002	50	79.118

Para realizar la proyección, se escoge como tasa representativa, el promedio de las tasas de crecimiento, es decir, $t=79.779[\text{hab/año}]$, ya que todas las tasas se parecen bastante entre sí. Con este modelo se alcanza un $R^2=0,9981$, valor que se considera bueno, pues significa que los datos de población censada con los datos modelados, tienen un ajuste satisfactorio durante el período base, correspondiente a los años 1952, 1960, 1970, 1982, 1992 y 2002.

4.1.1.2 Modelo Vegetativo

Este modelo está definido por la siguiente ecuación:

Ecuación 4-2

$$P_n = P_0 * (1 + v \cdot n)$$

Donde, v : Tasa de crecimiento vegetativo

Este modelo se asemeja al Modelo Aritmético, cuando se escoge un $v=t/P_0$.

En el caso estudiado, los valores para las tasas, son los siguientes:

Tabla 11: Tasas de Crecimiento Vegetativo

Año	n	Tasa de Crecimiento Vegetativo $v_{(n,0)}$
1952	0	
1960	8	0,055
1970	18	0,052
1982	30	0,058
1992	40	0,057
2002	50	0,055

La tasa de crecimiento adoptada para este modelo, es la tasa que se tiene al año 2002, que corresponde a $v=0,055[\text{hab/año}]$, esto porque la tasa parece tener una tendencia negativa, por lo que el promedio podría no ser tan representativo.

Con esta tasa, el modelo obtiene un $R^2=0,9981$, valor igual al del Modelo Aritmético, por lo que hasta el momento cualquiera de los dos ajustes podría ser el apropiado para proyectar la población para el periodo deseado.

4.1.1.3 Modelo Geométrico

Este modelo está definido por la siguiente ecuación:

Ecuación 4-3

$$P_n = P_0 * (1 + t)^n$$

Donde; t : Tasa de crecimiento geométrico

Para este modelo, las tasas obtenidas son las siguientes:

Tabla 12: Tasas de Crecimiento Geométrico

Año	n	Tasa de Crecimiento Geométrico $t_{(n>0)}$
1952	0	
1960	8	0,047
1970	18	0,038
1982	30	0,034
1992	40	0,030
2002	50	0,027

La tasa de crecimiento que se elige para calcular la proyección de población, corresponde a la del año 2002, $t=0,027[\text{hab/año}]$, pues, al igual que en el caso del Modelo Vegetativo se observa una tendencia decreciente de las tasas, por lo que nuevamente se cree que una tasa promedio no sería representativa.

Al calcular el índice R^2 para este ajuste se obtiene $R^2=0,9603$, valor menor a los obtenidos en el caso del Modelo Aritmético y Vegetativo, por lo que probablemente este Modelo no sea el adecuado para definir el crecimiento de la población. De antemano se suponía que un Modelo Geométrico de crecimiento, no era el más representativo de la realidad en Santiago.

4.1.1.4 Modelo Parabólico

Este modelo está definido por la siguiente ecuación:

Ecuación 4-4

$$P_n = a \cdot n^2 + b \cdot n + c$$

Donde; a, b y c : Parámetros de ajuste del Modelo Parabólico

n : número de años transcurridos desde el año inicial.

Realizando una regresión polinómica de grado 2, se obtuvo la siguiente expresión:

Ecuación 4-5

$$P = -64,155 \cdot P_x^2 + 83.956 \cdot P_x + 1 \cdot 10^6$$

Esta regresión tiene un $R^2=0,9982$, es decir, un valor mayor al Modelo Aritmético y Vegetativo, lo que parece un poco extraño, pues este modelo no es el que se suele usar para realizar proyecciones de poblaciones, pues el crecimiento poblacional rara vez tiene a ser parabólico.

4.1.1.5 Modelo Exponencial

Este modelo está definido por la siguiente ecuación:

Ecuación 4-6

$$P_n = P_0 * e^{Kn}$$

Este tipo de modelo de crecimiento poblacional es muy poco común de obtener, pues la población no tiende a crecer exponencialmente, pero aún así se realiza la regresión exponencial y se tiene la siguiente expresión:

Ecuación 4-7

$$P_n = 1.619.915,79 * e^{0,0262 \cdot t}$$

El R^2 en este caso, es de $R^2=0,9673$, valor menor al obtenido con el Modelo Aritmético y Geométrico, por lo que se descarta que el Modelo Exponencial sea el adecuado para esta proyección.

La siguiente tabla resume la población proyectada para los distintos modelos mencionados, entregando los valores de R^2 para cada una y la población censada en el período 1952-2002 en el Gran Santiago (GS)

Tabla 13: Resumen Proyección de Población

Año	Censo Población GS	Proyección Vegetativa	Proyección Aritmética	Proyección Geométrica	Proyección Parabólica	Proyección Exponencial
R²	-	0,9981	0,9981	0,9603	0,9982	0,9673
1952	1.436.522	1.436.522	1.436.522	1.436.522	1.000.000	1.619.916
1960	2.071.552	2.069.467	2.074.752	1.775.120	1.667.542	1.997.943
1970	2.791.972	2.860.648	2.872.540	2.312.716	2.490.422	2.596.847
1982	3.919.903	3.810.066	3.829.885	3.176.841	3.460.941	3.556.988
1992	4.729.118	4.601.247	4.627.673	4.138.948	4.255.592	4.623.233
2002	5.392.428	5.392.428	5.425.461	5.392.428	5.037.413	6.009.095

Fuente: Elaboración Propia

De todos los modelos anteriormente mencionados, el que mejor ajuste tiene es el Modelo Parabólico, pero visualmente, esta proyección está siempre por debajo de la curva de población real, por lo que se decide adoptar la Proyección Vegetativa, que también entrega un valor R^2 cercano a 1, y es el tipo de proyección que se suele utilizar para calcular poblaciones futuras.

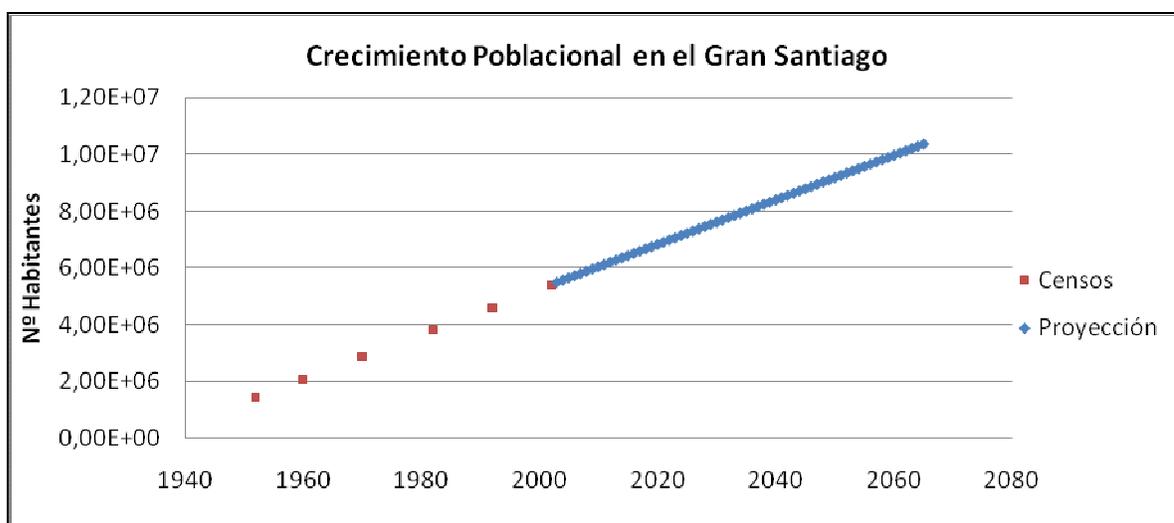
La proyección de población para el periodo de interés, se presenta a continuación.

Tabla 14: Proyección Vegetativa de Población

Año	Proyección Vegetativa [Hab]	Año	Proyección Vegetativa [Hab]
2035	8.003.326	2050	9.190.098
2036	8.082.444	2051	9.269.216
2037	8.161.562	2052	9.348.334
2038	8.240.680	2053	9.427.452
2039	8.319.798	2054	9.506.570
2040	8.398.917	2055	9.585.688
2041	8.478.035	2056	9.664.806
2042	8.557.153	2057	9.743.925
2043	8.636.271	2058	9.823.043
2044	8.715.389	2059	9.902.161
2045	8.794.507	2060	9.981.279
2046	8.873.625	2061	10.060.397
2047	8.952.743	2062	10.139.515
2048	9.031.862	2063	10.218.633
2049	9.110.980	2064	10.297.751
		2065	10.376.870

La tabla anterior, se puede ilustrar en el siguiente gráfico.

Gráfico 10: Crecimiento Poblacional en el Gran Santiago: Censos y Proyección



4.2 Proyección de la Demanda de Agua Potable para el Gran Santiago

El sistema de Agua Potable en el Gran Santiago está concesionado por empresas sanitarias que trabajan en una zona específica al interior de la ciudad. La empresa con mayor número de clientes es Aguas Andinas, que cuenta con 2.161.293 clientes al año 2008, lo que significa una participación del 35.4% a nivel nacional y un 81.8% en el Gran Santiago. También, cabe destacar al Servicio Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Maipú, (S.M.A.P.A.), el que cuenta con una participación del 11.2% de la población del Gran Santiago.

Las principales empresas sanitarias son:

1. *Aguas Andinas*

Abastece en el Gran Santiago las comunas de: Las Condes⁵, Providencia, Ñuñoa, La Florida, La Granja, La Cisterna, La Reina, San Miguel, Conchalí, Renca, Quilicura⁶, Quinta Normal, Pudahuel, Cerro Navia, Lo Prado, Estación Central⁷, San Joaquín, San Ramón, La Pintana, Macul, Peñalolén, Huechuraba, Recoleta, Independencia, Vitacura⁸, El Bosque, Pedro Aguirre Cerda, Lo Espejo y Cerrillos⁹. Puente Alto¹⁰, San Bernardo. El área abastecida es de 52.227,0[há], lo que corresponde a un 73,13% del área de *Santiago*.

2. *Aguas Cordillera*

Abastece las comunas de: Las Condes, Lo Barnechea, Vitacura. El área abastecida es de 6.558,1[há], lo que corresponde a un 9,18% del área de Santiago.

3. *Aguas Los Dominicos*

Abastece el sector Los Dominicos en Las Condes. El área abastecida es de 602,0[há], lo que corresponde a un 0,84% del área de Santiago.

4. *Aguas Manquehue*

Abastece el sector de Santa María de Manquehue, Vitacura, Huechuraba y Lo Barnechea (Sistema Los Trapenses). El área abastecida es de 1.918,0[há], lo que corresponde a un 2,69% del área de Santiago.

5. *Aguas Santiago S.A.*

Abastece la comuna de Lo Barnechea y el sector Valle Escondido, perteneciente a la misma comuna. El área abastecida es de 1.049,5[há], lo que corresponde a un 1,47% del área de Santiago.

⁵ Abastece una parte, el resto es atendida por la Empresa Aguas Cordillera.

⁶ Existe en una pequeña zona la Empresa Explotaciones Sanitarias.

⁷ Abastece una pequeña parte, el resto es atendida por la Empresa Municipal de Maipú (S.M.A.P.A.).

⁸ Sólo abastece una mínima parte, siendo mayoritariamente atendida por Aguas Cordillera y una parte por Aguas Manquehue.

⁹ Abastece una parte, el resto es atendida por la Empresa Municipal de Maipú (S.M.A.P.A.).

¹⁰ Existe una pequeña zona atendida por la Empresa Santa Rosa del Peral.

6. Aguas Santiago Poniente

Abastece los sectores de Loteo Industrial en Lo Prado, Fundo Casas de Lo Prado, en la comuna de Pudahuel. Abastece un área de 1.055[há], lo que corresponde a un 1,48% del área de Santiago.

7. Empresa de Servicios Sanitarios de Lo Prado S.A. (S.E.P.R.A.)

Abastece el sector de Ciudad de Los Valles, comuna de Pudahuel. El área abastecida es de 494,0[há], lo que corresponde a un 0,69% del área de Santiago.

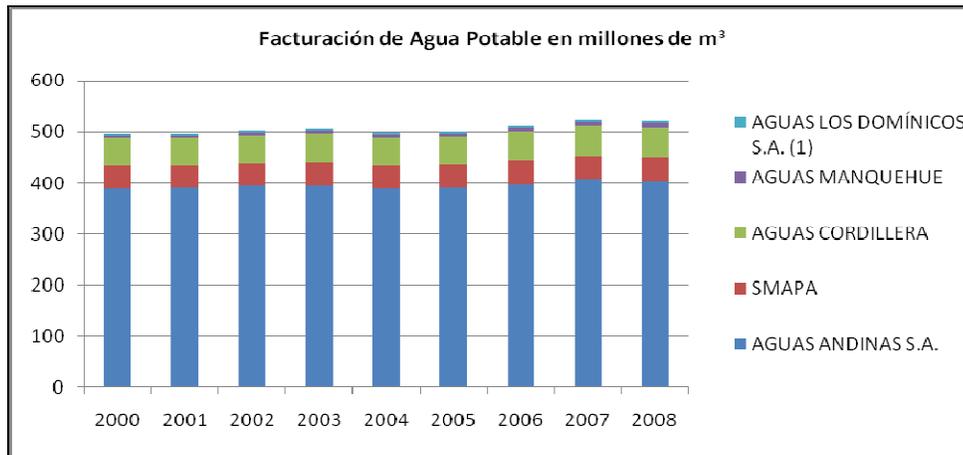
8. Servicio Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Maipú (S.M.A.P.A.)

Abastece las comunas de Maipú, Cerrillos y parte de Estación Central, además del sector de Barrio Residencial Lomas de Maipú y Sector Los Bosquinos, en la comuna de Maipú. El área abastecida es de 7.514,6[há], lo que corresponde a un 10,52% del área de Santiago.

4.2.1 Cálculo de la Dotación de Agua Potable

La dotación de agua potable corresponde al volumen de agua efectivamente consumido por la población, por lo que se debe calcular con el consumo facturado que entregan las Empresas Sanitarias en forma anual. A continuación se presenta un gráfico con la Facturación de las principales Empresas Sanitarias de Santiago.

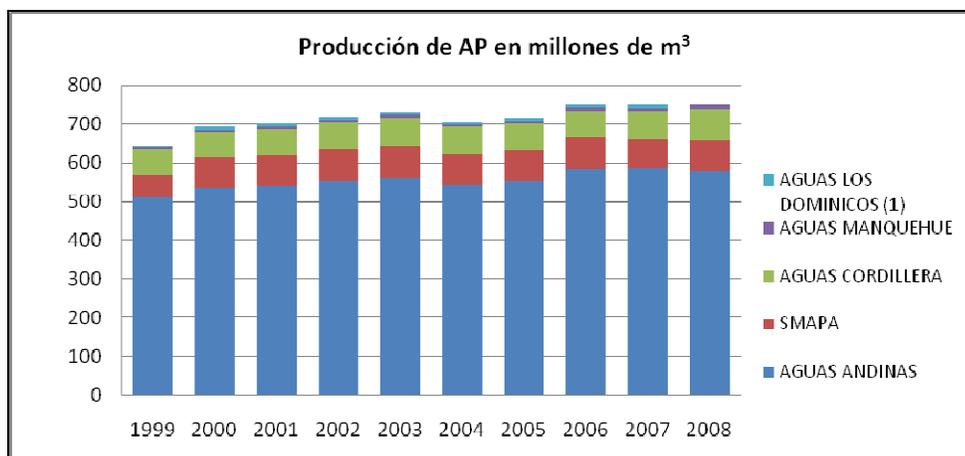
Gráfico 11: Facturación de Agua Potable de las principales Empresas Sanitarias del Gran Santiago



(1) Esta Empresa fue absorbida por Aguas Cordillera S.A. el año 2008

Si bien, este volumen de agua es el que consumen los habitantes de la ciudad, éste no corresponde al agua que se produce en las Plantas de Tratamiento, pues existen pérdidas en el sistema de producción y en el de distribución, así también, los volúmenes producidos en las Plantas de Tratamiento, no corresponden a los captados en la toma. Las pérdidas entre la toma y la producción, se considerarán de un 5% de lo extraído, de acuerdo a la experiencia de las EE.SS. Por otro lado, las pérdidas entre el sistema de producción y distribución, corresponden a un valor un poco mayor, el que implica un aumento considerable, respecto a lo que los habitantes de la ciudad consumen de manera efectiva (consumo facturado). Esta pérdida se puede deducir observando el siguiente gráfico, que entrega la producción de agua potable para las principales Empresas Sanitarias del Gran Santiago.

Gráfico 12: Producción de Agua Potable de las principales Empresas Sanitarias del Gran Santiago



(1) Esta Empresa fue absorbida por Aguas Cordillera S.A. el año 2008

Como se puede observar, las pérdidas anuales bordean los 200 millones de metros cúbicos de agua potable, entre la etapa de producción y el momento en que los clientes consumen efectivamente el agua. Esta situación genera un trade-off entre la conveniencia de aumentar los niveles de producción, dada una cierta pérdida, y la posibilidad de disminución de ésta, para evitar tener que producir más agua potable de la que se consumirá, incurriendo en gastos innecesarios de producción. Algunos de los factores que gobiernan esta decisión son económicos o se deben a la escasez de agua, esto último implica que no es posible producir agua potable en mayor cantidad, este escenario es el que se tiene en las primeras regiones de Chile, en donde las fuentes de agua potable son principalmente subterráneas, y la disponibilidad limita la producción, obligando a las Empresas Sanitarias a mejorar su sistema de producción disminuyendo sus pérdidas. Ahora bien, en el Gran Santiago, como se ha mencionado anteriormente, la principal fuente de AP es superficial, correspondiendo al río Maipo, pero si éste disminuyera su caudal, entonces también se necesitará disminuir las pérdidas de AP que se están produciendo, y que en estos últimos años han ido en aumento. Al año 2008, se alcanzan niveles cercanos al 30%, lo que implica una pérdida de un poco más de 212 millones de m³ de agua potable al año (Fuente: Planes de Desarrollo EE.SS.). En la siguiente Tabla, se presentan los porcentajes de pérdida de AP de las principales Empresas Sanitarias del Gran Santiago.

Tabla 15: Porcentajes de Pérdidas de las principales Empresas Sanitarias del Gran Santiago

Empresa	Pérdidas Porcentuales								
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
AGUAS ANDINAS	27,3%	27,9%	29,0%	29,5%	28,5%	29,4%	32,0%	30,9%	30,7%
SMAPA	42,2%	44,4%	46,3%	46,3%	42,1%	43,4%	43,1%	40,4%	41,5%
AGUAS CORDILLERA	15,6%	20,0%	19,4%	21,8%	20,9%	19,2%	16,7%	13,1%	24,2%
AGUAS MANQUEHUE	17,7%	19,6%	21,9%	17,5%	17,6%	15,0%	14,4%	9,8%	10,9%
AGUAS LOS DOMINICOS (1)	57,7%	38,5%	38,2%	34,1%	35,5%	39,5%	24,7%	20,4%	-
TOTAL GRAN SANTIAGO	28,2%	29,0%	30,0%	30,6%	29,2%	30,0%	31,5%	29,8%	30,2%

(1) Esta Empresa fue absorbida por Aguas Cordillera S.A. el año 2008

Luego, utilizando la proyección de población calculada en el ítem anterior para el período 1999-2008, se obtienen las dotaciones de agua potable según la siguiente fórmula:

Ecuación 4-8

$$Dotación = \frac{Facturación}{Habitantes} \left[\frac{lt}{hab \cdot día} \right]$$

En la siguiente tabla, se entregan las dotaciones ajustadas para el periodo 2000-2008.

Tabla 16: Dotaciones Periodo 2000-2008

Año	Proyección Vegetativa	Facturación	Dotación	Dotación
	[hab]	[m ³]	[m ³ /hab/año]	[l/hab/día]
2000	5.234.192	497.220.605	95,0	260,3
2001	5.313.310	496.464.985	93,4	256,0
2002	5.392.428	502.412.777	93,2	255,3
2003	5.471.546	506.467.940	92,6	253,6
2004	5.550.664	498.479.734	89,8	246,0
2005	5.629.782	500.870.969	89,0	243,7
2006	5.708.900	512.505.858	89,8	246,0
2007	5.788.019	524.629.884	90,6	248,3
2008	5.867.137	522.453.051	89,0	244,0

Para concluir qué dotación se debe utilizar, o qué tendencia se debería asumir para el periodo 2035-2065, primero se realizó una línea de tendencia con los datos anteriores, obteniéndose la siguiente expresión lineal:

Ecuación 4-9

$$Dot = -1,9439 \cdot t + 260,07$$

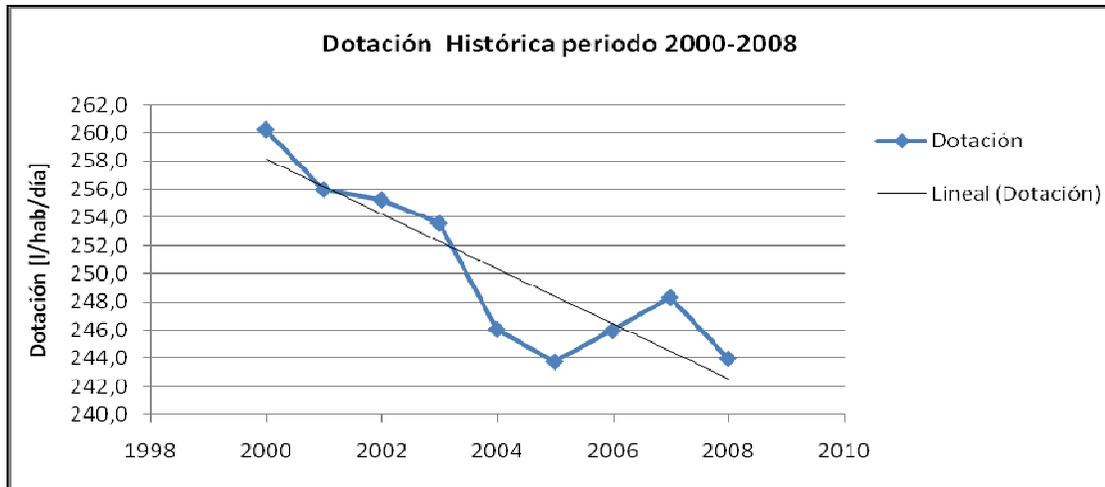
$$R^2 = 0,779$$

Donde $t=1$ corresponde al año 2000. Con esta línea de tendencia, los valores para la dotación en el período de ajuste 1999-2008, son los que se indican en la siguiente tabla. Además, se presenta un gráfico en donde se encuentra también la línea de tendencia ajustada.

Tabla 17: Dotaciones según Línea de Tendencia de Datos Actuales

Año	Dotación Tendencia
	[lt/hab/día]
2000	258,1
2001	256,2
2002	254,2
2003	252,3
2004	250,3
2005	248,4
2006	246,4
2007	244,5
2008	242,5

Gráfico 13: Tendencia de las Dotaciones en el periodo 2000-2008



El gráfico anterior permite observar el decrecimiento de las dotaciones de agua potable a lo largo del tiempo, esto podría deberse a un uso racionalizado del agua por el aumento de su precio en el mercado, lo que permitiría que la población ajuste su consumo, hasta demandar sólo lo necesario, evitando su uso ineficiente. Otra razón, podría ser una mayor conciencia del valor del agua por parte de la población, lo que sucede cada vez que se producen campañas de concientización que incentiven a la población a realizar un uso eficiente del agua, ya que su uso irracional podría afectar negativamente su economía y el medio ambiente.

Ya que se pretende proyectar dotaciones para el periodo 2035-2065, se planteó en primera instancia utilizar la tendencia que siguen los datos observados en el gráfico anterior, pero debido a que la pendiente de la recta es demasiado alta, existe una rápida disminución de la dotación, obteniéndose valores muy bajos para el periodo en análisis, como se muestra en la siguiente Tabla:

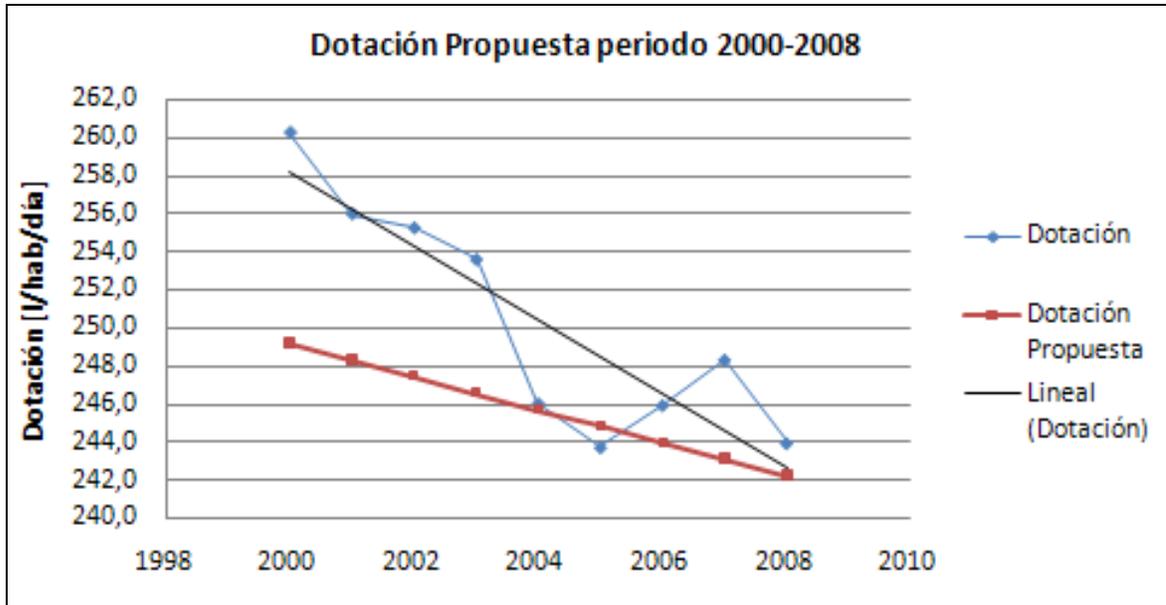
Tabla 18: Dotación calculada con la Línea de Tendencia de la Dotación Histórica

Año	Dotación [l/hab/día]	Año	Dotación [l/hab/día]	Año	Dotación [l/hab/día]
2035	190,1	2046	168,7	2057	147,3
2036	188,1	2047	166,7	2058	145,4
2037	186,2	2048	164,8	2059	143,4
2038	184,2	2049	162,8	2060	141,5
2039	182,3	2050	160,9	2061	139,5
2040	180,3	2051	159,0	2062	137,6
2041	178,4	2052	157,0	2063	135,6
2042	176,5	2053	155,1	2064	133,7
2043	174,5	2054	153,1	2065	131,7
2044	172,6	2055	151,2	2066	129,8
2045	170,6	2056	149,2		

Como se observa, se alcanzan dotaciones muy bajas, entre 130-190 [l/hab/día], valores que sería improbable alcanzar considerando los usos básicos que tiene el agua en la vida del ser humano. Por esta razón, se decidió realizar un ajuste lineal de los datos, variando la pendiente y el coeficiente de posición, hasta encontrar una tendencia que permitiera obtener dotaciones no menores a 180[l/hab/día], que es la dotación mínima que se impuso. Se eligió este valor como cota inferior, pues se considera que una dotación de 180 [l/hab/día] sería suficiente para satisfacer las necesidades básicas de consumo de agua.

A continuación, se representa en un gráfico la tendencia de la *Dotación Propuesta (DP)* para el periodo 2000-2008.

Gráfico 14: Dotación propuesta para el periodo actual



La Ecuación que representa la *Dotación Propuesta* que se obtuvo con el análisis gráfico antes descrito, para el periodo entre los años 2035-2065, se caracteriza por la siguiente expresión lineal:

Ecuación 4-10

$$DP = -0,8699 \cdot t + 250,07$$

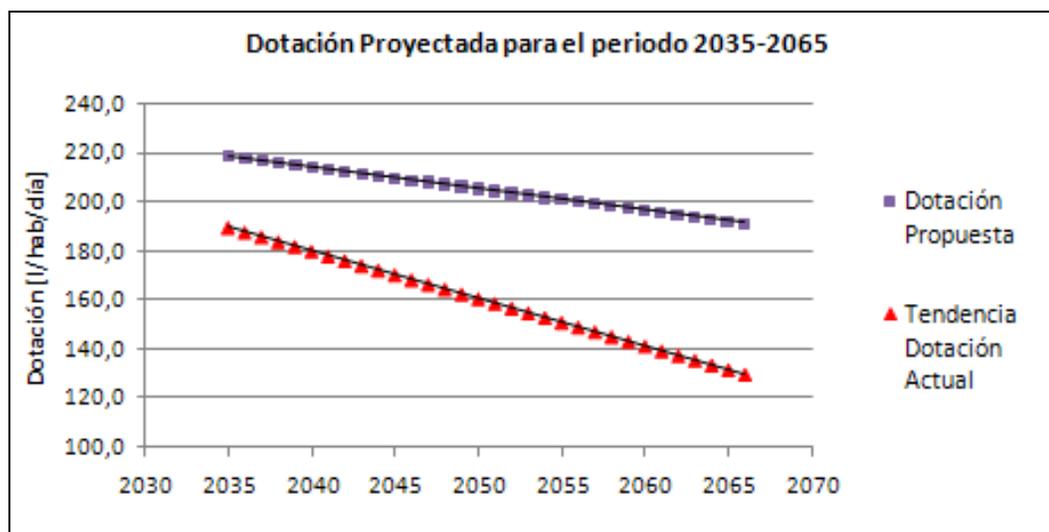
Con $t=1$ al año 2000. El coeficiente de determinación de la muestra respecto a los valores calculados con la *Ecuación 4-10*, es $R^2=0,779$, un valor que no es muy alto, pero que evidencia cierta relación entre las dotaciones en el tiempo. Las proyecciones de dotación se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 19: Dotación Propuesta periodo 2035-2065

Año	Dotación Propuesta	Año	Dotación Propuesta
	[l/hab/día]		[l/hab/día]
2035	218,8	2051	204,8
2036	217,9	2052	204,0
2037	217,0	2053	203,1
2038	216,1	2054	202,2
2039	215,3	2055	201,4
2040	214,4	2056	200,5
2041	213,5	2057	199,6
2042	212,7	2058	198,7
2043	211,8	2059	197,9
2044	210,9	2060	197,0
2045	210,1	2061	196,1
2046	209,2	2062	195,3
2047	208,3	2063	194,4
2048	207,4	2064	193,5
2049	206,6	2065	192,7
2050	205,7	2066	191,8

Como se dijo anteriormente, si se asumiera como tendencia la existente en los datos actuales, se tendrían dotaciones muy bajas, tal como se muestra en el siguiente gráfico, en donde también se presenta la dotación propuesta, que será la que se utilice para calcular la demanda de agua potable.

Gráfico 15: Proyección de Dotación Propuesta versus la Dotación que sigue la tendencia actual para el periodo 2035-2065



En el siguiente Ítem, se calcularán las demandas de agua potable utilizando las dotaciones ya mencionadas en la *Tabla 19: Dotación Propuesta periodo 2035-2065*.

4.2.2 Cálculo de la Demanda de Producción de Agua Potable

La demanda de agua potable depende de la población y de la dotación, datos que se han calculado anteriormente. Ahora bien, en este estudio interesa conocer el comportamiento de la demanda frente a tres posibles variaciones de estos datos. Los escenarios que se plantean son los siguientes:

ESCENARIO A:

Este escenario de demanda de agua potable se calcula utilizando la proyección de dotación propuesta en la *Ecuación 4-10* y que se encuentra detallada en la *Tabla 19*. Además, se supondrá una pérdida de un 30% entre la producción y la facturación del agua. Este es un valor promedio que representa las pérdidas de las Empresas Sanitarias del Gran Santiago, tal como es posible observar en la *Tabla 15*, del *Capítulo 4.2.1 Cálculo de la Dotación de Agua Potable*.

ESCENARIO B:

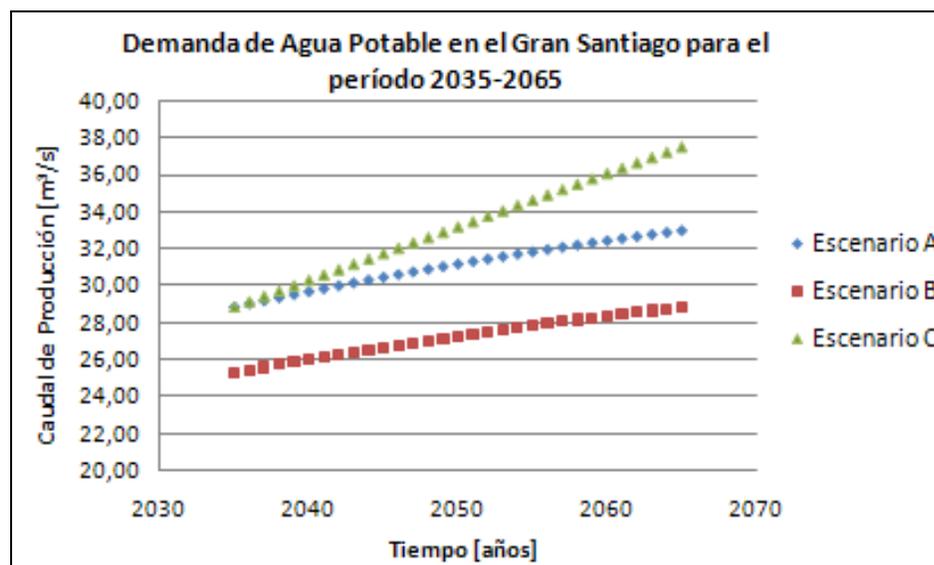
Este escenario de demanda de agua potable, se calcula de igual forma que el escenario anterior, es decir, utilizando la Dotación Propuesta de agua potable para la población, pero con una pérdida controlada de un 20%. Este escenario implica una inversión en el mejoramiento de los sistemas de producción y distribución, que permitan evitar pérdidas que pudiesen tener una influencia importante en una situación futura con altos déficit de agua.

ESCENARIO C:

Este escenario de demanda de agua potable es el más crítico, se calcula con una dotación constante de 218,8[l/hab/día] y pérdidas de un 30% entre la producción y la facturación del agua potable. Se escoge la dotación mencionada, pues es la dotación inicial asumida para los Escenarios A y B, así, con este escenario se pretende evaluar la situación que se podría generar al tener una dotación alta y, además, pérdidas no controladas de agua.

A continuación, se entrega un Gráfico con los caudales demandados para cada escenario propuesto.

Gráfico 16: Demanda de Producción de Agua Potable proyectada para el periodo 2035-2065



Los datos representados en el gráfico anterior, se encuentran en la siguiente Tabla:

Tabla 20: Demandas de Agua Potable para los Escenarios A, B y C.

Año	Demanda Escenario A	Demanda Escenario B	Demanda Escenario C
	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
2035	28,95	25,33	28,95
2036	29,12	25,48	29,23
2037	29,29	25,62	29,52
2038	29,45	25,77	29,81
2039	29,61	25,91	30,09
2040	29,77	26,05	30,38
2041	29,93	26,19	30,66
2042	30,09	26,33	30,95
2043	30,24	26,46	31,24
2044	30,39	26,60	31,52
2045	30,54	26,73	31,81
2046	30,69	26,86	32,10
2047	30,84	26,98	32,38
2048	30,98	27,11	32,67
2049	31,12	27,23	32,95
2050	31,26	27,35	33,24
2051	31,39	27,47	33,53
2052	31,53	27,59	33,81
2053	31,66	27,70	34,10
2054	31,79	27,81	34,38
2055	31,91	27,92	34,67
2056	32,04	28,03	34,96
2057	32,16	28,14	35,24
2058	32,28	28,24	35,53
2059	32,40	28,35	35,82
2060	32,51	28,45	36,10
2061	32,63	28,55	36,39
2062	32,74	28,64	36,67
2063	32,84	28,74	36,96
2064	32,95	28,83	37,25
2065	33,06	28,92	37,53

Esta demanda anual se utiliza en el cálculo del Balance Oferta-Demanda de agua en la verificación de la existencia de agua suficiente para el consumo humano.

4.3 Demanda de Riego en el río Maipo

Otro elemento importante en el análisis del efecto del cambio climático sobre el río Maipo, es la demanda que se produce por parte de los regantes sobre el río, los que en la actualidad tienen un 75,5% de los derechos de agua, aproximadamente. Resulta importante conocer la demanda de agua para riego, pues es necesaria para realizar el Modelo de Simulación del Balance Hídrico en el sistema del río Maipo, esto porque parte de los derechos de los regantes proviene del río Yeso, el que es afluente del embalse de agua potable del mismo nombre. Del río Yeso, a los regantes les

pertenece la misma fracción de agua que les corresponde del río Maipo, y ésta se les entrega en la medida que necesitan el agua, cuando no les alcanza con la que sacan directamente del río Maipo. Si en el mes, el agua que extraen del río Maipo no les alcanza para satisfacer la demanda mensual, entonces piden a Aguas Andinas, quién administra el Embalse El Yeso, que libere el agua que necesitan desde el Embalse El Yeso, teniendo como límite la fracción de agua que les corresponde del río Yeso. Si por el contrario, en el mes en cuestión se logra satisfacer la demanda de riego sólo con el agua que extraen directamente del río Maipo, entonces pierden el volumen de agua que les correspondía, y Aguas Andinas la almacena, pasando a ser parte de sus derechos eventuales, si es que se produjera escasez en la producción de agua potable.

En la siguiente tabla se entrega la demanda de riego en el río Maipo, la que se obtiene del estudio *Análisis Operacional del Embalse El Yeso, de EMOS-AC*, del año 1994:

Tabla 21: Demandas de Riego en el río Maipo

MES	Demanda
	[m ³ /s]
Abril	83,90
Mayo	70,40
Junio	65,90
Julio	66,10
Agosto	64,90
Septiembre	82,70
Octubre	113,60
Noviembre	136,95
Diciembre	150,20
Enero	148,00
Febrero	141,40
Marzo	99,05
Demanda Promedio	101,93
Demanda Máxima	150,20
Demanda Mínima	64,90

Como se observa en la Tabla anterior, la demanda media anual es de 101,9[m³/s], con una demanda máxima de 150,2[m³/s], en el mes de Diciembre; mientras que la mínima demanda ocurre en el mes de Agosto con 64,9[m³/s]. Esta estacionalidad corresponde justamente a la estacionalidad de los cultivos, los que disminuyen su consumo desde el río en los meses pluviales (abril-septiembre) y lo aumentan durante los meses de escasez de lluvias (octubre-marzo). Por simplicidad, se utilizarán estos datos para la modelación del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable en el Gran Santiago.

5. ANÁLISIS CRÍTICO

5.1 Variables en el Balance Oferta-Demanda

Para verificar la existencia de déficit en el Sistema de Abastecimiento de Agua Potable, se debe realizar un Balance Oferta-Demanda (BOD), es decir, un balance entre la disponibilidad de agua en captaciones superficiales y subterráneas, y la demanda de agua potable calculada en el *Capítulo 4: Demanda de Agua* para el periodo 2035-2065. Existen dos aspectos que interesa revisar al realizar este análisis, primero, incluir el efecto del cambio climático en la principal fuente de agua superficial del Gran Santiago, el río Maipo; y, segundo, establecer si existe déficit en los escenarios a analizar utilizando diversos Criterios de Seguridad, para luego, si existe tal déficit, presentar Medidas de Acción que permitan tener un balance no negativo.

Este Balance se realiza a través de un modelo de simulación de las captaciones de agua potable y demandas de agua que presenta el Sistema de Abastecimiento de Agua Potable en el Gran Santiago. El programa utilizado para construir esta simulación fue *Microsoft Office Excel®*.

La información requerida para construir el modelo es la siguiente:

- Proyección de Demanda de Agua Potable en el Gran Santiago.
- Demandas de Riego sobre el río Maipo.
- Derechos de Agua de las Empresas Sanitarias del Gran Santiago.
- Disponibilidad de agua en Fuentes Superficiales.
- Disponibilidad de agua en Fuentes Subterráneas.
- Capacidad y derechos de agua disponibles en el Embalse El Yeso.

5.1.1 Demanda de Agua Potable en el Gran Santiago

En este estudio interesa conocer tanto las demandas de agua potable en el Gran Santiago, como las demandas de agua para riego del río Maipo; en particular, estas últimas permiten conocer la operación que debe realizar el Embalse El Yeso, para satisfacer tanto las necesidades de agua potable, como de riego de la zona.

Las demandas de AP ingresadas al Balance Hídrico, corresponden a las calculadas en el *Capítulo 4.2: Proyección de Demanda de Agua Potable para el Gran Santiago*, en sus tres escenarios planteados; estos son:

- **Escenario A:** Escenario de demanda de AP calculada utilizando la proyección de dotación propuesta en la *Ecuación 4-10*, con una pérdida de un 30%.
- **Escenario B:** Escenario de demanda de AP calculada de igual forma que en el Escenario A, pero con una pérdida controlada de un 20%.
- **Escenario C:** Escenario de demanda de AP calculada con una dotación constante de 218,8[l/hab/día] y pérdidas de un 30%.

El Balance fue realizado a nivel mensual, y como se puede observar en la *Tabla 20: Demandas de Agua Potable para los Escenarios A, B y C*, los valores de demanda que se tienen son medios anuales, entonces, se debe aplicar un factor de distribución que permita obtener demandas medias mensuales para el periodo en estudio. La Ecuación planteada para obtener los caudales medios mensuales, es la siguiente:

Ecuación 5-1

$$D_j^i = FD_j^i \cdot D_j$$

Donde, D_j^i corresponde a la demanda en el mes i y año j , D_j calculada para el año j y FD_j^i es el Factor de Distribución para el mes i , que permite asignar la Demanda del año j para cada mes. Este factor se obtiene calculando el promedio mensual de cada año del que se tiene información, y para cada mes se calcula la siguiente proporción:

Ecuación 5-2

$$FD_j^i = \frac{\text{Facturación}^i}{\text{Promedio Anual}_j}$$

Por simplicidad, se decidió utilizar los Factores de Distribución de demanda mensual del año 2008 para calcular la demanda mensual para el periodo 2035-2065. Es decir, las demandas mensuales para un año j cualquiera, se calcularán como:

Ecuación 5-3

$$D_j^i = FD_{2008}^i \cdot D_j$$

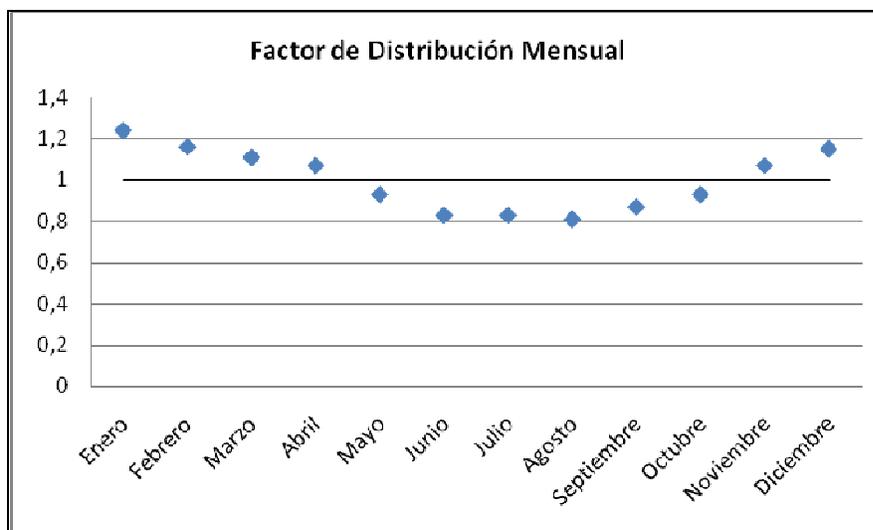
Esta distribución se observa en la siguiente Tabla:

Tabla 22: Factores de Distribución Mensual Año 2008

Mes	Demanda Mensual	Factor de Distribución Mensual
	[m ³]	
Enero	54.096.465	1,24
Febrero	50.581.959	1,16
Marzo	48.111.456	1,11
Abril	46.536.202	1,07
Mayo	40.598.591	0,93
Junio	36.060.391	0,83
Julio	36.334.022	0,83
Agosto	35.377.675	0,81
Septiembre	37.808.175	0,87
Octubre	40.358.442	0,93
Noviembre	46.709.484	1,07
Diciembre	49.880.189	1,15

Lo que gráficamente se representa como:

Gráfico 17: Factor de Distribución Mensual utilizado



La forma de la curva que representa a los factores de distribución mensual de demanda en el *Gráfico 17*, es la esperada, ya que los meses de mayor consumo de agua son los meses estivales, para luego disminuir en los meses de invierno, que concuerda con los resultados obtenidos para los Factores de Distribución Mensual.

Luego, con estos factores, se calculó la demanda mensual para el periodo en estudio y dado que el balance hídrico se realizará en unidades volumétricas, los caudales obtenidos se debieron traspasar a volumen.

A esta demanda mensual hay que agregarle la pérdida producida entre la toma de agua en el río y el punto de producción de agua potable. Como se mencionó anteriormente, el valor que se adopta para estas pérdidas es de un 5%; es decir, de un 100% que se extrae desde el río, sólo un 95% llegaría al punto de producción. Es importante mencionar, que esta pérdida está asociada sólo a la demanda de agua desde fuentes superficiales.

Para conocer la demanda neta de agua que se requiere para satisfacer a la zona del Gran Santiago, se entregan a continuación los porcentajes que indican cuál es la proporción de proveniencia del agua demandada por las principales EE.SS. de la zona.

Tabla 23: Procedencia del agua demandada por cada Empresa Sanitaria

Empresa	Agua Superficial	Agua Subterránea
AGUAS ANDINAS	88,4%	11,6%
SMAPA	0,0%	100,0%
AGUAS CORDILLERA	80,0%	20,0%
AGUAS MANQUEHUE	44,9%	55,1%
AGUAS LOS DOMINICOS (1)	100,0%	0,0%

(1): Aguas Los Dominicos fue absorbida por Aguas Cordillera el año 2008

Con estos valores, junto a la información de producción de agua, es posible calcular la proporción que se obtiene efectivamente desde fuentes superficiales. Esto se realiza para cada empresa sanitaria y para cada uno de los años de los que se tiene registro de la producción. Primero, se

calcula la Producción Total Anual de Agua Superficial que se realiza en todas las EE.SS. Este valor está representado por:

Ecuación 5-4

$$Prod_Total_j^{A_Sup} = \sum_k Prod_j^k \cdot F_{A_Sup}^k$$

Donde: $Prod_Total_j^{A_Sup}$: Producción Total de Agua Superficial realizada por todas las EE.SS. para el año j .

$Prod_j^k$: Producción de la Empresa k para el año j .

$F_{A_Sup}^k$: Fracción de Producción de Agua Superficial para la Empresa k .

Luego, se calcula la fracción de agua que es obtenida desde fuentes superficiales para cada año, dividiendo cada uno de los resultados anteriores por la Producción Total Anual de Agua (incluyendo Superficial y Subterránea). Finalmente, para calcular la fracción de producción de agua superficial que se utilizará en el cálculo de la demanda mensual, se suman todas las fracciones de agua obtenidas para cada año y se divide por la cantidad de años con registro, calculándose un promedio de los factores anuales. Lo anterior, se representa por la siguiente fórmula:

Ecuación 5-5

$$F_{A_Sup} = \frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{Prod_Total_j^{A_Sup}}{Prod_Total_j} \right)}{n}$$

Donde: F_{A_Sup} : Fracción de Producción de Agua Superficial para todas las EE.SS.

$Prod_Total_j$: Producción Total realizada por todas las EE.SS. en el año j .

n : Número de años de los que se tiene registro.

El factor obtenido fue $0,79$, es decir, un 79% del agua demandada proviene, en promedio a lo largo de los años que se tiene registro, de fuentes superficiales. Entonces, el cálculo de la demanda de agua para cada escenario, queda expresado por:

Ecuación 5-6

$$D_{j_corr}^i = \frac{F_{A_Sup} \cdot D_j^i}{0,95} + D_j^i \cdot (1 - F_{A_Sup})$$

Donde: $D_{j_corr}^i$: Demanda corregida en el mes i y el año j .

D_j^i : Demanda en el mes i y año j , obtenida con la Ecuación 5-3.

En esta expresión, el primer término corresponde a la demanda que se satisface con Aguas Superficiales y el segundo término, es el que corresponde a Aguas Subterráneas.

De esta forma, se calculó la demanda de agua para AP en cada mes del periodo y para cada Escenario.

5.1.2 Demandas de Riego sobre el río Maipo

Dado que en el presente Trabajo de Título se pretenden analizar varios escenarios posibles en el Balance Hídrico del Sistema de Agua Potable, se hace necesario establecer posibles demandas de riego que permitan representar el volumen de agua consumida por los regantes. Se supondrán dos Escenarios de Demanda de Riego, los que se plantean a continuación:

- **Escenario de Demanda de Riego Favorable para Agua Potable.** Este Escenario corresponde a una demanda de riego proporcional a la demanda actual y a la cantidad de derechos de aprovechamiento de agua que tenga el escenario supuesto.

En el Balance Hídrico se supondrán aumentos en la cantidad de derechos de aprovechamiento de agua que existen actualmente para agua potable en el Maipo. Esto implicaría una reducción en los derechos para riego. Por ello se supone que la demanda de riego actual disminuiría en forma proporcional a lo que disminuiría la disponibilidad de agua en el río Maipo para uso en riego.

De esta forma, en este escenario la demanda de riego se calculará de la siguiente manera:

$$DR_i^{Fav-Proy} = \frac{100 - \%D_{AP}^{Fav-Proy}}{100 - \%D_{AP}^{Actual}} \cdot DR_i^{Actual}$$

Donde: $DR_i^{Fav-Proy}$: Demanda de riego Favorable para AP proyectada para el mes i .

DR_i^{Actual} : Demanda de riego actual en el mes i .

$\%D_{AP}^{Fav-Proy}$: Porcentaje de Derechos de Aprovechamiento de aguas supuesto en la proyección, para agua potable.

$\%D_{AP}^{Actual}$: Porcentaje de Derechos de Aprovechamiento de aguas actual para agua potable.

- **Escenario de Demanda de Riego Desfavorable para Agua Potable.** Este escenario corresponde a una demanda de riego constante para todos los meses, e igual a 150,2[m³/s], que corresponde a la demanda máxima mensual que se obtuvo en el estudio realizado por EMOS-AC (1994) y que se supondrá igual a la capacidad máxima de los canales usados por los regantes en el río Maipo.

Con estos escenarios de demanda de riego, se simulará la influencia de los regantes del río Maipo, en el Sistema de Abastecimiento de Agua Potable del Gran Santiago.

Un ejemplo de las demandas supuestas en estos escenarios, se puede ver a continuación, para un porcentaje de derechos de aprovechamiento de 30% para agua potable:

Tabla 24: Ejemplo Demanda de Riego Favorable y Desfavorable para AP.

MES	Favorable	Desfavorable
	[m ³ /s]	[m ³ /s]
Abril	77,7	150,2
Mayo	65,2	150,2
Junio	61,1	150,2
Julio	61,3	150,2
Agosto	60,1	150,2
Septiembre	76,6	150,2
Octubre	105,3	150,2
Noviembre	126,9	150,2
Diciembre	139,2	150,2
Enero	137,2	150,2
Febrero	131,0	150,2
Marzo	91,8	150,2

5.1.3 Derechos de Agua de las Empresas Sanitarias del Gran Santiago

La información de Derechos de aprovechamiento de Agua y capacidades se ha rescatado desde los Planes de Desarrollo y Estudios Tarifarios de las principales Empresas Sanitarias presentes en el Gran Santiago, éstas son:

- Aguas Andinas
- Aguas Cordillera
- Aguas Los Domínicos¹¹
- Aguas Manquehue
- Servicio Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Maipú (SMAPA)
- Aguas Santiago
- Aguas Santiago Poniente
- Empresa de Servicios Sanitarios Lo Prado S.A. (SEPPRA)
- Aguas Lo Aguirre

La siguiente Tabla contiene los Derechos de Agua de las Empresas Sanitarias del Gran Santiago, mencionadas anteriormente.

¹¹ El año 2008 Aguas Los Domínicos fue absorbida por Aguas Cordillera.

Tabla 25: Derechos de Aprovechamiento de Agua de las Empresas Sanitarias del Gran Santiago

Aguas Superficiales		
Derechos Fuente Maipo ¹²	[accs]	1.989,40
Derechos Fuente Mapocho ¹³	[m ³ /s]	1,41
Derechos Fuentes Superficiales Menores ¹⁴	[m ³ /s]	1,93
Derechos Aguas Andinas en Embalse El Yeso	[MMm ³ /anual]	400,00
Aguas Subterráneas		
Aguas Andinas	[m ³ /s]	10,10
Aguas Cordillera	[m ³ /s]	2,05
Aguas Manquehue	[m ³ /s]	1,23
Aguas Santiago	[m ³ /s]	0,48
SMAPA	[m ³ /s]	4,92
SEPRA	[m ³ /s]	0,20
Aguas Santiago Poniente	[m ³ /s]	0,26
Aguas Lo Aguirre	[m ³ /s]	0,16
Derechos Fuentes Subterráneas	[m ³ /s]	19,42
Derechos Totales	[m³/s]	36,51

En la Tabla anterior, los derechos de aprovechamiento de agua del río Maipo se entregan en acciones, es decir, el río es particionado, y se ha asignado una cantidad de agua a todo quien solicitó extraer caudal desde él. En el caso del río Maipo, éste fue dividido en 8.133 acciones permanentes, de las cuales, 1.989,4 se utilizan actualmente en la producción de agua potable. De la misma manera, hay asignados una cantidad definida de derechos de aprovechamiento para los regantes y asociaciones de canalistas, empresas que requieren extraer agua, como las industrias papeleras y centrales hidroeléctricas de la región. El valor al que equivale una acción depende del caudal que lleve el río en su totalidad, por lo que varía mes a mes, dependiendo de la época del año. En este caso y por simplicidad, se dirá que las acciones que no son de Agua Potable, corresponden a derechos de agua para Riego, que como se mencionó en el *Capítulo 4.3 Demanda de Riego en el río Maipo*, son alrededor de un 75,5% del total del río.

Además de lo señalado anteriormente, es importante hacer notar que los derechos que tiene Aguas Andinas sobre el Embalse El Yeso son derechos eventuales, es decir, se satisfacen sólo cuando no hay déficit en el sistema de abastecimiento del río Maipo, en lo que respecta a agua potable.

¹² Considera las acciones existentes de Aguas Andinas (1.538,0 acciones), Aguas Cordillera (282,0 acciones) y Aguas Los Domínicos (169,4 acciones).

¹³ Corresponde al valor promedio anual en la suma de los Sistemas del río Mapocho en San Enrique, Mapocho en Lo Gallo y Mapocho en Los Domínicos .

¹⁴ Corresponde al valor promedio anual en la suma de los Sistemas Estero Arrayán , Sistema La Dehesa, Estero Las Hualtatas, Quebrada de San Ramón y Laguna Negra.

5.1.4 Disponibilidad de agua en Fuentes Superficiales

Los derechos de aprovechamiento de agua en captaciones superficiales naturales fueron divididos en tres tipos:

5.1.4.1 Derechos de agua en Captación del río Maipo

Estos derechos de aprovechamiento corresponden a los de las Empresas Aguas Andinas (1.538 accs), Aguas Cordillera (282 accs.) y Aguas Los Domínicos (169,4 accs), lo que suma 1.989,4 acciones. Como se mencionó anteriormente, la primera sección del río Maipo tiene, en total, 8.133 acciones de uso permanente de agua para los distintos usos que pudiesen existir.

Para traspasar los derechos a caudal, se debe realizar la siguiente proporción:

Ecuación 5-7

$$Q_{AP}^i = \frac{D_{AP}^{os}}{8.133} \cdot Q_{Disp}^i$$

Donde Q_{AP}^i corresponde al caudal de agua cruda que se extrae desde la primera sección del Maipo para tratamiento de potabilización en el mes i ; D_{AP}^{os} son los derechos destinados para agua potable detallados anteriormente, y Q_{Disp}^i es el caudal total disponible en el río Maipo según las proyecciones realizadas en el ítem 3.3 *Proyección del Caudal del río Maipo en el periodo 2035-2065*, para cada mes del periodo.

Cabe señalar, que el caudal del río Maipo en el Manzano que se utiliza en el Modelo corresponde al de régimen natural, y se le descuenta el caudal proveniente del río Yeso, pues éste es ingresado en forma posterior al sistema de abastecimiento, ya que de no ser necesario, se almacena en el Embalse El Yeso, para su uso futuro.

Para analizar la seguridad de abastecimiento frente al Cambio Climático, se desea modificar justamente el valor de $\frac{D_{AP}^{os}}{8.133}$, para establecer si a futuro existirá un déficit en el suministro de agua potable. Para establecer esto, se utilizarán algunos criterios de seguridad de los revisados en el *ANEXO B: Criterios de Seguridad*.

5.1.4.2 Derechos de agua en Captación del río Mapocho

Estos derechos de aprovechamiento corresponden a las Empresas Aguas Manquehue, Aguas Cordillera y la desaparecida Empresa Aguas Los Domínicos. Los caudales proyectados para el Balance Oferta-Demanda, según los respectivos Planes de Desarrollo de Aguas Manquehue (2005), Aguas Cordillera (2005) y Aguas Los Domínicos (2005), se entregan en la siguiente Tabla:

Tabla 26: Caudales correspondientes a los derechos de Aprovechamiento en el río Mapocho

MES	Aguas Manquehue	Aguas Cordillera	Aguas Los Dominicos	TOTAL
	Canal La Dehesa ¹⁵	Río Mapocho ¹⁶	Canal El Bollo Mapocho ¹⁷	
	[l/s]	[l/s]	[l/s]	
Abril	42	686	113	841
Mayo	14	908	124	1.046
Junio	15	925	125	1.065
Julio	19	1.186	161	1.366
Agosto	19	1.186	161	1.366
Septiembre	80	1.248	188	1.516
Octubre	136	1.305	213	1.654
Noviembre	180	1.371	241	1.792
Diciembre	180	1.449	275	1.904
Enero	180	1.393	251	1.824
Febrero	159	1.048	206	1.413
Marzo	85	854	155	1.094

Por simplicidad, para efectos del Balance y debido a que las extracciones del Mapocho representan alrededor de un 10% de las fuentes de AP del Gran Santiago, se considerará que esta fuente es constante en el tiempo. Este supuesto no es necesariamente cierto, pero es válido porque el aporte porcentual es tan bajo, que una variación positiva o negativa, no cambiaría de manera notable los resultados que se obtengan.

5.1.4.3 Derechos de agua en Captaciones Superficiales Menores

Este ítem corresponde a las fuentes de agua tales como Laguna Negra, Quebrada de Ramón, cuyos derechos pertenecen a Aguas Andinas, el Estero Arrayán y Embalse La Dehesa, desde donde extrae la empresa Aguas Cordillera y el Estero Las Hualtatas, cuyos derechos pertenecen a Aguas Manquehue.

Los caudales para el Balance Oferta Demanda fueron obtenidos desde los Planes de Desarrollo de cada una de las empresas sanitarias mencionadas. Sus valores se entregan a continuación:

¹⁵ Caudal captado en la Primera Sección del río Mapocho, el cual está restringido por la capacidad de elevación de la PEAP Pataguas (Q=180 [l/s]).

¹⁶ Caudal con 90% de probabilidad de excedencia.

¹⁷ Caudal mensual Canal El Bollo, correspondiente a Derechos de Aprovechamiento para una probabilidad de excedencia del 90%. La disponibilidad total considera un 5% menos debido a pérdidas de producción.

Tabla 27: Caudales correspondientes a los derechos de Aprovechamiento en Captaciones Superficiales Menores

MES	Aguas Andinas	Aguas Cordillera ¹⁸		Aguas Manquehue ¹⁹	TOTAL
	Laguna Negra + Quebrada San Ramón	Estero Arrayán	Embalse Dehesa	Estero Las Hualtatas	
	[l/s]	[l/s]	[l/s]	[l/s]	
Abril	1.520	150	150	49	1.869
Mayo	1.520	136	150	73	1.879
Junio	1.520	136	150	96	1.902
Julio	1.520	136	150	124	1.930
Agosto	1.520	136	150	212	2.018
Septiembre	1.520	151	150	177	1.998
Octubre	1.520	166	150	127	1.963
Noviembre	1.520	182	150	103	1.955
Diciembre	1.520	202	150	82	1.954
Enero	1.520	188	150	70	1.928
Febrero	1.520	184	150	69	1.923
Marzo	1.520	164	150	57	1.891

Ya que estas captaciones representan entre un 5% y 6% de las fuentes de AP del Gran Santiago, se supondrá para efectos del Balance, que esta fuente es constante en el tiempo, de manera similar a los derechos del río Mapocho.

5.1.4.4 Derechos de agua en el Río Yeso

El río Yeso en régimen natural es un afluente al río Maipo, por lo que la proporción de derechos que corresponden a agua potable en el río Yeso, es la misma que tiene el río Maipo. Actualmente, el porcentaje de derechos corresponde a un 24,46%.

Para calcular el caudal del río Yeso para el periodo en estudio, se realizó un procedimiento similar al que se llevó a cabo para el cálculo del caudal en el río Maipo, es decir, se realizó una regresión lineal con los datos históricos del río Yeso y el río Maipo en San Alfonso, y esta regresión se utilizó para calcular los caudales proyectados en el río Yeso basándose en los caudales proyectados del río Maipo en San Alfonso.

La relación lineal obtenida entre los datos históricos es la siguiente:

Ecuación 5-8

$$Q_{EY} = 0,1054 \cdot Q_{SA} + 0,3174$$

El coeficiente de correlación es de $R^2=0,8175$, valor que permite aceptar la existencia de una relación entre los caudales de ambas cuencas. Los caudales calculados para el río Yeso se encuentran en el [ANEXO G](#).

¹⁸ Caudal con 90% de probabilidad de excedencia.

¹⁹ Caudal en fuente correspondiente a derechos de aprovechamiento para una probabilidad de excedencia el 90%. Incluye pérdidas de la etapa de producción por un 5%.

Ciertamente la cuenca del río Yeso tiene un régimen nival más marcado que la cuenca del río Maipo en San Alfonso, pero debido a la falta de un estudio que permitiese conocer valores para el caudal en el río Yeso para el periodo 2035-2065, se decidió aceptar estos datos como verdaderos, dejando propuesta la posibilidad de usar el Modelo de Simulación que se construyó utilizando caudales del río Yeso más representativos del periodo proyectado.

5.1.5 Disponibilidad de agua en Captaciones Subterráneas

Estos derechos se detallan en la *Tabla 25*, en donde se destacan principalmente los 10,10[m³/s] de Aguas Andinas y los 4,93[m³/s] de SMAPA.

Las fuentes de aguas subterráneas se comportan en forma similar a un embalse, pues se extrae de ellas sólo la cantidad de agua que no ha podido ser abastecida por las fuentes superficiales.

Respecto al uso de los derechos de aprovechamiento de agua, se ha aplicado los factores de uso que corresponde a la proporción entre la cantidad real de agua que es extraída en forma anual, y los derechos totales de aguas subterráneas con los que cuenta cada Empresa Sanitaria. Este factor, es también llamado factor de sostenibilidad de agua subterránea y asumiendo un uso optimista del agua, su valor promedio anual es de 25%, su valor en período de verano será menor o igual a 91% y en invierno, será menor o igual a 20%. Para cada escenario se ajustaron los factores de sostenibilidad de manera de obtener valores dentro de los rangos antes mencionados.

5.1.6 Capacidad y Derechos de agua en el Embalse El Yeso

El Embalse El Yeso recibe como afluente al río del mismo nombre y pertenece al Sistema del Maipo. Tiene una capacidad de 250 millones de metros cúbicos, de los cuales, Aguas Andinas tiene 400 millones de metros cúbicos de derechos eventuales al año, los que permiten el suministro de agua potable en caso de escasez en el Sistema Maipo-Mapocho-Aguas Subterráneas. De esta forma, este embalse se transforma en una de las principales obras de seguridad de Agua Potable en el Gran Santiago.

El embalse tiene una bocatoma profunda, lo que significa la existencia de un volumen muerto de 12[MM m³], reduciendo la capacidad de embalse, desde los 250[MM m³] iniciales, a 238[MM m³]. El caudal máximo que es posible extraer desde el Embalse es de 15[m³/s], lo que limita la capacidad de entrega en caso de déficit.

Para realizar la modelación, se asumirán tres posibles estados iniciales del Embalse:

- Embalse inicialmente Lleno.
- Embalse inicialmente Medio.
- Embalse inicialmente Vacío.

5.2 Escenarios a Analizar

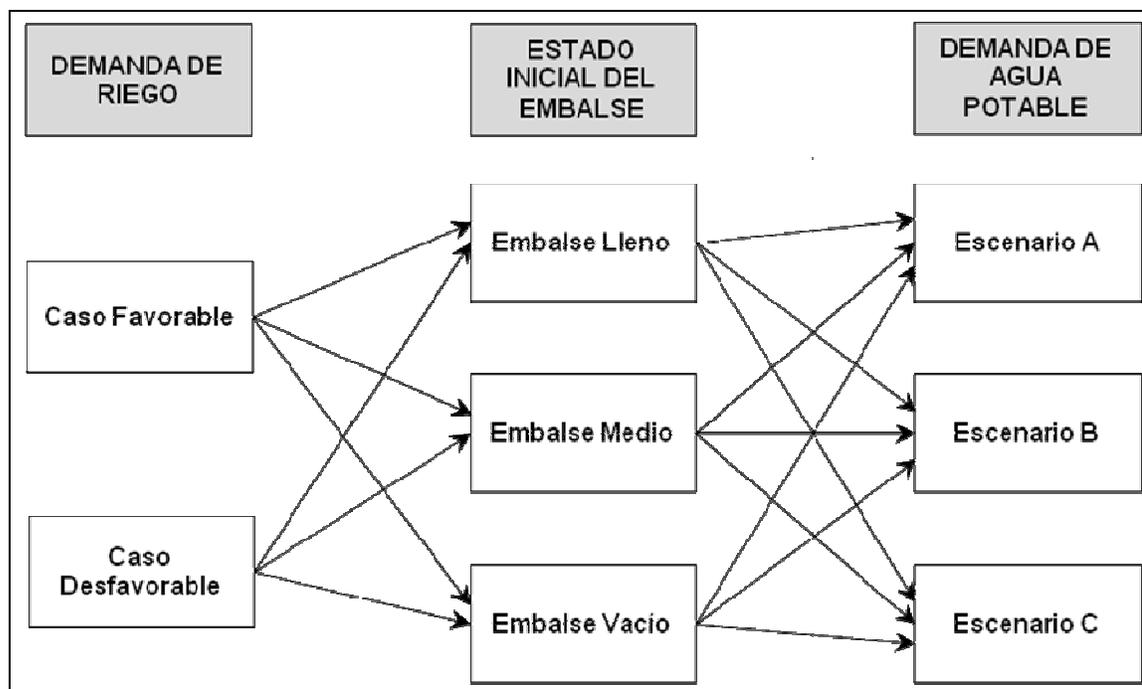
Como se observó en los ítems anteriores, existen varios escenarios a analizar. A modo de resumen, se presentan en la siguiente tabla todos los escenarios posibles:

Tabla 28: Escenarios Posibles para cada elemento en análisis

Variable en Análisis	Escenarios Posibles
Demanda de Riego (DR)	Caso Favorable
	Caso Desfavorable
Estado Inicial del Embalse	Estado Inicial Lleno
	Estado Inicial Medio
	Estado Inicial Vacío
Demanda de Agua Potable	Escenario A
	Escenario B
	Escenario C

Estas variables se combinarán para formar los Escenarios definitivos a analizar, en forma gráfica:

Esquema 1: Relación entre Escenarios Posibles



Lo que se representa en el *Esquema 1*, corresponde a todas las combinaciones posibles entre las variables en análisis, que son en total 18 casos a analizar, los que se entregan en la siguiente tabla:

Tabla 29: Escenarios de Estudio para el Balance Oferta-Demanda

N°	Escenarios de Estudio
1	Caso Favorable DR + Estado Inicial Embalse Lleno + Escenario A
2	Caso Favorable DR + Estado Inicial Embalse Lleno + Escenario B
3	Caso Favorable DR + Estado Inicial Embalse Lleno + Escenario C
4	Caso Favorable DR + Estado Inicial Embalse Medio + Escenario A
5	Caso Favorable DR + Estado Inicial Embalse Medio + Escenario B
6	Caso Favorable DR + Estado Inicial Embalse Medio + Escenario C
7	Caso Favorable DR + Estado Inicial Embalse Vacío + Escenario A
8	Caso Favorable DR + Estado Inicial Embalse Vacío + Escenario B
9	Caso Favorable DR + Estado Inicial Embalse Vacío + Escenario C
10	Caso Desfavorable DR + Estado Inicial Embalse Lleno + Escenario A
11	Caso Desfavorable DR + Estado Inicial Embalse Lleno + Escenario B
12	Caso Desfavorable DR + Estado Inicial Embalse Lleno + Escenario C
13	Caso Desfavorable DR + Estado Inicial Embalse Medio + Escenario A
14	Caso Desfavorable DR + Estado Inicial Embalse Medio + Escenario B
15	Caso Desfavorable DR + Estado Inicial Embalse Medio + Escenario C
16	Caso Desfavorable DR + Estado Inicial Embalse Vacío + Escenario A
17	Caso Desfavorable DR + Estado Inicial Embalse Vacío + Escenario B
18	Caso Desfavorable DR + Estado Inicial Embalse Vacío + Escenario C

El Balance Oferta Demanda se realizará para cada uno de los Escenarios de Estudio presentados anteriormente, estableciendo el efecto de cada variable en análisis sobre la seguridad de suministro de agua potable. Para llevar a cabo esto, se modificará el porcentaje de derechos del río Maipo perteneciente a las EE.SS., desde un 15% a un 40% del río, calculando para cada uno de los 18 escenarios planteados, el déficit existente y la seguridad de suministro, mediante algunos de los índices y criterios planteados en el [ANEXO B: Criterios de Seguridad](#).

5.3 Modelo de Simulación del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable del Gran Santiago

A continuación se presenta la metodología utilizada en el Modelo construido para simular el sistema de abastecimiento de agua potable en el Gran Santiago.

5.3.1 Etapa 1: Establecer Oferta y Demanda

El modelo se opera en forma mensual, es decir, se realiza el balance mes a mes, durante todo el periodo. El primer paso es ingresar las Demandas de Agua Potable en el Gran Santiago, y de Riego, sobre el río Maipo; las que se han mencionado en el ítem *5.1.1 Demanda de Agua Potable en el Gran Santiago* y *5.1.2 Demandas de Riego sobre el río Maipo*; y luego, contrastar estos valores con la oferta de agua existente en la zona.

Para realizar el balance, se impuso un orden de entrada para las fuentes de agua potable disponibles. El orden se estableció priorizando el uso del agua que no es posible embalsar, hasta

llegar a aquellas que son embalsadas si no se utilizan durante el mes en cuestión. De esta forma, el orden de entrada de las fuentes es el siguiente:

1. Río Mapocho y Captaciones Superficiales Menores (C.S.M.).
2. Río Maipo en Régimen Natural (sin incluir el río Yeso).
3. Captaciones Subterráneas.
4. Río Yeso, aguas arriba del Embalse El Yeso.
5. Embalse El Yeso.

De esta forma, se definen cinco Grupos de captaciones que permitirán diferenciar cuáles son las fuentes que se utilizan para cada mes en estudio. Cada Grupo representa el volumen acumulado por todas las captaciones asociadas a él. Los Grupos se definen a continuación:

Grupo 1²⁰:

Volumen de agua del río Mapocho y de las Captaciones Superficiales Menores (C.S.M.).

Grupo 2:

Volumen acumulado de agua del *Grupo 1*, más el aporte de los derechos de aprovechamiento del río Maipo que corresponden a las Empresas Sanitarias en conjunto.

Grupo 3:

Volumen acumulado de agua del *Grupo 2*, más aporte proveniente de las captaciones subterráneas.

Grupo 4:

Volumen acumulado de agua del *Grupo 3*, más aporte proveniente de los derechos de aprovechamiento del río Yeso que corresponden a las Empresas Sanitarias, por ser éste un afluente al río Maipo.

Grupo 5:

Volumen acumulado de agua del *Grupo 4*, más volumen extraído desde el Embalse El Yeso. El volumen disponible en el *Grupo 5* representa la oferta máxima de agua potable disponible para cada mes, por lo que, en principio, se sabe que una demanda mayor a ese volumen, no puede ser satisfecha.

De esta manera, para cada mes se verifica uno a uno con cada Grupo, si es suficiente con el volumen que éste tiene almacenado, para satisfacer la demanda. Si la demanda es satisfecha con el volumen acumulado en el primer Grupo, se realiza el Balance con esta oferta. Si no, se continúa verificando con el Grupo siguiente. Por ejemplo, si en un mes se utiliza el Grupo 4 para abastecer el sistema, esto implica que el volumen de agua acumulada del río Mapocho, las C.S.M., el río Maipo en Régimen Natural y las Captaciones de aguas Subterráneas, es suficiente para poder satisfacer el sistema de agua potable. Por otro lado, si incluso el volumen acumulado de agua en el Grupo 5 no fuese suficiente para poder abastecer al sistema del Gran Santiago, entonces, existirá déficit y las demandas de agua potable no podrán ser suplidas al 100% ese mes.

²⁰ Luego de observar los resultados para cada escenario que se ha planteado, no hubo ninguno en que fuese suficiente con utilizar el volumen acumulado en el Grupo 1, es decir, para ningún balance se satisfizo la demanda sólo con el volumen del río Mapocho y las C.S.M., por lo que en adelante, sólo se mostrarán los resultados para los Balances satisfechos utilizando el volumen del Grupo 2 o de uno con mayor disponibilidad.

Respecto a riego, se realiza una verificación similar a la hecha para agua potable. Las fuentes principales, en este caso, son el río Maipo y el río Yeso. Por esta razón se forman dos grupos:

Grupo 11: Volumen del río Maipo que se encuentra destinado a uso como agua para riego.

Grupo 12: Volumen del río Maipo correspondiente a los derechos para riego, más el volumen del río Yeso para riego

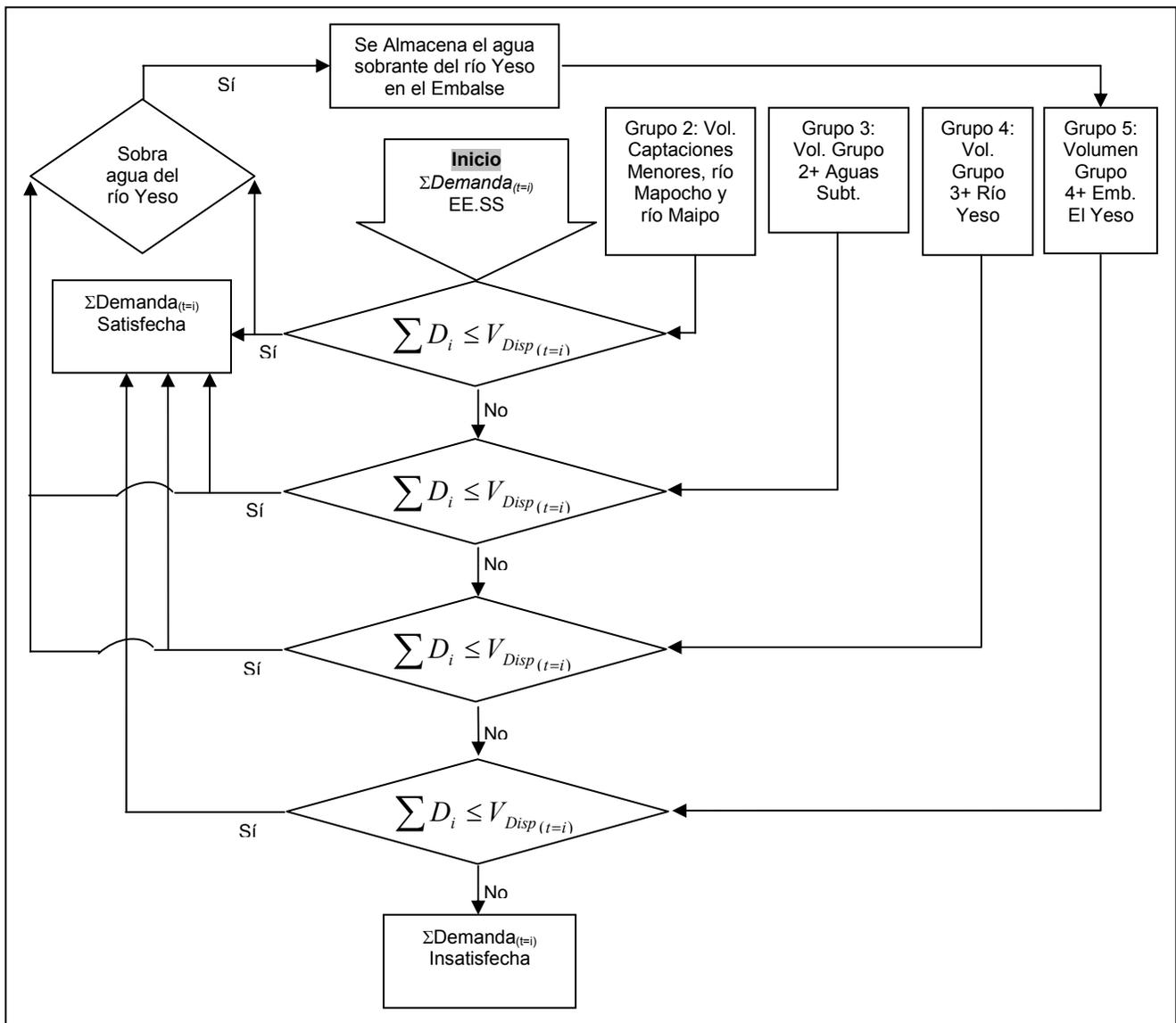
Primero, se verifica si el volumen acumulado en el *Grupo 11* es suficiente para abastecer las demandas de riego, si así fuese, entonces la demanda se satisface y el balance se realiza con esa oferta. Si no, se verifica si el volumen acumulado en el *Grupo 12* es suficiente. Si lo es, la demanda se satisface y el balance se realiza con esa oferta. Si no, entonces existe déficit.

5.3.2 Etapa 2: Balance Oferta-Demanda

El Modelo se diseñó utilizando reglas de operación que permitiesen verificar la existencia de déficit, utilizando cada *Grupo* planteado en la *Etapa 1*.

A continuación se entregan las reglas de operación del modelo de simulación del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable, mediante el siguiente Esquema:

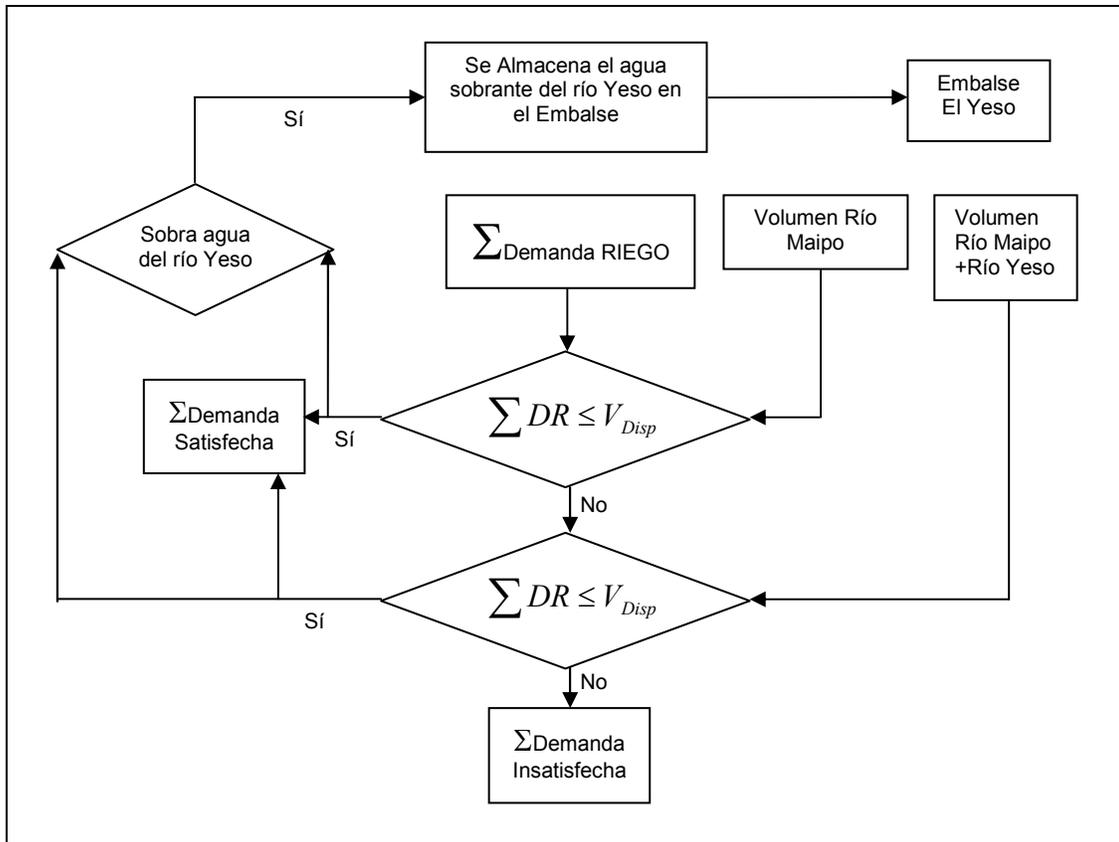
Esquema 2: Modelo de captación de Agua para las Empresas Sanitarias



Pero no tan sólo es importante la demanda de agua potable sobre el sistema del Maipo, sino que también lo es la demanda de riego, pues existe la posibilidad de que algunos meses, los regantes no requieran el agua que les corresponde extraer del río Yeso, ya que es suficiente con la que extraen del río Maipo para satisfacer la demanda de sus cultivos; en tal caso, el agua no utilizada se almacena en el Embalse El Yeso y es posible que sea utilizada por Aguas Andinas, como derechos eventuales para agua potable.

En el siguiente Esquema se presenta la modelación de la demanda de riego sobre el río Maipo y su afluente, el Yeso.

Esquema 3: Modelación del sistema de abastecimiento para riego en el río Maipo



Entonces, dada esta interacción entre los balances de agua potable y agua para riego, interesa conocer cuál será el volumen del Embalse para el periodo siguiente. Este volumen corresponde a una variable de estado de esta modelación. Para su cálculo, se plantea lo siguiente:

Ecuación 5-9

$$V_{Embalse(i+1)} = V_{Embalse(i)} + \Delta V_{RY EE.SS.(i)} + \Delta V_{RY RIEGO(i)} - V_{Ext AP}$$

Donde, $V_{Embalse(i)}$: Volumen de agua embalsado al inicio del mes i

$\Delta V_{RY EE.SS.(i)}$: Volumen de agua del río Yeso perteneciente a las Empresas Sanitarias, que no es requerido para satisfacer la demanda de AP.

$\Delta V_{RY RIEGO(i)}$: Volumen de agua del río Yeso perteneciente a los regantes, que no es requerido para satisfacer la demanda de riego.

$V_{Ext AP}$: Volumen de agua extraído desde el embalse para agua potable.

El volumen del embalse para el mes $(i+1)$ corresponde al Volumen embalsado en el mes i , junto al volumen del río Yeso que corresponde a las EE.SS y que ellas no utilizan, más el volumen del río Yeso que corresponde a los regantes y que ellos no usan, menos el volumen extraído desde el embalse para satisfacer la demanda de agua potable.

El volumen inicial del Embalse en el periodo de análisis 2035-2065, tendrá tres estados posibles, el primero, es el de Embalse Lleno, el segundo, es el de Embalse Medio y el tercero, Embalse Vacío. Se calculará la seguridad y cómo cambia esta debido a cada uno de los estados iniciales.

Ahora, se plantearán los posibles casos en el Balance de Oferta Demanda, y basándose en la *Ecuación 5-9*, se entregarán los valores de cada variable planteada, para calcular el volumen del embalse para el mes siguiente.

5.3.2.1 Balance Oferta Grupo 2 - Demanda

Una vez conocida la demanda de agua potable para el mes i ($\sum D_i$), se verifica si ésta es menor o igual a la oferta entregada por el *Grupo 2*, es decir, se verifica si el volumen de agua demandado en el mes i , es menor o igual al volumen del río Mapocho, las C.S.M. y el río Maipo ($V_{Grupo2(t=i)}$), para dicho mes.

Ecuación 5-10

$$\sum D_i \leq V_{Grupo2(t=i)}$$

Si la demanda es menor, entonces, ésta es satisfecha y dado que no se utilizó el porcentaje del río Yeso para la generación de agua potable de las Empresas Sanitarias ($V_{RY EE.SS(i)}$), ésta se almacena en el Embalse El Yeso para el periodo $i+1$. Luego, se tiene que:

Ecuación 5-11

$$\Delta V_{RY EE.SS(i)} = V_{RY EE.SS(i)}$$

Ya se ha resuelto el balance de agua potable, lo siguiente es realizar el balance de las demandas de riego. Existen tres posibles resultados para el balance de agua para riego. En el primero, la demanda de riego se satisfizo y fue suficiente con el volumen de agua almacenada, con el *Grupo II*, es decir sólo se utilizó el volumen del Maipo, por lo que el volumen del río Yeso correspondiente a agua para riego, se almacenó en el Embalse.

Luego, el valor del volumen de agua del río Yeso perteneciente a los regantes, que no es requerido para satisfacer la demanda de riego, es:

Ecuación 5-12

$$\Delta V_{RY RIEGO(i)} = V_{RY RIEGO(i)}$$

Entonces, reemplazando los valores en la *Ecuación 5-9*, el volumen embalsado para el mes $i+1$ es:

Ecuación 5-13

$$V_{Embalse(i+1)} = V_{Embalse(i)} + V_{RY EE.SS(i)} + V_{RY RIEGO(i)}$$

Donde, $V_{Embalse(i)}$: Volumen en el Embalse El Yeso para el mes i .

$V_{RY EE.SS.(i)}$: Volumen del río Yeso que corresponde a las EE.SS. en el mes i .

$V_{RY RIEGO(i)}$: Volumen del río Yeso que corresponde a riego en el mes i .

Otro posible resultado, es que se satisfaga la demanda con el *Grupo 12*, lo que implica que sólo es posible almacenar la diferencia entre el volumen disponible del río Maipo junto al del río Yeso para riego, y la demanda de riego. Ello significa que el volumen que es posible almacenar en el Embalse es de:

Ecuación 5-14

$$\Delta V_{RY RIEGO(i)} = V_{RM RIEGO(i)} + V_{RY RIEGO(i)} - \sum DR_{(i)}$$

Donde, $V_{RM RIEGO(i)}$: Volumen del río Maipo que corresponde a riego en el mes i .

$\sum DR_{(i)}$: Demanda de riego sobre el río Maipo en el mes i .

La ecuación para el volumen embalsado en el periodo $i+1$ es:

Ecuación 5-15

$$V_{Embalse(i+1)} = V_{Embalse(i)} + V_{RY EE.SS.(i)} + (V_{RM RIEGO(i)} + V_{RY RIEGO(i)} - \sum DR_{(i)})$$

Si la demanda no ha sido satisfecha, entonces no hay agua destinada para riego que sea posible almacenar en el Embalse, pues toda se ha utilizado para intentar suplir la demanda. Es decir,

Ecuación 5-16

$$\Delta V_{RY RIEGO(i)} = 0$$

Lo que implica que el volumen almacenado para el próximo periodo se define como:

Ecuación 5-17

$$V_{Embalse(i+1)} = V_{Embalse(i)} + V_{RY EE.SS.(i)}$$

Para cada caso a estudiar, se evaluará la satisfacción de la demanda de riego utilizando el *Grupo 11*, el *Grupo 12* o definiendo si la demanda es insatisfecha. En adelante, se tomarán como ciertos los valores ya demostrados para el volumen $\Delta V_{RY RIEGO(i)}$, calculado para los volúmenes acumulados del *Grupo 11*, del *Grupo 12* y para demanda insatisfecha.

Lo último que se verifica, es que el volumen en el mes $i+1$ no sea mayor a la capacidad máxima del Embalse. Es decir,

Ecuación 5-18

$$Si V_{Embalse(i+1)} > 250[MMm^3] \Rightarrow V_{Embalse(i+1)} = 250[MMm^3]$$

Si la demanda de agua potable no es satisfecha con el agua acumulada con el *Grupo 2*, entonces, se continúa verificando con el volumen del *Grupo 3*.

5.3.2.2 Balance Oferta Caso 3 - Demanda

Se verifica si la demanda es menor o igual a la oferta del *Grupo 3*, es decir, si el volumen de agua demandado en el mes i , es menor o igual al volumen del río Mapocho, las C.S.M., el río Maipo y captaciones subterráneas ($V_{Grupo3(t=i)}$), para dicho mes. Si así es, entonces se tiene:

Ecuación 5-19

$$\sum D_i \leq V_{\text{Grupo3}(t=i)}$$

Además, al igual que con el *Grupo 2*, no se utilizó la fracción de caudal del río Yeso que corresponde a la generación de agua potable de las Empresas Sanitarias (EE.SS.), lo que permite almacenar en el Embalse El Yeso este volumen de agua para el periodo $i+1$. Esto implica que las ecuaciones para la variable de estado Volumen Almacenado en el embalse con el *Grupo 3*, son las mismas que con el *Grupo 2*.

Respecto al riego, si es suficiente con el agua almacenada del *Grupo 11* en el balance de riego, el volumen almacenado en el embalse se define por la *Ecuación 5-13*. De la misma manera, si se verifica que es suficiente con el volumen del *Grupo 12*, el volumen almacenado en el embalse queda definido por la *Ecuación 5-15*. Y si la demanda de riego es insatisfecha, entonces, la ecuación que corresponde al volumen almacenado en el embalse es la *Ecuación 5-17*.

También, en cada caso se debe satisfacer la *Ecuación 5-18*, de máxima capacidad del Embalse.

5.3.2.3 Balance Oferta Caso 4 - Demanda

En este caso, se incluye el volumen aportado por el río Yeso a la oferta de agua para agua potable. Se verifica si la demanda es menor o igual a la oferta del *Grupo 4*, es decir, si el volumen de agua demandado en el mes i , es menor o igual al volumen del río Mapocho, las C.S.M., el río Maipo, las captaciones subterráneas y el río Yeso ($V_{\text{Grupo4}(t=i)}$), para dicho mes. Si así es, entonces se tiene:

Ecuación 5-20

$$\sum D_i \leq V_{\text{Grupo4}(t=i)}$$

El volumen del río Yeso que es almacenado en el embalse corresponde a:

Ecuación 5-21

$$\Delta V_{RY EE.SS.(i)} = V_{\text{Grupo4}(t=i)} - \sum D_i$$

Asumiendo las ecuaciones vistas en la *Ecuación 5-12*, *Ecuación 5-14* y *Ecuación 5-16*, para la verificación de suficiencia de volumen para satisfacer la demanda utilizando los Grupos: *Grupo 11*, *Grupo 12* o de demanda insatisfecha de riego, respectivamente. El volumen embalsado corresponde a:

Grupo 11:

Ecuación 5-22

$$V_{\text{Embalse}(i+1)} = V_{\text{Embalse}(i)} + V_{\text{Grupo4}(t=i)} - \sum D_i + V_{RY RIEGO(i)}$$

Grupo 12:

Ecuación 5-23

$$V_{\text{Embalse}(i+1)} = V_{\text{Embalse}(i)} + V_{\text{Grupo4}(t=i)} - \sum D_i + (V_{RM RIEGO(i)} + V_{RY RIEGO(i)} - \sum DR_{(i)})$$

Demanda Insatisfecha:

Ecuación 5-24

$$V_{Embalse(i+1)} = V_{Embalse(i)} + V_{Grupo4(t=i)} - \sum D_i$$

También, en cada caso se debe satisfacer la *Ecuación 5-18*, de máxima capacidad del Embalse.

5.3.2.4 Balance Oferta Caso 5 - Demanda

Se extrae agua desde el Embalse El Yeso para aportar al Balance de Oferta Demanda, cuando las captaciones existentes de aguas superficiales naturales y aguas subterráneas no son suficientes para satisfacer la demanda del Gran Santiago. Al contrario de los demás casos, en que se satisfacía siempre la demanda, en este caso existen dos posibles resultados en el balance, uno, es la satisfacción de la demanda de agua potable, y el segundo, es la existencia de déficit de agua.

Para conocer cuánto volumen se debe extraer desde el embalse, se calcula el volumen requerido. Para ello, supondremos en primera instancia, que la demanda es posible de ser satisfecha, es decir, que:

Ecuación 5-25

$$\sum D_i \leq V_{Grupo5(t=i)}$$

Luego, el volumen requerido es de:

Ecuación 5-26

$$V_{Req AP(t=i)} = \sum D_i - V_{Grupo4(t=i)}$$

Este volumen requerido corresponde al volumen que se debiese extraer del Embalse para poder satisfacer la demanda de AP, pero primero se debe verificar si este volumen es menor a la capacidad máxima de extracción que tiene el Embalse. Esta capacidad es de 15[m³/s], lo que equivale a 38.880.000[m³] al mes. En la primera situación que se plantea, se supone que el volumen requerido es menor a este valor, la demanda es satisfecha y se tiene el siguiente volumen extraído:

Ecuación 5-27

$$V_{Ext AP(t=i)} = \sum D_i - V_{Grupo4(t=i)}$$

Una segunda situación, ocurriría si el volumen requerido sobrepasa este valor, entonces, no es posible satisfacer la demanda y se tiene lo siguiente:

Ecuación 5-28

$$V_{Ext AP(t=i)} = V_{Emb_Máx}$$

Ahora bien, si aún con el aporte del Embalse El Yeso, no es posible satisfacer la demanda de AP, entonces, primero se debe calcular el volumen requerido:

Ecuación 5-29

$$V_{Req AP(t=i)} = V_{Grupo5(t=i)} - V_{Grupo4(t=i)}$$

Nuevamente, se debe verificar que sea menor a la capacidad máxima de extracción del embalse. La tercera situación sería con el volumen requerido menor, entonces se extrae:

Ecuación 5-30

$$V_{Ext AP(t=i)} = V_{Grupo5(t=i)} - V_{Grupo4(t=i)}$$

Pero la demanda no se satisface.

La cuarta y última situación para el balance de AP, es análoga a la segunda y ocurriría si el volumen requerido es mayor a la capacidad máxima, entonces se tiene:

Ecuación 5-31

$$V_{Ext AP(t=i)} = V_{Emb_Máx}$$

Para este caso, la demanda tampoco se satisface.

De esta forma y para las tres situaciones planteadas y los tres casos de demanda de riego, se tienen nueve posibles estados del volumen almacenado en el Embalse. Utilizando la *Ecuación 5-9*, se tiene lo siguiente:

1. Demanda Satisfecha de AP, el volumen total de agua para el *Grupo 5* permite satisfacer la demanda, y se extrae el volumen que se requiere de agua desde el embalse.

- a. *Grupo 11*:

Ecuación 5-32

$$V_{Embalse(i+1)} = V_{Embalse(i)} + V_{RY RIEGO(i)} - \left(\sum D_i - V_{Grupo4(t=i)} \right)$$

- b. *Grupo 12*:

Ecuación 5-33

$$V_{Embalse(i+1)} = V_{Embalse(i)} + \left(V_{RM RIEGO(i)} + V_{RY RIEGO(i)} - \sum DR_{(i)} \right) - \left(\sum D_i - V_{Grupo4(t=i)} \right)$$

- c. *Demanda Insatisfecha de Riego*:

Ecuación 5-34

$$V_{Embalse(i+1)} = V_{Embalse(i)} - \left(\sum D_i - V_{Grupo4(t=i)} \right)$$

2. Demanda Insatisfecha de AP, el volumen requerido es mayor a la capacidad máxima de extracción desde Embalse, por lo que sólo se puede extraer el volumen máximo de extracción.

- a. *Grupo 11*:

Ecuación 5-35

$$V_{Embalse(i+1)} = V_{Embalse(i)} + V_{RY RIEGO(i)} - V_{Emb_Máx}$$

- b. *Grupo 12*:

Ecuación 5-36

$$V_{Embalse(i+1)} = V_{Embalse(i)} + \left(V_{RM RIEGO(i)} + V_{RY RIEGO(i)} - \sum DR_{(i)} \right) - V_{Emb_Máx}$$

- c. *Demanda Insatisfecha de Riego*:

Ecuación 5-37

$$V_{Embalse(i+1)} = V_{Embalse(i)} - V_{Emb_Máx}$$

3. Demanda Insatisfecha de AP, el volumen total de agua para el *Grupo 5* no permite satisfacer la demanda y se extrae sólo la diferencia entre el volumen total de agua disponible entre el *Grupo 5* y el *Grupo 4*, que correspondería a la totalidad del agua almacenada en el Embalse.

a. *Grupo 11*:

Ecuación 5-38

$$V_{Embalse(i+1)} = V_{Embalse(i)} + V_{RY\ RIEGO(i)} - (V_{Grupo5(t=i)} - V_{Grupo4(t=i)})$$

b. *Grupo 12*:

Ecuación 5-39

$$V_{Embalse(i+1)} = V_{Embalse(i)} + (V_{RM\ RIEGO(i)} + V_{RY\ RIEGO(i)} - \sum DR_{(i)}) - (V_{Grupo5(t=i)} - V_{Grupo4(t=i)})$$

c. *Demanda Insatisfecha de Riego*:

Ecuación 5-40

$$V_{Embalse(i+1)} = V_{Embalse(i)} - (V_{Grupo5(t=i)} - V_{Grupo4(t=i)})$$

5.3.2.5 Resultado del Balance Oferta - Demanda

Para cada caso posible, se obtiene el valor del Balance Oferta-Demanda, que es cero, si se verifica que es suficiente con el agua disponible de los Grupos: *Grupo 2*, *Grupo 3* o *Grupo 4*, pues para todos éstos la oferta disponible es igual a la demanda, es decir, la demanda se satisface. Si al verificar el volumen necesario, éste fuese mayor al que está acumulado en el *Grupo 4*, entonces se utiliza el *Grupo 5* y el balance corresponde al siguiente valor:

Ecuación 5-41

$$BOD_i = V_{Grupo4(t=i)} + V_{Ext\ AP(t=i)} - \sum D_i$$

Donde, BOD_i es el volumen de la diferencia entre la Oferta disponible y la demanda existente en el mes i . Este valor puede ser nulo o negativo; si es nulo, se satisface la demanda. Si es negativo, existe un déficit de agua para la generación de AP.

En el [ANEXO F](#) se encuentra una tabla con parte del Modelo construido en *Microsoft Office Excel®*, para el Escenario de Estudio N°1 que se entrega en la *Tabla 29: Escenarios de Estudio para el Balance Oferta-Demanda* para un porcentaje de derecho de aprovechamiento de 25% del río Maipo, valor muy cercano al que se tiene actualmente. Este Anexo sólo muestra en forma parcial los resultados obtenidos para el Escenario N°1, pues se trata de 30 años analizados a nivel mensual, por lo que su extensión es muy grande para ser entregado impreso en su totalidad.

6. APLICACIÓN DE CRITERIOS DE SEGURIDAD Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

6.1 Escenarios a Analizar

Los resultados obtenidos en el *Capítulo 5: Análisis Crítico*, en el Balance Oferta-Demanda, deben ser estudiados utilizando criterios que permitan establecer cuál es la seguridad hidrológica en el sistema de abastecimiento de agua potable del Gran Santiago. Para ello se realiza una selección de criterios de seguridad de entre los vistos en el [ANEXO B: Criterios de Seguridad](#), tanto por las normas establecidas en el marco legal chileno, como también, por criterios internacionales que sean útiles de aplicar para enriquecer este estudio. Con los criterios seleccionados se pretende evaluar los resultados del Balance, definir la existencia de déficit, y si es que existe, cuantificar las fallas, la magnitud de las mismas y la cantidad de agua suministrada.

Cada criterio seleccionado se aplicara sobre los escenarios a estudiar, para recordarlos, se muestra a continuación una tabla con los Escenarios de Estudio mencionados en el *Capítulo 5.1.7 Escenarios a Analizar*.

Tabla 30: Escenarios de Estudio para el Balance de Oferta-Demanda

N°	Escenarios de Estudio
1	Caso Favorable DR + Estado Inicial Embalse Lleno + Escenario A de AP
2	Caso Favorable DR + Estado Inicial Embalse Lleno + Escenario B de AP
3	Caso Favorable DR + Estado Inicial Embalse Lleno + Escenario C de AP
4	Caso Favorable DR + Estado Inicial Embalse Medio + Escenario A de AP
5	Caso Favorable DR + Estado Inicial Embalse Medio + Escenario B de AP
6	Caso Favorable DR + Estado Inicial Embalse Medio + Escenario C de AP
7	Caso Favorable DR + Estado Inicial Embalse Vacío + Escenario A de AP
8	Caso Favorable DR + Estado Inicial Embalse Vacío + Escenario B de AP
9	Caso Favorable DR + Estado Inicial Embalse Vacío + Escenario C de AP
10	Caso Desfavorable DR + Estado Inicial Embalse Lleno + Escenario A de AP
11	Caso Desfavorable DR + Estado Inicial Embalse Lleno + Escenario B de AP
12	Caso Desfavorable DR + Estado Inicial Embalse Lleno + Escenario C de AP
13	Caso Desfavorable DR + Estado Inicial Embalse Medio + Escenario A de AP
14	Caso Desfavorable DR + Estado Inicial Embalse Medio + Escenario B de AP
15	Caso Desfavorable DR + Estado Inicial Embalse Medio + Escenario C de AP
16	Caso Desfavorable DR + Estado Inicial Embalse Vacío + Escenario A de AP
17	Caso Desfavorable DR + Estado Inicial Embalse Vacío + Escenario B de AP
18	Caso Desfavorable DR + Estado Inicial Embalse Vacío + Escenario C de AP

En adelante, se analizarán los tres primeros escenarios, luego otros tres, hasta terminar con los últimos tres escenarios enumerados en la tabla anterior.

6.2 Aplicación de Criterios de Seguridad y Análisis de Sensibilidad

6.2.1 Índice de Seguridad Mensual

El primer índice de seguridad utilizado para evaluar la situación futura en el suministro de AP en el Gran Santiago, es el de Seguridad Mensual, visto en el [ANEXO B: Índices basados en la Frecuencia de Fallas](#). Para calcular la seguridad, se realiza un conteo de los meses en que la demanda no es satisfecha dentro del periodo de estudio, es decir, los meses en que se incurre en situación de falla, y se calcula la Seguridad Mensual como:

Ecuación 6-1

$$S_m = 1 - \frac{M_m}{12 \cdot N}$$

Donde, M_m es el número de meses con falla y N es el número de años del periodo en estudio. Este índice es el que se utiliza usualmente, con éste se calcularon las curvas de seguridad-derechos de agua que se presentan a continuación para cada Escenario descrito en el *Capítulo 5.3.3 Resultados del Balance Oferta Demanda*. Para evaluar el comportamiento entre el índice de Seguridad y el porcentaje de derechos de aprovechamiento, se analizó el balance hídrico entre un 15% y un 45% de derechos de agua del río Maipo. Dado que, como se ha mencionado anteriormente, el porcentaje actual de derechos de aprovechamiento de agua en el río Maipo para uso de agua potable de las EE.SS. del Gran Santiago corresponde a 24,5%, aproximadamente, se sabe de antemano que ya se sobrepasaron valores menores a esta cifra; de igual forma, se decide calcular porcentajes de Seguridad Mensual para esos valores para conocer las tendencias que siguen valores bajos de derechos de aprovechamiento.

6.2.1.1 Escenario Favorable de Demanda de Riego- Embalse Lleno: Escenarios de Estudio N° 1, N°2 y N° 3.

A continuación se analizarán los Escenarios de Estudio N°1, N°2 y N°3. Los resultados para este escenario de Demanda de Riego Favorable y de Estado inicial del Embalse Lleno, se entregan en la siguiente tabla:

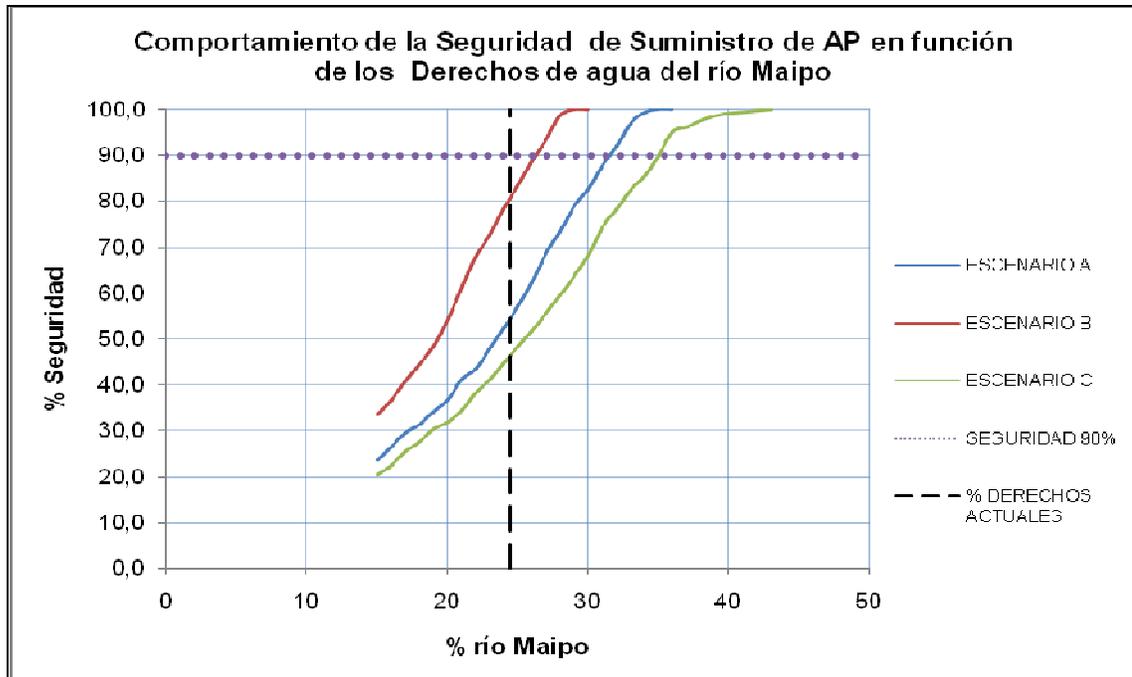
Tabla 31: Seguridad para Escenarios N°1, N°2 y N°3.

% derechos río Maipo	% SEGURIDAD MENSUAL		
	ESCENARIO N°1	ESCENARIO N°2	ESCENARIO N°3
15,0	23,7	33,6	20,4
20,0	36,8	54,3	32,0
24,5	54,6	80,4	46,0
25,0	57,0	83,3	48,4
30,0	82,5	100,0	68,3
35,0	100,0	100,0	90,1
40,0	100,0	100,0	99,2
45,0	100,0	100,0	100,0

En el [ANEXO H](#) se encuentra una información más detallada de los porcentajes de derechos del Maipo descritos en la tabla anterior, que sirve sólo de referencia inicial.

También se presenta el siguiente Gráfico con los tres Escenarios, además, se marcó con una línea punteada el nivel de Seguridad del 90%, y se trazó una línea transversal segmentada en el porcentaje de derechos del río Maipo que tienen en la actualidad las EE.SS. en conjunto, que corresponde a un 24,5%, aproximadamente, en la primera Sección del río Maipo.

Gráfico 18: Relación Seguridad vs. Derechos de agua del río Maipo.



Si se mantuviese la cantidad actual de derechos de aprovechamiento de agua, en el Escenario N°2 (B), que es el menos exigente en cuanto a demanda de AP, se alcanzaría un 80,4% de seguridad de suministro. Por otro lado, en los Escenarios N°1(A) y N°3(C), se alcanzaría tan sólo un 54,6% y un 46,0% de seguridad, respectivamente, valores que no serían suficientes para un adecuado abastecimiento de AP en la ciudad de Santiago.

Para alcanzar una seguridad del 100%, como se observa en la *Tabla 31*, en el Escenario B serían necesarios un 29% de los derechos del Maipo, es decir, 369,2 derechos de aprovechamiento por sobre los que se tiene en la actualidad. Para un escenario moderado, como el Escenario N°1, se requeriría un 35% de los derechos para poder satisfacer el 100% de la demanda. En el peor caso, que representa el Escenario N°3, se necesita un 43% de los derechos del río Maipo, lo que equivale a 3.497 acciones del Maipo, es decir, 1.508 acciones más que en la actualidad.

6.2.1.2 Escenario Favorable de Demanda de Riego- Embalse Medio: Escenarios de Estudio N° 4, N°5 y N°6.

Los resultados para este escenario de Demanda de Riego Favorable y de Estado inicial del Embalse Medio, se entregan en la siguiente Tabla:

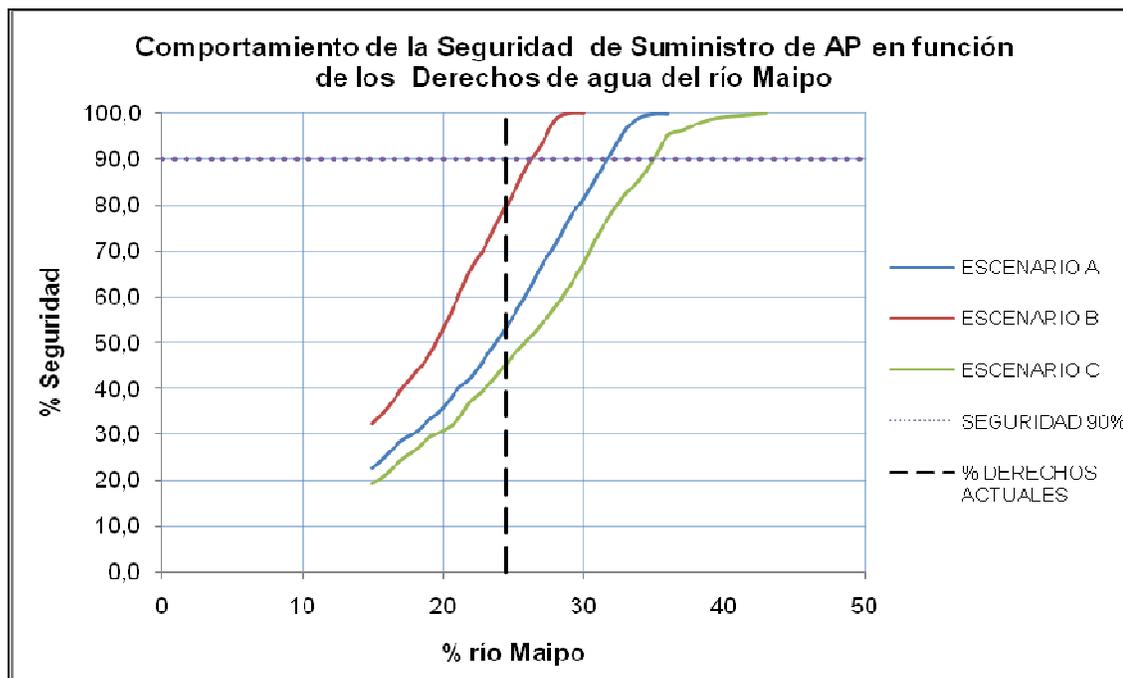
Tabla 32: Seguridad para Escenarios N°4, N°5 y N°6.

% derechos río Maipo	% SEGURIDAD MENSUAL		
	ESCENARIO N°4	ESCENARIO N°5	ESCENARIO N°6
15,0	22,6	32,3	19,4
20,0	35,8	53,0	30,9
24,5	53,2	79,3	44,6
25,0	55,9	82,5	47,3
30,0	81,5	100,0	67,2
35,0	100,0	100,0	90,1
40,0	100,0	100,0	99,2
45,0	100,0	100,0	100,0

En el [ANEXO H](#) se encuentra una información más detallada de los porcentajes de derechos del Maipo descritos en la tabla anterior, que sirve sólo de referencia inicial.

Gráficamente los resultados de seguridad se presentan a continuación:

Gráfico 19: Relación Seguridad vs. Derechos de agua del río Maipo.



Para el Escenario N°5(B), se puede observar que la seguridad disminuye entre un 1% y 2%, para fracciones menores a un 25% de derechos de aprovechamiento del río Maipo, en comparación al caso anterior con el embalse inicialmente lleno. Disminuciones similares se tienen para los otros dos escenarios de Demanda de AP. Luego, según el índice de seguridad utilizado, el efecto del estado inicial del embalse cambiaría el nivel de seguridad, pero en un grado muy pequeño, es decir, el nivel de seguridad no sería tan sensible al estado inicial del embalse, este efecto se mantendría mientras no sea consumida el agua que se encuentra inicialmente en el embalse. Esto se observa principalmente en los análisis realizados con los niveles más bajos de derechos del río Maipo (15% - 25%) y por consiguiente, es en estos casos donde se producen los niveles más bajos de seguridad. En estos escenarios, el Embalse es utilizado durante los primeros años de

análisis para satisfacer los déficits existentes en el sistema de abastecimiento; ya que el porcentaje de derechos del Maipo es bajo, existe menor capacidad de suministro, y se debe recurrir al Embalse para poder satisfacer la demanda. Luego, debido al uso que se hace del Embalse, éste se vacía, y sólo después de algunos meses, comienza a llenarse por acción del río Yeso. Entonces, como se observa en el [ANEXO H](#), a partir de cierto nivel de derechos de agua, da lo mismo que el embalse haya estado lleno o medio inicialmente, pues cuando los derechos de agua del Maipo disponibles permiten evitar el vaciamiento del Embalse, y que, aún más, el Embalse se comienza a llenar, ocurre un momento en que el llenado el embalse se comporta de igual forma para un mismo escenario de demanda de AP, aunque inicialmente haya estado lleno o medio. Ahora bien, con el embalse inicialmente vacío, no se sabe si se provocará el mismo efecto. Esto se comprobará en el siguiente ítem.

Este resultado se deberá chequear, pues lo que dice la experiencia práctica en cuanto al estado inicial del Embalse, es que éste efecto sea importante en el balance hídrico, por lo que se deberá verificar este hecho con otro índice de seguridad que mida, por ejemplo, la severidad de las fallas y no tan sólo su frecuencia.

Por último, se menciona que si se conserva la cantidad de derechos que se mantiene actualmente, para el Escenario N°5(B) se obtendría 79,3%, que es una seguridad un poco menor a la del caso con Embalse Lleno; mientras que para los Escenarios N°4(A) y N°6(C), la seguridad sería de un 53,2% y 44,6%, respectivamente.

6.2.1.3 Escenario Favorable de Demanda de Riego- Embalse Vacío: Escenarios de Estudio N° 7, N°8 y N°9.

Los resultados para este escenario de Demanda de Riego Favorable y de Estado inicial del Embalse Vacío, se entregan en la siguiente tabla:

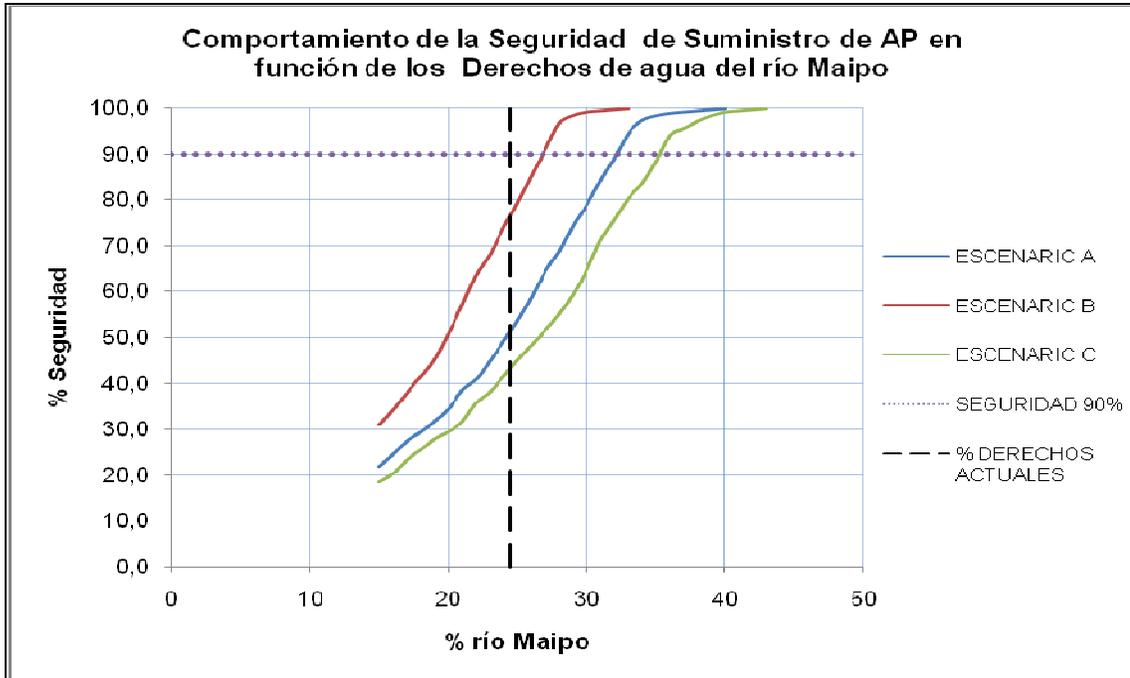
Tabla 33: Seguridad para Escenarios N°7, N°8 y N°9.

% derechos río Maipo	% SEGURIDAD MENSUAL		
	ESCENARIO N°7	ESCENARIO N°8	ESCENARIO N°9
15,0	21,8	30,9	18,5
20,0	34,4	50,8	29,6
24,5	51,3	76,1	42,7
25,0	53,8	79,3	45,2
30,0	79,0	99,2	64,8
35,0	98,4	100,0	88,4
40,0	100,0	100,0	99,2
45,0	100,0	100,0	100,0

En el [ANEXO H](#) se encuentra una información más detallada de los porcentajes de derechos del Maipo descritos en la tabla anterior, que sirve sólo de referencia inicial.

Gráficamente, los resultados anteriores son los siguientes:

Gráfico 20: Relación Seguridad vs. Derechos de agua del río Maipo.



En este caso, con el embalse inicialmente vacío, se puede observar en el *Gráfico 20* cómo se prolongan, más que para los Escenarios anteriores, las líneas que representan los Escenarios N°7(A) y N°8(B); esto significa que aumentan los porcentajes de caudal del Maipo necesarios para alcanzar el 100% de seguridad en estos escenarios, siendo de 40% y 33% de derechos de aprovechamiento del río Maipo, respectivamente, en vez de los 35% y 29% necesarios para los escenarios anteriores; lo que significa un aumento para el Escenario N°7, de 1.264 acciones y para el Escenario N°8, de 695 acciones, que según el modelo, se restan a las acciones de riego. Para el Escenario N°9(C), se sigue necesitando de un 43% de los derechos del río Maipo, es decir, 1.508 acciones más de las que se tienen actualmente para AP.

Como se observa al comparar el *Gráfico 20*, con los *Gráficos 18* y *19*, el sistema es más sensible al efecto del embalse inicialmente vacío, que a los otros posibles estados iniciales que se plantearon anteriormente. Esto se puede deber a que con el Embalse Vacío, el efecto mencionado anteriormente es más marcado en el balance hídrico y almacenamiento de agua en el Embalse. En este caso, existen dos efectos a considerar, el primero, es obviamente el del Embalse Vacío, que implica una menor disponibilidad inicial de agua para suplir el déficit que el sistema sin embalse tiene al inicio del periodo de estudio, y el segundo efecto, es el del bajo caudal medio que presenta el río Maipo durante los primeros años de la modelación y que hacen necesario el aporte del Embalse, que al estar vacío, ni satisface la demanda, ni logra llenarse, porque toda el agua que llega desde el Yeso es utilizada tanto para consumo de AP, como de riego. Luego, el sistema demora más en equilibrarse, y por lo tanto, es necesario aumentar la cantidad de derechos en mayor medida que para los escenarios con embalse lleno y medio.

Nuevamente, es importante mencionar, que es posible que el hecho de que el índice utilizado para realizar este análisis no sea el más adecuado, pues como menciona Lagos (2004), dado que los índices basados en frecuencia de fallas no permiten evaluar la magnitud de las mismas, se hace necesario evaluar el balance hídrico utilizando un criterio que permita cuantificar la severidad de

las fallas, para obtener resultados que reflejen también el tamaño del déficit y no sólo su existencia.

6.2.1.4 Escenario Desfavorable de Demanda de Riego- Embalse Lleno: Escenarios de Estudio N° 10, N°11 y N°12.

En este caso se tiene una demanda mayor en el río por parte de los regantes, lo que significa que requieren más agua del río Yeso que para el caso anterior. Es por esto que la demanda de riego en este caso, se dice Desfavorable, pues con este aumento de demanda, disminuye la disponibilidad de agua para producción de AP en el Embalse, y disminuye también la seguridad mensual del periodo. Los resultados para este escenario de Demanda de Riego Desfavorable y de Estado inicial del Embalse Lleno, se entregan en la siguiente Tabla:

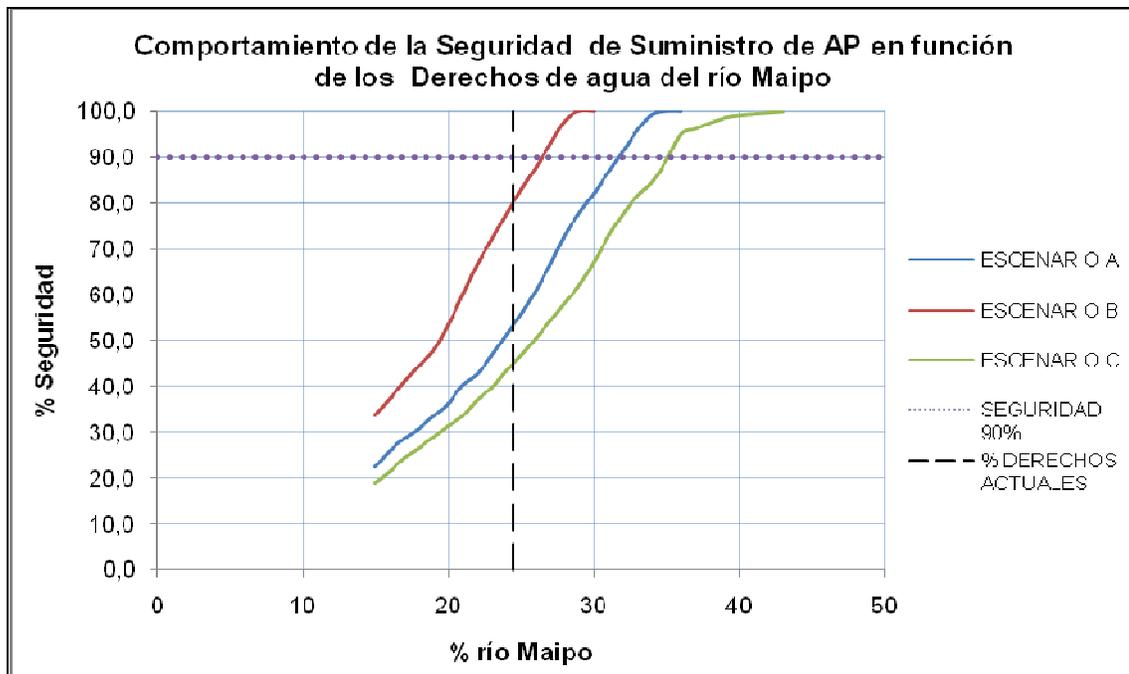
Tabla 34: Seguridad para Escenarios N°10, N°11 y N°12.

% derechos río Maipo	% SEGURIDAD MENSUAL		
	ESCENARIO N°10	ESCENARIO N°11	ESCENARIO N°12
15,0	22,6	33,9	19,1
20,0	36,3	53,5	31,5
24,5	53,2	79,6	44,4
25,0	55,6	82,8	46,8
30,0	82,0	100,0	67,2
35,0	100,0	100,0	89,5
40,0	100,0	100,0	99,2
45,0	100,0	100,0	100,0

En el [ANEXO H](#) se encuentra una información más detallada de los porcentajes de derechos del Maipo descritos en la tabla anterior, que sirve sólo de referencia inicial.

Gráficamente, los resultados entregados para Seguridad de suministro son los siguientes:

Gráfico 21: Relación Seguridad vs. Derechos de agua del río Maipo.



Al comparar este escenario, con su análogo, pero con demanda de riego favorable, se observa una disminución de un punto porcentual, aproximadamente, en el inicio inferior de las curvas de seguridad, pero luego, converge a los mismos valores de 100% de seguridad, que se tenía en el Escenario Favorable de Demanda de Riego con embalse lleno, es decir, 35%, 29% y 43%, para los Escenarios N°10(A), N°11(B) y N°12(C), respectivamente.

6.2.1.5 Escenario Desfavorable de Demanda de Riego- Embalse Medio: Escenarios de Estudio N° 13, N°14 y N°15.

Los resultados para este escenario de Demanda de Riego Desfavorable y de Estado inicial del Embalse Medio, se entregan en la siguiente Tabla:

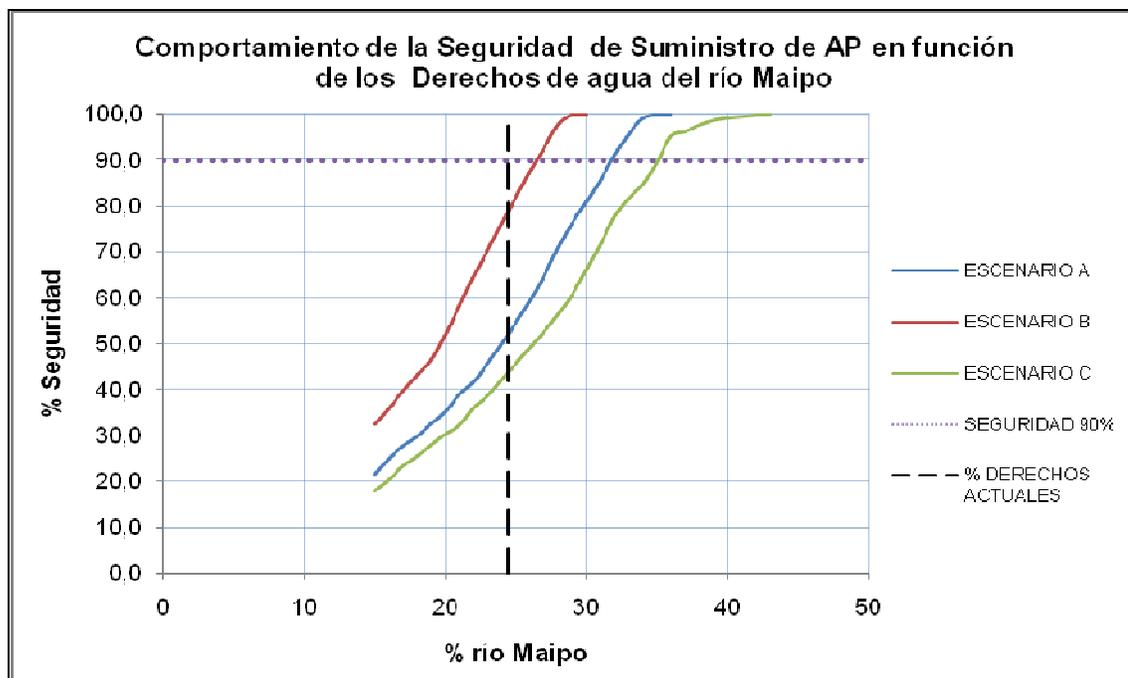
Tabla 35: Seguridad para Escenarios N°13, N°14 y N°15.

% derechos río Maipo	% SEGURIDAD MENSUAL		
	ESCENARIO N°13	ESCENARIO N°14	ESCENARIO N°15
15,0	21,5	32,5	18,0
20,0	35,2	52,2	30,4
24,5	51,9	78,5	43,0
25,0	54,6	82,0	45,7
30,0	80,9	100,0	66,1
35,0	100,0	100,0	89,5
40,0	100,0	100,0	99,2
45,0	100,0	100,0	100,0

En el [ANEXO H](#) se encuentra una información más detallada de los porcentajes de derechos del Maipo descritos en la tabla anterior, que sirve sólo de referencia inicial.

Gráficamente, los resultados entregados en la tabla anterior se muestran a continuación:

Gráfico 22: Relación Seguridad vs. Derechos de agua del río Maipo.



Al igual que en el caso anterior, existe una disminución de alrededor de un punto porcentual al inicio de la curva de seguridad, en comparación a la situación favorable de demanda de riego. Luego, la curva vuelve a alcanzar los mismos valores de seguridad, que se alcanzó para el caso de demanda favorable. Los porcentajes de seguridad de suministro alcanzados con los derechos de agua existentes en la actualidad, son de 51,9%, 78,5% y 43,0%, para los Escenarios N°13(A), N°14(B) y N°15(C), respectivamente, lo que implica la necesidad de adquirir nuevos derechos para satisfacer las demandas futuras.

Al igual que para el caso de demanda de riego favorable, existe una convergencia entre los valores porcentuales de seguridad para un mismo escenario de demanda de riego, entre los resultados para Embalse Lleno y Vacío; el análisis es análogo al anterior.

6.2.1.6 Escenario Desfavorable de Demanda de Riego- Embalse Vacío: Escenarios de Estudio N° 16, N°17 y N°18.

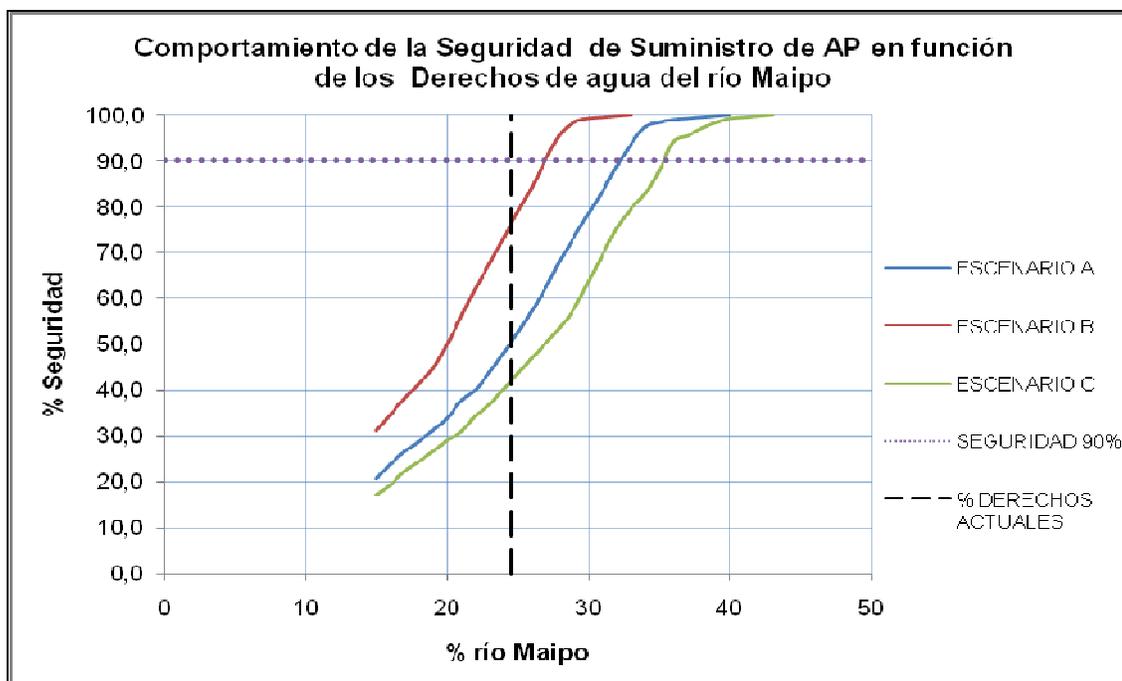
Los resultados para este escenario de Demanda de Riego Desfavorable y de Estado inicial del Embalse Vacío, se entregan en la siguiente Tabla:

Tabla 36: Seguridad para Escenarios N°16, N°17 y N°18.

% derechos río Maipo	% SEGURIDAD MENSUAL		
	ESCENARIO N°16	ESCENARIO N°17	ESCENARIO N°18
15,0	20,7	31,2	17,2
20,0	33,9	50,0	29,0
24,5	50,0	75,3	41,1
25,0	52,4	78,8	43,5
30,0	78,5	99,2	63,7
35,0	98,4	100,0	87,9
40,0	100,0	100,0	99,2
45,0	100,0	100,0	100,0

En el [ANEXO H](#) se encuentra una información más detallada de los porcentajes de derechos del Maipo descritos en la tabla anterior, que sirve sólo de referencia inicial. Gráficamente:

Gráfico 23: Relación Seguridad vs. Derechos de agua del río Maipo.



Inicialmente, este es el caso más desfavorable que se pueda esperar, un escenario en que se tenga una gran demanda de riego y además, el Embalse El Yeso comience vacío el periodo de estudio.

Los resultados indican que, si bien, el inicio de la curva de seguridad graficada anteriormente, es menor a cualquiera de los valores iniciales vistos hasta ahora, la curva alcanza el 100% de seguridad en los mismos valores de porcentaje de derechos del río Maipo, que en el caso con la demanda favorable de riego, es decir, para los Escenarios 16, 17 y 18, la seguridad de un 100% se alcanza con un 40%, 33% y 43%, de los derechos de aprovechamiento del río Maipo. Esto indica que el efecto de la demanda de riego sobre la seguridad de suministro de AP, se observa hasta cierto grado de seguridad, y que para porcentajes más altos, el hecho de que la demanda de riego aumente, no produce un cambio sobre la seguridad del suministro de AP.

Otro análisis que es posible realizar, es que si se mantuviese la cantidad de derechos de agua potable, se tendría en el mejor de los Escenarios (N°17), una seguridad de suministro del 75,3%, y para el peor de los Escenarios (N°18), un 41,1% de seguridad, lo que habla de la necesidad de obtener nuevos derechos para el suministro de AP.

6.2.1.7 Resumen de Resultados

Para permitir un mejor análisis de los casos posibles que se plantearon en los ítems anteriores, se entregan a continuación tablas resúmenes con los datos más importantes a analizar.

Tabla 37: Porcentaje de Seguridad alcanzado con los derechos de agua actuales del río Maipo

	ESCENARIO DR – ESTADO INICIAL EMBALSE	ESCENARIO AP	ESCENARIOS DE ESTUDIO	% Seguridad
24,5% DEL RÍO MAIPO	DR Favorable - Embalse Lleno	A	ESC N°1	54,6
		B	ESC N°2	80,4
		C	ESC N°3	46,0
	DR Favorable - Embalse Medio	A	ESC N°4	53,2
		B	ESC N°5	79,3
		C	ESC N°6	44,6
	DR Favorable - Embalse Vacío	A	ESC N°7	51,3
		B	ESC N°8	76,1
		C	ESC N°9	42,7
	DR Desfavorable - Embalse Lleno	A	ESC N°10	53,2
		B	ESC N°11	79,6
		C	ESC N°12	44,4
	DR Desfavorable - Embalse Medio	A	ESC N°13	51,9
		B	ESC N°14	78,5
		C	ESC N°15	43,0
	DR Desfavorable - Embalse Vacío	A	ESC N°16	50,0
		B	ESC N°17	75,3
		C	ESC N°18	41,1

También se presentan en forma gráfica los datos entregados en la Tabla 37. En el primer Gráfico se entregan los tres casos con Demanda de Riego Favorable para AP, y sus resultados para los tres estados iniciales del Embalse, Embalse Lleno, Medio y Vacío, y a su vez, cada estado inicial se divide en Escenario A, B y C de demanda de agua potable (eje de las abscisas). El segundo gráfico muestra los casos con Demanda de Riego Desfavorable para AP, comparando ambos gráficos, se puede apreciar una leve disminución de la seguridad, respecto del caso de Demanda de Riego Favorable.

Gráfico 24: Nivel de Seguridad para Demanda de Riego Favorable, con porcentaje de Derechos de Aprovechamiento Actuales

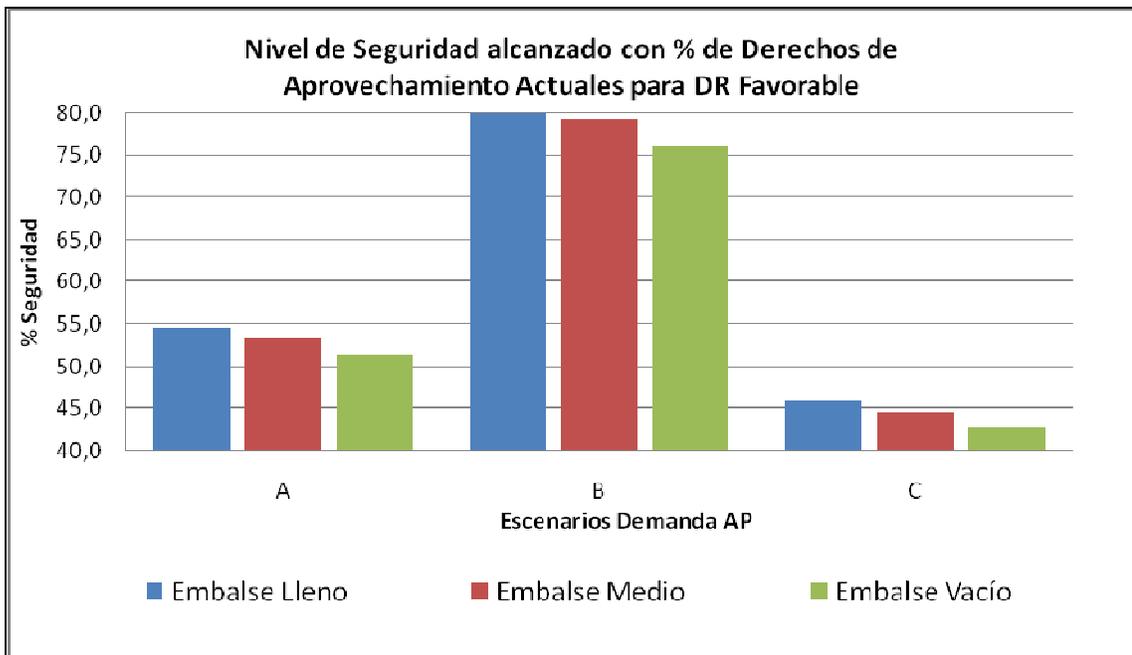
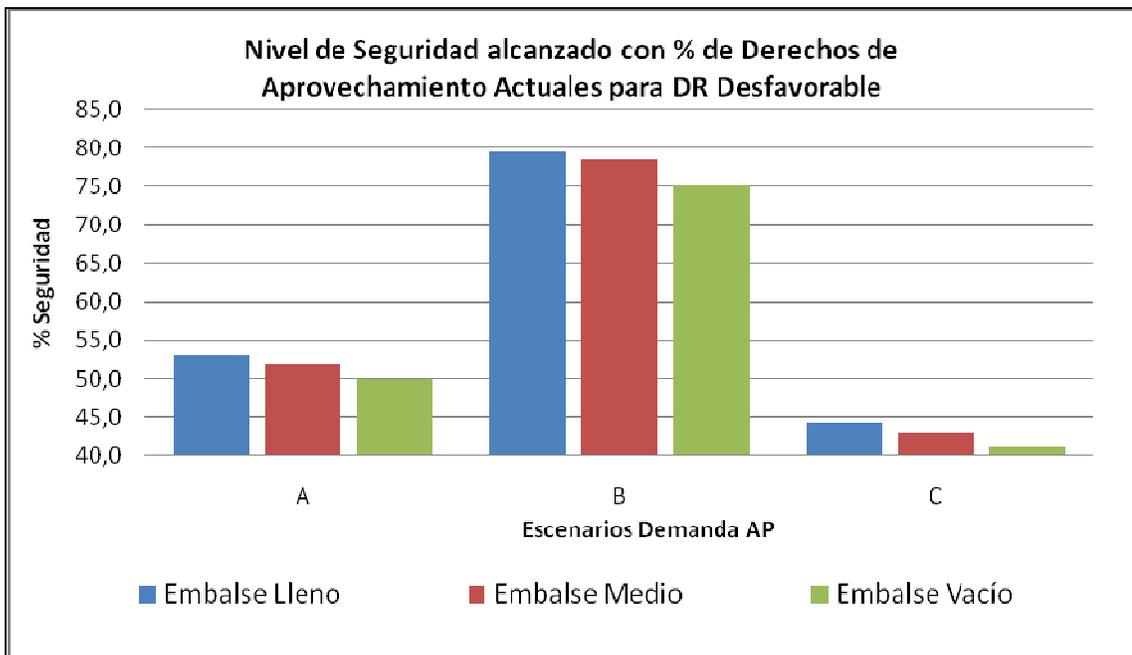


Gráfico 25: Nivel de Seguridad para Demanda de Riego Desfavorable, con porcentaje de Derechos de Aprovechamiento Actuales



En ninguno de los escenarios planteados se alcanzó siquiera un 90% de seguridad, nivel mínimo para la seguridad de suministro de agua potable, según el D.S. MOP 1.199/2004, que exige que las concesionarias establezcan su caudal con una probabilidad de excedencia de un 90%. Esto implica que ante la posibilidad de que se produzcan los escenarios descritos, se debe plantear la necesidad de adquirir nuevos derechos de aprovechamiento de agua en el río Maipo, o disponer de nuevas fuentes de suministro para agua potable en el Gran Santiago.

Para conocer cuánta agua es necesaria para alcanzar porcentajes de seguridad aceptables en el abastecimiento de AP, se entrega la siguiente tabla con los porcentajes requeridos de derechos del río Maipo:

Tabla 38: Porcentaje de derechos de agua del río Maipo necesarios para alcanzar 90%, 95%, 98% y 100% de Seguridad de Suministro

ESCENARIOS DE ESTUDIO	ESCENARIO DR – ESTADO INICIAL EMBALSE	ESCENARIO DEMANDA AP	% río Maipo			
			Seguridad 90%	Seguridad 95%	Seguridad 98%	Seguridad 100%
ESC 1	DR Favorable - Embalse Lleno	A	31,6	32,7	33,5	35,0
ESC 2		B	26,3	27,3	27,9	29,0
ESC 3		C	35,0	36,0	38,4	43,0
ESC 4	DR Favorable - Embalse Medio	A	31,7	32,7	33,5	35,0
ESC 5		B	26,3	27,3	27,9	29,0
ESC 6		C	35,0	36,0	38,4	43,0
ESC 7	DR Favorable - Embalse Vacío	A	32,1	33,1	34,6	40,0
ESC 8		B	26,8	27,7	28,8	33,0
ESC 9		C	35,3	36,7	38,7	43,0
ESC 10	DR Desfavorable - Embalse Lleno	A	31,8	32,8	33,7	35,0
ESC 11		B	26,5	27,4	28,1	29,0
ESC 12		C	35,1	36,0	38,4	43,0
ESC 13	DR Desfavorable - Embalse Medio	A	31,8	32,8	33,7	35,0
ESC 14		B	26,5	27,4	28,1	29,0
ESC 15		C	35,1	36,0	38,4	43,0
ESC 16	DR Desfavorable - Embalse Vacío	A	32,3	33,4	34,6	40,0
ESC 17		B	26,9	27,9	28,9	33,0
ESC 18		C	35,3	36,7	38,7	43,0

Para ilustrar de mejor manera estos resultados, se pueden observar el Gráfico 26 y Gráfico 27 en la siguiente página.

Gráfico 26: Escenarios con Demanda de Riego Favorable

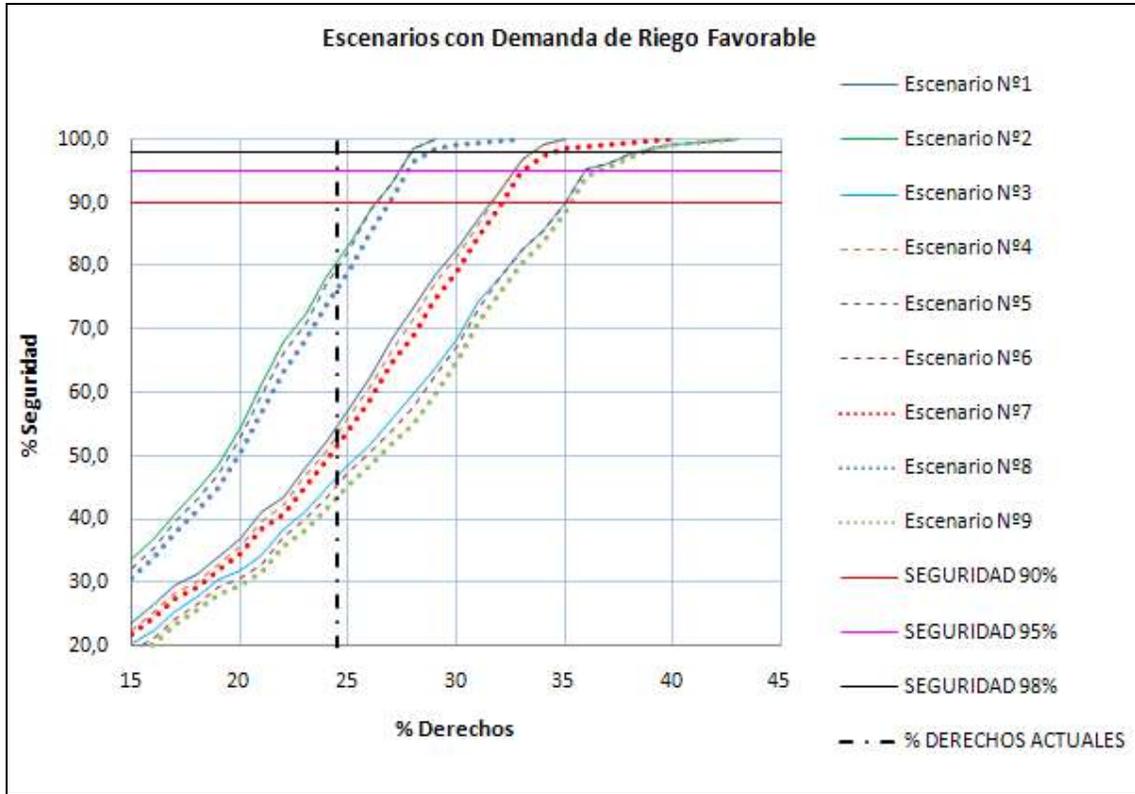
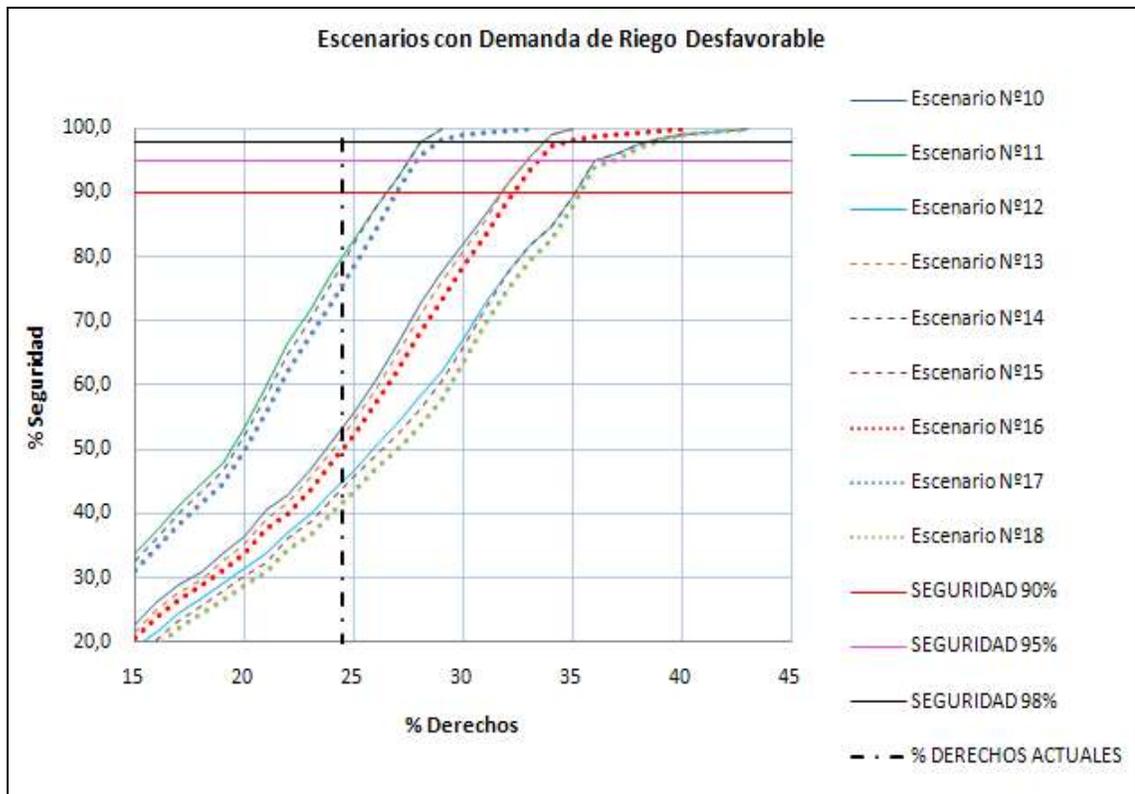


Gráfico 27: Escenarios con Demanda de Riego Desfavorable



En el *Gráfico 26* y *Gráfico 27*, los escenarios están agrupados en tres series. Las curvas de la izquierda corresponden a Escenarios Tipo B de demanda de agua potable, las del centro, son los Escenarios Tipo A y las de la derecha, las Tipo C. A su vez, en cada grupo, hay tres tipos de líneas, los escenarios presentados en líneas continuas, corresponden a los casos iniciales con el Embalse Lleno, las líneas segmentadas representan a los escenarios con el Embalse inicialmente Medio y las líneas punteadas al Embalse inicialmente Vacío.

A primera vista, en todos los escenarios existe un déficit respecto a la cantidad actual de derechos de agua de las Empresas Sanitarias. Ahora bien, interesa conocer cuál es la magnitud de este déficit de derechos para cada escenario, para lo que se entrega, en la *Tabla 39*, el déficit de acciones, con el que se permitiría asegurar el suministro de AP entre una probabilidad de un 90% y 100%.

Tabla 39: Déficit Acciones del río Maipo para alcanzar una Seguridad de Suministro de 90%, 95%, 98% y 100% en el sistema de abastecimiento del Gran Santiago²¹

ESCENARIOS			Déficit de Acciones			
			Seguridad 90%	Seguridad 95%	Seguridad 98%	Seguridad 100%
ESC 1	DR Favorable - Embalse Lleno	A	579,5	666,2	735,7	857,2
ESC 2		B	148,1	232,5	277,9	369,2
ESC 3		C	856,2	935,9	1.132,9	1.507,8
ESC 4	DR Favorable - Embalse Medio	A	585,1	666,2	735,7	857,2
ESC 5		B	148,1	232,5	277,9	369,2
ESC 6		C	856,2	935,9	1.132,9	1.507,8
ESC 7	DR Favorable - Embalse Vacío	A	624,5	705,9	827,9	1.263,8
ESC 8		B	194,1	266,2	352,4	694,5
ESC 9		C	879,6	993,8	1.159,0	1.507,8
ESC 10	DR Desfavorable - Embalse Lleno	A	593,1	682,1	748,0	857,2
ESC 11		B	162,8	242,5	293,5	369,2
ESC 12		C	864,1	936,2	1.132,9	1.507,8
ESC 13	DR Desfavorable - Embalse Medio	A	596,1	682,1	748,0	857,2
ESC 14		B	162,8	242,5	293,5	369,2
ESC 15		C	864,1	936,2	1.132,9	1.507,8
ESC 16	DR Desfavorable - Embalse Vacío	A	634,8	725,9	827,9	1.263,8
ESC 17		B	202,3	277,3	357,5	694,5
ESC 18		C	884,7	993,8	1.159,0	1.507,8

Como se observa en la tabla anterior, si ocurriese el Escenario B, que es el Escenario menos crítico de demanda de agua potable, se requeriría de un aumento de entre 148,1 (Escenario N°2) y 694,5 (Escenarios N°8 y N°17) acciones, respecto a las que hay disponibles en la actualidad, para poder satisfacer la demanda de AP de manera adecuada. Para el Escenario A, faltarían entre 579,5 (Escenarios N°1) y 1.263,8 (Escenarios N°7 y N°16) acciones, y para el escenario más crítico de demanda de AP, el Escenario C, requeriría entre 856,2 (Escenarios N°3 y N°6) y 1507,8 (Escenarios N°3, N°6, N°9 y N°18) acciones.

²¹ Estos valores fueron calculados considerando que las Empresas Sanitarias del Gran Santiago tienen, en la actualidad, 1.989,4 de las 8.133 acciones de la Primera Sección del río Maipo.

Con estos resultados, se puede afirmar que en la actualidad existiría un déficit de agua que no permitiría satisfacer adecuadamente la demanda de AP en el Sistema del Gran Santiago, ya que incluso en el Escenario más optimista, como lo sería el Escenario B, existe un déficit de hasta 352,4 acciones para poder alcanzar un 98% de seguridad. Es necesario establecer un plan de acción que permita asegurar el suministro de AP y entregue alternativas factibles de realizar hacia el periodo de estudio planteado.

A primera vista, realizando una evaluación por Escenario de Demanda, se observa en los resultados entregados en la *Tabla 39*, que para el Escenario B existe menor déficit que para los otros dos escenarios planteados. Se recuerda que este Escenario se definió con una demanda decreciente en el tiempo y una pérdida en el sistema de Producción de un 20%, lo que influiría en la marcada diferencia que se tiene entre el déficit para el Escenario B y los Escenarios A y C. El Escenario A se podría definir como un caso moderado, pues se estableció la misma tendencia decreciente en el tiempo para la demanda de AP, pero con una pérdida de un 30%, lo que significó que en la mayoría de los casos planteados, su nivel de déficit fuese más cercano al del Escenario C, que al del Escenario A. Finalmente, el déficit del Escenario C es entre 2 y 5 veces mayor al déficit del Escenario B, en gran parte de los casos. El tercer Escenario fue definido con una demanda constante en el tiempo y una pérdida de producción de un 30%.

Teniendo conocimiento de lo anterior, se podría esperar que una disminución de las pérdidas en el Sistema de Producción pudiera reducir el déficit existente, aunque se cree que esta acción debería ser complementada con la adquisición de nuevos derechos de agua. Si estos derechos son obtenidos desde el río Maipo, podrían existir problemas con los regantes, pues en el río Maipo no es posible constituir nuevos derechos consuntivos permanentes de uso de agua²², entonces, para obtener estos derechos, se deben comprar a los agricultores que los usan para riego, lo que provocaría una disminución de la disponibilidad de agua para este uso. En el río Maipo se encuentra cerca del 90% de las demandas de riego a nivel regional²³, por lo que una reducción en los derechos de aprovechamiento de agua podría afectar de manera notable la producción de los agricultores de la Región Metropolitana.

6.2.2 Porcentaje de Demanda Suplida

Este índice de Seguridad permite conocer, además de la existencia de déficit, la magnitud del mismo, pues como es de suponer, no es lo mismo que ocurra una falla de un 10% de demanda no satisfecha, que una que alcance un 50%, ya que la primera podría manejarse con un cambio de presión en el sistema, mientras que la segunda podría causar daños mayores y afectar en un grado más alto a la población. Es precisamente este hecho el que no es evaluado con el criterio anterior, y que es de importancia para asegurar un adecuado suministro de agua potable para la zona de estudio.

El índice que se utiliza a continuación es el visto en el [ANEXO B](#), *Índices basados en la Severidad de las Fallas*, y corresponde al Porcentaje de Demanda Suplida o Satisfecha, PDS. El PDS, sirve para caracterizar una falla particular del sistema. Si se utiliza el mes, la expresión para su cálculo es:

²² Corresponde a una de las conclusiones del estudio “Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales en la Cuenca del río Maipo”, Informe realizado por el Departamento de Administración de Recursos Hídricos de la Dirección General de Aguas. S.D.T. N° 145. Año 2003.

²³ Según Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. Ingenieros Consultores (2007).

Ecuación 6-2

$$PDS_i = 100 \times \left[1 - \frac{D_i - R_i}{D_i} \right] = 100 \times \frac{R_i}{D_i}$$

Donde D_i corresponde a la demanda del mes i , y R_i es el suministro entregado para cubrir esta demanda.

Se procedió a calcular PDS en forma mensual, en todo el periodo de estudio. Luego, para cada Escenario de Estudio y variando los derechos de aprovechamiento del Maipo, se calculó un PDS medio, es decir, se calculó el promedio de los PDS mensuales del periodo entre Abril del 2035 y Marzo del 2066 y se asoció a un porcentaje de derechos de agua. El valor del PDS medio permite conocer el déficit promedio que se alcanza a lo largo del periodo de estudio.

Las curvas PDS-Derechos de Agua obtenidas se presentan en los siguientes gráficos:

Gráfico 28: Curvas relación PDS y Derechos de Agua del río Maipo. Escenarios con Embalse Lleno y Demanda de Riego Favorable

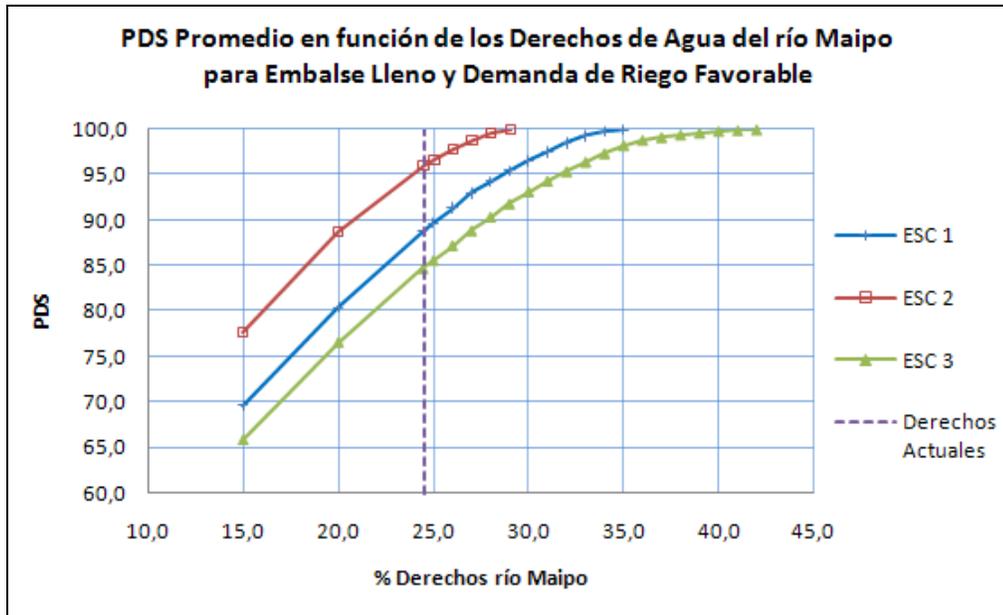


Gráfico 29: Curvas relación PDS y Derechos de Agua del río Maipo. Escenarios con Embalse Medio y Demanda de Riego Favorable

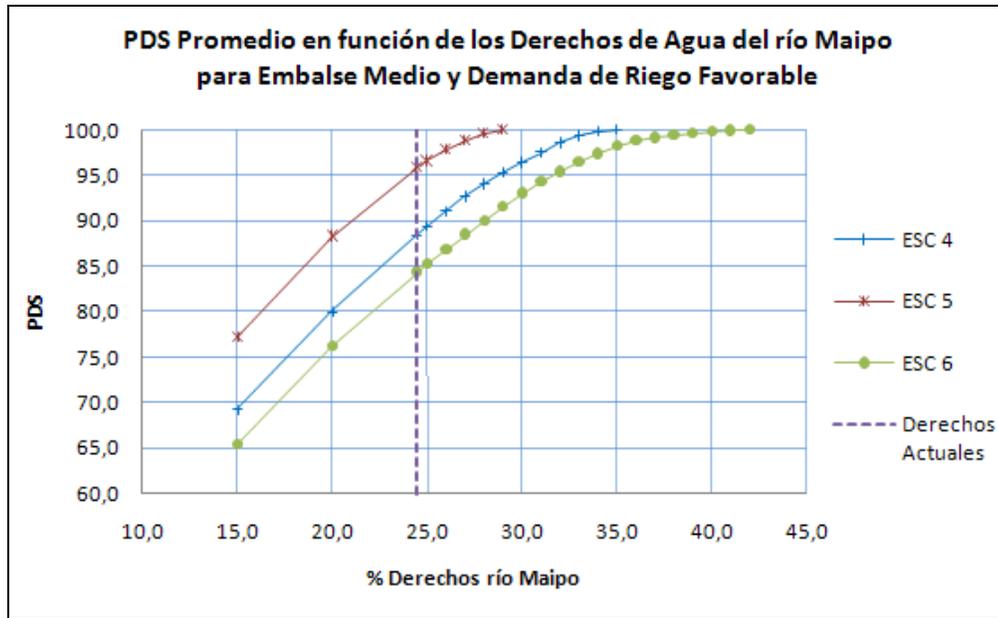
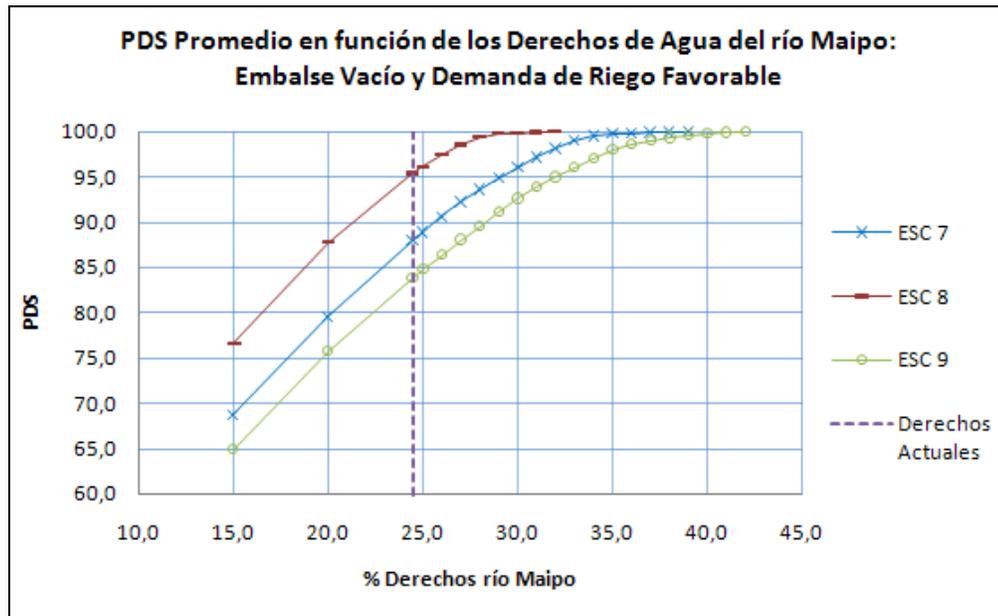


Gráfico 30: Curvas relación PDS y Derechos de Agua del río Maipo. Escenarios con Embalse Vacío y Demanda de Riego Favorable



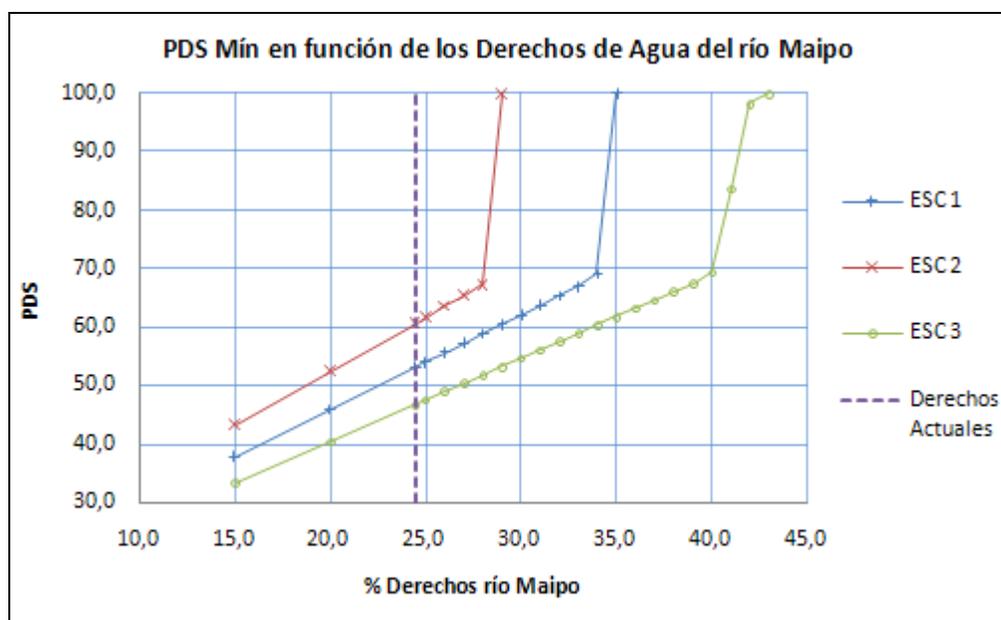
Los gráficos anteriores muestran una gran diferencia entre los PDS para Escenarios Tipo B (Escenarios 2, 5 y 8), respecto a los Tipo A o Tipo C. Los Escenarios Tipo B alcanzan niveles de seguridad entre un 95% y 96% de demanda suplida sólo con los derechos de aprovechamiento que se tiene en la actualidad por parte de las EE.SS. Mientras que los Escenarios Tipo A, alcanzan niveles entre un 87% y 88% de demanda suplida. Los Escenarios Tipo C, alcanzan niveles un poco menores, entre un 83% y 85%.

Las curvas para los Escenarios de Estudio de Demanda de Riego Desfavorable, aunque presentan un menor índice PDS, tienen la misma tendencia que su análogo con Demanda de Riego Favorable; y los valores de PDS que alcanzan, se diferencian por no más 0,4%.

En el [ANEXO I](#) se encuentran con mayor detalle en Tablas y Gráficos con las curvas de relación PDS y Derechos de Agua en el río Maipo.

Si bien el valor del PDS promedio permite tener una idea del comportamiento general de las situaciones de falla, en cuanto al déficit medio que se produce; este índice no permite detectar situaciones puntuales de falla en que el déficit puede llegar a ser alto y afectar gravemente a la población. Es por esta razón, que se obtuvo los PDS mínimos para cada Escenario simulado, ya que este valor refleja el peor déficit que sucede durante el periodo, dando una cota inferior que permite asegurar la existencia de déficits no menores a ése. Los PDS mínimos se calcularon en función de la cantidad de derechos de aprovechamiento de agua, con lo que se obtuvo el siguiente gráfico:

Gráfico 31: PDS Mínimo en función de los Derechos de Agua del río Maipo



Como se observa, la tendencia de este índice es casi lineal, pero al acercarse al 100% de PDS se tiene una aceleración brusca, lo que se podría deber a que al aumentar la cantidad de derechos de aprovechamiento, se produce una disminución de casos con bajo PDS, lo que provoca que se converja con mayor rapidez al 100% de PDS. Valores muy bajos para los PDS Mínimos, implica que en el futuro podrían existir problemas para el normal abastecimiento de agua potable en el sistema. Por ello, es necesario rescatar los PDS mínimos para cada escenario existente y cantidad de derechos de aprovechamiento, para conocer el comportamiento del PDS respecto a cada variable. Así como los PDS mensuales, los PDS mínimos obtenidos se encuentran en el [ANEXO I](#).

Para observar de mejor forma el comportamiento de la relación PDS vs. Porcentaje de Derechos de Aprovechamiento, en el [ANEXO I](#) se entregan gráficos en donde se trazó la curva PDS para el periodo completo de estudio, para distinguir cuáles son los años con mayores déficits y cómo cambia este valor, al aumentar los derechos de aprovechamiento de las Empresas Sanitarias.

A continuación, se realiza el análisis de estos resultados, en donde se desea verificar si la magnitud de las fallas varía, especialmente entre escenarios de embalse Lleno, Medio y Vacío, y en qué forma lo hace.

6.2.2.1 Análisis de Resultados

La siguiente Tabla contiene un resumen con los resultados obtenidos para cada Escenario de Estudio, y distintos porcentajes de derechos del río Maipo.

Tabla 40: Resumen PDS Promedio para distintos porcentajes de Derechos del río Maipo

% derechos río Maipo				Porcentaje de Demanda Suplida Promedio							
				15,0	20,0	24,5	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0
DEMANDA DE RIEGO FAVORABLE	EMBALSE LLENO	ESC A	ESC 1	69,7	80,4	88,8	89,7	96,6	100,0	100,0	100,0
		ESC B	ESC 2	77,7	88,7	96,0	96,7	100,0	100,0	100,0	100,0
		ESC C	ESC 3	65,9	76,6	84,7	85,6	93,2	98,3	99,8	100,0
	EMBALSE MEDIO	ESC A	ESC 4	69,2	80,1	88,4	89,4	96,4	100,0	100,0	100,0
		ESC B	ESC 5	77,2	88,3	95,9	96,6	100,0	100,0	100,0	100,0
		ESC C	ESC 6	65,4	76,2	84,4	85,3	93,0	98,3	99,8	100,0
	EMBALSE VACÍO	ESC A	ESC 7	68,8	79,6	88,0	88,9	96,0	99,8	100,0	100,0
		ESC B	ESC 8	76,7	87,8	95,4	96,1	99,9	100,0	100,0	100,0
		ESC C	ESC 9	65,0	75,7	83,9	84,8	92,6	98,1	99,8	100,0
DEMANDA DE RIEGO DESFAVORABLE	EMBALSE LLENO	ESC A	ESC 10	69,5	80,3	88,5	89,4	96,4	100,0	100,0	100,0
		ESC B	ESC 11	77,9	88,6	95,9	96,5	100,0	100,0	100,0	100,0
		ESC C	ESC 12	65,6	76,3	84,4	85,3	92,8	98,1	99,8	100,0
	EMBALSE MEDIO	ESC A	ESC 13	69,0	79,9	88,1	89,0	96,3	100,0	100,0	100,0
		ESC B	ESC 14	77,5	88,2	95,7	96,4	100,0	100,0	100,0	100,0
		ESC C	ESC 15	65,2	75,9	84,1	85,0	92,7	98,1	99,8	100,0
	EMBALSE VACÍO	ESC A	ESC 16	68,5	79,5	87,7	88,6	95,9	99,8	100,0	100,0
		ESC B	ESC 17	76,9	87,7	95,3	96,0	99,9	100,0	100,0	100,0
		ESC C	ESC 18	64,7	75,5	83,6	84,5	92,3	97,9	99,8	100,0

La ley indica que se debe tener un PDS igual al 100%, es decir, que la totalidad de la demanda debe ser satisfecha. Al observar los datos para un 24,5% de derechos de aprovechamiento del Maipo, que es lo que se tiene hoy en día, los niveles de PDS sobrepasan el 83%, hasta un 96%, valores aceptables, aunque deberán mejorarse, pues al observar uno a uno los PDS, como se muestran entre el *Gráfico I-7* al *Gráfico I-12* ([ANEXO I](#)) existen periodos en donde se satisface un muy bajo porcentaje de la Demanda (Años 2044-2045, 2050-2051 y 2064-2065), en que llegan a haber PDS cercanos a un 50% y con PDS promedio no mayores a 70% durante el periodo de escasez.

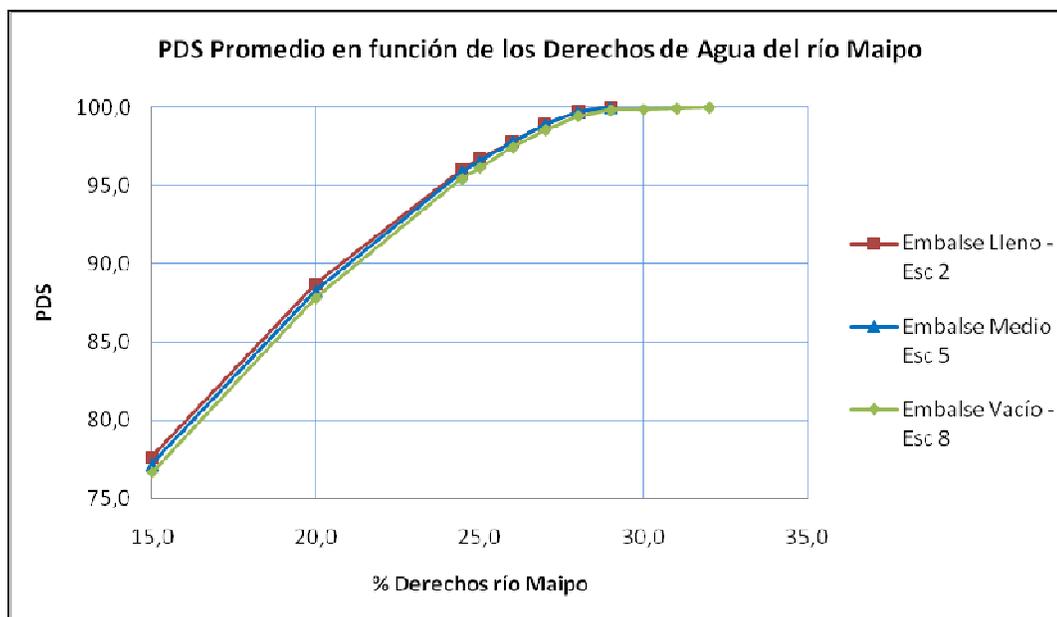
Para un 30% de derechos de aprovechamiento del Maipo, el PDS está cercano o incluso, por sobre el 95%, por lo que se puede concluir que se requeriría entre un 25% y 30% de derechos del Maipo para satisfacer la demanda con la seguridad requerida por el D.S. MOP 1.199/2004.

Respecto a la variación entre un Escenario con Embalse inicialmente Lleno, Medio o Vacío, según los resultados entregados, se puede decir que definitivamente, en la modelación realizada el efecto del nivel del embalse al inicio del periodo de simulación, produce cambios al inicio del

periodo de análisis, pero posteriormente, se tiene que los PDS convergen al mismo valor. Este hecho se puede observar en las tablas: *Tabla I-7, Tabla I-9 y Tabla I-11*, en el [ANEXO I](#), en la que el comportamiento del PDS varía al inicio del periodo en estudio, pero a partir de mayo del 2036, el comportamiento del PDS es el mismo para cualquier estado inicial del Embalse. Al revisar el estado del embalse mes a mes en la modelación, se confirma lo que se mencionó en el análisis anterior con el índice de Seguridad Mensual, y es que para bajos valores de los derechos de agua del Maipo, se tienen menores PDS con el Embalse Vacío, que con el Embalse Lleno o Medio, pues el déficit existente se satisface con el volumen almacenado en el Embalse; esto indica, que no es indiferente a su estado inicial. Pero cuando el porcentaje del Maipo empieza a crecer, el uso del Embalse se hace menor, es más, en vez de usarse mes a mes el volumen del embalse para satisfacer la demanda, se va almacenando agua en su interior, hasta que llega a llenarse y en ese momento, el balance hídrico es el mismo para los tres escenarios de estado inicial de embalse, y ya no hay diferencia entre un Embalse inicialmente lleno, medio o vacío.

A modo de ejemplo, para observar la similitud obtenida entre los Escenarios en los tres casos de estado inicial del Embalse, se presenta el siguiente Gráfico que muestra los Escenarios con Demanda de Riego Favorable, Escenario B de demanda de AP y los tres estados iniciales posibles para el Embalse, Embalse Lleno, Medio y Vacío. Estos Escenarios corresponden al Escenario N°2, Escenario N°5 y Escenario N°8, respectivamente:

Gráfico 32: Diferencia entre Escenarios con distintos Estados iniciales del Embalse



Las diferencias que se presentan entre uno y otro Escenario de Estudio son menores. Por ejemplo, entre los Escenarios N°2 y N°5, con embalse inicialmente lleno y medio, respectivamente, se tienen diferencias que no alcanzan a ser de un punto porcentual. Finalmente, hacia el 26% de derechos del Maipo, ambas curvas convergen en una sola. Por otro lado, el Escenario N°8 con embalse inicialmente vacío, tiene una curva con un crecimiento un poco más lento, lo que produce que alcance el 100% de PDS cuando se tienen alrededor de un 32% de los derechos del Maipo.

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y PROPOSICIÓN DE PLAN DE ACCIÓN

En el presente Trabajo de Título se han estudiado dieciocho escenarios, que permiten ilustrar las posibles condiciones en que se encontraría el sistema de abastecimiento de agua potable del Gran Santiago debido a la influencia del cambio climático. Se ha construido un Modelo de Simulación en el que se desea evaluar el comportamiento de este sistema de agua potable frente a la acción del cambio climático sobre el río Maipo, que corresponde a la principal fuente de abastecimiento del Gran Santiago.

Como resultado del análisis realizado con el índice de Seguridad Mensual, al observar la *Tabla 37: Porcentaje de Seguridad alcanzado con los derechos de agua actuales del río Maipo*, en ninguno de los dieciocho Escenarios de Estudio se alcanza siquiera una seguridad de un 80%. Mientras que el porcentaje de Seguridad exigido por el D.S. MOP 1.199/2004 para un adecuado abastecimiento de AP es de un 90%.

Luego, se hace necesario, proponer algunas medidas que permitan disminuir el efecto del Cambio Climático sobre el sistema de abastecimiento del Gran Santiago. Estas medidas, se presentan a continuación:

1. Aumentar la disponibilidad para agua potable, considerando la compra de derechos del Maipo hasta satisfacer una seguridad mensual del 90% o un PDS mínimo de 80%²⁴, en los meses no satisfechos. Se llevaría a cabo la acción más restrictiva. Se deben evaluar los costos en que incurriría la empresa al concretar esta acción.
2. Disminución de la demanda de agua potable, lo que se podría hacer reduciendo las pérdidas entre la producción y la facturación de AP. El efecto de esta medida es uno de los más importantes; pues al analizar los Escenarios Tipo B, que consideran una pérdida del 20%, el nivel de seguridad alcanzado es siempre mayor al que se alcanza en los Escenarios de Demanda con una pérdida mayor.

Como la disminución de pérdidas es una medida de mediano a largo plazo, se plantea la compra de derechos de agua del Maipo, como solución inicial al déficit existente. Luego, se debe definir cuántas acciones se deben adquirir para satisfacer adecuadamente la demanda. En la *Tabla 39: Déficit Acciones del río Maipo para alcanzar una Seguridad de Suministro de 90%, 95%, 98% y 100% en el sistema de abastecimiento del Gran Santiago*, se encuentra detallada la cantidad de acciones necesarias para satisfacer el déficit que existiría para cada escenario si se desea alcanzar seguridades de un 90%, 95%, 98% y 100%. En primera instancia, se podrían adquirir al menos las necesarias para alcanzar un 90% de seguridad y así se cumpliría con el D.S. MOP 1.199/2004. La cantidad de acciones que se requiere conseguir para satisfacer la demanda estimada durante el periodo 2035-2065, se entrega a continuación:

²⁴ Según las conclusiones obtenidas por Lagos (2006).

Tabla 41: Déficit de Acciones para alcanzar una Seguridad del 90% en el periodo 2035-2065

ESCENARIOS			Déficit de Acciones
DR Favorable - Embalse Lleno	A	ESC 1	579,5
	B	ESC 2	148,1
	C	ESC 3	856,2
DR Favorable - Embalse Medio	A	ESC 4	585,1
	B	ESC 5	148,1
	C	ESC 6	856,2
DR Favorable - Embalse Vacío	A	ESC 7	624,5
	B	ESC 8	194,1
	C	ESC 9	879,6
DR Desfavorable - Embalse Lleno	A	ESC 10	593,1
	B	ESC 11	162,8
	C	ESC 12	864,1
DR Desfavorable - Embalse Medio	A	ESC 13	596,1
	B	ESC 14	162,8
	C	ESC 15	864,1
DR Desfavorable - Embalse Vacío	A	ESC 16	634,8
	B	ESC 17	202,3
	C	ESC 18	884,7

Como se mencionó en la segunda medida propuesta, el déficit de acciones disminuye notablemente para los Escenarios tipo B, que corresponden a la “Demanda controlada” de agua potable, en la que se disminuyen las pérdidas del sistema, invirtiendo para que no superen el 20%. Con ello se concluye que este tipo de medidas también se debe considerar dentro del Plan de Acción para mitigar el efecto del cambio climático sobre el sistema.

Ya que se ha planteado la opción de adquirir acciones, surgen algunas preguntas, como de dónde provendrían y cuál es el precio que se debería pagar por ellas. Debido a que el río Maipo es el principal recurso de agua dulce de la Región Metropolitana, y existen las instalaciones que permiten la extracción de agua desde su cauce, la primera interrogante parece tener una respuesta clara, y es que si hace falta agua para suministro de agua potable, se debe obtener desde este río, aunque esto signifique mermar la disponibilidad de agua para riego. Esto último implica una serie de posibles cambios en el uso del suelo en la Región Metropolitana, ya que, mientras sea factible, la autoridad superpondrá la seguridad de suministro de agua potable para la población, respecto de los requerimientos que pudiesen tener los regantes. Este aspecto es estudiado actualmente por el Centro de Cambio Global de la Pontificia Universidad Católica de Chile con su proyecto “*Vulnerabilidad de una Cuenca Mediterránea al cambio global: Una evaluación de la relevancia del cambio climático, cambio de uso de suelo y sus efectos sinérgicos como elementos forzantes en la Cuenca del Río Maipo*”, y no es parte de este Trabajo de Título abordarlo como problema, aunque se reconoce la dificultad a la que se verán enfrentados en un futuro a mediano plazo los agricultores de esta región.

Ahora bien, respecto a la segunda interrogante planteada, sobre el precio al que se adquirirían los derechos de aprovechamiento, cabe mencionar que en el mercado actual el precio de una acción

de AP es de aproximadamente 1.000 UF, es decir, aproximadamente US\$ 40.600 por acción²⁵. Pero, es importante notar que los cambios en la disponibilidad promedio de agua en el río, incidirán en el precio al que se transan los derechos, como lo indica el Estudio “*Economía del Cambio Climático en Chile*”, que fue descrito en el *Capítulo 3: Búsqueda de Antecedentes*, del presente Trabajo de Título. En este estudio se plantean precisamente los posibles precios que tendría cada acción, y también se obtuvo cantidades de acciones necesarias para alcanzar niveles adecuados de suministro de AP. El número de acciones y sus precios se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 42: Costos en las acciones de agua asociados al Cambio Climático

Periodo	Compra de acciones	Precio	Costo Total	Costo Anual
		[Dólares/acción]	[MM US\$]	[MM US\$/año]
Escenario A2				
2011-2040	634	52.233	33	1,1
2041-2070	951	62.313	59	2,0
2071-2099	441	67.353	30	1,0
Escenario B2				
2011-2040	1121	52.233	59	2,0
2041-2070	904	62.313	56	1,9
2071-2099	6	67.353	0	0,0

En el siguiente análisis, se utilizará el precio para las acciones indicado para el periodo 2041-2070 que es el más parecido al periodo de estudio analizado, para comparar los resultados obtenidos entre uno y otro estudio. Para realizar la modelación, se supuso que al inicio del periodo 2035-2065 se tendría la totalidad de derechos exigidos para los distintos Escenarios planteados en la *Tabla 41*. Esto implica que la inversión se debe realizar durante el periodo previo al estudiado, entre los años 2011 y 2035, es decir, 25 años de inversión. Luego, los costos asociados a las inversiones en acciones serían:

²⁵ Valor calculado asumiendo valores para la UF y el dólar al 16 de Marzo del 2010, es decir, 1UF= \$20.968,11 y US\$1= \$516,45.

Tabla 43: Costos de Compra de Acciones para Seguridades de 90%, 95%, 98% y 100%

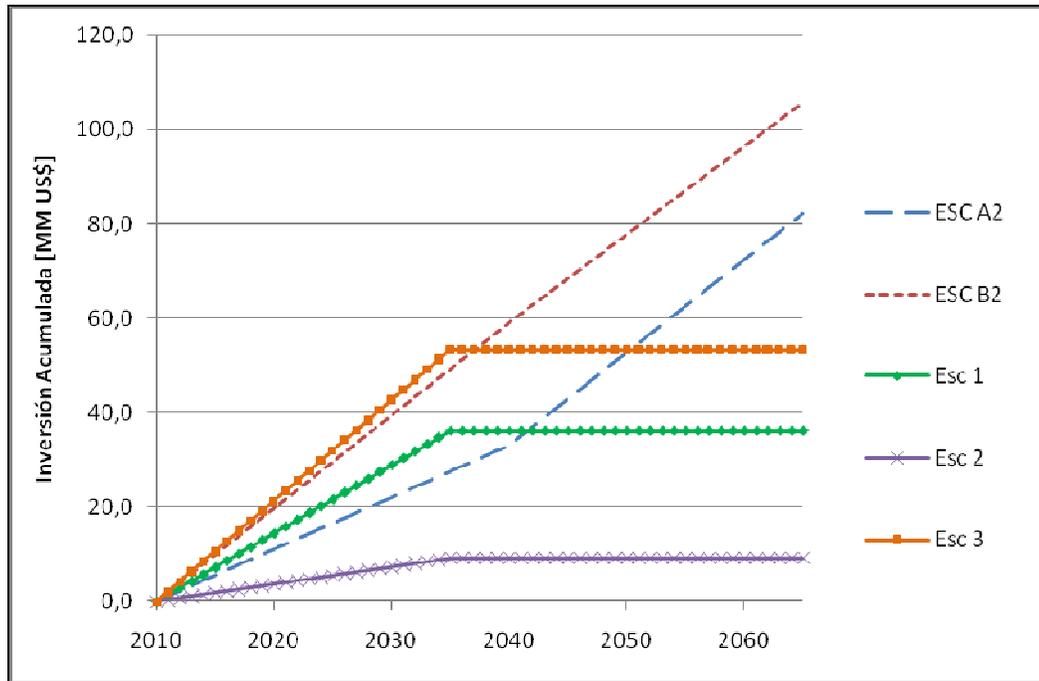
ESCENARIO			Costo Total [MM US\$]				Costo Anual [MM US\$ al año]			
			90%	95%	98%	100%	90%	95%	98%	100%
DR Favorable - Embalse Lleno	A	ESC 1	36,1	41,5	45,8	53,4	1,44	1,66	1,83	2,14
	B	ESC 2	9,2	14,5	17,3	23,0	0,37	0,58	0,69	0,92
	C	ESC 3	53,4	58,3	70,6	94,0	2,13	2,33	2,82	3,76
DR Favorable - Embalse Medio	A	ESC 4	36,5	41,5	45,8	53,4	1,46	1,66	1,83	2,14
	B	ESC 5	9,2	14,5	17,3	23,0	0,37	0,58	0,69	0,92
	C	ESC 6	53,4	58,3	70,6	94,0	2,13	2,33	2,82	3,76
DR Favorable - Embalse Vacío	A	ESC 7	38,9	44,0	51,6	78,8	1,56	1,76	2,06	3,15
	B	ESC 8	12,1	16,6	22,0	43,3	0,48	0,66	0,88	1,73
	C	ESC 9	54,8	61,9	72,2	94,0	2,19	2,48	2,89	3,76
DR Desfavorable - Embalse Lleno	A	ESC 10	37,0	42,5	46,6	53,4	1,48	1,70	1,86	2,14
	B	ESC 11	10,1	15,1	18,3	23,0	0,41	0,60	0,73	0,92
	C	ESC 12	53,8	58,3	70,6	94,0	2,15	2,33	2,82	3,76
DR Desfavorable - Embalse Medio	A	ESC 13	37,1	42,5	46,6	53,4	1,49	1,70	1,86	2,14
	B	ESC 14	10,1	15,1	18,3	23,0	0,41	0,60	0,73	0,92
	C	ESC 15	53,8	58,3	70,6	94,0	2,15	2,33	2,82	3,76
DR Desfavorable - Embalse Vacío	A	ESC 16	39,6	45,2	51,6	78,8	1,58	1,81	2,06	3,15
	B	ESC 17	12,6	17,3	22,3	43,3	0,50	0,69	0,89	1,73
	C	ESC 18	55,1	61,9	72,2	94,0	2,21	2,48	2,89	3,76

Si bien, una seguridad de un 100% es inalcanzable en la práctica, cabe mencionar que los costos son en promedio, 27 millones de dólares mayores que una inversión que permita alcanzar un 90% de seguridad. Una inversión para alcanzar un 100% de seguridad de abastecimiento, casi duplica a una que alcanza el 90%.

El 90% de seguridad se alcanzaría con inversiones entre 370 mil dólares anuales para un Escenario más optimista, como el Escenario N°1, hasta 2,2 millones de dólares anuales, para los Escenarios tipo C (Escenarios N°12, N°15 y N°18).

A continuación, se presenta un gráfico comparativo entre los costos de las compras anuales de acciones de los Escenarios planteados en el estudio “*Economía del Cambio Climático en Chile*” y los Escenarios N°1, N° 2 y N° 3 del presente Trabajo de Título. En este gráfico se entrega la inversión acumulada que debe realizar la empresa al adquirir en forma anual las acciones necesarias para satisfacer las demandas del sistema con un 90% de Seguridad durante los periodos en estudio.

Gráfico 33: Compra Anual de Acciones para los Escenarios A2, B2 de Cambio Climático y para los Escenarios N°1, N°2 y N°3 de estudio en el presente Trabajo de Título



La compra de derechos inicia el año 2011, para los 5 Escenarios mencionados anteriormente. Como se observa, para los Escenarios A2 y B2 se plantea la compra lineal de acciones entre los años 2010 y 2065. Mientras que para los Escenarios N°1, N°2 y N°3, la compra se realiza sólo en los años previos al periodo en estudio.

Los resultados obtenidos en los estudios distan bastante unos de otros. Para los Escenarios A2 y B2, se alcanza a un nivel de compra de 1.426,5 y 1.874,3 acciones al año 2065, respectivamente; mientras que los Escenarios N°1, N°2 y N°3 alcanzan 579,5; 148,1 y 856,2 acciones, respectivamente.

La diferencia entre uno y otro estudio, se puede deber al cálculo de la disponibilidad, pues el estudio de la CEPAL evaluó sólo la existente para Aguas Andinas, mientras que en este Trabajo de Título se abordaron las Empresas Sanitarias del Gran Santiago con una participación mayor al 1%. Lo anterior implicaría que no se están integrando en el análisis EE.SS. como S.M.A.P.A., Aguas Santiago, entre otras empresas, que utilizan principalmente aguas subterráneas. En el presente Trabajo de Título, por efectos de simplicidad y porque no es el objetivo al que se apuntaba, se ha dejado como un valor constante la disponibilidad de este tipo de fuentes. Esto, por un lado, aumenta la disponibilidad existente que se ha planteado en esta Memoria, pero por otro lado, puede incurrir en sobreestimaciones de la disponibilidad, en la que no estaría incurriendo el estudio de la CEPAL, lo que finalmente podría explicar la diferencia de costos alcanzada. Además, existen otros costos, los de infraestructura que el presente Trabajo de Título no ha incluido en los cálculos realizados y que sí fueron incluidos en el estudio de la CEPAL.

Un tercer aspecto que es válido cuestionarse, corresponde a la cantidad de acciones que la Empresa Sanitaria pueda comprar, pues cada cinco años, las EE.SS. realizan un plan de desarrollo para evaluar la cantidad de derechos que requieren adquirir, pero esta cantidad no aumenta en el tiempo, sino que disminuye, por lo que es posible que la Empresa Sanitaria no esté

económicamente lista para adquirir todos los derechos que se necesiten, y entonces, se deberán comprar en forma paulatina, hasta adquirir todos los que sean necesarios(Planes de Desarrollo EE.SS.). De ahí que se entregue el costo anual de adquirir las acciones planteadas para alcanzar el nivel de seguridad descrito.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El cambio climático es un fenómeno que afectará la temperatura, la precipitación, y otras variables hidrológicas, las que provocarían un cambio en la disponibilidad de agua en ríos, lagos, etc. La principal fuente de agua para suministro de agua potable en la zona del Gran Santiago es el río Maipo y los estudios mencionados en el Capítulo 2, han indicado que su caudal disminuiría en un mediano plazo. De no existir medidas que permitan reasignar los recursos hídricos disponibles en el río Maipo, la seguridad de suministro de agua potable se podría ver gravemente afectada, pues existirían déficits en el sistema de abastecimiento de agua potable de la zona. Es por ello que, en el presente Trabajo de Título, se ha abordado este problema de escasez inminente a través de un modelo del sistema de abastecimiento del Gran Santiago que incluye el efecto del cambio climático en el río Maipo.

Los resultados obtenidos indican que, debido al efecto del cambio climático, el caudal del río Maipo en El Manzano disminuiría en un 12%, lo que también reduciría el caudal que corresponde a los derechos de aprovechamiento de las Empresas Sanitarias, que en la actualidad tienen, aproximadamente, un 24,5%, lo que corresponde a 1989,4 de las 8.133 acciones de la primera sección del río Maipo. Con la modelación del sistema de abastecimiento de agua potable en el Gran Santiago, se desea verificar si estos derechos son suficientes para satisfacer las demandas futuras, dada la disminución que presentaría el río Maipo.

Para estimar la demanda mensual de agua potable en el Gran Santiago en el periodo 2035-2065, se integraron las demandas de las empresas sanitarias con mayor participación en el mercado²⁶. Para realizar el balance, se estableció un orden de entrada para las fuentes de agua potable disponibles. El orden se realizó priorizando el uso del agua que no es posible embalsar, hasta llegar a aquellas que son embalsadas si no se utilizan durante el mes en cuestión. De esta forma, el orden de entrada de las fuentes es el siguiente:

1. Río Mapocho y Captaciones Superficiales Menores.
2. Río Maipo en Régimen Natural (sin incluir el río Yeso).
3. Captaciones Subterráneas.
4. Río Yeso, aguas arriba del Embalse El Yeso.
5. Embalse El Yeso.

Para modelar las posibles situaciones futuras se supuso la existencia de tres escenarios de demanda de agua potable, dos escenarios posibles de demanda de riego y tres posibles estados iniciales en el Embalse El Yeso. De esta forma, se hizo un Balance Hídrico con dieciocho escenarios diferentes, en forma mensual, para distintos porcentajes de derechos de aprovechamiento de agua potable del río Maipo. Con ello, se quiso verificar la existencia de situaciones de falla, es decir, meses en que la demanda no fuera satisfecha, y si así era, conocer la cantidad de derechos que se requerirían para satisfacerla.

Para evaluar los escenarios, se utilizó dos índices de seguridad de distinto tipo. Del análisis realizado se reconoce la importancia de medir tanto la frecuencia como la magnitud de las situaciones de falla. Esto es algo fundamental para poder realizar un buen análisis de los resultados obtenidos. Se recomienda utilizar un índice basado en la frecuencia de las fallas, que

²⁶ Empresas Sanitarias con más de un 1% de participación en el Gran Santiago.

permita conocer la cantidad de veces que la demanda del sistema fue insatisfecha. El índice utilizado en este estudio es el de Seguridad Mensual, que además permitió conocer el número de acciones que se necesitan para satisfacer la demanda en los escenarios planteados. También, se requiere evaluar el sistema con un índice basado en la severidad de las fallas, es decir, un índice que permita conocer la magnitud del déficit en situación de falla. En este caso, el índice utilizado es el Porcentaje de Demanda Suplida (PDS), y específicamente, el valor mínimo alcanzado de entre los valores mensuales de PDS.

Los resultados obtenidos en este análisis son los siguientes:

1. Como se mencionó inicialmente, el objetivo general de este Trabajo de Título es proponer criterios de seguridad para evaluar el suministro de AP frente al cambio climático. Para la cuenca del río Maipo, se opta por exigir una seguridad de al menos un 90% o un Porcentaje de Demanda Suplida (PDS) mínimo de un 80% en los meses con falla, para asegurar un adecuado abastecimiento de AP. Se llevaría a cabo la acción más restrictiva.

2. Evaluando con el índice de seguridad mensual y manteniendo la cantidad de derechos de aprovechamiento que se tienen actualmente, en ninguno de los dieciocho casos en estudio se alcanza siquiera un 90% de seguridad, por lo que se debe plantear la necesidad urgente de adquirir nuevos derechos de agua. Respecto a dicha posible adquisición de acciones, según un estudio realizado para la DGA en la primera sección del río Maipo²⁷, no es posible constituir nuevos derechos consuntivos permanentes de agua, lo que implica que estos derechos deben ser adquiridos mediante su compra a otros usuarios del río Maipo.

3. Para adquirir los derechos necesarios que permitan alcanzar un adecuado nivel de seguridad, se deben comprar las acciones a precio de mercado, el que posiblemente experimente un alza debido a la disminución del caudal en el río Maipo durante el periodo de estudio. En el análisis realizado en el Capítulo anterior, se entregó en la *Tabla 43* los posibles precios de adquisición de derechos para los distintos Escenarios de Estudio planteados. Los costos variarían entre 370 mil dólares hasta 2,2 millones de dólares anuales, para alcanzar una seguridad de un 90%, según el índice de Seguridad Mensual.

4. Los escenarios de menor demanda de agua potable corresponden a los Escenarios Tipo B, con pérdidas en el sistema de producción de 20%. Según los resultados obtenidos, este tipo de Escenarios presentan menor frecuencia de fallas, y al ser evaluados utilizando el índice de PDS también presentan menores déficits. Esto indica la conveniencia de invertir en mejoras en los sistemas de producción y distribución para disminuir las pérdidas, lo que se confirma al observar los resultados que se obtienen para los Escenarios Tipo A o Tipo C. Por ejemplo, aunque los Escenarios Tipo A presentan las mismas dotaciones que los Escenarios Tipo B, las pérdidas entre la producción y la facturación para los primeros son de un 30%, y sólo con ese cambio, existe un requerimiento de 3 a 4 veces más acciones que en los Escenarios Tipo B. Por otro lado, al realizar la comparación entre Escenarios Tipo B y Tipo C, éstos últimos tienen además del 30% de pérdida, un aumento en las dotaciones. Lo anterior implica una variación en los requerimientos

²⁷ Departamento de Administración de Recursos Hídricos de la Dirección General de Aguas (2003).

de acciones que alcanza desde 4,4 hasta 5,8 veces los requerimientos para los Escenarios Tipo B. Luego, es posible concluir que disminuir en un 10% las pérdidas entre el proceso de producción y de facturación, reduciría los costos de inversión entre 27 y 44 millones de dólares; dejando los costos en valores cercanos a los 9 a 13 millones de dólares.

Respecto al comportamiento de la demanda de agua y su efecto sobre la Seguridad Mensual, se pudo observar, que por ejemplo, al añadir la pérdida de un 5% de agua entre el punto de toma y la planta de tratamiento, se requería de un mayor número de derechos de agua para poder alcanzar el 100% de Seguridad Mensual. Los Escenarios tipo A debían aumentar en 2 puntos porcentuales los derechos, los tipo B, en 1 punto porcentual y los tipo C, en 3. De igual forma, al calcular la cantidad de derechos necesarios para alcanzar un 90% de Seguridad Mensual, en todos los Escenarios se necesitaba aumentar entre 1,5 y 1,9 puntos porcentuales. A continuación se presentan los porcentajes de Derechos del Maipo para Demandas de AP que incluyan el 5% de pérdida y no lo incluyan.

Tabla 44: Porcentaje de Derechos del río Maipo requeridos para satisfacer Demandas de AP con un 90% de Seguridad Mensual, que incluyan o no un 5% de pérdida entre Toma y Producción

ESCENARIOS	% Derechos del río Maipo		Diferencia %
	Con 5%	Sin 5%	
ESC 1	31,6	29,9	1,67
ESC 2	26,3	24,7	1,56
ESC 3	35,0	33,1	1,85
ESC 4	31,7	29,9	1,72
ESC 5	26,3	24,8	1,53
ESC 6	35,0	33,1	1,85
ESC 7	32,1	30,5	1,65
ESC 8	26,8	25,3	1,55
ESC 9	35,3	33,4	1,88
ESC 10	31,8	30,2	1,60
ESC 11	26,5	24,9	1,59
ESC 12	35,1	33,2	1,87
ESC 13	31,8	30,2	1,63
ESC 14	26,5	24,9	1,57
ESC 15	35,1	33,2	1,87
ESC 16	32,3	30,7	1,59
ESC 17	26,9	25,4	1,50
ESC 18	35,3	33,5	1,89

Para explicar esta variación, se calculó el porcentaje del río que se debería extraer por sobre lo que se extraía inicialmente (sin contar las pérdidas). Con una pérdida de un 5% sobre un porcentaje variable de derechos del río, se tiene que, por ejemplo, si se extrae un 5% de un 25% de derechos correspondientes a EE.SS., se debería extraer

$$5\% \cdot 25\% (\text{río } _ \text{Maipo}) = 1,25\% (\text{río } _ \text{Maipo})$$

Es decir, se debería extraer un 1,25% del río, además de lo que se sacaba inicialmente del río, de manera de satisfacer la demanda de AP que se produce al añadir las pérdidas entre toma y producción. Para otros valores de derechos, se tiene:

Tabla 45: Porcentaje del río Maipo a extraer de manera extraordinaria para satisfacer la demanda de AP

% río Maipo	% requerido río Maipo
15	0,75
20	1,00
25	1,25
30	1,50
35	1,75
40	2,00

Estos valores coinciden de manera parcial con los valores obtenidos como diferencia en la *Tabla 44*, esto, si se considera que los porcentajes necesarios incluyendo el 5% de pérdida, varían entre un 25% y 35% de los derechos de aprovechamiento del río Maipo.

5. En cuanto a la influencia de la demanda de riego en los resultados obtenidos, se puede decir que: para escenarios con una demanda de riego favorable, se tiene una seguridad sólo un punto porcentual mayor que con una demanda de riego desfavorable, para bajos porcentajes de derechos de aprovechamiento. Para mayores porcentajes, la diferencia entre un escenario con Demanda de Riego Favorable y su análogo, con Demanda desfavorable, se hace cada vez más estrecha. A continuación, se presentan tres gráficos que permiten observar las tendencias de las curvas de seguridad para cada escenario planteado de demanda de riego.

Gráfico 34: Escenarios para Embalse Lleno y Demanda Favorable y Desfavorable de Riego

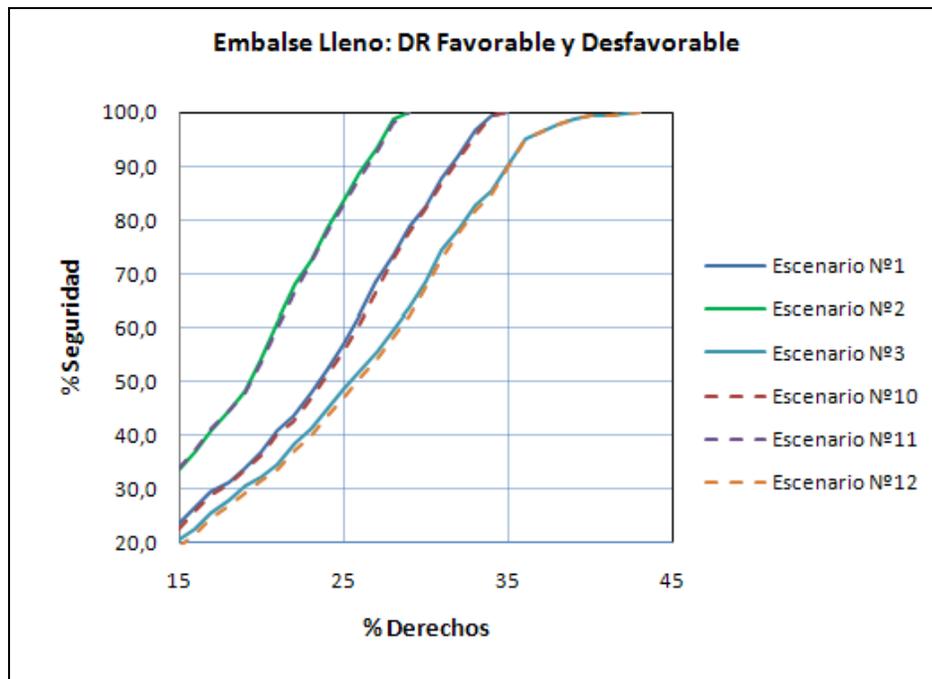


Gráfico 35: Escenarios para Embalse Medio y Demanda Favorable y Desfavorable de Riego

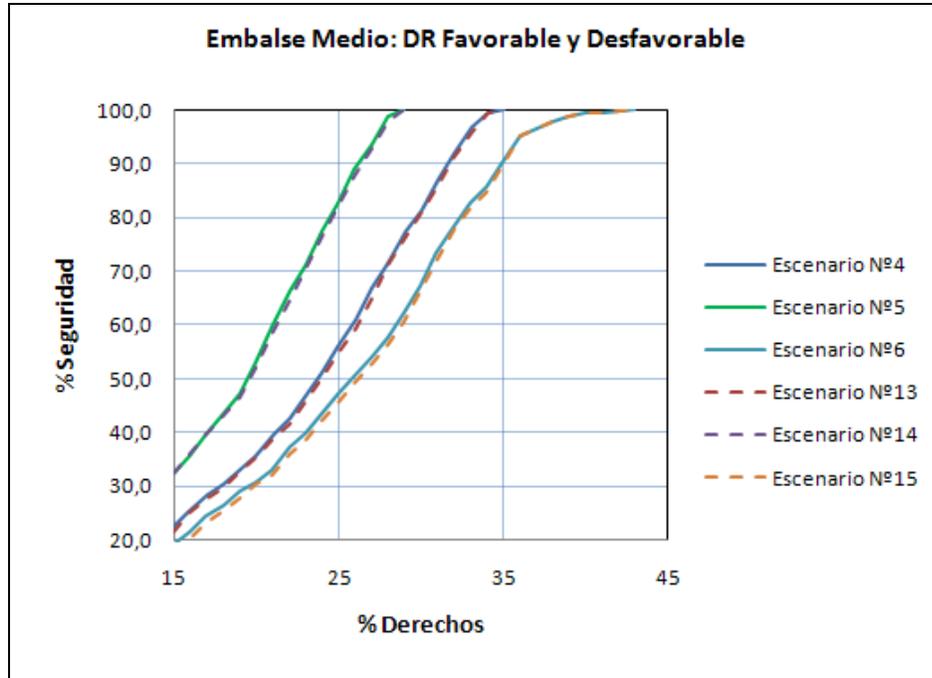
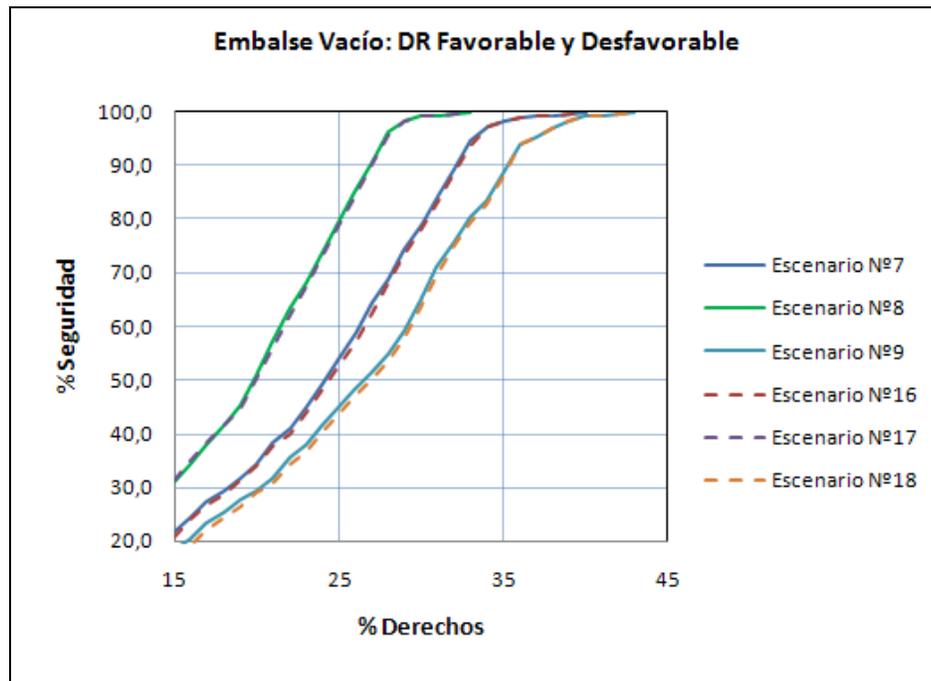


Gráfico 36: Escenarios para Embalse Vacío y Demanda Favorable y Desfavorable de Riego



En estos gráficos se observan tres grupos de líneas, el grupo de la izquierda corresponde a los Escenarios Tipo B, que es el que presenta los mayores niveles de seguridad, luego, en el centro se encuentran los Escenarios Tipo A y por último, a la derecha están los Escenarios Tipo C. Dentro de estos grupos, hay dos tipos de líneas, las líneas continuas son las de demanda de riego

favorable, que presentan un porcentaje de seguridad un poco mayor que las líneas segmentadas que corresponden a demanda de riego desfavorable.

En los tres Gráficos presentados, se observa cómo para bajos porcentajes de derechos de aprovechamiento de agua, existe una diferencia inicial de alrededor de un 1% entre escenarios con demanda de riego favorable y desfavorable. Para porcentajes mayores de derechos de agua, ambos escenarios alcanzan un 100% de seguridad mensual para un mismo porcentaje de derechos, convergiendo ambos a una trayectoria similar.

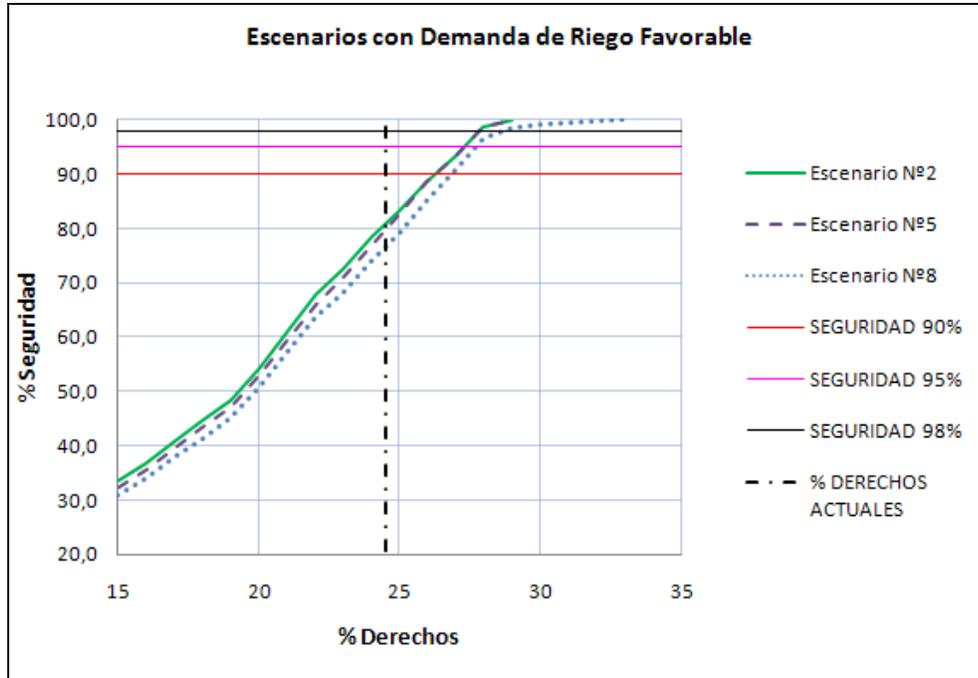
Debido a que la demanda de riego favorable para AP depende de la cantidad de derechos de aprovechamiento de agua que tengan las EE.SS., la demanda de riego establecida para el caso favorable tiene un efecto dispar en la Seguridad Mensual, dependiendo del porcentaje de derechos del río Maipo con que se esté realizando el balance hídrico. Para porcentajes menores al actual, el efecto de la demanda de riego sobre la seguridad mensual la hace disminuir, pues para bajos porcentajes de derechos de agua se tendría, valga la redundancia, menos derechos de agua para poder satisfacer la demanda de agua potable, y por lo tanto, la seguridad con la que ésta pueda ser satisfecha, sería menor. Por otro lado, para porcentajes mayores al actual, se está asumiendo mayor disponibilidad de agua proveniente del río Maipo, para satisfacer las demandas requeridas; por lo que el efecto de la demanda de riego, en este caso, haría aumentar la Seguridad Mensual.

A pesar de lo anterior, como se observó en los Gráficos 34, 35 y 36, se puede decir que la variación de la demanda de riego no produce un efecto importante en el cálculo de la seguridad de suministro de agua potable, al menos no al nivel de derechos de aprovechamiento que será necesario tener para asegurar un adecuado suministro de agua potable.

6. Al evaluar el efecto del estado inicial del embalse sobre la seguridad de suministro, se obtienen curvas de seguridad muy parecidas entre sí, para los estados iniciales Lleno y Medio. Mientras que el Estado inicial Vacío del Embalse, tiene curvas de seguridad que se mueven hacia la derecha en el gráfico, es decir, disminuye la seguridad en comparación con los otros estados del Embalse, para un mismo porcentaje de derechos de aprovechamiento.

A continuación se presentan las curvas de Seguridad para el Escenario B con Embalse Lleno, Medio y Vacío:

Gráfico 37: Seguridad para el Escenario B, con Demanda de Riego Variable.



El Escenario N°2 corresponde a un escenario con el Embalse inicialmente Lleno, y se observa que tiene siempre un nivel de seguridad mayor o al menos, igual, al de los otros estados. El nivel de seguridad alcanzado con el embalse inicialmente Medio, se representa por el Escenario N°5 en línea segmentada. Como se puede apreciar en el gráfico anterior, el nivel de seguridad mensual del 100% se alcanzaría con un 29% de los derechos de agua del río Maipo. Las trayectorias que siguen las curvas de Seguridad de los Escenarios N°2 y N°5 convergen a una misma curva, a partir del 26% de derechos de aprovechamiento de agua, aproximadamente.

El último escenario corresponde al Escenario N°8, en línea punteada, el que representa el Embalse inicialmente vacío en el periodo de estudio. Al contrario de los estados Lleno y Medio, el embalse Vacío alcanzaría el nivel de seguridad del 100% con el 33% de los derechos del río Maipo, es decir, con 4% más de derechos que los escenarios que inicialmente se encuentran en Estado Lleno o Medio.

Lo usual al modelar sistemas de abastecimiento que tengan un embalse, es que el estado inicial de éste sea importante para obtener una mayor seguridad de suministro. En este caso, los resultados están indicando una menor influencia de esta variable sobre la seguridad calculada. Ahora bien, en este estudio existe la particularidad de que al comienzo del periodo de análisis, el caudal medio anual hidrológico del río Maipo es de $63,3[m^3/s]$, valor sumamente bajo, lo que provocó que durante ese año se utilizara gran cantidad de caudal almacenado inicialmente en el embalse para poder satisfacer la demanda de AP. Es por esto, que al evaluar el balance hídrico para bajos valores de porcentaje de derechos del Maipo que corresponde a EE.SS. (15% a 20%), se obtuvo que desde el mes en que se vacía el embalse, el PDS comenzó a ser el mismo para cualquiera de los tres estados iniciales del Embalse (manteniendo fijos las demandas de agua potable y de riego). Cuando se aumentó el porcentaje de derechos del Maipo, a 25% o más, entonces el Embalse, en vez de vaciarse, empezó a subir su nivel hasta llenarse, lo que sucedió para los tres Escenarios con distintos estados iniciales del Embalse. El PDS es el mismo para los escenarios de Embalse Lleno y Medio, al igual que el índice de Seguridad Mensual.

Para corroborar esto, se presenta como ejemplo, los gráficos de PDS para el Escenario A, de Demanda Favorable de Riego. Se observa que, en principio, para cada estado del Embalse existe una diferencia en el porcentaje de demanda que es satisfecha, pero a partir de cierta fecha, los porcentajes comienzan a ser los mismos para cada uno de los tres escenarios.

Gráfico 38: Porcentaje de Demanda Suplida para el Escenario A, con Demanda Favorable de Riego, con 15% de los derechos de aprovechamiento disponibles para EE.SS.: Estado Embalse Lleno, Estado Embalse Medio y Estado Embalse Vacío.

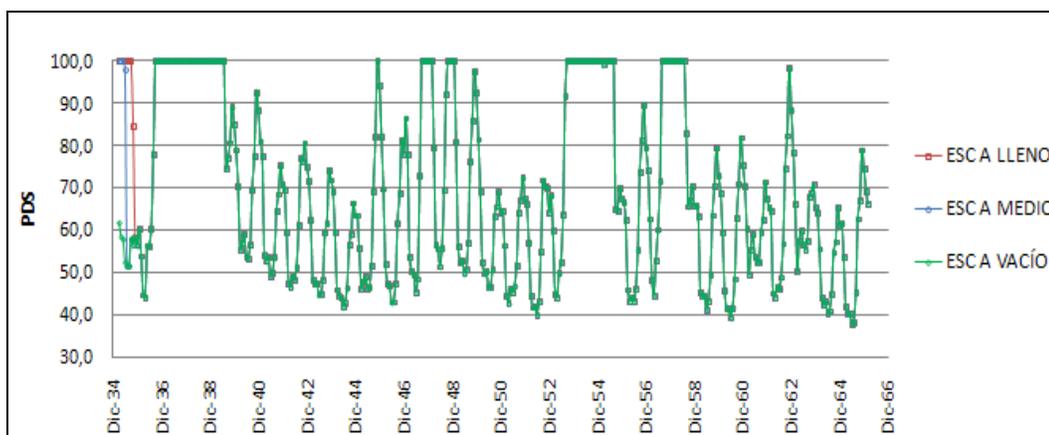


Gráfico 39 Porcentaje de Demanda Suplida para el Escenario A, con Demanda Favorable de Riego, con 24,5% de los derechos de aprovechamiento disponibles para EE.SS.: Estado Embalse Lleno, Estado Embalse Medio y Estado Embalse Vacío.

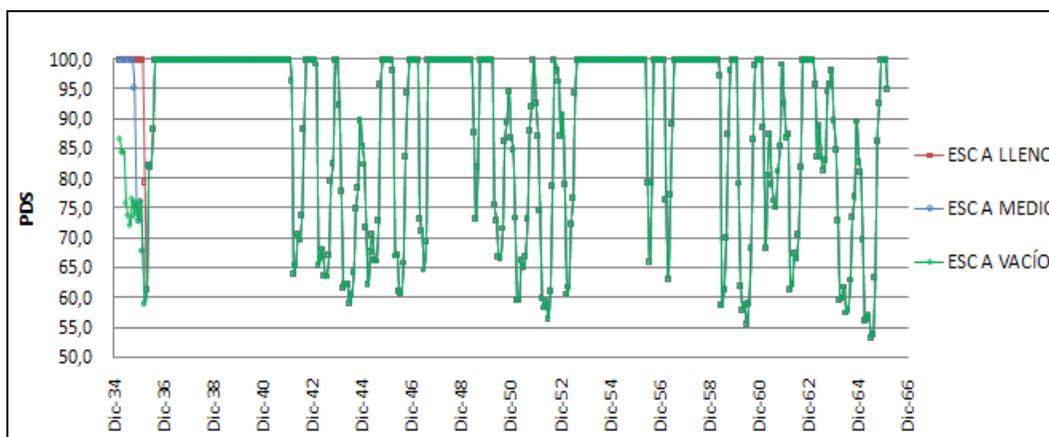
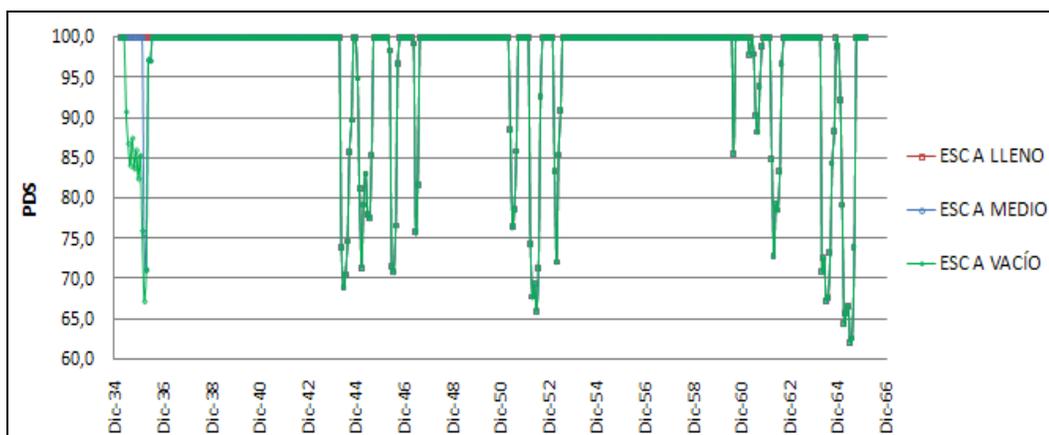


Gráfico 40: Porcentaje de Demanda Suplida para el Escenario A, con Demanda Favorable de Riego, con 30% de los derechos de aprovechamiento disponibles para EE.SS.: Estado Embalse Lleno, Estado Embalse Medio y Estado Embalse Vacío.

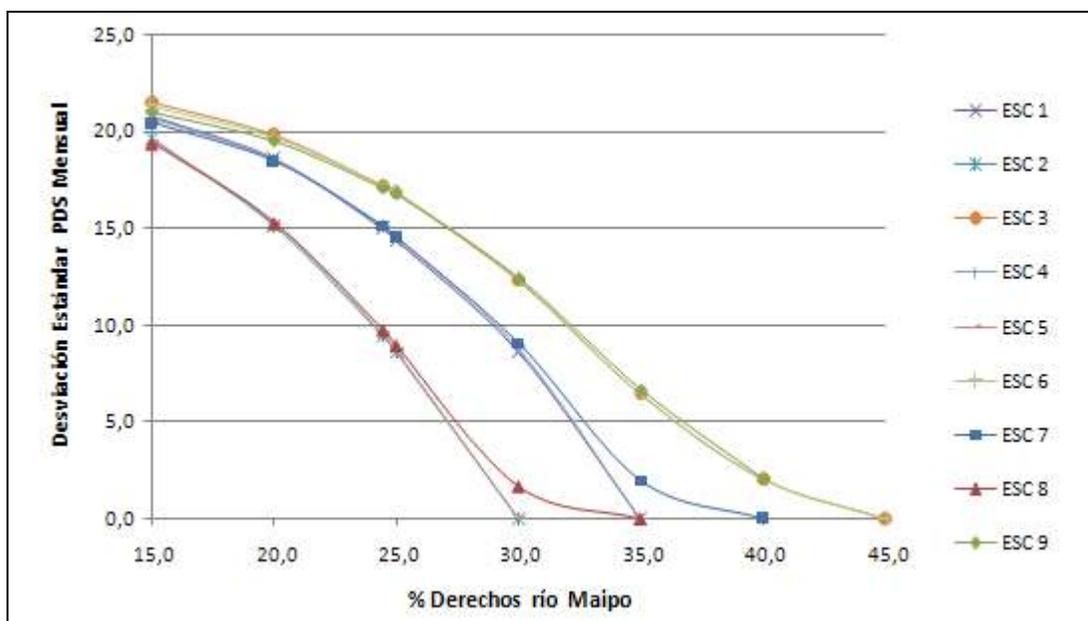


Al inicio del periodo de análisis, es posible observar las diferencias entre los distintos Estados iniciales del nivel del Embalse. En el *Gráfico 38*, se observa también una alta variación del PDS. Este hecho se debe a que el porcentaje de derechos de aprovechamiento de un 15%, es un valor bajo que influye en los bajos PDS alcanzados en el periodo. Se podría concluir que para bajos porcentajes de derechos de aprovechamiento, existirían altas variaciones de PDS, mientras que para porcentajes mayores de derechos de agua, se tendrán menores variaciones de PDS. Esto se puede observar en el gráfico siguiente, en donde se relaciona la desviación estándar de los PDS mensuales calculados para diversos escenarios, con el porcentaje de Derechos del río Maipo.

Tabla 46: Desviación Estándar del índice PDS Mensual para distintos Porcentajes de Derechos del río Maipo. Escenarios de Demanda de Riego Favorable.

% río Maipo	DESVIACIÓN ESTÁNDAR								
	ESC 1	ESC 2	ESC 3	ESC 4	ESC 5	ESC 6	ESC 7	ESC 8	ESC 9
15,0	20,8	19,6	21,5	20,6	19,5	21,3	20,4	19,4	21,0
20,0	18,6	15,1	19,8	18,5	15,3	19,7	18,5	15,3	19,5
24,5	15,0	9,4	17,2	15,1	9,5	17,2	15,1	9,7	17,1
25,0	14,4	8,6	16,9	14,5	8,6	16,9	14,5	8,9	16,8
30,0	8,6	0,0	12,3	8,8	0,0	12,4	9,0	1,7	12,4
35,0	0,0	0,0	6,4	0,0	0,0	6,4	2,0	0,0	6,7
40,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	2,1
45,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Gráfico 41: Desviación Estándar del índice PDS Mensual en función del Porcentaje de Derechos del río Maipo, para Escenarios de Demanda de Riego Favorable.



La desviación estándar del gráfico anterior se calculó con todos los PDS mensuales del periodo, incluyendo meses con y sin falla. Todas las curvas llegan hasta una desviación estándar nula cuando los PDS del periodo son todos 100%.

Se pueden observar tres grupos de curvas. El grupo de la izquierda, corresponde a los Escenarios N°2, N°5 y N°8, estos son los Escenarios con menor desviación estándar de los PDS calculados. Lo anterior, se debe a que estos Escenarios son los que alcanzan el 100% de PDS con mayor rapidez, entre un 29% y un 32% de los derechos de aprovechamiento de AP

Las curvas centrales corresponden a los Escenarios N°1, N°4 y N°7, de demanda de AP tipo A. Estos Escenarios alcanzan el 100% de PDS con un porcentaje de derechos de aprovechamiento del río Maipo entre 35 y 39%. Respecto a las curvas de la derecha, éstas son las curvas que representan a los Escenarios de mayor demanda y pérdidas, por esta razón requieren de un mayor porcentaje de derechos para alcanzar un 100% de PDS, lo que sucede con un 42% de derechos.

9. BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

- AGUAS ANDINAS (2009). “Estudio Tarifario Aguas Andinas S.A., Bases Finales”. Página web: <http://www.siss.cl/article-4538.html>
- AGUAS ANDINAS (2009). “Estudio Tarifario Aguas Andinas S.A., Informe Final”. Página web: <http://www.siss.cl/article-4538.html>
- AGUAS ANDINAS (2005). Actualización Plan de Desarrollo Sistema Gran Santiago. Documento de la SISS.
- AGUAS CORDILLERA (2005). Actualización Plan de Desarrollo Aguas Cordillera Revisión 1. Documento de la SISS.
- AGUAS LOS DOMÍNICOS²⁸ (2005). Actualización Plan de Desarrollo, Sistema Aguas Los Domínicos. Documento de la SISS.
- AGUAS MANQUEHUE (2005). Actualización Plan de Desarrollo, Sistema Santa María de Manquehue, Vitacura-Huechuraba y Sistema Los Trapenses Revisión 1. Documento de la SISS.
- AGUAS SANTIAGO (2005). Plan de Desarrollo Aguas Santiago S.A.: Lo Barnechea. Documento de la SISS.
- AGUAS SANTIAGO (2006). Plan de Desarrollo Aguas Santiago S.A.: Ampliación Concesión Sector “Valle Escondido”. Documento de la SISS.
- AGUAS SANTIAGO PONIENTE (2006). Actualización Plan de Desarrollo. Región Metropolitana. Documento de la SISS.
- ARAYA Zapata, Renato Andrés (2004). Impacto en la tarificación de obras de seguridad a nivel de producción de agua potable. Tesis para optar al Título de Ingeniero Civil. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas,.
- AYALA, CABRERA Y ASOCIADOS LTDA. Ingenieros Consultores (2007). Estimaciones de demanda de agua y proyecciones futuras, Zona II: Regiones V a XII y Región Metropolitana. Informe realizado para la Dirección General de Aguas. S.I.T. N° 123.
- BARNETT, T.P., Adam, J.C. & Lettenmaier, D.P. (2005) “Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions”. *Nature*. **438**, 303-309.
- BROWN, Ernesto (2006). “Criterios de Seguridad Hidrológica en Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable”. Trabajo Seminario AIDIS Chile: Vulnerabilidad de Abastecimiento de AP y aspectos normativos de calidad de servicios, Santiago de Chile.
- CADE-IDEPE. “Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad, cuenca del río Maipo” (2004). Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas. Gobierno de Chile Página web: http://www.sinia.cl/1292/articles-31018_Maipo.pdf
- CHADWICK Quezada, Francisca JÓse (2004). Análisis de vulnerabilidad de sistemas de producción de agua potable localizados en la subcuenca del río Mapocho. Tesis para optar al

²⁸ Empresa absorbida por Aguas Cordillera el Año 2008, pero el Plan de Desarrollo se realizó el año 2005, anterior al término de la Empresa como Aguas Los Domínicos

Título de Ingeniero Civil. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

- CLIMATIC RESEARCH UNIT: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/info/causecc/>
- COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE, CEPAL (2009). “La Economía del Cambio Climático en Chile: Síntesis”. Santiago de Chile, Publicación de las Naciones Unidas.
- COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE, CEPAL (1991). “Manual para la estimación de los efectos socioeconómicos de los desastres naturales”. Santiago de Chile, División de Planificación de Programas y Operaciones.
- D’ARCANGELI Rojas, Verona Rossana (1997). Variación temporal de algunos factores meteorológicos en Chile. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- Departamento de Administración de Recursos Hídricos. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile (2003). “Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales en la Cuenca del río Maipo”. S.D.T. N° 145.
- DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA (2006). Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. “Estudio de la Variabilidad Climática en Chile para el siglo XXI”. Estudio realizado para CONAMA.
- DIVYA, R. MEHROTRA (1995). Climate Change and Hydrology with Emphasis on Indian Subcontinent, Hydrological Sciences Journal, 40(2), 231-241.
- EMPRESA DE SERVICIOS SANITARIOS DE LO PRADO S.A. (2003). Plan de Desarrollo: Informe. Documento de la SISS.
- ESTRADA, F. (1994). Garantía en los Sistemas de Explotación de los Recursos Hidráulicos CEDEX, Centro de Estudio y Experimentación de Obras Públicas. España.
- FIGUEROA Leiva, René Antonio (2008). “Efectos del cambio climático en la disponibilidad de recursos hídricos a nivel de cuenca: implementación de un modelo integrado a nivel superficial y subterráneo”. Tesis para optar a magíster en ciencias de la ingeniería, mención recursos y medio ambiente hídrico y Tesis para optar al Título de Ingeniero Civil. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- FONTAINE T.A.; Klassen J.F.; Cruickshank T.S.; Hotchkiss R.H. (2001). “Hydrological response to climate change in the Black Hills of South Dakota, USA”. Hydrological Sciences Journal, Volume 46, pág. 27 – 40.
- GARREAUD, R., Falvey, M. (2007). “Cambio climático y bases físicas e impactos en Chile”. Seminario especializado para Aguas Andinas. Página web: http://met.dgf.uchile.cl/~rgarreau/PRES/cambio_AGUASANDINAS.pdf
- GARREAUD, René (2008). “Aspectos Regionales del cambio climático global”, Trabajos X Jornada Francisco Javier Domínguez sobre el Cambio Climático.
- HASHIMOTO, T., Stedinger J.R. y Loucks, D.P. (1982) Reliability, Resiliency and Vulnerability Criteria for Water Resource System Performance Evaluation, Water Resources Research. Vol. 18 N°1, 14-20.

- HREICHE, A., Najem, W., Bocquillon, C., (2007) “Hydrological impact simulations of climate change on Lebanese coastal rivers”. *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques*. 52(6), 1119-1133
- IPCC (2007). “Summary for Policymakers”. En: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribución del Working Group I al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- KLEMES, V. (1981) Long Memory Flow Models in Reservoir analysis: What is Their Practical Value?. *Water Resources Research*. Vol. 17 N°3, 737-751.
- LAGOS San Martín, Pablo Enrique (2006). “Criterios de seguridad hidrológicos en sistemas de abastecimiento de agua potable”. Tesis para optar a magíster en ciencias de la ingeniería, mención recursos y medio ambiente hídrico y Tesis para optar al Título de Ingeniero Civil. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- LEDERMANN Araneda, Jimena Eliana (2001). “Efecto del cambio climático global en el diseño de un embalse de riego”. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- LÓPEZ Díaz, Raúl Andrés (2001). “Impactos sobre recursos hídricos de Chile Central producto de los cambios climáticos”. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- McCABE, G.J. and Hay, L.E. (1995). “Hydrological effects of hypothetical climate change in the East River Basin, Colorado, USA”. *Hydrological Sciences Journal*, v. 40, n. 3.
- MARDONES Morales, Gabriel Antonio (2009). Implementación y uso del modelo Weap en cuencas nivales de la IV Región para el análisis del cambio climático. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- MENA Pardo, Diego Ignacio (2009). Análisis de impactos del cambio climático en la cuenca andina del río Teno, usando el modelo Weap. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- MEZA, Francisco (2008). “Impactos del cambio climático sobre demandas hídricas de cultivos en la cuenca del río Maipo”, Trabajos X Jornada Francisco Javier Domínguez sobre el Cambio Climático.
- MOLINA Flores, Sebastián Eduardo (2007). “Análisis de los Efectos de los Cambios Climáticos Globales sobre los Regímenes de Caudales en las Cuencas Andinas de Chile Central”. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- NASH, L.L., Gleick P.H. (1991). "The sensitivity of streamflow in the Colorado Basin to climatic changes.". *Journal of Hydrology* Vol. 125, pp. 221-241.
- NAUDÓN Gaona, Carlos Rodrigo (2004). “Análisis probabilístico del efecto del cambio climático global en los caudales medios diarios de una cuenca pluvial”. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, OPS (2008) "Cambio climático y salud humana: riesgos y respuestas: Resumen actualizado 2008". Washington, D.C.
- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD OPS. "Vulnerabilidad de los sistemas de agua potable y alcantarillado frente a deslizamientos, sismos y otras amenazas naturales". Cap. 4. Página web:
<http://www.bvsde.paho.org/bvsade/e/fulltext/venezuel/vencap04.html>
- PEÑA, Humberto (2008). "Cambio climático: Implicancias sobre la disponibilidad y aprovechamiento de los recursos hídricos en Chile", Trabajos X Jornada Francisco Javier Domínguez sobre el Cambio Climático.
- PÉREZ, Javiera (2009). "Riesgo de Inundación producto del cambio climático, caso de estudio: Quebrada San Ramón". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- SERVICIO MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE MAIPÚ S.M.A.P.A. (2006). Actualización Plan de Desarrollo 2006-2020. Comunas de Maipú, Cerrillos y Estación Central. Documento de la SISS.
- STEDINGER, J.R., Sula B., y D. Pei (1983). Multiple Reservoir System Screening Models, Water Resources Research Vol. 19 N°6. 1383-1393.
- UNITED NATIONS (2009). "Water in a changing World". The United Nations World Water Development Report 3.
- U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (1997). Engineering and Design. Hydrologic Engineering Requirements for Reservoir.
- VARGAS, Ximena (2008). "Análisis del estrés hídrico de cuencas chilenas por efecto del cambio climático", Trabajos X Jornada Francisco Javier Domínguez sobre el Cambio Climático.
- VARGAS, Ximena (2007) APUNTES Curso Hidrología, CI41C. Tutorial WMS 7.1 para determinar CURVA TIEMPO ÁREA. Escuela de Ingeniería. Universidad de Chile.

10. ANEXOS

ANEXO A: Antecedentes Atmosféricos e Hídricos de la Zona en Estudio

Tabla A 1: Temperatura Media Mensual, Estación El Yeso²⁹

AÑO	ENE	I	FEB	I	MAR	I	ABR	I	MAY	I	JUN	I	JUL	I	AGO	I	SEP	I	OCT	I	NOV	I	DIC	I
1962							7,99	@	5,47	%	-0,24		1,37		3,29		5,00		7,12		10,65		12,75	
1963	13,14		13,38		11,50		10,52		6,37		1,95		-2,46	%	-2,12		2,34		3,86		5,33		12,51	
1964	14,09		13,07		11,67		8,79		8,90		-0,61		1,36		1,81		5,92		8,88	@	10,67		10,17	
1965	13,64		13,55		14,09		7,84		3,83		5,51		-0,45		-1,03		1,25		6,57	%			10,35	
1966	13,82		11,98		11,17		8,19		8,40	%	1,03		0,25		-0,07		3,94		6,56		9,79		9,89	
1967	11,68	%					12,15	@	7,36	%	0,21	%	2,88	%	2,20	%	3,63	%	7,51	%	10,54	%	14,66	%
1968	15,05	%			11,79	*	9,69		8,74		3,11		5,87		5,70		5,52				12,39		12,26	
1969	16,13		14,96		12,85		10,80		6,04		1,56		2,71		3,66		6,27		6,47		9,77		15,32	
1970	13,63		15,87		13,93		13,84		5,41				2,36	%	4,18	%	5,56	%	6,82	%	9,23	%		
1977			15,55	@	15,26	%	11,35	%	6,22	%	3,48	@	-1,86	%	1,27	%	8,58		9,42	%	10,19		13,25	
1978	12,36	%	13,00		12,09		13,07	%	9,02		4,17		1,23		0,02		2,75		6,52		8,98		14,20	
1979	15,60		13,39		13,11		10,30		6,04		5,43		5,19	%	4,24		3,08		9,00		10,38		12,47	
1980	15,48		13,20	%	15,42		8,23		7,93		5,50		2,21		4,86		7,22		7,32		9,98		13,08	
1981	13,10		14,38		13,74		8,94		4,50	%	2,37		3,50		4,81		5,78		7,44		10,44		13,49	
1982	14,86		13,05		12,73		11,30		6,13		0,97		-0,37		1,98		3,47		5,48		8,80		14,37	
1983	14,35		15,04		13,43		9,65		4,31		-0,35		-0,45		1,03		1,14		8,93		12,05		15,30	
1984	15,03		14,80		13,29		10,18		3,46		-0,29		0,52		-0,18	%	3,29		7,49	%	9,35		12,15	
1985	13,17		15,21		13,30		9,32		7,02		6,95		2,01		3,91		6,55		6,61		12,54		14,22	
1986	15,15		14,66		13,76		9,89		4,92		2,46		5,36		3,46		4,68		8,21		9,29		14,92	
1987	15,97		16,43		13,77		11,06		3,22		4,44		-0,24		-0,28		1,54		5,68		11,77		12,72	
1988	14,63		15,67		14,09		11,19		6,14		4,06		2,50		2,19		3,45		8,26		12,83		14,05	
1989	16,04		16,95		13,30		11,52		6,84		5,79		3,79		2,28		3,26		9,03		12,54		13,76	%
1990	15,65		15,34		12,66		9,16		6,59		6,00		3,05		7,27		4,83		8,30		11,94		13,75	%
1991	14,48		16,00		14,95		10,61		7,13		3,00		1,16	%	2,48		6,39		7,04		10,58		10,73	%
1992	15,70		14,06		14,12		8,20		2,93		1,62		0,33		2,99		6,17		8,67		10,00		12,67	
1993	15,20		15,24		14,80		9,05		2,64		3,66		1,76		4,64		4,98		8,29		10,23		13,55	
1994	15,42		14,40		14,81		10,22		7,45		3,98		1,15		3,25		7,08		7,25		11,31		14,34	
1995	14,20		13,96		13,52		10,39		9,56		4,11		-0,20		2,09		6,73		7,93		11,71		14,91	
1996	13,35		14,38		13,57		8,79		8,44		4,02		5,45		5,07		7,35		8,91		12,30		12,78	
1997	14,78		15,52		14,64		12,57		8,31		-0,37		2,57		3,09		4,17		4,72		9,26		11,94	
1998	15,59		13,49		12,53		8,43		7,72		5,02		5,95		5,37		4,75		11,32		11,53		13,75	
1999	14,26		16,30		12,82		10,45		8,31		4,22		2,53		4,46		3,54	%	8,63		10,38		11,77	
2000	14,40		13,42	%	12,91		11,28		5,47		1,17		0,35		2,90		2,89		8,49		8,93		13,13	
2001	14,63		17,69		14,05		9,26		4,71		4,55		2,44	%	2,87		3,74		9,32		9,62		15,25	
2002	14,29		15,41		13,50		8,78		6,17		1,70		1,71		2,61		4,11		7,82		10,58		12,38	
2003	14,99		15,21		15,39		11,25		7,52		5,20		2,92		5,78		6,95		10,86		11,61		12,74	
2004	16,42		15,71		15,11		9,62		7,09		4,81		3,88		4,15		7,84		7,84		9,65		13,85	
2005	15,55		17,08		12,47		9,59		3,93		3,94		2,10		3,22		2,28		6,92		11,28		13,56	
2006	16,02		16,25		13,76		12,40		9,55		3,70		3,63		3,33		6,32		8,60		11,34		13,71	
2007	15,82		13,76	%	12,88		10,61		6,12		1,18		-0,12		-0,85		5,12		8,52		11,26		13,69	
2008	15,08		15,08		13,67		10,89		6,13		2,70		3,82		1,65		4,73		7,71		12,66		14,52	
2009	15,75		15,13		15,83		14,66		8,96															

²⁹ Indicadores Meses Incompletos: %: más de 20 días con información en el mes.
 @: entre 11-20 días con información en el mes.
 *: entre 1 a 10 días con información en el mes,

Tabla A 2: Caudales Medios Mensuales [m³/s] en el Maipo en San Alfonso. Periodo 1942-1974.

AÑO	ENE	I	FEB	I	MAR	I	ABR	I	MAY	I	JUN	I	JUL	I	AGO	I	SEP	I	OCT	I	NOV	I	DIC	I
1942					140,16		68,15		47,67		37,52		32,86		32,15		33,83		49,13		107,62		130,07	
1943	142,10		99,07		73,43		46,59		39,35		37,52		36,16						56,45		88,97		114,80	%
1944	93,81		74,96	%	58,69	%	46,54		36,01	%	29,70	%	34,33		35,33	%	50,01		66,85		113,65		216,72	%
1945	144,90		97,39		71,56	%	57,38	%	44,43		35,61	%	32,41	%	32,80	%	42,40	%	58,60		62,24	%	83,64	
1946	78,06		75,50		54,50	%	38,31		29,83	%	24,85		24,82	%	22,27		28,13	%	34,92		69,11		69,55	%
1947	71,85		59,95		45,46		30,93	%	22,64		22,97	%	23,20	%	22,08		29,87		42,85		90,14		93,04	%
1948	73,89		62,93	%	45,82		36,20		32,75		26,01	%	25,39	%	29,55		36,16		64,18	%	113,18		210,45	%
1949	139,36		79,69		52,39		39,39		46,67		43,38		33,50	%	32,39	%	32,64	%	70,20		110,74		97,09	
1950	74,71		55,11	%									27,51	%	28,65				50,27		71,10		136,43	%
1951	89,36	%	67,86		51,76	@			34,11	*	33,66		34,04		35,35		35,02		49,55		86,34	%	126,61	
1952	100,56		62,35	%	42,45	@	37,19		33,34		32,00		34,22		34,17		38,00		45,54		67,49	@	125,84	
1953	104,83		87,55	@	45,79	@	41,00	@	33,29	@	33,88	@	32,85	*	38,71		55,66	@	61,58		149,17		213,68	
1954	203,32		155,79		91,96		50,92		47,61	%	51,98		44,21		46,58		49,37		71,41	@	123,95		118,21	
1955	90,49	@	70,12		51,65		38,71	@	32,59		24,76		21,42	%	21,16	%	23,22		32,27		42,65	*	90,59	%
1956	76,46		65,55	%	40,61	@	37,01		36,40		36,21	%	32,75	%	33,54		34,73		44,85	%	99,05	%	88,94	
1957	72,32		57,09		43,39	@	36,94	@	33,20				23,32	@	23,82		26,11		48,23	@	100,84	%	129,91	%
1958	131,86	@	82,59	%	63,90	*	44,72	@	40,93		39,16	@	31,73	%	30,97	*	41,12		81,14		93,76		118,53	
1959	76,68	%	63,50		47,41		36,56	@	36,25	@	34,05		36,49	%	40,27		42,65	%	54,07		116,58		189,13	
1960	121,72		64,02		45,30		37,97		35,63		31,85		31,92		32,46		34,02		54,47		106,80		126,53	
1961	87,16		59,48		53,87		42,73	%	42,31		46,79	@			47,70	@	48,40		87,35		166,67		232,65	
1962	159,13		112,28		72,44		48,30		38,27		32,99		30,77		32,33		36,18	%	54,66		110,06		115,50	
1963	82,61		66,66		46,08	%	37,32		31,65		28,76						43,44	@	55,85		86,14	%	253,84	
1964	292,80	*					39,20	@	40,12	@	45,04				27,25	@	36,52		45,56		69,46		73,95	%
1965	83,43		66,03		50,75		44,32		31,88		30,65		28,57		37,23		43,76		72,72		144,46		151,97	
1966	213,36		129,29		74,21		52,01	@	35,43	@	34,15	@	29,77		27,36		35,75		65,84		123,23		148,44	%
1967	105,13	@	91,33		51,02	%	38,80	@			22,36	*					21,71	@	46,81		76,71	%	93,59	
1968	72,72	@	53,87	%	49,84	%	39,56	@	31,04	*									31,08	@	39,52		28,62	
1969	35,47				24,19	%	19,61		17,56		24,75	@	23,49		19,61		30,97		58,47		81,29		159,19	
1970	101,83		71,25		48,05		32,71		30,75		26,91		27,99		18,95		32,48		52,66		70,17		85,78	%
1971	57,18	@	51,06		36,56		26,89	%	17,34	*	16,38		21,60	%	21,68		28,55		60,97		133,63			
1972	75,05	@	64,83	@	59,46	%	42,78		56,18	*	72,45	*							91,46	%	127,70		196,08	@
1973											37,08	%	36,24		30,52				64,85	*	98,77	@		
1974											41,98	%	33,35		25,40		32,22		60,43	@				

Tabla A 3: Caudales Medios Mensuales [m³/s] en el Maipo en San Alfonso. Periodo 1975-2009.

AÑO	ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC	
1975	145,18	@	90,66	%	65,98		47,67		35,31		25,68		25,20		26,89		38,37		60,95		85,30		110,39	
1976	74,67	%	78,46		67,03		31,11		21,80		21,98		22,00		21,00		33,43		35,47		74,76	@	99,27	
1977	81,83		66,41		52,81		36,67	*	26,90		26,75		40,92	%	46,46	*	50,61	%	123,30	*	177,33	*	222,39	@
1978	154,17	%	94,91		66,88		44,50	%	36,59		32,93		35,39	@	47,48	%	46,21		63,62		136,54	%		
1979			142,36	%	71,53		44,17		40,32		34,37		29,61	*	31,85	%	29,17		38,05		61,83		129,64	%
1980	191,56	@	113,41		74,67	*	76,88	@	77,35		70,96		69,61		59,58		61,84		74,95		123,60		281,50	@
1981					69,02		48,37		42,10		36,96		33,98		34,50		37,85		56,45		95,95		99,99	
1982	88,82		73,62		50,53		39,95		31,07		41,49		68,43		58,89		89,67		94,41		187,87		373,31	%
1983	413,52	%	278,82		163,10		94,26		64,42		49,50		57,39		53,67		41,83		77,05		139,80		178,58	
1984	145,81		115,24		75,81		49,32	%	44,61		31,80		34,93	%	34,27		42,14		95,04		133,96		212,10	
1985	207,26		131,71		106,81		65,30		60,34		49,75		34,45		32,19		47,22		60,08		101,50		115,81	
1986	91,55		75,58		59,70		47,52		34,41		118,68		53,84		44,77		61,48		87,49		87,67		235,67	
1987	235,29		165,14		106,61		62,45		44,39		40,48		50,72		61,67		74,20		93,73		206,37		290,32	
1988	242,87		173,69		112,26		74,20		53,93		40,01		30,36		31,10		39,49		69,19		96,40		88,98	
1989	85,35		81,59		57,04		39,53		29,49		22,27		20,54		29,33		36,66		63,71		138,74		137,97	
1990	101,82		70,38		50,75		35,82		34,80		29,52		29,65		31,18		31,76		52,87		93,02		87,91	
1991	75,52		65,33		50,19		43,37		52,19		48,91		55,28		42,35		56,38		76,48		148,10		145,65	
1992	197,13		141,10		105,16		59,94		47,58		52,51		48,77		46,93		51,89		83,73		132,46		168,94	
1993	167,68		123,57		78,77		65,35		199,41	%	114,12	%	71,16		55,84		56,92		106,30		129,52		147,51	
1994	166,00		94,09		72,07		50,50		42,31		41,88		52,31		64,96		71,10		87,30		158,30		173,90	
1995	132,77		95,49		70,40		55,70		44,64		45,80		39,92		38,67		50,33		67,58		121,77		142,97	
1996	86,67		68,85		57,63		41,79		31,40		27,77		26,42		25,10		24,54		38,39		39,54		39,54	
1997	49,38		62,82		61,12	@															40,45	@	108,57	179,61
1998	272,55		154,92	@	91,31		76,64		50,14		42,32		34,81		30,12		29,43		44,97		58,17		67,61	
1999	69,41	*	54,31	@	41,05		32,58		28,90		26,70		25,95		25,77	@	36,28		58,50		100,26		103,68	
2000	85,23		64,43		48,14		37,03		36,18		40,15		47,83		37,41		37,52		81,86		130,69		299,40	%
2001	252,00		160,68		85,53		58,24		49,70	%	50,47		51,26		54,99		55,60		90,62		138,62		311,32	
2002	168,68		104,06		73,74		55,60	%	49,09		54,81		48,66		78,13		71,28		95,92		197,43		295,07	
2003	311,45		218,82		133,82		77,47		53,09		49,97		48,63		41,24		50,80		90,95		114,27		116,84	
2004	115,57		85,85		64,27		48,35		37,39		36,64		35,75		35,11		44,03		58,81		71,24		100,64	
2005	93,64		67,47		52,81		42,46		36,89		55,80		54,51		64,25		65,43		93,71		204,67		317,39	
2006	348,19		225,64		106,09		68,46		46,58		42,81		58,01		47,50		50,19		89,54		155,80		205,55	
2007	191,13		101,35		70,65		46,59		37,28		34,81		35,30		32,15		37,61		62,85	%	92,57		86,27	
2008	81,96		86,71	%	41,43	@	36,17		53,19		53,31		38,99		44,65	%	71,94	*	88,87		227,10		241,48	
2009	132,74																							

Tabla A 4: Medios Mensuales [m³/s] en el Maipo en El Manzano. Periodo 1946-1976.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC											
1946											105,17	129,54											
1947	168,57	99,91	69,17	%				29,49	%	37,73	49,44	158,05	196,68										
1948	165,75	107,27	56,41	%	47,37	%	46,93	40,50	52,55	%	59,70	69,72	111,32	%	258,90								
1949	211,60	%	130,64	@	80,81	@	63,74	%	46,41	%	44,37	@	39,40	60,69	62,47	82,58	%	140,13	132,96				
1950	121,57	92,51	81,03	%	54,67	*	45,41	%	40,97	%	37,02	39,19	%	49,41	70,91	99,61	%	173,23					
1951	143,01	94,43	74,76	%	51,14	@	47,16	52,09	%	55,10	%	57,55	56,02	%	75,55	%	129,30	157,58					
1952	147,16	101,94	84,41	%	51,73	%	56,11	49,55	50,13	%	45,23	62,44	%	75,37	100,75	%	162,10						
1953	133,77	118,07	73,42	%	60,04	@	58,78	*	52,82	*	82,89	%	109,38	114,17	212,65	@	301,13						
1954	259,16	196,11	122,34	68,86	*	55,74	@	59,68	@	54,89	@	55,38	56,40	%	66,64	130,52	147,58						
1955	143,22	%	88,54	%	62,94	%	51,09	%	43,26	@	50,52	*	45,31	*	42,01	*	45,00	*	59,01	@	112,04	118,42	
1956	96,57	79,47	60,66	@	46,79	42,38	39,48	*	32,62	%	35,82	@	43,75	@	58,54	102,21	100,92	%					
1957	93,79	%	74,93	*	64,27	@	51,17	*	40,27	41,51	%	41,87	41,08	@	45,54	@	54,30	%	104,10	%	143,39		
1958	137,45	%	94,43	@	68,04	*	44,93	@	40,67	54,10	%	44,73	%	40,01	%	61,50	%	100,34	@	136,86	@	144,64	@
1959	123,18	%	97,58	%	79,61	@	65,64	%	57,09	%	49,20	@	59,28	%	60,94	%	68,86	88,50	148,80	216,77			
1960	170,96	%	114,64	@	83,08	@	58,67	%	48,08	@	58,70	%	54,91	@	57,18	66,35	92,63	169,33	203,87				
1961	148,32	106,18	*	113,20	%	76,19	@	52,85	71,72	@	58,60	*	76,43	@	142,55	231,10	304,91	%					
1962	223,77	164,61	120,82	%	72,61	@	56,55	57,22	59,69	58,92	59,36	89,07	172,63	187,52	%								
1963	134,24	@	103,49	@	77,92	@	59,53	*	47,00	%	41,50	*	49,73	%	56,91	@	68,74	90,27	127,30	306,46	%		
1964	356,16	213,50	%	124,92	%	81,20	%	58,34	@	51,71	48,47	42,86	49,42	61,18	83,58	88,35							
1965	112,94	%	101,00	*	68,92	*	45,15	%	45,87	43,45	%	71,40	%	82,47	@	114,66	196,43	198,84					
1966	274,52	181,25	115,47	92,73	*	58,21	*	58,49	@	57,25	53,03	71,52	94,87	@	229,67	*	177,23						
1967	165,39	127,46	77,46	*	48,78	*	35,61	@	34,10	%	34,48	*	37,27	@	59,91	88,15	123,37						
1968	106,64	%	93,88	%	73,09	%	50,73	%	35,79	24,27	24,59	23,17	27,49	33,82	50,58	43,04							
1969	66,66	62,33	51,41	33,36	31,93	39,56	28,66	33,71	41,10	65,27	102,70	209,32											
1970	136,24	103,16	65,63	44,93	39,49	36,32	40,38	34,10	%	46,65	%	70,33	93,66	107,95									
1971	82,87	76,22	53,37	37,01	%	26,53	24,63	34,43	35,57	47,75	89,93	167,67	157,77										
1972	143,18	102,86	75,97	49,08	80,50	106,18	67,11	90,20	98,56	136,90	196,37	291,50	@										
1973	477,50	%	305,00	*	226,81	139,98	79,73	%	60,24	68,79	@	59,20	*	54,60	%	81,12	155,37	175,94					
1974	177,00	%	125,58	%	85,23	55,54	51,35	59,83	%	52,67	%	50,98	63,27	127,23	187,93	192,68							
1975	224,39	139,54	90,79	65,56	51,86	39,53	47,06	51,78	%	61,94	%	81,40	%	104,58	147,54	%							
1976	129,42	%	96,93	82,14	49,06	36,92	40,97	34,37	32,70	36,20	55,75	112,45	123,77										

Tabla A 5: Medios Mensuales [m³/s] en el Maipo en El Manzano. Periodo 1977-2009.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1977	107,42	96,38	80,02	50,64	40,16	41,72	70,23	65,46	88,11	143,21	230,60	343,29
1978	243,61	151,39	101,02	69,01	54,57	48,15	96,76	76,41	75,96	119,90	219,43	398,39 %
1979	395,55	222,50	124,31	73,72	68,89	56,52	44,85 %	58,79	64,16	83,83	114,67 %	194,45
1980	278,58	166,90	120,84	123,68	117,20	98,70	96,23	87,03	91,61	117,27	176,73	350,97
1981	251,12 %	206,61	132,39	76,53	74,22	66,15	55,33	52,42	54,42 %	78,47	132,06	143,17 %
1982	139,58	111,33	73,88	59,08	49,89	104,06	142,69	99,99	144,13	155,46 %	256,70	539,45
1983	592,84	455,14	261,10	160,67	99,90	78,89	90,65	87,89	74,18	147,30	247,00	296,45
1984	240,45	185,48	107,12	67,74	57,02	44,32	63,42	60,22	71,82	145,58	190,30	313,29
1985	289,74	180,96 %	146,10	87,39	76,88	65,77	52,02	46,05	59,85	81,28	147,53	173,81
1986	216,87	183,54	141,23	111,40	97,24	115,00 *	88,64 %	66,73	83,67	122,68	159,87	309,52
1987	351,45	271,56 %	162,52 %	96,33 %	68,95 %	69,14	127,42 %	130,34	122,36	155,42	226,33 *	
1988					63,16 *	59,56	48,06	52,75	56,46	91,85	138,91	136,41
1989	145,07	148,29	98,34	67,83	52,84	40,45	36,00	68,67	82,35	122,33	224,53	225,32
1990	170,36	122,58	85,87	62,73	58,80	50,53	49,68	52,29	56,76	78,48		135,37
1991	129,39	109,75	78,44	63,06	116,59 %	78,96 %	102,66	77,85	101,77	125,36	212,93	216,29
1992	276,68	206,72	158,42	94,65	80,08	79,97	71,16	68,39	80,65	132,00	196,20	233,65
1993	256,97 %	192,48 %	117,13	103,37 %	306,63 *	97,74 %	85,12	76,40	78,51	111,02	131,57	198,61
1994	219,68	142,12 %	96,07 %	69,52	60,74	60,16	76,36	75,81	82,01	98,01	161,30	261,13
1995	184,16	127,79	97,84	75,61	60,33	61,20	55,40	57,36	77,88	90,54	168,20	198,58
1996	128,18	111,63	96,84	69,49	49,96	42,75	41,36	38,60	38,16	47,04	51,92	58,74
1997	81,81	75,88	61,77	43,58	33,86	65,40 %	61,17	80,05	119,24	114,46	208,63	335,45
1998	413,81	207,29	136,23	102,72	72,36	60,39	50,40	44,75	39,12	61,01	83,73	105,80
1999	99,75	89,49	61,88	41,95 %	41,67	38,04	37,77	40,72	60,79	86,82	138,48	144,84
2000	133,77	100,18	71,62	55,33	52,15	81,89	76,86	69,04 %	73,35	135,88	184,73	358,58
2001	299,81	230,68	129,35	89,25	73,37	61,47	80,60	89,38	83,48	134,04	180,40	331,03
2002	215,39	149,21	105,77	73,43	62,81 %	81,60	65,82	103,64	108,49 %	145,29	243,23	348,65
2003	371,65	259,96	181,94	106,65 %	72,73	73,46	71,29	58,61	69,57	106,21	150,80	150,65
2004	182,13	129,79	92,72	71,52	53,10	52,54	51,64	47,02	63,92	71,89	104,00	140,68
2005	136,86	99,46	76,24	54,74	50,81	95,22	86,92	115,62	116,50	150,07	254,77	393,68
2006	457,58	306,14	166,36	109,30	73,77	64,72	113,43	79,81	85,20	139,39	220,00	252,52
2007	180,93	138,37 %	107,82	70,15	59,74	57,92	58,27	54,03	61,24 %	95,90 @	121,91	126,76 %
2008	125,16	97,98	70,30	57,69	94,37	92,52	61,87	80,05	80,79	116,48	250,47	284,97
2009	197,81											

ANEXO B: Criterios de Seguridad

En este subcapítulo, se presentan algunos criterios con los que se desea estandarizar el problema de la seguridad en sistemas de abastecimiento de agua potable. Utilizando las Tesis de Pablo Lagos (2006) y Renato Araya (2004), se desea definir conceptos de seguridad y plantear criterios utilizados internacional y nacionalmente.

B.1 Índices de Seguridad

El concepto de seguridad en sistemas de abastecimiento de agua cualquiera sea su uso, se encuentra ligado a la capacidad de dichos sistemas para satisfacer ciertas demandas en un momento dado. Si esas demandas quedan insatisfechas entonces se da lugar a una situación de falla. En general, y en particular en recursos hídricos, sólo tiene sentido hablar de falla si dicha falla se describe de alguna forma. Los índices de seguridad que se presentan a continuación son los más utilizados y están clasificados en tres categorías atendiendo de esa forma las tres características básicas: frecuencia, duración y severidad de fallas.

B.1.1 Índices basados en la Frecuencia de Fallas

Son los de más amplia utilización. Su acepción más general consiste en definir la seguridad como la probabilidad de que el sistema se halle en una situación satisfactoria, entendiendo por tal aquella en que el suministro es suficiente para satisfacer la demanda. La probabilidad de las situaciones contrarias representa lo que se denomina riesgo de falla.

Las situaciones o estados del sistema se pueden representar por una variable aleatoria X_t en cada instante t , donde t adopta valores discretos (Hashimoto et al., 1982). Los posibles valores de X_t se pueden dividir en dos conjuntos: el conjunto de todas las soluciones satisfactorias, S , y el de las situaciones no satisfactorias o de fallas, F . En cualquier instante t , los estados del sistema serán elementos pertenecientes a cualquiera de estos dos conjuntos. La seguridad del sistema entonces se puede describir por medio de la frecuencia o posibilidad γ de que el sistema se halla en una situación satisfactoria:

Ecuación 10-1

$$\gamma = P(X_t \in S)$$

El riesgo o probabilidad de falla es simplemente la probabilidad complementaria de γ , vale decir, $1 - \gamma$.

Cuando se adopta el año como intervalo de tiempo, la garantía representa la probabilidad de que en cualquier año el estado del sistema sea satisfactorio, es decir, que el suministro sea suficiente para atender la totalidad de la demanda. Este índice se suele denominar Garantía o Seguridad Anual (S_a) (Klemes, 1981) es uno de los más extendidos.

La forma habitual de estimarlo es por medio de la frecuencia relativa de años sin falla, es decir:

Ecuación 10-2

$$S_a = 1 - \frac{M_a}{N}$$

Donde M_a es el número de años en que se producen fallas y N el número total de años. De forma análoga se puede definir un índice de seguridad mensual (S_m) como:

Ecuación 10-3

$$S_m = 1 - \frac{M_m}{12 \cdot N}$$

En donde M_m es el número de meses en que hay falla.

Otro índice de cierta utilización es el que resulta de adoptar como intervalo de tiempo un período de N años. Este índice al que se puede denominar Garantía o Seguridad Multianual (S_n), representa la probabilidad de operación sin fallas durante un periodo de años consecutivos de una determinada duración. Es habitual que como valor de N se adopte la vida útil del sistema.

Algunos autores utilizan el concepto de Seguridad Temporal (S_t) definida como la fracción del periodo de operación total durante la cual la demanda fue plenamente satisfecha, es decir, como la suma de todos los periodos dt sin fallas expresada en relación con el periodo de operación total (Klemes, 1981):

Ecuación 10-4

$$S_t = \frac{1}{T} \cdot \sum_{R(t) > D(t)} \Delta T$$

Donde $R(t)$ representa el suministro y $D(t)$ la demanda, mientras que T es la duración total del periodo.

Uno de los principales inconvenientes que presentan este tipo de índices basados en la frecuencia de ocurrencia de fallas es que, tal como se han planteado, no tienen en cuenta las diferentes magnitudes, ni consecuencias, de las fallas. Esto significa que se puede obtener un mismo valor de seguridad o garantía tanto si fallas que se producen son de tipo catastrófico, como si corresponden a situaciones en las que el suministro es sólo ligeramente inferior a la demanda.

Tradicionalmente, la forma más simple de paliar este inconveniente ha sido la consideración de diferentes niveles de falla. Así, en lugar de considerar exclusivamente situaciones en que se satisface la totalidad de la demanda, se consideran aquellas otras en que el suministro es superior a una determinada fracción de la demanda. Por ejemplo, puede obtenerse la Seguridad Anual correspondiente al 80% de la demanda anual (Estrada, F. 1994). Este planteamiento permite distinguir fallas de diferente severidad y, al mismo tiempo, analizar los resultados correspondientes a diferentes reglas de operación, en los casos que se disponga de sistemas reguladores de caudal.

B.1.2 Índices basados en la Duración de las Fallas

Hashimoto et al. (1982) emplea el concepto de resiliencia, que indica la rapidez con que el sistema se recupera una vez que la falla se ha producido. Este concepto es más completo que el de Seguridad Temporal, ya que permite apreciar si las fallas se concentran en un periodo particular de tiempo. Esta situación correspondería a un servicio de peor calidad de aquel en las que las fallas se encontrasen distribuidas a lo largo del tiempo, aunque en ambos casos el porcentaje de tiempo de operación sin fallas fuese el mismo (Estrada, 1994).

Formalmente la resiliencia, ρ , se define como la inversa del valor esperado de la duración, T_f , del periodo de tiempo en el cual el resultado del sistema es insatisfactorio, i.e., como la inversa de la duración media de las secuencias de fallas.

B.1.3 Índices basados en la Severidad de las Fallas

La principal finalidad de estos índices es describir el tamaño o magnitud de las fallas. Uno de los más simples es el déficit, entendido como la diferencia entre la demanda y el suministro. Representa la demanda que no ha sido servida, es decir, el volumen adicional que habría sido consumido si el sistema dispusiese de una fiabilidad absoluta. El déficit se puede referir tanto a un año cualquiera como a un determinado periodo de años. El déficit se puede expresar tanto en valor absoluto como relativo, en función de la demanda solicitada. Para poder comparar los déficits entre los sistemas se recomienda utilizar el valor relativo o medio, que se define como el cociente entre la suma de los déficit que se producen durante un determinado periodo de tiempo y el número de déficit ocurridos. Si se considera un periodo de simulación extenso, el índice calculado de esta forma recibe el nombre de Seguridad Volumétrica (S_v) y se calcula de acuerdo a la expresión:

Ecuación 10-5

$$S_v = 1 - \frac{\int_{R < D} (D - R) dt}{\int_0^t D dt}$$

Donde D representa la demanda y R el suministro. Este índice, según lo refleja Klemes (1981), se utiliza desde 1930.

Si se utiliza un intervalo de tiempo similar a la discretización temporal, con la que se aborda el problema, normalmente el mes o lo que dure una estación, se habla de Porcentaje de Demanda Suplica o Satisfecha, PDS. El PDS, sirve para caracterizar una falla particular del sistema. Si se utiliza el mes, para calcular el PDS, la expresión para su cálculo es:

Ecuación 10-6

$$PDS_i = 100 \times \left[1 - \frac{D_i - R_i}{D_i} \right] = 100 \times \frac{R_i}{D_i}$$

Donde i denota el mes, para el que es calculado el índice, aunque bien podría ser cualquier discretización temporal, que se estime conveniente.

El U.S. Army Corps of Engineers utiliza en varias de sus publicaciones el concepto de índice de escasez (e), definido como la suma de los cuadrados de las relaciones anuales entre el déficit y la demanda, multiplicada por 100 y dividida por el número de años de operación:

Ecuación 10-7

$$e = \frac{100}{N} \cdot \sum \left[\frac{\text{Déficit Anual}}{\text{Demanda Anual}} \right]^2$$

La razón entre déficit anual y demanda anual corresponde al complemento del PDS, determinado a nivel anual. De esta forma una expresión equivalente a la *Ecuación 10-7* es:

Ecuación 10-8

$$e = \frac{\sum [100 - PDS_{Anual}]^2}{N}$$

El Índice de Escasez refleja la observación que las consecuencias, económicas y sociales de las fallas de los sistemas de suministro hídrico no se relacionan de manera directamente proporcional o lineal con la magnitud del déficit. En el Índice de Escasez supone, de una manera más razonable, que las consecuencias económicas y sociales de las sequías son proporcionales al cuadrado de la magnitud del déficit. Por ejemplo, tener en un año un déficit del 40% es cuatro veces más severa que un déficit del 20 %, (U.S. Army Corps of Engineers, 1997). La Tabla siguiente ilustra de mejor forma tal situación.

Tabla B 1: Ejemplo del Índice de Escasez

Años con Déficit por cada 100 años	<u>Déficit Anual</u> % Demanda Anual	e
100	10	1,00
25	20	1,00
4	50	1,00
25	10	0,25
1	10	0,25

Fuente: U.S. Army Corps of Engineers, 1997

La potencia cuadrática del Índice de Escasez es arbitraria, sin embargo debe señalarse que este índice no pretende fijar una relación perfecta entre magnitud de fallas y consecuencias; sólo intenta ser una relación aproximada, y en este sentido cumple su objetivo.

B.2 Criterios Internacionales

B.2.1 Criterios que se basan en la Frecuencia de las Fallas

Se trata de criterios que utilizan alguno de los índices basados en la frecuencia de ocurrencia de las fallas. De entre los criterios existentes, se han seleccionado los siguientes dos:

B.2.1.1 Criterio Tradicional de Seattle District Army Corps of Engineers:

Este distrito dimensionaba los proyectos de abastecimiento de agua potable con una seguridad anual del 98%.

B.2.1.2 Criterio de Stedinger

Este autor considera razonable un valor de seguridad anual del 90% (Stedinger et al., 1983), estableciendo como objetivo de suministro el valor igualado o sobrepasado en cualquier año con una probabilidad del 90%.

B.2.2 Criterios que se basan en la Severidad de las Fallas

En estos criterios se utilizan los índices definidos en la severidad de las fallas. Se trata de los criterios más utilizados por los organismos encargados de la planificación y gestión de los sistemas de explotación de recursos hídricos.

B.2.2.1 Criterio del U.S. Bureau of Reclamation (U.S.B.R.)

Se considera aconsejable no admitir ningún tipo de déficit. Es decir, se debe atender por completo la demanda, sin que se produzcan déficit en los periodos de sequía. Sin embargo, se contempla la posibilidad de establecer planes de contingencia cuando se realizan proyecciones de demanda. En estos planes se pueden aceptar déficits del 15%. Valores mayores de déficit deben ser convenientemente justificados (US. Bureau of Reclamation, 1982). La admisión de déficit se puede considerar como una alternativa de tipo no estructural, si con ello se elimina la necesidad de establecer nuevas fuentes de suministro durante un periodo de varios años.

B.2.3 Criterios que se basan en la Repercusión de las Fallas

Estos criterios requieren el conocimiento de los daños o pérdidas que se producen con cada déficit.

B.2.4 Criterios Mixtos

Se entiende por criterios mixtos a aquellos que se basen en al menos 2 índices de distinta naturaleza, por ejemplo que consideren un índice basado en la frecuencia de las fallas y a su vez otro índice que cuantifique la magnitud de las fallas. Algunos ejemplos de este tipo de criterio se presentan a continuación:

B.2.4.1 Planes Hidrológicos de Cuencas en España

Un criterio que con frecuencia se ha aplicado en la Documentación Básica de los Planes Hidrológicos de Cuenca en España, según lo refleja Estrada (1994) es el que transcribe a continuación (Planes Hidrológicos, 1981):

“Para demanda a caudal constante, en el caso de abastecimientos de agua potable, se adoptará una garantía de alrededor del 0.96-0.98, computada en una explotación mensual del sistema como la no satisfacción del 80% de la demanda en 4-2 meses por cada cien meses considerados.”

Se trata de una garantía mensual, pero introduciendo un nivel de falla igual al 80% de la demanda mensual.

En las “Instrucciones y recomendaciones técnicas complementarias para la elaboración de los Planes Hidrológicos de Cuencas inter-domiciliarias” del M.O.P.T. España, 1992 (según lo refleja Estrada, 1994) se establecen criterios de garantía para las demandas urbana y agrícola.

En el caso de la demanda urbana se especifica lo siguiente:

“Se considerará satisfecha la demanda urbana cuando:

- a) El déficit en un año no sea superior a 5-10 por 100 de la correspondiente demanda.
- b) En dos años consecutivos, la suma de déficit no sea superior a 10-16 por 100 de la demanda anual.
- c) En diez años consecutivos, la suma del déficit no será superior a 15-30 por 100 de la demanda anual.

En el Plan Hidrológico de cuenca se especificará el criterio adoptado entre los porcentajes que se indican, justificando su adopción en índices demográficos, sociales y económicos y en las condiciones hidrológicas de la región de procedencia de los recursos.”

B.2.4.2 Criterio del Canal de Isabel II

La explotación del sistema de abastecimiento a Madrid es responsabilidad del Canal de Isabel II. La seguridad de abastecimiento planteada en su planificación es la de no desabastecer de agua a la población bajo ninguna circunstancia, aceptando, tan sólo, que un 4% de los años, como máximo, haya que reducir el consumo total anual en un 9%, mediante campañas de publicidad y reducción del riego de parques y jardines. Este valor del 9% coincide con los valores de reducción del consumo conseguidos en la sequía del periodo 1980-83 (Estrada, 1994).

ANEXO C: Marco Regulator

Las empresas sanitarias son reguladas por normas y leyes que se han desarrollado para el correcto funcionamiento del sistema de producción y distribución de agua potable. La primera que se abarcará en este Trabajo de Título, es la Norma Chilena NCh 777/1, “Agua potable - Fuentes de abastecimiento y obras de captación – Parte 1: Captación de aguas superficiales”, norma vigente desde el año 2008. Esta norma permitirá clasificar el tipo de agua que se utilizará como fuente de abastecimiento. También, establece los requisitos generales de fuentes superficiales, tanto en lo que se refiere a condiciones hidrológicas, como a la seguridad de abastecimiento. En esta norma, se entrega también una clasificación general de las fuentes de agua, según su calidad, proponiendo posibles tratamientos, dependiendo de tipo de agua que se extraiga. Los requisitos y condiciones que deben cumplir las captaciones de aguas subterráneas, se encuentran establecidas en NCh 777/2 y no serán tratadas en este trabajo.

En cuanto al marco legal mencionado anteriormente, éstas son la Ley General de Servicios Sanitarios y la Ley de Tarifas. La primera, comprende las disposiciones relativas al régimen de explotación de servicios destinados a la producción y distribución de agua potable y a la recolección y disposición de aguas servidas. Además, regula el régimen de concesión que establece, construye y explota los servicios sanitarios. Por otro lado, esta ley también fiscaliza el cumplimiento de las normas relativas a la prestación de los servicios sanitarios y, finalmente, comprende las relaciones entre las concesionarias de los servicios sanitarios y de éstas con el Estado y los usuarios. La llamada Ley de Tarifas, corresponde al Decreto con Fuerza de Ley 70 (DFL 70), el que trata acerca de los procedimientos administrativos en la determinación de las fórmulas tarifarias, la metodología de cálculo de la fórmula tarifaria, sobre aportes de financiamiento reembolsable, otros cobros y disposiciones transitorias. Otra norma de la que se hará tan sólo una mención, es el D.S. MINECON N° 453, el que abarca los mismos temas que el DFL 70, pero en forma más particular, por ejemplo, con fórmulas para el costo incremental de desarrollo, costo total de largo plazo, etc.

C.1 Norma Chilena NCh777/1

La Norma Chilena NCh 777/1 contiene la terminología general y los requisitos para las fuentes de abastecimiento y para el diseño, construcción, protección y uso de obras de captación de aguas superficiales. Esta norma se complementa con el Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos, y con el Manual de Normas y Procedimientos para la Conservación y Protección de Recursos Hídricos, de la Dirección General de Aguas (DGA).

En la Norma, se especifican y definen los tipos de fuentes de agua para una captación de agua potable. En el siguiente punto se especifica esta clasificación.

C.1.1 Clasificación de Fuentes

Las fuentes superficiales de abastecimiento de agua potable se clasifican según el origen y la calidad de sus aguas. La clasificación según el origen se detalla a continuación.

- *Según el origen:*
 - o *Agua meteórica: La que está o deriva en forma inmediata de la atmósfera.*

- *Agua superficial: La procedente de corrientes, lagunas, lagos y embalses naturales y artificiales, que puede ser dulce o salobre.*
- *Agua de mar: La proveniente de océanos y mares, que también se denomina salada.*
- *Agua de Manantial: Fuente natural de agua que brota de la tierra o entre las rocas. Puede ser permanente o temporal. Se origina en la filtración de agua de lluvia o nieve que penetra en un área y emerge en otra, de menor altitud, donde el agua no está confinada en un conducto impermeable.*

En la presente Tesis, las fuentes relevantes para el análisis de seguridad de suministro, son las fuentes de agua superficial, en particular, el río Maipo como principal fuente al sistema de producción de agua potable en el Gran Santiago.

C.1.2 Requisitos generales de fuentes superficiales

Los requisitos y la elección de la fuente superficial dependen de las condiciones hidrológicas, de las características topográficas, geológicas y geotécnicas de la zona alimentadora, de la calidad del agua y de otros, según corresponda. A continuación se presentan algunos de los requisitos mencionados anteriormente.

Condiciones Hidrológicas

Los datos hidrológicos deben permitir calcular tanto los caudales mínimos y medios, como los caudales máximos de crecida de las diferentes hoyas aprovechables. Para determinar los caudales disponibles para agua potable se deben considerar además, los derechos de aprovechamiento comprometidos en otros usos simultáneos del agua, como riego, plantas hidroeléctricas y similares.

Conforme a lo anterior, la Norma exige lo siguiente:

- a) Se debe tener registros de los escurrimientos de la cuenca en estudio y a falta de ellos, datos referentes a cuencas próximas y semejantes para estudios de correlación entre ellas. Del examen de estos registros, se deben determinar los valores de caudal medios mensuales disponibles y los caudales de crecidas para diferentes probabilidades de excedencia.*
- b) En caso de no existir estadísticas de la DGA, para una determinada fuente, la empresa debe respaldar los caudales, que asocia a cada probabilidad de excedencia, con estadísticas oficiales de otros organismos o instituciones. Igualmente, se admitirán informes hidrológicos, los que podrán ser desarrollados mediante métodos de análisis basados en modelos de simulación, relaciones precipitación-escorrentía, transposición de cuencas, u otros equivalentes.*
- c) En caso de no existir estadística fluviométrica, la empresa sanitaria debe implementar y mantener en el tiempo una estación fluviométrica aguas arriba de la captación. En el caso de embalses, se deben registrar todas las fuentes aportantes.*
- d) Se debe complementar esta información con mediciones de caudal o aforos de la fuente, al menos 10 veces en diferentes épocas del año. Cinco aforos imprescindiblemente en época de estiaje y otros complementarios, dependiendo del tipo de fuente y el tipo de obra de captación seleccionada.*

- e) *Se deben investigar cuidadosamente las fluctuaciones de nivel de las masas de agua para evitar problemas relacionados con los niveles mínimos que aseguren la captación y de los máximos para que no afecte la estabilidad y operación normal de las obras*
- f) *Los lagos y lagunas deben cubrir el consumo medio diario dentro de las variaciones aceptables de nivel.*
- g) *El régimen hidráulico de los manantiales debe ser estudiado durante plazos prolongados, en razón de su rendimiento variable.*
- h) *En todos los casos, la fuente debe tener un caudal tal que garantice un caudal mínimo remanente aguas abajo de las estructuras de captación con el fin de no interferir con otros proyectos, tanto de captación como de agricultura y piscicultura, preservando en todos los casos el ecosistema aguas abajo.*

Seguridad de abastecimiento

- a) *Con el objeto de aumentar la seguridad del sistema de abastecimiento de agua potable se recomienda, si es técnica y económicamente factible, contar al menos con dos captaciones cuya capacidad conjunta sea mayor o igual al caudal máximo diario del sistema de abastecimiento.*
- b) *Al evaluar cada fuente, se debe tener la seguridad que el caudal disponible a través de ella sea mayor al caudal máximo diario del sistema de abastecimiento. El caudal disponible se considerará como el caudal medio mensual posible de extraer a partir de los derechos considerados con un 90% de probabilidad de excedencia. En caso de que existan variaciones estacionales en el rendimiento de los derechos de agua superficial, se deberá establecer un balance mes a mes en que se comparará, para cada mes analizado, el caudal máximo diario de producción del mes respectivo, asociado a la fuente en cuestión, respecto del caudal con un 90% de probabilidad de excedencia de dicho mes. Todos los caudales se expresarán en litros por segundo (L/s).*
- c) *Se deben identificar los puntos de contaminación de la fuente aguas arriba y aguas abajo del posible emplazamiento de la captación y evaluar el impacto que originan en la calidad del agua. Se debe proponer acciones y mecanismos para garantizar la protección de las fuentes hacia el futuro, considerando todas las leyes, decretos, reglamentos y/o normas relacionadas con la protección de fuentes de agua.*

En particular, se debe considerar la implementación y mantenimiento de estaciones de muestreo de los principales contaminantes de la fuente de abastecimiento para evitar el crecimiento inadecuado de organismos, la presencia de animales y la posible contaminación por otras causas. Como resultado se tendrá un programa de control de calidad de las fuentes, que al menos debe cumplir con lo exigido en el instructivo Calidad de Fuentes de Agua Potable (Resolución SISS N° 1745/99) u otro que lo reemplace y se complementará con lo establecido en el Manual de Normas y Procedimientos para la Conservación y Protección de Recursos Hídricos, el cual establece que corresponderá a la DGA el monitoreo de la calidad de las aguas naturales.

- d) *Se deben desechar las fuentes superficiales cuyas características pongan en riesgo la calidad del agua abastecida a la población e incrementen los costos de tratamiento.*

C.2 Ley General de Servicios Sanitarios y Ley de Tarifas

La Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) es el ente creado por el Estado para asumir el rol de regular y fiscalizar a las empresas que son parte del sistema sanitario del país, esto según lo dispuesto en los cuerpos legales respectivos: el D.F.L. N° 70 de 1988, Ley de Tarifas, y el D.F.L. N° 382 de 1988, Ley General de Servicios Sanitarios. La SISS es una entidad descentralizada dotada de personalidad jurídica y patrimonio propio, sujeta a la supervigilancia del Presidente de la República a través del Ministerio de Obras Públicas.

La SISS se encarga de:

- a) Fijar Tarifas
- b) Otorgar las concesiones
- c) Fiscalizar empresas sanitarias
- d) Controlar Residuos Industriales Líquidos

De las funciones que se han mencionado, las primeras dos son de interés para el desarrollo de esta tesis, pues a través de esas dos, se introducen conceptos importantes para tener en cuenta en lo que sigue de este estudio. Por ello, se hará una pequeña revisión de cada una de estas funciones de la SISS.

a) Fijar Tarifas

La fijación de tarifas tiene su fundamento en el concepto de Empresa Modelo, el que se define en los artículos 27 y 28 del D.F.L. N° 70/88, y corresponde a *una empresa prestadora de servicios sanitarios diseñada con el objeto de proporcionar en forma eficiente los servicios sanitarios requeridos por la población, considerando la normativa y reglamentación vigentes y las restricciones geográficas, demográficas y tecnológicas en las cuales deberá enmarcar su operación. Asimismo deberá considerar las interconexiones posibles entre prestadores establecidos en el Decreto con Fuerza de Ley N° 382, del Ministerio de Obras Públicas.*

Los costos que se considerarán en el cálculo de las tarifas de cada una de las etapas del servicio sanitario, serán aquellos en que incurriría la empresa modelo correspondiente.

De este modo, se establece una tarifa de forma que una empresa que opera eficientemente, como la empresa modelo, obtenga una rentabilidad igual al costo de capital sobre los activos empleados. Las tarifas se ajustan periódicamente por inflación, y cada cinco años se determinan nuevas fórmulas tarifarias, de acuerdo a los términos fijados en la Ley de Tarifas (D.F.L. N°70/88) y su reglamento (D.S. MINECON N° 453/90).

Se desea, de esta forma, lograr que una empresa monopolio natural, como lo podría llegar a ser la Empresa Sanitaria que tiene un dominio geográfico del recurso agua, se comporte como una empresa eficiente con tarifas suficientes para autofinanciar sus operaciones, recuperar el costo de sus inversiones y se establezcan límites para sus utilidades.

b) Otorgar las concesiones

La SISS tiene la función de entregar un título que faculta a un prestador para explotar los servicios con exclusividad dentro de un área determinada, dándole, además, la obligación de

atender a quién dentro de esa área requiera de sus servicios. Este título es indefinido, pero sujeto a la fiscalización de la superintendencia en cuanto al cumplimiento de las restricciones y obligaciones aplicables, quedando expuesto a sanciones que pueden llegar incluso a la caducidad de la concesión.

El procedimiento de otorgamiento está normado en el Art. 12 y siguientes del D.F.L. N°382/88, y en el Título II del DS N° 1199/2004 “Reglamento de las concesiones sanitarias de producción y distribución de agua potable y de recolección y disposición de aguas servidas y de las normas sobre calidad de atención a los usuarios de estos servicios”.

ANEXO D: Método de Correlación: Caudales Medios Mensuales Proyectados en la Zona de Estudio

Tabla D 1: Caudales Medios Mensuales [m³/s] Proyectados en el Maipo en San Alfonso para el Período 2035-2065

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Media Año Hidrológico³⁰
2035	-	-	-	55,7	49,8	44,4	38,2	34,8	34,1	32,7	35,3	39,4	39,1
2036	40,8	35,7	28,3	27,9	29,5	43,0	43,5	46,4	70,2	118,0	183,4	260,4	110,7
2037	233,9	163,4	108,8	76,0	63,5	65,0	61,2	59,5	80,5	108,4	125,4	142,1	91,4
2038	125,2	104,1	86,1	57,1	49,4	46,0	43,5	48,4	68,8	97,2	143,5	191,0	93,0
2039	169,7	117,1	84,4	62,4	56,5	50,9	44,2	41,3	48,5	62,4	78,3	97,5	64,4
2040	99,5	72,7	59,2	47,8	50,0	48,2	42,0	39,0	42,8	52,3	73,5	104,8	63,1
2041	107,2	77,3	72,7	46,2	44,0	41,3	36,2	35,1	39,4	45,4	58,9	74,1	49,3
2042	73,1	56,6	41,6	35,3	35,3	35,7	35,4	37,0	50,4	64,2	73,0	84,6	53,5
2043	82,5	61,4	47,1	37,1	36,7	33,9	30,9	29,0	32,4	38,5	48,1	73,3	44,7
2044	76,7	57,2	42,7	33,4	32,8	29,4	27,2	26,7	30,3	34,6	44,1	59,6	38,5
2045	60,6	47,2	36,3	34,2	38,2	36,5	33,5	31,6	38,1	54,4	85,2	127,6	62,0
2046	119,4	83,4	62,1	44,6	37,9	34,0	29,3	27,4	32,2	43,5	62,2	88,7	55,1
2047	91,4	92,2	77,4	47,9	42,6	37,7	32,6	34,9	69,1	119,9	134,7	143,2	80,4
2048	125,1	92,8	84,3	52,0	52,7	46,5	41,5	44,9	64,6	91,0	120,1	148,0	80,5
2049	138,2	96,7	69,5	53,3	46,7	43,2	39,6	38,5	47,2	66,9	94,5	122,0	68,6
2050	123,6	84,7	63,6	47,1	42,9	39,9	35,4	33,3	38,4	47,3	58,8	68,3	47,5
2051	65,5	52,7	40,3	33,2	32,3	34,5	33,9	33,8	40,2	49,4	62,1	75,3	47,2
2052	73,2	56,1	42,1	33,9	31,2	28,7	26,8	29,0	45,4	61,8	68,6	71,1	47,6
2053	66,7	60,7	47,6	34,9	34,8	40,2	44,6	57,5	94,2	132,0	171,8	220,1	105,6
2054	196,6	140,6	99,1	72,4	72,2	67,0	57,8	58,5	78,2	101,6	131,9	167,0	95,4
2055	152,1	107,4	78,9	57,1	61,4	55,1	51,2	48,1	49,4	51,0	59,7	72,9	57,8
2056	75,0	59,1	53,8	37,6	34,4	32,9	32,1	34,1	47,0	66,5	90,9	112,0	59,9
2057	101,5	75,1	54,6	42,1	37,0	45,5	56,7	69,9	104,5	140,7	167,9	191,6	101,8
2058	167,6	117,1	80,8	62,2	58,0	52,3	45,5	41,7	46,1	54,5	65,4	75,3	57,5
2059	73,4	58,8	56,7	37,3	37,3	33,9	30,2	30,8	39,3	51,4	72,3	93,6	52,5
2060	89,0	65,6	49,7	38,3	32,6	29,9	27,4	28,9	37,9	51,0	73,6	99,0	52,9
2061	95,2	69,1	52,0	45,9	55,4	55,5	48,8	44,1	44,5	45,9	58,4	78,6	56,3
2062	78,1	59,6	60,5	38,0	37,4	37,8	37,8	39,5	51,1	70,2	95,8	133,0	68,0
2063	124,6	86,8	64,1	47,9	59,3	57,3	53,2	49,0	52,4	60,0	71,1	78,1	58,7
2064	74,9	57,7	43,8	36,5	35,3	33,3	29,9	28,6	33,7	38,8	49,4	68,0	42,8
2065	65,9	53,3	40,4	32,8	32,0	29,1	26,2	25,1	34,4	52,1	68,2	95,8	52,2
2066	95,8	69,3	65,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Promedio	105,2	78,4	61,1	45,4	43,8	42,2	39,2	39,6	51,1	67,9	87,9	111,5	64,5
Desv Est.	43,4	28,6	19,4	12,1	11,4	10,3	9,8	11,0	18,8	30,0	39,7	51,2	20,3
Máximo	233,9	163,4	108,8	76,0	72,2	67,0	61,2	69,9	104,5	140,7	183,4	260,4	110,7
Mínimo	40,8	35,7	28,3	27,9	29,5	28,7	26,2	25,1	30,3	32,7	35,3	39,4	38,5

³⁰ La Media del Año Hidrológico entregada se calcula con los meses de Abril-Diciembre del año indicado y Enero-Marzo del año siguiente, por ejemplo, la Media del año hidrológico 2035 corresponde al periodo Abril 2035- Marzo 2036.

Tabla D 2: Caudales Medios Mensuales [m³/s] Proyectados en el Maipo en El Manzano para el Periodo 2035-2065.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Media Año Hidrológico³¹
2035	-	-	-	84,8	77,2	70,1	62,1	57,6	56,8	55,0	58,4	63,7	63,3
2036	65,4	58,8	49,3	48,7	50,9	68,3	68,9	72,8	103,6	165,6	250,4	350,3	156,1
2037	316,0	224,5	153,7	111,1	94,9	96,8	92,0	89,8	116,9	153,2	175,2	196,8	131,1
2038	175,0	147,5	124,2	86,6	76,7	72,2	69,0	75,3	101,8	138,6	198,6	260,3	133,2
2039	232,7	164,4	122,0	93,4	85,9	78,6	69,9	66,1	75,5	93,5	114,1	139,0	96,1
2040	141,6	106,8	89,3	74,5	77,4	75,1	67,0	63,1	68,1	80,3	107,9	148,5	94,4
2041	151,6	112,9	106,9	72,5	69,6	66,1	59,5	58,0	63,7	71,5	89,0	108,6	76,5
2042	107,3	86,0	66,5	58,3	58,4	58,9	58,5	60,6	77,9	95,8	107,3	122,2	81,9
2043	119,5	92,2	73,6	60,7	60,2	56,5	52,6	50,2	54,6	62,5	75,0	107,6	70,5
2044	112,0	86,7	67,9	55,8	55,1	50,6	47,8	47,2	51,8	57,4	69,7	89,9	62,5
2045	91,1	73,7	59,6	57,0	62,1	59,9	56,0	53,6	62,0	83,0	123,1	178,0	93,0
2046	167,5	120,7	93,0	70,4	61,7	56,7	50,6	48,1	54,3	68,9	93,2	127,6	84,0
2047	131,1	132,2	112,9	74,7	67,8	61,4	54,9	57,8	102,2	168,1	187,3	198,3	116,9
2048	174,8	132,9	121,9	80,0	80,9	72,8	66,4	70,8	96,4	130,6	168,3	204,5	116,9
2049	191,8	138,0	102,7	81,7	73,1	68,5	63,9	62,5	73,8	99,4	135,1	170,8	101,6
2050	172,8	122,5	95,0	73,6	68,2	64,3	58,4	55,7	62,4	73,9	88,8	101,1	74,1
2051	97,5	80,9	64,8	55,6	54,4	57,3	56,6	56,4	64,7	76,6	93,1	110,2	73,7
2052	107,4	85,3	67,2	56,6	53,0	49,8	47,3	50,2	71,5	92,7	101,6	104,8	74,3
2053	99,1	91,3	74,2	57,8	57,7	64,7	70,4	87,2	134,8	183,7	235,4	298,1	149,5
2054	267,6	195,0	141,1	106,4	106,2	99,5	87,6	88,4	114,0	144,4	183,7	229,2	136,3
2055	209,9	151,8	114,8	86,6	92,1	84,1	79,0	74,9	76,7	78,7	90,0	107,0	87,5
2056	109,8	89,1	82,3	61,4	57,2	55,2	54,2	56,8	73,5	98,8	130,4	157,9	90,2
2057	144,2	109,9	83,4	67,2	60,5	71,6	86,1	103,3	148,1	195,1	230,3	261,0	144,6
2058	229,9	164,5	117,3	93,3	87,8	80,4	71,5	66,6	72,3	83,2	97,4	110,2	87,1
2059	107,7	88,8	86,1	61,0	60,9	56,5	51,7	52,6	63,5	79,3	106,4	134,0	80,7
2060	127,9	97,7	77,0	62,3	54,9	51,3	48,1	50,0	61,7	78,6	108,1	141,0	81,2
2061	136,1	102,2	80,1	72,1	84,5	84,5	75,8	69,8	70,2	72,1	88,3	114,5	85,5
2062	113,9	89,8	91,0	61,8	61,0	61,6	61,5	63,7	78,8	103,6	136,8	185,1	100,7
2063	174,1	125,1	95,7	74,7	89,4	86,9	81,6	76,1	80,6	90,3	104,7	113,9	88,7
2064	109,7	87,4	69,3	59,9	58,3	55,7	51,3	49,7	56,3	62,9	76,7	100,7	68,0
2065	98,0	81,7	64,9	55,0	54,1	50,2	46,5	45,2	57,1	80,2	100,9	136,8	80,2
2066	136,7	102,4	97,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Promedio	149,0	114,3	91,8	71,5	69,4	67,3	63,4	63,9	78,9	100,6	126,6	157,1	96,1
Desv Est.	56,2	37,1	25,2	15,6	14,7	13,4	12,6	14,3	24,4	39,0	51,5	66,4	26,4
Máximo	316,0	224,5	153,7	111,1	106,2	99,5	92,0	103,3	148,1	195,1	250,4	350,3	156,1
Mínimo	65,4	58,8	49,3	48,7	50,9	49,8	46,5	45,2	51,8	55,0	58,4	63,7	62,5

³¹ La Media del Año Hidrológico entregada se calcula con los meses de Abril-Diciembre del año indicado y Enero-Marzo del año siguiente, por ejemplo , la Media del año hidrológico 2035 corresponde al periodo Abril 2035- Marzo 2036.

ANEXO E: Método de Transposición: Caudales Medios Mensuales Proyectados

Tabla E 1: Caudales Transpuestos del Maipo en San Alfonso al Maipo en El Manzano

Periodo	Q _{SA}	V _{SA} ^{VER}	V _{SA} ^{INV}	V _{SA} ^{VER} / A _{SA} ^{Nival}	V _{SA} ^{INV} / A _{SA} ^{Pluvial}	V _{EM} ^{VER}	V _{EM} ^{INV}	Q _{EM} ^{trans}
	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]	[m]	[m]	[m ³]	[m ³]	[m ³ /s]
Abr-35	55,7		144.462.010		85.942		244.737.391	94,4
May-35	49,8		129.146.918		76.831		218.791.639	84,4
Jun-35	44,4		115.011.446		68.422		194.844.315	75,2
Jul-35	38,2		99.091.382		58.951		167.873.661	64,8
Ago-35	34,8		90.125.136		53.616		152.683.676	58,9
Sep-35	34,1		88.380.202		52.578		149.727.531	57,8
Oct-35	32,7	84.746.995		76.119		154.154.783		59,5
Nov-35	35,3	91.567.584		82.245		166.561.434		64,3
Dic-35	39,4	102.126.096		91.729		185.767.368		71,7
Ene-36	40,8	105.675.840		94.917		192.224.352		74,2
Feb-36	35,7	92.470.118		83.056		168.203.144		64,9
Mar-36	28,3	73.451.059		65.973		133.607.476		51,5
Abr-36	27,9		72.189.533		42.946		122.298.437	47,2
May-36	29,5		76.561.200		45.547		129.704.608	50,0
Jun-36	43,0		111.339.878		66.237		188.624.203	72,8
Jul-36	43,5		112.696.272		67.044		190.922.109	73,7
Ago-36	46,4		120.357.965		71.602		203.902.011	78,7
Sep-36	70,2		181.967.472		108.255		308.276.511	118,9
Oct-36	118,0	305.901.360		274.758		556.434.571		214,7
Nov-36	183,4	475.316.035		426.925		864.599.863		333,6
Dic-36	260,4	674.891.482		606.182		1.227.627.598		473,6
Ene-37	233,9	606.373.258		544.639		1.102.992.949		425,5
Feb-37	163,4	423.625.075		380.497		770.574.007		297,3
Mar-37	108,8	282.103.171		253.383		513.145.665		198,0
Abr-37	76,0		196.998.480		117.197		333.740.989	128,8
May-37	63,5		164.580.595		97.911		278.820.886	107,6
Jun-37	65,0		168.385.133		100.174		285.266.266	110,1
Jul-37	61,2		158.711.530		94.419		268.877.927	103,7
Ago-37	59,5		154.296.835		91.793		261.398.862	100,8
Sep-37	80,5		208.552.579		124.070		353.315.133	136,3
Oct-37	108,4	281.006.237		252.397		511.150.342		197,2
Nov-37	125,4	324.950.746		291.868		591.085.403		228,0
Dic-37	142,1	368.280.432		330.786		669.902.102		258,4
Ene-38	125,2	324.602.640		291.555		590.452.199		227,8
Feb-38	104,1	269.789.616		242.323		490.747.309		189,3
Mar-38	86,1	223.101.994		200.388		405.822.524		156,6
Abr-38	57,1		147.996.202		88.045		250.724.771	96,7
May-38	49,4		128.124.634		76.223		217.059.756	83,7
Jun-38	46,0		119.276.323		70.959		202.069.570	78,0
Jul-38	43,5		112.722.451		67.060		190.966.460	73,7

Tabla E 2: Caudales Transpuestos del Maipo en San Alfonso al Maipo en El Manzano (Continuación)

Periodo	Q _{SA}	V _{SA} ^{VER}	V _{SA} ^{INV}	V _{SA} ^{VER} / A _{SA} ^{Nival}	V _{SA} ^{INV} / A _{SA} ^{Pluvial}	V _{EM} ^{VER}	V _{EM} ^{INV}	Q _{EM} ^{trans}
	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]	[m]	[m]	[m ³]	[m ³]	[m ³ /s]
Ago-38	48,4		125.482.867		74.651		212.584.261	82,0
Sep-38	68,8		178.390.771		106.127		302.217.116	116,6
Oct-38	97,2	251.865.158		226.223		458.142.720		176,8
Nov-38	143,5	371.901.197		334.039		676.488.273		261,0
Dic-38	191,0	495.146.390		444.736		900.671.279		347,5
Ene-39	169,7	439.863.178		395.081		800.111.115		308,7
Feb-39	117,1	303.499.613		272.601		552.065.792		213,0
Mar-39	84,4	218.703.629		196.438		397.821.898		153,5
Abr-39	62,4		161.632.454		96.157		273.826.353	105,6
May-39	56,5		146.499.062		87.154		248.188.423	95,8
Jun-39	50,9		131.978.938		78.516		223.589.447	86,3
Jul-39	44,2		114.535.555		68.139		194.038.094	74,9
Ago-39	41,3		106.994.909		63.653		181.263.260	69,9
Sep-39	48,5		125.828.899		74.857		213.170.484	82,2
Oct-39	62,4	161.720.064		145.256		294.168.795		113,5
Nov-39	78,3	202.865.472		182.212		369.012.291		142,4
Dic-39	97,5	252.673.603		226.949		459.613.281		177,3
Ene-40	99,5	257.860.195		231.608		469.047.692		181,0
Feb-40	72,7	188.330.573		169.157		342.573.310		132,2
Mar-40	59,2	153.351.274		137.739		278.945.965		107,6
Abr-40	47,8		123.768.778		73.631		209.680.371	80,9
May-40	50,0		129.535.718		77.062		219.450.317	84,7
Jun-40	48,2		124.983.130		74.354		211.737.641	81,7
Jul-40	42,0		108.772.762		64.710		184.275.174	71,1
Ago-40	39,0		101.047.824		60.115		171.188.127	66,0
Sep-40	42,8		111.046.464		66.063		188.127.120	72,6
Oct-40	52,3	135.459.216		121.668		246.400.312		95,1
Nov-40	73,5	190.467.936		171.077		346.461.174		133,7
Dic-40	104,8	271.728.432		244.064		494.274.015		190,7
Ene-41	107,2	277.900.243		249.608		505.500.539		195,0
Feb-41	77,3	200.464.243		180.055		364.644.456		140,7
Mar-41	72,7	188.530.675		169.337		342.937.296		132,3
Abr-41	46,2		119.708.928		71.216		202.802.459	78,2
May-41	44,0		113.969.203		67.802		193.078.620	74,5
Jun-41	41,3		107.012.794		63.663		181.293.559	69,9
Jul-41	36,2		93.824.957		55.818		158.951.652	61,3
Ago-41	35,1		90.885.110		54.069		153.971.171	59,4
Sep-41	39,4		102.199.450		60.800		173.139.130	66,8
Oct-41	45,4	117.731.232		105.745		214.153.110		82,6
Nov-41	58,9	152.740.080		137.190		277.834.204		107,2
Dic-41	74,1	191.975.962		172.431		349.204.272		134,7
Ene-42	73,1	189.434.765		170.149		344.581.835		132,9
Feb-42	56,6	146.765.779		131.824		266.966.951		103,0
Mar-42	41,6	107.775.101		96.803		196.042.907		75,6

Tabla E 3: Caudales Transpuestos del Maipo en San Alfonso al Maipo en El Manzano (Continuación)

Periodo	Q _{SA}	V _{SA} ^{VER}	V _{SA} ^{INV}	V _{SA} ^{VER} / A _{SA} ^{Nival}	V _{SA} ^{INV} / A _{SA} ^{Pluvial}	V _{EM} ^{VER}	V _{EM} ^{INV}	Q _{EM} ^{trans}
	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]	[m]	[m]	[m ³]	[m ³]	[m ³ /s]
Abr-42	35,3		91.378.368		54.362		154.806.813	59,7
May-42	35,3		91.535.962		54.456		155.073.798	59,8
Jun-42	35,7		92.601.533		55.090		156.879.013	60,5
Jul-42	35,4		91.859.702		54.648		155.622.256	60,0
Ago-42	37,0		95.949.101		57.081		162.550.228	62,7
Sep-42	50,4		130.552.819		77.667		221.173.417	85,3
Oct-42	64,2	166.459.795		149.513		302.790.366		116,8
Nov-42	73,0	189.302.832		170.030		344.341.849		132,8
Dic-42	84,6	219.196.886		196.881		398.719.134		153,8
Ene-43	82,5	213.759.907		191.997		388.829.269		150,0
Feb-43	61,4	159.214.637		143.005		289.611.423		111,7
Mar-43	47,1	122.069.981		109.642		222.045.294		85,7
Abr-43	37,1		96.219.187		57.242		163.007.789	62,9
May-43	36,7		95.150.246		56.606		161.196.865	62,2
Jun-43	33,9		87.918.048		52.303		148.944.582	57,5
Jul-43	30,9		79.986.269		47.585		135.507.119	52,3
Ago-43	29,0		75.158.410		44.713		127.328.099	49,1
Sep-43	32,4		83.976.134		49.958		142.266.469	54,9
Oct-43	38,5	99.787.853		89.629		181.514.103		70,0
Nov-43	48,1	124.722.374		112.025		226.869.998		87,5
Dic-43	73,3	189.960.682		170.621		345.538.478		133,3
Ene-44	76,7	198.825.581		178.583		361.663.729		139,5
Feb-44	57,2	148.255.402		133.162		269.676.574		104,0
Mar-44	42,7	110.633.818		99.370		201.242.913		77,6
Abr-44	33,4		86.469.638		51.442		146.490.789	56,5
May-44	32,8		85.094.582		50.624		144.161.265	55,6
Jun-44	29,4		76.111.229		45.279		128.942.298	49,7
Jul-44	27,2		70.421.011		41.894		119.302.331	46,0
Ago-44	26,7		69.309.302		41.233		117.418.952	45,3
Sep-44	30,3		78.462.173		46.678		132.925.103	51,3
Oct-44	34,6	89.621.510		80.497		163.021.526		62,9
Nov-44	44,1	114.210.000		102.582		207.747.989		80,1
Dic-44	59,6	154.518.451		138.787		281.069.061		108,4
Ene-45	60,6	157.043.837		141.055		285.662.737		110,2
Feb-45	47,2	122.279.674		109.831		222.426.725		85,8
Mar-45	36,3	94.016.506		84.445		171.016.023		66,0
Abr-45	34,2		88.741.267		52.793		150.339.223	58,0
May-45	38,2		99.056.390		58.930		167.814.380	64,7
Jun-45	36,5		94.552.531		56.250		160.184.258	61,8
Jul-45	33,5		86.921.424		51.711		147.256.172	56,8
Ago-45	31,6		81.937.267		48.745		138.812.364	53,6
Sep-45	38,1		98.754.163		58.750		167.302.368	64,5
Oct-45	54,4	140.876.755		126.534		256.254.816		98,9
Nov-45	85,2	220.940.266		198.447		401.890.341		155,1
Dic-45	127,6	330.675.178		297.010		601.498.144		232,1

Tabla E 4: Caudales Transpuestos del Maipo en San Alfonso al Maipo en El Manzano (Continuación)

Periodo	Q _{SA}	V _{SA} ^{VER}	V _{SA} ^{INV}	V _{SA} ^{VER} / A _{SA} ^{Nival}	V _{SA} ^{INV} / A _{SA} ^{Pluvial}	V _{EM} ^{VER}	V _{EM} ^{INV}	Q _{EM} ^{trans}
	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]	[m]	[m]	[m ³]	[m ³]	[m ³ /s]
Ene-46	119,4	309.581.741		278.064		563.129.183		217,3
Feb-46	83,4	216.056.938		194.061		393.007.567		151,6
Mar-46	62,1	160.848.374		144.473		292.583.191		112,9
Abr-46	44,6		115.645.968		68.799		195.919.277	75,6
May-46	37,9		98.316.893		58.490		166.561.575	64,3
Jun-46	34,0		88.138.886		52.435		149.318.711	57,6
Jul-46	29,3		76.046.170		45.241		128.832.080	49,7
Ago-46	27,4		71.016.394		42.248		120.310.987	46,4
Sep-46	32,2		83.399.933		49.616		141.290.309	54,5
Oct-46	43,5	112.710.010		101.235		205.019.506		79,1
Nov-46	62,2	161.124.941		144.721		293.086.266		113,1
Dic-46	88,7	229.985.827		206.571		418.344.217		161,4
Ene-47	91,4	236.903.875		212.785		430.928.146		166,3
Feb-47	92,2	239.053.939		214.716		434.839.113		167,8
Mar-47	77,4	200.566.627		180.147		364.830.693		140,8
Abr-47	47,9		124.151.875		73.859		210.329.388	81,1
May-47	42,6		110.508.624		65.743		187.215.950	72,2
Jun-47	37,7		97.705.958		58.126		165.526.573	63,9
Jul-47	32,6		84.604.694		50.332		143.331.331	55,3
Ago-47	34,9		90.503.309		53.841		153.324.350	59,2
Sep-47	69,1		179.220.989		106.621		303.623.612	117,1
Oct-47	119,9	310.788.317		279.148		565.323.945		218,1
Nov-47	134,7	349.218.605		313.665		635.228.638		245,1
Dic-47	143,2	371.184.509		333.395		675.184.618		260,5
Ene-48	125,1	324.245.722		291.235		589.802.964		227,5
Feb-48	92,8	240.574.666		216.082		437.605.314		168,8
Mar-48	84,3	218.584.397		196.331		397.605.015		153,4
Abr-48	52,0		134.793.072		80.190		228.356.956	88,1
May-48	52,7		136.507.421		81.210		231.261.285	89,2
Jun-48	46,5		120.408.768		71.633		203.988.078	78,7
Jul-48	41,5		107.541.562		63.978		182.189.361	70,3
Ago-48	44,9		116.484.998		69.298		197.340.703	76,1
Sep-48	64,6		167.509.814		99.654		283.783.363	109,5
Oct-48	91,0	235.826.640		211.818		428.968.656		165,5
Nov-48	120,1	311.229.475		279.544		566.126.412		218,4
Dic-48	148,0	383.674.320		344.613		697.903.584		269,3
Ene-49	138,2	358.256.909		321.783		651.669.313		251,4
Feb-49	96,7	250.743.341		225.216		456.102.134		176,0
Mar-49	69,5	180.178.992		161.835		327.745.585		126,4
Abr-49	53,3		138.266.611		82.256		234.241.582	90,4
May-49	46,7		120.996.374		71.982		204.983.560	79,1
Jun-49	43,2		111.848.688		66.540		189.486.192	73,1
Jul-49	39,6		102.569.328		61.020		173.765.752	67,0
Ago-49	38,5		99.839.693		59.396		169.141.396	65,3
Sep-49	47,2		122.369.098		72.799		207.309.131	80,0

Tabla E 5: Caudales Transpuestos del Maipo en San Alfonso al Maipo en El Manzano (Continuación)

Periodo	Q _{SA}	V _{SA} ^{VER}	V _{SA} ^{INV}	V _{SA} ^{VER} / A _{SA} ^{Nival}	V _{SA} ^{INV} / A _{SA} ^{Pluvial}	V _{EM} ^{VER}	V _{EM} ^{INV}	Q _{EM} ^{trans}
	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]	[m]	[m]	[m ³]	[m ³]	[m ³ /s]
Oct-49	66,9	173.494.224		155.831		315.585.992		121,8
Nov-49	94,5	244.901.491		219.969		445.475.810		171,9
Dic-49	122,0	316.204.560		284.012		575.176.091		221,9
Ene-50	123,6	320.271.926		287.666		582.574.631		224,8
Feb-50	84,7	219.644.525		197.283		399.533.388		154,1
Mar-50	63,6	164.816.986		148.037		299.802.095		115,7
Abr-50	47,1		122.071.536		72.622		206.805.023	79,8
May-50	42,9		111.245.789		66.181		188.464.803	72,7
Jun-50	39,9		103.363.258		61.492		175.110.772	67,6
Jul-50	35,4		91.675.930		54.539		155.310.921	59,9
Ago-50	33,3		86.316.970		51.351		146.232.148	56,4
Sep-50	38,4		99.587.491		59.246		168.714.133	65,1
Oct-50	47,3	122.613.264		110.130		223.033.526		86,0
Nov-50	58,8	152.447.702		136.927		277.302.369		107,0
Dic-50	68,3	177.005.347		158.985		321.972.725		124,2
Ene-51	65,5	169.838.467		152.548		308.936.170		119,2
Feb-51	52,7	136.592.179		122.686		248.461.172		95,9
Mar-51	40,3	104.332.666		93.711		189.781.118		73,2
Abr-51	33,2		86.049.734		51.192		145.779.417	56,2
May-51	32,3		83.632.176		49.754		141.683.759	54,7
Jun-51	34,5		89.453.549		53.217		151.545.920	58,5
Jul-51	33,9		87.946.301		52.320		148.992.446	57,5
Ago-51	33,8		87.610.896		52.121		148.424.227	57,3
Sep-51	40,2		104.141.117		61.955		176.428.566	68,1
Oct-51	49,4	127.955.376		114.928		232.750.828		89,8
Nov-51	62,1	160.963.459		144.576		292.792.531		113,0
Dic-51	75,3	195.070.032		175.210		354.832.386		136,9
Ene-52	73,2	189.640.829		170.334		344.956.666		133,1
Feb-52	56,1	145.301.299		130.508		264.303.062		102,0
Mar-52	42,1	109.243.728		98.122		198.714.340		76,7
Abr-52	33,9		87.984.662		52.343		149.057.436	57,5
May-52	31,2		80.797.565		48.067		136.881.560	52,8
Jun-52	28,7		74.448.720		44.290		126.125.793	48,7
Jul-52	26,8		69.388.099		41.280		117.552.444	45,4
Ago-52	29,0		75.269.088		44.778		127.515.603	49,2
Sep-52	45,4		117.804.067		70.083		199.575.377	77,0
Oct-52	61,8	160.233.811		143.921		291.465.301		112,4
Nov-52	68,6	177.884.035		159.774		323.571.058		124,8
Dic-52	71,1	184.353.408		165.585		335.338.847		129,4
Ene-53	66,7	172.915.949		155.312		314.534.109		121,3
Feb-53	60,7	157.401.014		141.376		286.312.443		110,5
Mar-53	47,6	123.295.219		110.743		224.274.002		86,5
Abr-53	34,9		90.498.125		53.838		153.315.567	59,1
May-53	34,8		90.234.000		53.681		152.868.106	59,0
Jun-53	40,2		104.143.709		61.956		176.432.957	68,1

Tabla E 6: Caudales Transpuestos del Maipo en San Alfonso al Maipo en El Manzano (Continuación)

Periodo	Q _{SA}	V _{SA} ^{VER}	V _{SA} ^{INV}	V _{SA} ^{VER} / A _{SA} ^{Nival}	V _{SA} ^{INV} / A _{SA} ^{Pluvial}	V _{EM} ^{VER}	V _{EM} ^{INV}	Q _{EM} ^{trans}
	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]	[m]	[m]	[m ³]	[m ³]	[m ³ /s]
Jul-53	44,6		115.702.214		68.833		196.014.566	75,6
Ago-53	57,5		149.102.208		88.703		252.598.489	97,5
Sep-53	94,2		244.275.005		145.322		413.833.558	159,7
Oct-53	132,0	342.057.427		307.233		622.202.456		240,0
Nov-53	171,8	445.360.291		400.019		810.110.365		312,5
Dic-53	220,1	570.589.661		512.499		1.037.902.587		400,4
Ene-54	196,6	509.658.480		457.771		927.068.770		357,7
Feb-54	140,6	364.552.099		327.438		663.120.265		255,8
Mar-54	99,1	256.957.402		230.797		467.405.511		180,3
Abr-54	72,4		187.593.667		111.602		317.808.016	122,6
May-54	72,2		187.090.301		111.302		316.955.248	122,3
Jun-54	67,0		173.715.581		103.345		294.296.737	113,5
Jul-54	57,8		149.945.645		89.204		254.027.381	98,0
Ago-54	58,5		151.546.464		90.157		256.739.376	99,1
Sep-54	78,2		202.771.642		120.631		343.521.474	132,5
Oct-54	101,6	263.403.446		236.587		479.130.866		184,8
Nov-54	131,9	341.953.229		307.140		622.012.920		240,0
Dic-54	167,0	432.970.272		388.890		787.572.920		303,8
Ene-55	152,1	394.299.187		354.156		717.230.217		276,7
Feb-55	107,4	278.304.854		249.971		506.236.527		195,3
Mar-55	78,9	204.401.750		183.592		371.806.782		143,4
Abr-55	57,1		147.899.520		87.987		250.560.980	96,7
May-55	61,4		159.072.595		94.634		269.489.619	104,0
Jun-55	55,1		142.924.435		85.027		242.132.540	93,4
Jul-55	51,2		132.738.912		78.968		224.876.942	86,8
Ago-55	48,1		124.555.190		74.099		211.012.656	81,4
Sep-55	49,4		128.173.882		76.252		217.143.188	83,8
Oct-55	51,0	132.276.758		118.810		240.611.422		92,8
Nov-55	59,7	154.688.486		138.940		281.378.355		108,6
Dic-55	72,9	188.851.824		169.625		343.521.466		132,5
Ene-56	75,0	194.283.360		174.504		353.401.430		136,3
Feb-56	59,1	153.062.784		137.480		278.421.202		107,4
Mar-56	53,8	139.338.403		125.153		253.456.554		97,8
Abr-56	37,6		97.557.955		58.038		165.275.836	63,8
May-56	34,4		89.150.026		53.036		151.031.712	58,3
Jun-56	32,9		85.313.606		50.754		144.532.320	55,8
Jul-56	32,1		83.208.902		49.502		140.966.679	54,4
Ago-56	34,1		88.348.320		52.559		149.673.519	57,7
Sep-56	47,0		121.847.328		72.488		206.425.186	79,6
Oct-56	66,5	172.326.787		154.783		313.462.424		120,9
Nov-56	90,9	235.489.939		211.515		428.356.197		165,3
Dic-56	112,0	290.426.602		260.859		528.285.985		203,8
Ene-57	101,5	262.999.613		236.224		478.396.293		184,6
Feb-57	75,1	194.634.835		174.819		354.040.763		136,6
Mar-57	54,6	141.637.766		127.218		257.639.096		99,4

Tabla E 7: Caudales Transpuestos del Maipo en San Alfonso al Maipo en El Manzano (Continuación)

Periodo	Q _{SA}	V _{SA} ^{VER}	V _{SA} ^{INV}	V _{SA} ^{VER} / A _{SA} ^{Nival}	V _{SA} ^{INV} / A _{SA} ^{Pluvial}	V _{EM} ^{VER}	V _{EM} ^{INV}	Q _{EM} ^{trans}
	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]	[m]	[m]	[m ³]	[m ³]	[m ³ /s]
Abr-57	42,1		109.183.594		64.955		184.971.176	71,4
May-57	37,0		95.886.374		57.044		162.443.961	62,7
Jun-57	45,5		117.953.366		70.172		199.828.309	77,1
Jul-57	56,7		146.959.142		87.428		248.967.858	96,1
Ago-57	69,9		181.284.739		107.848		307.119.873	118,5
Sep-57	104,5		270.948.758		161.191		459.022.358	177,1
Oct-57	140,7	364.800.154		327.660		663.571.475		256,0
Nov-57	167,9	435.111.005		390.813		791.466.913		305,3
Dic-57	191,6	496.543.997		445.992		903.213.525		348,5
Ene-58	167,6	434.352.067		390.131		790.086.406		304,8
Feb-58	117,1	303.598.368		272.690		552.245.428		213,1
Mar-58	80,8	209.438.266		188.116		380.968.203		147,0
Abr-58	62,2		161.312.083		95.966		273.283.602	105,4
May-58	58,0		150.455.750		89.508		254.891.566	98,3
Jun-58	52,3		135.555.638		80.644		229.648.842	88,6
Jul-58	45,5		117.859.018		70.116		199.668.470	77,0
Ago-58	41,7		108.004.752		64.253		182.974.066	70,6
Sep-58	46,1		119.451.283		71.063		202.365.975	78,1
Oct-58	54,5	141.202.570		126.827		256.847.473		99,1
Nov-58	65,4	169.577.453		152.313		308.461.385		119,0
Dic-58	75,3	195.075.216		175.215		354.841.816		136,9
Ene-59	73,4	190.196.035		170.833		345.966.586		133,5
Feb-59	58,8	152.471.808		136.949		277.346.217		107,0
Mar-59	56,7	146.923.632		131.966		267.254.085		103,1
Abr-59	37,3		96.778.282		57.575		163.954.968	63,3
May-59	37,3		96.617.578		57.479		163.682.714	63,1
Jun-59	33,9		87.799.853		52.233		148.744.344	57,4
Jul-59	30,2		78.180.422		46.510		132.447.781	51,1
Ago-59	30,8		79.959.571		47.569		135.461.890	52,3
Sep-59	39,3		101.787.581		60.555		172.441.371	66,5
Oct-59	51,4	133.302.154		119.731		242.476.616		93,5
Nov-59	72,3	187.510.464		168.420		341.081.532		131,6
Dic-59	93,6	242.673.667		217.967		441.423.398		170,3
Ene-60	89,0	230.597.280		207.121		419.456.450		161,8
Feb-60	65,6	170.134.474		152.813		309.474.606		119,4
Mar-60	49,7	128.887.718		115.766		234.446.758		90,5
Abr-60	38,3		99.357.062		59.109		168.323.757	64,9
May-60	32,6		84.562.186		50.307		143.259.316	55,3
Jun-60	29,9		77.377.680		46.033		131.087.831	50,6
Jul-60	27,4		71.119.037		42.310		120.484.877	46,5
Ago-60	28,9		74.928.499		44.576		126.938.601	49,0
Sep-60	37,9		98.281.382		58.469		166.501.416	64,2
Oct-60	51,0	132.076.397		118.630		240.246.964		92,7
Nov-60	73,6	190.891.987		171.458		347.232.523		134,0
Dic-60	99,0	256.630.291		230.503		466.810.497		180,1

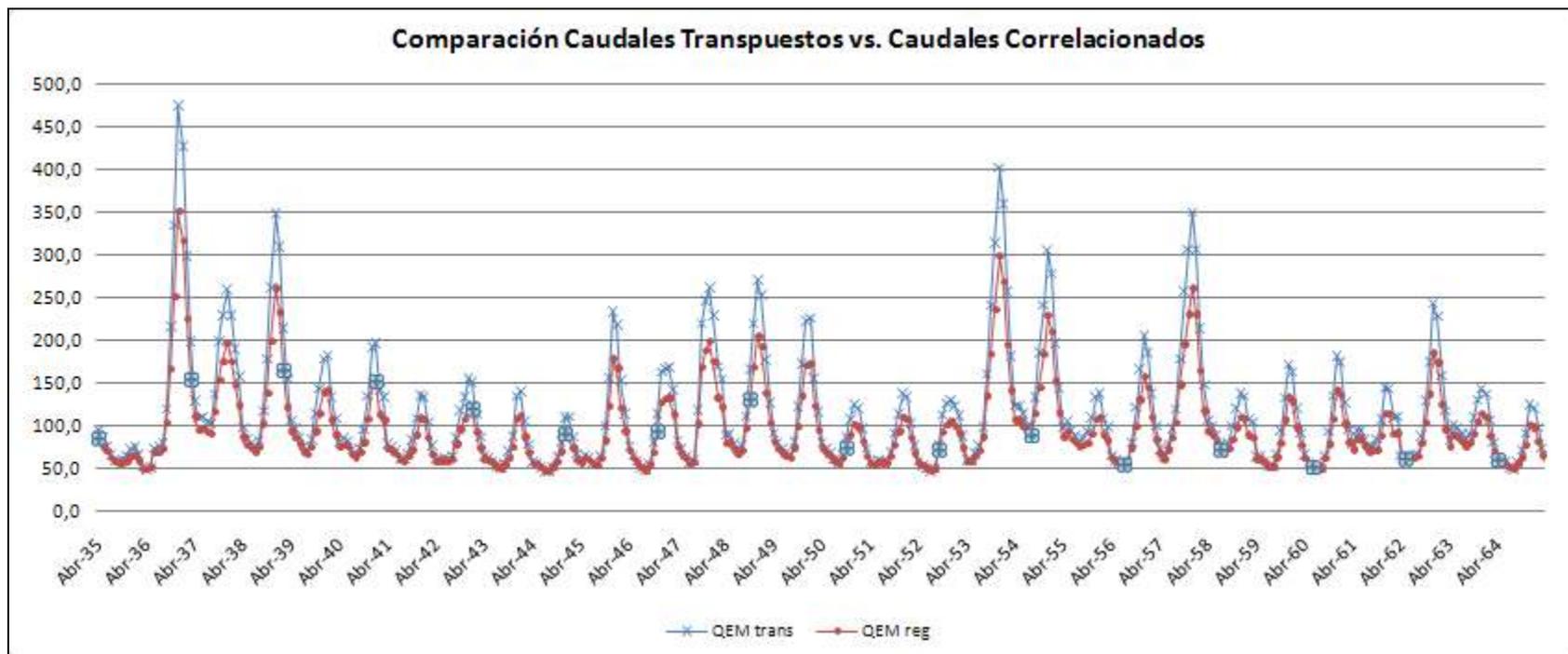
Tabla E 8: Caudales Transpuestos del Maipo en San Alfonso al Maipo en El Manzano (Continuación)

Periodo	Q _{SA}	V _{SA} ^{VER}	V _{SA} ^{INV}	V _{SA} ^{VER} / A _{SA} ^{Nival}	V _{SA} ^{INV} / A _{SA} ^{Pluvial}	V _{EM} ^{VER}	V _{EM} ^{INV}	Q _{EM} ^{trans}
	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]	[m]	[m]	[m ³]	[m ³]	[m ³ /s]
Ene-61	95,2	246.835.123		221.705		448.993.086		173,2
Feb-61	69,1	179.167.853		160.927		325.906.322		125,7
Mar-61	52,0	134.909.712		121.175		245.400.765		94,7
Abr-61	45,9		118.927.958		70.752		201.479.395	77,7
May-61	55,4		143.722.253		85.502		243.484.147	93,9
Jun-61	55,5		143.777.981		85.535		243.578.557	94,0
Jul-61	48,8		126.430.762		75.215		214.190.117	82,6
Ago-61	44,1		114.425.914		68.073		193.852.347	74,8
Sep-61	44,5		115.219.066		68.545		195.196.049	75,3
Oct-61	45,9	118.941.437		106.832		216.354.472		83,5
Nov-61	58,4	151.470.518		136.050		275.524.871		106,3
Dic-61	78,6	203.810.256		183.061		370.730.853		143,0
Ene-62	78,1	202.472.784		181.859		368.297.992		142,1
Feb-62	59,6	154.438.618		138.715		280.923.844		108,4
Mar-62	60,5	156.712.320		140.758		285.059.708		110,0
Abr-62	38,0		98.509.738		58.605		166.888.279	64,4
May-62	37,4		96.844.378		57.614		164.066.943	63,3
Jun-62	37,8		98.037.216		58.323		166.087.766	64,1
Jul-62	37,8		97.884.547		58.233		165.829.125	64,0
Ago-62	39,5		102.273.062		60.843		173.263.840	66,8
Sep-62	51,1		132.458.458		78.801		224.401.816	86,6
Oct-62	70,2	182.059.229		163.524		331.165.735		127,8
Nov-62	95,8	248.251.910		222.978		451.570.222		174,2
Dic-62	133,0	344.754.662		309.656		627.108.727		241,9
Ene-63	124,6	322.897.622		290.024		587.350.772		226,6
Feb-63	86,8	224.884.253		201.989		409.064.453		157,8
Mar-63	64,1	166.116.355		149.204		302.165.648		116,6
Abr-63	47,9		124.278.365		73.935		210.543.677	81,2
May-63	59,3		153.577.037		91.365		260.179.430	100,4
Jun-63	57,3		148.585.622		88.395		251.723.326	97,1
Jul-63	53,2		138.012.336		82.105		233.810.807	90,2
Ago-63	49,0		126.979.747		75.542		215.120.170	83,0
Sep-63	52,4		135.941.587		80.873		230.302.690	88,9
Oct-63	60,0	155.451.571		139.625		282.766.406		109,1
Nov-63	71,1	184.169.376		165.419		335.004.093		129,2
Dic-63	78,1	202.513.478		181.896		368.372.015		142,1
Ene-64	74,9	194.074.963		174.317		353.022.356		136,2
Feb-64	57,7	149.645.750		134.411		272.205.618		105,0
Mar-64	43,8	113.511.715		101.955		206.477.809		79,7
Abr-64	36,5		94.600.483		56.279		160.265.495	61,8
May-64	35,3		91.473.235		54.418		154.967.531	59,8
Jun-64	33,3		86.185.814		51.273		146.009.954	56,3
Jul-64	29,9		77.422.003		46.059		131.162.920	50,6
Ago-64	28,6		74.242.397		44.168		125.776.255	48,5
Sep-64	33,7		87.345.475		51.963		147.974.570	57,1

Tabla E 9: Caudales Transpuestos del Maipo en San Alfonso al Maipo en El Manzano (Continuación)

Periodo	Q_{SA}	V_{SA}^{VER}	V_{SA}^{INV}	$V_{SA}^{VER} / A_{SA}^{Nival}$	$V_{SA}^{INV} / A_{SA}^{Pluvial}$	V_{EM}^{VER}	V_{EM}^{INV}	Q_{EM}^{trans}
	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]	[m]	[m]	[m ³]	[m ³]	[m ³ /s]
Oct-64	38,8	100.694.534		90.443		183.163.357		70,7
Nov-64	49,4	128.106.230		115.064		233.025.232		89,9
Dic-64	68,0	176.192.237		158.254		320.493.677		123,6
Ene-65	65,9	170.804.506		153.415		310.693.394		119,9
Feb-65	53,3	138.154.378		124.089		251.302.811		97,0
Mar-65	40,4	104.593.680		93.945		190.255.903		73,4
Abr-65	32,8		84.917.808		50.519		143.861.786	55,5
May-65	32,0		82.972.512		49.361		140.566.203	54,2
Jun-65	29,1		75.323.779		44.811		127.608.257	49,2
Jul-65	26,2		67.812.422		40.342		114.883.044	44,3
Ago-65	25,1		65.159.770		38.764		110.389.105	42,6
Sep-65	34,4		89.106.480		53.010		150.957.940	58,2
Oct-65	52,1	135.151.546		121.392		245.840.660		94,8
Nov-65	68,2	176.650.502		158.666		321.327.262		124,0
Dic-65	95,8	248.344.186		223.061		451.738.071		174,3
Ene-66	95,8	248.197.997		222.929		451.472.154		174,2
Feb-66	69,3	179.561.059		161.280		326.621.565		126,0
Mar-66	65,2	169.086.787		151.872		307.568.864		118,7

Gráfico E 1: Caudales Transpuestos vs. Caudales Correlacionados



ANEXO F: Muestra del Modelo de Simulación del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable en el Gran Santiago.

Tabla F 1: Modelo de Simulación del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable del Gran Santiago, Escenario N°1 con 25% de Derechos de Aprovechamiento.

Mes-Año	DEMANDA EMPRESAS SANITARIAS		DEMANDA DE RIEGO		Aguas Superficiales							
					Río Mapocho + Captaciones Superficiales Menores				Río Maipo RN			
	Demanda Mensual	Volumen Demanda	Demanda Mensual Esc. Favorable	Volumen Demanda Esc. Favorable	Derechos Fuente Mapocho	Derechos Capt. Superf. Menores (C.S.M.)	Total Derechos Fuente Mapocho + C.S.M.	Total Volumen Fuente Mapocho + C.S.M.	Q_{EM}^{reg} del Maipo	$Q_{EM}^{reg} - Q_{YESO}$	Disponibilidad Maipo(s/Yeso) EE.SS.	Disponibilidad Maipo(s/Yeso) Riego
[m ³ /s]	[m ³]	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	
Abr-35	32,23	83.542.160	83,3	215.916.614	0,84	1,87	2,71	7.024.320	84,8	78,6	19,66	58,98
May-35	28,12	72.882.914	69,9	181.174.370	1,05	1,88	2,93	7.581.600	77,2	71,6	17,90	53,70
Jun-35	24,98	64.735.901	65,4	169.593.622	1,07	1,90	2,97	7.690.464	70,1	65,1	16,28	48,83
Jul-35	25,16	65.227.126	65,6	170.108.322	1,37	1,93	3,30	8.543.232	62,1	57,8	14,45	43,34
Ago-35	24,50	63.510.284	64,4	167.020.123	1,37	2,02	3,38	8.771.328	57,6	53,7	13,42	40,25
Sep-35	26,19	67.873.536	82,1	212.828.415	1,52	2,00	3,51	9.108.288	56,8	52,9	13,22	39,65
Oct-35	27,95	72.451.797	112,8	292.349.552	1,65	1,96	3,62	9.375.264	55,0	51,2	12,80	38,39
Nov-35	32,35	83.853.238	136,0	352.440.767	1,79	1,96	3,75	9.712.224	58,4	54,3	13,58	40,75
Dic-35	34,55	89.545.312	149,1	386.539.636	1,90	1,95	3,86	9.999.936	63,7	59,2	14,80	44,39
Ene-36	37,69	97.684.439	146,9	380.877.937	1,82	1,93	3,75	9.725.184	65,4	60,8	15,20	45,61
Feb-36	35,24	91.338.137	140,4	363.892.840	1,41	1,92	3,34	8.646.912	58,8	54,7	13,69	41,06
Mar-36	33,52	86.877.037	98,3	254.905.133	1,09	1,89	2,99	7.737.120	49,3	46,0	11,50	34,50
Abr-36	32,42	84.032.529	83,3	215.916.614	0,84	1,87	2,71	7.024.320	48,7	45,4	11,35	34,06
May-36	28,28	73.310.717	69,9	181.174.370	1,05	1,88	2,93	7.581.600	50,9	47,4	11,86	35,57
Jun-36	25,12	65.115.883	65,4	169.593.622	1,07	1,90	2,97	7.690.464	68,3	63,4	15,85	47,56
Jul-36	25,31	65.609.991	65,6	170.108.322	1,37	1,93	3,30	8.543.232	68,9	64,0	16,01	48,03
Ago-36	24,65	63.883.071	64,4	167.020.123	1,37	2,02	3,38	8.771.328	72,8	67,6	16,89	50,67

Tabla F 2 Modelo de Simulación del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable del Gran Santiago, Escenario N°1 con 25% de Derechos de Aprovechamiento. (Continuación)

Mes- Año	Aguas Superficiales						Aguas Subterráneas				
	Río Maipo RN						AA	AC	AM	AS	SMAPA
	Volumen Fuente Maipo(s/Yeso) EE.SS.	Volumen Fuente Maipo(s/Yeso) Riego	Disponibilidad El Yeso EE.SS.	Disponibilidad El Yeso Riego	Volumen El Yeso EE.SS.	Volumen El Yeso Riego					
	[m ³]	[m ³]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]					
Abr-35	50.961.957	152.885.872	1,55	4,64	4.012.249	12.036.747	2,53	0,43	0,26	0,10	1,03
May-35	46.399.592	139.198.775	1,39	4,18	3.608.696	10.826.089	1,01	0,21	0,12	0,05	0,49
Jun-35	42.188.635	126.565.904	1,25	3,75	3.236.227	9.708.680	0,51	0,10	0,06	0,02	0,25
Jul-35	37.446.048	112.338.143	1,09	3,26	2.816.733	8.450.199	0,51	0,02	0,01	0,00	0,05
Ago-35	34.775.003	104.325.008	1,00	2,99	2.580.473	7.741.418	0,51	0,02	0,01	0,00	0,05
Sep-35	34.255.187	102.765.561	0,98	2,93	2.534.494	7.603.481	1,01	0,10	0,06	0,02	0,25
Oct-35	33.172.855	99.518.564	0,94	2,82	2.438.759	7.316.276	2,02	0,51	0,31	0,12	1,23
Nov-35	35.204.708	105.614.124	1,01	3,03	2.618.481	7.855.443	3,03	0,62	0,37	0,14	1,48
Dic-35	38.350.089	115.050.266	1,12	3,35	2.896.698	8.690.093	3,03	0,82	0,49	0,19	1,97
Ene-36	39.407.558	118.222.673	1,15	3,46	2.990.234	8.970.701	3,03	1,03	0,62	0,24	2,46
Feb-36	35.473.573	106.420.719	1,02	3,06	2.642.263	7.926.788	3,03	1,34	0,80	0,31	3,20
Mar-36	29.807.795	89.423.386	0,83	2,48	2.141.111	6.423.332	3,03	1,03	0,62	0,24	2,46
Abr-36	29.431.987	88.295.960	0,81	2,44	2.107.869	6.323.608	2,53	0,43	0,26	0,10	1,03
May-36	30.734.306	92.202.919	0,86	2,57	2.223.063	6.669.188	1,01	0,21	0,12	0,05	0,49
Jun-36	41.094.875	123.284.624	1,21	3,63	3.139.481	9.418.443	0,51	0,10	0,06	0,02	0,25
Jul-36	41.498.944	124.496.833	1,23	3,68	3.175.222	9.525.666	0,51	0,02	0,01	0,00	0,05
Ago-36	43.781.363	131.344.088	1,30	3,91	3.377.108	10.131.323	0,51	0,02	0,01	0,00	0,05

Tabla F 3: Modelo de Simulación del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable del Gran Santiago, Escenario N°1 con 25% de Derechos de Aprovechamiento. (Continuación)

Mes-Año	Aguas Subterráneas					DISPONIBILIDAD de agua para EE.SS.						
	SEPRA	Stgo Poniente	Lo Aguirre	Derechos Fuentes Subt.	Volumen Fuentes Subt.	Grupo 2: Disp Mapocho + C.S.M. + Maipo	Grupo 2: Volumen Derechos Mapocho+ C.S.M.+ Maipo	Grupo 3: Disp Mapocho + C.S.M.+ Maipo+ Subt	Grupo 3: Volumen Derechos Mapocho+ C.S.M.+ Maipo+ Subt	Grupo 4: Disp Mapocho + C.S.M.+ Maipo+ ríoEY+ Subt	Grupo 4: Volumen Derechos Mapocho+ C.S.M.+ Maipo+ ríoEY+Subt	Verificación: 2: Map+C.S.M. + Mai 3: 2+ Subt 4: 3+ ríoEY 5: 4+ Emb EY
	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³]	[m³/s]	[m³]	[m³/s]	[m³]	[m³/s]	[m³]	
Abr-35	0,04	0,05	0,03	4,48	11.615.702	22,37	57.986.277	26,85	69.601.979	28,40	73.614.229	
May-35	0,02	0,03	0,02	1,94	5.032.536	20,83	53.981.192	22,77	59.013.728	24,16	62.622.425	5
Jun-35	0,01	0,01	0,01	0,97	2.516.268	19,24	49.879.099	20,21	52.395.367	21,46	55.631.594	5
Jul-35	0,00	0,00	0,00	0,60	1.550.629	17,74	45.989.280	18,34	47.539.909	19,43	50.356.642	5
Ago-35	0,00	0,00	0,00	0,60	1.550.629	16,80	43.546.331	17,40	45.096.960	18,39	47.677.432	5
Sep-35	0,01	0,01	0,01	1,48	3.825.487	16,73	43.363.475	18,21	47.188.962	19,18	49.723.456	5
Oct-35	0,05	0,06	0,04	4,35	11.272.122	16,42	42.548.119	20,76	53.820.241	21,70	56.258.999	5
Nov-35	0,06	0,08	0,05	5,82	15.097.609	17,33	44.916.932	23,15	60.014.542	24,16	62.633.023	5
Dic-35	0,08	0,10	0,06	6,76	17.511.708	18,65	48.350.025	25,41	65.861.732	26,53	68.758.430	5
Ene-36	0,10	0,13	0,08	7,69	19.925.806	18,96	49.132.742	26,64	69.058.547	27,80	72.048.781	5
Feb-36	0,13	0,17	0,10	9,08	23.546.953	17,02	44.120.485	26,11	67.667.438	27,13	70.309.701	5
Mar-36	0,10	0,13	0,08	7,69	19.925.806	14,48	37.544.915	22,17	57.470.721	23,00	59.611.832	5
Abr-36	0,04	0,05	0,03	4,48	11.615.702	14,06	36.456.307	18,55	48.072.009	19,36	50.179.878	5
May-36	0,02	0,03	0,02	1,94	5.032.536	14,78	38.315.906	16,72	43.348.443	17,58	45.571.506	5
Jun-36	0,01	0,01	0,01	0,97	2.516.268	18,82	48.785.339	19,79	51.301.607	21,00	54.441.088	5
Jul-36	0,00	0,00	0,00	0,60	1.550.629	19,31	50.042.176	19,90	51.592.805	21,13	54.768.027	5
Ago-36	0,00	0,00	0,00	0,60	1.550.629	20,27	52.552.691	20,87	54.103.320	22,18	57.480.427	5

Tabla F 4: Modelo de Simulación del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable del Gran Santiago, Escenario N°1 con 25% de Derechos de Aprovechamiento. (Continuación)

DISPONIBILIDAD de agua para RIEGO			OPERACIÓN EMBALSE EL YESO							
Grupo 11: Volumen Derechos Maipo S/EY	Grupo 12: Volumen Derechos Maipo + río EY	Verificación: 11: Maipo 12: 11+ EY 13: 12 + Emb EY(i-1)	Capac Emb EY	238.000.000	Derechos anuales AA Emb El Yeso	400.000.000	Extracción Máxima [m³/s]	15	Volumen Muerto [m³]	12.000.000
			Río Yeso	Volumen Almacenado Inicialmente en el Embalse	Vol requerido EE.SS.	Caudal requerido EE.SS.	Vol Extraído EE.SS.	Caudal Extraído EE.SS.	Volumen Restante en el Embalse	¿Se vacía el Embalse?
			[m³/s]	[m³]	[m³]	[m³/s]	[m³]	[m³/s]	[m³]	37,6%
152.885.872	164.922.620	13	6,19	238.000.000	9.927.931	3,83	9.927.931	3,83	228.072.069	0
139.198.775	150.024.865	13	5,57	228.072.069	10.260.490	3,96	10.260.490	3,96	217.811.579	0
126.565.904	136.274.584	13	4,99	217.811.579	9.104.307	3,51	9.104.307	3,51	208.707.272	0
112.338.143	120.788.342	13	4,35	208.707.272	14.870.484	5,74	14.870.484	5,74	193.836.788	0
104.325.008	112.066.426	13	3,98	193.836.788	15.832.851	6,11	15.832.851	6,11	178.003.936	0
102.765.561	110.369.041	13	3,91	178.003.936	18.150.080	7,00	18.150.080	7,00	159.853.856	0
99.518.564	106.834.840	13	3,76	159.853.856	16.192.798	6,25	16.192.798	6,25	143.661.059	0
105.614.124	113.469.567	13	4,04	143.661.059	21.220.215	8,19	21.220.215	8,19	122.440.843	0
115.050.266	123.740.360	13	4,47	122.440.843	20.786.882	8,02	20.786.882	8,02	101.653.961	0
118.222.673	127.193.373	13	4,61	101.653.961	25.635.659	9,89	25.635.659	9,89	76.018.302	0
106.420.719	114.347.508	13	4,08	76.018.302	21.028.436	8,11	21.028.436	8,11	54.989.866	0
89.423.386	95.846.718	13	3,30	54.989.866	27.265.206	10,52	27.265.206	10,52	27.724.660	0
88.295.960	94.619.568	13	3,25	27.724.660	27.724.660	10,70	27.724.660	10,70	0	1
92.202.919	98.872.107	13	3,43	0	0	0,00	0	0,00	0	1
123.284.624	132.703.067	13	4,84	0	0	0,00	0	0,00	0	1
124.496.833	134.022.499	13	4,90	0	0	0,00	0	0,00	0	1
131.344.088	141.475.410	13	5,21	0	0	0,00	0	0,00	0	1

Tabla F 5: Modelo de Simulación del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable del Gran Santiago, Escenario N°1 con 25% de Derechos de Aprovechamiento. (Continuación)

OPERACIÓN EMBALSE EL YESO		Verificación Extracción Máx Derechos AA 0: OK 1: >400 MM	BALANCE FINAL						CRITERIOS DE SEGURIDAD		
Volumen Embalsado desde el río EY (Caso 4) EE.SS.	Volumen Embalsado desde el río EY (Casos 11-12) RIEGO		Balance RIEGO	Déficit RIEGO	BALANCE EE.SS.				Déficit EE.SS.	Déficit porcentual	PDS
				333	Volumen Disponible Total	Volumen Suministrado	Balance Volumen	Balance Caudal	Fallas: 128		
[m³]	[m³]	0	[m³]	89,5%	[m³]	[m³]	[m³]	[m³/s]	34,4%		92,3%
0	0		-50.993.995	1	112.494.229	83.542.160	0	0,00	0	0,00	100,0
0	0		-31.149.505	1	101.502.425	72.882.914	0	0,00	0	0,00	100,0
0	0		-33.319.038	1	94.511.594	64.735.901	0	0,00	0	0,00	100,0
0	0		-49.319.980	1	89.236.642	65.227.126	0	0,00	0	0,00	100,0
0	0		-54.953.696	1	86.557.432	63.510.284	0	0,00	0	0,00	100,0
0	0		-102.459.374	1	88.603.456	67.873.536	0	0,00	0	0,00	100,0
0	0		-185.514.712	1	95.138.999	72.451.797	0	0,00	0	0,00	100,0
0	0		-238.971.200	1	101.513.023	83.853.238	0	0,00	0	0,00	100,0
0	0		-262.799.277	1	107.638.430	89.545.312	0	0,00	0	0,00	100,0
0	0		-253.684.564	1	110.928.781	97.684.439	0	0,00	0	0,00	100,0
0	0		-249.545.332	1	109.189.701	91.338.137	0	0,00	0	0,00	100,0
0	0	0	-159.058.415	1	98.491.832	86.877.037	0	0,00	0	0,00	100,0
0	0		-121.297.046	1	77.904.538	77.904.538	-6.127.991	-2,36	1	-7,29	92,7
0	0		-82.302.263	1	45.571.506	45.571.506	-27.739.211	-10,70	1	-37,84	62,2
0	0		-36.890.555	1	54.441.088	54.441.088	-10.674.795	-4,12	1	-16,39	83,6
0	0		-36.085.823	1	54.768.027	54.768.027	-10.841.964	-4,18	1	-16,52	83,5
0	0		-25.544.712	1	57.480.427	57.480.427	-6.402.644	-2,47	1	-10,02	90,0

ANEXO G: Caudales Medios Mensuales Proyectados en el río Yeso.

Tabla G 1: Caudales Medios Mensuales [m³/s] Proyectados en el río Yeso en el Período 2035-2065

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Media Anual Hidrológica
2035	-	-	-	6,2	5,6	5,0	4,3	4,0	3,9	3,8	4,0	4,5	4,4
2036	4,6	4,1	3,3	3,3	3,4	4,8	4,9	5,2	7,7	12,8	19,6	27,8	12,0
2037	25,0	17,5	11,8	8,3	7,0	7,2	6,8	6,6	8,8	11,7	13,5	15,3	10,0
2038	13,5	11,3	9,4	6,3	5,5	5,2	4,9	5,4	7,6	10,6	15,4	20,5	10,1
2039	18,2	12,7	9,2	6,9	6,3	5,7	5,0	4,7	5,4	6,9	8,6	10,6	7,1
2040	10,8	8,0	6,6	5,4	5,6	5,4	4,7	4,4	4,8	5,8	8,1	11,4	7,0
2041	11,6	8,5	8,0	5,2	5,0	4,7	4,1	4,0	4,5	5,1	6,5	8,1	5,5
2042	8,0	6,3	4,7	4,0	4,0	4,1	4,1	4,2	5,6	7,1	8,0	9,2	6,0
2043	9,0	6,8	5,3	4,2	4,2	3,9	3,6	3,4	3,7	4,4	5,4	8,0	5,0
2044	8,4	6,3	4,8	3,8	3,8	3,4	3,2	3,1	3,5	4,0	5,0	6,6	4,4
2045	6,7	5,3	4,1	3,9	4,3	4,2	3,9	3,6	4,3	6,0	9,3	13,8	6,9
2046	12,9	9,1	6,9	5,0	4,3	3,9	3,4	3,2	3,7	4,9	6,9	9,7	6,1
2047	10,0	10,0	8,5	5,4	4,8	4,3	3,8	4,0	7,6	13,0	14,5	15,4	8,8
2048	13,5	10,1	9,2	5,8	5,9	5,2	4,7	5,1	7,1	9,9	13,0	15,9	8,8
2049	14,9	10,5	7,6	5,9	5,2	4,9	4,5	4,4	5,3	7,4	10,3	13,2	7,6
2050	13,3	9,2	7,0	5,3	4,8	4,5	4,0	3,8	4,4	5,3	6,5	7,5	5,3
2051	7,2	5,9	4,6	3,8	3,7	4,0	3,9	3,9	4,6	5,5	6,9	8,2	5,3
2052	8,0	6,2	4,8	3,9	3,6	3,3	3,1	3,4	5,1	6,8	7,6	7,8	5,3
2053	7,3	6,7	5,3	4,0	4,0	4,6	5,0	6,4	10,3	14,2	18,4	23,5	11,4
2054	21,0	15,1	10,8	7,9	7,9	7,4	6,4	6,5	8,6	11,0	14,2	17,9	10,4
2055	16,4	11,6	8,6	6,3	6,8	6,1	5,7	5,4	5,5	5,7	6,6	8,0	6,4
2056	8,2	6,5	6,0	4,3	3,9	3,8	3,7	3,9	5,3	7,3	9,9	12,1	6,6
2057	11,0	8,2	6,1	4,8	4,2	5,1	6,3	7,7	11,3	15,2	18,0	20,5	11,0
2058	18,0	12,7	8,8	6,9	6,4	5,8	5,1	4,7	5,2	6,1	7,2	8,2	6,4
2059	8,1	6,5	6,3	4,3	4,2	3,9	3,5	3,6	4,5	5,7	7,9	10,2	5,9
2060	9,7	7,2	5,6	4,4	3,8	3,5	3,2	3,4	4,3	5,7	8,1	10,8	5,9
2061	10,4	7,6	5,8	5,2	6,2	6,2	5,5	5,0	5,0	5,2	6,5	8,6	6,2
2062	8,6	6,6	6,7	4,3	4,3	4,3	4,3	4,5	5,7	7,7	10,4	14,3	7,5
2063	13,4	9,5	7,1	5,4	6,6	6,4	5,9	5,5	5,8	6,6	7,8	8,6	6,5
2064	8,2	6,4	4,9	4,2	4,0	3,8	3,5	3,3	3,9	4,4	5,5	7,5	4,8
2065	7,3	5,9	4,6	3,8	3,7	3,4	3,1	3,0	3,9	5,8	7,5	10,4	4,8
2066	10,4	7,6	7,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Promedio	11,2	8,5	6,7	5,1	4,9	4,8	4,5	4,5	5,7	7,5	9,6	12,1	7,1
Desv Est.	4,7	3,1	2,1	1,3	1,2	1,1	1,0	1,2	2,0	3,2	4,2	5,4	2,2
Máximo	25,0	17,5	11,8	8,3	7,9	7,4	6,8	7,7	11,3	15,2	19,6	27,8	12,0
Mínimo	4,5	4,1	3,3	3,3	3,4	3,3	3,1	3,0	3,5	3,8	4,0	4,5	4,4

ANEXO H: Porcentajes de Seguridad de Suministro de Agua Potable.

Tabla H 1: Seguridad de Suministro de AP dado cierto porcentaje de derechos de agua del río Maipo, evaluado en escenario con Demanda de Riego Favorable.

% río Maipo	% SEGURIDAD								
	DR Favorable - Embalse Lleno			DR Favorable - Embalse Medio			DR Favorable - Embalse Vacío		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
15	23,7	33,6	20,4	22,6	32,3	19,4	21,8	30,9	18,5
16	26,6	36,8	22,6	25,5	35,5	21,5	24,5	34,1	20,4
17	29,6	40,9	25,5	28,5	39,5	24,5	27,4	37,9	23,4
18	31,5	44,6	27,7	30,4	43,3	26,6	29,3	41,4	25,5
19	34,1	48,4	30,4	33,1	47,0	29,3	31,7	45,2	28,0
20	36,8	54,3	32,0	35,8	53,0	30,9	34,4	50,8	29,6
21	41,1	61,0	34,4	39,8	59,4	33,1	38,4	57,0	31,7
22	43,5	68,0	38,4	42,5	66,1	37,4	40,9	63,4	35,8
23	47,8	72,6	41,1	46,8	71,0	40,1	44,9	68,0	38,2
24	52,4	78,5	44,9	51,1	77,2	43,5	49,2	73,9	41,7
25	57,0	83,3	48,4	55,9	82,5	47,3	53,8	79,3	45,2
26	62,4	88,7	51,9	61,0	88,7	50,5	58,9	85,2	48,4
27	68,5	93,3	55,6	66,9	93,3	54,0	64,5	90,9	51,6
28	73,4	98,7	59,7	71,5	98,7	57,8	68,8	96,5	55,1
29	78,8	100,0	63,7	77,4	100,0	62,4	74,5	98,4	59,4
30	82,5	100,0	68,3	81,5	100,0	67,2	79,0	99,2	64,8
31	87,6	100,0	74,5	86,8	100,0	73,4	84,4	99,5	71,2
32	91,7	100,0	78,2	91,7	100,0	78,2	89,2	99,7	75,8
33	96,8	100,0	82,5	96,8	100,0	82,5	94,6	100,0	80,4
34	99,2	100,0	85,5	99,2	100,0	85,5	97,3	100,0	83,6
35	100,0	100,0	90,1	100,0	100,0	90,1	98,4	100,0	88,4
36	100,0	100,0	95,2	100,0	100,0	95,2	98,9	100,0	94,1
37	100,0	100,0	96,2	100,0	100,0	96,2	99,2	100,0	95,4
38	100,0	100,0	97,6	100,0	100,0	97,6	99,5	100,0	97,0
39	100,0	100,0	98,7	100,0	100,0	98,7	99,7	100,0	98,4
40	100,0	100,0	99,2	100,0	100,0	99,2	100,0	100,0	99,2
41	100,0	100,0	99,5	100,0	100,0	99,5	100,0	100,0	99,5
42	100,0	100,0	99,7	100,0	100,0	99,7	100,0	100,0	99,7
43	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabla H 2: Seguridad de Suministro de AP dado cierto porcentaje de derechos de agua del río Maipo, evaluado en escenario con Demanda de Riego Desfavorable.

% río Maipo	% SEGURIDAD								
	DR Desfavorable - Embalse Lleno			DR Desfavorable - Embalse Medio			DR Desfavorable - Embalse Vacío		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
15	22,6	33,9	19,1	21,5	32,5	18,0	20,7	31,2	17,2
16	26,1	37,4	21,5	25,0	36,0	20,4	23,9	34,7	19,4
17	28,8	41,1	24,5	27,7	39,8	23,4	26,6	38,2	22,3
18	30,9	44,6	26,6	29,8	43,3	25,5	28,8	41,4	24,5
19	33,6	47,8	29,0	32,5	46,5	28,0	31,2	44,6	26,6
20	36,3	53,5	31,5	35,2	52,2	30,4	33,9	50,0	29,0
21	40,3	59,9	33,6	39,0	58,3	32,3	37,6	55,9	30,9
22	42,7	66,7	37,1	41,7	64,8	36,0	40,1	62,1	34,4
23	46,8	72,0	39,8	45,7	70,4	38,7	43,8	67,5	36,8
24	51,3	77,7	43,5	50,0	76,3	42,2	48,1	73,1	40,3
25	55,6	82,8	46,8	54,6	82,0	45,7	52,4	78,8	43,5
26	60,8	87,6	50,5	59,4	87,6	49,2	57,3	84,1	47,0
27	66,4	92,7	54,3	64,8	92,7	52,7	62,4	90,3	50,3
28	72,8	97,8	58,3	71,0	97,8	56,5	68,3	95,7	53,8
29	77,7	100,0	62,1	76,3	100,0	60,8	73,4	98,4	57,8
30	82,0	100,0	67,2	80,9	100,0	66,1	78,5	99,2	63,7
31	86,6	100,0	72,8	85,8	100,0	71,8	83,3	99,5	69,6
32	91,1	100,0	77,7	91,1	100,0	77,7	88,7	99,7	75,3
33	95,7	100,0	81,7	95,7	100,0	81,7	93,5	100,0	79,6
34	99,2	100,0	84,7	99,2	100,0	84,7	97,3	100,0	82,8
35	100,0	100,0	89,5	100,0	100,0	89,5	98,4	100,0	87,9
36	100,0	100,0	95,2	100,0	100,0	95,2	98,9	100,0	94,1
37	100,0	100,0	96,2	100,0	100,0	96,2	99,2	100,0	95,4
38	100,0	100,0	97,6	100,0	100,0	97,6	99,5	100,0	97,0
39	100,0	100,0	98,7	100,0	100,0	98,7	99,7	100,0	98,4
40	100,0	100,0	99,2	100,0	100,0	99,2	100,0	100,0	99,2
41	100,0	100,0	99,5	100,0	100,0	99,5	100,0	100,0	99,5
42	100,0	100,0	99,7	100,0	100,0	99,7	100,0	100,0	99,7
43	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

ANEXO I: Porcentajes de Demanda Suplida para Escenarios de Estudio.

Escenario Favorable de Demanda de Riego- Embalse Lleno: Escenarios de Estudio N°1, N°2 y N° 3.

Tabla I- 1: Porcentaje de Demanda Suplida para Escenarios N°1, N°2 y N°3.

% derechos río Maipo	PDS Promedio		
	ESCENARIO A	ESCENARIO B	ESCENARIO C
15,0	69,7	77,7	65,9
20,0	80,4	88,7	76,6
24,5	88,8	96,0	84,7
25,0	89,7	96,7	85,6
30,0	96,6	100,0	93,2
35,0	100,0	100,0	98,3
40,0	100,0	100,0	99,8
43,0	100,0	100,0	100,0

Gráfico I- 1a: PDS para Escenarios N°1, N°2 y N°3

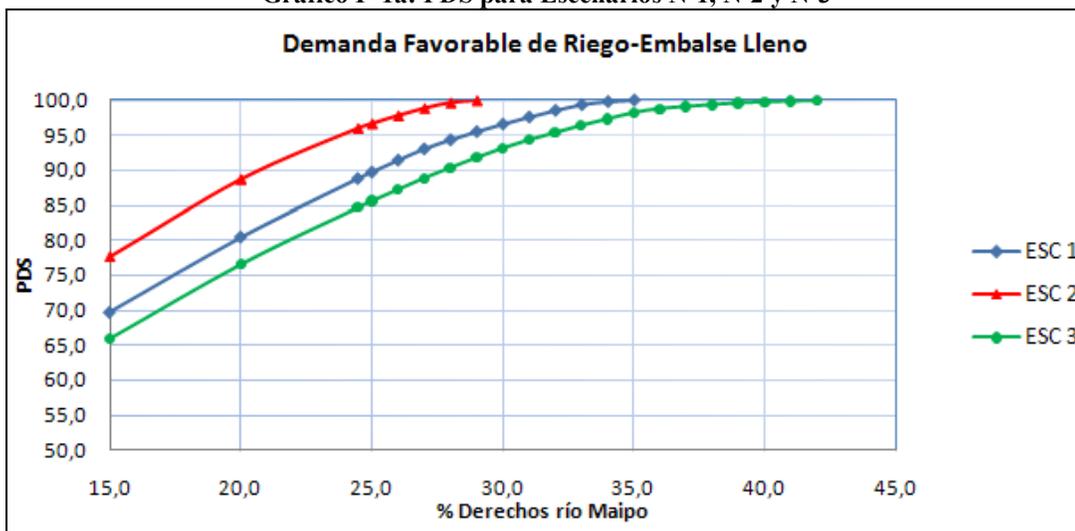
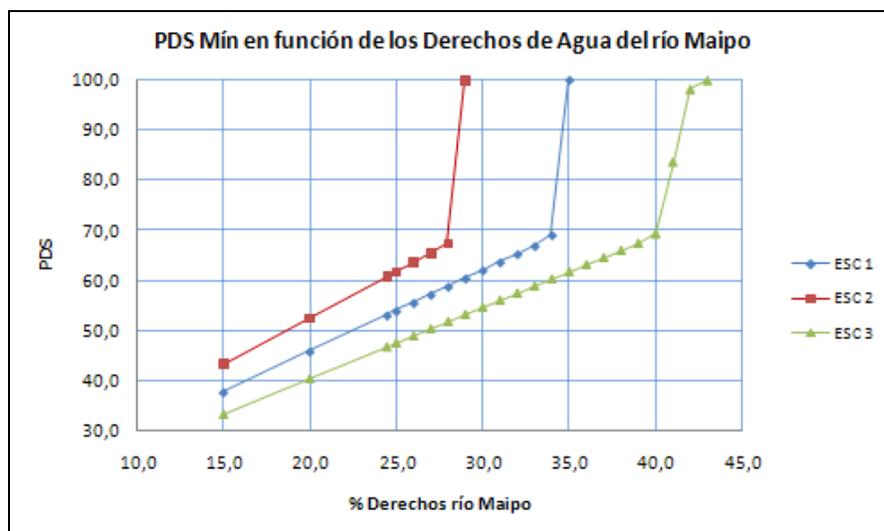


Gráfico I-1b: PDS Mínimo para Escenarios N°1, N°2 y N°3



Escenario Favorable de Demanda de Riego- Embalse Medio: Escenarios de Estudio N°4, N°5 y N°6.

Tabla I- 2: Porcentaje de Demanda Suplida para Escenarios N°4, N°5 y N°6.

% derechos río Maipo	PDS Promedio		
	ESCENARIO A	ESCENARIO B	ESCENARIO C
15,0	69,2	77,2	65,4
20,0	80,1	88,3	76,2
24,5	88,4	95,9	84,4
25,0	89,4	96,6	85,3
30,0	96,4	100,0	93,0
35,0	100,0	100,0	98,3
40,0	100,0	100,0	99,8
43,0	100,0	100,0	100,0

Gráfico I- 2a: PDS para Escenarios N°4, N°5 y N°6

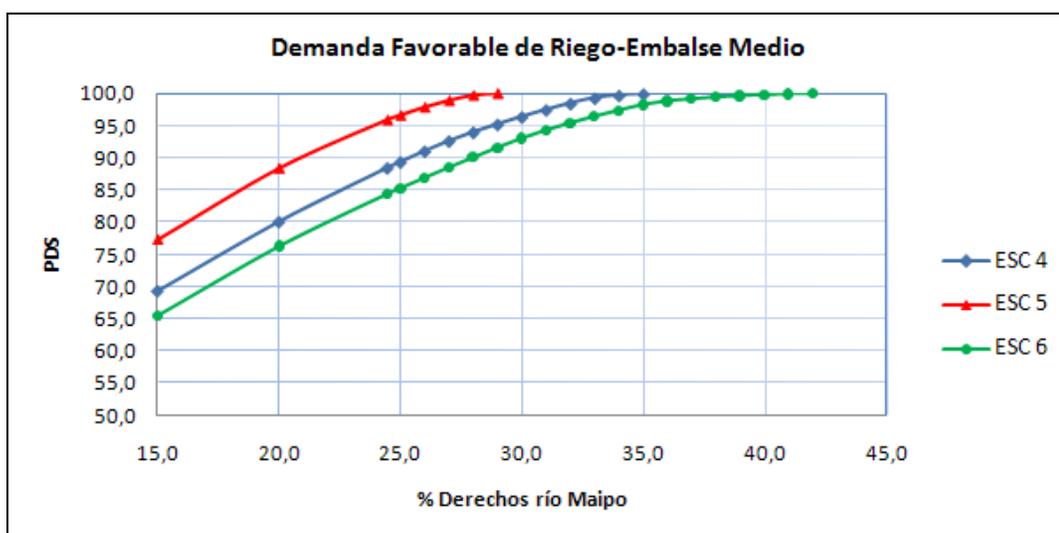
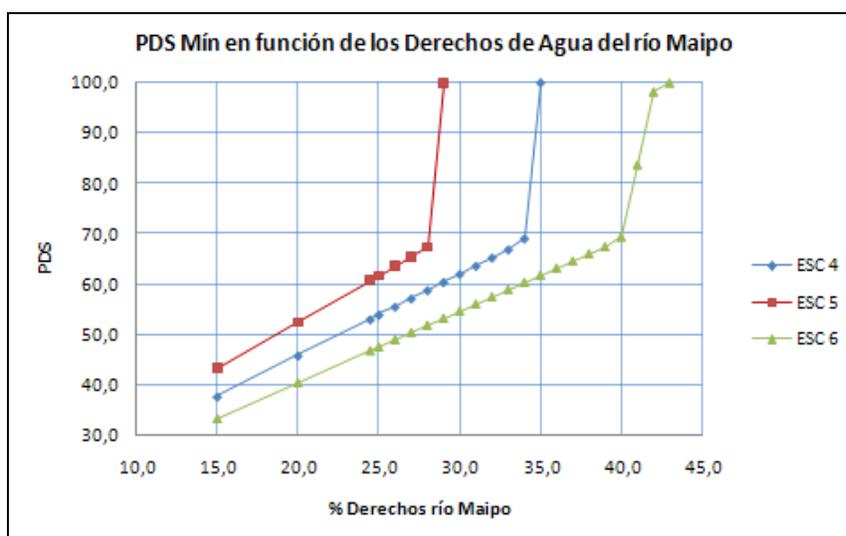


Gráfico I-2b: PDS Mínimo para Escenarios N°4, N°5 y N°6



Escenario Favorable de Demanda de Riego- Embalse Vacío: Escenarios de Estudio N°7, N°8 y N°9.

Tabla I- 3: Porcentaje de Demanda Suplida para Escenarios N°7, N°8 y N°9.

% derechos río Maipo	PDS Promedio		
	ESCENARIO A	ESCENARIO B	ESCENARIO C
15,0	68,8	76,7	65,0
20,0	79,6	87,8	75,7
24,5	88,0	95,4	83,9
25,0	88,9	96,1	84,8
30,0	96,0	99,9	92,6
35,0	99,8	100,0	98,1
40,0	100,0	100,0	99,8
43,0	100,0	100,0	100,0

Gráfico I- 3a: PDS para Escenarios N°7, N°8 y N°9

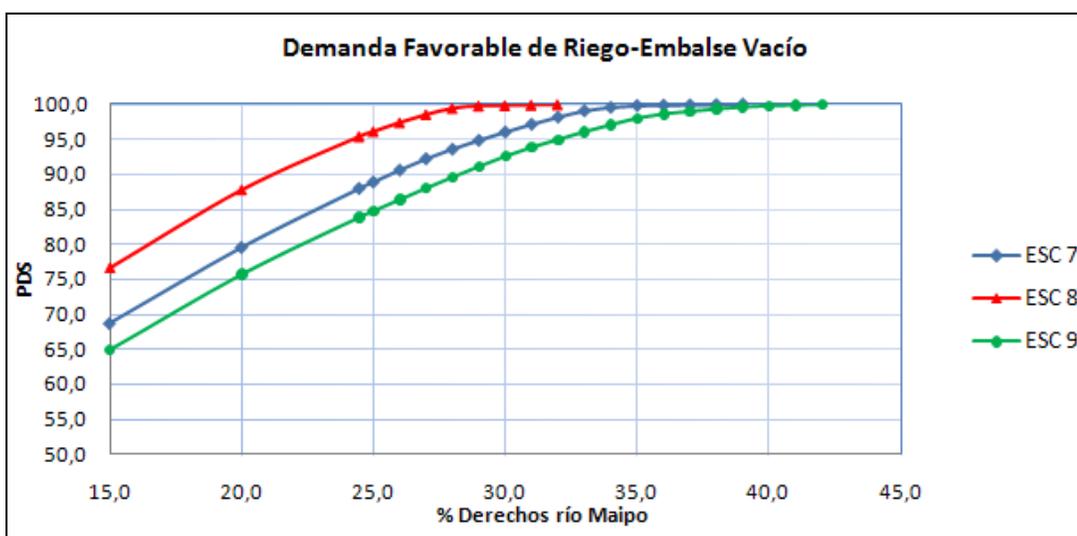
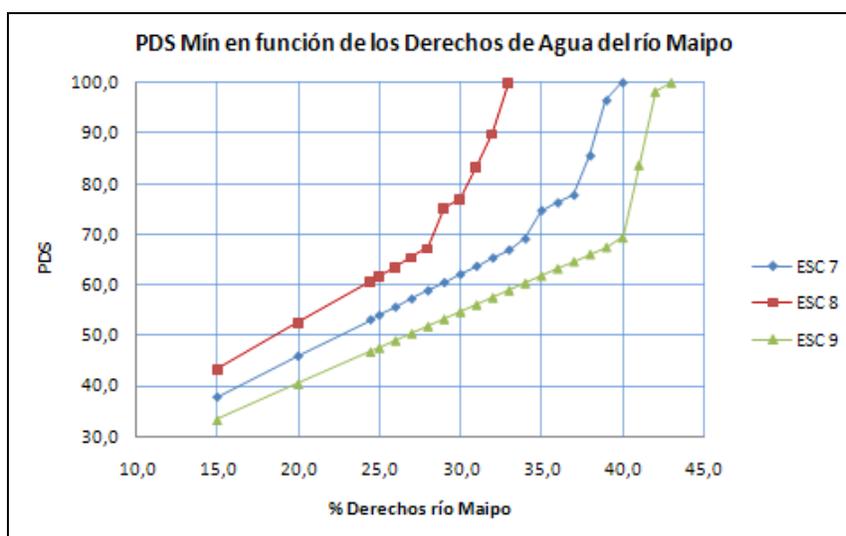


Gráfico I-3b: PDS Mínimo para Escenarios N°7, N°8 y N°9



Escenario Desfavorable de Demanda de Riego- Embalse Lleno: Escenarios de Estudio N°10, N°11 y N°12.

Tabla I- 4: Porcentaje de Demanda Suplida para Escenarios N°10, N°11 y N°12.

% derechos río Maipo	PDS Promedio		
	ESCENARIO A	ESCENARIO B	ESCENARIO C
15,0	69,5	77,9	65,6
20,0	80,3	88,6	76,3
24,5	88,5	95,9	84,4
25,0	89,4	96,5	85,3
30,0	96,4	100,0	92,8
35,0	100,0	100,0	98,1
40,0	100,0	100,0	99,8
43,0	100,0	100,0	100,0

Gráfico I- 4a: PDS para Escenarios N°10, N°11 y N°12

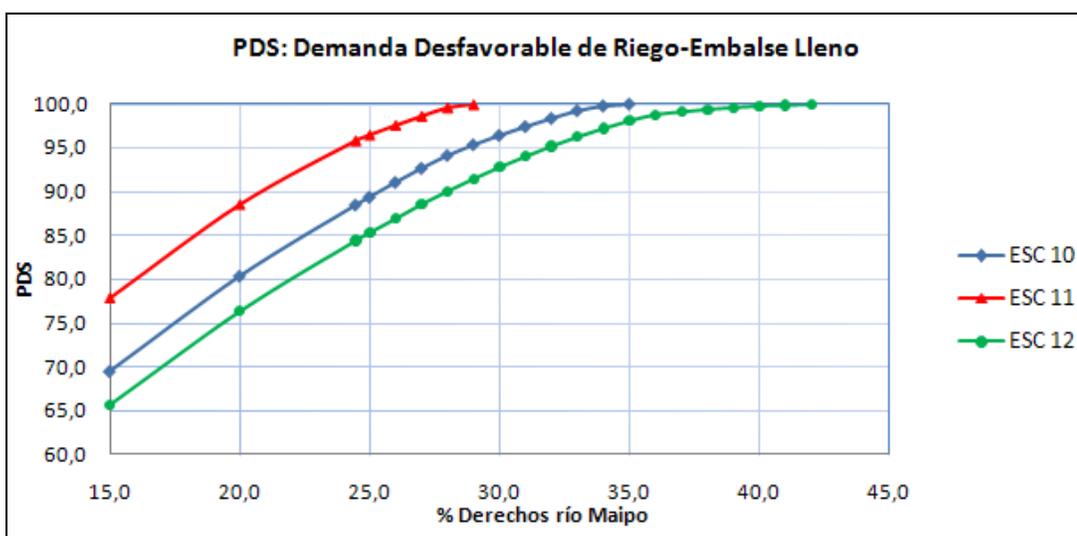
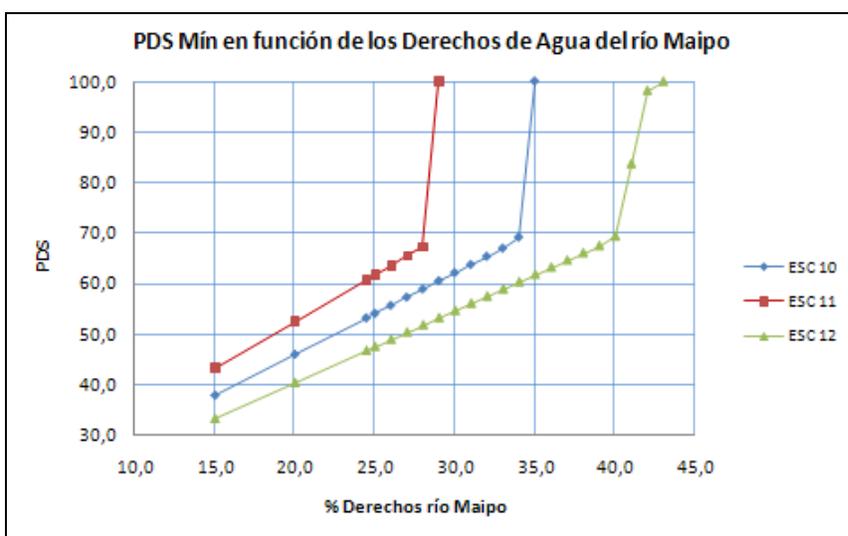


Gráfico I- 4b: PDS para Escenarios N°10, N°11 y N°12



Escenario Desfavorable de Demanda de Riego- Embalse Medio: Escenarios de Estudio N°13, N°14 y N°15.

Tabla I- 5: Porcentaje de Demanda Suplida para Escenarios N°13, N°14 y N°15.

% derechos río Maipo	PDS Promedio		
	ESCENARIO A	ESCENARIO B	ESCENARIO C
15,0	69,0	77,5	65,2
20,0	79,9	88,2	75,9
24,5	88,1	95,7	84,1
25,0	89,0	96,4	85,0
30,0	96,3	100,0	92,7
35,0	100,0	100,0	98,1
40,0	100,0	100,0	99,8
43,0	100,0	100,0	100,0

Gráfico I- 5a: PDS para Escenarios N°13, N°14 y N°15

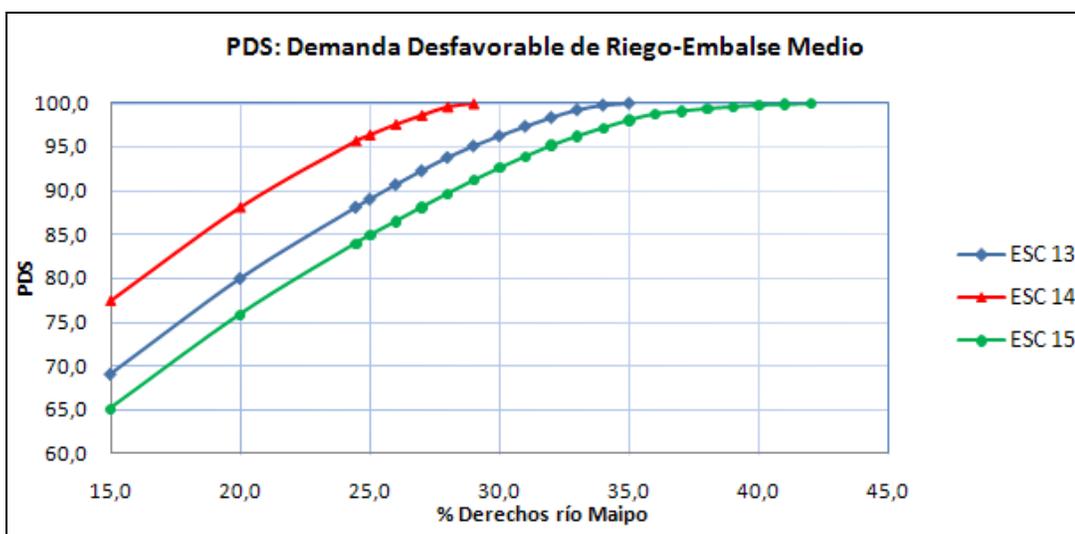
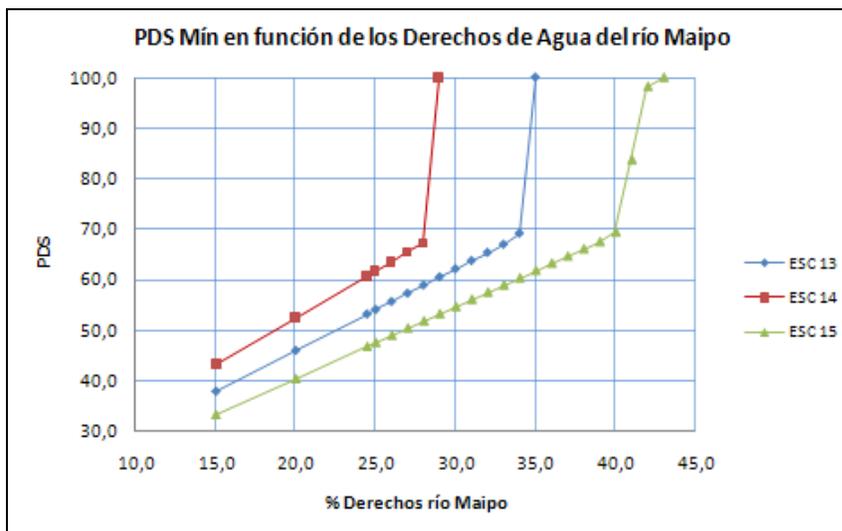


Gráfico I-5b: PDS para Escenarios N°13, N°14 y N°15



Escenario Desfavorable de Demanda de Riego- Embalse Vacío: Escenarios de Estudio N°16, N°17 y N°18.

Tabla I- 6: Porcentaje de Demanda Suplida para Escenarios N°16, N°17 y N°18.

% derechos río Maipo	PDS Promedio		
	ESCENARIO A	ESCENARIO B	ESCENARIO C
15,0	68,5	76,9	64,7
20,0	79,5	87,7	75,5
24,5	87,7	95,3	83,6
25,0	88,6	96,0	84,5
30,0	95,9	99,9	92,3
35,0	99,8	100,0	97,9
40,0	100,0	100,0	99,8
43,0	100,0	100,0	100,0

Gráfico I- 6a: PDS para Escenarios N°16, N°17 y N°18

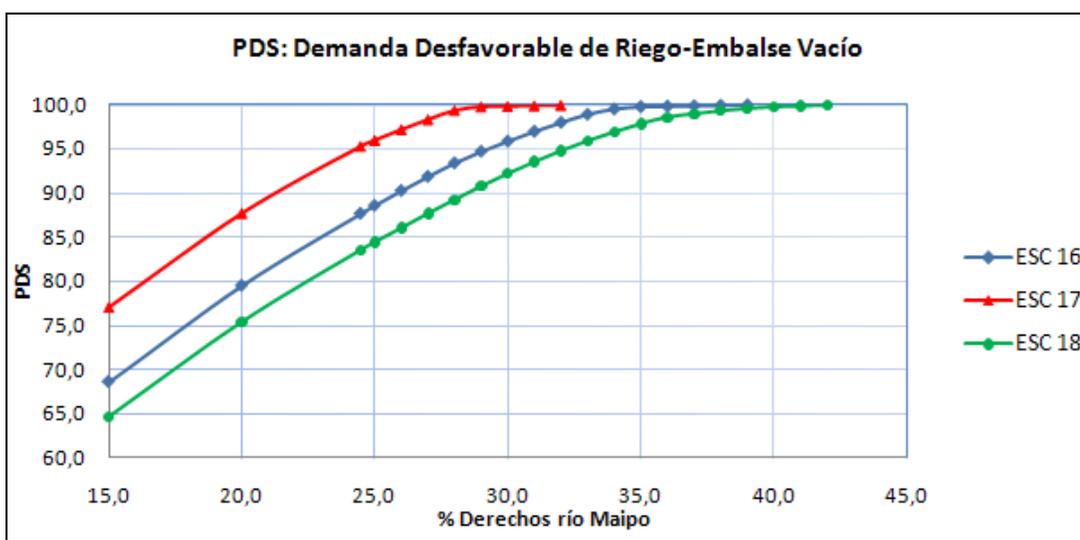


Gráfico I-6b: PDS para Escenarios N°16, N°17 y N°18

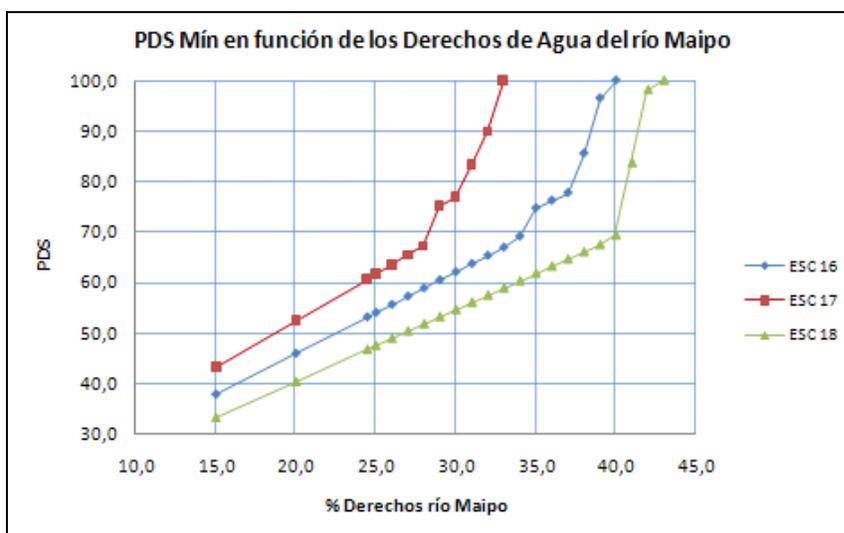


Tabla I- 7: Porcentaje de Demanda Suplida Promedio para los Escenarios de Estudio, variando el porcentaje de Derechos de Agua del río Maipo.

% derechos río Maipo	PORCENTAJE DE DEMANDA SUPLIDA PDS PROMEDIO																	
	DEMANDA DE RIEGO FAVORABLE									DEMANDA DE RIEGO DESFAVORABLE								
	EMBALSE LLENO			EMBALSE MEDIO			EMBALSE VACÍO			EMBALSE LLENO			EMBALSE MEDIO			EMBALSE VACÍO		
	ESC A	ESC B	ESC C	ESC A	ESC B	ESC C	ESC A	ESC B	ESC C	ESC A	ESC B	ESC C	ESC A	ESC B	ESC C	ESC A	ESC B	ESC C
ESC 1	ESC 2	ESC 3	ESC 4	ESC 5	ESC 6	ESC 7	ESC 8	ESC 9	ESC 10	ESC 11	ESC 12	ESC 13	ESC 14	ESC 15	ESC 16	ESC 17	ESC 18	
15,0	69,7	77,7	65,9	69,2	77,2	65,4	68,8	76,7	65,0	69,5	77,9	65,6	69,0	77,5	65,2	68,5	76,9	64,7
20,0	80,4	88,7	76,6	80,1	88,3	76,2	79,6	87,8	75,7	80,3	88,6	76,3	79,9	88,2	75,9	79,5	87,7	75,5
24,5	88,8	96,0	84,7	88,4	95,9	84,4	88,0	95,4	83,9	88,5	95,9	84,4	88,1	95,7	84,1	87,7	95,3	83,6
25,0	89,7	96,7	85,6	89,4	96,6	85,3	88,9	96,1	84,8	89,4	96,5	85,3	89,0	96,4	85,0	88,6	96,0	84,5
26,0	91,4	97,8	87,2	91,1	97,8	86,9	90,6	97,4	86,4	91,1	97,6	86,9	90,7	97,6	86,6	90,3	97,2	86,1
27,0	93,0	98,9	88,9	92,6	98,9	88,5	92,2	98,5	88,1	92,7	98,7	88,6	92,3	98,7	88,2	91,9	98,3	87,8
28,0	94,3	99,7	90,4	94,0	99,7	90,0	93,6	99,4	89,6	94,1	99,6	90,1	93,8	99,6	89,7	93,4	99,4	89,3
29,0	95,5	100,0	91,8	95,3	100,0	91,6	94,9	99,8	91,2	95,4	100,0	91,5	95,1	100,0	91,2	94,7	99,8	90,8
30,0	96,6	100,0	93,2	96,4	100,0	93,0	96,0	99,9	92,6	96,4	100,0	92,8	96,3	100,0	92,7	95,9	99,9	92,3
31,0	97,6	100,0	94,4	97,5	100,0	94,3	97,1	99,9	93,9	97,4	100,0	94,1	97,4	100,0	94,0	97,0	99,9	93,6
32,0	98,5	100,0	95,4	98,5	100,0	95,4	98,2	100,0	95,0	98,4	100,0	95,2	98,4	100,0	95,2	98,0	100,0	94,8
33,0	99,4	100,0	96,4	99,4	100,0	96,4	99,0	100,0	96,1	99,2	100,0	96,3	99,2	100,0	96,3	98,9	100,0	96,0
34,0	99,8	100,0	97,4	99,8	100,0	97,4	99,5	100,0	97,1	99,8	100,0	97,3	99,8	100,0	97,3	99,5	100,0	97,0
35,0	100,0	100,0	98,3	100,0	100,0	98,3	99,8	100,0	98,1	100,0	100,0	98,1	100,0	100,0	98,1	99,8	100,0	97,9
36,0	100,0	100,0	98,8	100,0	100,0	98,8	99,8	100,0	98,7	100,0	100,0	98,8	100,0	100,0	98,8	99,8	100,0	98,7
37,0	100,0	100,0	99,1	100,0	100,0	99,1	99,9	100,0	99,0	100,0	100,0	99,1	100,0	100,0	99,1	99,9	100,0	99,0
38,0	100,0	100,0	99,4	100,0	100,0	99,4	99,9	100,0	99,4	100,0	100,0	99,4	100,0	100,0	99,4	99,9	100,0	99,4
39,0	100,0	100,0	99,6	100,0	100,0	99,6	100,0	100,0	99,6	100,0	100,0	99,6	100,0	100,0	99,6	100,0	100,0	99,6
40,0	100,0	100,0	99,8	100,0	100,0	99,8	100,0	100,0	99,8	100,0	100,0	99,8	100,0	100,0	99,8	100,0	100,0	99,8
41,0	100,0	100,0	99,9	100,0	100,0	99,9	100,0	100,0	99,9	100,0	100,0	99,9	100,0	100,0	99,9	100,0	100,0	99,9
42,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
43,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabla I- 8 Porcentaje de Demanda Suplida Mínimo para los Escenarios de Estudio, variando el porcentaje de Derechos de Agua del río Maipo.

% derechos río Maipo	PORCENTAJE DE DEMANDA SUPLIDA PDS MÍNIMO																	
	DEMANDA DE RIEGO FAVORABLE									DEMANDA DE RIEGO DESFAVORABLE								
	EMBALSE LLENO			EMBALSE MEDIO			EMBALSE VACÍO			EMBALSE LLENO			EMBALSE MEDIO			EMBALSE VACÍO		
	ESC A	ESC B	ESC C	ESC A	ESC B	ESC C	ESC A	ESC B	ESC C	ESC A	ESC B	ESC C	ESC A	ESC B	ESC C	ESC A	ESC B	ESC C
	ESC 1	ESC 2	ESC 3	ESC 4	ESC 5	ESC 6	ESC 7	ESC 8	ESC 9	ESC 10	ESC 11	ESC 12	ESC 13	ESC 14	ESC 15	ESC 16	ESC 17	ESC 18
15,0	37,8	43,2	33,3	37,8	43,2	33,3	37,8	43,2	33,3	37,8	43,2	33,3	37,8	43,2	33,3	37,8	43,2	33,3
20,0	45,9	52,5	40,4	45,9	52,5	40,4	45,9	52,5	40,4	45,9	52,5	40,4	45,9	52,5	40,4	45,9	52,5	40,4
24,5	53,1	60,7	46,8	53,1	60,7	46,8	53,1	60,7	46,8	53,1	60,7	46,8	53,1	60,7	46,8	53,1	60,7	46,8
25,0	54,0	61,7	47,6	54,0	61,7	47,6	54,0	61,7	47,6	54,0	61,7	47,6	54,0	61,7	47,6	54,0	61,7	47,6
26,0	55,6	63,6	49,0	55,6	63,6	49,0	55,6	63,6	49,0	55,6	63,6	49,0	55,6	63,6	49,0	55,6	63,6	49,0
27,0	57,2	65,4	50,4	57,2	65,4	50,4	57,2	65,4	50,4	57,2	65,4	50,4	57,2	65,4	50,4	57,2	65,4	50,4
28,0	58,8	67,3	51,8	58,8	67,3	51,8	58,8	67,3	51,8	58,8	67,3	51,8	58,8	67,3	51,8	58,8	67,3	51,8
29,0	60,5	100,0	53,2	60,5	100,0	53,2	60,5	75,1	53,2	60,5	100,0	53,2	60,5	100,0	53,2	60,5	75,1	53,2
30,0	62,1	100,0	54,7	62,1	100,0	54,7	62,1	76,8	54,7	62,1	100,0	54,7	62,1	100,0	54,7	62,1	76,8	54,7
31,0	63,7	100,0	56,1	63,7	100,0	56,1	63,7	83,4	56,1	63,7	100,0	56,1	63,7	100,0	56,1	63,7	83,4	56,1
32,0	65,3	100,0	57,5	65,3	100,0	57,5	65,3	89,9	57,5	65,3	100,0	57,5	65,3	100,0	57,5	65,3	89,9	57,5
33,0	66,9	100,0	58,9	66,9	100,0	58,9	66,9	100,0	58,9	66,9	100,0	58,9	66,9	100,0	58,9	66,9	100,0	58,9
34,0	69,1	100,0	60,4	69,1	100,0	60,4	69,1	100,0	60,4	69,1	100,0	60,4	69,1	100,0	60,4	69,1	100,0	60,4
35,0	100,0	100,0	61,8	100,0	100,0	61,8	74,7	100,0	61,8	100,0	100,0	61,8	100,0	100,0	61,8	74,7	100,0	61,8
36,0	100,0	100,0	63,2	100,0	100,0	63,2	76,2	100,0	63,2	100,0	100,0	63,2	100,0	100,0	63,2	76,2	100,0	63,2
37,0	100,0	100,0	64,6	100,0	100,0	64,6	77,7	100,0	64,6	100,0	100,0	64,6	100,0	100,0	64,6	77,7	100,0	64,6
38,0	100,0	100,0	66,1	100,0	100,0	66,1	85,5	100,0	66,1	100,0	100,0	66,1	100,0	100,0	66,1	85,5	100,0	66,1
39,0	100,0	100,0	67,5	100,0	100,0	67,5	96,5	100,0	67,5	100,0	100,0	67,5	100,0	100,0	67,5	96,5	100,0	67,5
40,0	100,0	100,0	69,4	100,0	100,0	69,4	100,0	100,0	69,4	100,0	100,0	69,4	100,0	100,0	69,4	100,0	100,0	69,4
41,0	100,0	100,0	83,7	100,0	100,0	83,7	100,0	100,0	83,7	100,0	100,0	83,7	100,0	100,0	83,7	100,0	100,0	83,7
42,0	100,0	100,0	98,2	100,0	100,0	98,2	100,0	100,0	98,2	100,0	100,0	98,2	100,0	100,0	98,2	100,0	100,0	98,2
43,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Gráfico I- 7 Valores de PDS Promedio mensuales para Escenarios de Demanda de Riego Favorable Escenario A: Estado Inicial del Embalse Lleno, Medio y Vacío.

Resultados con 15% de Derechos de Agua.

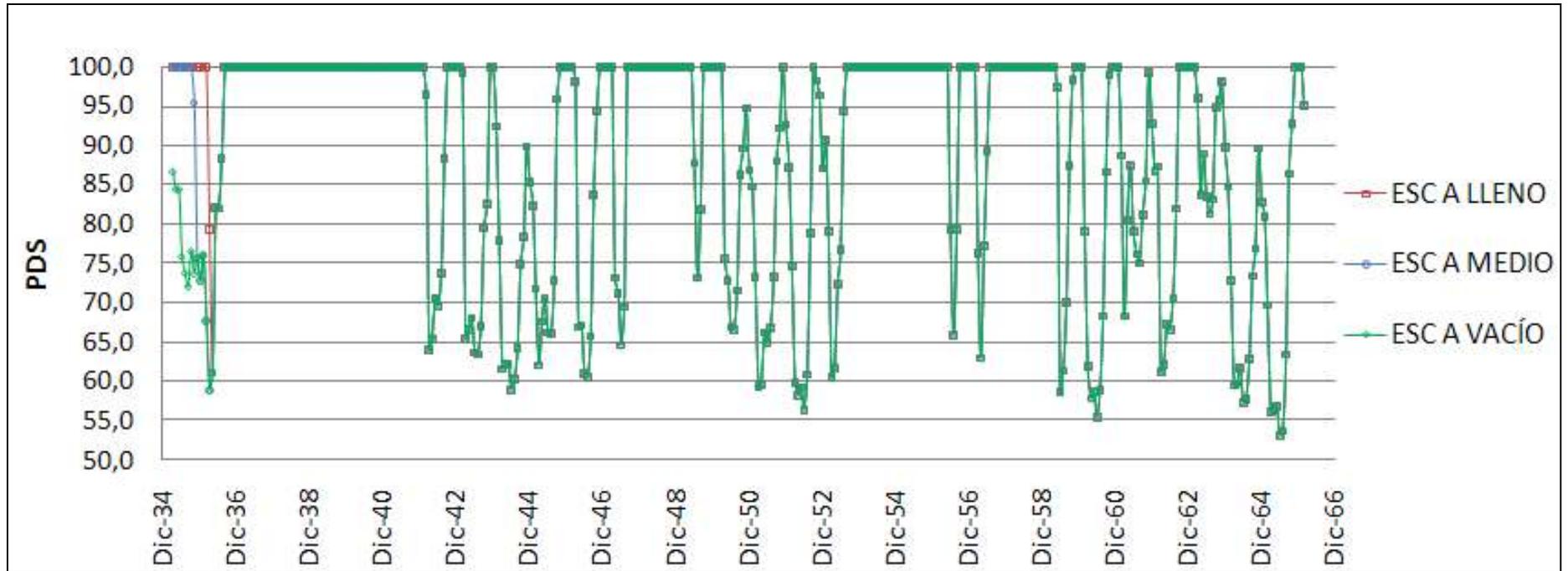


Gráfico I- 8: Valores de PDS Promedio mensuales para Escenarios de Demanda de Riego Favorable-Embalse Lleno: Escenario A, Escenario B y Escenario C.

Resultados con 15% de Derechos de Agua.

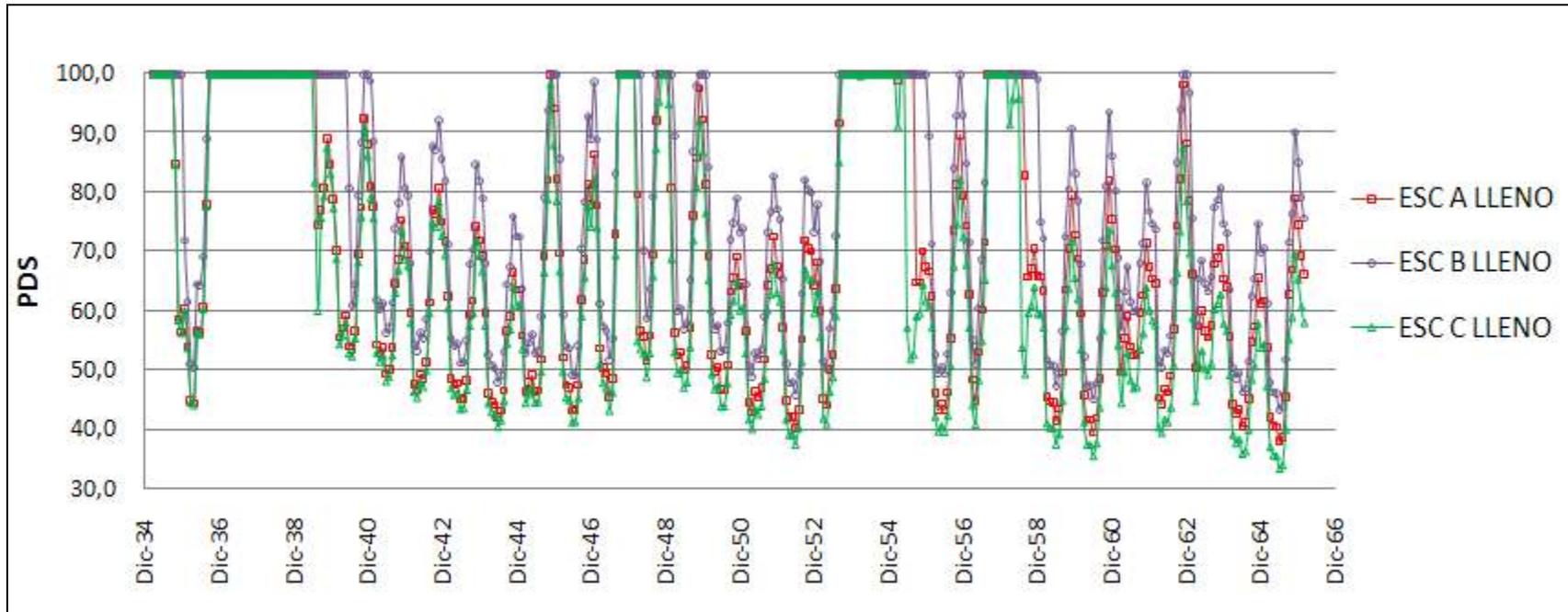


Gráfico I- 9: Valores de PDS Promedio mensuales para Escenarios de Demanda de Riego Favorable-Escenario A: Estado Inicial del Embalse Lleno, Medio y Vacío. Resultados con Derechos de Agua Disponibles en la Actualidad.

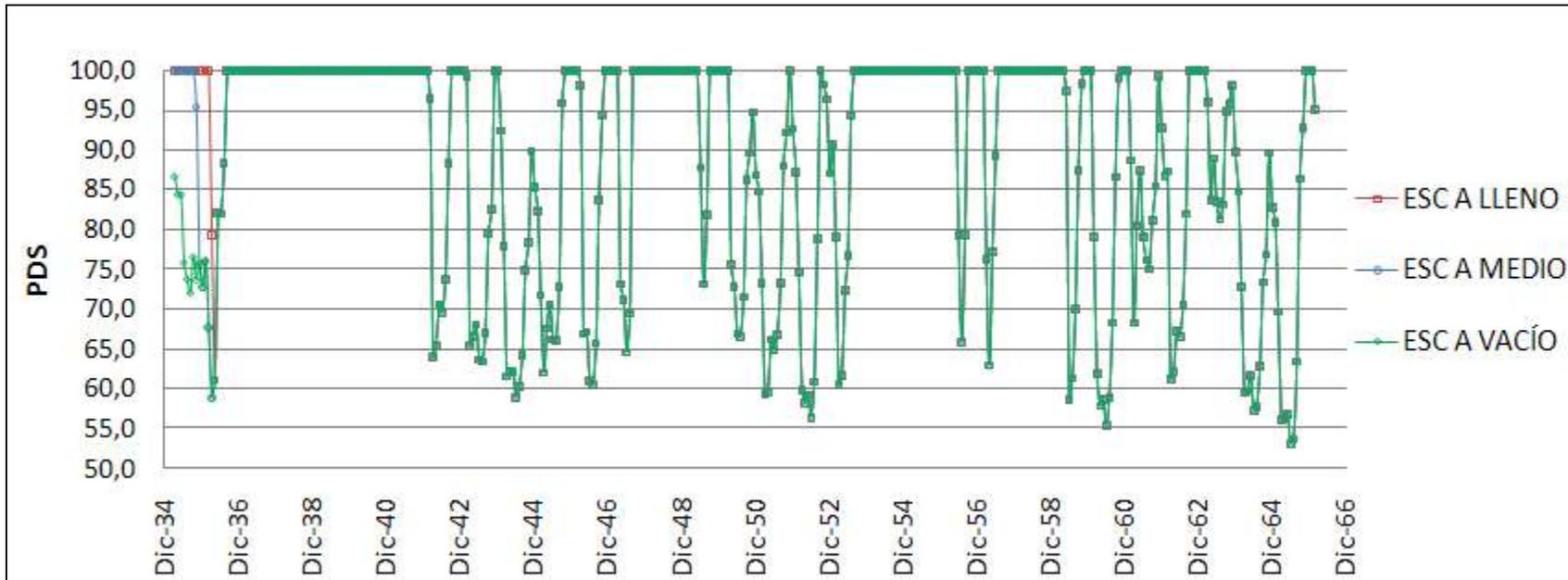


Gráfico I- 10: Valores de PDS Promedio mensuales para Escenarios de Demanda de Riego Favorable-Embalse Lleno: Escenario A, Escenario B y Escenario C.

Resultados con Derechos de Agua Disponibles en la Actualidad.

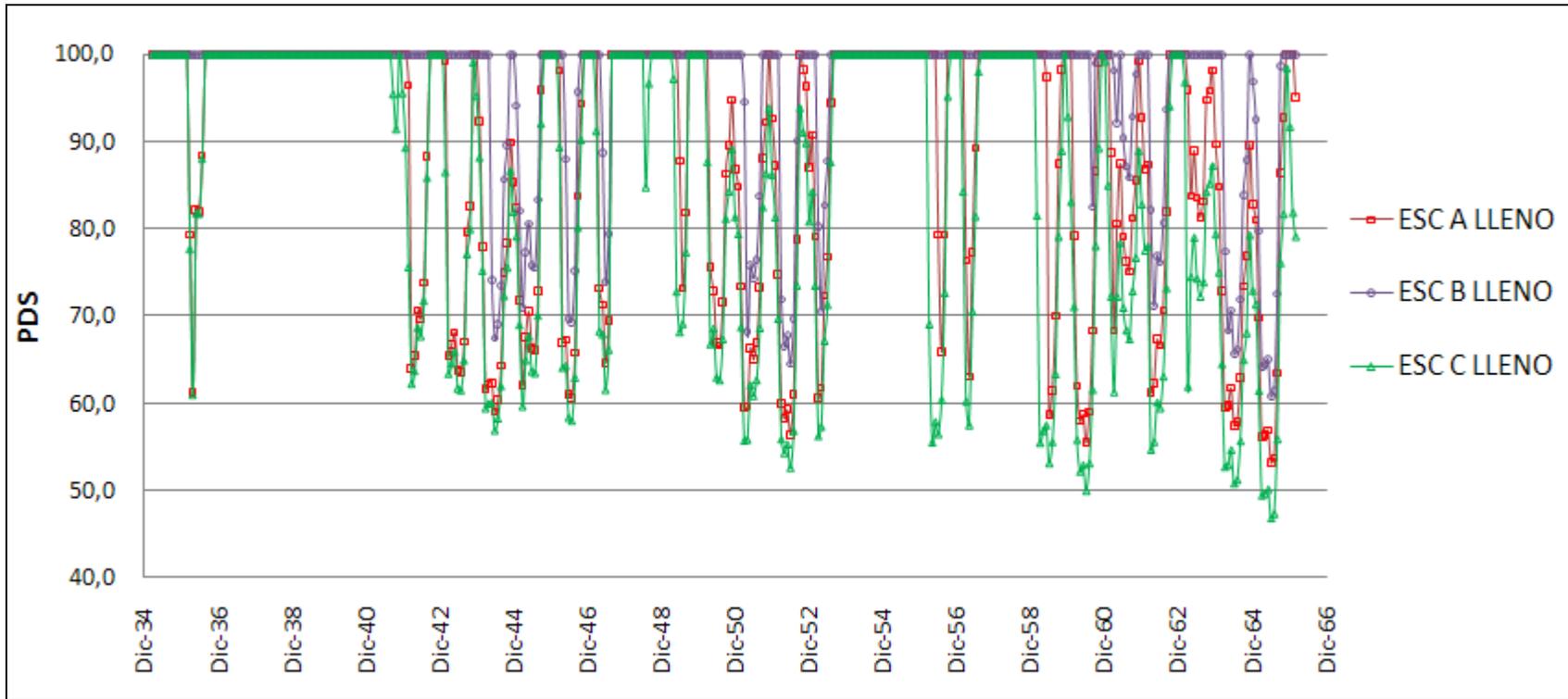


Gráfico I- 11: Valores de PDS Promedio mensuales para Escenarios de Demanda de Riego Favorable-Escenario A: Estado Inicial del Embalse Lleno, Medio y Vacío. Resultados con 30% de Derechos de Agua.

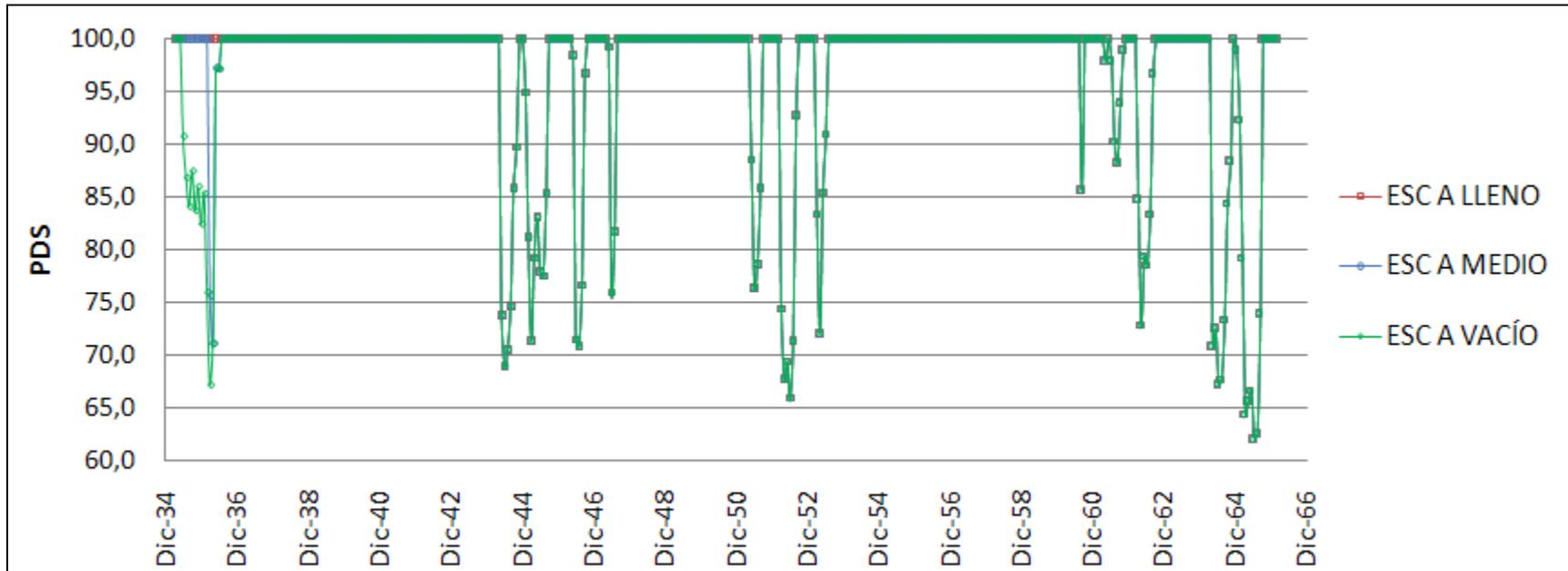


Gráfico I- 12: Valores de PDS Promedio mensuales para Escenarios de Demanda de Riego Favorable-Embalse Lleno: Escenario A, Escenario B y Escenario C.

Resultados con 30% de Derechos de Agua.

