



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

ADAPTACIÓN DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE RURAL FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL VALLE DEL RÍO COGOTÍ

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

BRUNO ANDRÉS MORALES ULLOA

PROFESOR GUÍA:

XIMENA VARGAS MESA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

GERARDO AHUMADA THEODULOZ

REINALDO FUENTEALBA SANHUEZA

SANTIAGO DE CHILE

NOVIEMBRE 2012

"ADAPTACIÓN DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE RURAL FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL VALLE DEL RÍO COGOTÍ"

El Cambio Climático es un fenómeno que poco a poco va adquiriendo mayor importancia debido a las grandes repercusiones que trae consigo. Actualmente, se está generando conciencia a nivel mundial con el objetivo de promover medidas, a nivel internacional y local, para disminuir las consecuencias debido al aumento de temperatura de nuestro planeta. Es por ello, que para entender y estar preparados como país frente a este fenómeno, se deben analizar y determinar cuáles serán los efectos puntuales en las zonas de Chile, asociados tanto al suministro de agua potable como también por ejemplo, asociados al diseño de obras frente a posibles inundaciones.

En consecuencia, el siguiente trabajo de título busca disminuir la incertidumbre en la zona del Valle del río Cogotí respecto a los efectos negativos del calentamiento global, específicamente, asociados al suministro y disponibilidad de agua para sistemas de Agua Potable Rural (APR) de la zona.

Para estos efectos, se determina la disponibilidad futura del recurso hídrico en el sector utilizando el modelo hidrológico Water Evaluation And Planning System (WEAP), creado por el Instituto del Medio Ambiente SEI (Stockholm Environment Institute). Este modelo fue calibrado y validado mediante datos históricos diarios medidos en la estación Cogotí Embalse y Cogotí en Fraguita, para un período comprendido entre Abril de 1999 y Marzo de 2008. Los parámetros calibrados y validados se utilizan como base para simular caudales futuros en el período 2012 - 2079, en conjunto con los resultados de las variables meteorológicas obtenidas en el modelo regional PRECIS para el escenario A1B, forzado en sus bordes laterales por el modelo Global ECHAM 5.

Los resultados mostraron una disminución importante en los caudales diarios, pues por ejemplo, el caudal medio asociado a 50% de probabilidad de excedencia, disminuye en un 39% para el período 2012-2040 y un 69% para el período 2041-2079. Esto se debe principalmente a una importante disminución temporal de la magnitud de eventos de precipitación, y al significativo aumento de la temperatura media diaria. Estos cambios generan un anticipo temporal del caudal máximo presentándose en Octubre para el período de deshielo de 2012-2040; mientras que para el período 2041-2079 se genera una transición del régimen hidrológico en la cuenca cambiando de nivo- pluvial a pluvio - nival, debido a que el valor máximo ocurre en el mes de Agosto y no en Noviembre como en el caso del período base.

Dado los preocupantes resultados mencionados anteriormente, se brindan medidas de adaptación estructurales como por ejemplo, un sistema de reutilización de aguas grises, como también medidas de gestión asociadas a un mejor manejo de los recursos hídricos en la cuenca, proponiendo la introducción de productos de uso diario más eficientes, además de apoyar la propuesta del Instituto de Ingenieros sobre gestión integrada de Recursos hídricos, entre otras.

AGRADECIMIENTOS

Quiero comenzar agradeciendo especialmente a la profesora Ximena Vargas y al profesor Gerardo Ahumada, por la excelente disposición y buena voluntad durante todo el tiempo, no sólo en la elaboración de la memoria, sino que también en clases y pasillos. Agradecerles a ellos, en representación de todos los profesores que contribuyeron en mi aprendizaje, y que con su dedicación hacen posible que nuestra Universidad continúe siendo una hermosa y excelente Institución.

También agradecer a Don Reinaldo Fuentealba, junto con todas las personas que se cruzaron en mi camino y aportaron en el desarrollo de mi memoria. Agradecerles por la calurosa apertura de recibir a este alumno, en búsqueda de conocimiento, brindándole su tiempo y apoyo en esta tarea.

Como no agradecerles, a mis primeros grandes amigos y compañeros de sección: Sebaran, Guggi, Yerko, Nico y Besio. A los pichangueros de Kaigualele: Polancucus Sobrino, Jope, Mario, entre otras estrellas. Agradecerles también a mis amigos de hidráulica y memoristas por las alegrías: Blapi, el loco Caichac, la Carla, Fungi, Peglo, Tomás, la Dani, Jannik , Bolt, Chalo y TT, entre otros.

Hacer además una mención honrosa, a mi compañera, amiga y polola: Catalina. Por su cariño, paciencia, alegría y sencillez, además de los buenos consejos e importante apoyo en gran parte de mis años de estudio.

Finalmente, agradecer al pilar fundamental de mi vida: Mi familia. Osvaldo, Patricia y Pato. Gracias por todo el cariño que me han entregado, por su apoyo incondicional, sus enseñanzas, retos y ejemplos, además de los hermosos momentos que hemos compartido juntos.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 MOTIVACIÓN.....	1
1.2 OBJETIVOS	1
1.3 ORGANIZACIÓN DEL INFORME.....	2
CAPÍTULO 2: DISCUSIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.2 MODELOS	5
2.3 ESCENARIOS DE EMISIONES	8
CAPÍTULO 3: CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	8
3.1 UBICACIÓN	8
3.2 CLIMA.....	10
3.3 USO DE SUELO Y AGRICULTURA.....	12
3.4 CONDUCTIVIDADES HIDRÁULICAS	14
3.5 RÉGIMEN HIDROLÓGICO	14
3.6 COMUNIDADES CON SISTEMAS DE AGUA POTABLE RURAL (APR)	15
3.7 SITUACIÓN ACTUAL SISTEMAS DE APR	16
3.8 DEMANDA DE AGUA POTABLE	19
CAPÍTULO 4: APLICACIONES	23
4.1 GENERACIÓN DEL MODELO.....	23
4.2 RÉGIMEN NATURAL DEL RÍO COGOTÍ EN FRAGUITA.....	25
4.3 GRADIENTE DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA.....	26
4.4 CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO	28
CAPÍTULO 5: GENERACIÓN DE ESCENARIOS FUTUROS.....	35
5.1 METODOLOGÍA	35
CAPÍTULO 6: RESULTADOS.....	38
6.1 PROYECCIONES	38
6.2 SEGURIDAD DE ABASTECIMIENTO	44
CAPÍTULO 7: MEDIDAS DE ADAPTACIÓN	46
7.1 SEGURIDAD DE ABASTECIMIENTO EN SISTEMAS DE AGUA POTABLE RURAL.....	46
7.2 ORGANISMO SUPERIOR DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE RURAL.....	49
7.3 GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS.....	50
7.4 EFICIENCIA DEL RECURSO HÍDRICO.....	53

7.5	SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES.	59
CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES		64
8.1	MODELO WEAP	64
8.2	GENERACIÓN DE ESCENARIOS FUTUROS	64
8.3	MEDIDAS DE ADAPTACIÓN	65
8.4	COMENTARIOS FINALES	66
CAPÍTULO 9: BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....		67
CAPÍTULO 10: ANEXOS		70
ANEXO A: COMUNIDADES RURALES NO SELECCIONADAS.....		70
ANEXO B: DISEÑO DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES.		71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Parámetros globales del modelo.....	6
Tabla 2.2: Parámetros relevantes en el modelo.....	7
Tabla 3.1: Superficie de Explotaciones Agropecuarias con Tierra por uso de suelo Comuna de Combarbalá.....	12
Tabla 3.2: Número y superficie de las Explotaciones Agropecuarias de la comuna de Combarbalá.....	13
Tabla 3.3: Explotaciones y superficies con riego de la comuna de Combarbalá.....	13
Tabla 3.4: Comunidades rurales seleccionadas.....	16
Tabla 3.5: Resumen de Ruta de camiones Aljibes para el mes de Agosto 2012.....	17
Tabla 3.6: Dotaciones definidas para proyectos de la Región de Coquimbo.....	19
Tabla 3.7: Demandas actuales de las comunidades de la zona con sistemas de APR.....	20
Tabla 3.8: Población Comuna de Combarbalá.....	21
Tabla 3.9: Proyección Población de comunidades con sistemas de APR en la zona de estudio...	21
Tabla 3.10: Proyección de Dotación para sistemas de APR estudiados.....	22
Tabla 3.11: Proyección Demanda de agua potable para sistemas de APR de la zona de estudio.	22
Tabla 4.1: Estaciones fluviométricas en la zona.....	23
Tabla 4.2: Estaciones meteorológicas en la zona en estudio.....	24
Tabla 4.3: Descripción de las bandas de estudio.....	25
Tabla 4.4: Estaciones Meteorológicas utilizadas para complementar información.....	26
Tabla 4.5: Gradientes de Temperatura.....	27
Tabla 4.6: Rango de Parámetros definidos en la cuenca del Limarí.....	28
Tabla 4.7: Valores de Parámetros utilizados en Calibración para todas las bandas.....	29
Tabla 4.8: Valores de Parámetros variables en año Hidrológico.....	29
Tabla 6.1: Resumen de valores - Curva de duración de Temperatura [°C].....	40
Tabla 6.2: Resumen de Curva de Duración de Caudales [m ³ /s].....	42
Tabla 6.3: Volumen mensual no almacenado por el embalse La Tranca.....	45
Tabla 7.1: Meses con Seguridad de Abastecimiento para sistemas de APR menor al 100%.....	47
Tabla 7.2: Requerimientos de caudal para certificación LEED.....	53
Tabla 7.3: Composición de Aguas Grises en Chile.....	59
Tabla 7.4: Evaluación económica del sistema de tratamiento de aguas grises propuesto.....	62
Tabla 10.1: Comunidades rurales no seleccionadas en el estudio.....	70
Tabla 10.2: Eficiencia de remoción - Filtración Lenta.....	73
Tabla 10.3: Parámetros de diseño para Comunidad APR - Filtración Lenta.....	73
Tabla 10.4: Método y Aplicaciones para el Reuso de Aguas Grises.....	76
Tabla 10.5: Mantenimiento del sistema de Aguas Grises.....	77
Tabla 10.6: Concentración de Nutrientes en Aguas Grises.....	78
Tabla 10.7: Relación adsorción de Sodio.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Escenarios de emisiones GEI entre 2000 y 2100 y proyección de las temperaturas en superficie.	3
Figura 2.2: Interfaz gráfica del modelo WEAP.	6
Figura 2.3: Esquema de capas de suelo.	7
Figura 3.1: Cuencas del Río Limarí.	9
Figura 3.2: Cuencas asociadas al Río Cogotí.	10
Figura 3.3: Climas de la IV Región y zona de estudio.	11
Figura 3.4: Conductividades Hidráulicas en la zona de estudio.	14
Figura 3.5: Curva de variación estacional Río Cogotí en La Tranca.	15
Figura 3.6: Comunidades rurales seleccionadas para el estudio.	16
Figura 3.7: Noria con nivel freático deprimido.	18
Figura 3.8: Áreas de Restricción - Sectores Acuíferos cuenca del río Limarí.	18
Figura 3.9: Proyección población Región de Coquimbo.	20
Figura 3.10: Proyección de Población Rural a nivel de la comuna de Combarbalá.	21
Figura 4.1: Estaciones Fluviométricas.	23
Figura 4.2: Estaciones Meteorológicas en la zona.	24
Figura 4.3: Extracción de Riego aguas arriba del embalse [m ³ /s].	26
Figura 4.4: Gradientes diarios de Temperaturas.	27
Figura 4.5: Gradiente de precipitación según bandas de elevación.	28
Figura 4.6: Comparación entre caudales observados y simulados para etapa de Calibración.	30
Figura 4.7: Comparación entre caudales observados y simulados para etapa de Calibración y Validación.	31
Figura 4.8: Correlación lineal diaria entre Caudales observados y simulados.	31
Figura 4.9: Correlación entre Caudales medios mensuales observados y simulados.	32
Figura 4.10: Volúmenes año hidrológico observados y simulados en etapa de Validación y Calibración.	32
Figura 4.11: Análisis de Sensibilidad para indicador Nash-Sutcliffe.	33
Figura 4.12: Análisis de Sensibilidad para indicador logarítmico de Nash-Sutcliffe.	33
Figura 4.13: Análisis de Sensibilidad para indicador wR2	34
Figura 4.14: Análisis de Sensibilidad para indicador R2	34
Figura 5.1: Correlación por tramos para Precipitación de Junio.	36
Figura 5.2: Correlación por tramos para Temperatura de Julio.	36
Figura 5.3: Curva de duración para Precipitaciones observadas y proyectadas por el modelo PRECIS para período base 1993 - 2010 en Estación Cogotí Embalse.	37
Figura 5.4: Curva de duración para Temperaturas observadas y proyectadas por el modelo PRECIS para período base 1993 - 2010 en Estación Cogotí Embalse.	37
Figura 6.1: Proyección Volúmenes afluentes al Embalse La Tranca.	38
Figura 6.2: Proyecciones Caudales y Precipitaciones 2013 - 2040 en Cogotí en Fragueta.	39
Figura 6.3: Proyecciones Caudales y Precipitaciones 2041-2079 en Cogotí en Fragueta.	39
Figura 6.4: Curvas de duración de Temperatura en la estación Cogotí Embalse.	40
Figura 6.5: Curvas de Duración de Precipitaciones en la estación Cogotí Embalse.	41
Figura 6.6: Curva de Duración de Caudales en la estación Cogotí en Fragueta.	41
Figura 6.7: Variación porcentual de Caudales con respecto al período de Calibración y Validación.	42

Figura 6.8: Curva de variación estacional para los valores simulados y observados.	43
Figura 6.9: Balance hídrico mensual.	44
Figura 6.10: Operación del embalse La Tranca, período 2011-2079.	44
Figura 6.11: Seguridad de Abastecimiento del embalse a los sistemas de APR.	46
Figura 7.1: Seguridad de Abastecimiento para APR, almacenando agua en períodos húmedos. .	48
Figura 7.2: Seguridad de Abastecimiento para los derechos permanentes.....	48
Figura 7.3: Seguridad de Abastecimiento para los derechos eventuales.....	49
Figura 7.4: Descripción de WC doble descarga con certificación LEED.	54
Figura 7.5: Descripción de WC con fluxómetro con certificación LEED.....	54
Figura 7.6: Descripción de urinarios con certificación LEED.	54
Figura 7.7: Grifería de duchas 1 con certificación LEED.	55
Figura 7.8: Grifería de duchas 2 con certificación LEED.	55
Figura 7.9: Griferías convencionales con certificación LEED.....	56
Figura 7.10: Griferías temporizadas con certificación LEED.	56
Figura 7.11: Reductores de Caudal.	57
Figura 7.12: Calentador de paso.	57
Figura 7.13: Sistema N1 de reuso de agua de lavamanos para descarga de WC.	58
Figura 7.14: Sistema N2 de reuso de agua de lavamanos para descarga de WC.	58
Figura 7.15: Composición de Aguas Grises.	59
Figura 7.16: Esquema completo del sistema de reutilización de Aguas Grises.	60
Figura 7.17: Elementos del sistema sobre la cota de terreno.	60
Figura 7.18: Caseta de resguardo y sistema de bombeo (Hidropack y filtro de malla).	61
Figura 7.19: Composición de Aguas Servidas según Origen.	61
Figura 10.1: Comunidades Rurales No seleccionadas.....	71
Figura 10.2: Esquema de sistema de tratamiento de Aguas Grises en formato DWG.....	71
Figura 10.3: Vista en Planta de Sistema de Agua Grises en formato DWG.	72
Figura 10.4: Filtro de Arena.	74
Figura 10.5: Estanque utilizado para Filtro lento de arena.....	74
Figura 10.6: Estanque de almacenamiento.....	75
Figura 10.7: Bomba Periférica PKM 60, 0.5 Hp.....	75
Figura 10.8: Sistema Hidropack y controlador automático.....	76

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 MOTIVACIÓN

Según el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), el Cambio Climático se entiende como la transformación del clima a raíz de una variación en el valor medio y/o variabilidad de sus propiedades, que persiste durante un tiempo prolongado debido a la variabilidad natural o consecuencia de la actividad humana. Lamentablemente, se están observando ciertas consecuencias a raíz de este fenómeno (IPCC, 2007), algunas de ellas son por ejemplo: aumento de temperatura del aire y de los océanos en los últimos años, además de un aumento en los deshielos de mantos polares, glaciares, nieves, etc.

Debido a estos cambios relevantes que se están presenciando, es que cada vez se suman más actores importantes para analizar y definir ciertas estrategias a nivel económico y estructural, para reducir efectos nocivos que podrían afectar a nuestra sociedad y planeta Tierra.

Cabe entonces preguntarse: ¿Cuáles son las repercusiones que enfrentará la población en el futuro a nivel global? ¿Cuáles serán los efectos en Chile? ¿En qué medida este aumento de temperatura afectará el almacenamiento de un acuífero? ¿Se está preparado para hacer frente a este fenómeno?

Estas y otras preguntas son importantes de empezar a analizar, no sólo a nivel global, sino que también a nivel local. Recientemente, el programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) elaboró el proyecto “Fortalecimiento de Capacidades de los Encargados de la Formulación de Políticas para hacer frente al Cambio Climático en Iberoamérica”, que involucró a 19 países Ibero Americanos (entre ellos Chile) destinado a mejorar, tanto la comprensión técnica del Cambio Climático como sus repercusiones económicas y políticas. Como resultado, se aprecia que es mínimo lo que se ha realizado en el análisis de los efectos de este fenómeno en proyectos y obras hidráulicas específicas, que tiene relación con el agua. Es por ello, que este trabajo de título pretende analizar un caso en particular, con el objetivo de determinar medidas de adaptación frente a las consecuencias del Cambio Climático en la seguridad de un sistema de agua potable rural. Se ha seleccionado para el análisis la infraestructura existente o diseñada en el Valle del Río Cogotí, ya que se dispone de información de las obras y de los estudios hidrológicos realizados para el diseño de éstas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Determinar los efectos del Cambio Climático en un sistema de agua potable rural en particular, asociado a la seguridad de suministro (demanda) de la población y analizar medidas de adaptación destinadas a mantener la seguridad de abastecimiento.

1.2.2 Objetivo secundarios:

- Determinar el estado del sistema actual de agua potable rural en el Valle del río Cogotí.
- Determinar efectos del Cambio Climático en fuentes de agua subterráneas y/o superficiales.

- Determinar el déficit hídrico actual y futuro en la zona de estudio.
- Determinar medidas de adaptación al sistema.
- Evaluar económicamente las medidas de adaptación.

1.3 ORGANIZACIÓN DEL INFORME

En el capítulo 2 se presentan los distintos documentos de la literatura analizados referentes al Cambio Climático, escenarios y proyecciones, además de la descripción del modelo WEAP.

En el capítulo 3 se realiza una caracterización de la zona de trabajo, mencionando las características más relevantes para el desarrollo de la modelación hidrológica, además de los diagnósticos de los sistemas de Agua Potable Rural considerados en este estudio.

La metodología y preparación de información base para la modelación de la cuenca, además de los resultados para la etapa de calibración y validación del modelo, se presentan en el capítulo 4.

En el capítulo 5 se muestra la metodología y preparación de los datos proyectados según el escenario A1B, que serán utilizados como entrada del modelo.

En el capítulo 6 se entregan los resultados de las proyecciones para el período considerado, y se analizan, contrastándolos con las mediciones observadas actuales.

Los análisis de los sistemas de APR bajo las proyecciones obtenidas en el capítulo anterior, además de las medidas de mitigación formuladas junto con sus respectivos análisis económicos se muestran en el capítulo 7.

Finalmente en el capítulo 8 se desarrollan las conclusiones del trabajo además de recomendaciones para los sistemas de APR de la zona de estudio.

CAPÍTULO 2: DISCUSIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Respecto al Cambio Climático y sus posibles consecuencias en el planeta, el IPCC en su cuarta publicación (IPCC, 2007) señala que este fenómeno corresponde a la variación del clima producto de la variabilidad natural y/o causas antropogénicas. Además, en dicho documento se incorpora el análisis de la variación climática desde 1975 hasta el año 2004 debido principalmente a la intervención humana. Adicionalmente, se presenta una serie de consecuencias que se están viviendo en el planeta debido a estos cambios, como por ejemplo: aumento en el promedio de temperatura del aire y océanos, aumento en el nivel del mar y en el derretimiento de nieve y de mantos polares, etc. Además, se realizan diversas proyecciones futuras, poco alentadoras, basadas en escenarios publicados por el IPCC, en los cuales se proyecta un aumento de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI) entre 25% y 90% (CO₂-eq) en el período 2000 y 2030, esto suponiendo que los combustibles de origen fósil mantendrán su posición dominante como fuente de energía hasta el 2030 como mínimo. Proyecciones que se muestran en la Figura 2.1.

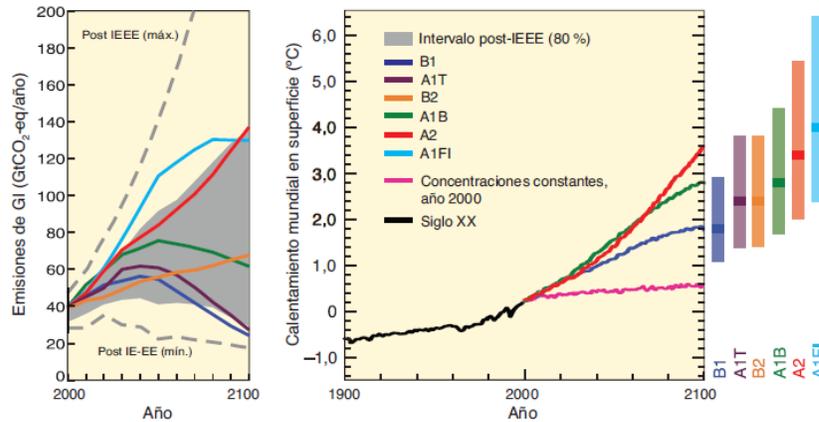


Figura 2.1: Escenarios de emisiones GEI entre 2000 y 2100 y proyección de las temperaturas en superficie.

Fuente: IPCC, 2007.

En general existen publicaciones (Vörösmarty et al., 2000 y Kundzewicz et al, 2008) que tratan acerca de la vulnerabilidad de las fuentes de aguas dulces con respecto al Cambio Climático debido a causas naturales, aumento de la población, cambio del uso de suelo, cambios en el estilo de vida de la sociedad y en la demanda de agua, etc.

Una de las conclusiones que se rescatan del primer texto mencionado es que gran parte de la población mundial experimentará una situación de mayor estrés hídrico, debido principalmente al aumento de la densidad poblacional originando una disminución de oferta de agua por persona, mencionando que la futura relación entre la oferta y la demanda de agua estará principalmente influenciada por el rápido crecimiento de la población como también debido al fuerte desarrollo económico. Finalmente, el autor recomienda incluir la adaptación e interacción de la sociedad frente a la futura escasez de agua para un análisis más completo y más realista.

Existe bastante incertidumbre acerca de las consecuencias locales y globales producto del Cambio Climático, en primer lugar respecto a la magnitud de estas variaciones, además de los cambios y/o alteraciones locales en distintas partes de nuestro planeta, particularmente en las zonas de Chile.

En un publicación efectuada por Mardones (2009) tras una modelación hidrológica utilizando el software WEAP, el cual es forzado por las condiciones meteorológicas dadas por el modelo regional PRECIS, y considerando un escenario A2, este autor obtiene que para la cuenca Elqui en Algarrobal se proyecta una disminución de precipitaciones de un 2% y un aumento de temperatura de 4,4°C para el período 2036-2065, mientras que para el período 2071-2100 señala una disminución de 7,2% de precipitaciones y un aumento de 6,3°C de temperatura. Lo anterior produciría un cambio de régimen de la cuenca, adelantándose el derretimiento de nieve provocando que el mayor promedio mensual se traslade desde Diciembre a Octubre (2036-2065) y a Septiembre (2071-2100). Por otro lado, para la Cuenca Hurtado en San Agustín, las variaciones serían mayor, pues se proyecta una disminución en las precipitaciones anuales de un 15,9 % y un aumento de temperatura media anual de 4,4°C para el período 2036-2065; mientras que para el período 2070-2100 se proyecta una disminución en las precipitaciones de un 28,6% y 6,27°C del aumento de temperatura media anual. Se tendría una variación en el régimen de la cuenca, pasando de nival a uno que presentará el mayor caudal en Julio y un peak menor en

Septiembre para el período 2036-2065 y en el período 2071-2010 presentaría un régimen pluvial con su peak en el mes de Julio.

Otro estudio similar de modelación hidrológica (González, 2010), bajo la utilización del mismo software (WEAP), obtiene una disminución en el caudal del río Maipo en el sector "El Manzano" para el período 2035-2065. Este es uno de los afluentes importantes para las Empresas Sanitarias, lo que queda demostrado en los derechos de aprovechamiento que éstas tienen sobre los mencionados caudales.

Adicionalmente en el mismo documento, se evalúan 18 escenarios posibles según la combinación de las variables en análisis (Demanda de riego, estado inicial del embalse y demanda de agua potable) generando un índice de seguridad mensual. Obteniéndose como resultado que ninguno de los escenarios proyectados alcanza una seguridad cercana al 90%, siendo necesario adquirir nuevos derechos de agua para estas Empresas con el objetivo principal de asegurar el suministro de agua potable en el gran Santiago. Con esto se obtienen consecuencias importantes a niveles locales, lo que nos da una idea más concreta y cercana a nuestra realidad.

El documento publicado por el Consejo para la Defensa de Recursos Naturales (NRDC, 2010) señala ciertas medidas o recomendaciones importantes. Por ejemplo para el manejo de sequías sugiere entre otras cosas maximizar la eficiencia del uso del agua, además de priorizar los enfoques que reporten múltiples beneficios relacionados con gestión del recurso hídrico, etc. Con respecto a la protección de los ecosistemas acuáticos, el NRDC recomienda entregar al menos el mínimo caudal al ecosistema con una temperatura adecuada y necesaria con la finalidad de sostener las funciones básicas de dicho sistema. Con respecto al mejoramiento del manejo de inundaciones, particularmente para E.E.U.U., se recomienda incorporar a la Agencia Federal para el manejo de emergencias (FEMA) en los estudios enfocados al Cambio Climático y análisis de riesgos de inundaciones futuras. Adicionalmente sugiere frenar o desacelerar el desarrollo habitacional en las llanuras de inundación asociadas a un período de retorno igual a 100 años. Finalmente hace un llamado a generar políticas de protección y adaptación con extrema urgencia con la finalidad de proteger al medio ambiente y a nosotros mismos.

Otro de los documentos analizados de estrategias de adaptación, es el documento publicado por la Federación Internacional de la Cruz Roja (IFRC, 2009). Esta publicación se enfoca principalmente en generar medidas de adaptaciones locales, considerando transcendental el rol de sus actores locales, recomendando por ejemplo, que debe existir una interacción tanto a nivel local como a nivel regional, cumpliendo cada uno un objetivo distinto. Se busca un desarrollo en conjunto, compartiendo ideas y enfoques de diversos organismos como gobiernos y comunidades, aprovechando las experiencias y conocimientos de cada uno de ellos, con el fin de generar programas bien establecidos para cumplir el objetivo principal. Una de las primeras medidas de adaptación que se señala es la de priorizar los esfuerzos en las comunidades más vulnerables y que presentan menor capacidad para enfrentar y adaptarse a estos cambios, principalmente en responder y enfocarse en los riesgos inmediatos, más que en respuestas o medidas en un largo plazo para tales comunidades. Otro de los puntos importantes de rescatar, es la necesidad de generar proyecciones y evaluaciones de vulnerabilidad considerando como base los riesgos y situaciones actuales, con el objetivo de fortalecer las estrategias y respuestas tanto a corto como a mediano y largo plazo. Adicionalmente, fomenta una integración completa entre las medidas de adaptación a largo plazo a nivel de naciones, con un desarrollo local sustentable junto con estrategias enfocadas a la reducción de la pobreza. Finalmente, recalca la vital importancia de

obtener y asegurar fondos económicos significativos para abastecer las medidas continuas en el tiempo.

La publicación (Unwater, 2010) señala que el efecto del Cambio Climático se manifiesta directamente en los recursos hídricos y que la administración de estos, repercuten tanto en la economía como en algunos aspectos importantes de la sociedad, por ende, el autor considera como pivote esencial, la adecuada administración del recurso hídrico para lograr un desarrollo sustentable. Señalando que lamentablemente el mundo político no ha considerado este punto en sus planes o estrategias a nivel nacional, debido a esta ausencia de medidas, recomiendan en esta publicación algunas como: mejorar y fortalecer la administración del agua, mejorar y compartir conocimiento e información en medidas de adaptación e invertir en bases que registren estas informaciones, invertir en infraestructura además de crear fuertes instituciones que generen medidas de adaptación a largo plazo, entre otras cosas.

Finalmente, es importante mencionar una publicación que habla acerca de estrategias de adaptación concretas en California, Estados Unidos; debido a que el Cambio Climático ya está afectando las fuentes de agua en ese estado. Este documento fue publicado por el departamento de Recursos Hídricos de California (California Department of Water Resources, 2008). Esta publicación señala 10 estrategias de adaptación, por ejemplo, menciona generar recursos sustentables para todo el Estado y para la gestión y manejo del agua a nivel local. De las medidas regionales, menciona aumentar fuertemente la eficiencia del uso del agua además de potenciar el manejo regional de recursos hídricos integradamente, valorando enormemente la planificación regional (IRWM). A nivel Estado se señala fortalecer y promover el manejo de inundaciones, mejorar y mantener los ecosistemas, expandir las fuentes de agua e incluir el manejo de aguas subterráneas en conjunto con las superficiales. Por otro lado, menciona preservar, actualizar e incrementar el monitoreo, análisis de datos y administración del recurso hídrico, además de generar medidas de adaptación frente al aumento del nivel del mar.

2.2 MODELOS

2.2.1 Modelo WEAP

WEAP es una herramienta computacional de modelación para la planificación integrada de recursos hídricos a diferentes escalas temporales y espaciales, fue elaborada por Stockholm Environment Institute y se encuentra disponible en diferentes idiomas. Una descripción más detallada se encuentra disponible en su página oficial: <<http://www.weap21.org>>. Posee una interfaz gráfica basada en SIG que permite al usuario realizar un diagrama esquemático de la zona de estudio y, además, puede utilizarse para estudiar y trabajar con variables de entrada al modelo como por ejemplo: condiciones de clima, condiciones de la cuenca, demandas actuales y futuras, etc. Al ser el modelo WEAP forzado por variables climáticas y trabajar con balances de demandas y ofertas de recursos hídricos, se considera como una herramienta importante e ideal para realizar estudios relacionados con el Cambio Climático. En la Figura 2.2 se presenta un imagen de la interfaz gráfica.

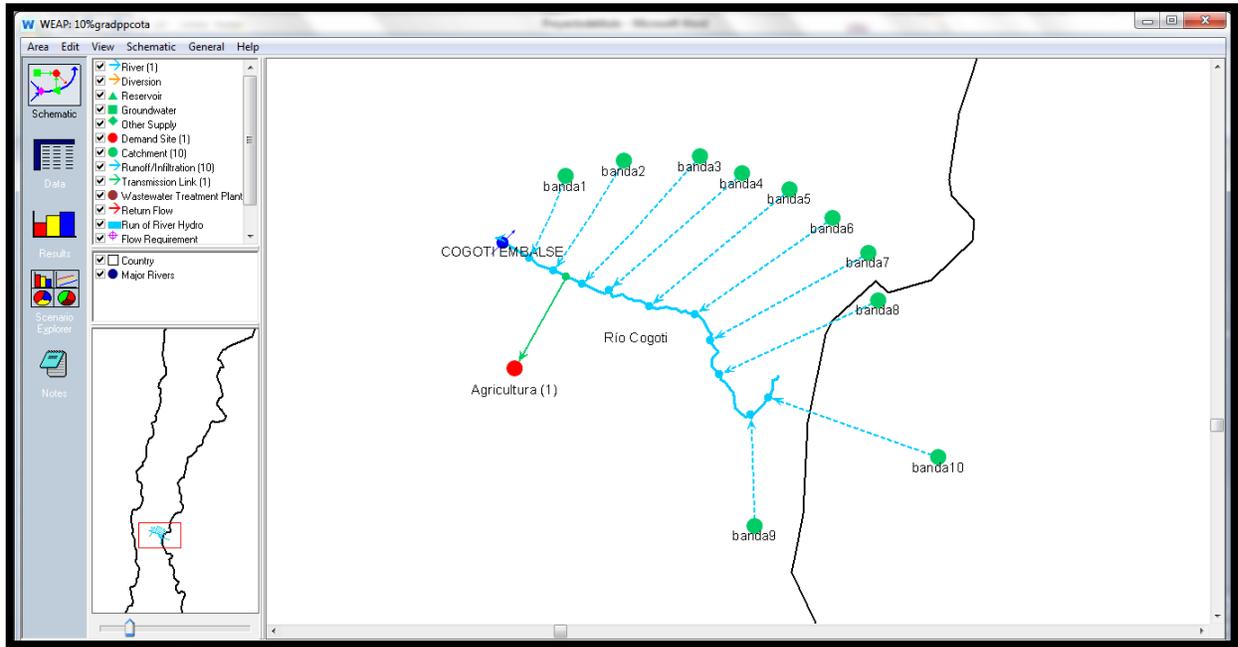


Figura 2.2: Interfaz gráfica del modelo WEAP.

WEAP posee tres algoritmos distintos que simulan la escorrentía de la cuenca basados en los datos meteorológicos. Los algoritmos son:

- Precipitación / Escorrentía
- Humedad del suelo
- Demandas de riego

Particularmente se trabaja con el algoritmo relacionado con humedad, el cual representa la cuenca en dos capas de suelo. En la capa superior se simula la evapotranspiración según los parámetros meteorológicos y características del suelo; mientras que en la capa inferior se representa el flujo base del cauce. Este modelo tiene la particularidad de dividir la cuenca en subcuencas o áreas denominadas catchments. Los parámetros más globales se presentan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1: Parámetros globales del modelo.

Nombre Parámetro	Descripción
Catchment	Representa una sub área o sub cuenca de la zona de estudio
River	Representa un río o cauce en la zona de estudio
Streamflow gauge	Representa la ubicación en el cauce de una estación fluviométrica
Demand site	Representa la demanda (derechos de agua consuntivos y no consuntivos) en el cauce mediante un nodo

En la Tabla 2.2 se muestran los parámetros más importantes para la etapa de calibración y validación del modelo.

Tabla 2.2: Parámetros relevantes en el modelo.

Nombre Parámetro	Unidades	Descripción
Área	m ² - km ²	Área correspondiente a cada catchment.
Kc		Coefficiente de Cultivo relacionado con la demanda evapotranspirativa
Soil Water Capacity (SWC)	mm	Capacidad de retener agua en la primera capa del suelo
Deep Water Capacity (DWC)	mm	Capacidad de retención de agua en la capa inferior del suelo
Runoff Resistance Factor (RRF)		Factor de resistencia a la escorrentía directa
Root Zone Conductivity (RZC)	mm/d - mm/mes	Conductividad hidráulica de la primera capa del suelo
Deep conductivity (DC)	mm/d - mm/mes	Conductividad hidráulica de la capa profunda del suelo
Preferred flow direction (PFD)	%	Porcentaje que divide el flujo desde la primera capa hacia la capa profunda del suelo.
Initial Z1	%	Porcentaje de humedad inicial de la primera capa de suelo
Initial Z2	%	Porcentaje de humedad inicial de la capa de suelo profunda

Un esquema representativo de las capas de suelo, se muestra en la Figura 2.3.

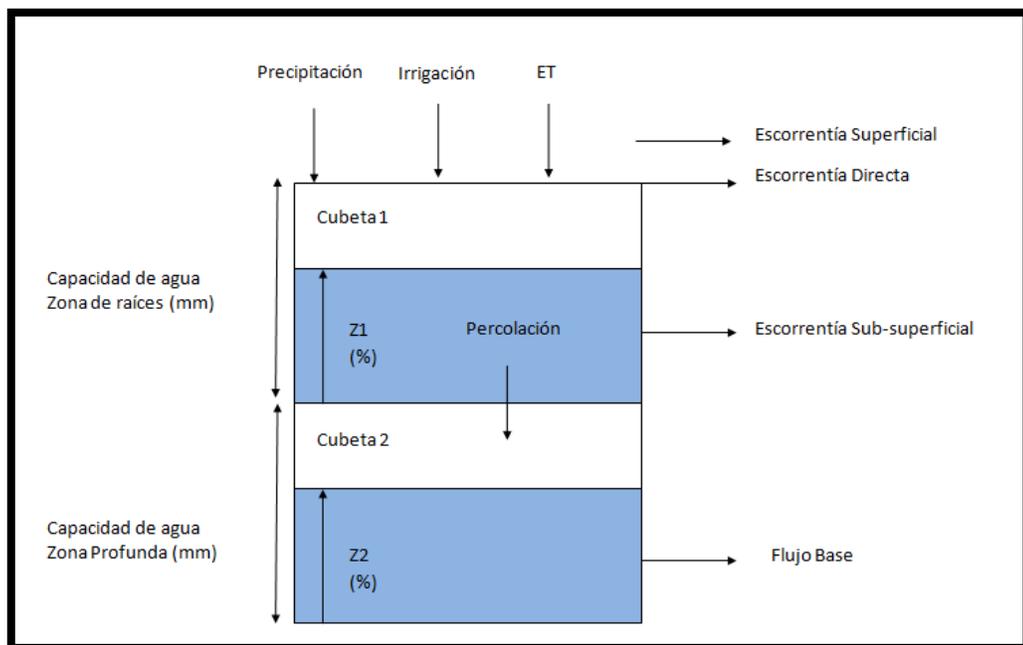


Figura 2.3: Esquema de capas de suelo.

2.3 ESCENARIOS DE EMISIONES

Las emisiones futuras de gases de efecto invernadero (GEI) se calculan de procesos dinámicos muy complejos, que están influenciados por el desarrollo socioeconómico, crecimiento demográfico, tecnologías de las emisiones de GEI y del dióxido de azufre. Cada escenario forma parte de una interpretación de uno de estos cuatro factores mencionados anteriormente. El conjunto de aquellos, basados en una línea, forma una familia de escenarios. Específicamente, la familia A1 proyecta un rápido crecimiento económico, una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes, además, de un máximo de población mundial a mediados del siglo que disminuye posteriormente.

La familia A1 posee tres grupos según su orientación tecnológica:

Escenario A1F1: Considera utilización intensiva de combustibles de origen fósil.

Escenario A1T: Considera uso de fuentes de energía de origen no fósil.

Escenario A1B: Considera un uso equilibrado de todo tipo de fuentes de energía, no dependiendo exclusivamente de un tipo de fuente.

Para este estudio, el escenario de emisiones de gases de efecto invernadero utilizado es el A1B, el cual fue generado a una resolución espacial de 25 km por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile para el proyecto anillo-SOC28: "Impactos sociales y ambientales del Cambio Climático global en la Región del Biobío: desafíos para la sostenibilidad del siglo XXI"¹. Utilizando los resultados del modelo regional PRECIS bajo este escenario y forzado en sus bordes laterales por el modelo global alemán ECHAM5, se realiza la modelación y proyección futura.

CAPÍTULO 3: CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Si bien las comunidades con sistemas de APR consideradas en este estudio se encuentran en la cuenca aportante al embalse Cogotí, se considera como zona de estudio específica la cuenca afluente al futuro embalse La Tranca (MN Ingenieros, 2009). Es de suma importancia considerar en los análisis esta futura construcción, ya que además de almacenar volúmenes importantes de agua asociados a los derechos de aprovechamientos correspondientes a la cuenca Cogotí, adicionalmente, abastecerá con un caudal determinado a 10 sistemas de agua potable rural seleccionados. Dicho proyecto se encuentra actualmente en etapa de factibilidad.

3.1 UBICACIÓN

La zona de estudio está ubicada en la IV Región de Coquimbo, perteneciente a la provincia del Limarí, y a la comuna de Combarbalá. La sub-cuenca del Valle del río Cogotí pertenece a la cuenca del río Limarí, específicamente a la sub-cuenca del Río Guatulame, la cual integra los embalses La Paloma y Cogotí. Se considera, además, como zona de salida de esta sub-cuenca a analizar, el punto de entrada del embalse Cogotí, el cual está ubicado en la latitud -31.025706° y

¹ Más detalles se encuentran en el informe especial de escenarios de emisión (IPCC, 2000).

en la longitud -71.059787° . En la Figura 3.1 se inserta la sub-cuenca del río Cogotí, en el marco de las cuencas más importantes de la zona.

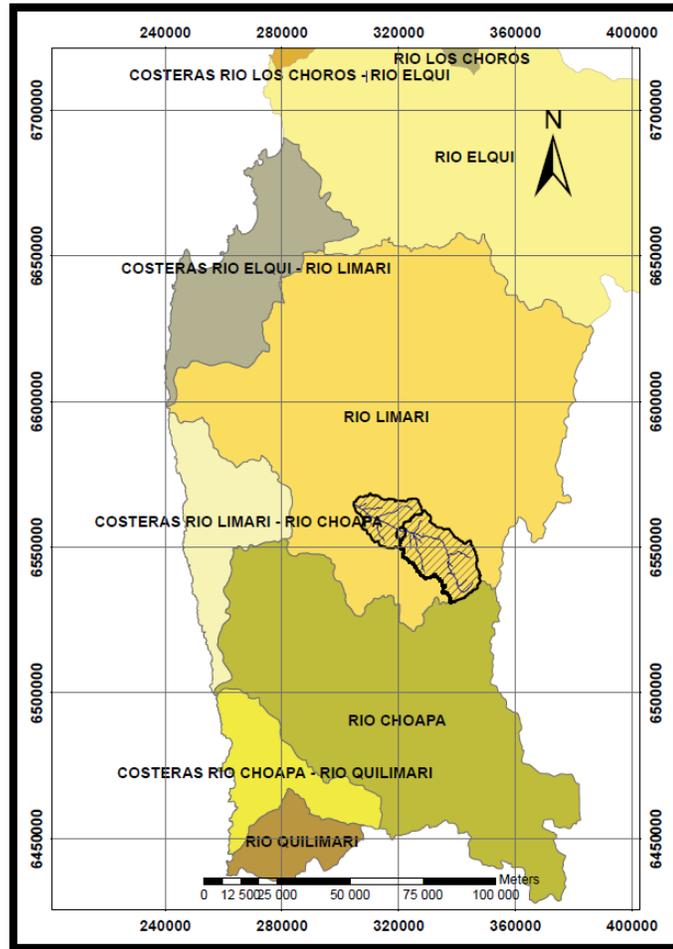


Figura 3.1: Cuencas del Río Limarí.

Para la realización de este informe se trabaja con el futuro embalse La Tranca, por lo cual es necesario identificar la sub-cuenca asociada a esta estación, del mismo modo se delimita la sub-cuenca asociada a la estación Cogotí en Fragueta, la cual se suma la zona intermedia pequeña a la sub-cuenca del embalse La Tranca, como se muestra en la Figura 3.2.

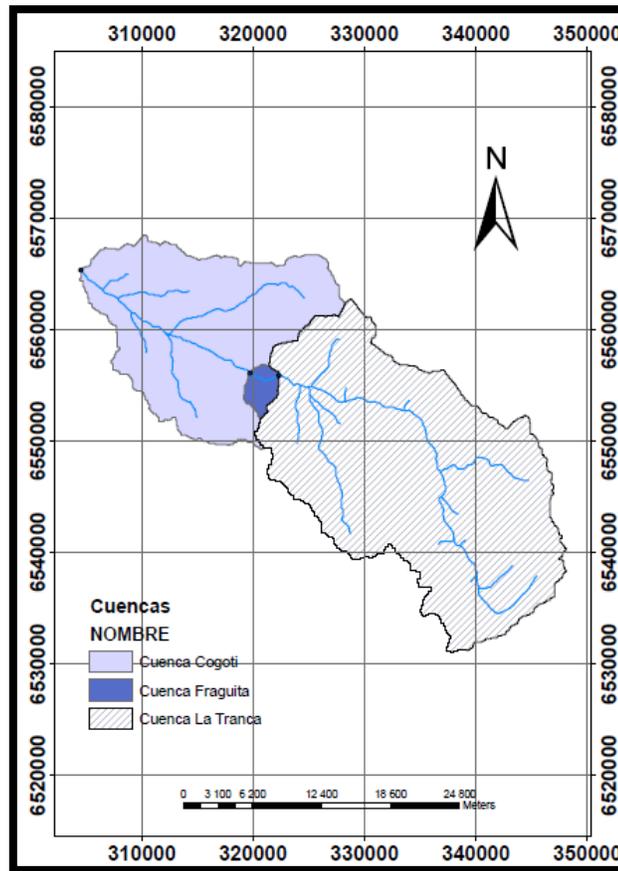


Figura 3.2: Cuencas asociadas al Río Cogotí.

Estas sub-cuencas fueron delimitadas utilizando el software WMS y un DEM obtenido de la USGS (US Geological Survey), presentando áreas igual a 481.49, 486.48 y 744.59 km^2 para la sub-cuenca asociada al embalse La Tranca, Cogotí en Fraguita y al Río Cogotí, respectivamente.

3.2 CLIMA

La Cuarta Región del país presenta una zona de transición entre los climas desérticos y climas con vegetación y bastante humedad. Es por ello que a nivel del litoral, a partir de latitud 29 S, termina el clima desértico y se presenta un clima de estepa con nublados abundantes. En el caso de la zona intermedia, la situación es similar, existe una zona de transición entre el clima desértico marginal bajo con el clima de estepa con gran sequedad atmosférica. La transición ocurre a partir de la latitud 30° S, la cual está dada por las variaciones de precipitaciones anuales registradas entre ambas zonas.

A nivel Regional se tiene entonces los siguientes tipos de clima:

1. Clima de estepa con nubosidad abundante.
2. Clima desértico marginal bajo.
3. Clima de estepa con gran sequedad atmosférica.
4. Clima desértico marginal de altura.
5. Clima templado cálido con estación seca prolongada de 7 a 8 meses.

Particularmente en la zona de estudio, la cual se encuentra representada por el cuadro rojo en la Figura 3.3, el clima predominante es estepa con gran sequedad atmosférica, el cual no está influenciado por el océano, presentando precipitaciones en invierno que permiten independizarse del clima desértico. Generalmente presenta los cielos despejados con baja humedad relativa, permitiendo obtener una gran nitidez de la atmósfera, debido a esto es la alta presencia de observatorios astronómicos. Se desarrollan temperaturas elevadas durante el día producto a que ocupa una zona sobre o dentro de la capa de inversión térmica, sin embargo, en las noches las temperaturas descienden considerablemente, las cuales se consideran muy agradables. Con respecto a la amplitud térmica se puede agregar que duplica o triplica a las de la costa, pues presenta del orden de 18 a 20 °C de variación.

Finalmente, es importante destacar que las precipitaciones son de régimen frontal, produciéndose entre el 70 y 85 % en pleno invierno.

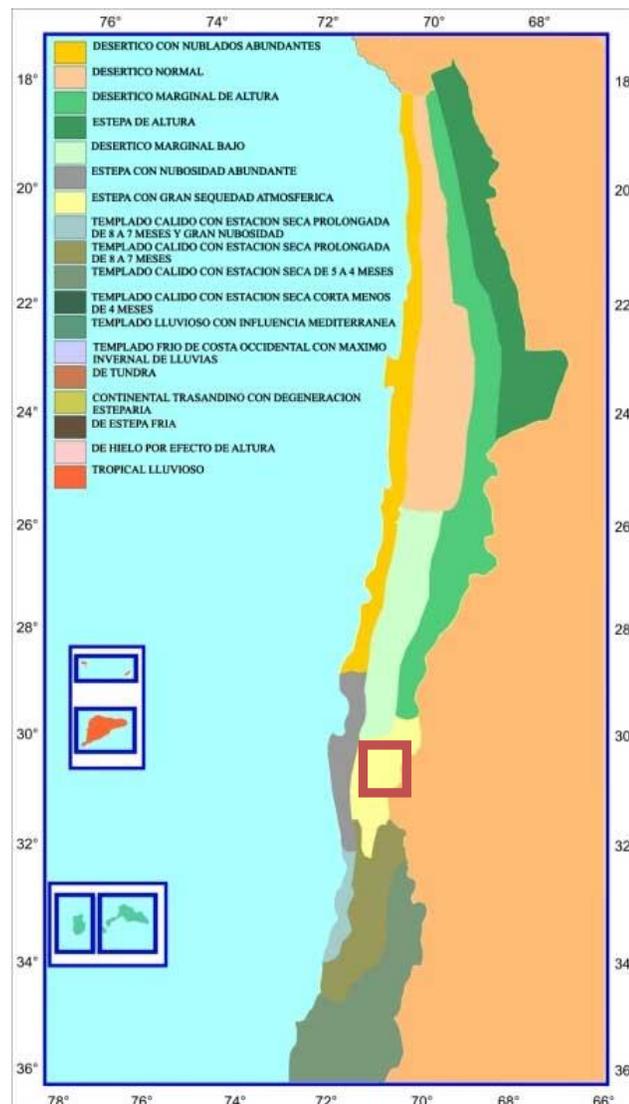


Figura 3.3: Climas de la IV Región y zona de estudio.

Fuente: Dirección Meteorológica de Chile, 2012.

3.3 USO DE SUELO Y AGRICULTURA

El censo agropecuario permite obtener una actualización del desarrollo de la agricultura en la zona. En la Tabla 3.1 se muestran datos estadísticos del Censo Agropecuario y Forestal 2007.

Tabla 3.1: Superficie de Explotaciones Agropecuarias con Tierra por uso de suelo Comuna de Combarbalá.

Usos de Suelos		Suelo ocupado [ha]	Porcentaje
Cultivos anuales y permanentes		2,051.82	0.9%
Forrajeras permanentes y de rotación		749.14	0.3%
En barbecho y de descanso		3,148.05	1.4%
Total Suelo de Cultivo		5,949.01	2.6%
Praderas	Mejoradas	182.30	0.1%
	Naturales	143,992.03	63.1%
Plantaciones Forestales		228.50	0.1%
Bosque nativo		1,438.50	0.6%
Matorrales		31,208.54	13.7%
Infraestructura (construcciones, caminos, embalses, etc.)		1,729.91	0.8%
Terrenos estériles y otros no aprovechables (arenales, pedregales, pantanos, etc.)		43,526.66	19.1%
Total Otros Suelos		222,306.44	97.4%

Fuente: Censo Agropecuario, 2007.

Las explotaciones agropecuarias alcanzan un total de 22,255.45 [ha] y sólo el 2.6 % de ellas es considerada como suelo aprovechado para el cultivo, hecho que se corrobora con las imágenes satelitales de Google Earth en donde se aprecia escasa vegetación en la zona de estudio. En relación a la cantidad de propietarios y superficies asociadas, se muestra en la Tabla 3.2, una clasificación según el tamaño de los predios.

Tabla 3.2: Número y superficie de las Explotaciones Agropecuarias de la comuna de Combarbalá.

Tamaño de las explotaciones con tierra	Número de Propietarios	Superficie [ha]	Porcentaje de Propietarios
Menores de 1	291	150	18%
De 1 a menos de 5	887	1,903	54%
De 5 a menos de 10	272	1,765	16%
De 10 a menos de 20	119	1,591	7%
De 20 a menos de 50	36	1,009	2%
De 50 a menos de 100	11	673	1%
De 100 a menos de 200	6	816	0%
De 200 a menos de 500	4	1,599	0%
De 500 a menos de 1000	6	4,320	0%
De 1000 a menos de 2000	10	16,251	1%
De 2000 y más	15	198,179	1%
Explotaciones agropecuarias con tierra Total	1,657	228,255	100%

Fuente: Censo Agropecuario, 2007.

Las superficies regadas en la comuna se muestran en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3: Explotaciones y superficies con riego de la comuna de Combarbalá

	Número	Superficie [ha]
Total Explotaciones con Riego	1,421	79.004
Riego gravitacional	Total	1.260
	Tendido	900
	Surco	425
	Otro tradicional	41
Mecánico mayor	Total	18
	Aspersión tradicional	15
	Carrete o pivote	3
Microriego	Total	268
	goteo y cinta	263
	Microaspersión y microjet	11
Total Superficie regada (ha)		2.350

Fuente: Censo Agropecuario, 2007.

De la Tabla 3.2 se desprende que cerca del 72% de los propietarios posee terrenos con superficies menores a 5 [ha], mientras que sólo un 2% posee terrenos con superficies mayores a los 1000 [ha]. Además de la Tabla 3.3, se observa que de un total de 228.255,55 [ha], sólo 79.004 posee alguna superficie con disponibilidad de riego y que 2.350 de ellas, son efectivamente regadas. Una solución al escaso aprovechamiento del suelo en pos de aumentar la superficie de cultivo, es considerar un mejor manejo del recurso hídrico junto con mayores eficiencias en riego.

3.4 CONDUCTIVIDADES HIDRÁULICAS

En la Figura 3.4 se aprecian las conductividades hidráulicas en la zona, en particular en la cuenca de estudio (aguas arriba del embalse Cogotí), representada por la zona sombreada de color azul. Se observa en general, sólo conductividades muy bajas en algunos casos y nulas en otros, lo que permite concluir que se está en presencia de verdaderos reservorios que pueden almacenar volúmenes de agua importantes por mucho tiempo en la misma zona.

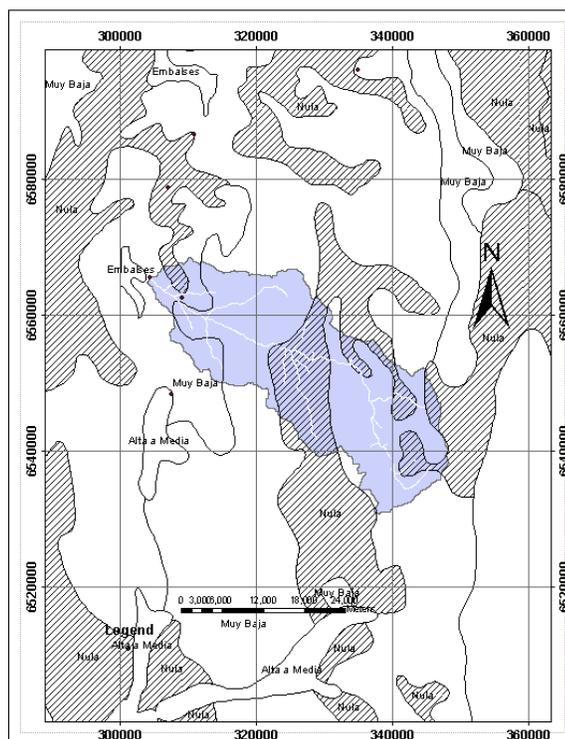


Figura 3.4: Conductividades Hidráulicas en la zona de estudio.

Fuente: Ciren - Corfo, 1990.

3.5 RÉGIMEN HIDROLÓGICO

La zona o sub-cuenca de estudio, correspondiente a la parte alta del río Cogotí presenta un régimen fuertemente nival, tal como se muestra en la Figura 3.5, abasteciéndose principalmente de deshielos, presentando caudales peak entre Octubre y Diciembre, mientras que los menores caudales del año hidrológico ocurren entre Marzo y Mayo. Sin embargo, en la parte baja del río Cogotí se generan aportes productos de precipitaciones, determinando un régimen hidrológico nivo-pluvial.

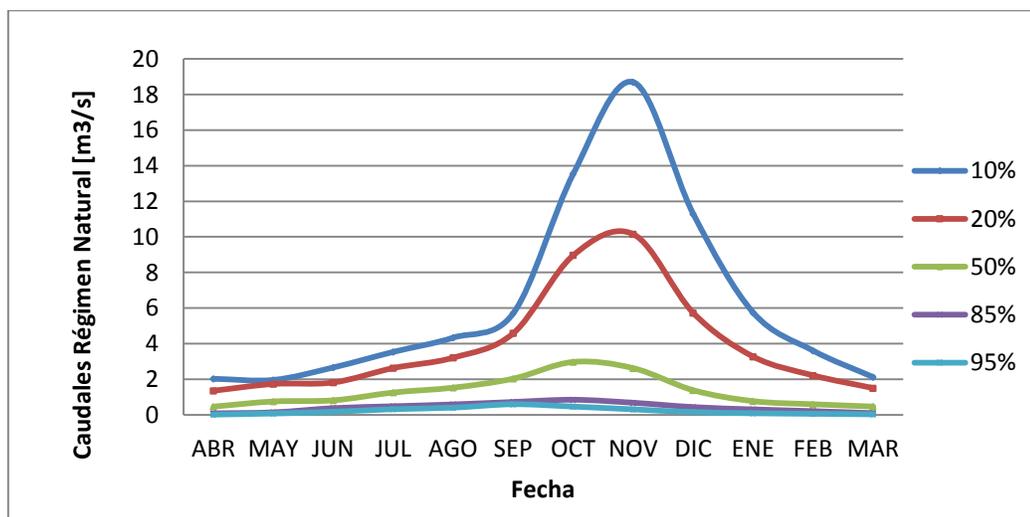


Figura 3.5: Curva de variación estacional Río Cogotí en La Tranca.

Fuente: MN Ingenieros Ltda., 2011.

3.6 COMUNIDADES CON SISTEMAS DE AGUA POTABLE RURAL (APR)

Durante este último tiempo, dado la baja disponibilidad de recursos hídricos en las fuentes subterráneas, la Ilustre Municipalidad de Combarbalá ha tenido que poner a disposición camiones aljibes para ciertas comunidades desabastecidas. Es por ello que la DOH estableció un convenio con el proyecto embalse La Tranca (MN Ingenieros Ltda. 2011), el cual actualmente se encuentra en la etapa de factibilidad y tiene como objetivo secundario determinar la viabilidad hidráulica y el costo involucrado para abastecer sistemas de APR ubicados en la zona de estudio.

Sin embargo, del total de sistemas de APR involucrados, se seleccionan sólo 10 localidades (2249 habitantes), excluyendo los restantes sistemas por motivos siguientes:

1. Localidades con casas muy aisladas.
2. Sistemas con cotas muy elevadas que no podrán ser abastecidas por gravedad.
3. Localidades ubicadas aguas arriba del embalse La Tranca o aguas abajo del embalse Cogotí, fuera del área de estudio.

El sistema de conducción será por gravedad. Contempla las obras necesarias para la captación y conducción del agua provenientes del embalse, hasta las cámaras de válvulas de entrega en cada localidad beneficiada. El diseño hidráulico debe dotar la presión necesaria en los puntos de entrega, tal que permita la posterior conducción del flujo hacia reservorios elevados. Las localidades rurales consideradas se presentan en la Figura 3.6 y Tabla 3.4, mientras que el resto, puede revisarse en el ANEXO A.

Tabla 3.4: Comunidades rurales seleccionadas.

Localidades	Total Personas	Este	Norte	Cota [m.s.n.m.]
Cogotí 18	487	313501	6558655	853
El chineo	288	316458	6556862	953
La Colorada	92	304636	6560232	734
La Cuadra	62	311096	6559501	794
La Isla	217	308584	6560664	711
La Ligua	391	305726	6563737	709
Las Barrancas	162	318129	6556454	1017
Tinajas	275	333654	6553211	1654
Fraguita	129	320150	6558694	1021
Los Llanos de Cogotí	236	312492	6558694	822

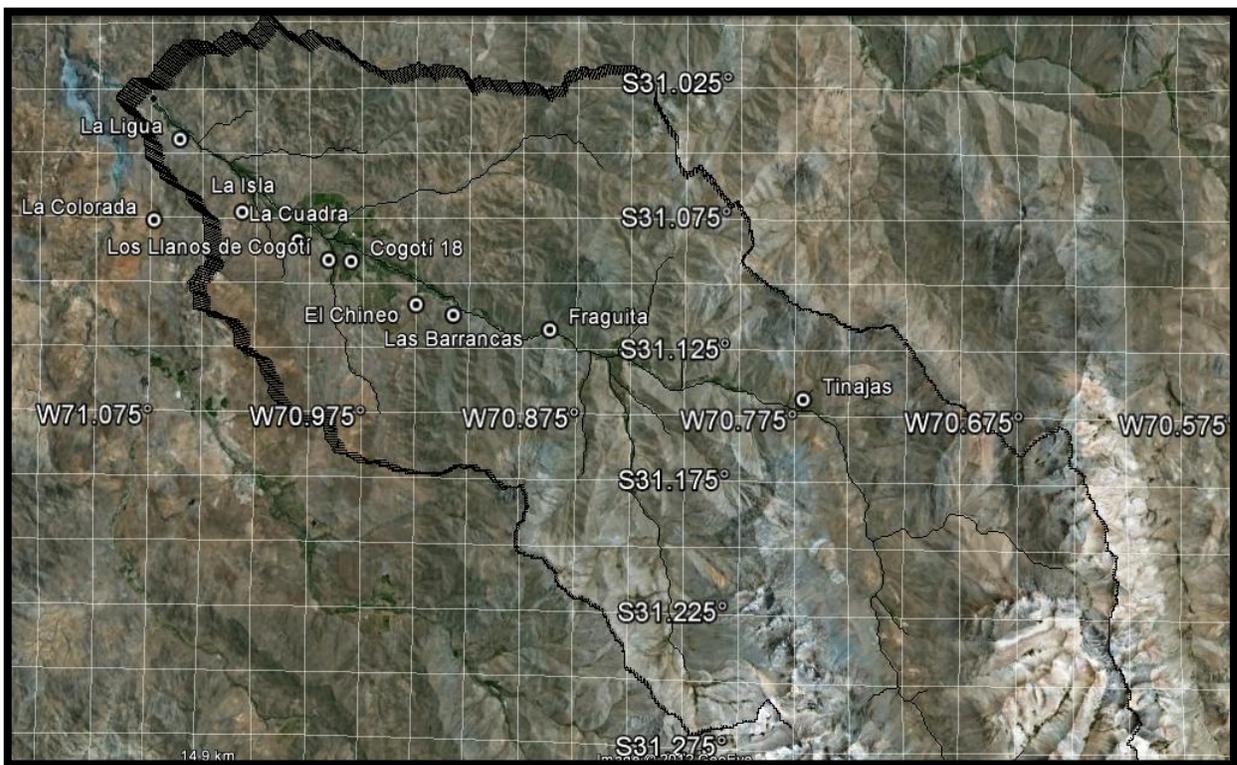


Figura 3.6: Comunidades rurales seleccionadas para el estudio.

3.7 SITUACIÓN ACTUAL SISTEMAS DE APR

La comuna de Combarbalá continúa siendo afectada fuertemente por el fenómeno de sequía que se extiende por más de 6 años, provocando millonarias pérdidas a productores y un alto riesgo en la disponibilidad de agua para los pobladores debido a la escasez hídrica. Los más afectados son las personas asociadas a la Agricultura Familiar Campesina, quienes han registrado pérdidas en el sector de secano, daño irreparable de un 50% del sector según la oficina de emergencia comunal de Combarbalá. Muchas de éstas han sido financiadas con aportes de INDAP y FOSIS.

La población rural de la comuna abarca cerca de un 80%, en donde la gran mayoría vive en el sector de secano. En general, se registran disminuciones del 80% en pozos y norias en algunos sectores como Paclas, Chipel, El Huacho, etc. En el sector de estudio la situación es similar, presentándose graves problemas de disponibilidad de agua, especialmente en el sector de Rincón Las Chilcas, La Saucera y San Lorenzo, cuyas ubicaciones se encuentran disponibles en la Figura 10.1.

La Municipalidad de Combarbalá a través de la Oficina de Emergencia comunal está trabajando para solucionar los problemas originados por la sequía, implementando y ejecutando el “Programa de entrega de Agua Potable a los habitantes de los sectores más alejados y con alta dispersión geográfica dentro de la Comuna” mediante 2 camiones aljibes a su disposición. Por la baja cobertura de los sistemas de APR, la ONEMI brinda el apoyo mediante 4 camiones aljibes más.

En la Tabla 3.5, se presentan las localidades abastecidas por camiones de la ONEMI dentro del sector de estudio.

Tabla 3.5: Resumen de Ruta de camiones Aljibes para el mes de Agosto 2012.

Puntos de Suministro	Nº Personas Beneficiarias	Lts. Entregados Semanalmente
Rincón Las Chilcas	244	24000
La Saucera	37	4500
San Lorenzo	39	4500
Los Sapos	43	5000
La Higuera y El Maitén Cogotí 18	18	5000
Cristo Pobre	16	3200
El Higueral	20	3000
La Colorada	6	1000

Fuente: Oficina de Emergencia Comunal, Combarbalá.

3.7.1 Situación de Déficit Hídrico localidades dentro de la zona de estudio.

En el presente año, las localidades ubicadas bajo la cota de riego de El Durazno, El Chineo, Cogotí 18, La Ligua de Cogotí y San Marcos, han tenido que reducir sus entregas en turnos de 8 días por problemas en sus dotaciones.

En el Chineo, Cogotí 18, se han reducido de 1500 a 600 litros por segundo para las dotaciones de los agricultores, específicamente, los productores de alfalfa y hortalizas han experimentado pérdidas alrededor de un orden de 40 %, según la oficina de emergencia comunal de Combarbalá. Mientras que en La Ligua de Cogotí no se recibe agua por el canal, produciendo pérdidas totales en hortalizas y otras especies.

La localidad de San Marcos a pesar de ser regada por el tranque Cogotí, sólo recibe alrededor de 400 litros por segundo para productores de uva de mesa, hortalizas y duraznos.

Si bien, en la localidad "El Durazno" no se observa daños visibles en sus frutales, presenta una disminución del nivel freático por las escasas precipitaciones del presente año, tal como se muestra en la Figura 3.7.



Figura 3.7: Noria con nivel freático deprimido.

Fuente: Oficina de Emergencia Comunal, Combarbalá.

3.7.2 Área de restricción

Es importante señalar que a partir del estudio técnico (MOP, 2009), el que indicó que la capacidad de recarga del acuífero fue superada por la demanda de derechos de agua subterráneas en el sector, se declaró Área de Restricción al sistema acuífero de aprovechamiento común del valle del río Limarí y que incluye a los sectores de Combarbalá, Cogotí, Río Pama, entre otros. Mayor detalle de los sectores con restricción se encuentra disponible en la Figura 3.8.

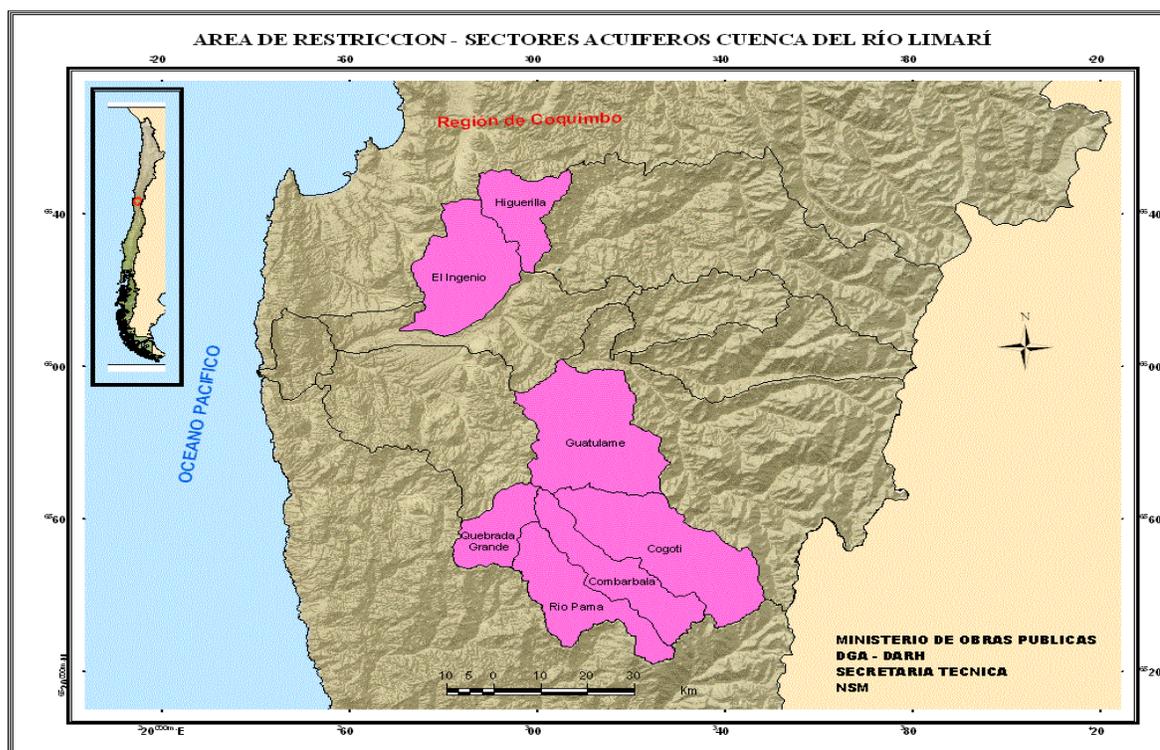


Figura 3.8: Áreas de Restricción - Sectores Acuíferos cuenca del río Limarí.

Fuente: MOP, 2009.

3.8 DEMANDA DE AGUA POTABLE

3.8.1 Demanda Actual de Agua Potable Rural

Con el objetivo de determinar la dotación actual de estas comunidades, se presenta en la Tabla 3.6 valores de dotaciones utilizadas en proyectos recientes emplazados en la IV Región de Coquimbo, los cuales fueron facilitados por la Subdirección de Agua Potable Rural del Ministerio de Obras Públicas. De ella, se observa que la dotación para sistemas sin alcantarillado fluctúa entre 100 y 120 [lts/hab/d], mientras que para el proyecto con alcantarillado se define un valor igual a 150 [lts/hab/d].

Tabla 3.6: Dotaciones definidas para proyectos de la Región de Coquimbo.

Nombre del Proyecto	Dotación [lts/hab/día]	Diseño proyectado hasta
Ampliación Sistema APR Los Clonquis Hacienda Los Molles	120	2030
Ampliación Sistema APR Las Barrancas el Chineo La Fragueta	100	2030
Construcción Sistema APR El Durazno de Socos	120	2032
Construcción Sistema APR El Tome Bajo Palos Quemados	120	2032
Construcción Sistema APR El Manzano de Guangualí	100	2032
Ampliación Sistema APR EL Huacho	120	2032
Mejoramiento Sistema APR El Romero	150	2031
Instalación Sistema APR Barrio Alto	100	2031

* *Proyecto con Alcantarillado.*

Debido a lo anterior y considerando que 3 de las comunidades pertenecientes a la zona de estudio presentan una dotación igual a 100 [lts/hab/d], además de la información obtenida por el sistema de agua potable rural Cogotí 18, el cual es el único sistema que cuenta con sistema de alcantarillado, se presentan en la Tabla 3.7 los valores adoptados para la demanda actual.

Tabla 3.7: Demandas actuales de las comunidades de la zona con sistemas de APR.R.

Localidad	Situación Actual			
	Pob. [Hab.]	Dotación	Q demanda [l/s]	Q entrega [l/s]
La Fraguita	90	100	0.10	0.23
Las Barrancas	162	100	0.19	0.42
El Chineo	288	100	0.33	0.75
Tinajas	275	100	0.32	0.72
Cogotí 18	487	150	0.85	1.27
Llanos de Cogotí	185	100	0.21	0.48
La Cuadra	62	100	0.07	0.16
La Isla	217	100	0.25	0.57
La Ligua	391	100	0.45	1.02
La Colorada	92	100	0.11	0.24
Total	2249		2.88	5.86

3.8.2 Demanda Futura de Agua Potable

Considerando los datos *preliminares* del Censo 2012 a Septiembre del presente año, se obtiene una variación positiva intercensal a nivel regional de 16.9 % entre los años 2002 y 2012, indicando una leve disminución en la tasa de crecimiento respecto a las tasas anteriores. Los datos de la población se presentan en la Figura 3.9.

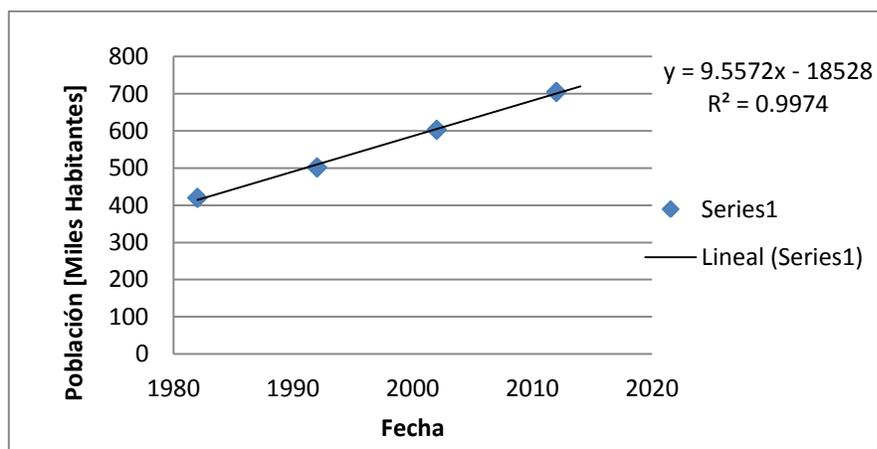


Figura 3.9: Proyección población Región de Coquimbo.

Fuente: INE, 2012.

Particularmente en la comuna de Combarbalá, se proyectaba una disminución que se acentuaba con el tiempo, datos que se muestran en la Figura 3.10. Sin embargo utilizando los datos *preliminares* del censo 2012, se obtiene un crecimiento de un 1,6 %, relación de aumento que se ilustra en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8: Población Comuna de Combarbalá.

Población Comuna de Combarbalá [Habitantes]				
1992	2002	2012	% Variación Intercensal (1992 -2002)	% Variación Intercensal (2002 - 2012)
14391	13531	13785	-6.0%	1.9%

Fuente: INE, 2012.

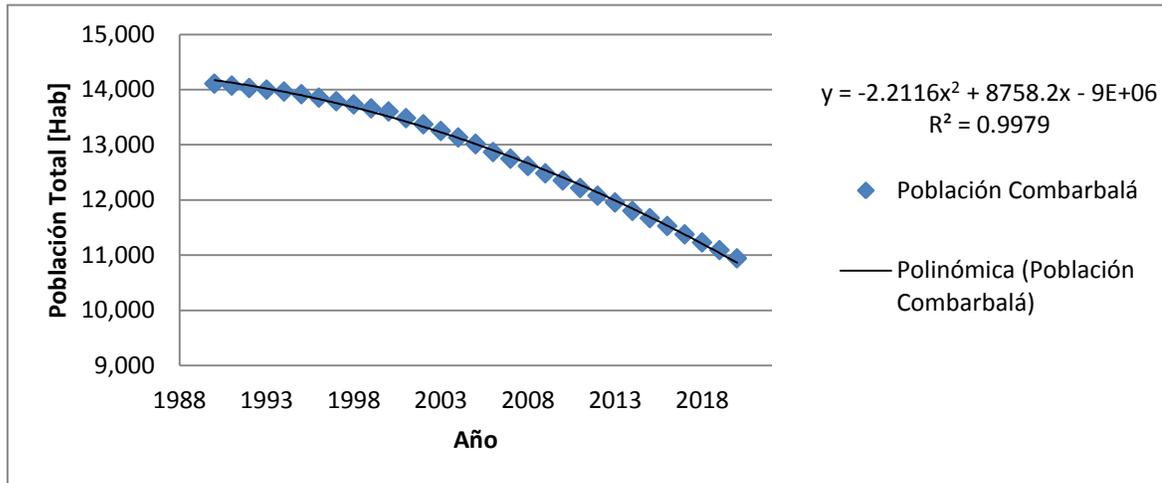


Figura 3.10: Proyección de Población Rural a nivel de la comuna de Combarbalá.

Fuente: INE, 2010.

Dado este último dato de aumento en la comuna y la futura construcción del embalse La Tranca, lo que potenciará la producción en la zona, se fijará entonces una tasa de crecimiento igual a 2% en estas localidades rurales, aumentando la población futura igual a la presentada en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9: Proyección Población de comunidades con sistemas de APR en la zona de estudio.

Localidad	Población [Habitantes]							
	2011	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080
La Fragueta	90	108	131	160	195	237	290	353
Las Barrancas	162	194	236	288	351	427	521	635
El Chineo	288	344	420	511	623	760	926	1129
Tinajas	275	329	401	488	595	726	885	1078
Cogotí 18	487	582	709	865	1054	1285	1567	1910
Llanos de Cogotí	185	221	270	329	400	488	595	725
La Cuadra	62	74	90	110	134	164	199	243
La Isla	217	259	316	385	470	573	698	851
La Ligua	391	467	570	694	846	1032	1258	1533
La Colorada	92	110	134	163	199	243	296	361
Total	2249	2688	3276	3994	4869	5935	7234	8819

Los proyectos de APR generalmente son diseñados para un período igual a 20 años (ver Tabla 3.6), adicionalmente, es posible esperar una ampliación y/o mejoramiento para estos sistemas en un plazo igual o menor, lo que implicaría un crecimiento en la dotación de ellos. Considerando un aumento de 100 a 120 [lts/hab/día] en la dotación para sistemas sin alcantarillado, y un consumo máximo igual a 150 [lts/hab/día] para el sistema Cogotí 18, se presentan en la Tabla 3.10 las dotaciones futuras para estos sistemas de APR. Sujetas a estas, se presentan en la Tabla 3.11 las demandas futuras para las comunidades en estudio.

Tabla 3.10: Proyección de Dotación para sistemas de APR estudiados.

Localidad	Dotación [lts/hab/día]							
	2011	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080
La Fragueta	100	100	120	120	120	120	120	120
Las Barrancas	100	100	120	120	120	120	120	120
El Chineo	100	100	120	120	120	120	120	120
Tinajas	100	100	120	120	120	120	120	120
Cogotí 18*	150	150	150	150	150	150	150	150
Llanos de Cogotí	100	100	120	120	120	120	120	120
La Cuadra	100	100	120	120	120	120	120	120
La Isla	100	100	120	120	120	120	120	120
La Ligua	100	100	120	120	120	120	120	120
La Colorada	100	100	120	120	120	120	120	120

* Sistema con Alcantarillado.

Tabla 3.11: Proyección Demanda de agua potable para sistemas de APR de la zona de estudio.

Localidad	Q [lts/s]							
	2011	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080
La Fragueta	0.10	0.12	0.18	0.22	0.27	0.33	0.40	0.49
Las Barrancas	0.19	0.22	0.33	0.40	0.49	0.59	0.72	0.88
El Chineo	0.33	0.40	0.58	0.71	0.87	1.06	1.29	1.57
Tinajas	0.32	0.38	0.56	0.68	0.83	1.01	1.23	1.50
Cogotí 18	0.85	1.01	1.23	1.50	1.83	2.23	2.72	3.32
Llanos de Cogotí	0.21	0.26	0.37	0.46	0.56	0.68	0.83	1.01
La Cuadra	0.07	0.09	0.13	0.15	0.19	0.23	0.28	0.34
La Isla	0.25	0.30	0.44	0.54	0.65	0.80	0.97	1.18
La Ligua	0.45	0.54	0.79	0.96	1.18	1.43	1.75	2.13
La Colorada	0.11	0.13	0.19	0.23	0.28	0.34	0.41	0.50
Total	2.9	3.4	4.8	5.8	7.1	8.7	10.6	12.9

CAPÍTULO 4: APLICACIONES

4.1 GENERACIÓN DEL MODELO

4.1.1 Datos de Entrada

Para la generación del modelo es fundamental contar con igual período completo de información a escala diaria tanto para precipitaciones como caudales, además de otros parámetros meteorológicos a utilizar. Con el objetivo de rellenar datos faltantes y poder trabajar con información completa para un mismo período, se utilizan estaciones meteorológicas y fluviométricas cercanas a la zona de estudio.

Caudales

A continuación, en la Tabla 4.1 y en la Figura 4.1, se presentan todas las estaciones fluviométricas controladas por la DGA que presentan datos de caudales a escala diaria relevantes para el estudio, ya sea para relleno de datos, calibración y/o validación del modelo hidrológico.

Tabla 4.1: Estaciones fluviométricas en la zona.

Estación	Código DGA	UTM Este	UTM Norte	Altitud [m.s.n.m.]	Período de registro
Río Cogotí en Fraguita	04530001-3	320,066.00	6,556,089.00	1,021	1971 - 2011
Río Cogotí Entrada Embalse Cogotí	04531002-7	305,104.00	6,564,645.00	668	1971 - 2011
Río Combarbalá en Ramadillas	04532001-4	317,797.00	6,543,246.00	1,300	1976 - 2011
Río Pama en Valle Hermoso	04533002-8	310,247.00	6,538,879.00	850	1989 - 2011
Río Grande en Cuyano	04513001-0	330,379.00	6,577,075.00	870	1986 - 2011

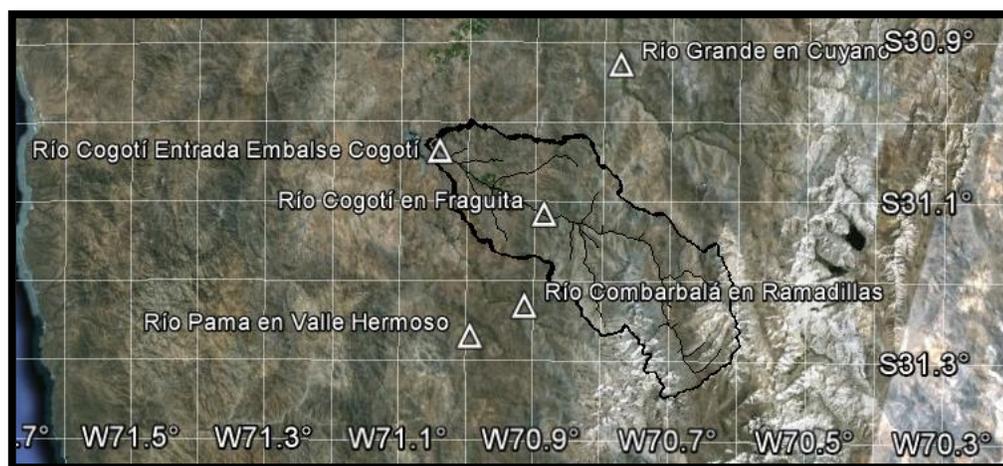


Figura 4.1: Estaciones Fluviométricas.

Precipitaciones

De igual manera, en la Tabla 4.2 y Figura 4.2 se muestran todas las estaciones en las cuales la DGA controla precipitaciones diarias y que pueden ser usadas ya sea para rellenar datos, calibrar y/o validar el modelo hidrológico.

Tabla 4.2: Estaciones meteorológicas en la zona en estudio.

Estación	Código DGA	UTM Este	UTM Norte	Altitud [m.s.n.m]	Período de registro
Cogotí 18	04531003-5	313.778	6,559,118	840	1950 - 2011
Cogotí Embalse	04535001-0	300.687	6,567,289	740	1953 - 2011
Combarbalá	04532006-5	309.108	6,549,054	870	1977 - 2011
Tulahuén	04513003-7	331.329	6,572,348	1,020	1949 - 2011
Las Ramadas	04511003-6	348.417	6,566,938	1,380	1943 - 2011
Tascadero	04512002-3	340.723	6,567,133	1,230	1961 - 2011
El Tome	04537003-8	311.296	6,588,552	420	1966 - 2011

Temperatura y velocidad del viento

Adicionalmente se requieren datos de temperatura y velocidad del viento a escala diaria, datos obtenidos de las estaciones meteorológicas Las Ramadas y Cogotí Embalse.

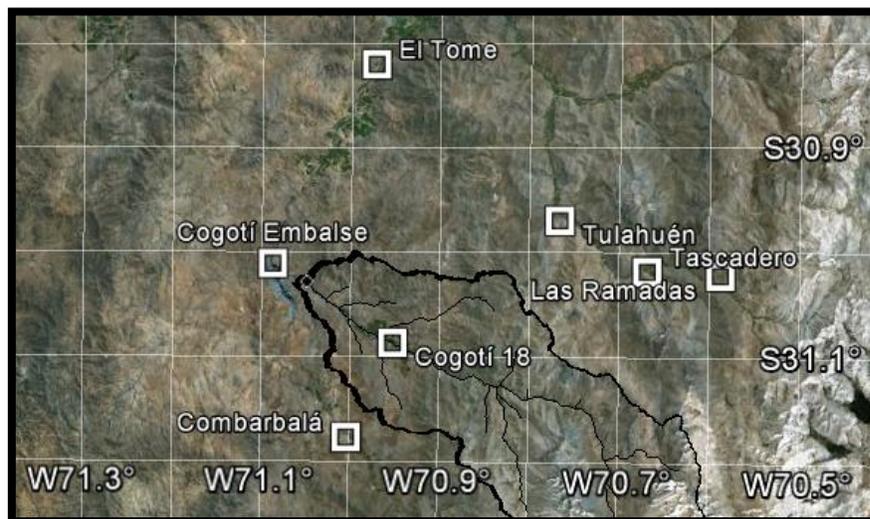


Figura 4.2: Estaciones Meteorológicas en la zona.

Discretización de la Cuenca

Debido a que el modelo WEAP es semi-distribuido, se requiere que la información de entrada sea ingresada según las unidades hidrológicas en que se divide la cuenca. Para este caso, utilizando el programa WMS se subdivide la cuenca del río Cogotí en 10 bandas de elevación con área semejante, considerando sólo 9 de ellas para las dos sub-cuencas menores señaladas en la Figura 3.2, mientras que en la Tabla 4.3 se presenta información sobre las bandas utilizadas.

Tabla 4.3: Descripción de las bandas de estudio.

N° Banda	Cota máxima [m]	Cota Mínima [m]	Altura Media [m]	Área Fraguita [km ²]	Área La Tranca [km ²]
10	4062	3417	3739.5	74.05	74.49
9	3417	3114	3265.5	74.50	74.60
8	3114	2740	2927.0	74.56	74.69
7	2740	2394	2567.0	71.13	71.09
6	2394	2057	2225.5	64.20	64.14
5	2057	1766	1911.5	55.65	55.47
4	1766	1472	1619.0	45.79	44.42
3	1472	1206	1339.0	23.13	20.92
2	1206	951	1078.5	3.47	1.67

4.2 RÉGIMEN NATURAL DEL RÍO COGOTÍ EN FRAGUITA

Para efectos de la calibración es fundamental trabajar con valores de caudales en régimen natural de tal manera de representar correctamente el comportamiento de las cuencas en estudio. Recopilando información en la biblioteca de la DGA tanto asociada a derechos superficiales, permanentes como eventuales, se concluye que el caudal del río Cogotí en Fraguita se ve mínimamente afectado por extracciones asociadas a pequeñas áreas verdes aguas arriba de la estación de medición. Las demandas asociadas a riego de estas áreas fueron determinadas por MN Ingenieros (2011), las cuales se presentan en la Figura 4.3.

Cultivo	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	Total
Durazno	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Vid. de Mesa	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	0.005	0.007	0.009	0.008	0.005	0.004	0.002	0.043
Vid. de Pisquera	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Huerta Frutal	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.003	0.004	0.004	0.002	0.001	0.000	0.015
Trigo	0.000	0.000	0.001	0.002	0.004	0.007	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.019
Poroto	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.004	0.005	0.008	0.005	0.000	0.000	0.000	0.024
Maiz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.005	0.007	0.010	0.011	0.005	0.000	0.000	0.039
Melón	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sandía	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Alfalfa	0.005	0.000	0.000	0.004	0.018	0.032	0.042	0.053	0.052	0.039	0.033	0.019	0.296
Trébol Rosado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.028	0.041	0.054	0.057	0.037	0.028	0.014	0.272
Pra. Nat. Riego Perm.	0.000	0.000	0.000	0.006	0.018	0.035	0.051	0.068	0.071	0.047	0.035	0.017	0.347
Pra. Nat. Riego Event.	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006
Total	0.005	0.000	0.001	0.013	0.062	0.121	0.162	0.204	0.208	0.135	0.100	0.051	1.061

Figura 4.3: Extracción de Riego aguas arriba del embalse [m³/s].

Fuente: MN Ingenieros Ltda., 2011.

Con esta información de demanda, en conjunto con valores observados en la estación fluviométrica, se obtienen los caudales del río Cogotí en Fragueta en régimen natural.

4.3 GRADIENTE DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA

En la cuenca del río Cogotí, la cual alcanza una altitud máxima igual a 4062 m.s.n.m., sólo existen estaciones asociadas a bajas cotas, siendo la más elevada la estación Cogotí Embalse que se encuentra a 740 m.s.n.m. Es de suma importancia entonces, determinar el comportamiento de parámetros meteorológicos a mayor altitud con el objetivo de representar correctamente el área de estudio. Debido a lo anterior, se trabaja con datos de estaciones que conforman la cuenca vecina de Río Grande ubicada al norte, abarcando de esta forma un mayor registro a diferentes cotas de la cuenca. Las estaciones utilizadas para tal efecto se encuentran en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4: Estaciones Meteorológicas utilizadas para complementar información.

Estaciones Utilizadas	Altitud [m.s.n.m.]
Carén	740
Tulahuén	1020
Tascadero	1230
Las Ramadas	1380
CerroVegaNegra	3600

Adicionalmente, se considera en el análisis la estación Laguna Embalse cuya cota es igual a 3160 m.s.n.m. ubicada en la sub-cuenca del río La Laguna, perteneciente a la cuenca del río Limarí. Además, se cuenta con los registros de la ruta de nieve Cerro Vega Negra, la cual permite obtener información respecto al volumen acumulado de nieve en invierno, permitiendo mejorar la modelación hidrológica en las cotas más elevadas, en donde la incertidumbre es mayor.

4.3.1 Gradiente de Temperatura

En el caso de la temperatura, se considera un gradiente diferente, tanto para los días con lluvia (Gradiente Húmedo) como para los días sin lluvia (Gradiente Seco). Los valores de gradientes

utilizados se encuentran disponibles en la Tabla 4.5, mientras que los valores de temperatura asociados a distintas cotas se muestran en la Figura 4.4.

Tabla 4.5: Gradientes de Temperatura.

	Gradiente Temperatura [$^{\circ}\text{C}/\text{km}$]
Húmedo	-6.8
Seco	-5.9

Los valores de los gradientes de temperatura presentados en la Tabla 4.5, son muy similares al valor típico para el estado medio de la atmósfera, igual a -6.5 [$^{\circ}\text{C}/\text{km}$], el cual ha sido utilizado en otros trabajos existentes (Fiebig-Wittmaack et. al., 2008) entregando mayor confiabilidad a los datos adoptados.

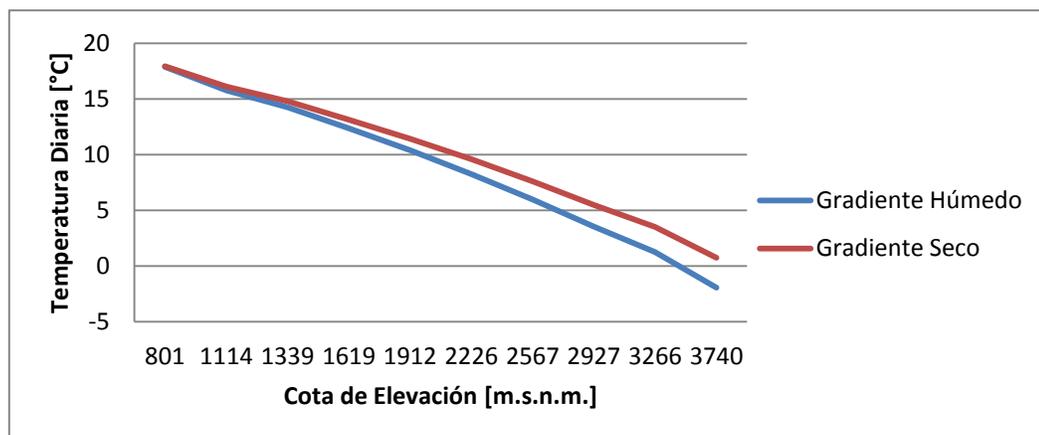


Figura 4.4: Gradientes diarios de Temperaturas.

4.3.2 Gradiente de Precipitaciones

Mayor es la incertidumbre en cotas más elevadas para la precipitación. Sin embargo, en conjunto con las estaciones de la cuenca vecina, se determina un gradiente para ambos períodos (nival y pluvial). Estos valores se consideran hasta la cota 1900 aproximadamente, mientras que a mayor altura se opta por una disminución de precipitaciones, resultados dados por la calibración del modelo. Adicionalmente, se comprueba obtener un valor cercano al volumen de nieve registrado en la estación Cerro Vega Negra. Para el período pluvial y nival se trabaja con un gradiente de 16 y 19 [mm/km] respectivamente. Los valores de precipitación según cota de elevación se presentan en la Figura 4.5.

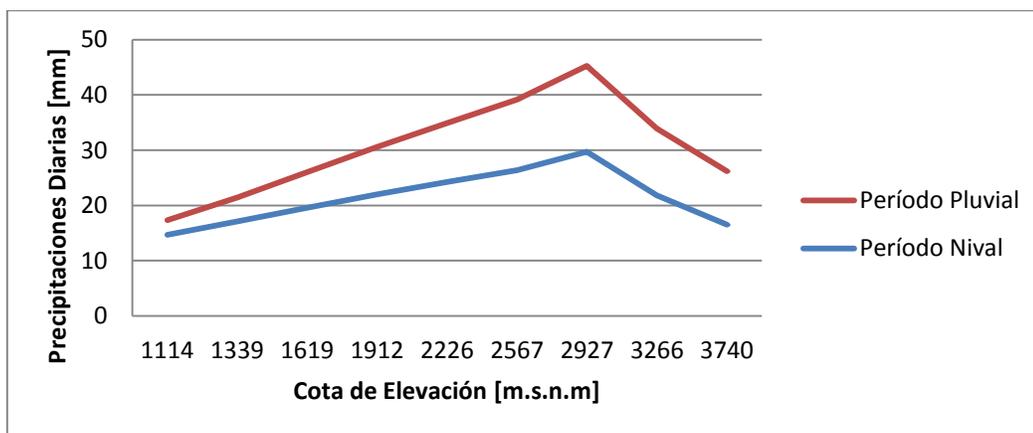


Figura 4.5: Gradiente de precipitación según bandas de elevación.

4.4 CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO

Para tal efecto, se utiliza la versión del WEAP 2.3018 (Elaborada el 12 de Enero del 2009) además de la incorporación de la radiación y su incidencia en el derretimiento de nieve.

El período de calibración se considera a partir del año hidrológico de Abril de 1999 hasta Marzo de 2004, considerando el primer año como período de calentamiento (warm up) para ajustar el modelo y no obtener resultados condicionados por la situación inicial. La validación abarca desde Abril de 2005 hasta Marzo de 2008. Para diferenciar entre el aporte pluvial y el nival, se clasifican las bandas, así desde la primera a la sexta corresponden al aporte pluvial y las restantes al aporte nival.

Los parámetros de calibración más característicos se trabajan dentro del rango determinado en el análisis realizado en la cuenca del Limarí (Vicuña et al, 2010), valores que se encuentran en la Tabla 4.6. En la Tabla 4.7 se muestran los valores finales adoptados para los parámetros de calibración, los cuales se definen una vez realizado el análisis de sensibilidad para cada uno de ellos.

Tabla 4.6: Rango de Parámetros definidos en la cuenca del Limarí.

Parámetro	Valor
Deep water cap. (mm)	300 -7500
Deep water cond. (mm/mes)	140 - 600
Root zone cap. (mm)	108 - 4000
Root zone cond. (mm/mes)	120 - 900

Tabla 4.7: Valores de Parámetros utilizados en Calibración para todas las bandas.

Parámetros	Valor
Deep Conductivity [mm/d]	10
Deep Water Capacity [mm]	937.5
Freezing Point [°C]	1.8
Melting Point [°C]	5
Root Zone Conductivity [mm/d]	6
Soil Water Capacity [mm]	950
kc	1.1
Z1 [%]	20
Z2 [%]	4 - 7.5
Albedo Lower Bound	0.15
Albedo Upper Bound	0.9

Se usa un rango de valores tanto para las bandas altas como para las bajas asociados a los parámetros Preferred Flow Direction y Runoff Resistance Factor. Valores que se encuentran detallados en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8: Valores de Parámetros variables en año Hidrológico.

	Bandas 1 - 5	Bandas 6 - 10
Preferred Flow Direction [%]	0.05 - 0.95	0.9
Runoff Resistance Factor	2 - 5	2.8 - 4

Con el objetivo de completar los valores de radiación observados en la zona (Fiebig-Wittmaack et. al, 2008) se añade una radiación extra (Rnet) con una amplitud de 13 y un desfase de 18 $\frac{MJ}{m^2d}$ considerando un valor máximo en Diciembre y un valor mínimo en Junio. Tres criterios de eficiencia se utilizan para la etapa de calibración:

Coefficiente de Nash Sutcliffe:

$$NS = 1 - \frac{\sum_i (Q_{obs_i} - Q_{sim_i})^2}{\sum_i (Q_{obs_i} - \overline{Q_{obs}})^2}$$

Coefficiente logarítmico de Nash Sutcliffe.

Con el objetivo de enfatizar los caudales extremos, se utiliza el logaritmo de los datos tanto simulados como observados, dando paso a:

$$NS = 1 - \frac{\sum_i (\log_{10} Q_{obs_i} - \log_{10} Q_{sim_i})^2}{\sum_i (\log_{10} Q_{obs_i} - \overline{\log_{10} Q_{obs}})^2}$$

Q_{obs_i} : Corresponde al caudal observado en el día i .

Q_{sim_i} : Corresponde al caudal simulado para el día i .

$\overline{Q_{obs}}$: Corresponde al promedio de los caudales diarios observados de todo el período de calibración.

wr^2 : Indicador obtenido realizando una correlación lineal entre los valores observados y simulados (r^2) y se pondera por la pendiente de la correlación (w), (Krause et al., 2005).

En la etapa de calibración se obtuvo un coeficiente de Nash igual a 0.703 y un coeficiente logarítmico de Nash igual a 0.702, mientras que en la validación se obtuvo un valor de 0.612 y 0.637, respectivamente. Los valores de caudales simulados y observados para el período de calibración se muestran en la Figura 4.6; mientras que en la Figura 4.7 se presentan los caudales tanto para el período de calibración como validación.

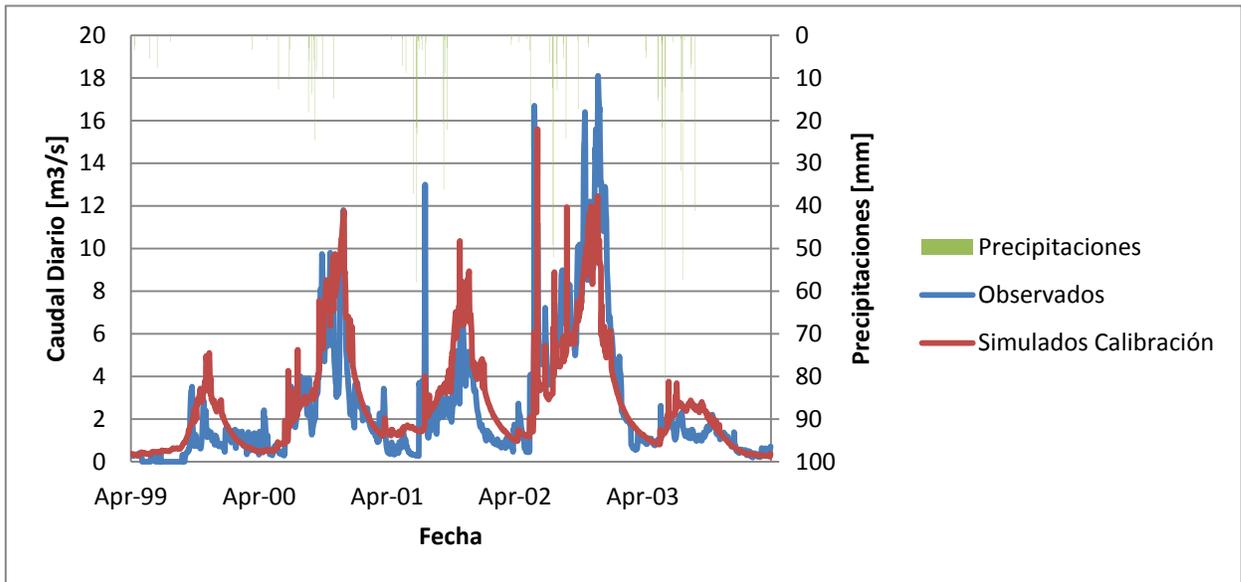


Figura 4.6: Comparación entre caudales observados y simulados para etapa de Calibración.

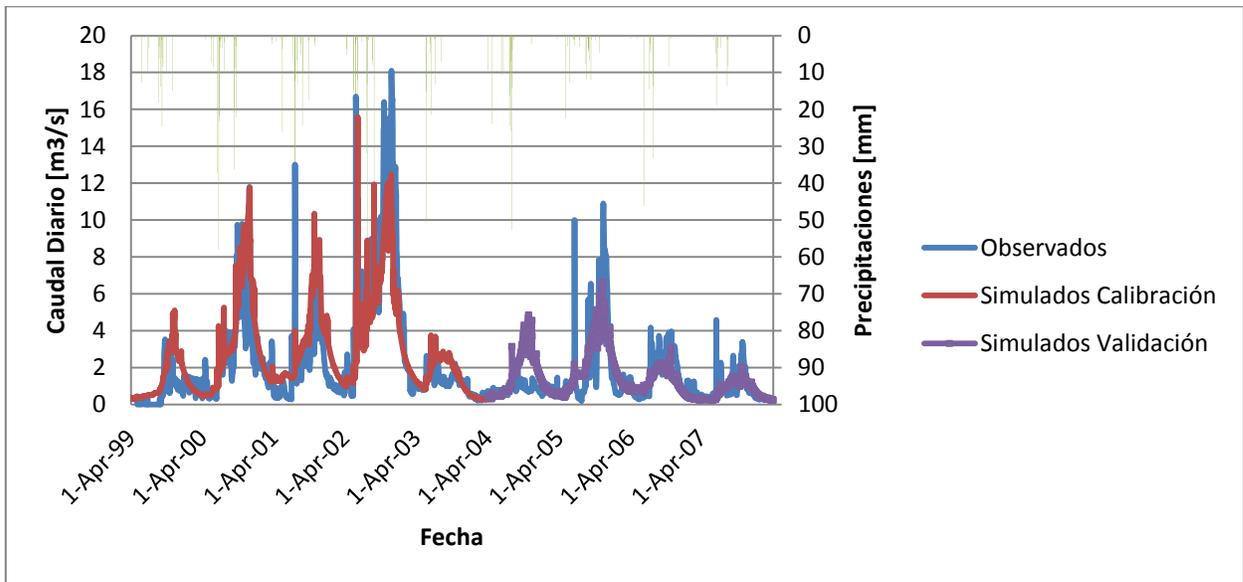


Figura 4.7: Comparación entre caudales observados y simulados para etapa de Calibración y Validación.

Es importante mencionar que el registro conformado entre Abril de 2004 y Marzo 2005 no se contempla para la validación, debido a un error en los registros de caudales de escorrentía para esa fecha en particular.

La correlación de caudales diarios entre los datos observados y simulados se muestra en la Figura 4.8, en donde se evidencia que los caudales simulados son menores a los observados, especialmente para mayores valores. Esto implica que los caudales son subestimados por el modelo, especialmente los valores de caudales más elevados.

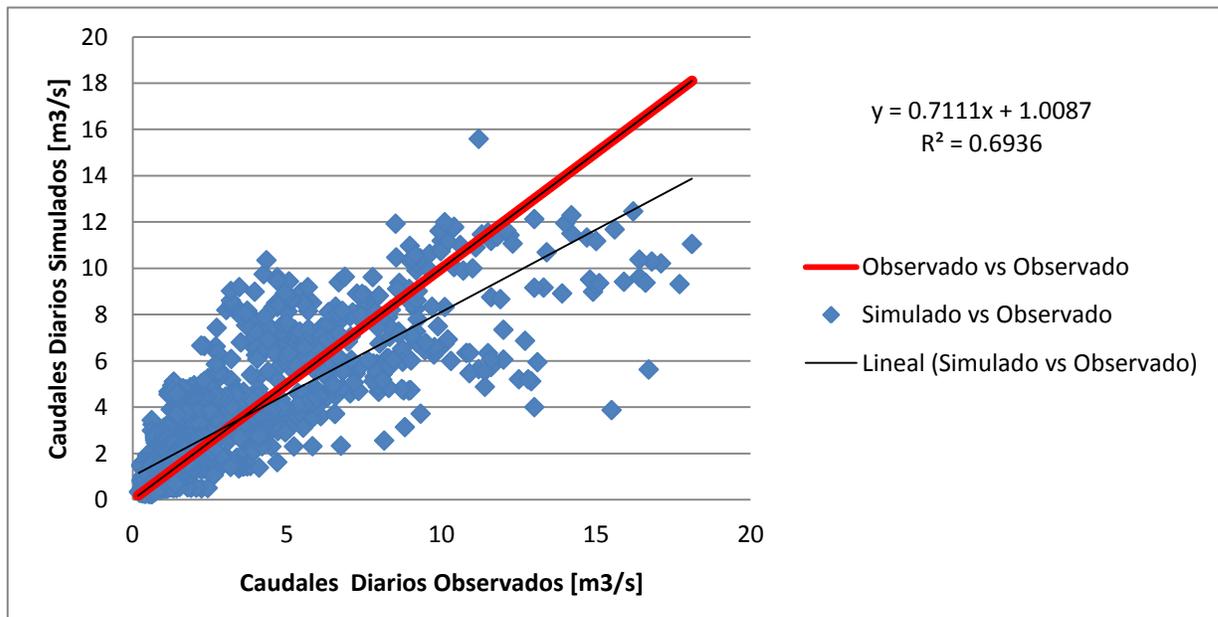


Figura 4.8: Correlación lineal diaria entre Caudales observados y simulados.

De igual forma que a escala diaria, se obtiene que los caudales simulados mensualmente son subestimados con respecto a los caudales observados, relación que se ilustra en la Figura 4.9. Sin embargo, la diferencia entre estos valores es amortiguada, debido a que a escala mensual las mayores diferencias diarias (escasas) son promediadas con las pequeñas diferencias, permitiendo obtener un mayor valor de correlación (r^2).

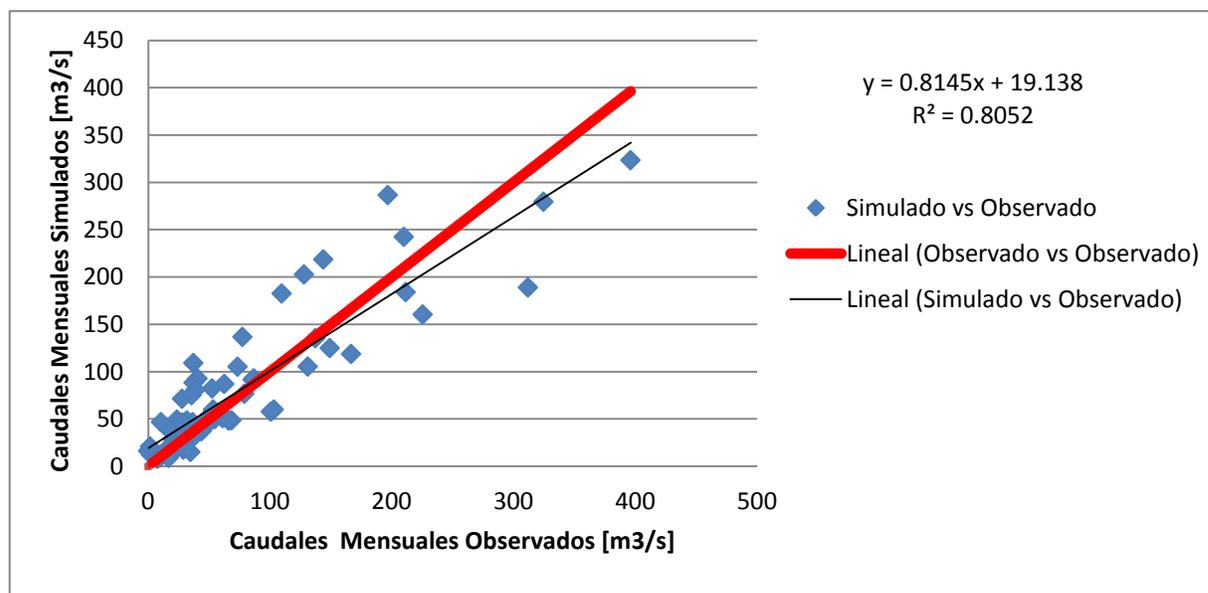


Figura 4.9: Correlación entre Caudales medios mensuales observados y simulados.

Los volúmenes correspondientes a la etapa de calibración y validación se muestra en la Figura 4.10. De estos resultados se observa que, especialmente para el período de calibración, se sobreestiman los volúmenes asociados a años secos, mientras que por el contrario, se subestiman los volúmenes para años muy húmedos, como es el caso del año hidrológico 2003.

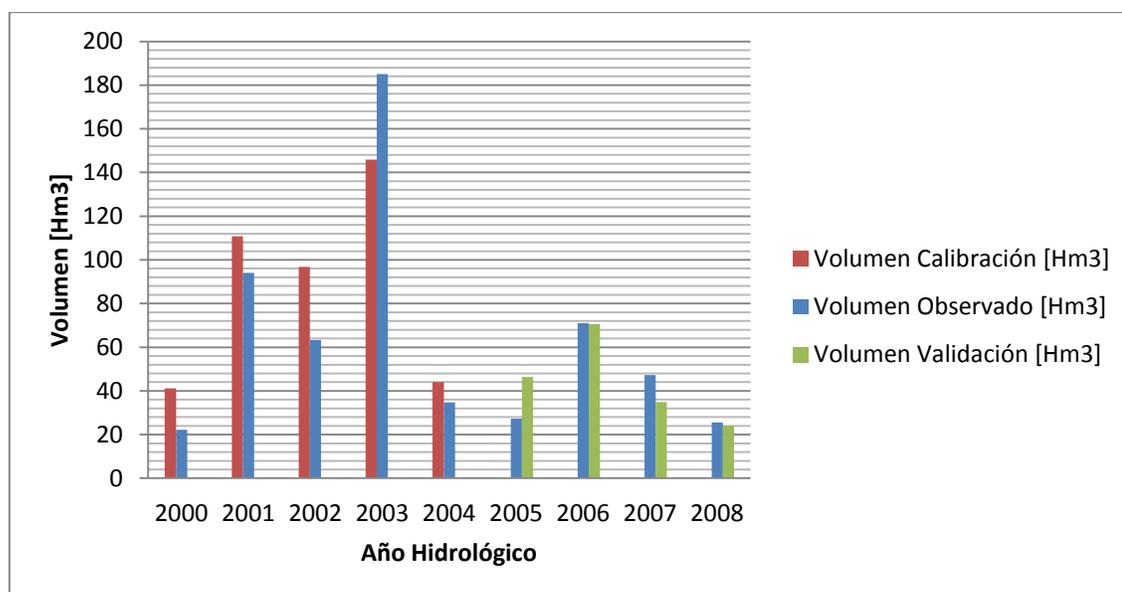


Figura 4.10: Volúmenes año hidrológico observados y simulados en etapa de Validación y Calibración.

Análisis de Sensibilidad

Con el objetivo de corroborar valores óptimos de los parámetros más relevantes, se realiza un análisis de sensibilidad, en el cual se analizan los coeficientes de eficiencia variando los parámetros entre un 10 y 25 %. Para tal efecto, se modifican individualmente los parámetros de calibración obteniendo el valor óptimo según el mejor resultado de los coeficientes de eficiencia. Una vez realizadas las modificaciones para todos los parámetros, se vuelven a evaluar uno a uno, repitiendo el procedimiento iterativamente, hasta encontrar los valores más adecuados para todos los parámetros, de tal forma que no modifique los valores óptimos del resto de los parámetros. Si la variación de eficiencia es positiva, mejor es la representación del modelo.

Las variaciones de eficiencia de los parámetros más importantes para la etapa de calibración, como lo son, los valores de las conductividades y capacidades de ambos cubetas de suelos, en conjunto con los valores del punto de congelamiento y derretimiento, se muestran en la Figura 4.11, Figura 4.12, Figura 4.13 y Figura 4.14.

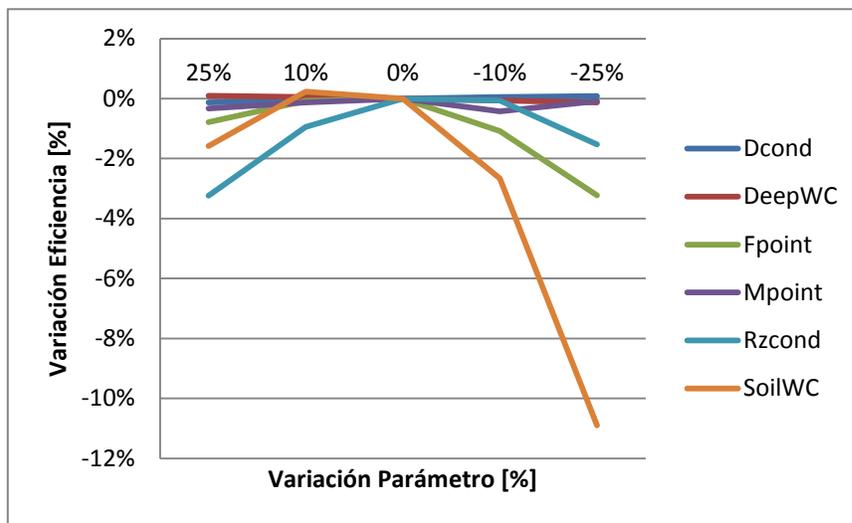


Figura 4.11: Análisis de Sensibilidad para indicador Nash-Sutcliffe.

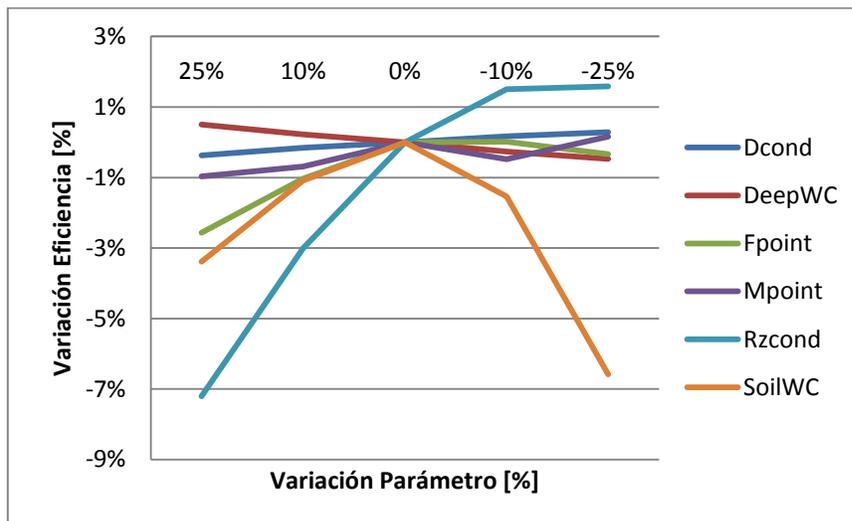


Figura 4.12: Análisis de Sensibilidad para indicador logarítmico de Nash-Sutcliffe.

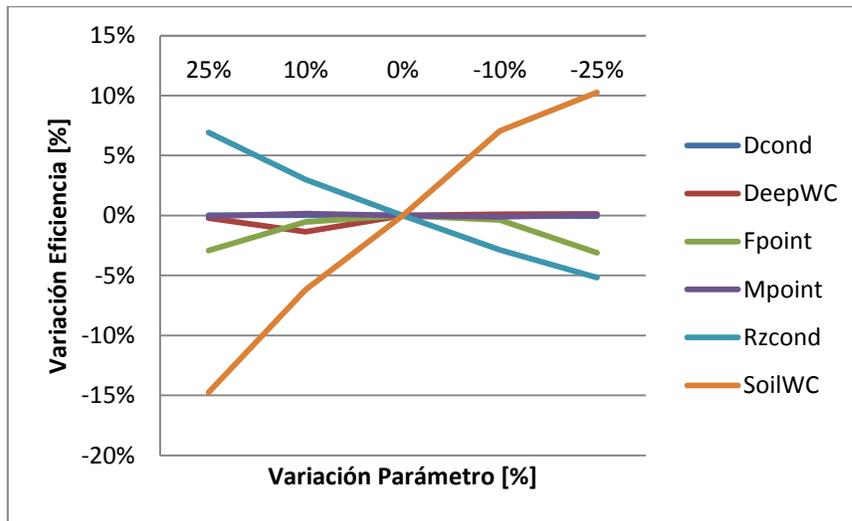


Figura 4.13: Análisis de Sensibilidad para indicador wR^2 .

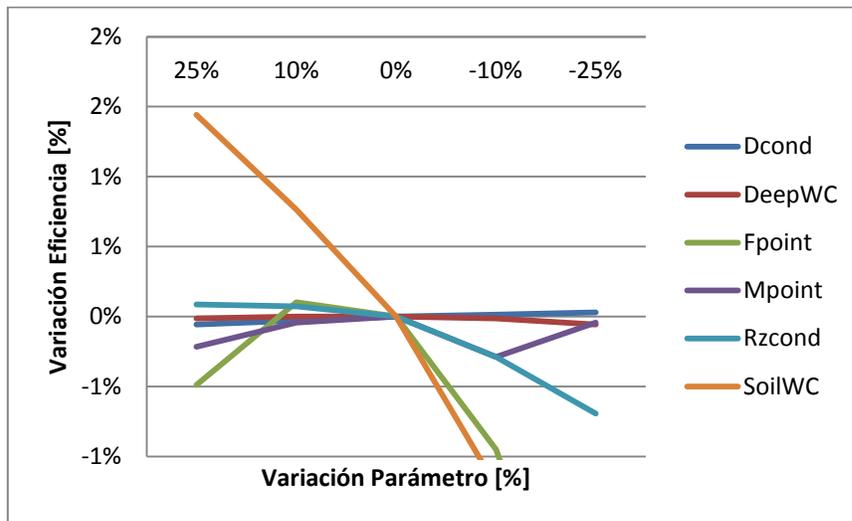


Figura 4.14: Análisis de Sensibilidad para indicador R^2 .

De las 4 figuras señaladas anteriormente, la mayoría de los parámetros se encuentran en su punto óptimo, pues al aumentar o disminuir su valor, produce una disminución de todos o algunos de los indicadores de eficiencia. Sin embargo, al modificar otros parámetros, se produce un aumento en algunos indicadores, mientras que otros disminuyen. Tal es el caso de la capacidad de almacenamiento del estanque 1 (SoilWC), el cual al ser modificado genera pequeñas disminuciones en los indicadores R^2 y Nash-Sutcliffe, mientras que mejora en mayor porcentaje según el indicador wR^2 . Debido a lo anterior, queda a criterio del calibrador los valores a adoptar para aquellos parámetros.

CAPÍTULO 5: GENERACIÓN DE ESCENARIOS FUTUROS

5.1 METODOLOGÍA

La generación de valores futuros se logra a base de los resultados de las forzantes meteorológicas obtenidos de la primera simulación continua (1950-2100) de Cambio Climático para todo el territorio nacional realizado por el Departamento de Geofísica (DGF) de la Universidad de Chile, como parte del proyecto "Anillos SOC-28: Impactos Sociales y Ambientales del Cambio Climático Global en la Región del Biobío, desafíos para la sustentabilidad del siglo XXI". Para esta simulación se utiliza el modelo PRECIS (Providing Regional Climates for Impact Studies), desarrollado por el Hadley Center del Reino Unido, considerando una grilla con espaciamiento de 25 km, la cual cubre Chile continental, siendo forzado en sus bordes laterales por el modelo global ECHAM5 y aplicado para un escenario de Cambio Climático A1B.

La simulación permite obtener variables atmosféricas y de superficie tanto a escala diaria como a escala mensual para distintos puntos del país en el período de estudio (1950-2100) de manera gratuita en el sitio de internet: <http://mirasol.dgf.uchile.cl/PRECIS-ECHAM.html>

Para este estudio en particular, se trabaja con simulaciones de parámetros de precipitación, temperatura y viento, específicamente para el período comprendido entre 2013-2079, el cual es considerado como mediano y corto plazo.

Para trabajar con los parámetros de temperatura y precipitación el procedimiento es el siguiente:

1. Obtención de los datos para los 4 puntos de la grilla que engloban el sector en estudio.
2. Correlación mensual entre puntos de la grilla y estación meteorológica representativa utilizada para la calibración del modelo en el período base (1993-2011).
3. Selección de un punto de la grilla dado por las correlaciones mensuales.
4. Utilizando valores simulados y correlaciones mensuales del punto seleccionado para el período de simulación (2013-2079), se obtienen los valores diarios proyectados para las variables deseadas.
5. Se obtienen valores simulados asociado al período base, dado los valores obtenidos del modelo realizado por DGF y las correlaciones, con el objetivo de comparar mediante una curva de duración entre estos valores simulados y observados.

A modo de ejemplo, se muestran en la Figura 5.1 y Figura 5.2, dos correlaciones mensuales para ambas variables meteorológicas. En las cuales se busca relacionar los valores de las variables observadas en la estación Cogotí Embalse y los simulados por el modelo PRECIS para el período base en la misma zona. Con el objetivo de mejorar la relación entre valores observados y simulados, se realiza correlaciones por tramos, para representar correctamente las diferentes tendencias entre ambos registros, evitando sobreestimar o subestimar, según sea el caso, valores futuros producto a una única tendencia de correlación. El resto de las correlaciones mensuales, se encuentran disponibles en anexos digitales.

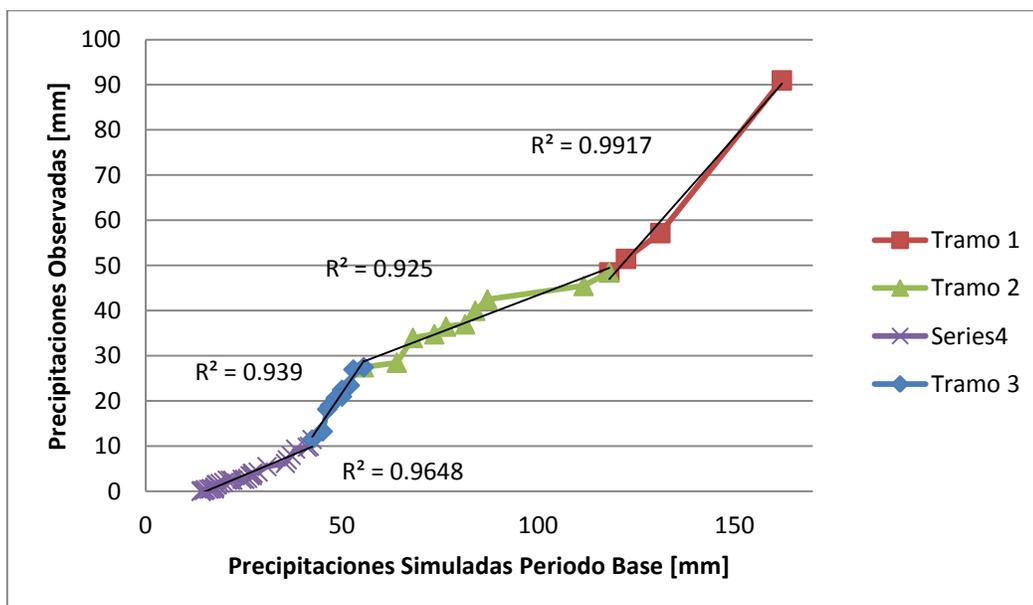


Figura 5.1: Correlación por tramos para Precipitación de Junio.

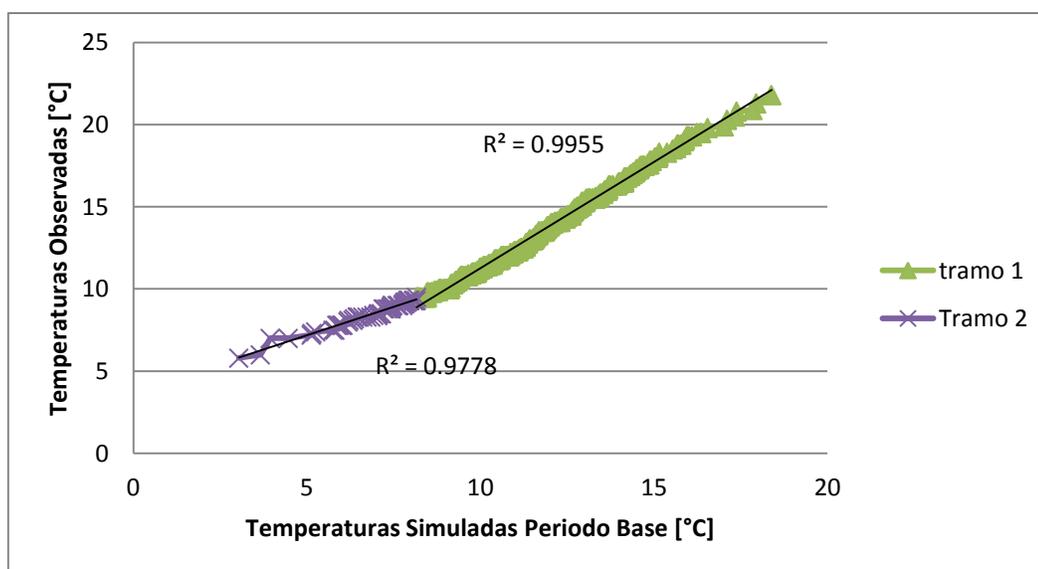


Figura 5.2: Correlación por tramos para Temperatura de Julio.

Es importante mencionar que al trabajar por tramos según las tendencias, se obtienen excelentes correlaciones en todos los casos, tanto para las temperaturas como para las precipitaciones. Sin embargo, dada las pequeñas frecuencias de eventos de precipitación en los meses de Enero, Febrero y Marzo, estos datos se reúnen y se trabajan en conjunto. De igual forma se realiza para los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre, figuras que se encuentran disponibles en anexos digitales.

Basándose en las correlaciones mensuales por tramos mencionadas anteriormente se proyectan las variables meteorológicas de Precipitación y Temperatura, obtenidas por el modelo PRECIS, para el período base en la estación Cogotí Embalse. Estas proyecciones se comparan mediante

una curva de duración con respecto a los datos observados en dicha estación, resultados que se presentan en la Figura 5.3 y Figura 5.4.

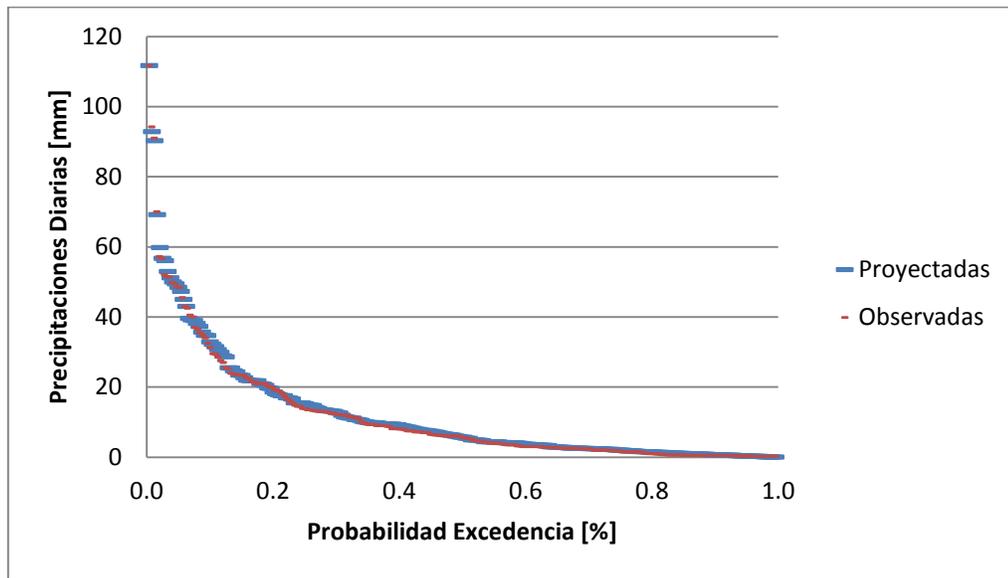


Figura 5.3: Curva de duración para Precipitaciones observadas y proyectadas por el modelo PRECIS para período base 1993 - 2010 en Estación Cogotí Embalse.

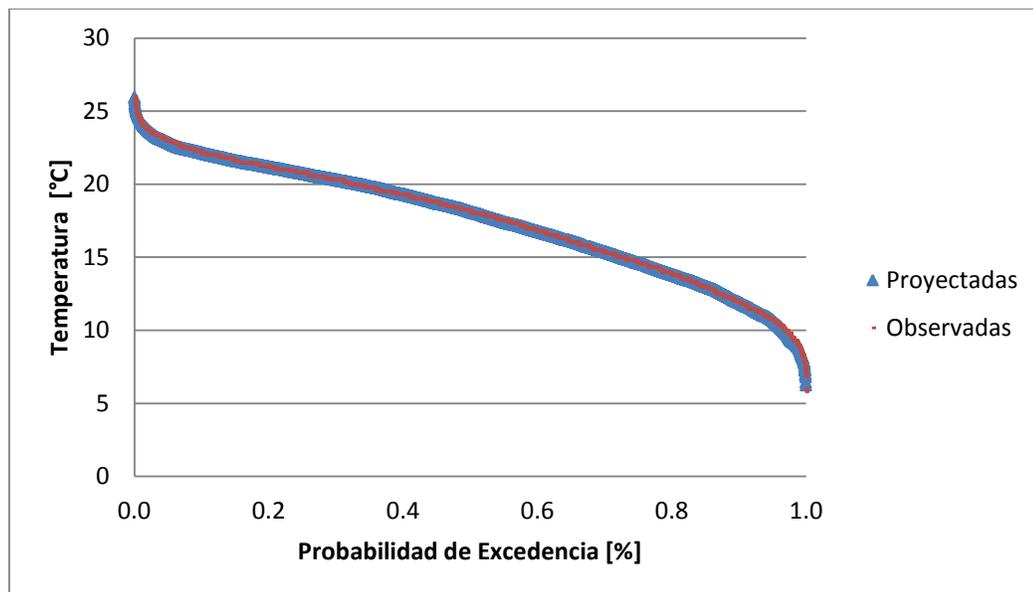


Figura 5.4: Curva de duración para Temperaturas observadas y proyectadas por el modelo PRECIS para período base 1993 - 2010 en Estación Cogotí Embalse.

De las curvas de duración presentadas anteriormente, se desprende que las correlaciones por tramos definidas tanto para el parámetro de temperatura como de precipitación, son adecuadas, pues permiten representar correctamente la situación base observada en la estación Cogotí Embalse dado los valores obtenidos por el modelo PRECIS.

CAPÍTULO 6: RESULTADOS

6.1 PROYECCIONES

Dado que se encuentra el proyecto del embalse La Tranca (MN Ingenieros, 2011) en etapa de factibilidad, se contempla una situación futura considerando el embalse con sus respectivas características. Una de ellas es el volumen óptimo determinado igual a 50 hm³, el cual es definido principalmente, bajo las consideraciones económicas e hídricas. En consecuencia, se analiza si efectivamente el embalse logra almacenar un volumen suficiente e importante, dado los caudales afluentes proyectados de la sub-cuenca asociado a La Tranca. Los volúmenes afluentes proyectados para el embalse La Tranca se muestran en la Figura 6.1.

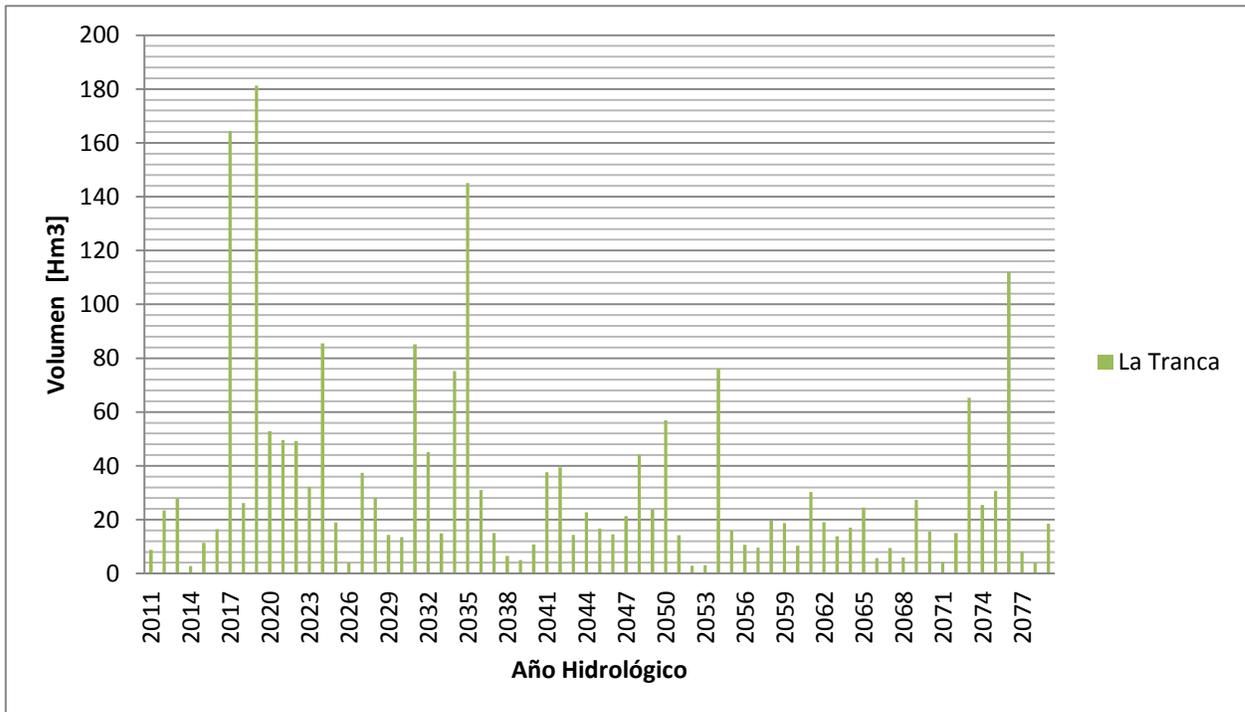


Figura 6.1: Proyección Volúmenes afluentes al Embalse La Tranca.

En las proyecciones de la figura anterior se obtiene una gran cantidad de años con escaso volumen de agua y un bajo número de años con volúmenes importantes. Dado esto, se justifica enormemente la construcción de un embalse que almacene y regule el recurso, otorgando mayor seguridad de abastecimiento a la zona de estudio.

En la Figura 6.2 y Figura 6.3, se muestran los caudales proyectados bajo el escenario A1B del modelo PRECIS simulados con el programa WEAP en la estación Cogotí en Fragueta.

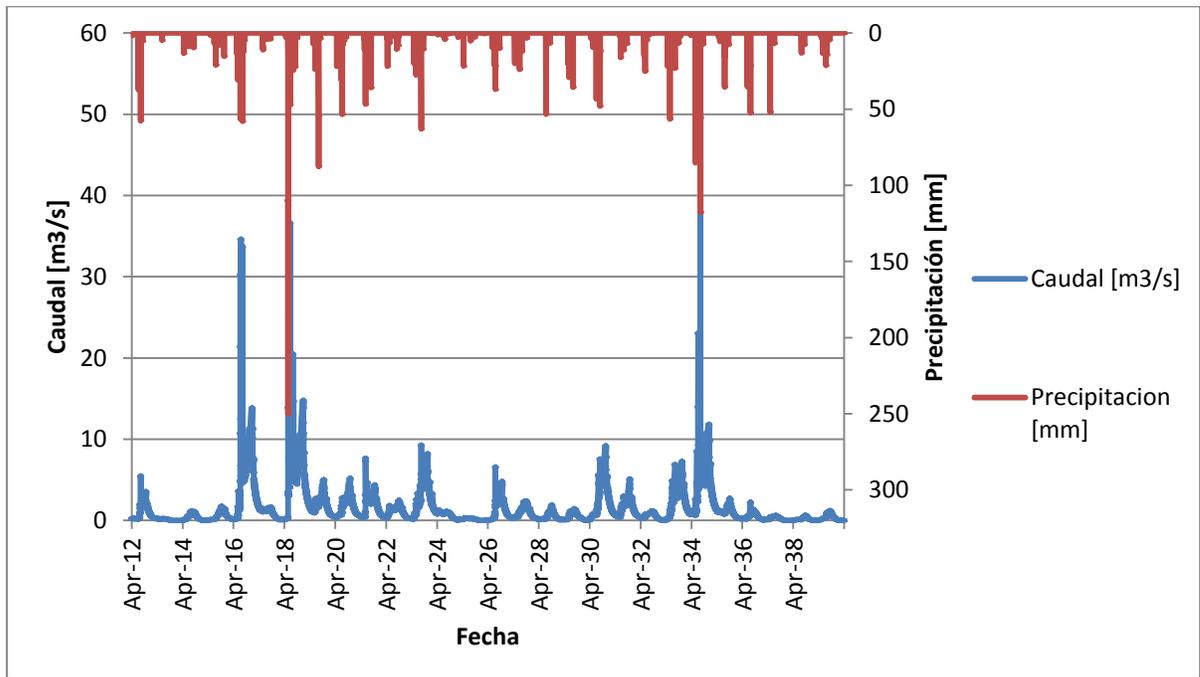


Figura 6.2: Proyecciones Caudales y Precipitaciones 2013 - 2040 en Cogotí en Fraguata.

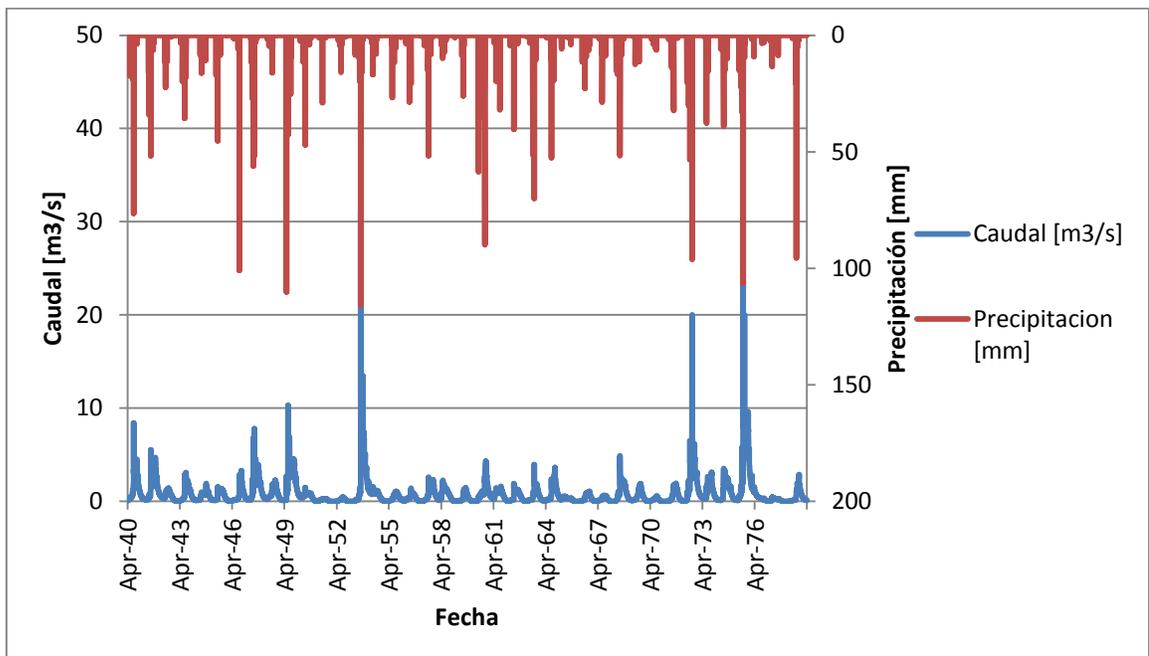


Figura 6.3: Proyecciones Caudales y Precipitaciones 2041-2079 en Cogotí en Fraguata.

Con el objetivo de comparar los resultados proyectados con respecto a los observados tanto para el período de calibración como validación y simulados en Línea Base, se realizan curvas de duración, las cuales indican las probabilidades de ocurrencia para ciertos valores. La curva de duración del parámetro de temperatura para distintos períodos se presenta en la Figura 6.4, mientras que en la Tabla 6.1, se muestra un resumen de las temperaturas asociadas a una probabilidad de excedencia igual al 50%.

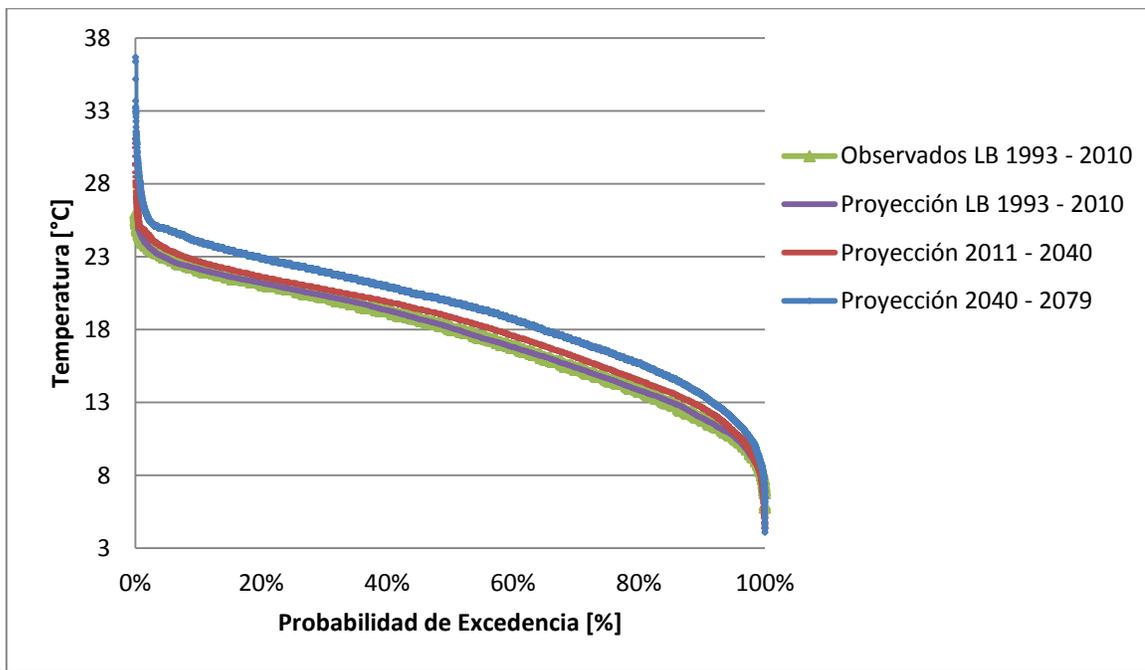


Figura 6.4: Curvas de duración de Temperatura en la estación Cogotí Embalse.

Tabla 6.1: Resumen de valores - Curva de duración de Temperatura [°C].

Probabilidad	1999 - 2008	2011 - 2040	2040 - 2079
50%	18.2	18.9	19.9

En el caso de la temperatura se observa un aumento general para todas las probabilidades de excedencia. Particularmente, la temperatura media diaria asociada a una probabilidad de 50% presenta un aumento en 0.7°C (4%) para el período 2011 - 2040, mientras que de igual forma, aumenta en 1.7°C (9%) para 2041-2079 con respecto al período de calibración y validación.

Para la variable meteorológica de precipitación, la curva de duración se muestra en la Figura 6.5. De ella se observa una disminución temporal de la magnitud de estos eventos para los valores medios y bajos, por otro lado, existe un aumento en los valores de eventos de precipitaciones con baja probabilidad de excedencia en el período 2011 - 2040; mientras que para el último período simulado (2041 - 2079) se igualan las magnitudes de los eventos extremos respecto al período 1955 - 2010.

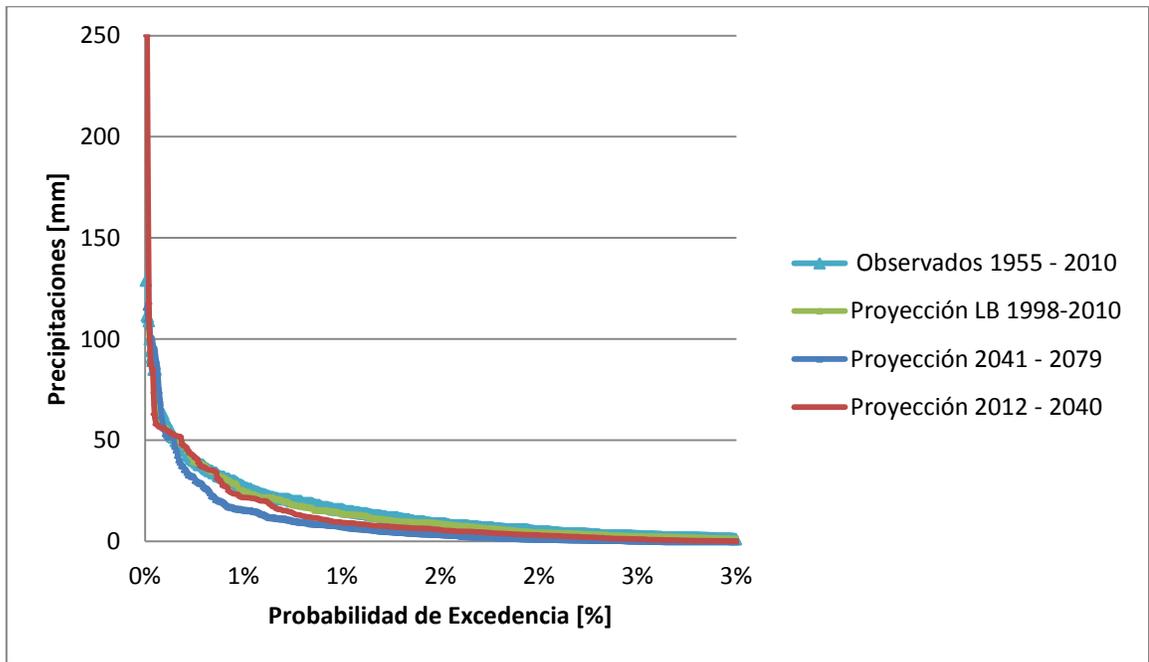


Figura 6.5: Curvas de Duración de Precipitaciones en la estación Cogotí Embalse.

De igual forma que para las variables meteorológicas, se comparan valores proyectados y observados de caudales mediante una curva de duración, la cual se muestra en la Figura 6.6.

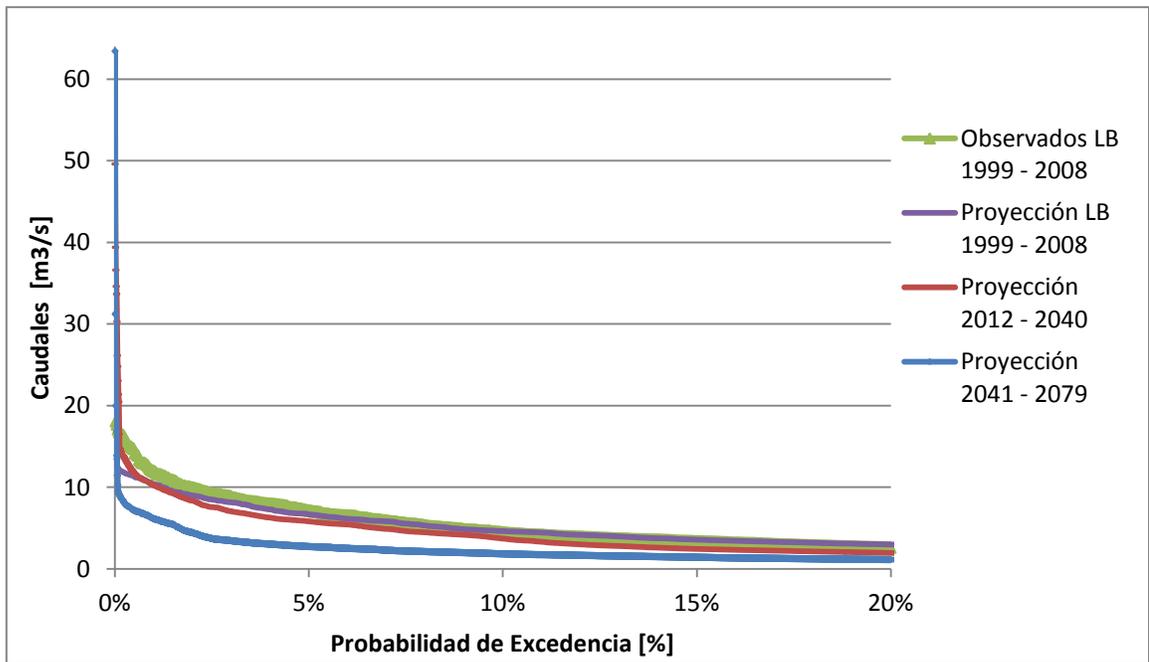


Figura 6.6: Curva de Duración de Caudales en la estación Cogotí en Fragueta.

Al comparar los valores observados versus los resultados simulados en el período de Línea Base, se observa que los caudales asociados a altas probabilidades de excedencia son similares, sin embargo, para probabilidades menores al 5%, los resultados simulados subestiman a los valores observados, tal como se muestra en la Figura 4.8. En relación a las proyecciones futuras se

observa que los caudales medios y bajos disminuyen considerablemente en el tiempo, exceptuando los valores altos, los cuales para una probabilidad de excedencia muy baja aumentan fuertemente alcanzando valores cercanos a los 63 [m³/s] para el período futuro (2040 - 2079), como se muestra en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2: Resumen de Curva de Duración de Caudales [m³/s].

Probabilidad de Excedencia [%]	1999 - 2008 Observados	2012 - 2040	2041 - 2079
0.01%	18.1	49.61	63.43
1%	12.0	10.23	6.14
5%	7.2	5.83	2.74
10%	4.5	3.71	1.85
25%	2.2	1.62	0.95
50%	1.1	0.64	0.33
75%	0.6	0.20	0.10
90%	0.3	0.07	0.01
95%	0.3	0.01	0.00

La disminución porcentual de caudales se encuentra disponible en la Figura 6.7. En ella se aprecia, por ejemplo, que el caudal medio, al cual se le asocia una probabilidad de excedencia de 50%, disminuye en un 39% en su valor con respecto a la situación de calibración y validación para el período 2012 - 2040, mientras que para el período 2041 - 2079 el caudal medio alcanza un valor igual al 31% del caudal medio actual. Lo que evidencia una disminución de caudal realmente preocupante en el tiempo.

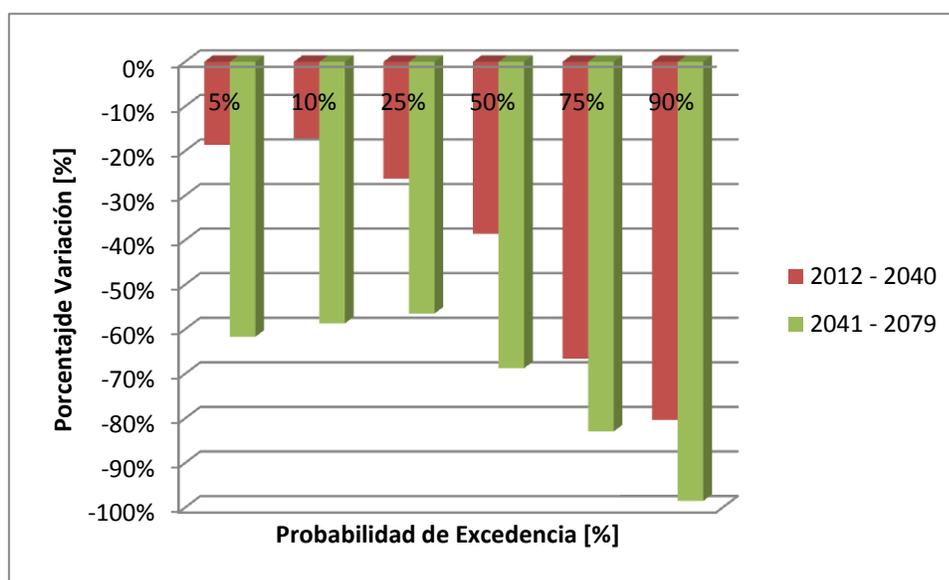


Figura 6.7: Variación porcentual de Caudales con respecto al período de Calibración y Validación.

6.1.1 Régimen Hidrológico de la Cuenca.

Un elemento relevante a analizar, es el período en el cual se presentan los caudales más elevados. Con este objetivo, se muestran en la Figura 6.8 los hidrogramas promedio, considerando los valores medios diarios observados en la estación Cogotí en Fraguita (2000 - 2008) y los simulados en línea base y para los períodos futuros.

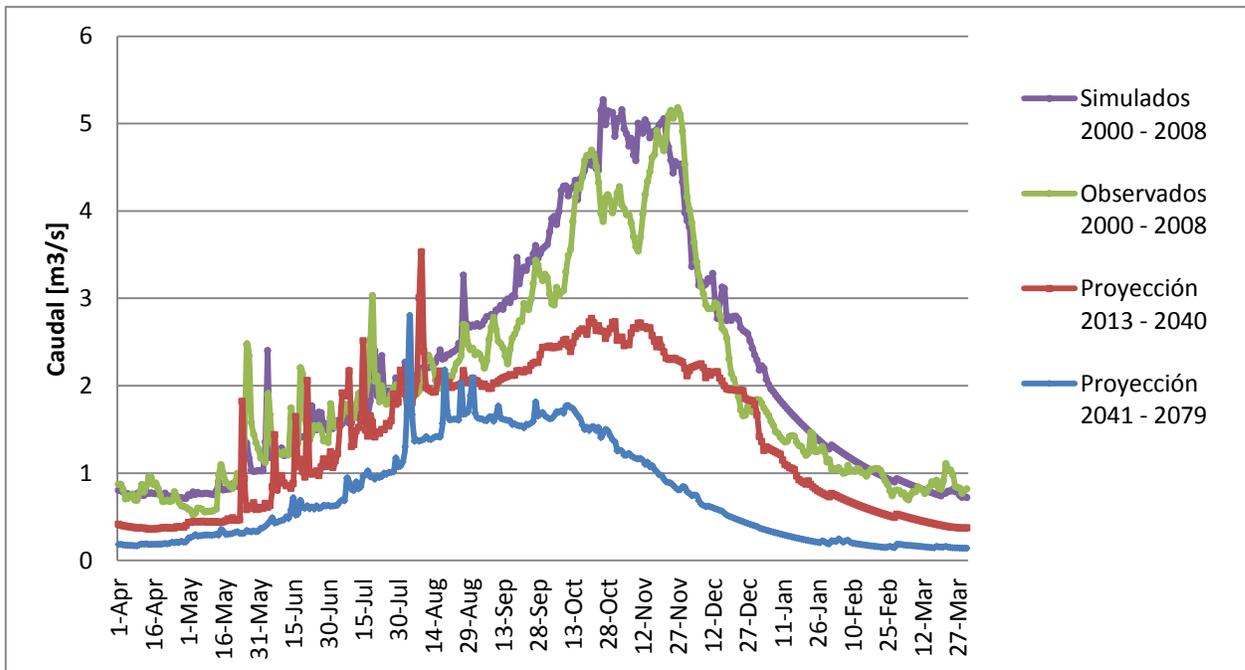


Figura 6.8: Curva de variación estacional para los valores simulados y observados.

El régimen hidrológico de la cuenca para el período observado de calibración y validación (2000-2008) es nivo - pluvial, debido principalmente a que presenta sus mayores caudales en el período nival (específicamente en Noviembre), pero además, presenta eventos importantes de precipitación en el período pluvial. De manera muy semejante se comportan los caudales simulados por el modelo WEAP en el mismo período de Línea Base, sin embargo, a pesar de presentar el mismo régimen hidrológico con respecto a los datos observados, presenta un pequeño anticipo en el caudal máximo, el cual ocurre en el mes de Octubre.

De las proyecciones simuladas, se observa una disminución importante en los valores de caudales provenientes del período nival, esto debido principalmente al aumento de temperatura y a la importante disminución de nieve. Particularmente para el período 2013 - 2040, se obtiene una disminución más significativa de los caudales en el período de deshielo que en el pluvial, permitiendo a los eventos de precipitación ser un factor más relevante en la generación de la escorrentía. Además, existe un anticipo temporal de los caudales máximos en el período de deshielo, ocurriendo los mayores valores en Octubre.

El período 2041 - 2079 presenta un anticipo de los caudales máximos, presentándose en Agosto (Período Pluvial). Si bien para este último período los eventos de precipitación disminuyen considerablemente desde Marzo a Julio, se observa que los caudales más importantes se generan en el mes de Agosto provenientes de eventos de precipitación. Con esto, se obtiene una transición del régimen hidrológico en la cuenca cambiando de nivo - pluvial a pluvio - nival.

6.2 SEGURIDAD DE ABASTECIMIENTO

Dado las proyecciones obtenidas con el modelo WEAP, se realiza un balance hídrico mensual adoptando el volumen de control señalado en la Figura 6.9, donde se muestran las variables de entrada y salida consideradas.

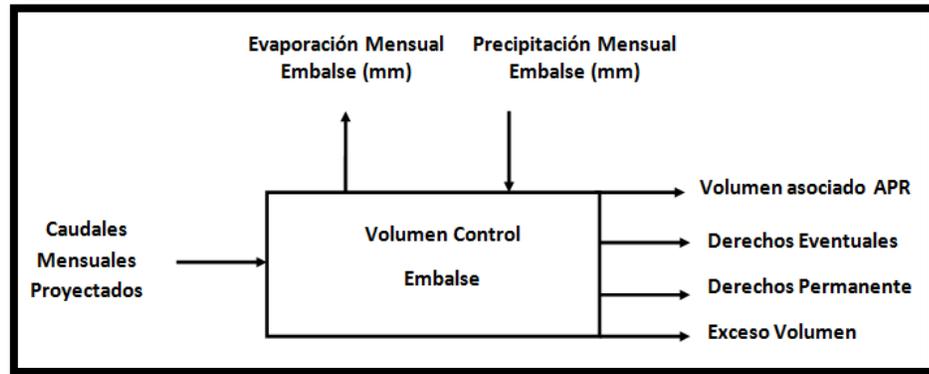


Figura 6.9: Balance hídrico mensual.

Los resultados de las proyecciones de los volúmenes según el balance hídrico mensual realizado se presentan en la Figura 6.10.

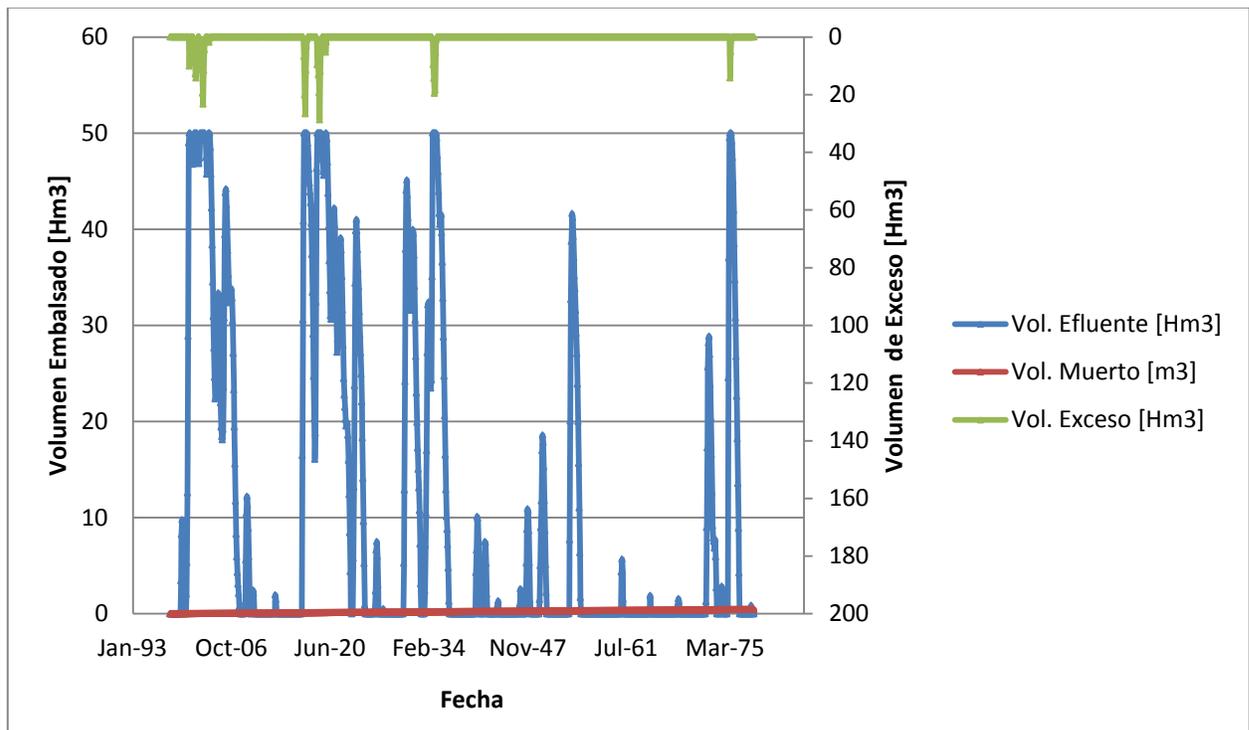


Figura 6.10: Operación del embalse La Tranca, período 2011-2079.

Este balance se genera priorizando en primer lugar la entrega de agua por parte del embalse para los sistemas de APR, posteriormente la demanda de derechos permanentes y finalmente la demanda de derechos eventuales. Del gráfico se desprende que para algunos años húmedos, se rebalsará un volumen de agua importante, el cual no podrá ser almacenado debido principalmente

a la limitante de un volumen fijo proyectado en 50 millones de metros cúbicos, valor que corresponde a la capacidad óptima de diseño del embalse. El volumen no almacenado por el embalse, se muestra en la Tabla 6.3

Como observación, se puede mencionar que si bien es baja la frecuencia de eventos no almacenados por el embalse, la magnitud de estos volúmenes es considerable en relación a la demanda de los sistemas de agua potable rural, pues por ejemplo, almacenar 2 millones de m³ adicionales podría abastecer durante 10 años a estos sistemas.

Tabla 6.3: Volumen mensual no almacenado por el embalse La Tranca.

Fecha	Vol. Exceso [Hm ³]
oct-16	6,8
nov-16	20,1
dic-16	26,7
ene-17	11,6
feb-17	3,1
mar-17	0,8
ago-18	9,8
sep-18	9,6
oct-18	13,1
nov-18	19,3
dic-18	28,8
ene-19	12,0
feb-19	3,3
mar-19	1,0
oct-19	5,4
nov-19	1,7
ago-34	0,4
sep-34	9,6
oct-34	14,4
nov-34	19,6
dic-34	18,5
ene-35	5,4
feb-35	0,9
nov-75	14,2
dic-75	5,1
ene-76	0,4

Una vez generado el balance hídrico y determinado el volumen mensual disponible en el embalse, se calcula la seguridad de abastecimiento por parte del embalse a los sistemas de APR, considerando como primera prioridad la demanda de su suministro, resultados que se presentan en la Figura 6.11. De ella se desprende, que a pesar de realizar la consideración de priorizar la demanda de estos sistemas, existen años puntuales con baja seguridad de abastecimiento debido a

la escasa disponibilidad de recursos hídricos para suplir la demanda de estas localidades, y en consecuencia, del resto de los derechos de aprovechamiento.

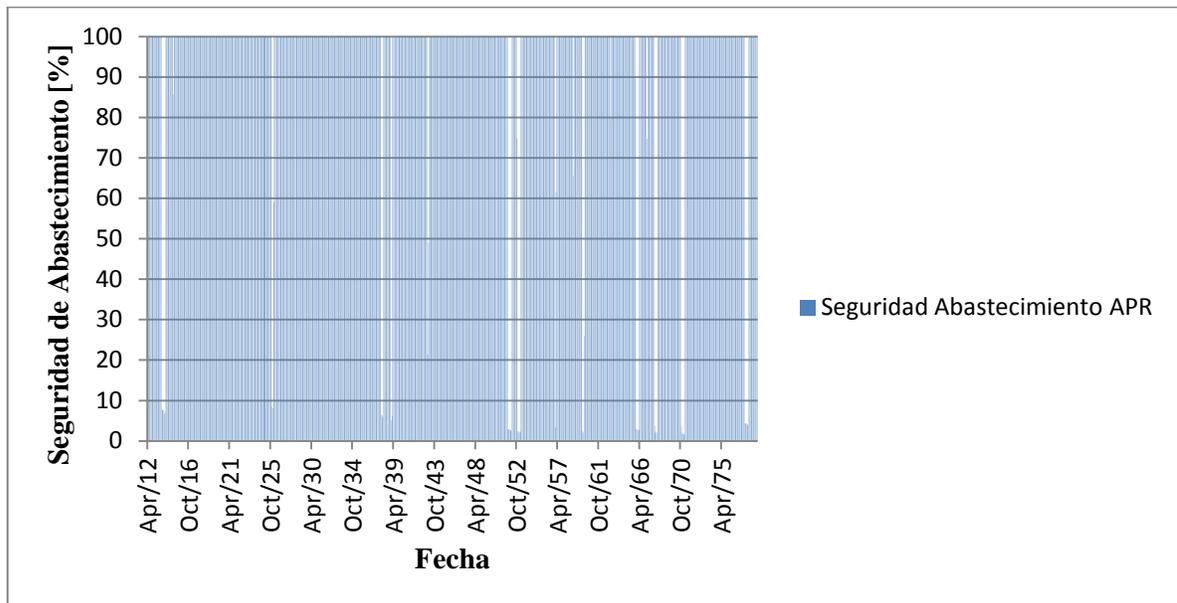


Figura 6.11: Seguridad de Abastecimiento del embalse a los sistemas de APR.

Es importante mencionar que los resultados de seguridad de abastecimiento presentados en la Figura 6.11, son calculados sujetos a la demanda variable de los sistemas de APR para el período 2012 - 2049, sin embargo, dado que la demanda futura entre los años 2050 - 2080 (ver Tabla 3.11) es mayor que el caudal adoptado de entrega, equivalente a 6 [lts/s], la demanda adicional a este caudal otorgados por el embalse, deberá ser abastecida con los derechos de aprovechamiento que poseen actualmente.

CAPÍTULO 7: MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Es importante señalar que existen varios tipos de medidas al alcance del ser humano que le permiten adaptarse frente a situaciones adversas, como lo es por ejemplo el Cambio Climático. Dentro de estas soluciones es posible encontrar tanto medidas estructurales como de gestión y planificación (no estructurales). Las primeras, están asociadas a la construcción de nuevas obras e infraestructuras como la creación de un embalse. Mientras que las segundas, permiten una planificación y preparación para enfrentar situaciones presentes y futuras, como por ejemplo, la elaboración de planes de alerta temprana frente a inundaciones.

Dadas las preocupantes proyecciones obtenidas en la cuenca afluente del futuro embalse La Tranca, se proponen algunas medidas de adaptación no sólo para las comunidades con sistemas de APR involucradas, sino que también para la cuenca en general.

7.1 SEGURIDAD DE ABASTECIMIENTO EN SISTEMAS DE AGUA POTABLE RURAL.

De la Figura 6.11 se desprende que existen varios períodos en donde los sistemas de APR son abastecidos por el embalse con una seguridad muy por debajo del 80%, debido a que el volumen embalsado no es suficiente para suplir las demandas de las comunidades, a pesar de ser

considerada como primera prioridad. Debido a la importancia de abastecer a la población rural y considerando que las comunidades de APR utilizarán el 100% del volumen disponible para ellas, se sugiere como primera medida de adaptación, almacenar en períodos de abundancia el volumen necesario para suplir al menos el 80% de la demanda de estas comunidades en períodos de escasez hídrica (Años secos) para el período 2012 - 2049, y suplir al menos el 80% del total del caudal de entrega (6 [lts/s]) para el período 2050-2080. Tras esta consideración, la seguridad de suministro por parte del embalse para estos sistemas de APR mejora, presentando sólo algunos meses con una seguridad menor a la máxima (100%), las cuales se presentan en la Tabla 7.1, mientras que el período total se presentan en la Figura 7.1.

Tabla 7.1: Meses con Seguridad de Abastecimiento para sistemas de APR menor al 100%.

Fecha	Seguridad Abastecimiento APR	Fecha	Seguridad Abastecimiento APR
nov-13	80	feb-57	80
dic-13	80	ene-59	80
ene-14	80	ene-60	80
feb-14	80	feb-60	80
mar-14	80	mar-60	80
feb-15	86	feb-63	80
dic-25	80	nov-65	90
ene-26	80	dic-65	80
feb-26	80	ene-66	80
dic-37	80	feb-66	80
ene-38	80	mar-66	80
feb-38	80	feb-67	80
ene-39	80	dic-67	80
feb-39	80	ene-68	80
ene-43	80	feb-68	80
feb-43	80	mar-68	80
nov-51	80	nov-70	80
dic-51	80	dic-70	80
ene-52	80	ene-71	80
feb-52	80	feb-71	80
mar-52	80	mar-71	80
nov-52	80	nov-77	80
dic-52	80	dic-77	80
ene-53	80	ene-78	80
feb-53	80	feb-78	80
mar-53	80	mar-78	80
ene-57	80		

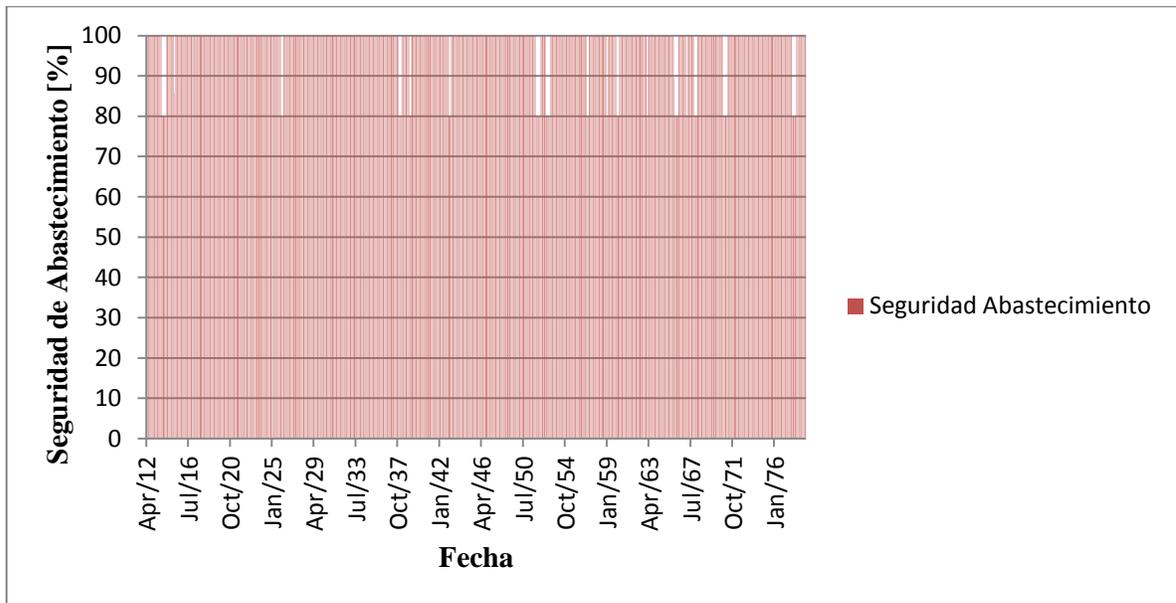


Figura 7.1: Seguridad de Abastecimiento para APR, almacenando agua en períodos húmedos.

Con estos resultados, es posible comentar que para los años con un seguridad de abastecimiento a los sistemas de APR por parte del embalse menor al 100%, deberán utilizarse los derechos de aprovechamientos de agua para suplir la diferencia en la demanda, especialmente para el período 2050 - 2080. Adicionalmente, se muestra en la Figura 7.2 y Figura 7.3, la seguridad de abastecimiento para los derechos permanentes y eventuales, respectivamente.

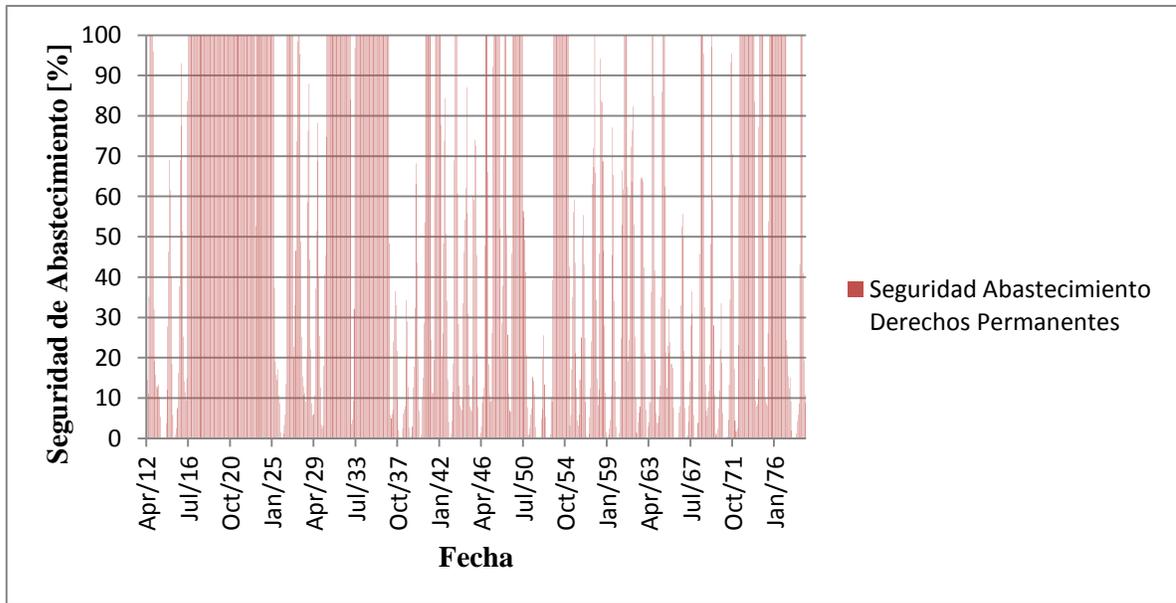


Figura 7.2: Seguridad de Abastecimiento para los derechos permanentes.

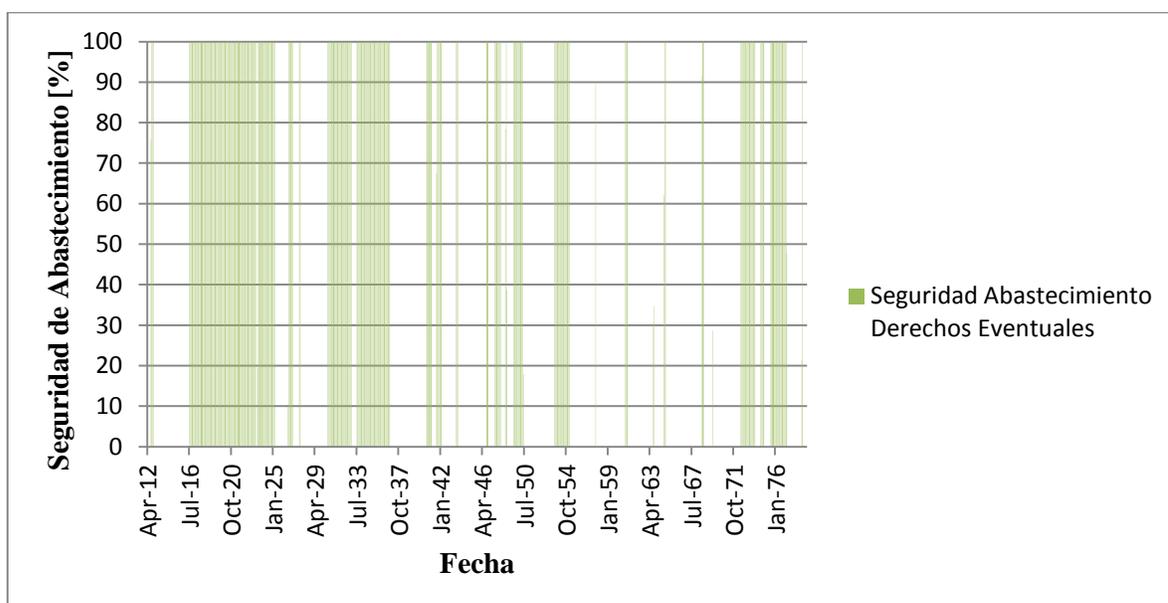


Figura 7.3: Seguridad de Abastecimiento para los derechos eventuales.

De la Figura 7.2 y Figura 7.3, se obtiene que la seguridad de abastecimiento es bastante irregular, teniendo años con 0 a 100% de satisfacción en la demanda. Peor aún, se observa una disminución general importante en la seguridad de abastecimiento a partir del año 2037 tanto para los derechos permanentes como eventuales.

7.2 ORGANISMO SUPERIOR DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE RURAL.

Debido a la realización de nuevas obras de acuerdo al proyecto el embalse La Tranca, los sistemas APR deberán organizarse para administrar y operar los fondos necesarios para posibles fallas y reposición de obras de conducción, además de velar por el acuerdo establecido correspondiente a los volúmenes de agua que les serán entregados por el embalse La Tranca.

En consecuencia, se plantea en este informe, conformar un organismo superior a las comunidades o sistemas de APR, para cumplir con los objetivos anteriormente mencionados. Los puntos más importantes a discutir respecto a esta institución son los siguientes:

Miembros del organismo superior: Se propone que este organismo este conformado por uno o dos miembros de las directivas de cada una de las localidades de APR involucradas, y mediante votación se elija una directiva, para dar una mejor estructura de organización.

Cobros de operación, mantenimiento y otros: Se propone distribuir proporcionalmente todos los costos, según el número de arranques de cada sistema o el volumen de agua utilizado en cada uno de ellos. Algunos de los costos que se deben definir son los siguientes:

1. Sueldo secretaria administrativa y operario.
2. Honorarios contador.
3. Fondo de reposición por la vida útil de las obras.
4. Gastos administrativos, de operación y de mantención.
5. Gastos de construcción o arriendo de oficina.
6. Multas.

Ubicación de oficina: Para minimizar gastos, se propone utilizar instalaciones ya construidas de algunos de los sistemas seleccionados.

Período de cargo: La directiva se regirá por ley, ya sea de cooperativas u organizaciones sociales.

7.3 GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS.

Tras visita a terreno y conversaciones con algunos de los actores principales de la zona, se logran percibir varios elementos que generan conflictos o que no permiten un manejo en conjunto y eficiente del recurso hídrico por parte de todos los actores. Algunas de las observaciones se señalan a continuación:

- No existe conciencia real, a nivel de la zona, de la escasez hídrica y escenarios futuros.
- No existe coordinación entre derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas y superficiales.
- No hay medidas en conjunto a mediano y largo plazo relacionado con los efectos del Cambio Climático.
- No existe un adecuado manejo de información de los pobladores respecto, por ejemplo, a derechos y deberes relacionados con el recurso hídrico.
- Malas prácticas en diversos sectores, por ejemplo, alteración de medidores de agua para disminuir pagos en cuentas.
- Conflictos entre regantes, municipio y sistemas de APR.
- Diferencia en obras de captaciones, permitiendo, en algunos casos, la obtención de mayores caudales que los correspondientes.
- Problemas con venta de derechos de aprovechamientos de agua, especialmente en años secos, en donde al regar por turnos a sectores afectados por venta de derechos, menor es el tiempo de captación del agua.

Debido a estas observaciones, se plantean las siguientes recomendaciones:

1. Generar conciencia a nivel local acerca de la escasez hídrica y efectos del Cambio Climático, integrando a las personas y comunidad a ser parte consumiendo eficientemente los recursos hídricos. Además, muchos pobladores desconocen acerca de sus beneficios y deberes respecto al uso del agua, por lo que se puede educar no sólo a los estudiantes, sino que también a toda la comunidad.
Un hecho concreto, sería incentivar a los colegios de la zona, por ejemplo, a realizar el proyecto escolar de reutilización de aguas grises provenientes de lavamanos para riego (López Trujillo, 2007), además de incluir en la malla curricular, talleres o cursos atinentes a este tema y la particularidad de cada zona.
2. Trabajo en conjunto en beneficio común entre regantes, municipios, comunidades de APR y actores afectados o beneficiados con respecto a planes de corto, mediano y largo plazo. Algunas ideas en las cuales profundizar son por ejemplo: Fiscalizar extracciones de aguas ilegales, distribuir correctamente el recurso considerando los diversos usos competitivos, construir y operar obras en beneficio común, e integrar soluciones en períodos de sequías.

Relacionado con el punto anterior, se estima muy apropiado respaldar la propuesta realizada por la Comisión de Aguas del Instituto de Ingenieros (Instituto de Ingenieros, 2012), la cual propone

una gestión integrada de los recursos hídricos, de manera de abordar problemáticas en conjunto a corto, mediano y largo plazo frente a adversidades importantes.

Ha quedado demostrado que el actuar de manera independiente por parte de los actores, velando por beneficios particulares, no genera una óptima solución para la comunidad, inclusive en algunos casos complican más aún el escenario. En general, se desconocen las interacciones o repercusiones que una acción genera en otros actores, tal es el caso por ejemplo, de aumentar la eficiencia de riego aguas arriba en conjunto con el revestimiento de canales, lo cual genera menos pérdida en el sector agrícola, disminuyendo considerablemente la infiltración y volumen de agua captado aguas abajo. Esto ocasiona problemas no sólo de distribución del recurso hídrico, sino que además, problemas entre la población. El seccionamiento de cuencas genera otros conflictos, debido a la posibilidad de utilizar toda el agua de una sección (sujeto a derechos de agua) dejando sin disponibilidad de recursos al río, provocando además de sequía, problemas ecológicos.

Es por ello que esta propuesta invita a actuar de forma conjunta debido a las innumerables interacciones entre actores presentes en las cuencas, que actualmente no se relacionan entre sí. A continuación se presenta un resumen de este análisis:

Se propone una Gestión Integrada de Recursos Hídricos definida por el Instituto de Ingenieros (Instituto de Ingenieros, 2012) como: ***“un proceso permanente de coordinación entre entidades públicas y privadas, orientado a entregar una visión de conjunto de las acciones que ellas realizan, de acuerdo con el marco jurídico, económico e institucional vigente, con el propósito de abordar y solucionar situaciones características de la interacción de la sociedad con los recursos hídricos en una cuenca o grupo de cuencas, en que las acciones independientes o parciales, no ofrecen una adecuada respuesta y solución”***.

El objetivo es impulsar la creación de una nueva identidad denominada Consejo de Recursos Hídricos de la cuenca o grupo de cuencas (CRH), la cual tendrá un carácter coordinador que considera la participación privada, ciudadana y pública, siendo una maduración de distintas iniciativas pasadas.

Los principales objetivos de esta entidad propuesta son:

- Otorgar una instancia de análisis y debate de problemas de gestión hídrica con una visión de mediano y largo plazo.
- Coordinar las ideas orientadas a la materialización de las soluciones.
- Realizar un seguimiento y actualización de las medidas propuestas.
- Representar los intereses comunes de los beneficiarios ante terceros, además de promover iniciativas de interés común.

Para ello, los CRH deben tener las siguientes características:

- Debe ser una entidad formal, regulada por ley con determinadas funciones y obligaciones, cuya constitución debiera ser refrendada por la autoridad pública.
- Debe ser una entidad pública/privada (Ejemplo de España y Francia).
- Presentar autonomía, personalidad jurídica propia, independientes del Gobierno de turno, representando legítima y permanentemente el interés de actores de la cuenca.
- Flexible para adaptarse a las diferentes realidades geográficas del país.

- Deberán actuar en un área exclusiva la cual tiene que ser aprobada por una autoridad pública (Intendente regional). El área puede extenderse a una cuenca o a un grupo de cuencas.
- Creación sólo en lugares que se requiera.
- Transparencia en los procesos y determinación.

Es importante señalar que se espera que los CRH puedan ser conformados por 4 tipos de miembros:

- Instituciones públicas pertenecientes a la administración central del Estado, relacionadas directamente con las problemáticas asociadas al recurso hídrico, las cuales pueden variar según la zona. Algunas instituciones como por ejemplo: DGA, DOH, SERNATUR, SINIA, CNE, etc.
- Habitantes del sector, representados por las municipalidades y juntas de vecinos, si les corresponde.
- Organizaciones de usuarios de aguas (OUA), los que representarán a los titulares de derechos de aprovechamiento de agua, etc.
- Empresas relacionadas con productos involucrados con recursos hídricos, y que además posean una participación incidente.

Además, podrán ser miembros permanentes en calidad de observadores sin derecho a voto, personas jurídicas tales como universidades, centros de investigación, etc. aportando su conocimiento técnico o experiencia en la materia.

Otros detalles relevantes, acerca del financiamiento y composición de los CRH, se encuentran en el documento publicado por la comisión de aguas del Instituto de Ingenieros en el año 2012 (Instituto de Ingenieros, 2012).

7.3.1 Medida de Adaptación asociadas a la “Gestión Integrada de Recursos Hídricos”.

De crearse tal institución que actúe en conjunto entre los actores principales, y el manejo de fuentes tanto superficiales y subterráneas, se propone las siguientes medidas para las comunidades con sistemas de APR:

- Las comunidades con sistemas de agua potable rural seleccionadas por el proyecto del embalse La Tranca, deberán abastecerse con el volumen acordado de agua destinada por este proyecto, lo cual permitiría obtener una mayor seguridad de abastecimiento a esas localidades, especialmente en años secos. Esto permitiría suplir con volumen de agua asociado a los derechos de aprovechamiento de los sistemas de APR seleccionados por el proyecto del embalse, la demanda de comunidades que actualmente la municipalidad debe abastecer con camiones aljibes, reduciendo costos en compras de volúmenes de agua a la empresa sanitaria de la Región de Coquimbo (Aguas del Valle S.A.), especialmente en el período 2012 - 2049.
- Al reducir considerablemente la extracción de agua subterránea, disminuiría los efluentes del acuífero solidarizando con su recuperación. Controlando extracciones ilegales, el acuífero puede ser utilizado como reservorio para años problemáticos o secos, de esta forma se estaría realizando un uso conjunto entre fuentes superficiales y subterráneas en beneficio de toda la comunidad.

- Se propone que los miembros de la directiva del organismo superior de los sistemas de APR sean parte del Consejo de Recursos Hídricos, con el objetivo de representar a toda la comunidad de agua potable rural, velando por la seguridad de abastecimiento del recurso hídrico para sus sistemas, además, de hacer respetar el acuerdo establecido con el embalse La Tranca, y ser parte importante de las decisiones que se formulen en los consejos de recursos hídricos.

7.4 EFICIENCIA DEL RECURSO HÍDRICO.

Dado la inminente escasez de agua es importante aumentar la eficiencia en su uso, a pesar de que los volúmenes considerados para agua potable rural son mínimos, se recomienda tanto para las comunidades rurales como para toda la cuenca en estudio implementar nuevas tecnologías que permitan reducir y consumir eficientemente el recurso hídrico. Si bien, renovar los artefactos sanitarios es costoso, se propone una introducción gradual de estos productos, idealmente subsidiados por el Estado.

Existen varias empresas en el mercado que ofrecen este tipo de productos, por lo que se recomienda realizar una cotización personal, dada la alta variación de precios. La mención, más adelante, de alguna marca o tipo, no persigue generar propaganda a alguna empresa particular sino más bien señalar artefactos disponibles.

Algunas alternativas que se proponen se encuentran en la plataforma web de construcción sustentable (IDIEM, 2012) que presentan certificación LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), el cual es un método de evaluación de construcciones verdes que mide principalmente el uso eficiente de energía.

Los requerimientos de caudales en los artefactos para obtener la certificación LEED, se encuentran publicados en la Tabla 7.2.

Tabla 7.2: Requerimientos de caudal para certificación LEED.

	Línea Base LEED (Estándar UPC - IPC)
WC doble descarga	6 lpd.
Grifería de baño	8.3 lpm. (60psi)
Grifería de cocina	3.8 lpd.
Grifería de Ducha	9.5 lpm. (80 psi)

Fuente: adaptado de U.S. Green Building Council, 2009.

*lpd: Litros por descarga.

*lpm: Litros por minutos.

7.4.1 Artefactos sanitarios eficientes:

7.4.1.1 Inodoros:

Artefactos de inodoros más antiguos utilizan cerca de 9 lpd (Litros por descarga), mientras que para tener una certificación LEED deben descargar sólo 6 litros. Adicionalmente, existen artefactos más eficientes con doble descarga e interrupción de ella, los cuales permiten al usuario

escoger entre dos volúmenes y adicionar el paro automático de la descarga al volver a pulsar el botón. Algunos ejemplos de estos productos se muestran en la Figura 7.4 y Figura 7.5.

WC DOBLE DESCARGA				
IMAGEN	PRODUCTO	CODIGO TAZA	CODIGO TANQUE	DESCARGA DEL ARTEFACTO *
		MAGNET Salida Horizontal	JB207H204	JB207Q203
MAGNET Salida Vertical		JB207V203	JB207Q203	0.7 - 1.0 gpf 2,7 - 3,7 lpd
	AKIM Salida Horizontal	JB207H206	JB207Q205	0.8 - 1.1 gpf 3,0 - 4,0 lpd
	AKIM Salida Vertical	JB207V205	JB207Q205	0.9 - 1.0 gpf 3,2 - 3,9 lpd

Figura 7.4: Descripción de WC doble descarga con certificación LEED.

Fuente: IDIEM, 2012.

WC CON FLUXOMETRO				
IMAGEN	PRODUCTO	CODIGO TAZA	CODIGO FLUXOR	DESCARGA DEL ARTEFACTO *
		WIDDER Salida Horizontal	JB207H302	HILO80306
WIDDER Salida Vertical		JB207V303	1.0 gpf 3,7 lpd	

Figura 7.5: Descripción de WC con fluxómetro con certificación LEED.

Fuente: IDIEM, 2012.

Otra alternativa a los WC de doble descarga, es la incorporación de urinarios para reducir el consumo de agua, ejemplos de ellos se muestran en la Figura 7.6.

IMAGEN	CÓDIGO COMERCIAL		CARACTERÍSTICAS
	PRODUCTO	FLUXÓMETRO	
	W3- AFS-522LT-TF	-	Instalación : Colgado en muro : Dimensiones Generales: 434x360x905mm : Material: Porcelana Sanitaria : Presión de operación: 14,504 – 116,032PSI (1-8 BAR) : Funcionamiento: Sensorizado, no touch : Consumo: 0.3 LPD
	W3- UH03TP	FU-102P	Urinario Instalación : Colgado al muro : Dimensiones Generales :310x350x545 mm : Material : Porcelana Sanitaria : Consumo: 0.8 LPD Fluxómetro :Instalación: Expuesto : Dimensiones Generales :142 x 92 mm : Material Metal cromado : Presión de operación: 14,50 PSI - 116,03 PSI

Figura 7.6: Descripción de urinarios con certificación LEED.

Fuente: IDIEM, 2012.

7.4.1.2 Griferías

Si bien, la mayor demanda de agua ocurre en el baño, toda reducción de consumo y aumento de eficiencia hídrica es importante debido a la situación de sequía actual y futura. Elementos de griferías más eficientes y bajo certificación LEED se señalan en la Figura 7.7, Figura 7.8, Figura 7.9 y Figura 7.10. A modo de comparación, es importante señalar que, según la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS, 2012), griferías normales tanto en cocina como en baños, utilizan un caudal igual a 15 litros por minuto, mientras que, griferías en duchas utilizan un caudal igual a 20 litros por minuto.

7.4.1.2.1 Grifería Duchas:

GRIFERÍAS DE DUCHAS						
PRODUCTO		CODIGO GRIFERÍAS			FLUJO DEL ARTEFACTO*	
	LAUTER	Mezclador empotrado tina-ducha	HJL010113	1.3 gpm (5.5 bar)	5.1 lpm (80psi)	
		Rociador antivandálico modelo Weigen	HJL008303			
	LAUTER	Mezclador empotrado sólo ducha	HJL010114	1.3 gpm (5.5 bar)	4.9 lpm (80psi)	
		Rociador anti vandálico modelo Weigen	HJL008303			

Figura 7.7: Grifería de duchas 1 con certificación LEED.

Fuente: IDIEM, 2012.

	LEAST	Monomando / mezclador exterior tina - ducha	HJL010152	1.1 gpm (5.5 bar)	4.2 lpm (80psi)
	LEAST	Mezclador exterior solo ducha cromado	HJL010151	1.2 gpm (5.5 bar)	4.7 lpm (80psi)

Figura 7.8: Grifería de duchas 2 con certificación LEED.

Fuente: IDIEM, 2012.

7.4.1.2.2 Grifería Baño y Cocina

GRIFERÍAS CONVENCIONALES				
PRODUCTO	CODIGO GRIFERÍAS		FLUJO DEL ARTEFACTO *	
	LAUTER	HJL010127	0.9 gpm (4bar)	3.3 lpm (60psi)
	LEAST	HJL010150	1.1 gpm (4bar)	4.2 lpm (60psi)

Figura 7.9: Griferías convencionales con certificación LEED.

Fuente: IDIEM, 2012.

GRIFERÍAS TEMPORIZADAS				
PRODUCTO	CODIGO GRIFERÍAS		FLUJO DEL ARTEFACTO *	
	BOJEN NOTE	CWL010001	0.08 gpc (4bar)	0.30 lpc (60psi)
	BOJEN NOTE	CWL002001	0.13 gpc (4bar)	0.50 lpc (60psi)

Figura 7.10: Griferías temporizadas con certificación LEED.

Fuente: IDIEM, 2012.

7.4.1.3 Reductores de caudal

Una alternativa adicional y más económica, es la utilización de dispositivos reductores en tuberías de lavados o duchas, los cuales reducen en un 50% el caudal, por ejemplo reduce el consumo normal de 16 a 8 litros por minuto en un lavaplatos, mientras que en la ducha, pueden reducir de 20 a 10 litros por minuto según datos de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS, 2012). En la Figura 7.11 se muestra un ejemplo de reductores de caudal.



Figura 7.11: Reductores de Caudal.

Fuente: Greensave.²

7.4.1.4 Calentadores de paso

Regularmente al momento de la ducha, se pierde un importante volumen de agua esperando que esta se caliente, para solucionar este problema y consumir eficientemente el agua, se usan los calentadores de paso.

En la Figura 7.12, se presenta una alternativa. Es un calefont de 5 litros de gas licuado de origen chino para casas pequeñas que se activa automáticamente al abrir la llave e inmediatamente envía agua caliente. Posee 52 cm. de alto , 32 cm. de ancho y 16 cm. de fondo.



Figura 7.12: Calentador de paso.

Fuente: Splendid³.

² GreenSave. Catálogo de productos reductores de caudal y otros. <<http://www.greensave.cl/>>

³ Splendid. <<http://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/1202049/Calefon-5-litros-Gas-Licuado-Ionizado-Master?passedNavAction=push/>>

7.4.1.5 Sistema Innovadores de reuso de Aguas Grises

Se proponen dos sistemas que reutilizan el agua del lavamanos para la descarga de inodoros. Consiste en regular y almacenar el agua del primero en el estanque del WC, de esta manera se reutiliza un importante volumen de agua. El primer sistema más sencillo se muestra en la Figura 7.13, otro sistema se señalan en la Figura 7.14.



Figura 7.13: Sistema N1 de reuso de agua de lavamanos para descarga de WC.

Fuente: Profeso - Blog.⁴



Figura 7.14: Sistema N2 de reuso de agua de lavamanos para descarga de WC.

Fuente: Diseño de baño compacto.⁵

⁴ Profeso - Blog. Cuarto de Baño sostenible.

<<http://construccionbioclimatica.blogspot.com/2010/06/cuarto-de-bano-sostenible-reutilizar-el.html>>

⁵ Diseño de baño compacto: Ahorro de agua y espacio.

<<http://sansekerta-advertising.com/2012/03/disenio-de-bano-compacto-ahorro-de-agua-y-espacio/>>

7.5 SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES.

Dada la importante escasez hídrica de la zona, es fundamental cualquier tipo de reutilización del agua. Se consideran como aguas grises, las aguas residuales domésticas con excepción de las provenientes de inodoros y urinarios, debiendo realizar una subdivisión de ambas fuentes para poder tratar las primeras. La composición de aguas grises varía según lugar, ingreso económico, vivienda, edad de habitantes, clima, productos de limpieza utilizados, etc. Sin embargo, en la Figura 7.15 se presenta una composición porcentual media aproximada sobre la procedencia de aguas grises.

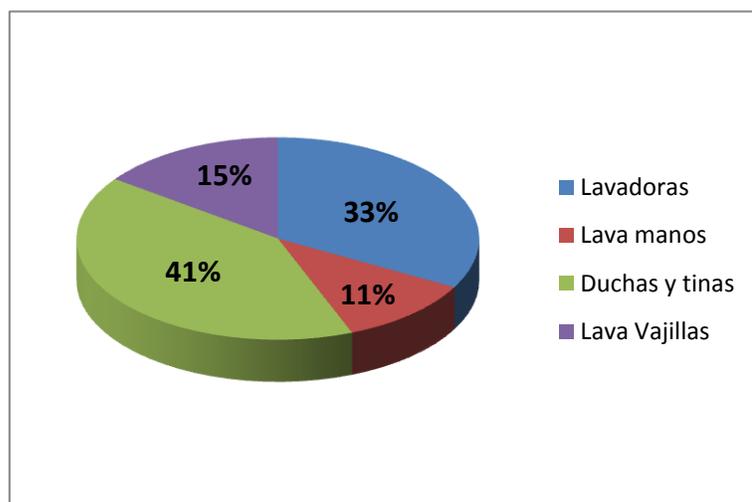


Figura 7.15: Composición de Aguas Grises.

Fuente: Franco, 2007.

Del análisis (Franco, 2007) se obtiene que la composición de dos muestras del norte de Chile (Vallenar y Calama) no difieren mucho de los promedios internacionales, como se señala en la Tabla 7.3 principalmente porque no dependen de la fuente de agua potable sino más bien del uso al interior del hogar. Por esta similitud, es posible aplicar tratamientos utilizados internacionalmente.

Tabla 7.3: Composición de Aguas Grises en Chile.

Parámetros	Calama	Vallenar
DBO5 Total [mg/l]	194	384
DQO [mg/l]	457	719
SS a 105°C [mg/l]	70	119
NK [mg/l]	9.3	6.14
P [mg/l]	3.94	4.9
CF [NMP/100ml]	1500	13000

Fuente: Franco, 2007.

7.5.1 Sistema de tratamiento de Aguas Grises.

Existen distintos usos para las aguas grises, dependiendo principalmente del tipo de tratamiento a seguir. En esta oportunidad, se plantea como medida de adaptación aumentar el reuso hídrico tratando las aguas grises provenientes del hogar para su reutilización en riego de árboles y vegetación.

Mediante un esquema tridimensional elaborado en Google Sketchup, en la Figura 7.16, Figura 7.17 y Figura 7.18, se explica el sistema propuesto que consiste en un filtro de arena para remover aceites y grasas en aguas grises, un estanque de almacenamiento enterrado, un sistema de bombeo y una manguera para aplicar en riego el agua tratada. Mayores detalles de los elementos del sistema se adjuntan en el ANEXO B al final de informe y en anexos digitales.

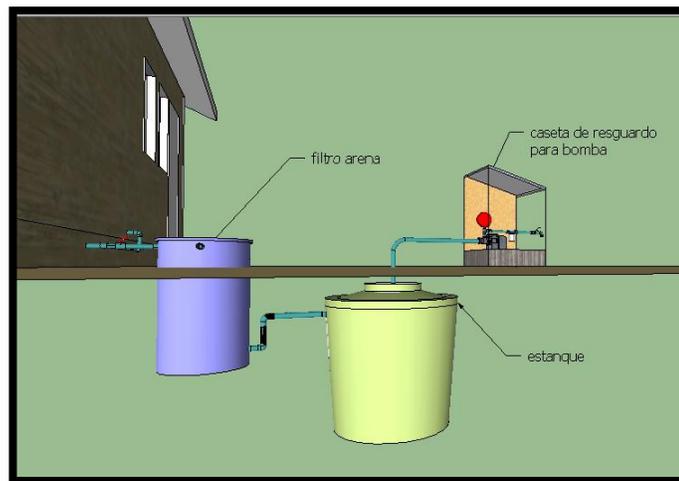


Figura 7.16: Esquema completo del sistema de reutilización de Aguas Grises.

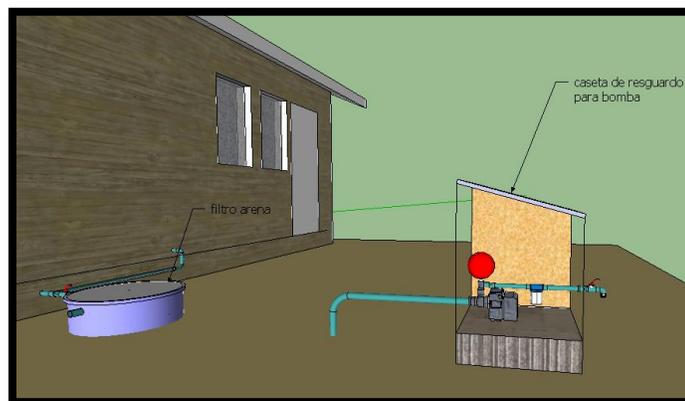


Figura 7.17: Elementos del sistema sobre la cota de terreno.

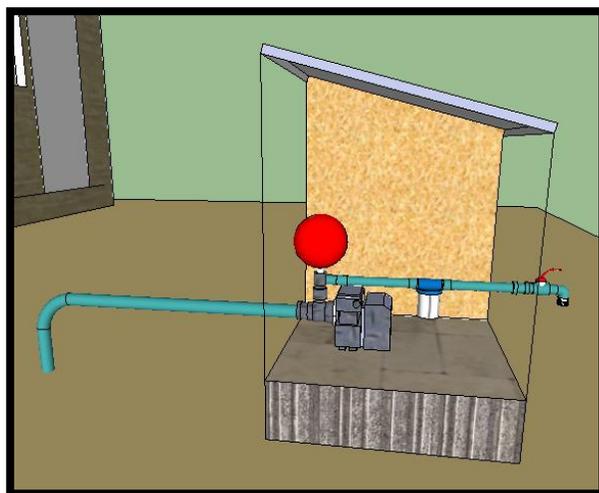


Figura 7.18: Caseta de resguardo y sistema de bombeo (Hidropack y filtro de malla).

El agua tratada por este sistema está destinada al uso de riego, sin embargo, puede ser reutilizada al interior del hogar realizando las conexiones de fittings correspondientes a estanques de descarga (Inodoros) o a la zona de lavado.

En la Figura 7.19, se muestra la composición porcentual media aproximada según origen de las aguas servidas. Si bien estos porcentajes varían según ingreso económico, clima, etc. sirven para ejemplificar que la producción de aguas grises se encuentra entre un 60 y 70% del total de aguas residuales (Franco, 2007). Considerando por ejemplo que el 60% del agua residual en el hogar corresponde a aguas grises, y además, un consumo mensual igual a 12.4 [m³] de una familia constituida por 4 personas, con una dotación de 120 [lts/hab/d], es posible destinar a riego o al reuso al interior del hogar, un total de 8.6 [m³] mensuales aproximadamente.

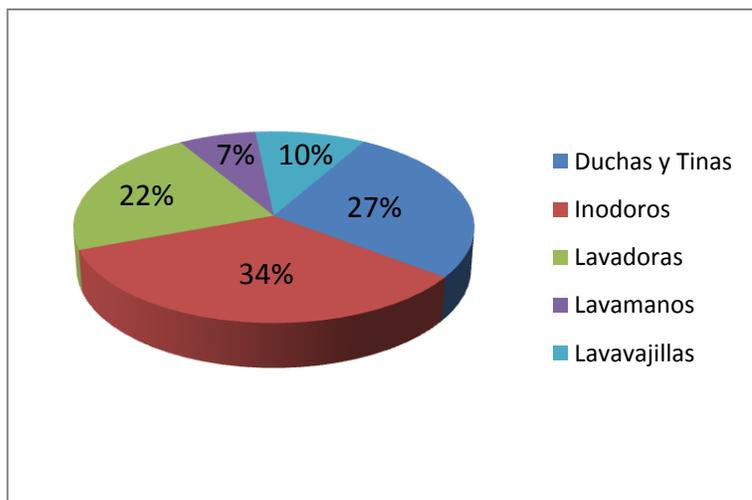


Figura 7.19: Composición de Aguas Servidas según Origen.

Fuente: Franco, 2007.

7.5.2 Análisis económico.

Con la finalidad de demostrar el costo y la facilidad de elaboración de la medida propuesta, en la Tabla 7.4 se presenta un análisis económico del sistema de reuso de aguas grises.

Tabla 7.4: Evaluación económica del sistema de tratamiento de aguas grises propuesto

.ITEM	DESIGNACION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO [\$]	P. TOTAL [\$]
A	MATERIALES				
1.	Fittings				
1.1.	Codos y Tee PVC H. 40 mm.	Un	4.00	220	880
1.2	Codos y coplas PVC H. 25 mm.	Un	4.00	220	880
1.3	Uniones PVC H a estanques	Un	4.00	2176	8,704
1.4	Uniones americanas	Un	2.00	1084	2,168
1.5	Terminales PVC H.	Un	4.00	580	2,320
1.5	Tuberías PVC H 40 mm.	MI	3.00	642	1,926
1.6	Tuberías PVC H 25 mm.	MI	3.00	370	1,110
1.7	Llave PVC H 40 mm.	Un	1.00	5790	5,790
1.8	Llave PVC H 25 mm.	Un	1.00	2942	2,942
1.9	Pegamento PVC, lija	Gl	1.00	2500	2,500
2.	Áridos y caseta de resguardo				
2.1.	Áridos diferente granulometría	M3	0.25	3800	950
2.2	Arena	M3	0.25	3800	950
2.3	Cemento	Kg	10.00	95	950
2.4	Pulgadas madera	Pulg.	4.00	2100	8,400
3.	Equipos				
3.1.	Filtros				
	Filtro plástico lavable 5" (chupador)	Un	1.00	5286	5,286
	Filtro bomba	Un	1.00	14362	14,362
3.2.	Estanque 200 lts. para filtro de arena	Un	1.00	6722	6,722

3.3.	Estanque de almacenamiento	Un	1.00	63432	63,432
3.4.	Bomba	Un	1.00	35286	35,286
3.5	Sistema de Hidropack	Un	1.00	18487	18,487
3.6	Instalación eléctrica	Gl	1.00	12000	12,000
B.	MANO DE OBRA	Gl	1.00	150000	150,000
				SUBTOTAL	346,045
				IVA	65,749
				TOTAL \$	411,794
				TOTAL UF*	18.24

* Cálculo de UF realizada con fecha 24 Septiembre de 2012.

Si bien, el total del presupuesto es igual a \$411,794, existen varias consideraciones posibles de realizar con el objetivo de disminuir costos, por ejemplo:

- El ítem de mano de obra puede quedar a cargo del dueño de la vivienda, economizando la contratación de otra persona. Otra alternativa puede ser realizar las gestiones, para que una empresa instale el sistema de tratamiento en varios hogares, de tal manera de abaratar costos en este ítem.
- Sólo se considera madera en el ítem de construcción de la caseta, sin embargo, esta puede ser reemplaza por cualquier elemento que el dueño del hogar considere apropiado para resguardar los equipos de bombeo y filtración.
- Se considera utilizar PVC Hidráulico para las conexiones debido principalmente a mayor disponibilidad de fittings. No obstante, es posible reemplazar estos elementos por materiales de PVC Sanitarios abaratando costos.
- Si bien en el mercado existen bombas más económicas que pueden cumplir perfectamente con el caudal y presión a trabajar, no presentan repuestos, por lo que su mal funcionamiento deriva en una adquisición de un nuevo equipo. Es posible entonces reducir costos en la compra de un bomba más económica sujeta a la consideración anterior.

Aplicando estas sugerencias, puede obtenerse un presupuesto bajo el umbral de los \$200,000 (IVA incluido). Además, se propone al encargado de ejecución del proyecto realice un análisis económico de la alternativa, debido a la importante variación entre una zona y otra.

CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES

8.1 MODELO WEAP

Si bien la calibración del modelo presenta un coeficiente de Nash - Sutcliffe igual a 0.7, existen varias consideraciones que influyen en no poder ajustar de mejor manera los datos. Entre estas encontramos el pequeño tamaño de la cuenca en estudio (Fraguita) así como, la escala temporal de trabajo, lo que no necesariamente permite al modelo representar adecuadamente los procesos a este nivel de tiempo, por cuanto las lluvias responden rápidamente en la generación de escorrentía en estas cuencas pequeñas y se requeriría de mayor resolución para mejorar su estimación.

Una de las dificultades más relevantes en la modelación, fue representar correctamente el derretimiento de nieve en años húmedos, debido principalmente, a la constante acumulación de ella. Para evitar tal efecto, se adicionó radiación neta, aumentando el derretimiento para representar de mejor manera el volumen de agua generado en el período nival.

Otro de los puntos que dificultó la calibración, fue la sub-estimación de años húmedos y sobre-estimación de años secos, pues al aumentar el volumen de agua simulado para ajustar los caudales máximos, a su vez crecía la sobre-estimación en años secos.

8.2 GENERACIÓN DE ESCENARIOS FUTUROS

Es importante señalar que los resultados proyectados para el período futuro, fueron obtenidos bajos los supuestos aplicados al período de Línea Base, esto debido principalmente, a la escasa disponibilidad de información especialmente en las cotas más elevadas.

El escenario utilizado es igual de probable que cualquier otro, presenta un aspecto optimista al considerar la inserción de tecnologías más eficientes, además del aprovechamiento de otras fuentes de energía de origen no fósil. Basándose en este escenario, se obtiene un aumento en la temperatura en 0.7 °C para el primer período futuro (2012 - 2040) y de 1.7 °C para el segundo período proyectado (2041 - 2079), aumentando en un 4 y 9 % respectivamente, con respecto a la situación actual.

Producto al alza de temperatura y menor frecuencia de eventos de precipitación, se obtiene una disminución importante en la magnitud de los caudales proyectados para la situación futura, en comparación a los observados en el período de Línea Base. Particularmente para el caudal medio diario, asociado a 50% de probabilidad de excedencia, se observa una disminución de 39% para el período futuro más próximo (2012 - 2040), pues de 1.1 [m³/s] en la situación actual, disminuye a 0.64 [m³/s], presentándose una menor disponibilidad de éste recurso. Para el segundo período futuro proyectado, la disminución se acentúa, pues se registra un caudal medio igual a 0.33 [m³/s], indicando una disminución importante igual al 69% del caudal medio diario actual. Resultados bastante alarmantes y desconsoladores, que deben constituir un llamado de atención tanto para los actores principales como para toda la comunidad en pos de la aceleración de las gestiones para prepararnos correctamente a las consecuencias del Cambio Climático.

Otro efecto significativo en la cuenca estudiada, es la anticipación de caudales máximos, pues de presentarse en Noviembre en la situación base, se observa en Octubre para el período 2012 - 2040, mientras que para el segundo período futuro (2041 - 2079) se observa en Agosto, generando un cambio de régimen hidrológico de nivo-pluvial a pluvio-nival. Esto último, es

consecuencia de la importante disminución de caudales de deshielo producto a las elevadas temperaturas y a la escasa presencia de nieve en la cordillera, y demuestra la gran relevancia que tendrán los caudales pluviales en el futuro.

Considerando los resultados de las proyecciones simuladas, observando escasos años con valores importantes de agua y al desplazamiento de caudales máximos hacia al período pluvial, es posible concluir que es necesaria la construcción del futuro embalse La Tranca, obra que almacenará, regularizará y aumentará la seguridad de abastecimiento tanto para las comunidades con sistemas de APR como de regantes. Sin embargo, dado los análisis elaborados en este informe, se propone a MN Ingenieros Ltda., incluir las proyecciones de caudales futuros como afluentes al embalse La Tranca, como también, considerar los beneficios secundarios de aumentar la seguridad de abastecimiento a las comunidades con sistemas de APR en los cálculos asociados a la determinación del volumen óptimo del futuro embalse proyectado en la zona del río Cogotí.

8.3 MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Recopilando información y analizando otros estudios relacionadas con problemáticas de escasez hídrica, todos coinciden en utilizar eficientemente el agua, incentivando por ejemplo, la introducción de artefactos más eficientes y amigables con el medio ambiente. En países más desarrollados en esta materia (Australia, Alemania, etc.), han creado y potenciado el uso de griferías e inodoros más eficientes, encontrando una variedad importante de empresas en el mercado encargados de distribuir y comercializar este tipo de productos.

A diferencia de estos países, en Chile se ha incorporado muy lentamente estas nuevas tecnologías, además, no presenta real preocupación por temas hídricos al nivel que se debiese tener. Con esto, se propone que el Estado de Chile desarrolle una política pública orientada, a incentivar campañas a nivel nacional con el fin de promover la eficiencia de este recurso, además de introducir medidas de reutilización del agua, tal como se realiza en este informe.

Con respecto al sistema de reutilización de aguas grises, su implementación resulta bastante económica, además, presenta la ventaja de trabajar en un espacio reducido con bajo costo de mantención y operación. Tiene la particularidad de anexar, si se desea, conexiones de tuberías desde la bomba hacia el hogar, con el objetivo de redirigir un importante volumen de aguas grises tratadas, a un estanque de WC para su reutilización. Adicionalmente, se puede abaratar aún más los costos de instalación, al aplicar esta medida en más de una comunidad, accediendo a descuentos debido a la comercialización a precios de escala.

Finalmente, es fundamental apoyar la propuesta del Instituto de Ingenieros, debido a la importancia de trabajar en conjunto con todos los actores principales de cada uno de los sectores que presentan problemas. Promoviendo medidas sustentables en beneficio de todos, tanto para hoy como para generaciones futuras. Además, se debe entregar herramientas a la gente rural equilibrando el poder del conocimiento, culturizando a la población de temas relevantes y cotidianos, promoviendo igualdad de oportunidades y condiciones para todas las personas, con el único objetivo de que en el futuro en materia de escases hídrica todos los beneficiados organizadamente hagan frente a las adversidades que se nos presentan.

8.4 COMENTARIOS FINALES

Una de las mayores dificultades que se presentó en la elaboración de esta memoria y actualmente en cualquier investigación sobre el tema, fue la falta de información en el país, su caracterización hídrica y sus implicancias, esto obligó a una búsqueda de información parcializada y repetitiva en diversos estudios ejecutados por separados, no integrados y recabar información en forma de peregrinaje, que manejan sólo algunos funcionarios específicos, lo que implica un desgaste de tiempo y de recursos, para un pronto diagnóstico y posterior diseño del cualquier medida o proyecto. Por lo cual, es muy valorable la actual propuesta del Instituto de Ingenieros de crear zonas unificadas de estudios, especialmente de un organismo que actúe interrelacionando a todos los actores (transversalmente), además de reunir en un sólo lugar (físico o virtual) la información de datos y estudios tanto públicos como privados.

CAPÍTULO 9: BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

AWWA, (1991). Manual of design of slow sand Filtration.

California Department of Water Resources. (2008) Managing and uncertain future: Climate change adaptation strategies for California's water. [En línea] <<http://www.water.ca.gov/climatechange/docs/ClimateChangeWhitePaper.pdf>> [Consulta: 2 de Julio 2012].

CIREN – CORFO, 1990. Atlas Agroclimático de Chile, regiones IV a IX. Publicación N°87, 66 p.

Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, (2007). Acceso a datos del modelo PRECIS-ECHAM. <<ftp://echam:echam2011@mirasol.dgf.uchile.cl/>> [Consulta: 28 de Septiembre 2012].

Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, (2007). Simulaciones de Cambio Climático Regional para Chile obtenidos por el modelo PRECIS-ECHAM. [En línea] <<http://mirasol.dgf.uchile.cl/PRECIS-ECHAM.html>> [Consulta: 28 de Septiembre 2012].

Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, (2007). Estudio de Variabilidad Climática en Chile para el Siglo XXI. [En línea] <<http://www.dgf.uchile.cl/PRECIS/>> [Consulta: 28 de Septiembre 2012].

Department of Energy, Utilities and Sustainability, (2008). "NSW Guidelines for greywater reuse in sewerred, single household residential premises". [En línea] <<http://www.waterforlife.nsw.gov.au/recycling/greywater/>> [Consulta: 28 de Septiembre 2012].

DGA. Red Hidrométrica. [En línea] <<http://www.arcgis.com/apps/OnePane/basicviewer/index.html?appid=d508beb3a88f43d28c17a8ec9fac5ef0>> [Consulta: 28 de Septiembre 2012].

Dirección Meteorológica de Chile. Descripción Meteorológica: Región de Coquimbo. [En línea] <http://www.meteochile.cl/climas/climas_cuarta_region.html> [Consulta: 28 de Septiembre 2012].

Fiebig-Wittmaack et. al., (2008). Aspectos climáticos del Valle del Elqui. [En línea] <<http://www.parc.ca/mcri/pdfs/books/cepeda/2.pdf>> [Consulta: 28 de Septiembre 2012].

Fondo de Protección Ambiental (FPA), (2011). Filtro lento de arena a nivel domiciliario. [En línea] <https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:CFUElR2coo8J:www.fpa.mma.gob.cl/archivos/2012/proyectos/Filtro_lento_de_arena_a_nivel_domiciliario.ppt+&hl=es&gl=cl&pid=bl&srcid=ADGEESgbrkoyrvK32kkYSE_wFjLVO9NX1cPWl_ETXGbejDd8PV29y0XxKdEfBzZijdNQ0HIo6AZ4VYbWrZXJSXp3Saeu0LIPrSkZRH5Uf0zyVtmMANofeP2xQQfjqe9ICsOQt_kb__wsM&sig=AHIEtbSiaxJbtuKo0FZ4Yp0RpgttpGvhmQ> [Consulta: 28 de Septiembre 2012].

Franco Alvarado M. V. (2007) Tratamiento y reutilización de aguas grises con aplicación a caso en Chile. Memoria para optar al título de ingeniero civil, Universidad de Chile.

González Álvarez M.J. (2010) Efecto del Cambio Climático en la seguridad de suministro de agua potable en el gran Santiago. Memoria para optar al título de ingeniero civil, Universidad de Chile.

Idiem. La Plataforma web de la construcción sustentable. [En línea] <<http://www.catalogoverde.cl/>> [Consulta: 28 de Septiembre 2012].

Instituto de Ingenieros de Chile, 2012. Hacia una Gestión Integrada de Recursos Hídricos: Una propuesta. En: Seminario de Política de aguas y gestión integrada de Recursos Hídricos (2012: sede CEPAL, Santiago, Chile).

Instituto Nacional de Estadísticas, (2007). Censo Agropecuario y Forestal 2007 Resultados por comunas. [En línea].

<http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/censos_agropecuarios/censo_agropecuario_07_com_unas.php> [Consulta: 28 de Septiembre 2012].

Instituto Nacional de Estadísticas, (2010). Estadísticas Población, Región de Coquimbo. [En línea] <http://www.inecoquimbo.cl/contenido.aspx?id_contenido=75> [Consulta: 28 de Septiembre 2012].

Instituto Nacional de Estadísticas, (2012). Resultados preliminares Censo de Población y Vivienda 2012. [En línea]

<http://www.censo.cl/2012/08/resultados_preliminares_censo_2012.pdf> [Consulta: 28 de Septiembre 2012].

International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (IFRC), (2009). Climate Change Adaptation Strategies for Local Impact. [En línea] <<http://unfccc.int/resource/docs/2009/smsn/igo/054.pdf>> [Consulta: 28 de Septiembre 2012].

IPCC, (2000). Informe especial del IPCC: Escenario de Emisiones. [En línea] <<http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-sp.pdf>> [Consulta: 30 de Septiembre 2012].

IPCC, (2007). Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [En línea] <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/contents.html> [Consulta: 8 Octubre 2012].

Koslan. Catálogo de bombas. [En línea]

<http://www.koslan.cl/catalogo/productos_pkm60_100356_1.html> [Consulta: 28 de Septiembre 2012].

Kundzewickz Z.W, Mata L.J, Arnell N.W., et al.,(2008) The implications of projected climate change for freshwater resources and their managment. [En línea]

<<http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1623/hysj.53.1.3>>

Mardones G.A. (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.

Ministerio de Energía, (2012). Explorador de Energía Eólica. [En línea] <<http://ernc.dgf.uchile.cl/Explorador/Eolico2/>> [Consulta: 28 Septiembre 2012].

MN Ingenieros Ltda. (2011). Estudio de Factibilidad Construcción Embalse La Tranca en Río Cogotí.

MOP, (2009). Declaración área de Restricción Sectores Hidrogeológicos de aprovechamiento común de la cuenca del río Limarí. [En línea] <http://fiscalia.mop.cl/marconormativo/Documents/novedades_legislativas/Informativo_Juridico_Diario_Oficial_20090901_15.pdf> [Consulta: 28 de Septiembre 2012].

Natural Resources Defense Council (NRDC). (2010) Climate Change and Water Resources Managment: Adaptation Strategies for Protecting People and the Envionment. [En línea] <<http://www.nrdc.org/water/files/waterandclimate.pdf>> [Consulta: 28 de Septiembre 2012].

López Trujillo C. (2009). Guía para la utilización de aguas grises de lavamanos en establecimientos educaciones. [En línea] <http://www.sinia.cl/1292/articles-49934_GuiaLavamanosEducacionAmbiental.pdf> [Consulta: 28 de Septiembre 2012].

P. Krause, D. P. Boyle and F. Base (2005). Comparison of different efficiency criteria for hydrological model. [En línea] <<http://www.adv-geosci.net/5/89/2005/adgeo-5-89-2005.pdf>> [Consulta: 28 de Septiembre 2012].

Portal Gasfitería. [En línea] <<http://www.gasfiter.cl/gasfiteria.htm>> [Consulta> 28 de Septiembre 2012].

Stockholm Environment Institute. Water evaluation and planning system. [En línea] <<http://www.weap21.org>> [Consulta: 28 de Septiembre 2012].

SISS, (2012). Manual para el Hogar. [En línea] <<http://www.siss.gob.cl/577/w3-article-8644.html>> [Consulta: 1 de Noviembre 2012]

U.S. Green Building Council, (2009). Green Building Design and Construction. 2009 Edition. [En línea] <http://assets.ecorussia.info/assets/paragraph_attaches/5564/paragraph_media_5564_original.pdf?1269257430> [Consulta: 28 de Septiembre 2012].

Vicuña S., Garreaud R., and McPhee J., (2008). Climate change impacts on the hydrology of a snowmelt driven basin in semiarid Chile. [En línea] <http://met.dgf.uchile.cl/~rgarreau/PUBS/limar_CC1.pdf> [Consulta: 20 de Septiembre 2012].

Vörösmarty Charles J., et al., (2000). Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth. Science 284-289. [En línea] <http://www.sciencemag.org>

CAPÍTULO 10: ANEXOS

ANEXO A: COMUNIDADES RURALES NO SELECCIONADAS.

Las comunidades que no fueron integradas en el proyecto del embalse La Tranca, se presentan en la Tabla 10.1.

Tabla 10.1: Comunidades rurales no seleccionadas en el estudio.

Localidades	Total Personas	Este	Norte	Cota
El Durazno	317	325434	6555666	1289
Hacienda Cogotí	7	325954	6553279	1366
Rincón de las Chilcas	135	319334	6562427	1162
San Lorenzo	87	317998	6568836	1010
Los Sapos	39	314211	6553458	982
Cristo pobre	12	304698	6569243	
El Duraznito	5	301445	6570301	
El Higueral	38	308762	6540476	1015
La Saucera	20	314391	6571118	839
Mal Paso	42	303634	657671	550
San Marcos 1	478	301957	6572156	567
San Marcos 2	94	302629	6573594	558



Figura 10.1: Comunidades Rurales No seleccionadas.

ANEXO B: DISEÑO DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES.

En la Figura 10.2 y Figura 10.3 se muestra el sistema propuesto de tratamiento de aguas grises para un hogar rural modificado de la guía de utilización de aguas grises (López Trujillo, 2007) aplicado en establecimientos educacionales.

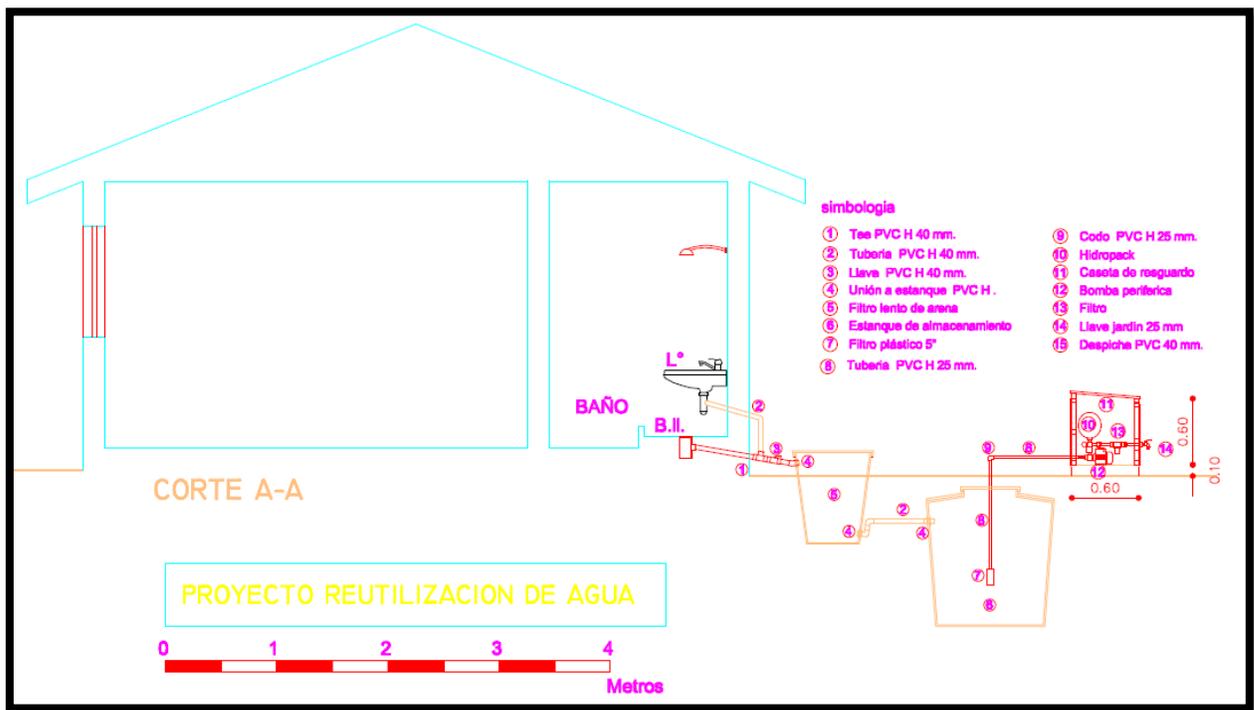


Figura 10.2: Esquema de sistema de tratamiento de Aguas Grises en formato DWG.

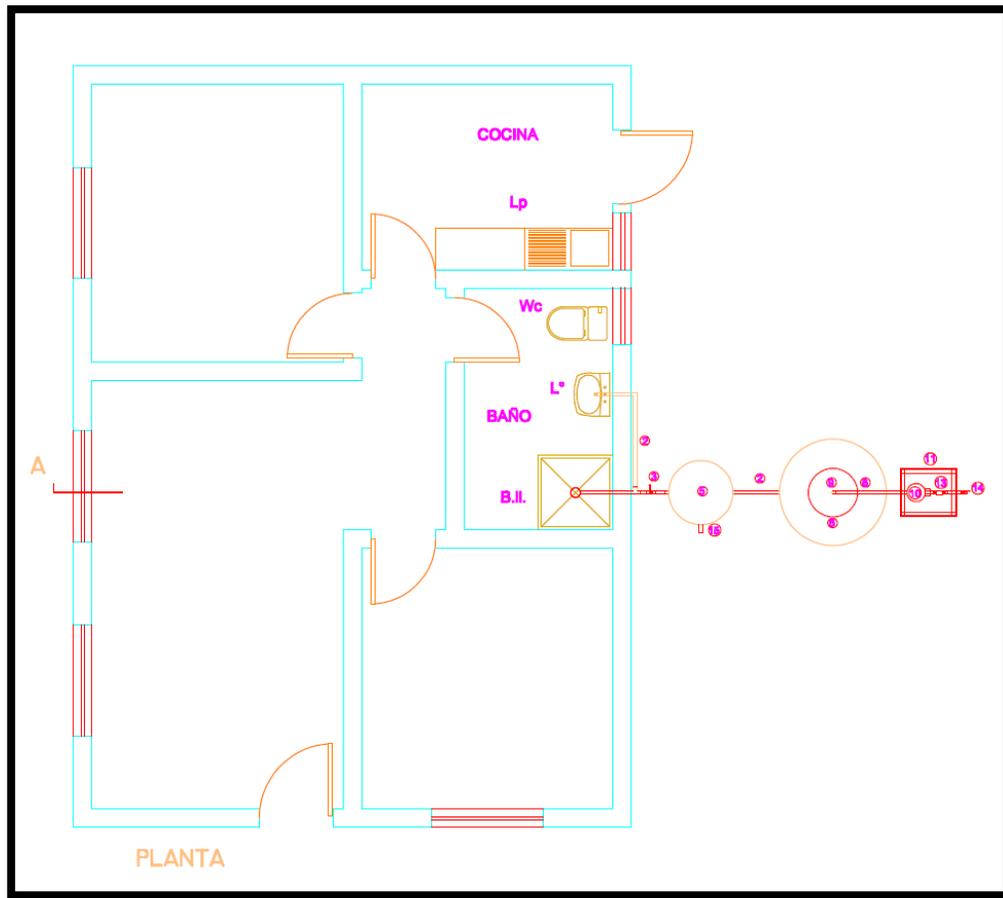


Figura 10.3: Vista en Planta de Sistema de Agua Grises en formato DWG.

10.1.1 Rejilla

En primer lugar se debe instalar una barrera para detener el paso de objetos de gran diámetro para evitar que el sistema de captación se tape. Para ello se instala en las captaciones, ya sea lavamanos o duchas, rejillas aproximadamente de 0.2 mm^2 .

10.1.2 Filtro lento de arena a nivel domiciliario

Con el objetivo de depurar efluentes se utiliza un filtro lento de arena, método que permite separar los sólidos suspendidos del agua, mediante una capa múltiple de elementos de diferentes granulometrías.

Ventajas de los filtros lentos

1. Mejora tanto la calidad física, química y bacteriológica del agua.
2. La eficacia en la eliminación de bacterias totales es igual que en los filtros rápidos.
3. No se requiere compuestos químicos.
4. Mantenimiento y operación realizada por el usuario.
5. El proceso de filtración es llevado a cabo por gravedad.

En la Tabla 10.2, se presenta el porcentaje de eficiencia para los parámetros más importantes:

Tabla 10.2: Eficiencia de remoción - Filtración Lenta.

Parámetro	Eficiencia [%]	Nivel Máximo
Turbiedad [UNT]	75	<50 sin tratamiento
Color [UC]	25	5 - 10
Carbono Orgánico Total	25	Ninguna
Bacterias Coliformes	99 - 99,9	Ninguna
Giardia [quistes/m3]	99,9 - 99,99	10 - 50

Fuente: AWWA, Manual of design of slow sand Filtration, 1991.

Según la literatura, puede usarse como tratamiento único de la calidad de agua cruda, especialmente para sistemas pequeños, siempre y cuando el afluente presente una turbiedad menor a 15 UC, color bajo de 25 UC y NMP de coliformes fecales por debajo de 500.

Se recomienda arena como material poroso del lecho filtrante, debido principalmente a que es barato, inerte, durable y brinda buenos resultados.

El filtro consiste en un tanque con una capa sobrenadante de agua a tratar, una capa de arena clasificada donde el agua fluye verticalmente en la arena removiéndose partículas en suspensión y bacterias, y un sistema de drenaje en el fondo del estanque.

En la Tabla 10.3, se presentan criterios de diseño para un filtro de arena para una comunidad de agua potable rural, mientras que en la Figura 10.4 se muestra un ejemplo de este.

Tabla 10.3: Parámetros de diseño para Comunidad APR - Filtración Lenta.

Criterio	Recomendación Agua Potable Rural
Tasa [m/h]	0.1 - 0.2
Área por filtro [m ²]	5 - 200
Profundidad Lecho Arena [m]	0.8 - 0.9 Inicial 0.5 - 0.6 Mínimo
Arena TE [mm] CU	0.15 - 0.3 <5 (mejor <3)
Profundidad Medio soportante [m]	0.3 - 0.5

Fuente: AWWA, Manual of design of slow sand Filtration, 1991.



Figura 10.4: Filtro de Arena.

Fuente: López Trujillo, 2007.

Dado que el tratamiento de agua grises es sólo para un hogar, la composición del material al interior del tanque es la siguiente:

1. Arena fina lavada de río o arroyo: El diámetro de la arena debe estar entre 0.15 y 0.3 milímetros y un coeficiente de uniformidad menor a 5. El espesor al interior del tambor es de alrededor de 60 cm.
2. Gravilla, cascajo o piedra china delgada: Tamaño aproximado de 1 a 1.5 centímetros. El espesor al interior del tambor es de alrededor de 5 cm.
3. Grava y gravilla, cascajo o piedra china delgada o gruesa: Se extrae de las riberas de los ríos, con un tamaño entre 2 a 3 centímetros, deben ser duras y redondeadas, con un peso específico superior a 2.5, además debe estar libre de limo, arena y materia orgánica. El espesor al interior del tambor es de alrededor de 8 cm.

Se requiere un estanque vertical para fabricar el filtro, de tal manera de poder incorporar los materiales finos y gruesos al interior de éste, tal como se muestra en la Figura 10.5. Este estanque podría ser inclusive un tambor con el objetivo de abaratar costos.



Figura 10.5: Estanque utilizado para Filtro lento de arena.

10.1.3 Tanque de Almacenamiento

Considerando un almacenamiento para una familia de 4 personas de una comunidad rural, se utiliza un estanque de almacenamiento de 1000 lts. de Polietileno, presentado en la Figura 10.6, debiendo estar enterrado para evitar el contacto con personas y seres vivos. Particularmente el utilizado en este ejemplo, posee una altura de 1150 mm y un diámetro mayor de 980 mm.



Figura 10.6: Estanque de almacenamiento.

10.1.4 Sistema de Bombeo.

Posteriormente se conecta el sistema de filtro y almacenamiento a la bomba de regadío. La cual también se encuentra cubierta por una caseta domiciliaria para proteger este sistema de la intemperie. Los elementos constituyentes de este sistema son los siguientes:

- Bomba

Como el caudal a utilizar es bajo (20 l/min), puede utilizarse bombas económicas. Particularmente para este ejemplo se selecciona una bomba periférica de 0.5 Hp, presentada en la Figura 10.7, la cual trabaja con un rango de caudal entre 5 a 40 l/min una altura manométrica (H) entre 5 y 40 metros. Si bien no es la bomba más económica, presenta la facilidad de encontrar repuestos.



Figura 10.7: Bomba Periférica PKM 60, 0.5 Hp.

Fuente: Koslan.

- Automatización y control del bombeo

Con el objetivo de automatizar el bombeo cada vez que se abra la llave, se puede utilizar un sistema de Hidropack o un controlador electrónico. Este último, tiene la particularidad de no funcionar si el estanque de almacenamiento se encuentra vacío. En la Figura 10.8, se presenta un ejemplo de ambos.



Figura 10.8: Sistema Hidropack y controlador automático.

- Filtro Impurezas

Finalmente, luego de la succión del bombeo se requiere de un filtro para eliminar las impurezas.

10.1.5 Usos según la utilización de las aguas grises.

Según el departamento de Energía, Servicios Públicos y Sostenibilidad de Nueva Zelanda, existen distintas aplicaciones en el reuso de Aguas Grises según el método utilizado. Nuestro caso es comparable con el sistema de tratamiento de Aguas Grises (GTS), según esta fuente de información, una vez tratada el agua puede ser utilizada para riego superficial y sub-superficial, para descargas en inodoros y lavadoras. Sin embargo, para las aguas desviadas y no tratadas, sólo pueden ser utilizadas en riego sub-superficial, al menos 100 mm bajo la superficie. Un resumen de lo mencionado anteriormente, se encuentra en la Tabla 10.4.

Tabla 10.4: Método y Aplicaciones para el Reuso de Aguas Grises.

Método de reuso	Aplicación de Aguas Grises
Reuso Manual	Riego limitado
Dispositivo desviador de Aguas Grises (GDD)	Riego Sub-superficial (al menos 100 mm bajo la superficie)
Sistema de tratamiento de Aguas Grises (GTS)	Riego superficial y sub-superficial. Descarga de Inodoros Máquina Lavadora

Fuente: Department of Energy, Utilities and Sustainability, 2008.

10.1.6 Mantenimiento del Sistema

En la Tabla 10.5, se presenta las características de la mantenimiento del sistema de aguas grises.

Tabla 10.5: Mantenimiento del sistema de Aguas Grises.

Componente	Mantenimiento requerida		Frecuencia Aproximada
Filtros	Limpia Filtro Lento de arena	Remover, lavar y reponer una capa de arena que contiene los sólidos retenidos de 3 a 5 cm. Toda espuma y material flotante debe ser removida continuamente.	Semanalmente
	Rellenar Arena y grava de Filtros		Cada 6 Meses
Suelo y Plantas	Chequear que el suelo y plantas estén saludables.	Factores a Chequear: 1. Terreno húmedo y pantanoso después de horas de regar. 2. Poco crecimiento de vegetación. 3. Excesivo crecimiento de vegetación con frutos reducidos. 4. Evidencias de plagas y enfermedades. 5. Olores inusuales.	Mensualmente
Estanque de Almacenamiento	Mantenimiento		Cada año

Fuente: Department of Energy, Utilities and Sustainability, 2008.

10.1.7 Recomendaciones en uso del sistema de tratamiento de Aguas Grises

Con el objetivo de utilizar correctamente el agua tratada, se realiza una lista de cosas recomendadas y no recomendadas tanto para el perfecto mantenimiento del sistema como para prevenir problemas en el riego o reuso adoptado.

Recomendaciones:

1. Reutilizar las aguas grises tratadas sólo para riego, inodoro y lavadora.
2. Realizar un balance de agua antes de instalar el sistema, para calcular la cantidad de agua que puede ser reutilizada en el hogar.
3. Usar detergentes biodegradables y bajos en fósforo, sodio, boro y cloruro.
4. Usar detergentes de lavado con bajo contenido de sal, considerar el uso de detergentes líquidos para el lavado.
5. Monitorear plantas y suelo debido al riego de aguas grises.

6. Regar ocasionalmente con agua potable para dispersar las sales del suelo (apropiado durante prolongados períodos secos).
7. Aplicar un agente de remoción al suelo cada seis meses.
8. Realizar el correcto mantenimiento del sistema de aguas grises
9. Se debe marcar y etiquetar todas las tuberías para indicar la reutilización de aguas grises.

No se recomienda:

1. Regar con aguas grises durante la lluvia.
2. Reutilizar las aguas grises generadas por la limpieza de la ropa o el baño, o cuando se utilizan tintes para el cabello u otros productos químicos.
3. Reutilizar las aguas grises generadas por el lavado de trapos usados con pintura.
4. Reutilizar las aguas grises para recargar los tanques de agua de lluvia o piscinas.
5. Reutilizar aguas grises en plantas que se comen crudas o donde la fruta ha caído al suelo.
6. Utilizar aguas grises para lavar veredas, caminos de entrada o coches.
7. Permitir que las aguas grises vayan más allá del límite de la propiedad y causar molestias a los vecinos.

Seleccionar productos de limpieza más convenientes

Las Aguas Grises presentan nutrientes para las plantas (fosforo y nitrógeno) provenientes del baño y lavandería, pueden sustituir a los fertilizantes. Al comparar los nutrientes presentes en los fertilizantes y aguas grises, como se muestra en la Tabla 10.6, se evidencia que éstos son similares, sin embargo, los límites superiores son mayores en aguas grises, por lo que idealmente se debe hacer una selección apropiada de detergentes, elementos para higiene personal, jabones, etc. que presenten poco nitrógeno y fosforo.

Tabla 10.6: Concentración de Nutrientes en Aguas Grises.

Nutrientes	Rango [gr/año/m ²]		
	Reuso Baño	Reuso Lavandería	Fertilizante
Nitrógeno Total [N]	3.22 - 24.0	0.7 - 48.0	17.6
Fósforo Total [N]	0.08 - 2.16	0.04 - 50.4	11.3

Fuente: Department of Energy, Utilities and Sustainability, 2008

La sal está presente en aguas grises en forma de sodio, magnesio y calcio. El mayor riesgo es que el contenido de sal en aguas grises baja la permeabilidad del suelo degradando la vegetación. Reducir el contenido de sal en los productos de limpieza (especialmente el sodio) es el método más efectivo para reducir riesgos a la vegetación. Además, los detergentes líquidos son los que menor contenido de sodio presentan, datos que se muestran en la Tabla 10.7.

Tabla 10.7: Relación adsorción de Sodio.

Tipo de Reuso	Relación adsorción del sodio		
	Mínimo	Promedio	Máximo
Lavandería (Detergente en polvo)	1.2	9.2	52.1
Lavandería (Detergente líquido)	0.02	1	4

Fuente: Department of Energy, Utilities and Sustainability, 2008.