GOBIERNO REGIONAL
REGION DE COQUIMBO

informe de estudios y proyectos

APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DE USO DEL AGUA ESTUDIO DE CASO EN LA REGIÓN DE COQUIMBO

ELABORADO POR:

CAZALAC

CENTRO DEL AGUA PARA ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

CON LA ASESORÍA DE

RODHOS ASESORÍAS Y PROYECTOS LTDA.

Gobierno Regional - Región de Coquimbo

GOBIERNO DE CHILE

DICIEMBRE 2006

APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DE USO DEL AGUA ESTUDIO DE CASO EN LA REGIÓN DE COQUIMBO

ÏNDICE

		Pág.
1	**INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO**	**1- 1**
2	**PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO I: CONCEPTOS**	**2- 1**
2.1	**CONSIDERACIONES GENERALES**	**2- 1**
2.2	**DEFINICIÓN DE CONCEPTOS**	**2- 2**
2.2.1	Eficiencia de uso	2- 2
2.2.2	Objetivos deseables	2- 5
2.2.3	Condicionantes y restricciones	2- 6
2.2.4	Acciones deseables	2- 7
2.2.5	Gestión integrada	2- 7
2.3	**ORGANIZACIÓN DEL ESTUDIO**	**2- 8**
3	**PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO II: HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS**	**3- 1**
3.1	**SIG: GENERACIÓN Y MANEJO DE INFORMACIÓN ESPACIAL**	**3- 1**
3.1.1	Mosaico de imágenes satelitales Landsats	3- 2
3.1.2	Coberturas básicas	3- 3
3.1.3	Coberturas de campañas de terreno	3- 4
3.1.4	Coberturas de preparación para la modelación	3- 5
3.1.5	Indicadores de caracterización de las zonas de riego	3- 10
3.1.6	Indicadores de diagnóstico	3- 10
3.1.7	Indicador de pronóstico: Porcentaje de demanda suplida	3- 10
3.1.8	Indicador de pronóstico: Seguridad de riego	3- 10
3.2	**MODELO DE SIMULACIÓN HIDROLÓGICA**	**3- 11**
3.2.1	Adaptación modelo MAGIC para el trabajo en cuencas Elqui, Limarí y Choapa	3- 12
3.2.2	Información de entrada	3- 14
3.2.3	Archivos de salida	3- 15
3.2.4	Operación del modelo de simulación	3- 17

3.3 MODELO DE EVALUACIÓN ECONÓMICA 3- 20

3.3.1 Definición de indicadores económicos 3- 20
3.3.2 Estimación de ingresos 3- 27
3.3.3 Estimación de costos 3- 29
3.3.4 Estimación de beneficios y otros indicadores económicos 3- 29

4 RECOPILACIÓN DE ANTECEDENTES 4- 1

4.1 RECOPILACIÓN DE ANTECEDENTES EN TERRENO 4- 3

4.1.1 Objetivos del trabajo en terreno 4- 3
4.1.2 Configuración de las entrevistas según niveles de análisis 4- 4

4.2 RECOPILACIÓN DE ANTECEDENTES EN GABINETE 4- 11

4.2.1 Antecedentes básicos georeferenciados 4- 11
4.2.2 Antecedentes básicos de monitoreo hídrico 4- 14
4.2.3 Antecedentes sobre empresas mineras 4- 16
4.2.4 Antecedentes sobre uso de agua potable urbana 4- 19
4.2.5 Antecedentes sobre uso de agua potable rural 4- 27
4.2.6 Experiencia internacional 4- 34
4.2.7 Metodologías de aumento de la eficiencia física en el uso del agua a nivel local 4- 43
4.2.8 Estudios anteriores 4- 47

5 DIAGNÓSTICO CUENCA ELQUI 5- 1

5.1 TRABAJO DE TERRENO: ENTREVISTAS Y RECONOCIMIENTOS 5- 1

5.1.1 Campañas de terreno 5- 1
5.1.2 Entrevistas 5- 2
5.1.3 Resultados del trabajo de terreno para el nivel global 5- 5
5.1.4 Resultados del trabajo de terreno para el nivel medio 5- 11
5.1.5 Resultados del trabajo de terreno para el nivel local 5- 15

5.2 MODELO ELQUI: GENERACIÓN DE INFORMACIÓN DE ENTRADA 5- 22

5.2.1 Esquema topológico de modelación 5- 22
5.2.2 Estadísticas de precipitaciones 5- 25
5.2.3 Generación de caudales en subcuencas aportantes no controladas 5- 25
5.2.4 Aguas subterráneas 5- 28
5.2.5 Canales 5- 32
5.2.6 Desmarques 5- 34
5.2.7 Zonas de riego 5- 34
5.2.8 Capacidad de regulación nocturna y horas de riego 5- 40
5.2.9 Embalses 5- 40

5.2.10 Ríos 5- 44
5.2.11 Captaciones puntuales 5- 46
5.2.12 Descargas puntuales 5- 47
5.2.13 Demandas hidroeléctricas 5- 47

5.3 MODELO ELQUI: CALIBRACIÓN 5- 48

5.3.1 Período de calibración 5- 50
5.3.2 Parámetros ajustados en la calibración 5- 50
5.3.3 Análisis del escenario de calibración 5- 52

5.4 MODELO ELQUI: RESULTADOS 5- 64

5.4.1 Grado de utilización del recurso hídrico 5- 64
5.4.2 Interacción entre aguas superficiales y subterráneas 5- 69
5.4.3 Comportamiento de los acuíferos 5- 73
5.4.4 Seguridad de riego 5- 80
5.4.5 Flujos de retorno 5- 83
5.4.6 Salidas al mar 5- 86

5.5 DIAGNÓSTICO EFICIENCIA FÍSICA A NIVEL LOCAL Y GLOBAL: USO AGRÍCOLA 5- 89

5.5.1 Superficie total cultivada 5- 89
5.5.2 Distribución de cultivos 5- 90
5.5.3 Superficies según métodos de riego 5- 92
5.5.4 Porcentaje de tecnificación por zona de riego 5- 92
5.5.5 Acciones por unidad de superficie 5- 93
5.5.6 Caudales demandados y caudales recibidos por las zonas de riego 5- 94
5.5.7 Tasa de riego 5- 97
5.5.8 Flujos de retorno 5- 98
5.5.9 Porcentajes de demanda suplida y seguridad de riego 5- 98
5.5.10 Fuentes de agua por zona de riego 5-100
5.5.11 Eficiencia de aplicación y eficiencia total desde bocatoma 5-100
5.5.12 Derechos subterráneos para riego y totales 5-101
5.5.13 Características físicas de los acuíferos 5-102
5.5.14 Percolaciones, afloramientos y recargas netas 5-103
5.5.15 Intensidad de uso de las aguas subterráneas 5-105
5.5.16 Acuíferos con posibilidad de incrementar la intensidad de uso 5-106
5.5.17 Estimación de m3 entregados en bocatoma, por acción y por hectárea 5-106
5.5.18 Conveniencia de relocalizar derechos y flexibilizar los sistemas de distribución 5-110
5.5.19 Áreas con baja eficiencia de uso 5-111
5.5.20 Existencia de derechos sin uso efectivo 5-112
5.5.21 Disponibilidad física para nuevos derechos y déficit de disponibilidad legal 5-112
5.5.22 Indicador de probabilidad del consumo 5-113

5.5.23 Indicador de eficiencia global 5-115
5.5.24 Indicador de reúso global promedio y total 5-115
5.5.25 Indicador de reúso global en sequía 5-116
5.5.26 Indicador de eficiencia global en sequía 5-117

5.6 DIAGNÓSTICO EFICIENCIA FÍSICA A NIVEL GLOBAL: OTROS USOS 5-118

5.6.1 Uso en agua potable 5-118
5.6.2 Uso en minería 5-124
5.6.3 Uso industrial 5-124

5.7 DIAGNÓSTICO EFICIENCIA ECONÓMICA DEL USO DEL AGUA 5-126

5.7.1 Eficiencia de uso del agua en agricultura a nivel de cultivos o individual 5-126
5.7.2 Eficiencia de uso del agua en agricultura a nivel medio 5-131
5.7.3 Eficiencia de uso del agua en agricultura a nivel global 5-136
5.7.4 Diagnóstico eficiencia económica del uso del agua en la minería 5-140

5.8 DIAGNÓSTICO EFICIENCIA ADMINISTRATIVA 5-143

5.8.1 Eficiencia administrativa a nivel medio 5-143
5.8.2 Eficiencia administrativa a nivel global 5-145

5.9 DIAGNÓSTICO EFICIENCIA AMBIENTAL 5-160

5.9.1 Antecedentes para el análisis 5-160
5.9.2 Presentación de la información disponible 5-164

6 DIAGNÓSTICO CUENCA LIMARÍ 6- 1

6.1 TRABAJO DE TERRENO: ENTREVISTAS Y RECONOCIMIENTOS 6- 1

6.1.1 Campañas de terreno 6- 1
6.1.2 Entrevistas 6- 1
6.1.3 Resultados del trabajo de terreno para el nivel global 6- 4
6.1.4 Resultados del trabajo de terreno para el nivel medio 6- 10
6.1.5 Resultados del trabajo de terreno para el nivel local 6- 14

6.2 MODELO LIMARÍ: GENERACIÓN DE INFORMACIÓN DE ENTRADA 6- 24

6.2.1 Esquema topológico de modelación 6- 24
6.2.2 Estadísticas de precipitaciones 6- 27
6.2.3 Subcuencas aportantes de caudal 6- 31
6.2.4 Aguas subterráneas 6- 36
6.2.5 Canales 6- 41
6.2.6 Zonas de riego 6- 46

6.2.7 Capacidad de regulación nocturna y horas de riego 6- 53
6.2.8 Embalses 6- 53
6.2.9 Ríos y tramos 6- 55
6.2.10 Captaciones puntuales 6- 58
6.2.11 Descargas puntuales 6- 59

6.3 MODELO LIMARÍ: CALIBRACIÓN 6- 60

6.3.1 Período de calibración 6- 61
6.3.2 Parámetros ajustados en la calibración 6- 61
6.3.3 Análisis del escenario de calibración 6- 64

6.4 MODELO LIMARÍ: RESULTADOS 6- 78

6.4.1 Grado de utilización del recurso hídrico 6- 78
6.4.2 Interacción entre aguas superficiales y subterráneas 6- 84
6.4.3 Comportamiento de los acuíferos 6- 94
6.4.4 Seguridad de riego 6-101
6.4.5 Flujos de retorno 6-106
6.4.6 Salidas al mar 6-112

6.5 DIAGNÓSTICO EFICIENCIA FÍSICA A NIVEL LOCAL Y GLOBAL: USO AGRÍCOLA 6-113

6.5.1 Superficie total cultivada 6-113
6.5.2 Distribución de cultivos 6-115
6.5.3 Superficies según métodos de riego 6-124
6.5.4 Porcentaje de tecnificación por zona de riego 6-127
6.5.5 Acciones por unidad de superficie 6-130
6.5.6 Caudales demandados y caudales recibidos por las zonas de riego en promedio 6-133
6.5.7 Tasa de riego 6-134
6.5.8 Caudales superficiales de retorno 6-136
6.5.9 Fuentes de agua por áreas 6-137
6.5.10 Porcentaje de demanda suplida y seguridad de riego 6-137
6.5.11 Eficiencias de riego por áreas 6-137
6.5.12 Derechos y grado de explotación de los acuíferos 6-139
6.5.13 Intensidad de uso de las aguas subterráneas 6-143
6.5.14 Acuíferos con posibilidad de incrementar la intensidad de uso 6-143
6.5.15 Estimación de m3 entregados en bocatoma, por acción y por hectárea 6-144
6.5.16 Áreas con baja eficiencia de uso 6-147
6.5.17 Conveniencia de relocalizar derechos y flexibilizar los sistemas de distribución 6-148
6.5.18 Existencia de derechos sin uso efectivo 6-148
6.5.19 Disponibilidad física para nuevos derechos y déficit de disponibilidad legal 6-149
6.5.20 Indicador de probabilidad del consumo 6-149

6.5.21 Indicador de eficiencia global 6-151
6.5.22 Indicador de reúso global promedio y total 6-151
6.5.23 Indicador de reúso global en sequía 6-152
6.5.24 Indicador de eficiencia global en sequía 6-152

6.6 DIAGNÓSTICO EFICIENCIA FÍSICA A NIVEL GLOBAL: OTROS USOS 6-153

6.6.1 Agua potable urbana 6-153
6.6.2 Agua potable rural 6-155
6.6.3 Uso en minería 6-162
6.6.4 Uso industrial 6-162

6.7 DIAGNÓSTICO EFICIENCIA ECONÓMICA 6-164

6.7.1 Eficiencia de uso del agua en agricultura a nivel de cultivos o individual 6-164
6.7.2 Eficiencia de uso del agua en agricultura a nivel medio 6-168
6.7.3 Eficiencia de uso del agua en agricultura a nivel global 6-172
6.7.4 Eficiencia económica del uso del agua en la minería 6-176

6.8 DIAGNÓSTICO EFICIENCIA ADMINISTRATIVA 6-179

6.8.1 Eficiencia administrativa a nivel medio 6-179
6.8.2 Eficiencia administrativa a nivel global 6-186

6.9 DIAGNÓSTICO EFICIENCIA AMBIENTAL 6-201

6.9.1 Antecedentes para el análisis 6-201
6.9.2 Presentación espacio-temporal de la información disponible 6-205

7 DIAGNÓSTICO CUENCA CHOAPA 7- 1

7.1 TRABAJO DE TERRENO: ENTREVISTAS Y RECONOCIMIENTOS 7- 1

7.1.1 Campañas de terreno 7- 1
7.1.2 Entrevistas 7- 2
7.1.3 Resultados del trabajo de terreno para el nivel global 7- 4
7.1.4 Resultados del trabajo de terreno para el nivel medio 7- 11
7.1.5 Resultados del trabajo de terreno para el nivel local 7- 16

7.2 MODELO CHOAPA: GENERACIÓN DE INFORMACIÓN DE ENTRADA 7- 23

7.2.1 Esquema topológico de modelación 7- 23
7.2.2 Estadísticas de precipitaciones 7- 26
7.2.3 Subcuencas aportantes 7- 27
7.2.4 Aguas subterráneas 7- 32
7.2.5 Canales 7- 35

7.2.6 Zonas de riego 7- 38
7.2.7 Capacidad de regulación nocturna y horas de riego 7- 44
7.2.8 Embalses 7- 45
7.2.9 Ríos 7- 45
7.2.10 Captaciones puntuales 7- 47
7.2.11 Descargas puntuales 7- 48

7.3 MODELO CHOAPA: CALIBRACIÓN 7- 49

7.3.1 Período de calibración 7- 50
7.3.2 Parámetros ajustados en la calibración 7- 50
7.3.3 Análisis del escenario de calibración 7- 52

7.4 MODELO CHOAPA: RESULTADOS 7- 60

7.4.1 Grado de utilización del recurso hídrico 7- 60
7.4.2 Interacción entre aguas superficiales y subterráneas 7- 64
7.4.3 Comportamiento de los acuíferos 7- 69
7.4.4 Seguridad de riego 7- 75
7.4.5 Flujos de retorno 7- 79
7.4.6 Salidas al mar 7- 84

7.5 DIAGNÓSTICO EFICIENCIA FÍSICA A NIVEL LOCAL Y GLOBAL: USO AGRÍCOLA 7- 85

7.5.1 Superficie total cultivada 7- 85
7.5.2 Distribución de cultivos 7- 86
7.5.3 Superficies según métodos de riego 7- 89
7.5.4 Porcentaje de tecnificación por zona de riego 7- 90
7.5.5 Acciones por unidad de superficie 7- 91
7.5.6 Caudales demandados y caudales recibidos por las zonas de riego 7- 92
7.5.7 Tasas de riego 7- 96
7.5.8 Flujos de retorno 7- 97
7.5.9 Porcentaje de demanda suplida y seguridad de riego 7- 98
7.5.10 Fuentes de agua por zona de riego 7-100
7.5.11 Eficiencia de aplicación del riego y eficiencia total desde bocatoma 7-101
7.5.12 Derechos subterráneos para riego y totales 7-102
7.5.13 Características físicas de los acuíferos 7-103
7.5.14 Percolaciones, afloramientos y recarga neta 7-104
7.5.15 Grado de explotación de los acuíferos 7-106
7.5.16 Acuíferos con posibilidad de incrementar intensidad de uso 7-108
7.5.17 Estimación de m3 entregados en bocatoma, por acción y por hectárea 7-108
7.5.18 Conveniencia de relocalizar derechos y flexibilizar los sistemas de distribución 7-112
7.5.19 Zonas de riego con déficit de abastecimiento 7-112
7.5.20 Existencia de derechos sin uso efectivo 7-113

7.5.21 Disponibilidad física de aguas para nuevos derechos y déficit de disponibilidad legal 7-113
7.5.22 Indicador de probabilidad del consumo 7-113
7.5.23 Indicador de eficiencia global 7-115
7.5.24 Indicador de reúso global promedio y total 7-116
7.5.25 Indicador de reúso global en sequía 7-117
7.5.26 Indicador de eficiencia global en sequía 7-118

7.6 DIAGNÓSTICO EFICIENCIA FÍSICA A NIVEL GLOBAL: OTROS USOS 7-119

7.6.1 Uso en agua potable urbana 7-119
7.6.2 Agua potable rural 7-120
7.6.3 Uso en minería 7-124
7.6.4 Uso industrial 7-124

7.7 DIAGNÓSTICO EFICIENCIA ECONÓMICA 7-126

7.7.1 Eficiencia de uso del agua en agricultura: nivel de cultivos o individual 7-126
7.7.2 Eficiencia de uso del agua en agricultura: nivel medio 7-130
7.7.3 Eficiencia de uso del agua en agricultura: nivel global 7-135
7.7.4 Diagnóstico eficiencia económica del uso del agua en la minería 7-140

7.8 DIAGNÓSTICO EFICIENCIA ADMINISTRATIVA 7-143

7.8.1 Eficiencia administrativa a nivel medio 7-143
7.8.2 Eficiencia administrativa a nivel global 7-145

7.9 DIAGNÓSTICO EFICIENCIA AMBIENTAL 7-154

7.9.1 Antecedentes para el análisis 7-154
7.9.2 Presentación espacio-temporal de la información disponible 7-160

8 OPERACIÓN MODELOS MAGIC 8- 1

8.1 OPERACIÓN MODELO MAGIC-ELQUI 8- 1

8.1.1 Definición de escenarios corridos 8- 1
8.1.2 Análisis de viabilidad de los escenarios corridos 8- 5
8.1.3 Resumen de escenarios 8- 23
8.1.4 Área regable con 85% de seguridad 8- 30
8.1.5 Eficiencia global, reúso global y reúso total del agua 8- 30
8.1.6 Dotación de agua por acción 8- 33
8.1.7 Dotación de agua por hectárea 8- 34
8.1.8 Relocalización de acciones para diversos escenarios 8- 35
8.1.9 Explotabilidad de acuíferos 8- 36
8.1.10 Información obtenida para modelación económica 8- 37

8.2 OPERACIÓN MODELO MAGIC-LIMARÍ 8- 44

8.2.1 Definición de escenarios corridos 8- 44
8.2.2 Análisis de escenarios corridos 8- 46
8.2.3 Resumen de escenarios 8- 52
8.2.4 Áreas regables con 85% de seguridad 8- 56
8.2.5 Eficiencia global de uso del agua 8- 56
8.2.6 Dotación de agua por acción 8- 58
8.2.7 Dotación de agua por hectárea 8- 58
8.2.8 Explotabilidad de acuíferos 8- 58
8.2.9 Información obtenida para modelación económica 8- 60

8.3 OPERACIÓN MODELO MAGIC-CHOAPA 8- 64

8.3.1 Definición de escenarios corridos 8- 64
8.3.2 Análisis de escenarios corridos 8- 66
8.3.3 Resumen de escenarios 8- 77
8.3.4 Áreas regables con 85% de seguridad 8- 81
8.3.5 Eficiencia global de uso del agua 8- 81
8.3.6 Dotación de agua por acción 8- 84
8.3.7 Dotación de agua por hectárea 8- 84
8.3.8 Explotabilidad de acuíferos 8- 85
8.3.9 Información obtenida de los escenarios viables para modelación económica 8- 87

9 EVALUACIÓN ECONÓMICA 9- 1

9.1 EVALUACIÓN DE INGRESOS ANUALES 9- 1

9.2 EVALUACIÓN DE COSTOS 9- 4

9.3 VALOR PRESENTE NETO DE CADA ESCENARIO 9- 6

9.4 ANÁLISIS DE RENTABILIDAD DE ESCENARIOS 9- 10

9.4.1 Cuenca Elqui 9- 10
9.4.2 Cuenca Limarí 9- 13
9.4.3 Cuenca Choapa 9- 14

10 CONCLUSIONES 10- 1

10.1 CONCLUSIONES CUENCA ELQUI 10- 3

10.1.1 Diagnóstico de la eficiencia física en el uso del agua 10- 3
10.1.2 Diagnóstico de la eficiencia económica en el uso del agua 10- 8
10.1.3 Diagnóstico de la eficiencia administrativa en el uso del agua 10- 9
10.1.4 Diagnóstico de la eficiencia ambiental en el uso del agua 10- 12
10.1.5 Conclusiones de la operación de escenarios 10- 16

10.1.6 Conclusiones de la evaluación económica 10- 20
10.1.7 Recomendaciones 10- 22

10.2 CONCLUSIONES CUENCA LIMARÍ 10- 24

10.2.1 Diagnóstico de la eficiencia física en el uso del agua 10- 24
10.2.2 Diagnóstico de la eficiencia económica del uso del agua 10- 28
10.2.3 Diagnóstico de la eficiencia administrativa en el uso del agua 10- 29
10.2.4 Diagnóstico de la eficiencia ambiental en el uso del agua 10- 32
10.2.5 Conclusiones sobre la operación de escenarios 10- 35
10.2.6 Conclusiones de la evaluación económica 10- 37
10.2.7 Recomendaciones 10- 38

10.3 CONCLUSIONES CUENCA CHOAPA 10- 40

10.3.1 Diagnóstico de la eficiencia física en el uso del agua 10- 40
10.3.2 Diagnóstico de la eficiencia económica en el uso del agua 10- 45
10.3.3 Diagnóstico de la eficiencia administrativa en el uso del agua 10- 46
10.3.4 Diagnóstico de la eficiencia ambiental en el uso del agua 10- 49
10.3.5 Conclusiones sobre la operación de escenarios 10- 52
10.3.6 Conclusiones de la evaluación económica 10- 53
10.3.7 Recomendaciones 10- 55

10.4 COMENTARIO A LA METODOLOGÍA 10- 57

11 PROYECTOS 11- 1

11.1 PROYECTO ENTUBAMIENTO PARCIAL CANAL POBLACIÓN DE MONTE PATRIA 11- 1

11.2 PROPOSICIÓN TÉRMINOS DE REFERENCIA ESTUDIO EVALUACIÓN RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS CUENCA RÍO CHOAPA 11- 49

11.2.1 Justificación del estudio 11- 49
11.2.2 Términos de referencia 11- 53

12 PLAN DE DIFUSIÓN 12- 1

12.1 TALLERES Y ACTIVIDADES DE EXTENSIÓN CON LOS INTERESADOS 12- 1

12.1.1 Taller 1 12- 1
12.1.2 Taller 2 12- 1
12.1.3 Taller 3 12- 1
12.1.4 Reunión regional 12- 2

12.2 GENERACIÓN DE MATERIAL EDUCATIVO 12- 3

12.2.1 Afiche en 1000 ejemplares 12- 3
12.2.2 Video divulgativo en DVD 12- 3
12.2.3 Publicación didáctica en 1000 ejemplares 12- 3

ANEXOS DIGITALES EN DVD ADJUNTO

I Informe Experto Minería
II Entrevistas
III Bases de datos de entrada MAGIC Elqui, Choapa, Limarí
IV Precipitaciones y Caudales
V Pozos considerados Elqui, Choapa, Limarí
VI Estadísticas de desmarques Elqui
VII Cuadro comparativo entre catastros de cultivos
VIII Planillas de costo de bombeo
IX Anexos proyecto entubamiento
X Antecedentes bibliográficos

EQUIPO PARTICIPANTE

Damaris Orphanópoulos Stehr
Jefe de Proyecto

Guido Soto Álvarez
Coordinador

Alvaro Chávez
Pablo Isensee
Especialistas modelación

Bruno Canepa
Ingeniero Agrónomo

Jessica Acevedo / CPRSIG
Especialista SIG

Marcos Bórquez
Economista

Marco Luraschi
Economista agrario

Belisario Gallardo
Experto minería

Damaris Orphanópoulos Stehr
Alvaro Chávez
Marcelo Leñam
Programa de difusión

Contraparte Técnica DGA

Ana María Gangas	DGA Departamento Estudios
Mauricio Zambrano	DGA Departamento Estudios

Inspección Fiscal

Carlos Galleguillos	Dirección Regional de Aguas
Arturo Ruiz	Dirección Regional de Aguas
Víctor Trujillo	Gobierno Regional

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO

El presente estudio, llamado "Aplicación de Metodologías para determinar la Eficiencia de uso del agua, estudio de caso en la región de Coquimbo", ha sido desarrollado por el Centro del Agua para Zonas Áridas de Latinoamérica y el Caribe, CAZALAC, con la asesoría de RODHOS Asesorías y Proyectos Ltda. El estudio fue financiado con Fondos Nacionales de Desarrollo Regional (FNDR) otorgados por el Gobierno Regional de la IVª Región, y técnicamente supervisado por la Dirección Regional de Aguas de la IVª Región y el Gobierno Regional.

La IVª Región pertenece al sector de valles transversales del Norte Chico del país, y abarca, de norte a sur, las siguientes cuencas cordilleranas y costeras: Quebrada Los Choros, Quebrada Honda, Río Elqui, Quebrada Lagunillas, Quebrada Camarones, Río Limarí, Quebrada El Teniente, Río Choapa, Estero Pupío y Río Quilimarí. De estas cuencas, sólo las de Elqui, Limarí y Choapa tienen alcance cordillerano, las demás son cuencas costeras, como se aprecia en la Figura 1-1, adjunta.

El presente estudio responde a la necesidad de profundizar y conocer la forma en que se usa el agua en una zona árida o semiárida, como lo es la IVª Región, para obtener un diagnóstico sobre la eficiencia de uso, y desprender recomendaciones acerca de cómo aumentar dicha eficiencia. Pero el objetivo no es sólo el de estudiar la realidad de la IVª Región, sino que también el de establecer metodologías de análisis que puedan aplicarse en otras zonas áridas o semiáridas, tanto para hacer un diagnóstico, como para recomendar medidas de aumento de eficiencia.

No cabe duda de que en una zona árida o semiárida es necesario ser eficiente en el uso del recurso hídrico, debido a su escasez. La escasez de agua propia de una zona árida se ve aún más acentuada en nuestra IVª Región, al tratarse de una zona en que aumentan las demandas tradicionales de agua potable, agricultura, minería e industria, y también aumentan las demandas no tradicionales, como lo son las demandas medioambientales. Y todo lo anterior en un escenario en que no aumenta, sino que incluso parece disminuir, la oferta natural de agua, esto debido a la tan mentada variabilidad climática.

El uso eficiente de agua en una región como la IVª, se hace especialmente deseable dada la gran riqueza de recursos que existen en la región, que requieren de agua para ser aprovechados, como la agricultura, la minería, el turismo, la ecología. Todos estos usuarios, generadores o preservadores de riqueza, compiten por el mismo recurso escaso, y por lo tanto le confieren al agua un gran valor.

Cabe entonces preguntarse qué significa ser eficientes en el uso del agua. De acuerdo con las definiciones de la RAE, antiguamente, ser eficiente significaba lograr los efectos deseados.

Más recientemente se ha agregado al concepto de lograr los efectos deseados, hacerlo al mínimo costo.

¿Y cuáles son los efectos deseados en el caso de uso del agua? Los efectos son diversos, y se identifican en diversos niveles. Hay efectos que se quieren lograr en el nivel individual o predial o local, otros efectos que se desean lograr a nivel medio o de sistemas, y otros efectos que se desean lograr en el nivel global o cuencario, en el sentido de sacar el mayor provecho de cada gota de agua.

Observando lo que ocurre en la realidad, se ha podido constatar que en el nivel local, lo que interesa es lograr el mayor uso físico posible del agua que corresponde a cada uno por derechos, y lograr aplicarla a los cultivos de mayor rentabilidad. Identificamos, por lo tanto en este nivel, la búsqueda de la eficiencia física y económica del agua.

En el nivel medio, o de sistemas, se busca lograr la mejor forma de organizarse para que cada partícipe pueda sacar el mayor partido a su agua. También se busca que los sistemas físicos tengan un funcionamiento adecuado. Se identifica, por lo tanto, en este nivel, la búsqueda de lo que hemos llamado la eficiencia administrativa, además de la eficiencia física.

En el nivel global, desde luego está la preocupación por la eficiencia administrativa, y esto ya no sólo a nivel de organizaciones entre usuarios relativamente homogéneos, sino que a nivel de cuenca completa, lo que incluye usuarios de todo tipo y problemas de todo tipo. En este nivel se requiere, por lo tanto, una coherencia y buen funcionamiento de las reglas generales, estatutos y leyes, y de las autoridades, para aplicarlas.

Pero en el nivel global también interesa la eficiencia física de uso del agua, de hecho es lo más conveniente que no sólo los usuarios individuales hagan buen uso de sus recursos, sino que a nivel de la cuenca ocurra lo mismo. Aquí se observa que las ineficiencias a nivel local no necesariamente significan ineficiencias a nivel global. En las cuencas de la IVª Región, los usuarios de aguas abajo viven de las ineficiencias de los de aguas arriba, resultando finalmente muy alta la eficiencia de uso a nivel de la cuenca completa. De modo que, estimular el aumento de eficiencia a nivel individual, no necesariamente hará que los sistemas sean más eficientes a nivel global.

.

A nivel global naturalmente también interesa que el agua sea aprovechada en las actividades que generan mayor valor económico, pues esto eleva no sólo las riquezas individuales, sino que también las riquezas regionales y del país.

Y, por último, en el nivel global, se agrega el concepto de eficiencia ambiental. Todo lo que ocurre con el agua, debe ser sustentable desde el punto de vista ambiental, de modo que si la conciencia ambiental no está en el individuo, debe estar en la autoridad, para que puedan ser respetadas las normas mínimas que aseguran la permanencia de un medio ambiente saludable.

En este estudio, por lo tanto, se ha entendido por eficiencia en el uso del agua, la eficiencia física, económica, administrativa y ambiental.

La forma de proceder para identificar estos cuatro tipos de eficiencia, y de cómo trabajar con ellos para lograr desprender algunas recomendaciones y proposiciones de mejoramiento para los diferentes tipos de eficiencia, se presenta en los Capítulos 2 y 3, de planteamiento metodológico.

En este contexto, el estudio se desarrolla en seis partes, constituyendo las cuatro primeras lo que se ha llamado el contenido medular, y las dos siguientes, el contenido adicional.

La primera parte del estudio la constituye, como se ha dicho, la metodología, contenida en los Capítulos 2 y 3. Esta metodología es aplicable en zonas áridas o semiáridas siempre que haya una gran cantidad de información base sobre el recurso hídrico, lo que, en todo caso, no es inusual tratándose de zonas áridas.

La segunda parte la constituye la recopilación de antecedentes, que se presenta en el Capítulo 4. Los antecedentes se recogieron en parte en gabinete, y en gran parte en terreno, a través de 130 entrevistas a autoridades, usuarios y directivos de organizaciones de usuarios del agua. Todos los antecedentes con posibilidad de representarse espacialmente, se incluyeron en el SIG y configuran sus bases de datos.

La tercera parte del estudio la constituye el diagnóstico de los diferentes tipos de eficiencia, a los diferentes niveles de análisis, para los diferentes usos. El diagnóstico es un objetivo medular, y a su presentación se han destinado los Capítulos 5, 6 y 7, un capítulo para cada una de las cuencas, Elqui, Limarí y Choapa.

La cuarta parte del estudio es la de las recomendaciones. Para desprender recomendaciones del diagnóstico, y de acuerdo con lo señalado en la metodología, se utilizaron los modelos de simulación de cada cuenca, y se simuló el efecto físico de determinadas medidas, ya sea de gestión como de obras, que modifican las condiciones de operación. Los resultados de la operación de los modelos de simulación se presentan en el Capítulo 8, y dan lugar a recomendaciones sobre el uso físico de las aguas. Para las medidas que resultaron técnicamente viables, se efectuó una evaluación económica. Las medidas que, además de técnicamente viables, resultan económicamente viables, se transforman en recomendaciones directas. Para las medidas no viables se analiza la forma de viabilizarlas. El análisis de la evaluación económica y sus recomendaciones se presentan en el Capítulo 9. El capítulo 10 contiene todas las conclusiones y recomendaciones que se desprenden del estudio.

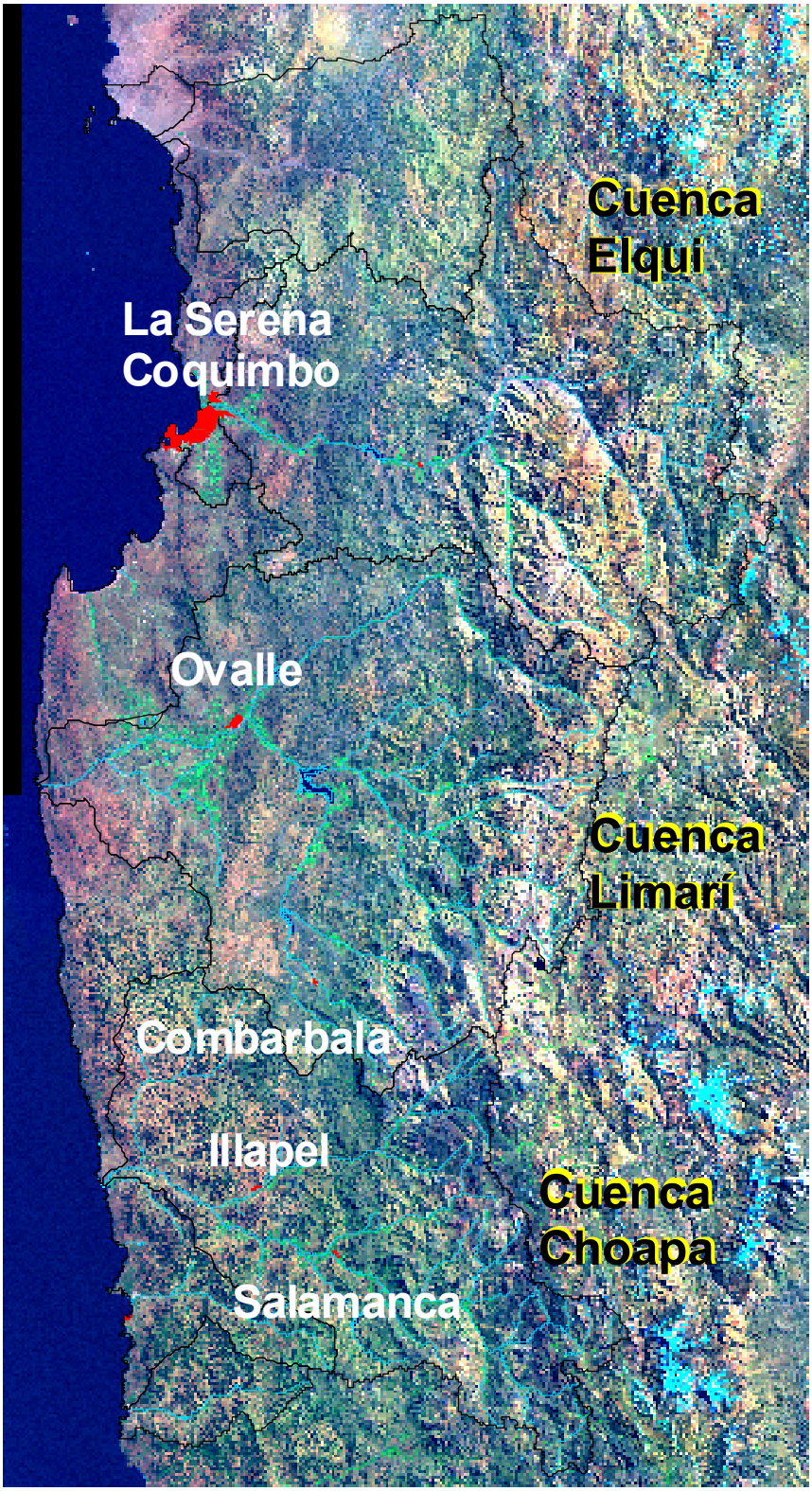
En cuanto a los objetivos que se identificaron como adicionales, fueron dos: el desarrollo de dos proyectos, y el programa de difusión.

En relación con el primero de ellos, se solicitaba en los Términos de Referencia, desarrollar dos ideas de proyecto, innovadoras o tipo piloto, de utilidad para la región. Después de bastante interacción con la región, y de analizar las posibles ideas a desarrollar, se llegó a la conclusión de proyectar un entubamiento, por un lado, y de apoyar a la DGA en la formulación de los Términos de Referencia para un estudio hidrogeológico de los acuíferos de la cuenca del Choapa, por otro lado. Esto último, debido a que en esta cuenca aparecía la posibilidad física

de sacar mayor partido a este recurso almacenado, y a que efectivamente existía esta inquietud en la región. El proyecto y la proposición de términos de referencia se presentan en el Capítulo 11.

Finalmente, en el Capítulo 12, se hace una relación del programa de difusión. Las actividades interactivas fueron 9 talleres, tres en cada cuenca, y una reunión regional, dando a conocer el estudio, sus metodologías, avances y resultados, y recogiendo las inquietudes y sugerencias de la región. Además, se generó una gran cantidad de material educativo, consistente en un afiche alusivo al proyecto y sus enseñanzas, una publicación didáctica, ambos en 1000 ejemplares, y un video de 15 minutos de duración que se entrega en DVD.

Figura 1-1
Plano de ubicación zona de estudio



CAPÍTULO 2 PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO I CONCEPTOS

2.1 CONSIDERACIONES GENERALES

En el presente capítulo se desarrolla un planteamiento metodológico, válido para zonas áridas y semiáridas, que permite conocer la eficiencia con que se usa el recurso hídrico, generar algunos indicadores de uso, analizar la situación integral de la cuenca, y, finalmente, formular recomendaciones y propuestas que orienten a los usuarios en la toma de decisiones respecto de cómo mejorar la utilización del agua.

El planteamiento metodológico que se desarrolla a continuación, podría tener una aplicabilidad mucho más amplia, dado que conceptualmente abarca cualquier tipo de cuenca. No obstante lo anterior, la metodología debió ceñirse a

- las exigencias que se hace en los términos de referencia acerca de qué es lo que debe contener el estudio, y
- las características propias de la Región a la que se aplicó este planteamiento.

De acuerdo con el Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, el término metodología significa tratado o expresión de métodos. Método, a su vez, tiene el significado de un orden en el decir, obrar o proceder. La metodología presentada comienza por aclarar y definir algunos conceptos básicos, que facilitan la comprensión de lo que se busca a través del estudio, luego se presentan algunas herramientas de análisis cuya aplicación hace operativos los conceptos antes definidos, y finalmente se presentan concretamente y en forma secuencial los procedimientos para desprender las recomendaciones. Este proceder permite mantener un orden tanto en el concepto como en la línea de acción para el desarrollo del estudio, por lo que se puede llamar metodología.

2.2 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS

El concepto central de este planteamiento metodológico fue delinear un método de trabajo que permitiera conocer la eficiencia con que se usa el recurso hídrico, analizar e interpretar los resultados del análisis, establecer objetivos deseables para la cuenca, reconocer restricciones o condicionantes a respetar, y proponer acciones o medidas que permitan encaminarse hacia el cumplimiento de los objetivos, respetando las condicionantes. El conjunto de acciones para identificar las medidas deseables para una cuenca, y la forma de implementarlas, es lo que se ha llamado gestión.

En la afirmación anterior hay algunos conceptos que conviene aclarar y definir en cuanto a su alcance, para dar operatividad al planteamiento metodológico que se expone.

2.2.1 Eficiencia de uso

En primer lugar, es necesario aclarar qué se entiende por eficiencia. De acuerdo con el Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, la palabra eficiencia proviene del latín, y está relacionada con la palabra “efecto”. Eficiencia es la virtud o facultad de lograr un determinado efecto.

Cabe preguntarse entonces, en qué efectos u objetivos estamos pensando al referirnos a la eficiencia en el uso del agua. De hecho, dada su naturaleza, el agua es un bien económico, ambiental y sociocultural, por lo cual el objetivo en torno a su uso es sin duda complejo, y el término eficiencia tiene, por lo tanto, diversas connotaciones.

En zonas áridas o semiáridas donde el recurso es escaso, el término eficiencia de uso involucra al menos cuatro conceptos: la eficiencia física con que se usa el agua, la eficiencia económica o rendimiento económico que se logra de ella, la eficiencia ambiental entendida como la facultad de lograr ciertos efectos ambientales, y la eficiencia administrativa, o facultad de lograr ciertos efectos sociales y culturales. Hacer un uso eficiente del agua significa entonces, gestionar en forma equilibrada estos cuatro aspectos.

a) Eficiencia física

Como el agua es un bien escaso, se entenderá por eficiencia física el mayor uso que se pueda hacer de ella, dada una determinada disponibilidad física, y dentro de un determinado contexto de derechos vigentes. Aunque la eficiencia física del uso del agua en general no se busca per se, sino que es un medio de lograr el máximo rendimiento económico, interesa aquí tratar por separado todos estos temas (físico, económico, legal), por dos razones:

- dar mayor transparencia al análisis
- dar mayor operatividad a las recomendaciones, que podrán referirse a cada área por separado, aunque sus efectos sean mezclados.

Dependiendo del grado de escasez del recurso, la eficiencia física a nivel predial puede atentar contra el manejo integrado de la cuenca completa, de modo que a priori no es claro si debe ser incentivada o no la eficiencia física local, o en qué puntos debe ser incentivada y en qué otros no. De este modo, queda claro que la eficiencia física a todo nivel no es un valor en sí mismo, aunque naturalmente en un escenario de gran escasez, siempre habrá una tendencia a maximizarla. Un ejemplo de que los objetivos de eficiencia física pueden ser contrapuestos dependiendo del nivel de análisis, se produce cuando las secciones superiores de un río buscan la máxima eficiencia hídrica en el uso de sus aguas, con lo cual pueden mermar las aguas de recarga para acuíferos, o las aguas de retornos para los regantes de secciones más bajas, afectando derechos constituidos y generando ineficiencias económicas o sociales a nivel de cuenca.

Las actuales políticas de gobierno incentivan la eficiencia de riego a nivel predial a través de los subsidios de la Ley 18.450, administrados por la CNR, y también a través de los subsidios que entregan el INDAP y el SAG. A través de estos subsidios, cada unidad predial busca mejorar la eficiencia en el uso de las aguas que le corresponden por derecho. Se parte del supuesto de que cada unidad toma de la fuente lo que le corresponde legalmente, y es función de cada agricultor mejorar su eficiencia de riego de modo de aprovechar al máximo los recursos hídricos disponibles.

De acuerdo con lo señalado antes, en el presente estudio se efectúa un análisis de las implicancias del aumento de eficiencia predial sobre el resto de la cuenca.

b) Eficiencia económica

El agua adquiere características de bien económico cuando es escasa, lo cual es justamente la característica de zonas áridas y semiáridas. En tal condición, interesará maximizar su rendimiento económico, aplicándola a usos de alta rentabilidad. Puesta al servicio de cualquier uso, en cualquier nivel de análisis, el bien escaso tiene un costo, frente al cual conviene maximizar los beneficios.

También se produce que el objetivo de maximizar los retornos económicos puede ser contrapuesto al logro de otros objetivos. De hecho, el logro económico muchas veces se genera a costa de ineficiencias ambientales.

c) Eficiencia ambiental

El concepto de eficiencia ambiental en el uso del agua, se refiere al hecho de asumir que el agua es necesaria para diferentes ámbitos de la vida de una cuenca, y debe permanecer disponible para ellos.

En general, se observa con frecuencia de que en el corto plazo, los criterios de sustentabilidad ambiental se identifican en el nivel global de análisis, y suelen contraponerse a los criterios de explotación económica del recurso hídrico a nivel local. Sin embargo, estos criterios encuentran su justificación en dos ámbitos:

- en los ámbitos diferentes del agua, por ejemplo suelo, flora, fauna, para los cuales la presencia del agua adquiere a veces un valor inevaluable
- en el propio ámbito del agua, donde las restricciones ambientales tienen su justificación en el largo plazo, pues permiten que las condiciones de explotación se mantengan en el futuro.

De este modo, se buscó analizar si existían criterios preestablecidos, o si correspondía establecer algunos criterios de eficiencia ambiental que salvaguardaran los ámbitos señalados, y establecerlos de modo tal que la explotación económica del recurso hídrico sea sustentable en el largo plazo.

Desde el punto de vista del ámbito hídrico, para la región bajo análisis se puede afirmar que la eficiencia ambiental incluye el logro de al menos los siguientes tres efectos, todos asociables al análisis a nivel global:

- evitar que los usos del agua generen un deterioro desmedido de la calidad del recurso
- mantener caudales mínimos o ecológicos en los cauces de modo de no exterminar especies de flora y fauna asociados a ellos y
- evitar minar acuíferos. En relación con los acuíferos, no se usa aquí el término de sobreexplotar, puesto que una sobreexplotación temporal, que puede ser revertida en el tiempo, o controlada, que encuentra nuevas condiciones de equilibrio en el largo plazo, podría ser perfectamente sustentable.

d) Eficiencia administrativa

Por último, está el concepto de la eficiencia en la administración, que en el contexto del presente estudio se refiere fundamentalmente a la administración del agua y de los derechos de agua, y por lo tanto se refiere tanto a la administración privada como pública. La administración debe ser capaz de generar las certezas requeridas y permitir oportunamente las reasignaciones necesarias para lograr los objetivos de la cuenca (por ejemplo, maximizar la producción), esto a nivel medio y global, de este modo generar la paz social.

En relación con el agua, se puede afirmar que la administración es eficiente si cumple con lo siguiente:

- hay una administración en los niveles medio y global que funciona de acuerdo con los preceptos legales y normativas vigentes
- la administración media y global representa los intereses de los usuarios del nivel local
- los preceptos legales y normativas se adecúan a la realidad y a las necesidades vigentes
- si los preceptos legales y normativas vigentes no se adecúan a la realidad y a las necesidades vigentes, la administración toma iniciativas para adaptarlos
- hay una acción permanente de formación o de capacitación por parte de la administración, que busca generar una adecuada comprensión del funcionamiento

del sistema por parte de los usuarios, lo que garantiza la mantención de la paz social en el futuro.

2.2.2 Objetivos deseables

Una vez logrado, a través del diagnóstico, el conocimiento acerca de los diferentes tipos de eficiencia en el uso actual del agua, en los diferentes niveles de análisis, se llega en forma directa a la necesidad de establecer metas u objetivos para la cuenca. Las metas u objetivos se refieren a cada uno de los aspectos señalados.

Se puede señalar que los objetivos serán del siguiente tipo:

a) Objetivos de eficiencia física

- aumentar la eficiencia media a nivel predial y global
- minimizar las pérdidas por infiltración y derrame a nivel local y global
- minimizar las pérdidas evapotranspirativas a nivel local y global
- aprovechar mejor los derechos de agua individuales
- aumentar los factores de reutilización en el nivel global
- hacer obras de acumulación individuales y globales
- aprovechar mejor el acuífero en el nivel global

El análisis de este aspecto para desprender comportamientos deseables, es facilitado a través de la construcción de indicadores, que permiten obtener una visión local y global de cada cuenca.

b) Objetivos de eficiencia económica

- maximizar rentabilidad a nivel predial (reducir costos, aumentar beneficios)
- maximizar rentabilidad a nivel global (lo mismo)

El análisis de este aspecto, y el establecimiento de los objetivos deseables, se facilita con la construcción de indicadores económicos como VAN, TIR y otros que puedan ser pertinentes.

c) Objetivos de eficiencia ambiental

Se puede distinguir entre objetivos relacionados con el agua, y objetivos relacionados con otros recursos como fauna y flora. En relación con el agua, los objetivos son del siguiente tipo:

- controlar externalidades como reducción de calidad en cauces y acuíferos (incluida la salinización, si fuera el caso)
- imponer la mantención de caudales ecológicos en cauces
- imponer límites a los descensos de los acuíferos

d) Objetivos de eficiencia administrativa

Fundamentalmente son los siguientes, y se refieren a los niveles medio y global:

- aumentar la flexibilidad de distribución y de traslado
- mejorar el mercado del agua, incentivando la reasignación
- incentivar la reasignación de derechos hacia usos más rentables
- capacitar a administradores de asociaciones de usuarios
- capacitar a usuarios

En resumen, como ya se ha señalado, los objetivos que pueden establecerse para cada uno de estos cuatro aspectos de la eficiencia, no apuntan todos en la misma dirección, lo que significa que trabajar por la maximización de ciertos objetivos necesariamente va en desmedro de otros. Esto significa que algunos de los objetivos aparecerán como tales, y se buscará maximizarlos, mientras que otros aparecerán como condicionantes o restricciones que deben ser consideradas.

2.2.3 Condicionantes o restricciones

Suponiendo que la función objetivo principal del problema estará dada por la maximización del retorno económico, varios de los demás aspectos pasan a constituir condicionantes para el logro de tal objetivo. Por ejemplo, si el objetivo es maximizar el retorno económico de las inversiones que se hagan en la cuenca, inmediatamente aparecen como restricciones o condicionantes los objetivos ambientales.

Sin embargo, puede haber más condicionantes que surjan del análisis, las cuales podrían ser restricciones tales como:

- no exceder las capacidades de financiamiento disponibles en la cuenca
- no exceder la capacidad de endeudamiento de los usuarios
- no modificar la tenencia de la tierra, de modo que no se produzca éxodo rural-urbano
- modificar la administración de la tierra, fomentando por ejemplo las cooperativas
- no quitar el sustento a empresas familiares
- incentivar el mercado de aguas, ya sea permanente o transitorio, buscando la mejor forma de distribuir los derechos para maximizar la rentabilidad global del sistema
- no vaciar los embalses interanuales en un solo año
- no reducir las infiltraciones que alimentan ciertos acuíferos
- u otros condicionamientos que sea del caso establecer

Estas y eventualmente algunas más, son las condiciones deseables que se quieren mantener o producir en la cuenca, y además, habrá que establecer si son condicionantes absolutas no transables, o relativas transables, esto es, que tengan asociado un valor económico, en cuyo caso podrían ser transables o negociables.

2.2.4 Acciones deseables

Las acciones deseables son aquéllas que permiten llegar a maximizar un conjunto de objetivos, considerando el conjunto de restricciones impuestas a la maximización. Lo anterior lleva implícito que puede haber acciones que aumenten un determinado aspecto de la eficiencia de uso del recurso hídrico, que sin embargo no son deseables, porque se oponen a otros objetivos que vale la pena respetar, o, dicho de otro modo, que generan costos mayores que los beneficios, por lo que no resultan convenientes de implementar.

Para determinar cuáles de las posibles acciones son convenientes de implementar, es necesario tener herramientas para evaluar sus efectos, herramientas que este caso son los modelos de simulación hídrica, los modelos de simulación económica, y los múltiples indicadores definidos para el análisis. Una vez evaluados los efectos de las posibles acciones, se seleccionan las acciones aceptables desde todos los puntos de vista, y se traducen en proposiciones y recomendaciones.

2.2.5 Gestión integrada

El conjunto de todos los aspectos anteriores se puede definir como gestión integrada del recurso hídrico. El hecho de aplicar todos los conocimientos acerca de la eficiencia de uso del agua, del establecimiento de objetivos y de restricciones, a la identificación y establecimiento de acciones de mejoramiento viables o deseables, da lugar a este concepto envolvente, que es el de gestión integrada.

Dicho de otro modo, la gestión integrada del recurso hídrico de una cuenca exige contar con un conocimiento profundo de las condiciones en que se usa el agua en la cuenca (eficiencia física, económica, ambiental y administrativa), pero eso no basta, sino que se debe contar además, por un lado, con objetivos claros para la cuenca, y por otro, establecer las condiciones que habrá que respetar al aplicar cualquier medida de mejoramiento de eficiencia. Una vez establecido lo anterior, se podrá aplicar herramientas para identificar las acciones y medidas deseables y viables para la cuenca, las que serán implementadas como conclusión de la gestión.

Hay que tener presente, como se dijo antes, que los objetivos en muchos casos resultan contrapuestos, por lo cual la tarea consiste en encontrar un adecuado equilibrio entre ellos. Además, el equilibrio es un concepto relativo, que depende del lugar donde se está trabajando, y dentro del cual los aspectos señalados pueden adoptar pesos relativos diferentes. La gestión, por lo tanto, tendrá características propias en cada cuenca. Una característica distintiva de la gestión en zonas áridas será, sin duda, el fortalecimiento de la eficiencia física del agua, aspecto que no tiene un interés tan específico en zonas de abundancia.

2.3 ORGANIZACIÓN DEL ESTUDIO

Con la definición de los términos anteriores, el objetivo del presente estudio, llamado "Aplicación de metodologías para determinar la eficiencia de uso del agua", y que incluye el requerimiento de proposiciones para mejorarla, cobra ahora un sentido más concreto. Al concretarse el significado de la eficiencia, identificando diversos tipos de eficiencia, al establecer objetivos para su mejoramiento, restricciones que deberán ser respetadas en la cuenca, y herramientas para evaluar las medidas propuestas, queda explícito un esquema conceptual en función del cual desprender proposiciones viables o deseables, es decir, se establece una metodología.

De acuerdo con lo señalado, se define el contenido del diagnóstico de cada tipo de eficiencia, en los siguientes niveles de análisis:

Diagnóstico de la eficiencia física:
- nivel local
- nivel global

Diagnóstico de la eficiencia económica:
- nivel local
- nivel medio
- nivel global

Diagnóstico de la eficiencia administrativa:
- nivel medio
- nivel global

Diagnóstico de la eficiencia ambiental
- nivel global

Se entiende por eficiencia física todo lo relacionado con el aspecto cuantitativo del uso del agua, es decir, con la eficiencia de distribución y del uso propiamente tal del recurso, y con las implicancias que tienen las acciones del nivel local y medio sobre el nivel global.

Por eficiencia económica se entiende todo lo relacionado con los retornos que genera la aplicación del agua en los diferentes usos del nivel local, incluyendo el costo de eventuales nuevas inversiones, y los aumentos de retorno que ellos generarían, tanto en el nivel local como en el nivel global.

Por eficiencia administrativa se entiende la flexibilidad y eficiencia física con que operan los sistemas de distribución y las entidades de administración y de reparto en el nivel global y medio, la forma en que se asigna y reasigna el recurso a nivel global, la forma en que las reglas se adecúan a las necesidades reales y la capacidad de control para el cumplimiento de las reglas que se observa a nivel global.

La eficiencia ambiental se refiere a los problemas ambientales que el uso del agua puede generar, como por ejemplo, deterioros de calidad, reducción de caudales y de niveles, pero también a los problemas que el agua, si viene contaminada, puede significar para los diversos usos.

Las tres herramientas fundamentales del estudio que permiten efectuar estos diagnósticos y desprender las recomendaciones, se presentan en el capítulo 3, a continuación.

CAPÍTULO 3 PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO II HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS

A continuación se presentan las herramientas en las cuales se fundamenta la metodología con que se abordó el estudio de la eficiencia en el uso del agua. La metodología de análisis se basa muy fuertemente, aunque no exclusivamente, en tres herramientas, que permiten la sistematización de la información y el análisis integrado de ella, la comprensión del funcionamiento del sistema, la proyección de algunos escenarios y la evaluación de ellos. Estas herramientas son:

- un SIG
- un modelo hidrológico de simulación
- un modelo de evaluación económica

Por lo señalado, todo el trabajo de recopilación de antecedentes que se presenta en el Capítulo 4, y su representación en SIG, están enfocados en gran medida a generar y sistematizar la información de base que requieren las herramientas de modelación, para poder ser aplicadas a cada una de las cuencas.

3.1 SIG: GENERACIÓN Y MANEJO DE INFORMACIÓN ESPACIAL

El SIG o sistema de información geográfico se usó para representar, manejar y también para generar, la gran cantidad de información con que cuenta el presente estudio. La información de base, recopilada o adquirida, debió ser revisada y corregida para ingresarla al sistema, de modo de hacerla compatible entre sí y con la información nueva generada a partir de ella. El SIG es también la herramienta adecuada para representar algunos de los resultados e indicadores de uso que se desprenden del análisis realizado.

De este modo, el Sistema de Información Geográfico y el trabajo con las coberturas digitales, se concibió para cumplir dos objetivos:

- por un lado, facilitar el manejo de la gran cantidad de información de entrada, espacializada, que requiere el modelo MAGIC.
- por otro lado, permitir la presentación visual de los resultados que se obtienen de la modelación, y de los indicadores de uso elaborados en el presente estudio.

Aunque el uso de un SIG no estaba planteado como requerimiento, el hecho de usarlo significó un gran aporte para este estudio. Sin un SIG, un sistema de presentación de la información en mapas aislados habría sido de una utilidad bastante limitada para el mismo estudio, y no habría significado el enorme aporte de información para la región, que hace el presente estudio a través de las bases de datos del SIG.

Se implementó un SIG para cada una de las cuencas. Las coberturas generadas para cada cuenca se refieren a:

- cobertura de la imagen satelital
- coberturas con información básica de ubicación, monitoreo y temáticas varias
- coberturas con puntos de ubicación de terreno (entrevistas, puntos especiales y recorridos)
- coberturas con la información generada: ubicación de antecedentes, conectividad del modelo de simulación, oferta hídrica y demanda hídrica
- coberturas con indicadores de utilización del recurso hídrico, resultantes del diagnóstico
- coberturas con indicadores de utilización del recurso, resultantes de los pronósticos efectuados con los modelos.

Las coberturas básicas, de ser el caso, se han corregido, y se han convertido al dátum WGS84. Algunas coberturas con información catastral fueron adquiridas específicamente para este estudio. La mayor parte de las coberturas han sido especialmente generadas para el presente estudio. Estás últimas están orientadas a ordenar, mostrar y dejar operativa la información de entrada para la modelación, y a presentar los resultados que se han obtenido del estudio. Toda la información recopilada y presentada como SIG, se entrega en formato .shp para ArcView 3.2, en el DVD adjunto al texto.

Cada sistema SIG contiene la siguiente información:

3.1.1 Mosaico de imágenes satelitales Landsat

En el presente estudio se trabajó sobre la base cartográfica de las imágenes satelitales Landsat. Son las imágenes Landsat 2003 de la IVª Región, con resolución de 15 m (cuarta_sid, cuarta_741). Con estas imágenes se ha generado el mosaico correspondiente a la IVª Región. Este mosaico tiene como sistema de referencia el dátum WGS84, proyección UTM, Huso 19. La resolución de este mosaico permite identificar la ubicación y extensión de todas las áreas cultivadas, ciudades y sistemas hidrográficos de importancia. Por otro lado, el mosaico constituye una excelente base para representar la ubicación de la información puntual, lineal o areal, como pozos, vertientes, bocatomas, industrias, complejos mineros y áreas cultivadas con sus métodos de riego. La ubicación espacial de tal información tiene importancia para la modelación hidrológica cuantitativa.

Para el análisis y presentación detallada de las zonas de riego, también se usó la base aerofotográfica del SINIA, que se encuentra en el sitio www.sinia.cl, Geoinformación, Aerofotografías. Estas fotografías se usaron como material de base de interpretación, para la identificación de las áreas cultivadas, en apoyo a la información adquirida de CIREN y a la información recopilada en las campañas de terreno y en estudios específicos. No se presenta esta información en el SIG, debido a que, por un lado, es de libre acceso, y por otro lado, no está georreferenciada.

3.1.2 Coberturas básicas

a) Coberturas de ubicación

Las coberturas de ubicación, que fueron actualizadas, adaptadas y referenciadas en WGS84, son las siguientes:

- región
- comunas
- cuencas
- curvas de nivel
- ciudades
- caminos
- drenaje

b) Estaciones de monitoreo de variables hídricas de cantidad y calidad

Se generaron las coberturas de las estaciones de monitoreo que maneja la DGA. Hay una cobertura para cada tipo de monitoreo:

- estaciones pluviométricas
- estaciones fluviométricas
- estaciones de temperatura
- estaciones de evaporación
- estaciones superficiales y subterráneas de calidad
- pozos de observación de niveles estáticos

En las bases de datos de estas estaciones, se encuentran las coordenadas UTM originales en PSAD56, además de valores de altitud, cuenca en que se encuentran y área que drenan (si corresponde). La información contenida en cada una de las estadísticas se usa en diferentes aspectos del estudio de modelación, lo cual se señala en el capítulo correspondiente.

c) Coberturas temáticas

Se presentan las siguientes coberturas temáticas, puestas a disposición del presente estudio por algunas instituciones, como DGA, CNR y Serplac IV^{a} Región. Estas coberturas han constituido bases de trabajo, y sobre ellas se han efectuado correcciones, actualizaciones y complementos. Todas estas coberturas han sido adaptadas al dátum WGS84.

- Agroclima, para 46 distritos agroclimáticos identificados en la Región. Los distritos son los identificados en el Atlas Agroclimático de Chile
- Catastro de bocatomas de canales (DGA)
- Catastro de canales con trazado (DGA)
- Catastro de embalses grandes
- Catastro de embalses pequeños (en general tranques de noche y semanales)

- Canales (cobertura de la CNR)
- Pozos de riego
- Pozos para otros usos
- Fuentes contaminantes. Son las que provienen del catastro de fuentes contaminantes de la SISS, de 1993, actualizado en 1999. En la cuenca del Elqui se identifican como fuentes contaminantes sólo las aguas servidas de La Serena, Coquimbo y Vicuña, y la Compañía de Petróleos de Chile ubicada en Coquimbo. En la cuenca del Choapa se identifican como fuentes contaminantes las aguas servidas de Illapel y Salamanca, el tranque de relaves de la minera Portezuelo al lado de Illapel, y el tranque de relaves Los Quillayes de la minera Los Pelambres, en el río Cuncumén. En la cuenca del Limarí, sólo se identifican tres fuentes contaminantes, las ciudades de Ovalle, Montepatria y Combarbalá. No se identifican fuentes de contaminación minera en esta cuenca.
- Tipos de suelos y sus características. Del Serplac se obtuvo una cobertura que caracteriza el suelo en la IVª Región, en función de su capacidad de uso, aptitud para riego, categoría de drenaje y aptitud frutal
- Aptitud del suelo, cobertura que muestra una conclusión de los cuatro aspectos anteriores, y clasifica cada suelo según su aptitud general.
- Cobertura de la ley de fomento al riego. De la CNR se obtuvo una cobertura de proyectos que han sido financiados por la ley de riego, que incluye proyectos hasta el año 2001.

3.1.3 Coberturas de campañas de terreno

Para cada cuenca se presentan tres coberturas que incluyen los viajes a terreno:

a) Cobertura de trazados de caminos recorridos (caminos_recorridos)

Esta cobertura se incluye fundamentalmente para mostrar cuáles fueron las zonas recorridas y observadas en las campañas de terreno.

b) Cobertura de puntos relevantes (puntos_especiales)

Esta cobertura contiene todos los puntos singulares relevantes o especiales que se tomaron en terreno, como bocatomas, estaciones fluviométricas, embalses, empresas mineras, etc,

c) Cobertura de ubicación de entrevistas (puntos_entrevistas)

Esta cobertura contiene los puntos donde se realizaron las entrevistas correspondientes a los diferentes niveles de análisis: autoridades, directivos de organizaciones de usuarios, y usuarios.

3.1.4 Coberturas de preparación para la modelación

a) Cobertura de antecedentes recopilados

En su base de datos, esta cobertura contiene la siguiente información, resumida a partir del Anexo Digital X:

- Título del estudio
- Entidad mandante
- Autor
- Año
- Objetivos del estudio
- Mención de los principales resultados

b) Coberturas que representan la conectividad del modelo de simulación

Estas coberturas facilitan la ubicación de los elementos que requiere el modelo MAGIC para la simulación. En las bases de datos respectivas se encuentra la identificación de todos los elementos, con sus nombres, sus características, y los códigos según la nomenclatura que exige el modelo MAGIC.

- **Nodos (nodos_cuenca)**
  En la base de datos de esta cobertura se indica el nombre y código del nodo, y una observación acerca de si corresponde a una estación pluviométrica y a cuál.

- **Tramos de ríos (tramos_cuenca)**
  En la base de datos de esta cobertura se encuentra el código del tramo, y el área mojada que se genera en este tramo, dato que se usa para el cálculo de la percolación desde el cauce.

- **Sectores de riego (sectores_riego_cuenca)**
  Es una cobertura que delimita, por sectores o zonas, las áreas regadas o cultivadas que se encuentran en la cuenca. En la base de datos se encuentra el código de cada sector de riego. Para cada sector, se agrega información de área cultivada total, área con riego tecnificado y total de acciones de riego.

- **Sectores acuíferos (sectores_acuíferos_cuenca)**
  Constituyen una delimitación del área superficial de los acuíferos considerados en la modelación. En la base de datos se presenta el código, el nombre y el área superficial de cada acuífero considerado.

c) Coberturas para caracterización de la oferta hídrica

- **Subcuencas aportantes (subcuenca_aportante)**
  En esta cobertura se muestra la subdivisión que se hizo de la cuenca, en subcuencas aportantes, en función de la definición y ubicación de los nodos para la modelación.

Hay aportes de cabecera y cuencas laterales. Para las cuencas de cabecera más importantes en general hay estadísticas, llevadas por la DGA. Para las demás subcuencas, se generó una estadística de aportes, estimados con la ayuda de un modelo de escorrentía nivel y otro de escorrentía pluvial. Las estadísticas de caudales aportados, que constituyen la oferta de agua, se encuentran en los archivos de entrada del modelo de simulación MAGIC.

En la base de datos de esta cobertura se presenta:

- Código de la hoya
- Nombre de la hoya
- Descripción de la ubicación
- Área de la hoya
- Nodo al que aporta su caudal
- Tipo de hoya: nival, pluvial o mixta

- Descargas de las plantas de tratamiento (descargas_plantas_tratamiento)

También se considera oferta para el sistema los retornos que generan las plantas de tratamiento, en la medida que vuelven a la cuenca. No se incluyen entre éstas, las descargas que van a dar al mar.

En la base de datos se presenta la siguiente información:

- Nombre de la localidad
- Nombre de la empresa sanitaria
- Tipo de planta
- Caudal aportado el año 2004
- Población atendida los años 2002 y 2003
- Caudal de diseño de la planta
- Código del nodo al cual se entrega la descarga

d) Coberturas para caracterización de la demanda hídrica

La caracterización de la demanda se ha presentado en varias coberturas, dependiendo del tipo de demanda y de la información que se requiere para caracterizarla. De ese modo, se generaron las siguientes coberturas, en cuyas bases de datos correspondientes se aporta la información que se señala.

- Demanda de agua potable urbana: sistemas o ciudades abastecidas (Apu_sistema)

En la base de datos se presenta la siguiente información:

- Nombre de la comuna
- Nombre del servicio
- Nombre de la localidad
- Producción anual
- Porcentaje de pérdidas
- Número de arranques

- Población abastecida
- Empresa concesionaria
- Sistema de tratamiento de aguas servidas
- Fuente

- **Fuentes de agua potable urbana (Apu_fuentes)**

En la base de datos se consigna la siguiente información:

- Tipo de fuente
- Ubicación de la fuente
- Ciudad abastecida
- Caudal operativo en l/s

- **Localidades abastecidas con agua potable rural (localidades_apr)**

En la base de datos se aporta la siguiente información:

- Nombre comuna
- Nombre servicio o cooperativa o comité
- Nombre provincia
- Nombre localidad abastecida
- Domicilio del comité
- Fono
- Fax
- Tipo de fuente (superficial o subterránea)
- Año puesta en marcha
- Nº inicial de arranques
- Nº actual de arranques
- Número de beneficiarios
- Capacidad de la bomba
- Altura dinámica de la bomba
- Tiempo diario de bombeo en horas
- Meses de consumo
- Caudal medio producido en l/s
- Consumo anual
- Año del consumo anual
- Derechos
- Dotación resultante en l/hab/día
- Existencia de alcantarillado para aguas servidas

- **Principales empresas mineras registradas en Sernageomin (mineras)**

En la base de datos se consigna la siguiente información:

- Número SERNAGEOMIN (si corresponde)
- Nombre empresa
- Nombre planta

- Procesos
- Pasta principal
- Situación actual (activa o paralizada)

- **Empresas mineras activas que no se abastecen de agua potable (mineras_act)**

Para estas empresas, se consigna en la base de datos, la siguiente información:

- el nombre
- la fuente hídrica
- derechos constituidos
- el caudal efectivo que usan en sus procesos

- **Superficies de riego (superficie_riego_cuenca)**

Esta cobertura está basada, en primera instancia, en el Catastro Frutícola de CIREN, última versión disponible de 1999, con información sobre superficies de cultivos y métodos de riego. El catastro frutícola incluye, dentro de los frutales, la uva para consumo fresco, pero no incluye la uva pisquera ni vinífera, cuyos catastros los lleva el SAG. Las zonas de riego no cubiertas por CIREN, se caracterizaron a partir de la bibliografía existente (estudios integrales de Ingendesa para cuenca Elqui y Choapa, y estudios de embalses para Limarí), pero también a través de consultas específicas en las campañas de terreno, información que se verificó y se encuadró a través de los catastros comunales que lleva el SAG, y a través de la información a nivel comunal que presenta el último Censo Agropecuario del INE, de 1996/97.

En la base de datos se encuentra la siguiente información sobre las superficies de riego:

- Origen de la información del paño: CIREN o terreno
- Área del paño
- Identificación de las especies presentes en el paño (hasta 14 especies por paño)
- Área cultivada de cada especie en hectáreas
- Identificación del método de riego asociado a cada especie
- Folio CIREN de cada paño
- Código de la zona de riego en que se encuentra el paño
- Nodo inicial y final de la zona de riego

- **Infraestructura de uso: canales registrados con acciones (red_canales_cuenca_magic)**

Esta cobertura se basó en la cobertura de canales del SIIR de la CNR, de donde se obtuvo la ubicación de las bocatomas, y los trazados de los canales. Sin embargo, la base de datos de esta cobertura fue retrabajada, actualizándose la información, agregando toda la información sobre derechos, y la información sobre conectividad para la representación de estos canales en el modelo de simulación MAGIC.

En la base de datos de esta cobertura se encuentra la siguiente información, la cual corresponde a los requerimientos del modelo:

- Nombre del canal
- Código del canal para MAGIC
- Longitud en km
- Ribera de la que nace
- Uso
- Nombre de la zona que riega
- Código MAGIC de la zona que riega
- Nodo del cual sale
- Capacidad máxima según información Juntas de Vigilancia
- Acciones netas según Roles de las Juntas de Vigilancia
- Acciones en l/s según Roles de las Juntas de Vigilancia
- Superficie de riego según estudio CNR
- Superficie de riego según estudio IRH
- Superficie de riego según Estudio Integral de Riego
- Superficie de riego según memoria ULS
- Superficie de riego según interpretación CAZALAC
- Número de usuarios según estudio IRH
- Observaciones con información sobre porcentaje de división si el canal riega más de una zona de riego

- **Infraestructura de uso: pozos registrados con derechos (Pozos_cuenca)**

La cobertura de pozos se obtuvo a partir de dos bases de datos de derechos subterráneos que existen en la DGA, una en el nivel central y otra en el nivel regional. Ambas bases se unieron, se compararon eliminando pozos repetidos, y se amalgamaron en una sola base de datos con todos los pozos que tienen derechos o los tendrán (derechos comprometidos). A esta base de datos se agregó la información requerida por el modelo MAGIC.

En consecuencia, la base de datos de pozos contiene los siguientes campos:

- Número del expediente
- Cuenca
- Comuna
- Localidad
- Coordenadas UTM
- Latitud y Longitud
- Dátum original
- Nombre del peticionario
- Caudal (solicitado u otorgado, con unidades respectivas)
- Nº de Resolución
- CBR en que está inscrito, con fojas, número y año
- Tipo de derecho
- Tipo de ejercicio
- Tipo de uso

- Código del sector acuífero del que se surte
- Nombre del sector acuífero
- Código de la zona de riego a la que entrega el agua en caso de ser de riego

3.1.5 Indicadores de caracterización de las zonas de riego

Estas coberturas contienen los indicadores que se pueden obtener de la caracterización de las zonas de riego, antes de proceder a la modelación. Se obtienen a partir de los datos de entrada de los modelos.

a) Distribución de cultivos
b) Distribución porcentual de cultivos por zona de riego
c) Métodos de riego
d) Porcentaje de área tecnificada por zona de riego
e) Eficiencia de aplicación de riego ponderada por zona de riego
f) Acciones por hectárea

3.1.6 Indicadores de diagnóstico

Estos indicadores son los resultantes de la modelación en situación actual, y son los siguientes:

a) Tasas de riego resultantes
b) Eficiencia total desde bocatoma
c) Fuente del recurso hídrico
d) Porcentaje de retornos superficiales
e) Porcentaje de demanda suplida
f) Seguridad de riego

3.1.7 Indicador de pronóstico: Porcentaje de demanda suplida

Los mismos indicadores que se obtienen del modelo para operación en la situación actual, se han obtenido para cada uno de los escenarios. En estas coberturas de pronóstico se presenta, para cada cuenca y por zona de riego, el resultado de uno de ellos, el porcentaje de la demanda suplida, para todos los escenarios que resultaron hídricamente viables, es decir, para los escenarios que no dañan el sistema hídrico, y cuyas obras o acciones por lo tanto pasan a evaluarse económicamente. En la cuenca del Elqui hay trece escenarios hídricamente viables, en la cuenca del Choapa ocho, y en el Limarí dos.

3.1.8 Indicador de pronóstico: Seguridad de riego

En estas coberturas se presenta, para cada cuenca y por zona de riego, el resultado de la seguridad de riego, para todos los escenarios hídricamente viables, igual que en el caso anterior.

3.2 MODELO DE SIMULACIÓN HIDROLÓGICA

Una segunda herramienta de importancia fundamental para el desarrollo del estudio fue el modelo de simulación.

Aunque el uso de esta herramienta tampoco estuvo planteado como tal en los TR, se solicitaba el análisis de la interacción de las aguas entre elementos superficiales, subterráneos y áreas de riego, y la evaluación de escenarios futuros bajo condiciones diferentes a las actuales, lo cual es muy complejo de realizar sin el uso de un modelo de simulación, considerando el gran número de variables e interconexiones del sistema. De acuerdo con esto, se optó por proponer un modelo de balance como modalidad de trabajo.

Por lo demás, en este caso había algunas razones que apoyaban el hecho de trabajar con un modelo, y específicamente con el modelo MAGIC, que son las siguientes:

- En los tres valles existe información de base suficiente como para alimentar y calibrar un modelo, de modo que sería posible obtener respuestas que reflejen la realidad en forma creíble.
- Un modelo de simulación constituye la forma más clara de evaluar diferentes escenarios de uso de las aguas, entre los cuales se puede probar los efectos de modificar eficiencias, asignaciones de recursos u otras acciones que sean de interés, que era precisamente lo que interesaba hacer en este estudio.
- Durante el último año, la DGA ha puesto gran énfasis en el desarrollo de un modelo genérico, llamado MAGIC, el cual está siendo probado en algunas cuencas del país (Maule, Ligua, Aconcagua). El presente estudio constituía una oportunidad para probar, validar y mejorar este modelo.
- El MAGIC es un modelo flexible que se puede adaptar a cualquier tipo de cuenca.
- El MAGIC es un modelo integrado que incluye la representación del acuífero. Aunque esta representación es simplificada, esto lo distingue de una gran cantidad de modelos que no incluyen los acuíferos.
- El MAGIC permite una representación adecuada de los diferentes tipos de demanda sobre cada uno de los elementos de oferta

El modelo MAGIC es un modelo de balance, el cual se usa para representar una cuenca completa. El sistema hídrico queda representado físicamente por los siguientes elementos:

- cuencas aportantes
- cauces (incluidos los embalses)
- acuíferos
- sectores de riego

El modelo simula todos los procesos hídricos que tienen lugar entre estos elementos, como también las demandas consuntivas y no consuntivas que se producen desde nodos, acuíferos, o entre nodos, y entrega como resultados todos los flujos de interrelación entre todos los elementos.

3.2.1 Adaptación modelo MAGIC para el trabajo en cuencas Elqui, Limarí y Choapa

El modelo MAGIC es un modelo analítico, genérico e integrado de los recursos hídricos a nivel de cuenca, que fue desarrollado por parte de la Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios, Nivel Central. Se acordó utilizar el modelo MAGIC debido a que es un modelo ecléctico, que se ha desarrollado buscando integrar todos los aspectos más positivos de modelos anteriores realizados por y para la DGA, lo que lo convierte en una herramienta poderosa de integración de gran cantidad de información, de comprensión de la realidad hídrica, y de análisis de eventuales escenarios futuros.

Este modelo fue puesto a disposición por la DGA para el presente estudio, lo que, sin embargo, no significó su aplicación inmediata, pues, al ser un modelo genérico, hubo que hacer algunas adaptaciones que representaran las particularidades de las cuencas en estudio.

Las principales adaptaciones (y también mejoras) realizadas a la lógica de la modelación, se refieren a los siguientes temas:

- Cuando hay canales derivados, los cuales definen tramos de un canal principal, se posibilitó que cada uno de estos tramos pueda entregar sus percolaciones a sectores acuíferos distintos, dependiendo de su recorrido

- Se cambió la rutina de proceso de los canales derivados, de tal forma que en cada nodo secundario se reparte el porcentaje del caudal que realmente llega al nodo secundario, de acuerdo al porcentaje de distribución que cada canal derivado tenga en la bocatoma del canal matriz. Lo anterior afecta a los usuarios de los últimos canales derivados cuando hay pérdidas por conducción en los tramos anteriores del canal matriz, pero se consideró más "realista" que prorratear las pérdidas entre todos los usuarios del canal matriz (como venía en la versión anterior).

- Se agregó una función exponencial (Qent = a*V^b + c) como alternativa de cálculo, a la ya implementada función polinómica (Qent = q0+q1*V+q2*V^2+q3*V^3), para el caudal máximo de entrega de las válvulas de los embalses, en función del volumen embalsado. La función por defecto es la exponencial.

- Se agregó una nueva Tabla (ZR_QPR) con el objetivo de posibilitar que la percolación de una zona de riego pueda ser distribuida a más de un acuífero de destino, con un máximo de 4, incluso parte de dicha percolación puede aflorar superficialmente a un nodo del sistema.

- Se agregó una nueva Tabla (NO_DIST_Q), con el objetivo de posibilitar la distribución de caudal en los nodos mediante desmarques, de acuerdo con caudales impuestos por el usuario, para cada mes y cada año del período de simulación. Esta tabla es una opción que sólo se lee cuando el usuario activa el checkbox "Distribución de Q en nodos: según caudales" de la ventana Lectura de datos.

- Se clarificó el tema de las filtraciones de los embalses, que son caudales superficiales que van a dar a un nodo, mientras que las percolaciones son aportes al sistema subterráneo, es decir, van a dar al acuífero subyacente.

- Se agregó la posibilidad de optimizar la entrega de caudal a los nodos desde los embalses, de tal forma que el embalse entregue el caudal mínimo necesario para satisfacer la demanda de todos los nodos que el usuario señala como demandantes.

- Se incluyó la opción de activar un embalse dentro de un mes de un año determinado del período de simulación, de modo que el período de análisis pueda abarcar períodos sin y con embalse.

- Se activó la opción de calcular internamente las necesidades netas mensuales por zona de riego, dentro del modelo, en función de los datos de cultivos, métodos de riego, factores kc y valores de ETp entregados por paño de cultivo, en vez de tener que ingresar los valores calculados para cada sector de riego completo.

- Se corrigió el cálculo de la Demanda Suplida para el caso en que se agotan los acuíferos, caso en que debe usarse Qzbr y no Qbr para dicho cálculo.

Las principales modificaciones que aumentan la facilidad de uso de esta herramienta, son las siguientes:

- En el menú Archivo se agregó la función “importar a a&ccess” (xls->mdb), que permite generar la base de datos que requiere Magic a partir de la importación de un archivo Excel (con las 47 tablas que requiere Magic).

- En el menú Archivo se agregó la función “exportar a E&xcel (mdb->xls), que permite exportar a un archivo Excel, cualquier base de datos utilizada en Magic.

- Se agregó un nuevo archivo de resultados: Bal_Sub.txt, el cual contiene para cada acuífero del sistema, el caudal mensual aportado y extraído por cada uno de los objetos superficiales y subterráneos que le aportan o extraen caudal. Es similar al archivo "Caudales.txt."

- Se agregaron tres nuevos archivos de resultados, para facilitar la presentación de los resultados de demanda suplida. Estos archivos contienen el cálculo de la demanda máxima de los cultivos a nivel raíz o evapotranspiración máxima en mm, el cálculo de la demanda neta (restada la precipitación efectiva) a nivel raíz en mm, y el cálculo del caudal neto requerido a nivel raíz, en m3/s.

3.2.2 Información de entrada

El modelo se va armando para cada cuenca en función de la información con que se llenan las 47 tablas que permiten su operación. Los temas que abarcan dichas tablas son los siguientes:

a) Conectividad o topología

Como es un modelo genérico, lo primero que se hace es establecer la topología de la cuenca, para lo cual es necesario llenar las tablas de conectividad entre los elementos. Estas tablas establecen la posición relativa entre nodos, tramos y los diferentes elementos del sistema. El establecimiento de la topología requiere un conocimiento acerca del funcionamiento de la cuenca, para que queden adecuadamente representados los elementos como cuencas, subcuencas, sectores de riego, acuíferos y tramos de río, de modo que luego sea posible obtener las interrelaciones que interesa conocer.

b) Aspectos legales

El modelo da la posibilidad de ingresar caudales ecológicos y secciones legales de los ríos, representando de esta forma algunos conceptos del manejo ambiental y administrativo.

c) Estadísticas de caudales de entrada desde subcuencas

Un aspecto de gran importancia para este modelo son los caudales de entrada desde cada una de las subcuencas al sistema, los cuales pueden ser de dos tipos: estadísticas medidas de estaciones fluviométricas de cabecera, y estadísticas generadas a través de otro tipo de métodos (generación sintética de caudales, modelos precipitación-escorrentía) en todas las subcuencas no controladas. Esta información debe ser manejable durante el proceso de calibración del modelo.

d) Acuíferos

Para cada uno de los sectores acuíferos definidos en la topología, debe ingresarse las características geométricas y físicas (parámetros propios), además de la capacidad de bombeo de los pozos ubicados en cada sector de riego.

e) Cauces

Los ríos se dividen en tramos para su representación en el modelo, y cada tramo debe ser caracterizado geométricamente y en cuanto a sus coeficientes de permeabilidad y rugosidad.

f) Embalses

Para los embalses, se requiere información sobre las áreas de riego las cuales sirven, caudales que son solicitados para generación hidroeléctrica, volúmenes característicos como volumen máximo, muerto, inicial, curvas características de cota versus volumen, área inundada y

filtraciones, y curva de caudal máximo de entrega versus volumen embalsado. También existe la posibilidad de efectuar una operación especial del embalse, la cual se refiere a cualquier operación diferente de la de satisfacer siempre toda la demanda cuando se puede. Esta opción, sin embargo, no está operativa aún en el modelo.

g) Sectores de riego

Los sectores de riego requieren de una caracterización bastante acuciosa para su representación en el modelo. Se requiere establecer, por un lado, su demanda, para lo cual es necesario caracterizar los tipos de cultivos presentes en cada una de ellas, las áreas asociadas a cada tipo de cultivo, los métodos de riego y sus respectivas eficiencias, las características agronómicas de ciclo vegetativo y coeficiente de cultivo, y la precipitación efectiva agronómica. Por otro lado, es necesario conocer las características del suelo, en cuanto a su capacidad para retener y transmitir humedad. Por último, también hay que conocer la información sobre capacidad de regulación existente en la zona, horas de riego, y capacidad de bombeo desde el acuífero subyacente.

h) Captaciones puntuales

Son caudales de extracción a través de captaciones puntuales desde los ríos. Estas captaciones se refieren a extracciones para agua potable, uso industrial u otros usos. La variable queda descrita además, por un porcentaje de pérdida por infiltración y por un porcentaje de retorno a algún nodo, todo lo cual es necesario definir.

j) Descargas puntuales

Son caudales de aporte hacia los ríos en la ubicación de algún nodo. Pueden provenir de retornos de plantas de tratamientos de aguas servidas, trasvases u otros aportes al sistema.

3.2.3 Archivos de salida

El modelo tiene dos tipos de archivos de salida. El primero se refiere a los archivos de comprobación de la información ingresada. Los archivos de comprobación se aplican a 10 elementos del modelo: Nodos, acuíferos, tramos de río, zonas de riego, aportes naturales, hoyas intermedias, canales matrices, canales derivados, embalses y pozos de bombeo. A través del análisis de estos archivos, es posible verificar que los datos de entrada estén correctos y correspondan a la topología que se busca representar.
El segundo tipo de archivos de salida se refiere a los resultados. Los archivos de salida son matrices que contienen todos los flujos de interrelación entre los diferentes elementos del sistema, en la forma de datos medios mensuales para todo el período de simulación. De este modo, se puede conocer:

a) **Caudales en nodos:** el programa entrega todos los caudales de entrada o salida hacia cada uno de los nodos del sistema, desde cada uno de los objetos definidos como aportantes o solicitantes.

b) **Caudales de acuíferos:** el programa entrega todos los caudales relacionados con los acuíferos: caudales de entrada subterránea, de entrada por percolación desde zonas de riego y desde cauces naturales y artificiales, caudales de afloramiento, caudales de salida subterránea, caudales de bombeo para riego y para otros usos.

c) **Estado de acuíferos:** también se conoce el estado de los acuíferos, al inicio y término de cada período: volumen inicial, volumen final, y volumen final expresado como caudal continuo durante 1 mes.

d) **Centrales hidroeléctricas:** el programa entrega los caudales de entrada y los caudales de salida de cada central.

e) **Caudales de salida en captaciones puntuales:** desde los ríos, caudales de pérdidas y caudales de retorno, de acuerdo con los porcentajes de pérdidas y de retornos ingresados.

f) **Caudales de canales matrices y derivados:** caudales entrantes, pérdidas por percolación hacia los acuíferos y caudales de llegada a objetos finales de los canales.

g) **Caudales ecológicos:** porcentaje en que se cumple la condición de caudal ecológico, cuando existe.

h) **Embalses:** el programa entrega volumen inicial de cada período, caudal afluente al embalse, caudal demandado al embalse en cada período, caudal usado para generación de energía, caudal de entrega a los nodos solicitantes, caudal de vertimiento, caudal de filtración, caudal de evaporación, volumen total y útil al final del mes, y cota final del período.

j) **Nodos:** el programa entrega los caudales afluentes, demandados, entregados y deficitarios en cada nodo del sistema

k) **Pozos de bombeo:** el programa entrega para cada pozo la estadística de caudales medios mensuales bombeados durante todo el período simulado.

l) **Tramos de río:** el programa entrega los caudales afluentes, de percolación y efluentes de cada tramo de río definido en la topología.

m) **Zonas de riego:** para cada zona de riego, el modelo entrega tres archivos de salida:

- El primero contiene todos los componentes del balance de masa mensual efectuado en la zona de riego. Se obtiene estadísticas mensuales para los

siguientes caudales: caudal demandado por la zona de riego, caudal afluente desde canales matrices, derivados y derrames, caudal afluente desde elementos de regulación nocturna, caudal afluente desde pozos, caudales efectivamente utilizados para riego, caudales de derrames de riego, caudales de percolación de riego, caudales de percolación de lluvias sobre zonas de riego, demanda suplida, porcentaje de demanda suplida, retorno superficial total y evapotranspiración o demanda neta de la zona de riego.

- El segundo archivo de salida contiene los resultados detallados del modelo precipitación-escorrentía aplicado al paso del agua a través del estrato de suelo del área cultivada de la zona de riego. El programa entrega los resultados de necesidades netas mensuales de cada zona de riego, la precipitación media mensual que recibe cada zona, la lámina resultante del riego más la lluvia, evapotranspiración real desde la zona de riego, infiltración hacia el embalse subsuperficial (capacidad de campo), percolación profunda hacia el acuífero y grado de saturación del suelo al final del mes.

- El tercer archivo de salida es igual al anterior, pero aplicado al área no cultivada de la zona de riego. El área no cultivada corresponde en general al área indirectamente productiva.

3.2.4 Operación del modelo de simulación

La operación del modelo hídrico tuvo dos objetivos principales: efectuar un diagnóstico de la situación actual, y simular escenarios con las posibles soluciones a los problemas detectados.

a) Diagnóstico hídrico

El primer objetivo del uso del modelo fue integrar toda la información revisada y generada en relación con los recursos hídricos, de modo de permitir una acertada representación de la realidad, en base a la cual se pudiera emitir un diagnóstico sobre el uso y eficiencia de uso de las aguas. Las actividades específicas que llevaron a la formulación del diagnóstico, o conocimiento de la situación actual de cada cuenca en términos de uso del agua, fueron las siguientes:

- la alimentación de las 47 matrices de entrada
- la definición de un período adecuado de calibración y validación
- el proceso de calibración y de validación
- la operación para un período histórico
- la interpretación de los comportamientos observados de todas las variables, a través del proceso de análisis de resultados

La adecuada representación e interpretación de los resultados del período histórico de operación permitió emitir un diagnóstico acerca de lo que ha ocurrido y está ocurriendo en la cuenca.

En este sentido, los resultados que se generaron para cada escenario, tanto el escenario histórico de calibración como los escenarios futuros de operación, fueron los siguientes:

- grado de utilización del recurso
- interacción superficial-subterránea entre acuíferos y cauces, canales y zonas de riego
- comportamiento de los acuíferos (evolución de volúmenes, flujos entrantes o salientes)
- comportamientos de los embalses
- estadísticas de bombeos
- porcentaje de satisfacción de la demanda
- seguridad de riego
- porcentaje de caudales superficiales de retornos
- eficiencias totales
- salidas al mar.

Para el escenario de calibración, se muestran y se tabulan todos los resultados señalados, y en base a ellos se efectúa el diagnóstico de la situación actual.

Una interpretación de los resultados hecha a la luz del conocimiento general adquirido sobre las cuencas permitió, además, deducir información sobre:

- la dependencia hídrica entre sectores de aguas arriba y aguas abajo de la cuenca
- áreas con déficit de abastecimiento hídrico
- áreas con baja intensidad de explotación subterránea
- áreas con baja eficiencia física de uso
- áreas con baja eficiencia administrativa (mercados poco desarrollados)
- otros

En base a lo observado se pudo decidir cuáles eran los aspectos que se deseaba mejorar en cada cuenca, y en base a ello, diseñar los escenarios futuros de operación.

b) Evaluación técnica de un conjunto de soluciones

El segundo objetivo del modelo estuvo relacionado con la definición de escenarios factibles. Estos escenarios contienen todas las soluciones que parecían posibles y razonables de implementar, y que se definieron en base al diagnóstico, al conocimiento integral de la cuenca, y a los objetivos que se esperaba alcanzar. La aplicación del modelo permitió conocer la viabilidad hídrica o técnica de tales soluciones. Las actividades que se llevaron a cabo para la operación del modelo, fueron las siguientes:

- la definición y simulación de un escenario base
- la interpretación de resultados del escenario base
- la identificación de los cambios que se quiere lograr (objetivos)
- la proposición de medidas cuya implementación puede generar los cambios deseados

- la simulación del escenario correspondiente
- el análisis de resultados, es decir, la verificación de que dichas medidas no vulneran restricciones o condicionantes preestablecidas, y son factibles desde el punto de vista hídrico (no se secan acuíferos ni cauces, el sistema hídrico se mantiene viable).

El siguiente listado muestra los cambios en cuanto a obras y acciones que se evaluaron con el modelo, dentro de los alcances y plazos del presente estudio.

Obras:

- embalses
- entubamiento de canales
- tecnificación del riego
- tranques de noche
- pozos profundos
- combinaciones de las anteriores

Acciones:

- entrega según demanda en canales
- traslado de derechos
- gestión integrada superficial-subterránea

Para el caso de los diversos escenarios de operación, es poco práctico presentar todos los resultados antes señalados. Por eso, sólo se muestran algunos aspectos, los más notables o decisivos. En el texto (Capítulo 8) se describe con palabras los problemas de inviabilidad física o hídrica que se encontraron en cada escenario, de modo de descartar para el ulterior análisis económico los escenarios no viables.

En el SIG se presentan el porcentaje de satisfacción de la demanda y la seguridad de riego, para todos los escenarios viables de cada cuenca.

De acuerdo con todo lo señalado anteriormente, se observa que el beneficio de modelar el sistema hídrico del área de estudio fue de naturaleza doble, porque permitió trabajar adecuadamente el objetivo del diagnóstico (escenario de calibración) y el de las recomendaciones a futuro (escenarios futuros con cambios).

3.3 MODELO DE EVALUACIÓN ECONÓMICA

La operación del modelo hidrológico genera la base para la posterior aplicación del modelo de evaluación económica.

De acuerdo con lo que se ha señalado anteriormente, se definió una serie de escenarios, los que considerando medidas o acciones estructurales, no estructurales o una combinación de ambas, propendan a hacer un uso más eficiente del agua en cada una de las tres cuencas estudiadas.

El modelo de evaluación económica se aplicó a todos los escenarios corridos con el modelo hídrico que resultaron técnicamente factibles, esto es, que nos acercan a los objetivos sin violar las restricciones. Cada escenario hídrico tiene características propias en cuanto a desarrollos y proyectos (obras o acciones para mejoramientos de eficiencia), y por lo tanto también tiene características propias en cuanto a eficiencias y rendimientos económicos.

Para cada escenario, el modelo económico recibe como información de entrada, por un lado, los resultados del modelo hídrico (porcentaje de demanda suplida, caudales bombeados, pozos nuevos, áreas tecnificadas, canales entubados), y por otro lado, los costos de inversión, reposición, mantenimiento y operación asociados a cada una de las obras o acciones de mejoramiento incluidas. El modelo evalúa los ingresos que se generan en cada escenario (ingresos agrícolas fundamentalmente). La diferencia entre ingresos y costos entrega el flujo de beneficios de cada escenario, el cual se puede comparar con el flujo de beneficios de los demás escenarios. En el caso de tratarse de proyectos aislables, se determinan además los indicadores de rentabilidad más habituales, como son: el valor actualizado neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR).

La interpretación de los resultados de la evaluación económica requiere una definición muy clara de un escenario base, en relación al cual se efectúan las comparaciones.

3.3.1 Definición de indicadores económicos

El análisis económico se inició con la definición de una serie de indicadores, que caracterizan algunos aspectos económicos de las cuencas. Algunos de estos indicadores son utilizados posteriormente en la evaluación de beneficios. Otros tienen más valor relativo que absoluto, pero permiten hacer comparaciones entre las cuencas.

a) ¿Qué se entiende por eficiencia económica en el ámbito hídrico?

Una definición básica de eficiencia ampliamente aceptada es: "conseguir un resultado utilizando la mínima cantidad de recursos", o alternativamente, "conseguir los máximos resultados con una cantidad dada de recursos".

A diferencia de la eficiencia, el concepto de eficacia o efectividad tiene relación exclusivamente con conseguir un determinado resultado o, alternativamente, con conseguir la mayor cantidad de resultados, sin considerar en el análisis los recursos involucrados.

Si bien el concepto básico de eficiencia económica es sencillo, en la teoría económica existen diversas consideraciones que determinan otros conceptos más complejos de eficiencia económica.

Lamentablemente, no existe un único concepto universalmente aceptado para medir la eficiencia económica. La manera de expresar la eficiencia económica dependerá, en cada caso, de las condiciones y del propósito del análisis que se realice.

Dentro de la literatura, una de las definiciones de eficiencia económica más amplias y aceptadas es la definición del óptimo de Pareto, la cual es la siguiente: La máxima eficiencia económica se logra cuando la asignación de recursos es tal que no es posible aumentar la producción o el consumo de unos agentes sin simultáneamente disminuir la producción o el consumo de otros agentes. Este concepto involucra tanto a productores como a consumidores.

En el óptimo de Pareto, la eficiencia económica ocurre cuando el beneficio marginal de consumir un bien es igual al costo marginal de ofertar ese bien en el mercado. Con ello, no se puede mejorar la situación de un agente sin desmejorar la situación de otro.

Si bien esta definición es bastante aceptada dentro de la economía del bienestar, implica contrapesar no sólo los aspectos de producción sino los aspectos de demanda asociados al consumo. Por ello, en la literatura económica se aprecia que el análisis de la eficiencia económica tiende a mezclarse con el análisis de los impactos distributivos asociados al consumo de cada una de las diferentes alternativas. Con esto el tema se torna complejo, puesto que no sólo responde a criterios objetivos, como la producción, sino a aspectos más subjetivos y complejos de incluir en el análisis, como lo relacionado con el consumo y con los aspectos distributivos.

Por esto, en el presente trabajo, se analiza la situación en un contexto abocado sólo al análisis de la producción. En este contexto, se puede utilizar una definición más reducida, que aborda la eficiencia exclusivamente desde la óptica productiva. Esto es más práctico para el análisis que se intenta desarrollar en el presente documento, por lo cual se recurre al concepto básico de eficiencia descrito inicialmente.

Una de las principales teorías que tratan de la eficiencia en la producción, es la teoría marginalista que señala que el punto de máxima eficiencia económica es aquel en que se produce el máximo excedente de beneficios sobre los costos, lo cual en términos de las funciones de beneficios y costos normales, equivale al punto en que el beneficio marginal es igual al costo marginal.

En otras palabras, según esta aproximación, el indicador de eficiencia que se desea maximizar es la diferencia entre beneficios y costos, esto es el margen o excedente. Este se maximiza ante

diferentes niveles de uso de un factor de producción (como el agua) y el punto de máxima eficiencia sería el óptimo, en el cual el margen adquiere un máximo valor.

Con esto, ser eficiente tiene que ver con qué tan cerca se está del óptimo definido como la máxima diferencia entre beneficios y costos, y ello es coherente con el concepto básico de eficiencia económica definido inicialmente.

Si bien la concepción marginalista es una de las más aceptadas, tendría que llevarse a la práctica mediante una estimación funciones de beneficio y costo marginal (nivel de beneficio y costo ante diferentes niveles de uso del factor de producción bajo análisis). Normalmente, las funciones de beneficio marginal y costo marginal no son conocidas o resultan complejas de estimar, por lo cual, la aplicación de la teoría marginalista se utiliza más bien como un lineamiento conceptual para el análisis.

Lo que interesa en el presente estudio es contar con indicadores de eficiencia económica, los cuales pueden servir para efectuar comparaciones, ya sea en el tiempo, entre zonas o entre alternativas.

Los indicadores, como lo dice su nombre, son términos o números que indican la magnitud o tendencia de un atributo conceptual (en este caso, la eficiencia económica). Como tales, son herramientas que permiten aproximarse al concepto que se busca cuantificar, pero no necesariamente son perfectas.

De la teoría marginalista, se deriva un indicador que consiste en la diferencia entre beneficio y costo, esto es, el margen o excedente. Nótese, que no se trata de la razón o cuociente entre margen y nivel de uso del recurso, pues el óptimo del margen no es necesariamente el punto en que se logra el máximo nivel de excedente por unidad de recurso, sino el punto en que el uso de recursos es tal que se logra el máximo excedente. Ambas cosas no son lo mismo.

En otras palabras, de la teoría marginalista se deriva un indicador, que es el margen, que no tiene forma de cuociente.

El uso de indicadores con la forma de cuocientes está ampliamente difundido en diferentes disciplinas, por ser bastante intuitivo. Un ejemplo de ello es el ámbito energético, en el cual se utilizan indicadores de eficiencia energética. Uno de estos es lo que se denomina como "Intensidad Energética", que se define como el nivel consumo de energía dividido por el Producto Interno Bruto (PIB), expresado en GigaCal por unidad de PIB (CNE, 2005). En este caso, mientras más bajo es el indicador, más eficiente es el uso de energía desde la perspectiva económica.

Existe otra familia de indicadores de eficiencia económica que se utilizan en el ámbito de la gestión empresarial y que tienen relación con el concepto de rentabilidad. En términos simples, la rentabilidad es el cuociente entre las utilidades generadas y el capital invertido. En este caso, el concepto básico es el mismo al que se define inicialmente en el presente documento, esto es, conseguir los máximos resultados con una cantidad dada de recursos, en que el recurso pasa a

ser el capital y el resultado pasa a ser la utilidad. Este concepto se puede extrapolar al análisis del recurso hídrico, como una rentabilidad en relación con el uso de agua.

Con ello, el concepto básico de eficiencia económica de uso del recurso hídrico se entiende como el siguiente: Se es eficiente en la medida que se consiguen los máximos excedentes (beneficios totales menos costos totales) con una cantidad dada de recursos hídricos.

Los máximos excedentes, sin embargo, pueden obtenerse en dos condiciones:

- bajo una situación actual u observada, en que los cultivos son un dato, y sólo se puede optimizar dentro de esta condición dada de cultivos
- bajo una situación potencial o hipotética, en que es posible cambiar los cultivos y plantar en cada zona los cultivos viables más rentables

.

De este modo se distinguen dos tipos de eficiencia, una que podría llamarse real, actual u observada, y otra que podría llamarse potencial. Además, ambas pueden ser relacionadas entre ellas, a través de un cuociente, para comparar el nivel actual con un potencial nivel óptimo. Para los tres tipos de eficiencia se define un indicador en el siguiente acápite.

Finalmente, vale la pena señalar que, en el ámbito hídrico, el análisis de eficiencia económica del uso de agua tiene un rol complementario pero independiente del análisis de la eficiencia técnica o de riego. Desde ese punto de vista, la consideración de la eficiencia económica tiene por objeto incluir sólo la variable económica al análisis, razón por la que se ha trabajado por separado ambos conceptos. El análisis que se presenta a continuación, se refiere al agua que la planta ocupa a nivel raíz (demanda neta o nivel raíz), y se independiza de las eficiencias de aplicación de riego.

b) Proposición y definición de indicadores

A continuación, se presentan las definiciones específicas que se utilizaron en el presente estudio:

i) Rendimiento del factor suelo

Producción física anual dividida por la superficie productiva (toneladas o unidades / ha por cosecha). Este indicador se presenta a nivel individual, por cultivo, a través de valores medios estimados para la región.

ii) Eficiencia observada de uso del factor suelo, o MNAE

Margen neto anual equivalente por unidad de superficie productiva ($ / ha / cosecha). Este indicador se presenta por cultivo. Para definir este indicador, se utilizaron básicamente las fichas técnicas desarrolladas por el INIA Intihuasi especialmente para la IVª Región, fichas que se apoyaron, además, con criterios de experto y con experiencias de la Vª Región. La debilidad de este indicador es que se determinó márgenes únicos por cultivo, lo que en la práctica agrícola no es el caso, pues para cada cultivo hay muy diversas formas de producirlo,

con muy diversas rentas por hectárea, dependiendo en primer lugar del precio de mercado del momento de la comercialización, pero también del grado de tecnificación, de la zona de cultivo, de las prácticas de riego y fertilización, y otros factores. En todo caso, en la definición de este indicador, se trató de llegar a un valor representativo, realista y conservador.

iii) Rendimiento del factor agua (neto)

Producción física anual dividida por el agua anual utilizada a nivel raíz, esto es, sin considerar las pérdidas producidas en el riego. Se expresa en toneladas o unidades / m3 por cosecha. Al ser en términos de agua consumida a nivel raíz, este concepto es independiente de la eficiencia de riego y por ello neto. Este indicador se presenta por cultivo.

iv) Eficiencia observada de uso del factor agua (neto)

Este indicador es el único que pudo ser estimado para el uso del agua en la minería, además del uso agrícola, lo que se hizo en base a valores y criterios aportados por un experto. En la minería, este indicador se refiere al margen neto (ingreso menos costo) dividido por la cantidad de agua requerida en los procesos de obtención del producto ($ / m3).

En la agricultura, este indicador se refiere al margen neto anual equivalente dividido por el uso de agua a nivel raíz en términos de una temporada o cosecha ($ / m3). Este indicador se presenta por cultivo.

El concepto de eficiencia observada del factor agua así definido, es de tipo absoluto, pero también permite hacer un análisis comparativo entre zonas y entre actividades. De hecho, la aplicación de indicadores de eficiencia observada se efectúa para las actividades de agricultura y minería de los tres valles en estudio. Los tres corresponden a zonas que presentan diversos tipos de cultivos (especies) y diversos tamaños de la minería. Cada especie agrícola tiene un valor característico de eficiencia económica de uso del agua, por lo cual, el indicador descrito puede ser calculado para la zona como un todo o para cada una de las especies presentes. Al calcular el indicador para toda una zona, se utiliza un promedio ponderado de la eficiencia de cada especie.

En la minería, cada tipo de empresa tiene sus propios parámetros de uso del agua, dependiendo si es grande o pequeña minería.

Si se tiene, por ejemplo, una zona que presenta cultivos de alta eficiencia y cultivos de baja eficiencia de uso del agua, una pregunta que cabe hacerse es: ¿Por qué no se reemplazan hectáreas de cultivos de baja eficiencia por cultivos de alta eficiencia?, ¿Qué restricciones existen para este cambio? De acuerdo con los objetivos del presente estudio, se generarán también las siguientes interrogantes: ¿Es deseable este cambio? ¿Es rentable este cambio? ¿Qué se puede hacer, en el terreno de las acciones estructurales (obras) y no estructurales (gestión) para lograr mayor eficiencia económica en el uso del agua?

Tal como se ha explicado antes, un indicador que podría cuantificar dicho concepto sería la eficiencia medida en relación a un potencial máximo, la cual se define a continuación.

v) Eficiencia potencial o máxima del factor agua

Máximo valor del margen neto posible de ser obtenido (de una especie en particular) dividido por uso de agua a nivel raíz en términos de temporada o cosecha ($/m3). Este indicador es un indicador que se refiere a zonas en que hay presentes varios cultivos. Se aplicó, por lo tanto, al nivel medio, y también al nivel global, para la cuenca completa.

Para aplicar este indicador al nivel medio, se definieron zonas relativamente homogéneas dentro de la cuenca, llamadas mesozonas, las que se analizaron por separado.

Se debe tener presente que la determinación del potencial máximo de una zona es algo bastante difícil de calcular y en definitiva, algo subjetivo, por cuanto la potencialidad tiene relación con la posibilidad de alcanzar resultados no observados, esto es, resultados difíciles de asegurar a ciencia cierta con la información disponible en el momento presente. Además, la potencialidad pasa, entre muchos otros factores, por la estimación de una serie de variables tales como el tamaño de los mercados a los cuales se está apuntando con la producción. Por ello, la cuantificación precisa de este concepto resulta difícil. Debido a eso, se puede recurrir a una aproximación conceptual, determinando el potencial de manera imperfecta. En una zona con diversas especies que presentan diferentes niveles de eficiencia observada, se puede tomar como referencia del potencial aquella especie con el nivel de máxima eficiencia.

Una vez definido el concepto de máximo, se puede definir la eficiencia observada en términos relativos.

vi) Eficiencia relativa al potencial

Es el cuociente entre la eficiencia observada y la eficiencia potencial del factor agua. Es un indicador que tiene sentido a nivel medio y global, puesto que es un coeficiente de grupos de cultivos.

Con el concepto eficiencia relativa al potencial, aplicado al análisis comparativo de dos zonas, se puede dar el caso de que una zona "A" tenga mayor eficiencia económica observada que la zona "B", pero que la zona "B" esté más cerca de su potencial máximo, por lo cual, desde este otro punto de vista es más eficiente que la zona "A", puesto que dadas sus propias condiciones está más cerca de su propio óptimo.

Por lo tanto, lo relevante no es sólo saber cuánto se logra producir con la dotación de recursos, sino cuánto se podría llegar a producir, dado que los potenciales de diferentes zonas no son necesariamente los mismos.

No obstante lo anterior, se debe tener presente que el indicador definido es sólo una forma de aproximarse al concepto y tiene sus debilidades. Principalmente, porque depende fuertemente

de un solo dato, esto es el margen neto del cultivo de máxima eficiencia económica en las condiciones actuales de análisis, dato que puede estar sujeto a condiciones muy particulares y poco representativas de un potencial máximo de toda una zona a lo largo del tiempo.

Además, el uso sin contrapeso de dicho indicador puede llevar a resultados poco realistas. Por ejemplo, si se toma la especie de mayor eficiencia económica de una zona como representativa del potencial máximo de ésta, entonces se está induciendo a pensar que la forma de lograr el potencial máximo de la zona es transformar la zona en monoproductora del rubro de máximo eficiencia económica. De hecho, teóricamente así sería, pero también se deben tener presentes otras consideraciones y argumentos que señalan las limitaciones de la validez de dicho potencial. Por ejemplo, el aumento de producción de tal especie podría sobrepasar la demanda del mercado, con lo que podrían disminuir los precios y con ello los márgenes y la eficiencia potencial, dejando de ser realistas las estimaciones realizadas. Alternativamente, podrían subir de precio otros productos, cambiando el cultivo que determina la eficiencia potencial. Se podría argumentar que la dedicación de una zona a un solo rubro de máxima productividad involucra un riesgo por pérdida de diversificación. Por ello, seguir dicho criterio podría incentivar el monocultivo y por lo tanto, mayores niveles vulnerabilidad frente a factores de riesgo o de cambio.

Sin duda que dichos argumentos tienen bastante validez, por lo cual, el indicador debe ser tomado como una pieza de información que aporta al diagnóstico, pero no puede ser entendido como el indicador más importante.

vii) Coeficiente de variación de la eficiencia observada

En forma análoga al anterior, es un coeficiente que se aplica a nivel medio y a nivel global.

Dado que el indicador de eficiencia relativa al potencial, definido previamente, tiene sus debilidades, se ha querido realizar una definición alternativa para capturar el concepto de eficiencia relativa. Para ello, se parte de la base de lo siguiente: en la medida que existe variabilidad en la eficiencia observada entre especies, existe espacio para aumentar la eficiencia, al reemplazar superficie dedicada a especies de menor eficiencia económica por especies de mayor eficiencia. En el extremo, en la medida que todas las especies presentes en una zona tienen similares y elevados niveles de eficiencia económica en el uso del agua, se puede señalar que por lo menos a nivel de lo observado no existe posibilidad de aumentar la eficiencia por cambio de cultivo. En dicho caso se trata de una situación de equilibrio en la cual hay poca variabilidad en el indicador observado. Con ello, la variabilidad puede ser utilizada como indicador de este concepto, pues, a menor variabilidad más cerca se está del equilibrio o del óptimo posible. Sin embargo, este indicador también tiene sus limitaciones, por ejemplo al haber zonas con cultivos homogéneos pero de baja eficiencia, habrá poca variabilidad sin que esto signifique necesariamente que se esté cerca del óptimo. En el caso del Choapa, por ejemplo, puede no haber gran variabilidad, pero en este caso es porque los cultivos están todos lejos del óptimo.

En otras palabras, ante dos zonas que tienen igual valor medio de eficiencia económica de uso del agua para el grupo de especies presentes, la que tiene mayor variabilidad tiene más espacio para aumentar su productividad puesto que se pueden reasignar recursos desde cultivos de baja eficiencia a cultivos de alta eficiencia. Con ello, el indicador de potencial no aprovechado quedaría definido por el coeficiente de variación que se define matemáticamente de la siguiente manera:

Ecuación 4-1

$$Coeficiente\ de\ \mathrm{var}iación = \frac{Desviación\ \ estándar}{Media} = \frac{\sqrt{n\sum x^2 - \left(\sum x^2\right.\ /\ (n)(n-1)}}{\sum x\ /\ n}$$

donde x es la eficiencia observada de uso del agua de la especie “i”, con i = 1, 2, …. n

Este indicador tiene la ventaja de no depender fuertemente de un solo dato, pero tiene la debilidad de que no captura la posibilidad de que existan potencialidades aún no manifiestas en la práctica.

Con los indicadores descritos, se ha efectuado el diagnóstico de la eficiencia económica de uso del recurso hídrico en los valles de los ríos Elqui, Limarí y Choapa, a nivel local, medio y global.

Además, los indicadores de eficiencia de uso del suelo se han utilizado como datos de entrada para la estimación de ingresos en la aplicación del modelo económico, en el Capítulo 9 de evaluación económica.

3.3.2 Estimación de ingresos

Entre los ingresos se trabajó fundamentalmente con los ingresos agrícolas, que son los que se pueden modificar en base a recomendaciones y acciones evaluables con un modelo de simulación de balance como es el MAGIC. Los ingresos de otras actividades productivas, como la minería, industria y agua potable, no están sujetos a recomendaciones por parte del presente estudio. Se presenta a continuación la metodología utilizada para la determinación de los ingresos agrícolas.

La agricultura es en forma muy predominante el uso que más agua utiliza, y es el uso donde los incentivos de ahorro de agua no son tan directos como en los demás usos porque, a nivel individual, el costo real del agua generalmente no se paga. Lo que se paga a nivel individual, es el costo de oportunidad de no utilizar el agua productivamente, costo que también puede ser alto si la oportunidad perdida es importante. Sin embargo, en este uso las pérdidas debido a la falta de agua, son, en general, muy cuantiosas.

Debido a lo señalado, es fundamentalmente en este uso donde las decisiones estratégicas pueden comprometer una cantidad importante del recurso. Además, la naturaleza predominantemente agrícola de las cuencas, hace de este sector el más proclive a recibir proposiciones de mejoramiento. Esta es la razón por la cual el análisis económico se centró principalmente en este sector.

Para cuantificar los ingresos del sector agrícola, se utilizó una metodología basada en una cierta superficie agrícola, una determinada estructura de cultivos, los coeficientes de satisfacción de la demanda de agua de esos cultivos que son proporcionados por el modelo hídrico, y los patrones productivos y económicos de cada cultivo, todo lo cual permite calcular el margen económico asociado a cada cultivo.

Como en las cuencas del Elqui, Choapa y Limarí sólo una porción determinada del área tiene cultivos permanentes (justamente el área que tiene alta seguridad de riego), y el resto se adapta a las disponibilidades de cada año, no aplica en estas cuencas la metodología tradicional de merma de ingreso por falla de rendimiento debido al déficit hídrico en las plantaciones. Lo que sí aplica, es conocer qué cantidad de área ha podido ser regada cada año, y esa área considerarla bien regada. El porcentaje de área bien regada se obtiene del modelo de simulación.

El ingreso es el producto del rendimiento por el precio de venta. Tanto los rendimientos como los precios de venta a productor se obtuvieron de varias fuentes, en primer lugar la información de terreno, a través de las encuestas, como se detalla en el Capítulo 4, y en segundo lugar a partir de la información formal de CIREN, INE, INIA y ODEPA.

La diferencia entre el ingreso y los costos directos para generarlo, se llama el margen bruto por hectárea, y se obtiene en base a las fichas técnico-económicas por cultivo. Las fichas incluyen los ítems de mano de obra, maquinaria, tracción animal, insumos, fletes e imprevistos. Al margen bruto se le resta, además, los costos indirectos, como administración, contribuciones, contabilidad, asistencia técnica, movilización y comunicaciones, cobro por las acciones de agua, etc., para obtener el margen neto agrícola por hectárea.

Finalmente, mediante la multiplicación de las estructuras de cultivo por los respectivos márgenes netos unitarios por hectárea, se obtiene el ingreso neto agrícola.

Para el caso del agua potable, se trata de un uso totalmente regulado, en el cual se logra la eficiencia de uso a través de una tarifa a costo real, la cual constituye el incentivo ideal para buscar la eficiencia. No está en el alcance del presente estudio revisar las reglas de este uso, ni proponer cambios para aumentar la eficiencia.

En cuanto a los demás usos, minero e industrial, también es probable que cada productor haga un uso económicamente eficiente de su recurso agua, si paga los costos totales de su obtención. No está dentro de los alcances del presente estudio hacer recomendaciones referentes a estos usos.

3.3.3 Estimación de costos

Para cada uno de los elementos que integran los escenarios definidos, en especial los elementos estructurales, se estimó los costos de inversión, operación y mantención, además del costo de reposición de aquellos activos que cumplen su vida útil durante el horizonte de la evaluación.

Para estimar el costo de inversión de las obras, se consideró valores establecidos en proyectos afines ya ejecutados, en los manuales de obras menores de la CNR y de INDAP, y en los proyectos propios de las obras mayores de la región. El costo de operación y mantención de las mismas se estimó, como es habitual en este tipo de estudios, considerando un porcentaje sobre la inversión. Por su parte, la reposición, que generalmente corresponde a equipos, considera la vida útil económica de éstos, y las horas de uso, para definir la cantidad de años en que debe efectuarse el egreso de la reposición.

Una mención especial merecen los costos de bombeo, porque el bombeo sube fuertemente en los escenarios en que se libera el uso de los acuíferos. En estos escenarios, no sólo sube el costo de bombeo, sino que también es necesario considerar una inversión adicional en pozos, para que pueda producirse ese bombeo. Para evaluar estos costos, se cuenta con los caudales bombeados que entrega el modelo de simulación, y se estima que los pozos nuevos requeridos tendrán la misma capacidad de bombeo que los ya existentes en la misma zona de riego. Todos estos cálculos se efectúan en una planilla especialmente formulada para tal efecto, que se adjunta en el Anexo Digital VIII.

3.3.4 Estimación de beneficios y otros indicadores económicos

Los beneficios los calcula el modelo económico, en base a la información de costos y de ingresos. Los beneficios se obtienen para cada uno de los escenarios, por lo cual es necesario contar con un escenario base o de comparación. Los beneficios del escenario base siempre debieran ser superados por los beneficios obtenidos con las medidas que se proponen. Si no son superados, se asume una nueva condición de cultivos, más rentables, hasta que los beneficios originales al menos sean igualados. De este modo se desprenden las recomendaciones y sugerencias en base a los escenarios de operación y su evaluación económica.

Los escenarios de evaluación económica para la estimación de beneficios se asumen de 30 años de duración, después de los cuales los flujos pasan a ser irrelevantes. Una vez definidos los beneficios económicos de cada escenario, el modelo determina los valores actualizados netos de todos los flujos utilizando para ello la tasa social de descuento definida por MIDEPLAN, en este momento de 10% para proyectos privados.

El modelo entrega como resultado los indicadores de rentabilidad VAN, y TIR si procede, los que indican, de acuerdo con un criterio económico, cuáles son los escenarios más convenientes de implementar.

CAPÍTULO 4 RECOPILACIÓN DE ANTECEDENTES

El objetivo de este capítulo es presentar los antecedentes que sirvieron de base para el desarrollo del estudio. La recopilación de antecedentes permitió familiarizarse con las características físicas, agronómicas, hidrológicas, hidrogeológicas y sociales de las cuencas en estudio.

La recopilación de antecedentes fue una actividad que se realizó en varios frentes, y que se prolongó durante todo el desarrollo del estudio, pues se fueron incorporando nuevos antecedentes de todo tipo para enriquecer y complementar el análisis.

Recopilación de antecedentes en terreno

Las visitas a terreno tuvieron por objetivo recoger la información existente en la Región, y desarrollar las entrevistas.

Se realizaron 130 entrevistas en la región, las cuales se dividen de la siguiente forma entre los tres niveles de análisis:

- 28 entrevistas a autoridades institucionales y cuencarias
- 34 entrevistas a organizaciones de nivel medio (20 organizaciones de agua y 14 administradores de sistemas de agua potable rural
- 68 entrevistas a usuarios individuales, de los cuales fueron 60 usuarios agrícolas, 1 usuario minero y 7 industrias

Una relación detallada del contenido de las preguntas para las entrevistas para los diferentes niveles de análisis se presenta en el capítulo 4.1. Las personas entrevistadas en cada cuenca y los resultados de las entrevistas se presentan en los capítulos 5, 6 y 7, de diagnóstico. Finalmente, en el Anexo Digital II (DVD adjunto) se presenta el contenido completo de todas las entrevistas.

Recopilación de antecedentes en gabinete

Por un lado, se recogió toda la información necesaria y posible de obtener, en gabinete, tanto en Santiago como en la Región. Entre los antecedentes básicos que se recopilaron, se encuentran

- Imágenes satelitales IVª Región, Landsat resolución 15 m.
- Catastro frutícola de CIREN IVª región 1999
- Otros antecedentes georreferenciados (CNR, DGA)
- Antecedentes básicos de monitoreo hídrico de la DGA, DOH y Juntas de Vigilancia
- Antecedentes sobre el uso minero y de agua potable uebana y rural en la región

- Antecedentes sobre la experiencia internacional en cuanto a aumentos de eficiencia
- Antecedentes internacionales sobre metodologías de aumento de eficiencia en el uso del agua, para el nivel local
- Antecedentes elaborados en estudios anteriores

Una relación detallada de la revisión de estos antecedentes se presenta en el capítulos 4.2. Gran parte de la información recopilada se encuentra en las bases de datos del SIG, en especial se desarrolló una cobertura completa para presentar la bibliografía consultada.

4.1 RECOPILACIÓN DE ANTECEDENTES EN TERRENO

4.1.1 Objetivos del trabajo en terreno

La recolección de todos los antecedentes recabados en terreno tuvo fundamentalmente los siguientes objetivos:

a) Generar información de base para la modelación hídrica

Un objetivo importante del trabajo de terreno en la Región fue el de recoger la información que requiere el modelo de simulación hídrica, específicamente la información que no fue posible obtener en base a los antecedentes existentes y disponibles en estudios anteriores, o en reparticiones públicas o privadas en el nivel central. Esta información es fundamentalmente la siguiente:

- estadísticas de operación de embalses, la cual se solicitó en la DOH y en las juntas de vigilancia respectivas. Esta información se obtuvo para los embalses Puclaro, Paloma, Corrales y Cogotí. Solamente la Asociación del embalse Recoleta no entregó información.
- estadísticas de operación de canales: desmarques y políticas de reparto en los ríos y canales de los diferentes sistemas de riego en cada una de las cuencas
- actualización de los derechos y acciones por parte de las Juntas de Vigilancia
- catastro de pozos que maneja la DGA Regional
- forma del uso del agua por parte de los usuarios: uso de pozos, distribución de agua por canales, turnos
- estado de las obras, estimación de pérdidas por ineficiencias
- características físicas de los cauces modelados
- participación de los usuarios en el mercado de aguas
- verificación y actualización de la estructura de cultivos. La estructura de cultivos se basó en el catastro frutícola adquirido en CIREN, se complementó en base al Catastro Comunal de Vides del SAG y con el Censo Agropecuario de 1996/7 del INE, con el conocimiento de terreno de las personas entrevistadas, y finalmente en base a las visitas realizadas específicamente con este fin.

De esta forma, se recogió el conocimiento específico de terreno acerca de todos los aspectos que caracterizan la oferta, demanda y balances del recurso hídrico en la cuenca.

b) Generar información de base para la modelación económica

Por otro lado, se recogió la información relacionada con el modelo de evaluación económica. En este caso, se trata fundamentalmente de la información sobre costos de producción, precios de venta de los productos, rendimientos y mercados. La información recogida en terreno sobre estos aspectos se considera referencial, y se usa para complementar y validar la información obtenida de fuentes formales.

c) Conseguir información para caracterizar la administración del recurso

A través de las entrevistas en terreno, a todo nivel, se recogió la información que permite caracterizar la administración del recurso: capacidad técnica de administración, efectividad de celadores, participación de usuarios, flexibilidad del sistema frente a modificaciones de derechos, traslados de derechos, mercado de aguas, y otros.

d) Recabar información sobre aspectos ambientales

La investigación de terreno se centró en dos aspectos:

- conocer los problemas ambientales que se conocen en la región a nivel de instituciones
- conocer los problemas ambientales que sienten los usuarios y cómo les afectan.

Esta información se generó para tenerla en cuenta al hacer las evaluaciones de condiciones futuras, y en el momento de hacer proposiciones y recomendaciones para la cuenca.

e) Recopilar información sobre objetivos y metas para la cuenca, para guiar el planteamiento de escenarios futuros a modelar

Esta información se obtuvo especialmente en base a las entrevistas a las autoridades públicas y privadas, para las cuales se observa que, cada una desde su propia perspectiva, manejan objetivos para la región, y para las cuencas en particular. Estos objetivos constituyen las líneas directrices de todas las medidas que se proponen.

f) Identificar las restricciones o condicionantes a tener en cuenta en futuras proposiciones

Se recogió también en la región, las percepciones que tienen las autoridades sobre lo que debieran ser las condicionantes a tomar en cuenta para la proposición de acciones.

4.1.2 Configuración de las entrevistas según niveles de análisis

El trabajo de entrevistas se desarrolló de acuerdo con los tres niveles de análisis de este estudio: global, medio y local. En cada nivel se trataron los temas que a continuación se señalan, con los personajes que se indican posteriormente para cada una de las cuencas. A todos los encuestados se les solicitó nombre, cargo (si procedía), y algún dato de contacto.

a) Nivel global

Para el nivel global, los objetivos de las entrevistas fueron los de gestión global a nivel de autoridades de instituciones públicas, gestión global a nivel de juntas de vigilancia y asociaciones de canalistas mayores, y gestión de la empresa de agua potable urbana.

En este nivel, las entrevistas tuvieron los temarios que se presentan a continuación:

i) Temario general para las autoridades entrevistadas

1. Objetivos para la cuenca, relacionados con el recurso hídrico. Estrategias de desarrollo.
2. Condicionantes o restricciones al desarrollo del recurso hídrico. Condicionantes sociales, ambientales, físicas.
3. Efectos ambientales negativos que se sienten en la cuenca, y planes de mitigación o descontaminación. Problemas de salinización
4. Aplicación de la nueva normativa
5. Sectorización de la cuenca, desde su perspectiva
6. Asignación de derechos de agua. Distorsiones.
7. Actividad del mercado del agua
8. Capacidad de ordenamiento de las juntas de vigilancia
9. Existencia de pozos no inscritos
10. Estado de los sistemas de conducción. Estado de los embalses. Pérdidas de agua por derrames e infiltraciones
11. Políticas de operación de embalses y canales
12. Metodologías de aumento de eficiencia en el uso del agua que se manejan o se proponen en la región
13. Proyectos de expansión de las actividades que usan aguas
14. Fuentes de financiamiento y subsidios
15. Tipos de subsidios relacionados con el recurso hídrico
16. Planes de desarrollo de la empresa sanitaria
17. Pérdidas del sector agua potable
18. Ubicación de descargas de aguas servidas y calidad de ellas
19. Planes de descontaminación

ii) Listado específico de consultas para presidentes de Juntas de Vigilancia

1. Tipos de cultivos y métodos de riego presentes en su área jurisdiccional
2. Áreas que se riegan con derechos permanentes y eventuales
3. Áreas que se riegan tecnificado y áreas de riego tradicional
4. Tipos de sistemas de distribución y control de caudales en canales
5. Derechos que administra (estatutos o listado de canales)
6. Forma de administrar y operar los derechos de agua
7. Formas de operar los embalses
8. Eficiencia de la forma de distribuir los derechos
9. Efectividad del sistema de celadores u otro (cuántos celadores)
10. Capacidad técnica para la administración (personal e instalaciones)
11. Nivel de participación de los usuarios (asambleas, resolución de problemas)
12. Forma de participación de los usuarios
13. Nivel de aceptación o de conformidad de los usuarios
14. Procedimientos de intercambio de información con los usuarios
15. Reclamos y conflictos
16. Flexibilidad o adaptabilidad del sistema frente a modificaciones de derechos
17. Posibilidad de traslados de derechos

18. Saber si la administración fomenta la movilidad de los derechos
19. Opera el mercado de aguas
20. ¿Se lleva registro de transacciones?
21. Transacciones de los últimos 10 años
22. ¿La infraestructura posibilita el mercado y traslado de aguas?
23. Estado de las obras de distribución
24. Pérdidas por conducción
25. Estudios o mediciones de estas pérdidas
26. Obras de acumulación, suficiencia de ellas y pérdidas
27. Zonas de riego eventual y permanente
28. ¿Hay riego por pozos? ¿Dónde?
29. Existencia de asociaciones de aguas subterráneas
30. Conocer las formas de operar las aguas, entre aguas superficiales y pozos
31. Qué metodologías de aumento de eficiencia se aplican en el uso del agua
32. Proyectos de expansión de áreas de cultivo
33. Características del suelo
34. Historia de la expansión, proyectos importantes de expansión
35. Los proyectos de expansión se asocian al embalse? O existían antes, en función de optimizar la eficiencia de riego?
36. Ubicación agricultores más grandes y más pequeños, no catastrados por CIREN
37. Formas de comercialización de agricultores grandes y pequeños o por rubros
38. Utilización de subsidios, qué subsidios, quiénes
39. ¿Qué problemas ambientales se perciben en la cuenca?
40. ¿Qué estudios ambientales se han hecho para determinar la contaminación difusa agrícola?
41. ¿En qué forma afectan los problemas señalados a los usuarios de esta asociación o junta?

b) Nivel medio

El nivel medio se entendió representado por las asociaciones de canalistas cuando son menores, Comunidades de Aguas y Comités de Agua Potable Rural. Para el nivel medio, los objetivos de las entrevistas fueron efectuar consultas sobre la gestión, la flexibilidad de las obras, y las características del uso del agua en riego y en agua potable rural.

En este nivel, los temarios de las entrevistas a ambos tipos de entidades fueron los siguientes:

i) Listado de consultas para Asociaciones de Canalistas y Comunidades de Agua

1. Tipos de sistemas de distribución y control de caudales en canales (compuertas, marcos, otros).
2. Derechos que administra (pedir estatutos, o algún listado de canales, y sus derechos, permanentes o eventuales)
3. Forma de administrar y operar los derechos de agua (por secciones?)
4. Formas de operar los embalses

5. Efectividad del sistema de celadores u otro
6. Capacidad técnica para la administración
7. Nivel de participación de los usuarios
8. Nivel de aceptación o de conformidad de los usuarios
9. Procedimientos de intercambio de información con los usuarios
10. Reclamos y conflictos
11. Flexibilidad o adaptabilidad del sistema frente a modificaciones de derechos
12. Posibilidad de traslados de derechos
13. La administración fomenta la movilidad de los derechos?
14. Estado de las obras de distribución
15. Pérdidas por conducción
16. Obras de acumulación, suficiencia de ellas y pérdidas
17. Zonas de riego eventual y permanente (marcarlas en el mapa)
18. Existencia de asociaciones de aguas subterráneas
19. Conocer las formas de operar las aguas, entre aguas superficiales y pozos
20. Qué metodologías de aumento de eficiencia se aplican en el uso del agua
21. Proyectos de expansión de áreas de cultivo
22. Características del suelo
23. Historia de la expansión, proyectos importantes de expansión
24. Los proyectos de expansión se asocian al embalse? O existían antes, en función de optimizar la eficiencia de riego?
25. Ubicación agricultores más grandes y más pequeños, no catastrados por CIREN, datos para entrevistarlos
26. Formas de comercialización de agricultores grandes y pequeños o por rubros
27. Utilización de subsidios, qué subsidios, quiénes
28. Qué problemas ambientales percibe en la cuenca'
29. Hay estudios ambientales para determinar la contaminación difusa agrícola?
30. En qué forma afectan los problemas ambientales señalados a los usuarios de esta asociación o junta?

ii) Listado de consultas para APR

1. Nombre comuna
2. Nombre servicio
3. Nombre localidad abastecida
4. Año puesta en marcha
5. Producción anual
6. Población total
7. Nº de arranques
8. Población abastecida
9. Tipo de fuente (superficial o subterránea)
10. Derechos de agua y tipo de derechos
11. Pérdidas del sistema (físicas y monetarias)
12. Información sobre calidad del agua cruda
13. Información sobre calidad del agua potable que se distribuye

14. Existencia de alcantarillado u otros sistemas de evacuación
15. Punto de descargas de aguas servidas
16. Proyectos futuros en cuanto a aguas servidas
17. Tipo de administración
18. Capacidad técnica para la administración
19. Conflictos o problemas en la administración
20. Proposiciones para mejorar los problemas
21. Costo por m3 de agua potable
22. Tarifas por m3

c) Nivel local

El objetivo de las entrevistas en el nivel local, fue el de conocer los antecedentes sobre el uso del agua y también sobre los rendimientos económicos, en los sectores agrícola, industria y minería. Las entrevistas a este nivel se realizaron a usuarios agrícolas, industrias y empresas mineras.

Los temarios de las entrevistas aplicadas fueron los siguientes:

i) Listado de consultas para empresas mineras

1. Número SERNAGEOMIN
2. Nombre empresa
3. Nombre planta
4. Procesos
5. Pasta Principal
6. Producto principal
7. Situación actual (activa o paralizada)
8. Año puesta en marcha
9. Año de cierre
10. Proyectos futuros
11. Producción anual del producto (cantidad)
12. Precio que obtiene por el producto
13. Costos de producción
14. Mercados a que destina el producto
15. Ubicación de las fuentes de agua (coordenadas o plano)
16. Derechos de agua en cada fuente y tipo de derechos
17. Participación en el mercado del agua, en alguna de sus formas
18. Caudal utilizado en la producción
19. Producción anual o mensual de agua en las fuentes, (histórica y proyectada)
20. ¿Qué calidad de agua requieren los procesos?
21. Pérdidas de agua, por ejemplo en la distribución o conducción
22. Procesos en los que usa agua
23. Cuánta agua usa
24. ¿Recircula aguas?
25. ¿Utiliza aguas para enfriamiento?

26. Existencia de relaves
27. Tiene descarga de riles
28. Puntos de descarga de riles u otros efluentes
29. Características de calidad de agua de relaves y riles
30. Otro tipo de impacto ambiental
31. Acciones de mitigación de impacto ambiental

ii) Listado de consultas para Industrias y Agroindustrias

1. ¿Cuál es su producto?
2. Cantidad de producto que produce al año
3. Precio que obtiene por el producto
4. Mercados a que destina el producto
5. Costo de insumos (en especial, si son insumos agrícolas, cuánto paga al productor)
6. Cuál es su fuente principal de agua (potable, pozos, superficial, otra)
7. ¿Tiene derechos de agua? ¿Cuántos y de qué tipo?
8. ¿Pertenece a alguna organización de aguas?
9. La organización ¿fomenta el mercado de aguas?
10. Caudal producido en cada fuente, al mes.
11. Cuáles son los procesos para los que requiere agua
12. Consumo anual o mensual de agua
13. ¿Qué calidad de agua requieren sus procesos?
14. Pérdidas por filtraciones o conducción
15. ¿Recircula aguas?
16. ¿Enfría aguas?
17. ¿Qué hace con las aguas servidas de sus procesos? ¿Dónde se vierten los riles?
18. ¿Tiene alcantarillado?
19. Con qué calidad devuelve aguas al alcantarillado, o al sistema?
20. Qué otro tipo de impactos ambientales genera esta industria?
21. Qué tipo de medidas medioambientales toma?
22. Ha participado en el mercado del agua?
23. Si no, por qué razón? No se fomenta? No lo permite la infraestructura?

iii) Listado de consultas para usuarios agrícolas individuales (grandes y pequeños)

1. Qué área (del plano) representa como usuario
2. Desde cuándo existe como regante
3. Derechos que posee, canal o sección donde los posee, permanentes o eventuales
4. Derechos están inscritos, ¿dónde? ¿Funciona el mercado del agua?
5. Con qué sistema riega el área que representa (canal, pozo, vertiente)
6. Qué pérdidas físicas de agua tiene su canal o sistema de riego, dentro del predio, fuera del predio.
7. Qué cultivos riega, cuántas hectáreas cada uno
8. Qué métodos de riego aplica en cada uno
9. Sistema de riego: horas de riego, riego nocturno o tranque de acumulación

10. Si riega con pozos, ¿cómo los opera? ¿Caudal, tiempo de bombeo?
11. ¿Cuál es el costo de la electricidad para el bombeo? ¿Cuánto paga al mes?
12. ¿Usa tarifas especiales, industriales u otras?
13. Cuánta agua aplica al riego, anual o mensualmente, en total o por cultivos
14. En cuanto al agua, el año 2002/3 ¿fue representativo, bueno, malo?
15. ¿Funciona el mercado del agua en su canal o su sector?
16. ¿Ha participado en el mercado del agua?
17. Su organización ¿fomenta el mercado del agua?
18. ¿Su infraestructura permite el mercado del agua?
19. ¿De qué depende si participa o no?
20. ¿Le gustaría participar? ¿Necesita más agua que la que tiene?
21. Producción anual de su producto
22. Rendimiento de los cultivos en años normales y secos
23. ¿Qué cultiva cuando hay año seco? ¿Reduce el área de cultivo?
24. ¿Tiene proyectos de expansión de los cultivos?
25. ¿Utiliza subsidios de la ley de riego? ¿Cuándo ha utilizado?
26. ¿Otros subsidios?
27. ¿A qué mercados vende su producto, nacional o internacional? (por rubro)
28. ¿A qué entidad entrega su producción? ¿A qué precio?
29. ¿Cómo y en función de qué varían los precios en ambos mercados?
30. ¿Maneja fichas técnicas de sus cultivos, o quién las maneja?
31. ¿Puede facilitarlas para este estudio?
32. ¿Cuánto retorno o utilidades tiene por hectárea de cultivo al año? (por rubro o como mejor lo sepa).
33. ¿Cómo percibe la administración de su canal? ¿Y la administración del río?
34. ¿En qué forma participa usted en la comunidad de aguas, asociación o junta correspondiente?
35. ¿Qué problemas importantes quisiera resaltar en cuanto a la administración?
36. ¿Cómo se distribuye el agua dentro de su canal?
37. ¿Es eficiente la distribución del agua dentro de su canal?
38. ¿Tiene tranques nocturnos de acumulación?
39. ¿Ha sabido de que haya problemas de contaminación en su entorno, en su canal, en el río? (minera, agrícola, industrial, doméstica, otra?)
40. ¿Qué problemas de contaminación le afectan directamente a Ud.?

4.2 RECOPILACIÓN DE ANTECEDENTES EN GABINETE

4.2.1 Antecedentes básicos georreferenciados

Como se señala en este capítulo, hubo una cantidad de información muy útil para el presente estudio, que fue posible de recopilar fundamentalmente en la CNR y en la DGA, también en SERPLAC regional, la cual, sin embargo, se encuentra almacenada en diferentes sistemas de referencia.

Por ello fue necesario efectuar un trabajo de compatibilización de dátum de todas las coberturas disponibles y de la imagen satelital, de modo de que toda la información pudiera ser representada en un mismo sistema SIG. Las coordenadas en que, en definitiva, se presenta toda la información, son WGS84, que son las de la imagen satelital.

Además, se hizo un depurado de las coberturas útiles, de modo de dejarlas operativas para el presente estudio.

a) Mosaico satelital Landsat de la IV Región, año 2003, con resolución de 15 m.

Se adquirió las imágenes satelitales Landsat de la IV Región, año 2003, con resolución de 15 m, y se configuró con ellos el mosaico de la IV Región. Este mosaico tiene como sistema de referencia el llamado WGS84.

El mosaico se utilizó de base tanto para la realización del trabajo, como para la presentación de los resultados. La resolución permite identificar la ubicación y extensión de todas las áreas cultivadas, ciudades y sistemas hidrográficos de importancia. Por otro lado, el mosaico constituye una excelente base para representar la ubicación de la información puntual o lineal, como pozos, vertientes, bocatomas, industrias o complejos mineros, y caminos.

El mosaico se incorporó como una cobertura al SIG definitivo, el cual se entrega en medios magnéticos.

b) Catastro Frurtícola IV^{a} Región actualización año 1999

Se adquirió, especialmente con fines del presente estudio, el catastro frutícola de la CNR, en su versión vigente al momento (abril 2005), que era la de 1999. Este catastro se solicitó con información de especies, variedades, métodos de riego, y la información para ubicar al propietario. La información se obtuvo por paño de cultivo.

c) SIG de la Comisión Nacional de Riego

La Comisión Nacional de Riego puso a disposición de la Dirección General de Aguas, para el presente trabajo, su Sistema de Información Geográfico correspondiente a la IV Región, llamado SIIR IV. Este SIG aporta tanto coberturas gráficas, como bases de datos con

información técnica elaborada. Aquí se reseña la información existente, sin embargo para hacer uso de ella en el presente estudio, fue necesario revisar y confirmar que dicha información fuera adecuada para los fines que aquí se perseguían. Hubo mucha información que debió ser corregida o reorganizada.

A continuación se presentan las coberturas del SIIR IV que fueron de utilidad para este estudio, y que se incorporaron dentro del SIG definitivo, haciendo las actualizaciones y correcciones del caso.

Canales
La información contenida en la base de datos consiste en la ubicación, identificación y fuente de recursos hídricos, longitud y superficie regada. La información de canales proviene de las fuentes DGA y CIREN.

Uso del suelo
Se cuenta con una cobertura gráfica en que está caracterizado el uso del suelo, por porciones. Se distingue entre bosques nativos, bosques plantados, praderas, matorral, terrenos de uso agrícola, agricultura de riego, áreas desprovistas de vegetación y ciudades o pueblos o zonas industriales.

Clases de suelo
Esta cobertura, en que se presenta el suelo diferenciado por porciones, trae información sobre capacidad de uso, serie de suelo, restricciones de uso, aptitudes y categoría de suelos.

Embalses grandes (mayores que 50.000 m3)
La cobertura de embalses mayores contiene información sobre ubicación, nombre, superficie máxima, capacidad máxima y fuente hídrica de cada embalse. La fuente de información es DGA y CIREN.

Embalses pequeños (menores que 50.000 m3)
Esta cobertura contiene en su base de datos, información sobre ubicación, nombre, superficie y capacidad máxima y fuente hídrica. Estos embalses representan una capacidad de almacenamiento de corto plazo, o capacidad de regulación nocturna.

Fuentes contaminantes
La base de datos de esta cobertura es muy grande, pero no contiene toda la información que parece contener. De este modo, se encuentra sólo parcialmente disponible la información sobre ubicación, identificación del emisor y alguna información característica sobre la emisión. La fuente de esta información es la SISS, que lleva la información y el control de los riles.

Pozos de riego y Otros pozos
Son dos coberturas que cuentan con una base de datos del mismo tipo, con información sobre ubicación, identificación, tipo de uso y características físicas del pozo.

Ley 18450
Hay mucha información de interés en la base de datos de esta cobertura, incluyendo ubicación del proyecto, tipo de proyecto, beneficiario y área beneficiada, fuente del agua, costo del proyecto y porcentaje de subvención.

d) SIG de la Dirección General de Aguas

A su vez, la Dirección General de Aguas también puso a disposición de este trabajo la información que contiene su Sistema de Información Geográfico de la IV Región. Se señalan a continuación, con sus respectivas fuentes, las coberturas que, debidamente corregidas al dátum WGS 84, fueron incorporadas al SIG definitivo de este estudio.

Fuente IGM
Se encuentran digitalizadas las coberturas de caminos, ciudades, regiones, comunas y curvas de nivel, en base a la cartografía 1:250.000 del IGM, y por lo tanto aparecen con el detalle de esa escala.

Estaciones DGA
Se encuentran las coberturas con la ubicación de todas las estaciones fluviométricas, pluviométricas, evaporimétricas, meteorológicas, de calidad de aguas y de medición de niveles subterráneos, con indicación acerca de su vigencia. Estas coberturas sirvieron para identificar las estaciones de las cuales se solicitó la información estadística para alimentar el modelo de simulación.

Catastro de Bocatomas
Existe un catastro de bocatomas para la IV Región, que permitió definir la ubicación y características de todas las bocatomas de las cuencas en estudio.

e) SIG de Serplac

Sistemas de drenaje
Esta cobertura incluye todos los cauces identificados en las cartas IGM, con una caracterización como quebrada intermitente, quebrada, canal, río o estero, embalse, lago o laguna, y línea de costa. Esta cobertura, sin embargo, carece de información toponímica, de modo que se completó con el fin de que fuera de utilidad para identificar tramos y nodos en la modelación.

Tipos de suelos y sus características.
Del Serplac se obtuvo una cobertura que caracteriza el suelo en la IVª Región, en función de su capacidad de uso, aptitud para riego, categoría de drenaje y aptitud frutal

Aptitud del suelo
Esta cobertura, también obtenida del Serplac, muestra una conclusión de los cuatro aspectos anteriores, y clasifica cada suelo según su aptitud general.

4.2.2 Antecedentes básicos de monitoreo hídrico

Se recopiló en el CIRH de la DGA, todas las estadísticas básicas de que dispone este Centro, que provienen de su red de estaciones en la IV Región. Estas estadísticas se utilizaron fundamentalmente para completar y actualizar las estadísticas elaboradas en estudios anteriores, las cuales ya han sido rellenadas y homogeneizadas para la mayoría de las variables en las estaciones más importantes, como se pudo observar en la revisión de tales estudios.

También se obtuvo en la DOH regional, DGA regional y en las Juntas de Vigilancia del Elqui y del Limarí, la información referente a la operación de los embalses (estado, caudales entrantes y salientes, filtraciones, evaporación), y el detalle de la entrega de los sistemas de canales, con sus respectivos desmarques históricos, requeridos para la operación de los modelos en escenarios de calibración.

a) Precipitaciones

Hay registros de precipitaciones mensuales, de longitud mayor que 15 años y suficientemente completas, en 12 estaciones de la cuenca del Elqui, 21 estaciones en la cuenca del Limarí, y 13 estaciones en la cuenca del Choapa. La información de estas estadísticas ha sido elaborada, corregida y completada, en diversos estudios, por lo que se acudió a ellos en primera instancia. La información de precipitaciones se requirió para generar caudales de entrada en subcuencas sin control fluviométrico de cabecera, y para conocer las precipitaciones efectivas agronómicas que se tomaron en cuenta para generar las demandas agrícolas netas.

b) Evaporación

Si bien se contó con información mensual de evaporación a partir de las estadísticas del CIRH, ésta ha sido elaborada en estudios como el Balance Hídrico Nacional, y se obtuvo de aquí. De todas formas, el CIRH registra información en 7 estaciones de la cuenca del Elqui, en 13 estaciones de la cuenca del Limarí y en 4 estaciones de la cuenca del Choapa.

c) Temperatura

Hay registros con valores medios mensuales de temperatura, en 3 estaciones de la cuenca del Elqui, 12 estaciones de la cuenca del Limarí y 4 estaciones de la cuenca del Choapa. Las temperaturas medias también existen elaboradas en el estudio del Balance Hídrico.

d) Caudales

Las estadísticas de caudales se conformaron en base a estudios existentes, y se completaron con la información del CIRH. Las estadísticas de caudales de cabecera se usaron como caudales de entrada al modelo de simulación, mientras que las estadísticas en puntos más bajos de los cauces sirvieron como contraste de caudales alterados, para la calibración. Las estaciones con información disponible son 8 en la cuenca del Elqui, 15 en la cuenca del Limarí, y 8 en la cuenca del Choapa.

e) Niveles estáticos en pozos

En la IV Región, la DGA controla la siguiente cantidad de pozos por cuenca, la mayoría de ellos desde 1981 ininterrumpidamente:

- 57 pozos en la cuenca del Elqui
- 57 pozos en la cuenca del Limarí
- 12 pozos en la cuenca del Choapa

En el proceso de calibración del modelo se seleccionaron los pozos más representativos, para utilizarlos como contraste con el comportamiento simulado.

f) Calidad de aguas superficiales y subterráneas

Las estaciones de calidad de aguas superficiales y subterráneas registran información sobre características físico-químicas del agua (conductividad, temperatura, pH, OD, DBO y DQO), macroiones, microiones y RAS (razón de adsorción de sodio). No se registra información microbiológica.

En la cuenca del Elqui hay información de calidad para 17 estaciones superficiales y 3 pozos. En la cuenca del Limarí hay información de calidad en 13 estaciones superficiales y 2 pozos, y en la cuenca del Choapa, para 10 estaciones superficiales y 3 pozos.

La información de calidad se usó para caracterizar la eficiencia ambiental de los diferentes usos del agua en cada cuenca.

g) Estadísticas de estado de embalses

Durante el desarrollo del estudio, y recurriendo tanto a las Juntas de Vigilancia como a la DOH regional (que aún administra varios de los embalses de la región (Puclaro, Paloma, Corrales), y también a la DGA regional, se obtuvo la información sobre los estados de los embalses en los últimos 15 años de funcionamiento.

h) Estadística de caudales en canales

Esta información está parcialmente disponible en estudios anteriores, pero fue necesario recurrir a los registros de las juntas de vigilancia y también a los registros de la DGA Regional y DOH Regional para obtener los caudales o los desmarques históricos. Esta información es crucial para simular la operación de los sistemas en situación histórica o de calibración.

4.2.3 Antecedentes sobre empresas mineras

Estos antecedentes se han obtenido de Sernageomin, y constituyen la base de datos sobre la cual se trabajó para conocer el uso y la eficiencia del uso del agua. Naturalmente, para la modelación se trabajó con las empresas mineras activas. En la Figura 4-1, a continuación, se presenta la distribución de las empresas mineras en la zona de estudio. En los Cuadros 4-1, 4-2 y 4-3 se caracteriza cada una de las empresas, ordenadas por cuenca.

Cuadro 4-1
Mineras Cuenca del Río Elqui

Numero de Identificac.	Nombre Empresa	Nombre Planta	Proceso	Pasta Princip.	Coord. U.T.M.		Situa-ción
					Norte	Este	
34	Waldo Salinas C.	El Sauce	Mol – Flot	CU	6.679.100	301.400	Paraliz.
35	Faisal Harcha	Rolex	Chanc - Amalg	Au	6.681.100	300-900	Paraliz.
36	José Álvarez: A.	Las Rojas	Mol – Flot	Au - Cu	6.681.850	303.150	Activa
37	Francisco Espinoza B.	San Antonio	Chanc - Amalg	Au	6.682.300	298.500	Paraliz.
38	Juan Aliaga	Aliaga	Chanc - Amalg	Au	6.678. 000	303.800	Paraliz.
46	C.M. San Gerónimo	San Lorenzo	Chanc-Mol – Flot	Cu	6.698.100	296.900	Activa
58	Minera Cóndor	Lambert	Chanc - Amalg	Au	6.696.800	295.100	Paraliz.
59	S.M. Elqui Sol Yesos Esp.	Itamar	Chanc - Clasif	Yeso	6.696.900	294.900	Paraliz.
77	Luis González G.	San Luis	Mol – Flot	Cu	6.676.000	303.600	Paraliz.
183	C.M. Cobrex	Don Arturo	Mol – Flot	Cu	6.692.300	318.100	Activa
184	C.M. Cobrex	Represa	Mol – Flot	Cu	6.683.000	307.900	Paraliz.
194	Soc. Yanina Huerta y Otros	Bedosti	Mol – Flot	Cu	6.669.015	324.465	Paraliz.
199	C.M. San Jerónimo	Talcuna	Mol – Flot	Cu	6.692.500	318 300	Activa
201	Carlos Canales	Marianita	Mol – Flot	Cu	6.679.600	307.200	Paraliz.

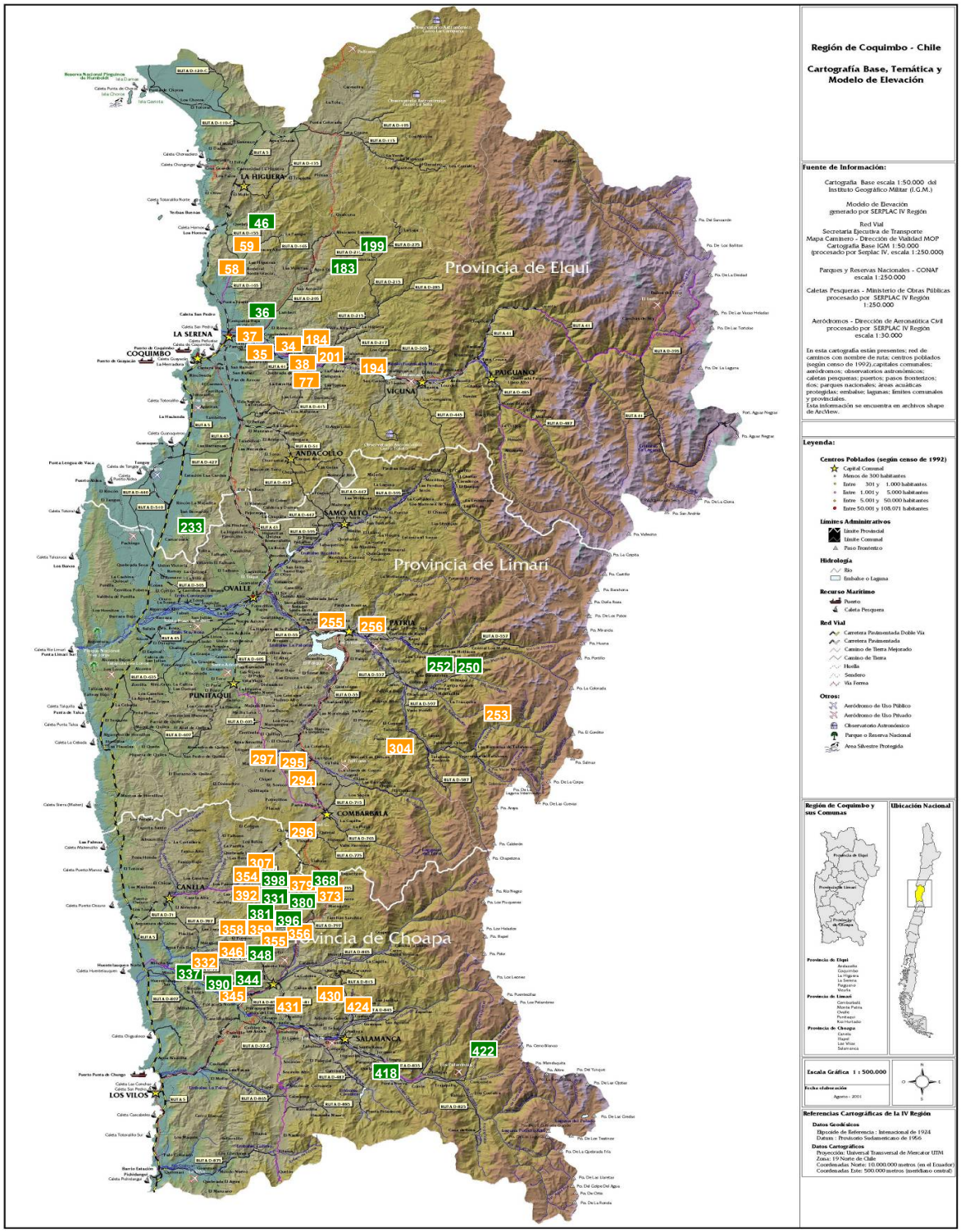
Cuadro 4-2
Mineras Cuenca del Río Limarí

Numero de Identificac.	Nombre Empresa	Nombre Planta	Proceso	Pasta Princ.	Coord. U.T.M.		Situación
					Norte	Este	
233	C.M. Panulcillo	La Cocinera	Chanc - Mol - Flot	Cu	6.619.000	291.000	Activa
250	C.M. Waffo	El Pingo	Chanc – Amalg	Au	6.586.600	348.800	Activa
252	Felipe Villalobos	San Miguel	Chanc – Amalg	Au	6.589.200	347.900	Activa
253	GEMIN	Lleja Petrof	Chanc – Amalg – Flot	Au – Cu	6.579.000	358.500	En Construcción
255	S/I	Huana	Chanc-Amalg-Flot	Au – Cu	6.601.400	313.200	Paralizada
256	S/I	Semita	Mol – Flot	Cu	6.598.800	321.600	Paralizada
294	Edo. Pérez S.	Río Pama	Mol – Flot	Cu	6.550.000	308.800	Paralizada
295	Rubilán González	San Martín	Mol – Flot	Cu	6.550.000	308.710	Paralizada
296	Sergio Bustamante C.	Yabu	Mol – Flot	Cu	6.550.200	304.800	Paralizada
297	C. M. Aventura	San Emilio	Mol – Flot	CU	6.553.100	304.900	Paralizada
304	S/I	Rosario	Mol – Flot	Cu	6.560.400	317.700	Paralizada

Cuadro 4-3
Mineras Cuenca del Río Choapa

Numero de Identificac.	Nombre Empresa	Nombre Planta	Proceso	Pasta Princ.	Coord. U.T.M.		Situación
					Norte	Este	
307	C.M. La Presidenta	Takia	Mol – Flot	Cu - Au	6.528.300	304400	Paraliz
331	Suc. Luis Álvarez S.	Esperanza 1	Mol – Flot	Cu - Au	6.525.100	304.200	Activa
332	Suc. Luis Álvarez S.	Esperanza 2	Chanc-Amalg-Flot	Au - Cu	6.498.200	294.500	Paraliz
337	Suc. Mario Aguirre B.	El Martín	Chanc-Amalg-Flot	Au - Cu	6.495.600	286.400	Activa
344	Waldo Nazer E.	California	Chanc-Amalg-Flot	Au - Cu	6.498.500	296-500	Activa
345	S. L.M.Dabed Posa	San Jorge	Chanc-Amalg-Flot	Au - Cu	6.498.600	295.000	Paraliz
346	Jorge Moyano A.	San Antonio	Chanc-Amalg-Flot	Au - Cu	6.499.300	296.300	Paraliz
347	S.L.M. Anta Colla	Anta Colla	Chanc-Amalg-Flot	Au - Cu	6.500.000	296.900	Paraliz
348	Leopoldo Hernández	Hernández	Chanc-Amalg-Flot	Au - Cu	6.501.600	298.300	Activa
354	Guillermo Delgado	Los Canelos	Chanc-Amalg-Flot	Au	6.528.600	300.300	Paraliz
355	Guillermo Delgado	Asiento Viejo	Mol – Flot	Cu - Au	6.502.100	298.600	Paraliz
356	Patricio Gatica R.	Portezuelo	Mol - Flot	Cu	6.502.500	298.500	Paraliz
358	Mari Hernández A.	Colonia	Mol - Flot	Cu	6.503.700	299.300	Paraliz
359	Héctor Aguirre	Aucó	Mol – Flot	Cu	6.505.900	301.100	Paraliz
368	Gerardo Toro A.	Aria María	Mol – Flot	Cu - Au	6.521.600	308.700	Activa
373	S.L.M. Flamenca	Leticia	Mol – Flot	Cu - Au	6.518.700	308.000	Paraliz
379	Reginaldo Callejas	Don Roberto	Mol – Flot	Cu - Au	6.519.000	308.000	Paraliz
380	Pedro Flores Díaz	Horizonte	Chanc-Amalg-Flot	Au - Cu	6.518.000	305.400	Activa
381	Fernando Guerra	El Canelillo	Mol – Flot	Cu - Au	6.523.000	302.000	Activa
390	Miguel Aguirre B.	Pluma de Oro	Chanc-Amalg-Flot	Au - Cu	6.498.100	294.400	Activa
392	S.C.M. La Fortuna	La Fortuna	Chanc-Amalg-Flot	Au - Cu	6.523.600	301.600	Paraliz
396	Jaime Pérez	El Romero	Chanc-Amalg-Flot	Au - Cu	6.523.100	304.600	Activa
398	Rigoberto Vázquez V.	Sta. Teresita	Chanc-Amalg-Flot	AU - Cu	6.527.800	304.500	Activa
418	S.L.M. Millaray	Camisa	Mol – Flot	Cu	6.467.312	323.500	Activa
422	Mra. Los Pelambres	Los Pelambres	Chanc-Lix-SX-EW	Cu	6.487.000	358.000	Activa
424	S/I	Trinchera	Mol – Flot	Cu	6.486.900	316.600	Paraliz
430	Gerardo Toro	Sta. Filomena	Mol – Flot	Cu	6.488.166	315.997	Paraliz
431	Filomena Martínez M.	Filomena	Mol – Flot	Cu	6.489.500	310.600	Paraliz

Figura 4-1
Distribución de las empresas mineras en la IV Región



Indica plantas actualmente en actividad

Indica plantas paralizadas

4.2.4 Antecedentes sobre uso de agua potable urbana

Hay una sola empresa de agua potable urbana en la región, que se llama Aguas del Valle S.A, ex ESSCO S.A. Esta empresa surte todas las ciudades más importantes de la Región.

Para determinar las demandas de agua potable, actual y proyectada, se revisará los Planes de Desarrollo de la Empresa. En todo caso, la demanda por agua potable es de magnitud secundaria en comparación con las aguas de riego.

El Cuadro 4-4 muestra todas las localidades de la cuarta región que están operando bajo la concesión de la Empresa de Servicios Sanitarios, Aguas del Valle, concesionaria del territorio operacional definido para el sistema de agua potable urbana.

Cuadro 4-4
Localidades bajo sistema de Agua Potable Urbana

Localidad
ANDACOLLO
CANELA ALTA
CANELA BAJA
CHAÑARAL ALTO
COMBARBALA
COQUIMBO
EL PALQUI
GUANAQUEROS
HUAMALATA
ILLAPEL
LA SERENA
LOS VILOS
MONTE PATRIA
OVALLE
PAIHUANO
PERALILLO
PUNITAQUI
SALAMANCA
SOTAQUI
TONGOY
VICUÑA

.

En el Cuadro 4-5 se presentan la producción total de Agua Potable Urbana para las comunidades concesionadas de la cuarta región, para el periodo que va desde los años 2000 a 2003. Además se refleja el porcentaje promedio de pérdidas por distribución para el mismo período de tiempo

Cuadro 4-5
Producción de Agua Potable, en metros cúbicos, periodo 2000-2003.

LOCALIDAD	Total Año 2000 (m3)	Total Año 2001 (m3)	Total Año 2002 (m3)	Total Año 2003 (m3)	Porcentaje de Perdidas (2000-2003)
ANDACOLLO	458,899	468,564	462,519	473,351	20%
CANELA ALTA	63,975	73,910	69,580	75,310	31%
CANELA BAJA	103,405	111,290	120,783	129,669	28%
CHAÑARAL ALTO	208,955	216,338	212,342	212,203	27%
COMBARBALA	368,816	385,898	356,027	372,279	20%
EL PALQUI	260,198	286,055	285,407	282,223	24%
GUANAQUEROS	252,460	240,258	255,350	306,839	36%
HUAMALATA	50,997	52,902	50,983	52,738	19%
ILLAPEL	1,321,320	1,355,067	1,358,906	1,383,246	26%
LA SERENA-COQUIMBO.	24,017,016	23,714,959	23,096,495	23,908,741	24%
LOS VILOS	1,027,133	1,010,637	1,044,549	1,087,519	32%
MONTE PATRIA	381,364	323,131	350,633	383,926	20%
OVALLE	5,319,146	5,092,088	5,330,613	5,628,930	36%
PAIHUANO	99,396	108,401	117,853	114,715	35%
PERALILLO	159,483	148,032	157,964	164,872	20%
PUNITAQUI	217,366	233,502	242,070	258,367	30%
SALAMANCA	801,020	776,505	817,428	862,641	22%
SOTAQUI	130,926	112,866	110,256	108,617	17%
TONGOY	607,180	654,273	639,262	691,010	25%
VICUÑA	802,221	882,883	864,273	899,473	24%
TOTAL CONCESIONES	**36,651,276**	**36,247,559**	**35,943,293**	**37,396,669**	20%

Fuente: Aguas del Valle, concesionaria de Servicios Sanitarios de la Cuarta Región

La población abastecida por el sistema se estima en base al número de arranques de Agua Potable instalados en la concesión. Para estimar la población se estableció una razón de 3.5 personas por arranque

Cuadro 4-6
Población aastecida bajo sistema de agua potable urbana

LOCALIDAD	Número Arranques	Estimación Población
ANDACOLLO	3,111	10,889
CANELA ALTA	424	1,484
CANELA BAJA	673	2,356
CHAÑARAL ALTO	930	3,255
COMBARBALA	2,105	7,368
EL PALQUI	1,337	4,680

LOCALIDAD	Número Arranques	Estimación Población
GUANAQUEROS	1,267	4,435
HUAMALATA	275	963
ILLAPEL	6,860	24,010
LA SERENA-CQBO.	95,526	334,341
LOS VILOS	4,618	16,163
MONTE PATRIA	1,668	5,838
OVALLE	21,174	74,109
PAIHUANO	468	1,638
PERALILLO	689	2,412
PUNITAQUI	1,663	5,821
SALAMANCA	3,962	13,867
SOTAQUI	710	2,485
TONGOY	2,147	7,515
VICUÑA	3,685	12,898
Total de CONCESIONES	**153,292**	**536,522**

Fuente: Aguas del Valle

En el Cuadro 4-7, aparece en detalle la lista de todas las fuentes para la producción de agua potable urbana que están bajo la responsabilidad de Aguas del Valle. En particular se detalla: Nombre Fuente, Estado actual de uso, Tipo de Fuente, Tipo de Captación, Cuenca y Subcuenca asociada, Fuente, Sector a abastecer, Año de construcción, Capacidad de Caudal y caudal operacional

Cuadro 4-7

Fuentes para la producción de agua potable

Nombre captación	Estado captación	Tipo de fuente	Tipo de captación	Cuenca	Subcuenca	Fuente	Abastece a	Año construcción	Capacidad explotación l/s	Caudal operativo
Pozo 1 interior bt:10	En uso	Sub	Sondaje	Estero culebrón	Lagunillas	Acuífero subterráneo and-tongoy-guan.	Andacollo-guanaqueros-tongoy	1990	16.1	16.1
Pozo 2 interior bt:11	En uso	Sub	Sondaje	Estero culebrón	Lagunillas	Acuífero subterráneo and-tongoy-guan.	Andacollo-guanaqueros-tongoy	1990	60	60
Pozo 3 interior bt:12	En uso	Sub	Sondaje	Estero culebrón	Lagunillas	Acuífero subterráneo and-tongoy-guan.	Andacollo-guanaqueros-tongoy	1990	35	35
Pozo 1 sur bt: 13	En uso	Sub	Sondaje	Estero culebrón	Lagunillas	Acuífero subterráneo and-tongoy-guan.	Andacollo-guanaqueros-tongoy	1990	80	80
Dren estero	En uso	Sub	Dren	Río choapa	Estero canela	Acuífero subterráneo canela baja	Canela baja	1990	11	11
Dren	En uso	Sub	Dren	Río limarí	Río grande	Acuífero subterráneo chañaral alto	Chañaral alto	1990	31	31
Captacion superficia	De reserva	Sup	Sumergida	Río limarí	Río grande	Acuífero subterráneo chañaral alto	Chañaral alto	1996	18.1	18.1
Captacion superficial el quillay	En uso	Sup	Sumergida	Río limarí	Río grande	Río combarbalá combarbalá	Combarbala	1993	40	40
Pozo n 01	Fuera de uso	Sub	Sondaje	Río limarí	Río grande	Acuífero subterráneo el palqui	El palqui	1990	6	15
Pozo n°02	Fuera de uso	Sub	Sondaje	Río limarí	Río grande	Acuífero subterráneo el palqui	El palqui	1990	10	6
Dren la cuca	En uso	Sub	Dren	Río limarí	Río hurtado	Acuífero subterráneo huamalata	Huamalata	1990	40	40
Pozo	Fuera de uso	Sub	Sondaje	Río limarí	Río hurtado	Acuífero subterráneo huamalata	Huamalata	1990	3.75	3.75
Dren alvarez perez	En uso	Sub	Dren	Río choapa	Río illapel	Acuífero subterráneo illapel	Illapel	1990	40	31.2
Dren carcamo	Uso futuro	Sub	Dren	Río choapa	Río illapel	Acuífero subterráneo illapel	Illapel	1990	30	30

Nombre captación	Estado captación	Tipo de fuente	Tipo de captación	Cuenca	Subcuenca	Fuente	Abastece a	Año construcción	Capacidad explotación l/s	Caudal operativo
Dren las rojas	En uso	Sub	Dren	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1990	250	250
Dren punta piedra	En uso	Sub	Dren	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1960	140	140
Pozos las rojas n°5	En uso	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1994	18	18
Pozos las rojas n°6	En uso	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1994	20	20
Pozos las rojas n°7	En uso	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1994	25	25
Pozos las rojas n°8	En uso	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1994	25	25
Pozo punta piedra n°107	En uso	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1997	35	35
Pozo punta piedra (9) n°109	En uso	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1959	40	40
Pozo punta piedra n°791	En uso	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1968	19	19
Pozo punta piedra n°790	En uso	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1968	19	19
Pozo punta piedra (9) n°126	En uso	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1958	32	32
Pozo punta piedra (9) n°118	En uso	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1959	40	40
Pozo punta piedra (9) n°116	En uso	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1959	40	40
Pozo punta piedra (9) n°634	En uso	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1965	20	20
Pozo punta piedra (9) n°628	En uso	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1964	25	25
Pozo punta piedra (9) n°627	Uso futuro	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1990	5.5	5.5
Pozo punta piedra (9) n°633	Uso futuro	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1965	20	20
Pozo punta piedra (9) n°802	Uso futuro	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1969	35	35
Pozo punta piedra n°106	En uso	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1997	50	50
Pozo saturno (2) n°1	En uso	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1995	21	21
Pozo saturno (2) n°2	En uso	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1995	38	38
Pozo alfalfares - las cias (5) n°1	Uso futuro	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1997	55	55
Pozo alfalfares - las cias (5) n°2	En uso	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1997	76	76
Pozo alfalfares - las cias (5) n°3	Uso futuro	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1997	7.2	7.2
Pozo alfalfares - las cias (5) n°4	Uso futuro	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1997	81	81
Pozo alfalfares - las cias (5) n°5	En uso	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1997	27	27
Pozo alfalfares - n°1	Uso futuro	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1997	65	65
Pozo alfalfares - n°2	En uso	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1997	28	28
Pozo alfalfares - n°3	En uso	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1997	105	105
Pozo alfalfares - n°4	Uso futuro	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1997	80	80
Pozo alfalfares - n°5	Uso futuro	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1997	40	40
Pozo alfalfares - n°6	Uso futuro	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1997	36	36
Pozo colon (3) n°1	Fuera de uso	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1950	15	15
Pozo colon (3) n°2	Fuera de uso	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1950	27	27
Pozo colon (3) n°3	Fuera de uso	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1950	18	18
Dren n 1 conchali bt:13	Uso futuro	Sub	Dren	Estero conchalí	Coquimbo	Acuífero subterráneo los vilos	Los vilos	1990	10	10
Pozo ew bt:15	En uso	Sub	Sondaje	Estero conchalí	Coquimbo	Acuífero subterráneo los vilos	Los vilos	1990	60	60
Pozo ew2 bt:16	En uso	Sub	Sondaje	Estero conchalí	Coquimbo	Acuífero subterráneo los vilos	Los vilos	1990	40	40
Pozo 1444 bt: 18	De reserva	Sub	Sondaje	Estero conchalí	Coquimbo	Acuífero subterráneo los vilos	Los vilos	1990	8	8

Nombre captación	Estado captación	Tipo de fuente	Tipo de captación	Cuenca	Subcuenca	Fuente	Abastece a	Año construcción	Capacidad explotación l/s	Caudal operativo
Pozo 1285 bt: 19	Fuera de uso	Sub	Sondaje	Estero conchalí	Coquimbo	Acuífero subterráneo los vilos	Los vilos	1990	0	0
Pozo 1522 bt:	Fuera de uso	Sub	Sondaje	Estero conchalí	Coquimbo	Acuífero subterráneo los vilos	Los vilos	1990	0	0
Pozo sp (r-d-1) bt:23	Fuera de uso	Sub	Sondaje	Estero conchalí	Coquimbo	Acuífero subterráneo los vilos	Los vilos	1990	0	0
Sondaje n 735 bt: 3	En uso	Sub	Sondaje	Río limarí	Río grande	Acuífero subterráneo monte patria	Monte patria	1990	18.2	15
Sondaje n 607 bt: 4	En uso	Sub	Sondaje	Río limarí	Río grande	Acuífero subterráneo monte patria	Monte patria	1990	17.6	15
Dren los peñones - nuevo bt: 3	En uso	Sub	Dren	Río limarí	Río limarí	Acuífero subterráneo ovalle	Ovalle	1990	200	200
Dren los peñones - antiguo bt:2	En uso	Sub	Dren	Río limarí	Río limarí	Acuífero subterráneo ovalle	Ovalle	1990	300	300
Pozo n 1230 bt:3	En uso	Sub	Sondaje	Río elqui	Río claro	Acuífero subterráneo paihuano	Paihuano	1990	11	11
Pozo n 930 bt:1	En uso	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo peralillo	Peralillo	1990	9	7
Pozo n 931 bt: 2	En uso	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo peralillo	Peralillo	1990	7	7
Dren estero punitaqui bt: 4	En uso	Sub	Dren	Río limarí	Estero punitaqui	Acuífero subterráneo punitaqui	Punitaqui	1990	18	18
Noria n° 2 bt: 5	Uso futuro	Sub	Noria	Río limarí	Estero punitaqui	Acuífero subterráneo punitaqui	Punitaqui	1990	7	7
Dren santa rosa bt: 2	En uso	Sub	Dren	Río choapa	Río choapa	Acuífero subterráneo salamanca	Salamanca	1990	35	35
Pozo n 1030 bt: 5	En uso	Sub	Sondaje	Río limarí	Río grande	Acuífero subterráneo sataqui	Sotaqui	1990	6	6
Pozo n 583 bt: 6	En uso	Sub	Sondaje	Río limarí	Río grande	Acuífero subterráneo sotaqui	Sotaqui	1990	6	6
Pozo n 1080 bt: 4	En uso	Sub	Sondaje	Río limarí	Río grande	Acuífero subterráneo sotaqui	Sotaqui	1990	5.5	5.5
Sondaje n 587 bt: 4	En uso	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo vicuña	Vicuña	1990	34	34
Sondaje n 586 bt: 3	En uso	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo vicuña	Vicuña	1990	34	34
Dren canela alta	En uso	Sub	Dren	Río choapa	Estero canela	Acuífero subterráneo canela alta	Canela alta	1990	4	4
Captacion superficial las rojas rio elqui	En uso	Sup	Barrera	Río elqui	Coquimbo	Río elqui	La serena - coquimbo	1981	1100	1100
Noria	Uso futuro	Sub	Noria	Río choapa	Río illapel	Acuífero subterráneo illapel	Illapel	1997	16.7	16.7
Captaciones superficiales illapel	De reserva	Sup	Lateral	Río choapa	Río illapel	Acuífero subterráneo illapel	Illapel	1994	49.54	49.54
Sondaje 9	De reserva	Sub	Sondaje	Estero culebrón	Lagunillas	Acuífero subterráneo and-tongoy-guan.	Andacollo-guanaqueros-tongoy	1992	0	0
Sondaje 10	De reserva	Sub	Sondaje	Estero culebrón	Lagunillas	Acuífero subterráneo and-tongoy-guan.	Andacollo-guanaqueros-tongoy	1900	0	0
Pozo planta de filtros	En uso	Sub	Dren	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena - coquimbo	1997	20	20
Pozo tierras blancas	Uso futuro	Sub	Sondaje	Río elqui	Coquimbo	Acuífero subterráneo la serena-coquimbo	La serena	2000	17	17
Pozo 3 sur bt:14	En uso	Sub	Sondaje	Estero culebrón	Lagunillas	Acuífero subterráneo and-tongoy-guan.	Andacollo-guanaqueros-tongoy	1990	80	80
Pozo n 03 - pozo n° 223	En uso	Sub	Sondaje	Río limarí	Río grande	Acuífero subterráneo el palqui	El palqui	1990	10	10
Dren asiento viejo	En uso	Sub	Dren	Río choapa	Río illapel	Acuífero subterráneo illapel	Illapel	1990	36	36
Dren n° 2 nuevo bt:14	Fuera de uso	Sub	Dren	Estero conchalí	Coquimbo	Acuífero subterráneo los vilos	Los vilos	1990	10	10
Pozo sp (r-d-2) bt:24	Fuera de uso	Sub	Sondaje	Estero conchalí	Coquimbo	Acuífero subterráneo los vilos	Los vilos	1990	0	0
Pozo nuevo bt:4	Uso futuro	Sub	Sondaje	Río elqui	Río claro	Acuífero subterráneo paihuano	Paihuano	1990	11	11
Noria n° 3 bt: 5	Uso futuro	Sub	Noria	Río limarí	Estero punitaqui	Acuífero subterráneo punitaqui	Punitaqui	1990	5.5	5.5
Pozo n 653 bt: 8	Uso futuro	Sub	Sondaje	Río limarí	Estero punitaqui	Acuífero subterráneo punitaqui	Punitaqui	1990	1.5	1.5
Pozo n 756 bt: 7	Uso futuro	Sub	Sondaje	Río limarí	Estero punitaqui	Acuífero subterráneo punitaqui	Punitaqui	1990	1.5	1.5
Pozo n 584 bt: 7	Fuera de uso	Sub	Sondaje	Río limarí	Río grande	Acuífero subterráneo sotaqui	Sotaqui	1990	0	0

Fuente: Aguas de Valle.

En el Cuadro 4-8 se detalla el estado actual de las fuentes de producción de agua potable en relación a los derechos de agua de éstos.

Cuadro 4-8
Estado de los derechos de agua de las fuentes para la producción de agua potable

NOMBRE	Origen Derecho	estado Derecho	Fecha Inscripción	Unidad medida	Estado derecho 1	Estado derecho 2	Estado derecho 3	Mes inicio	Mes Termino	Caudal lt/s	Prob. Exedencia
POZO 1 INTERIOR BT:10	OTRO	OTORGADO	19960101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	17.5	17.5
POZO 2 INTERIOR BT:11	OTRO	OTORGADO	19960101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	17.5	17.5
POZO 3 INTERIOR BT:12	JUDICIAL	OTORGADO	19980101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	15	15
POZO 1 SUR BT: 13	OTRO	OTORGADO	19980101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	40	40
DREN ESTERO	JUDICIAL	OTORGADO	19920506	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	7.1	7.1
DREN	JUDICIAL	OTORGADO	19920506	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	6.5	6.5
CAPTACION SUPERFICIA	OTRO	OTORGADO	19920101	Acciones	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	18.11	16.3
CAPTACION SUPERFICIAL EL QUILLAY	OTRO	OTORGADO	19980101	Acciones	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	80	72
POZO N 01	JUDICIAL	OTORGADO	19990101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	6	6
POZO N°02	DGA	OTORGADO	19990101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	15	15
DREN LA CUCA	JUDICIAL	OTORGADO	19980101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	10	10
POZO	DGA	OTORGADO	20000101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	4.5	4.5
DREN ALVAREZ PEREZ	OTRO	EN TRAMITE CON OPOSICION	20000101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	31.2	31.2
DREN PUNTA PIEDRA	JUDICIAL	OTORGADO	19930101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	140	140
POZOS LAS ROJAS N°5	DGA	OTORGADO	20000101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	18	18
POZOS LAS ROJAS N°6	DGA	OTORGADO	19980101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	17	17
POZOS LAS ROJAS N°7	DGA	OTORGADO	19980101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	23	23
POZOS LAS ROJAS N°8	DGA	OTORGADO	19980101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	25	25
POZO PUNTA PIEDRA N°107	DGA	OTORGADO	20000101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	35	35
POZO PUNTA PIEDRA (9) N°109	JUDICIAL	OTORGADO	19930101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	32	32
POZO PUNTA PIEDRA N°791	DGA	OTORGADO	19960101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	15	15
POZO PUNTA PIEDRA N°790	DGA	OTORGADO	19960101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	15	15
POZO PUNTA PIEDRA (9) N°126	JUDICIAL	OTORGADO	19930101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	20	20
POZO PUNTA PIEDRA (9) N°118	JUDICIAL	OTORGADO	19930101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	32	32
POZO PUNTA PIEDRA (9) N°116	JUDICIAL	OTORGADO	19930101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	32	32
POZO PUNTA PIEDRA (9) N°634	JUDICIAL	OTORGADO	19930101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	20	20
POZO PUNTA PIEDRA (9) N°628	JUDICIAL	OTORGADO	19930101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	25	25
POZO PUNTA PIEDRA (9) N°627	JUDICIAL	OTORGADO	19930101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	5.5	5.5
POZO PUNTA PIEDRA (9) N°633	JUDICIAL	OTORGADO	19930101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	20	20
POZO PUNTA PIEDRA (9) N°802	JUDICIAL	OTORGADO	19930101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	35	35
POZO PUNTA PIEDRA N°106	DGA	OTORGADO	20000101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	50	50
POZO SATURNO (2) N°1	DGA	OTORGADO	19990101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	11	11
POZO SATURNO (2) N°2	DGA	OTORGADO	19990101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	38	38
POZO ALFALFARES - LAS CIAS (5) N°1	DGA	OTORGADO	20010101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	55	55

NOMBRE	Origen Derecho	estado Derecho	Fecha Inscripción	Unidad medida	Estado derecho 1	Estado derecho 2	Estado derecho 3	Mes inicio	Mes Termino	Caudal lt/s	Prob. Exedencia
POZO ALFALFARES - LAS CIAS (5) N°2	DGA	OTORGADO	20010101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	76	76
POZO ALFALFARES - LAS CIAS (5) N°3	DGA	OTORGADO	20010101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	7.2	7.2
POZO ALFALFARES - LAS CIAS (5) N°4	DGA	OTORGADO	20010101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	81	81
POZO ALFALFARES - LAS CIAS (5) N°5	DGA	OTORGADO	20010101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	27	27
POZO ALFALFARES - N°1	DGA	OTORGADO	20010101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	65	65
POZO ALFALFARES - N°2	DGA	OTORGADO	20010101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	28	28
POZO ALFALFARES - N°3	DGA	OTORGADO	20010101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	105	105
POZO ALFALFARES - N°4	DGA	OTORGADO	20010101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	80	80
POZO ALFALFARES - N°5	DGA	OTORGADO	20010101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	40	40
POZO ALFALFARES - N°6	DGA	OTORGADO	20010101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	36	36
POZO COLON (3) N°1	DGA	OTORGADO	19980101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	15	15
POZO COLON (3) N°2	DGA	OTORGADO	19980101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	27	27
POZO COLON (3) N°3	DGA	OTORGADO	19980101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	18	18
DREN N 1 CONCHALI BT:13	JUDICIAL	OTORGADO	19920506	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	40	40
POZO EW BT:15	DGA	EN TRAMITE CON OPOSICION	20000101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	72	72
POZO EW2 BT:16	DGA	OTORGADO	20000809	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	38	38
POZO 1444 BT: 18	JUDICIAL	OTORGADO	19990820	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	8.6	8.6
POZO 1285 BT: 19	JUDICIAL	OTORGADO	19990820	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	8.6	8.6
POZO 1522 BT:	JUDICIAL	OTORGADO	19990820	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	8.6	8.6
POZO SP (R-D-1) BT:23	DGA	OTORGADO	19990610	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	12	12
SONDAJE N 735 BT: 3	JUDICIAL	OTORGADO	19920506	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	13.5	13.5
SONDAJE N 607 BT: 4	JUDICIAL	OTORGADO	19920506	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	13.5	13.5
DREN LOS PEÑONES - NUEVO BT: 3	JUDICIAL	OTORGADO	19920506	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	300	300
DREN LOS PEÑONES - ANTIGUO BT:2	OTRO	OTORGADO	19900101	Acciones	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	287.37	258.63
POZO N 1230 BT:3	DGA	OTORGADO	19991130	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	8	8
POZO N 930 BT:1	DGA	OTORGADO	19860925	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	6.5	6.5
POZO N 931 BT: 2	DGA	OTORGADO	19860925	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	6.5	6.5
DREN ESTERO PUNITAQUI BT: 4	JUDICIAL	OTORGADO	19991110	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	43.6	43.6
NORIA N° 2 BT: 5	DGA	OTORGADO	20000922	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	5	5
DREN SANTA ROSA BT: 2	JUDICIAL	OTORGADO	19980225	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	45	45
POZO N 1030 BT: 5	JUDICIAL	OTORGADO	19920506	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	5.25	5.25
POZO N 583 BT: 6	JUDICIAL	OTORGADO	19920506	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	5.25	5.25
POZO N 1080 BT: 4	DGA	OTORGADO	19970926	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	6	6
SONDAJE N 587 BT: 4	DGA	OTORGADO	19860924	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	26.3	26.3
SONDAJE N 586 BT: 3	DGA	OTORGADO	19860924	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	26.3	26.3

NOMBRE	Origen Derecho	estado Derecho	Fecha Inscripción	Unidad medida	Estado derecho 1	Estado derecho 2	Estado derecho 3	Mes inicio	Mes Termino	Caudal lt/s	Prob. Exedencia
DREN CANELA ALTA	DGA	OTORGADO	19990813	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	4	4
CAPTACION SUPERFICIAL LAS ROJAS RIO ELQUI	OTRO	OTORGADO	19900101	Acciones	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	1112.87	1001.58
NORIA	DGA	OTORGADO	20000101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	16.7	16.7
CAPTACIONES SUPERFICIALES ILLAPEL	OTRO	OTORGADO	19900101	Acciones	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	49.54	44.59
SONDAJE 9	DGA	SIN INFORMACION	19991118	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	0	0
SONDAJE 10	DGA	SIN INFORMACION	19991118	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	0	0
POZO PLANTA DE FILTROS	DGA	OTORGADO	19990101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	20	20
POZO TIERRAS BLANCAS	DGA	OTORGADO	20000101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	17	17
POZO 3 SUR BT:14	OTRO	SIN INFORMACION	19960126	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	85	85
POZO N 03 - POZO N° 223	DGA	OTORGADO	19900101	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	15	15
DREN ASIENTO VIEJO	OTRO	SIN INFORMACION	19921223	Lt/s	Consutivo	Permanente	Continuo	1	12	31.2	31.2

Fuente: Aguas de Valle

Todos los antecedentes disponibles sobre el agua potable urbana se han vertido en coberturas SIG, según se detalla en el capítulo 3.

4.2.5 Antecedentes sobre agua potable rural

Además de las demanda de agua potable urbana, hay que considerar las demandas de agua potable rural presentes en las cuencas de análisis.

Se efectuó una lista con todas las localidades de la IVª Región que cuentan con agua potable rural, que son las que se presentan en el cuadro a continuación. En base a esta lista, se seleccionará las localidades que deben ser consideradas como demanda en cada una de las cuencas, para fines de caracterización de la demanda en la modelación.

El Cuadro 4-9 presenta las cooperativas responsables de entregar Agua Potable a las distintas comunidades rurales que están fuera de la concesión de los servicios públicos. La información se ordena según la división comunal actual.

Cuadro 4-9
Cooperativas bajo sistema de Agua Potable Rural

Comuna	Cooperativa	Localidad abastecida	Año marcha	Población Total	Población abastecida	Cobertura (%)	Arranques
COQUIMBO	El sauce miramar	El sauce miramar	1997	370	370	100	176
	Rinconada el sauce	Rinconada el sauce	2002				
	Huachalalume	Huachalalume	1996	515	515	100	102
	Las barrancas	Las barrancas	2000	395	0	0	80
	Nueva vida	Nueva vida	1995	405	405	100	84
	Pan de azucar	Pan de azucar	1985/2000	3500	2515	72	504
	Tambillos	Tambillos	2000	495	495	100	115
LA HIGUERA	Chungungo	Chungungo	1992/1998	585	585	100	251
	El trapiche	El trapiche	1998	345	345	100	105
	La higuera	La higuera	1985/2000	1500	1500	100	365
	Los choros	Los choros	1980	550	550	100	120
	Punta colorada	Punta colorada	2002	473	473	100	138
	Punta de choros	Punta de choros	1999	740	740	100	158
	Caleta hornos	Caleta hornos	2001		1370		279
LA SERENA	Almirante latorre	Almirante latorre	2003	208	208	100	52
	Bellavista	Bellavista	1995	800	765	96	234
		Ceres					
	Coquimbito	Coquimbito	1979	1800	1785	99	502
		Altovalsol					
	El romero	El romero	1993	935	935	100	217
		Santa elisa					
	Gabriela mistral	Gabriela mistral	1989	733	713	97	188
		Asentam. El rosario					

	Cooperativa	Localidad abastecida	Año marcha	Población Total	Población abastecida	Cobertura (%)	Arranques
	Islon	Islon	1990	680	675	99	230
	Lambert	Lambert	1978	640	630	98	223
		Las rojas					
	Las rojas	Punta de piedra	1983/2000	850	850	100	224
	Pelicana	Pelicana	1983	380	380	100	87
		Quebrada de talca					
	Quebrada de talca	El hinojal	1981	460	460	100	213
		Horcon					
	Horcon	Alcohuaz	1985	655	655	100	232
	Quebrada paihuano	Quebrada paihuano	1998	480	480	100	124
PAIHUANO		Pisco elqui					
		La jarilla					
		Montegrande					
		Los nichos-los paltos					
	Sistema la jarilla	Quebrada de pinto	1984/2000	1455	1455	100	542
		Andacollito					
	Andacollito	La campana	1983	850	850	100	302
	Chapilca	Chapilca	1985	250	250	100	90
	Diaguitas	Diaguitas	1971/2002	960	950	99	344
	El arenal	El arenal	1985	380	365	96	78
		El molle					
	El molle	Polla alta	1983	826	650	79	205
	El tambo	El tambo (e)	1985/2000	1050	1050	100	233
	Gualliguaica	Gualliguaica	2000	450	450	100	117
	Huanta	Huanta	1999	295	295	100	64
		La calera					
VICUÑA	La calera	La villa	1991	440	440	100	153
	La compañía	La compañía	1996	420	415	99	100
		Marquesa					
		Nueva talcuna					
		Villa marquesa					
	Marquesa	Villa rendic	1988/1998	450	445	99	420
		Punta azul					
	Punta azul	San carlos	2000	2000	2000	100	115
	Rivadavia	Rivadavia	1983	1650	1605	97	319
		San isidro					
	San isidro	Calingasta	1982	3000	2985	100	757
		Varillar					
	Varillar	Las Mercedes	1987	470	470	100	114
COMBARBALA	El huacho	El huacho	1992	310	310	100	110
		Cogoti 18					
		Callejones					
		El llano					
		La cuadra					
	Cogoti 18	Las tinajas	1990	765	765	99	367
	El sauce	El sauce	1988	385	385	100	83
	Las barrancas	Las barrancas El chineo	1990	665	665	100	157

	Cooperativa	Localidad abastecida	Año marcha	Población Total	Población abastecida	Cobertura (%)	Arranques
	La capilla	La capilla	1993	140	140	100	28
	La isla	La isla	1990	550	550	100	114
	La ligua de cogoti	La ligua de cogoti	1980	920	920	100	223
	La playa	La playa Ramadilla	1993	425	425	100	93
	Manquehua	Manquehua	1983	405	405	100	93
	Quilitapia	Quilitapia	1984/1999	1010	1010	100	281
	San marcos	San marcos	1990/2000	1000	1000	100	276
	Soruco	Soruco	1999	345	345	100	74
	Valle hermoso	Valle hermoso	1996	254	254	100	62
MONTE PATRIA	Caren	Caren	1988	750	745	99	186
	Cerrillos de rapel	Cerrillos de rapel Los angeles de rapel La higuera de rapel	1984	450	450	100	172
	Colliguay	Colliguay alto Colliguay bajo Chaguaral	1991	1072	1040	97	217
	Colliguay	Media hda. De caren	2000				
	Chañaral de caren	Chañaral de caren Pulpica	1990/2000	745	745	100	157
	Chilecito	Chilecito Mialqui Carretones	1978	1200	1170	98	311
	El coipo	El coipo	1985	480	480	100	106
	El maiten	El maiten	1992	195	195	100	42
	El maqui	El maqui Pampa grande Mostazal de pampa	1984	870	870	100	200
	El tome alto	El tome alto	1984	815	815	100	176
	Flor del valle	Flor del valle alto Flor del valle bajo Agua chica	1996	1068	1063	100	203
	Huatulame	Huatulame	1985	1440	1420	99	295
	Juntas	Juntas Dos rios	1980	700	700	100	160
	Las mollacas	Las mollacas Hacienda valdivia	1987/1999	1210	1210	100	144

	Cooperativa	Localidad abastecida	Año marcha	Población Total	Población abastecida	Cobertura (%)	Arranques
	Las mollacas	Cruce las mollacas					
	Los clonquis	Los clonquis	1985	360	360	100	69
	Los morales	Los morales	1999	410	410	100	153
	Los tapias	Los tapias	2000	465	410	88	84
	Pedregal	Pedregal	1990/2000	550	550	100	113
		Las carpas					
	Rapel	Rapel	1979	860	860	100	320
	Ramadas de tulahuen	Ramadas de tulahuen	1998	695	695	100	147
		Pejerreyes					
	Semita	Semita	1992	350	350	100	78
	Sol de las praderas	Sol de las praderas	1998	771	771	100	115
		Barrancones					
		Angostura					
		Varillar					
		Punta blanca					
	Tulahuen	Tulahuen	1991	2640	2560	97	560
		El cuyano					
		La cisterna					
		El tayan					
OVALLE	Algarrobo	Algarrobo	1987	300	300	100	59
	Barraza	Barraza	1979	1381	1381	100	396
	Barraza	Oruro	1996				
	Barraza	Salala	2000	640	640	100	
	Camarico	Camarico viejo	2000	1360	1360	100	87
		Camarico chico					
	Carachillas	Carachillas	1998	530	530	100	116
	Cerrillos de tamaya	Cerrillos de tamaya	1993/2000	2955	2955	100	755
		Los olivos					
		Santa cristina					
		Quebrada seca					
	Chalinga	Chalinga	1985	655	655	100	164
	Chalinga	Espinal de chalinga	2000	610	610	100	
	El guindo	El guindo	1989	1480	1455	98	344
		El guindo bajo					
	El trapiche	El trapiche	1994/1998	509	509	100	153
	Estacion recoleta	Estacion recoleta	1988	630	625	99	156
	La sonora los acacios	La sonora los acacios	2002				31
	La torre	La torre	1978	1345	1315	98	293
		Las sossas					

	Cooperativa	Localidad abastecida	Año marcha	Población Total	Población abastecida	Cobertura (%)	Arranques
	Lagunillas	Lagunillas alto Lagunillas bajo	1978	540	540	100	114
	Limari	Limari Las vegas de limari Los llanos de limari	1983	1205	1190	99	429
	Los nogales	Los nogales	1988	445	435	98	167
	Los nogales	Campo lindo	2000	235	235	100	
	Nueva aurora	Nueva aurora	1990	525	525	100	59
	Porvenir	Porvenir	1985/2002	865	865	100	125
	Santa catalina	Santa catalina	1998	425	425	100	61
	Samo bajo	Samo bajo	1992	295	285	97	54
	San julian	San julian Ceron	1974	811	811	100	179
	Tabali	Tabali	1979	628	628	100	140
	Villaseca	Villaseca Canelillo Barrancas de villaseca Puntilla de barrancas La cuca Poblacion yaconi	1989/1997	535	535	100	218
	Yaconi	Los leices					
PUNITAQUI	La higuera de punitaqui	La higuera de punitaqui	1999	660	660	100	125
	Las ramadas	Las ramadas	1996	950	950	100	214
	Graneros	Graneros	1985	220	220	100	45
RIO HURTADO	Fundina	Fundina Fundina norte El puerto	1991	600	595	99	111
	Huampulla	Huampulla	1984	330	330	100	79
	Hurtado	Hurtado El chañar Los huapis Lavaderos Morrillos	1982	1310	1310	100	307
	Las breas	Las breas	1996	355	355	100	73
	Pichasca	Pichasca	1979/1998	2115	2115	100	320
	Pichasca	San pedro	1985				
	Pichasca	El espinal	1988				
	Samo alto	Samo alto	1985	555	555	100	164
	Samo alto	Parral viejo	2000	215	215	100	
	Quebrada santander	Quebrada santander					24

	Cooperativa	Localidad abastecida	Año marcha	Población Total	Población abastecida	Cobertura (%)	Arranques
	Seron	Seron	1978/1997	1035	1035	100	217
	Tabaqueros	Tabaqueros	1985	590	590	100	144
	Tabaqueros	Eleuterio ramirez					
CANELA	Huentelauquen norte	Huentelauquen alto					
		Huentalauquen bajo					
		La chipana	1985/2000	475	475	100	284
	Huentelauquen sur	Huentelauquen sur	1993/2001	445	440	99	89
	Mincha norte	Mincha norte	1990/2001	595	585	98	161
	Mincha sur	Mincha sur	1983	460	460	100	104
	Los pozos	Los pozos	2000				47
ILLAPEL	Carcamo	Carcamo					
		La colonia	1979/1998	1325	1325	100	185
	Huintil	Huintil	2000	370	370	100	87
	Las cañas 1 (alta)	Las cañas 1 (alta)					
		Canelillo	1998	640	640	100	152
	Las cañas 2 (baja)	Las cañas 2 (baja)					
		Choapa viejo	1998	410	410	100	141
	Limahuida	Limahuida	1999	410	410	100	75
	Peralillo	Peralillo	1997	335	335	100	77
	Socavon	Socavon	2001	226	194	86	83
	Tunga norte	Tunga norte	1983	165	165	100	32
	Tunga sur	Tunga sur	1987	440	440	100	86
LOS VILOS	Caimanes	Caimanes	1991	875	860	98	250
	El esfuerzo	El esfuerzo	1985/1999	1165	1165	100	347
	Guanguali	Guanguali	1996	560	560	100	150
	Los condores	Los condores	1997	365	365	100	72
	Quilimari	Quilimari	1968	1640	1560	95	720
SALAMANCA	Batuco	Batuco	1993	400	385	96	105
	Coiron	Coiron	1983	390	385	99	120
	Colliguay	Colliguay	1988	260	235	90	56
	Cuncumen	Cuncumen	1985	870	870	100	232
	Chillepin	Chillepin	1983/1998	1655	1655	100	406
	Chuchiñi	Chuchiñi	1995/1997	765	765	100	136
	El arrayan	El arrayan	2000	181	181	100	37
	El queñe	El queñe	1988	105	105	100	23
	El tambo (ch)	El tambo (ch)	1985/2000	1095	1095	100	289
	El tambo oriente	El tambo viejo	1997	285	285	100	96
	Jorquera	Jorquera	1983	220	220	100	70
	La higuerilla	La higuerilla	1983	345	340	99	79
	Llimpo	Llimpo	1983/2000	405	405	100	110

	Cooperativa	Localidad abastecida	Año marcha	Población Total	Población abastecida	Cobertura (%)	Arranques
	Panguesillo	Panguesillo	1983	680	680	100	180
	Peladeros	Peladeros	2003	216	216	100	54
	Punta nueva	Punta nueva	1988	160	160	100	46
	Quelen alto	Quelen alto	1984	160	160	100	45
	Quelen bajo	Quelen bajo	1988	440	440	100	120
	San agustin	San agustin	1992	525	525	100	117
	Sist. Arboleda grande	Arboleda grande	1991	1650	1620	98	485
		Cunlagua					
		El tebal					
		Huanque					
		Cancha brava					
	Tahuinco	Tahuinco	1987/2000	805	805	100	164
	Tranquilla	Tranquilla	1986	810	805	99	173

Fuente: Departamento de Agua Potable Rural, Dirección de Obras Hidráulicas

Todos los antecedentes disponibles para las aguas potables rurales se han vertido en coberturas SIG, según se detalla en el capítulo 3.

4.2.6 Experiencia internacional

La investigación de la experiencia internacional sobre eficiencia en el uso del agua en zonas áridas se realizó a través de Internet, basada, por un lado, en los antecedentes que al respecto maneja CAZALAC, y por otro lado, en una búsqueda general de antecedentes relacionados con los términos eficiencia, uso, agua, zonas áridas, zonas semiáridas y agricultura. Se presentan a continuación los resultados de dicha búsqueda.

a) Contexto de los trabajos de eficiencia que realiza la Organización de las Naciones Unidas (ONU)

En primer lugar se investigó las acciones respecto de la gestión del agua en zonas áridas que realiza Naciones Unidas. Esta institución supranacional se interesa por las zonas áridas en el contexto del medio ambiente y de la desertificación. Las NU tuvo una de sus primeras manifestaciones de interés por el medio ambiente, en la Conferencia las NU para el Ambiente Humano que se realizó en Suecia, en 1972.

Pocos años después, en 1977, se trata por primera vez el tema de la desertificación en un ámbito internacional, en Kenya, 1977, y se aprueba un plan de acción, el cual no pudo ser concretado por problemas que surgieron respecto de su enfoque técnico, político y financiero.

El tema se retomó con fuerza recién el año 1992, en la Conferencia de las NU para el Desarrollo y el Medio Ambiente, que tuvo lugar en Río de Janeiro, Brasil, la cual incluyó un capítulo sobre la lucha contra la desertificación y la sequía. Esto dio lugar a iniciativas para crear una Convención NU para la lucha contra la desertificación, la cual finalmente entró en vigencia en Diciembre de 1996, al contar con la ratificación de 50 países.

Paralelamente, Chile venía desarrollando iniciativas diversas contra la erosión y la desertificación. Hay estudios que datan de los años 20, 30 y 40, en que se hace énfasis en la erosión, el cáncer de los suelos. Sin embargo, la expansión de la frontera agrícola, la aplicación de tecnologías y prácticas de riego no sostenibles, los incendios forestales, la deforestación indiscriminada en algunas regiones, en resumen, el avance de la desertificación, no han podido ser contrarrestadas y exigen iniciativas que sean apoyadas por la sociedad en su conjunto, para minimizar efectos negativos que puedan ser irreversibles.

A partir de la década del 70 y 80 se consolida internacionalmente el término desertificación, y en 1980 se incluye en la nueva Constitución de la República de Chile el deber del estado de tutelar la preservación de la naturaleza.

Se crea un Comité Consultivo, integrado por todas las instituciones de temática afín al agua y al suelo, para publicar, en Mayo de 1997, un Programa de Acción Nacional contra la Desertificación, que fue aprobado por el Consejo de Ministros de CONAMA.

En Noviembre de 1997, Chile ratifica la Convención de Lucha contra la Desertificación de las NU, y es aprobada por el Congreso Nacional, con lo que el contenido de dicha convención pasa a ser ley de la República.

Una de las acciones del Gobierno de Chile, específicamente de la Dirección General de Aguas, en colaboración con el PHI de UNESCO y el Gobierno de Flandes (Bélgica), fue la creación del Centro CAZALAC, enfocado a las zonas áridas y semiáridas de Latinoamérica y El Caribe.

Hay también otras actividades relacionadas con el tema de la desertificación, que se han iniciado con el financiamiento del programa GEF (Global Environmental Fund) y del programa PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo), como los subsidios pequeños para combatir la desertificación que ha entregado el GEF en la IV° Región.

La Convención contra la desertificación propiamente tal carece de mecanismos de financiamiento ágil, por lo cual ha mantenido hasta ahora un bajo perfil. El GEF, que es su mecanismo de financiamiento, por otra parte, ha incorporado dentro de sus líneas de acción, la prevención y control de la degradación de tierras, lo que resulta muy promisorio para los países en que se conjuga la sequía con la desertificación y la pobreza.

La Convención contra la Desertificación de la NU mantiene una gran cantidad de programas de acción en los 2 continentes más afectados por la desertificación, que son África y Asia, programas que responden a sus particulares problemas y requerimientos.

En África, hay seis programas que son los siguientes:

- Manejo integrado de ríos, lagos y acuíferos compartidos internacionalmente
- Promoción de la forestación y conservación de suelos
- Uso racional de tierras marginales y desarrollo de cereales para forraje
- Monitoreo ecológico, mapeado de recursos naturales, sistemas de percepción remota y de alerta temprana
- Promoción de nuevas fuentes de energía, nuevas tecnologías y fuentes renovables de energía
- Promoción de sistemas sustentables en la agricultura

En Asia, también hay seis programas, que son los siguientes:

- Asistencia y monitoreo contra la desertificación
- Forestación y conservación de suelos en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas
- Manejo de tierras marginales en zonas áridas, incluyendo la fijación de dunas
- Gestión del recurso hídrico en la agricultura, en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas
- Fortaleciendo capacidades para mitigar el impacto de sequías y combatir la desertificación
- Asistencia para la implementación de iniciativas de programas de desarrollo local

En la zona norte del mediterráneo y en Europa Central y Oriental, a la fecha no hay programas en acción. Sin embargo para América Latina y el Caribe se ha iniciado uno recientemente.

b) Programa ONU: TPN4 de Asia

Entre todos los programas de UN sobre el tema de la desertificación, el que más afinidad presenta con la temática bajo análisis, es el TPN4 de Asia, que se refiere a la gestión del agua en la agricultura de zonas áridas y semiáridas. Se trata de hacer un uso sustentable de los escasos recursos hídricos disponibles, evitando la degradación de los suelos irrigados. Sistemas inadecuados de riego, la sobreirrigación y el uso de aguas servidas, en algunos casos han llevado a salinización de los suelos. Se está explorando en varios países el uso más eficiente de aguas marginales como acuíferos salinizados o aguas servidas tratadas.

El procesamiento y uso de aguas urbanas servidas y tratadas, la explotación eficiente de acuíferos salobres, y el uso limitado de aguas de baja calidad para su aplicación sustentable en la agricultura, requerirán una integración cabal de las actividades existentes, y posiblemente alguna intervención a través de políticas de incentivos económicos. Sería importante y útil compartir experiencias de este tipo en la región, a través de las actividades de CAZALAC.

El manejo de aguas marginales, y del suelo que las recibe, requerirá mejorar las tecnologías y hacer nuevas inversiones en el tema del reciclamiento de aguas servidas, en el procesamiento de aguas salobres, manejo de suelos, y monitoreos de calidad de aguas y suelos. También se puede mejorar la eficiencia en el uso del agua a través de la introducción de especies tolerantes a la salinidad y a las sequías.

El objetivo global de este programa es lograr el uso de aguas escasas a bajo costo, minimizar la degradación de los suelos causada por la salinización, y probar metodologías para la recuperación y uso de tierras que ya han sido degradadas.

Una revisión del contenido de este programa muestra que los problemas mayores a cuya resolución apunta, son los que se desprenden una mala gestión de los recursos hídricos: salinización de suelos por riegos mal planificados, deterioro de la capa vegetal natural, disminución de la capacidad del suelo de mantener carbono, expansión hacia nuevos terrenos con la consiguiente deforestación de ellos, contaminación por sustancias agroquímicas, sobreexplotación de acuíferos, y deterioro de la calidad de vida de los pueblos que dependen de la productividad de las zonas áridas y semiáridas.

En la actualidad hay muchas instituciones que a nivel mundial se están encargando del tema del agua, teniendo en vista su carácter de indispensable para todo lo relacionado con la alimentación de la población mundial.

Limitar o reducir las extensiones de áreas regadas no son soluciones atractivas para manejar la crisis del agua. Por esta razón, debe ponerse énfasis en otras medidas que aseguren una provisión suficiente del recurso, y ellas deben ser del siguiente tipo:

Ahorrar agua, buscar nuevas fuentes, y sobre todo, cambios fundamentales en la gestión del agua, en la forma de cooperación y en el tipo de inversiones.

Para esto se proponen, en este programa, diversas metas u objetivos:

- Hacer más productiva el agua en la agricultura (más grano por gota). Esto significa contar con servicios confiables, competentes y tecnificados.
- Aumentar el almacenamiento. Esto significa tener a disposición nuevas fuentes, con menores costos económicos, ambientales y sociales.
- Cambiar la forma de gestión del agua, tarificando los servicios de agua a su costo completo, e incentivando la autogestión, para lo cual es necesario fortalecer a los usuarios
- Fomentar la cooperación en cuencas compartidas internacionalmente, desarrollar la cooperación por etapas
- Valorar las funciones de los ecosistemas, y aumentar nuestra comprensión de ellos para adoptar las prácticas más adecuadas
- Invertir en investigación y en la difusión de sus resultados, creando conciencia (mediante educación y entrenamiento) en las personas capaces de generar los cambios necesarios
- Movilizar recursos financieros a través de la tarificación del agua, integrando al sector privado y asegurando los presupuestos públicos necesarios

De acuerdo con el programa, esto se logra con las siguientes acciones:

- involucrando a todos los usuarios en un manejo integrado
- enfocándose hacia la tarificación de todos los costos para todos los servicios del agua
- aumentando los fondos públicos destinados a la investigación
- incentivando la cooperación en cuencas compartidas
- aumentando masivamente las inversiones en el sector agua

Aparecen como aspectos prioritarios, los temas siguientes:

- Implementación de reformas económicas relativas al agua en la agricultura
- Tarificación del agua
- Aplicación de subsidios focalizados
- Aumento de eficiencia de los sistemas de riego
- Investigación y transferencia tecnológica
- Ahorro y almacenamiento de agua
- Fomento de la cooperación regional e internacional
- Aumento de coordinación dentro del país
- Definición de estrategias de capacitación
- Entrenamiento de profesionales
- Diseño para la gestión de cuerpos hídricos compartidos
- Establecimiento y mejora del sistemas de monitoreo de aguas, usos y ecosistemas

El programa está en desarrollo desde 2002, y no se reportan aún resultados concretos.

Se puede observar que el programa TPN4 es conceptualmente muy amplio, y abarca el tema de la eficiencia en el uso del agua como un subconjunto de las medidas que hay que tomar para evitar el progreso de la desertificación. No obstante, aporta diversos conceptos que son de utilidad para las evaluaciones y propuestas del presente estudio.

c) Libro Blanco del Agua, Ministerio del Medio Ambiente, Secretaría de Estado de Aguas y Costas, Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas, 2000

Este libro del agua español tiene por objetivo generar los elementos que permitan enfrentar los desafíos del futuro con una visión más clara acerca del recurso hídrico en el país, en que se conjuguen la experiencia adquirida durante la no despreciable historia que hay en torno al agua en España, con las visiones modernas en cuanto a tecnología, medio ambiente y bienestar social.

En este contexto, los objetivos concretos del Libro Blanco son

- organizar y unificar la información hidrológica básica espacial y temporal, existente en el país, y ponerla a disposición del público
- estimar la evolución previsible y establecer opciones y prioridades para el uso del agua
- incorporar la experiencia de la última sequía, para enriquecer los Planes Hidrológicos y el Plan Hidrológico Nacional

Según se puede desprender de los objetivos señalados, se plantea en este libro que en relación con el agua hay dos tipos de análisis:

- Los análisis técnicos, que se hacen en torno a la información objetiva, basada en datos, observaciones, realidades medibles y observables, que por lo tanto no admiten gran discusión. A ellos se dedica una gran parte de este libro.
- Los análisis que se hacen para plantear políticas y soluciones a futuro, que son esencialmente materia de discusión y de polémica, y a los cuales este libro dedica también una de sus partes.

Se puede observar, por lo tanto, que este libro está muy enfocado a la realidad de España. Sin embargo, la experiencia y la realidad de España también ameritan algunas reflexiones acerca de cómo aumentar la eficiencia en el uso del recurso hídrico, que es escaso en gran parte del país. En este contexto, se proponen las siguientes medidas:

- Uso conjunto del agua superficial y subterránea
- Recarga artificial de acuíferos
- Reutilización del agua, directa, o indirecta a través de su vertido a los ríos
- Desalación
- Uso de agua salobre
- Trasvases o transferencias, entre naciones, naturales y artificiales, subterráneas

Estos temas son de interés y aplicabilidad global, y hay varios de ellos que podrán ser analizados y evaluados si se determina su aplicabilidad a los casos del presente estudio.

d) La eficiencia en el uso del agua en los distritos de riego. Enrique Palacios-Vélez, Investigador Titular del Colegio de Postgraduados, Montecillo, México, 1990?

En este estudio se plantea que la eficiencia en el uso del agua en el riego se integra por varios componentes, considerando las pérdidas de este recurso desde su almacenamiento, conducción y aplicación a las parcelas de los regantes. Es importante conocer cómo se definen estos componentes, así como la forma en que pueden mejorarse para lograr la optimización del recurso, que es escaso e importante, en la mayoría de las zonas agrícolas de México.

También se hace énfasis en que deben aclararse algunos enfoques erróneos al estimar estas eficiencias, ya que no siempre el agua que aparentemente se pierde es desperdiciada. Además, en el trabajo se muestra cómo a veces un pretendido mejoramiento de la eficiencia puede tener efectos negativos en el sistema o subsistemas hidrológicos considerados.

Como conclusión del estudio se plantea que en la evaluación de eficiencias sobre el uso del agua en grandes sistemas de riego, es relativamente fácil cometer errores al considerar que toda el agua estimada como pérdida se desperdicia; en muchos casos una parte de ésta puede ser nuevamente aprovechada, ya sea dentro del mismo sistema o en uno vecino aguas abajo. En el caso analizado del Distrito del Río Mayo en Sonora, se ha visto que en algunos casos se produce el reúso del agua percolada al manto freático, en otros casos el agua escurrida o derramada también se puede aprovechar en parte. En general en los sistemas costeros es más difícil reutilizar el agua, debido al cercano desfogue al mar; sin embargo, en los sistemas interiores los desperdicios se reducen significativamente.

Por otra parte, se afirma que al considerar acciones con el fin de mejorar la eficiencia en la utilización del agua, debe tenerse el cuidado de observar si dichas acciones no tienen efectos nocivos en otras partes del sistema. Por ejemplo, en la Región Lagunera durante la rehabilitación del Distrito de Riego, a fines de la década de los años sesentas, se consideró la necesidad de revestir la mayoría de los canales de riego para reducir las pérdidas por infiltración que eran considerables, esto tuvo como efecto la reducción de la recarga al acuífero.

Los abatimientos de los niveles de bombeo observados antes de 1970, eran del orden de los 80 cm anuales; después de la rehabilitación dichos abatimientos de incrementaron a 180 cm por año, con el consecuente incremento de los costos de bombeo, así como una aceleración del agotamiento del acuífero. De esto se concluye la conveniencia de analizar cuidadosamente las implicaciones económicas, ecológicas y sociales de las acciones que se lleguen a tomar cuando se pretenda mejorar la eficiencia en el uso del agua.

Este estudio es muy interesante y el concepto de la evaluación del significado real de las pérdidas tiene una gran aplicabilidad en las cuencas bajo análisis. En efecto, pérdidas locales no significan, necesariamente, una ineficiencia a nivel global, que es la que se busca evitar.

e) Mejora en la eficiencia del uso del agua: asesoramiento a regantes. Su aplicación a la comunidad de regantes Relámpago-Almíndez-La Minilla (Torreperogil-Jaén). J M. Pastor, J. Hidalgo, L. Camacho. CIFA Córdoba. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía, A. Martínez,J. Nieto, P. Arroyo. Caja Rural de Jaén. 2000. (Artículo publicado completo, con fotos, cuadros y gráficos, en Vida Rural nº 115. 1 de octubre de 2000)

El principal problema que se plantea a los regantes es que la dotación de agua que se les asigna, 1.500 m3/ha, en años de pluviometría media-baja es insuficiente para cubrir las necesidades de muchos tipos de olivar, en especial el de las plantaciones intensivas. Es, por tanto, necesario mejorar la eficiencia del uso del agua.

El olivar, con 230.193 hectáreas regadas (Consejería de Agricultura y Pesca Junta de Andalucía, 2000), es ahora el primer cultivo de regadío de Andalucía, habiendo superado tanto a cultivos tradicionales como al conjunto de los extensivos de verano (algodón, maíz, girasol, etc.), a los hortícolas al aire libre, así como a los cultivos arbóreos: cítricos (57.000 ha), frutales (36.075 ha) y frutales subtropicales (14.700 ha).

Como es natural, son muy escasos los olivares que disponen de agua suficiente como para cubrir las necesidades para máxima producción. Ante este problema generalizado, se comenzó a trabajar en la evaluación de diferentes estrategias de riego deficitario controlado, de modo que teniendo en cuenta una serie de datos relativos a la climatología anual, al tipo de suelo y al desarrollo del cultivo, se pudiera llegar al momento de la recolección habiendo causado un mínimo estrés hídrico al olivar.

Teniendo en cuenta la baja dotación de riego, fue necesario, en primer lugar, emplear métodos y decisiones de aplicación que permitieran obtener una máxima eficiencia en el uso del agua disponible.

Para ello, el primer paso fue instalar un riego eficiente, con un coeficiente de uniformidad superior al 90%, por lo que se consideró fundamental diseñar una instalación para el empleo de goteros autocompensantes de calidad.

En segundo lugar, fue importante mojar un volumen de suelo adecuado, y dar riego con el volumen necesario para evitar pérdidas por percolación profunda y reducir al máximo la evaporación directa a la atmósfera.

En tercer lugar, se analiza la posibilidad de hacer riegos con déficit hídrico, el cual es tolerado bastante bien por la planta en ciertos estados de su período vegetativo. Para aplicar la estrategia del riego deficitario controlado, aparece como fundamental el disponer de medios técnicos para hacer el seguimiento del cultivo, y detectar el estado en que se encuentra, ya que ello permite aumentar la eficiencia de la escasa cantidad de agua disponible sin afectar mayormente la producción.

Se habla, por otro lado, de mantener estanques que permitan al menos 1 riego intermedio, para poder administrar esta agua en el verano, cuando se vea la estricta necesidad de ello.

Otra posibilidad que se plantea, también cuando el agua es escasa, y se dispone además de medios para almacenar el agua, es la de regar solamente en los momentos o periodos más críticos, que en el caso de olivar podrían ser antes de floración, durante el periodo cuajado del fruto-endurecimiento del hueso, y finalmente durante la maduración del fruto.

El problema que plantean estos sistemas de riego deficitario es precisamente el control del umbral de déficit, de modo que la planta no entre en estados de estrés hídrico profundo que hagan difícil y lenta su recuperación tras la aplicación del agua (riego y/o lluvia) en otoño, lo que sí puede afectar negativamente a la producción.

Se mencionan trabajos realizados en Grecia (Michelakis, 1995), Cataluña (Alegre et al., 1996), California-USA (Goldhamer, 1996) y en Andalucía (Pastor, datos no publicados) que muestran la posibilidad de aplicar fuertes recortes de agua durante el verano, sin asumir unas pérdidas importantes de producción.

Se señala además que, en un trabajo realizado en Córdoba los últimos cuatro años, se ha apuntado la posibilidad de regar el olivar en años alternos, a ser posible haciendo coincidir los años de secano con los de escasa producción del olivar, y que esta posibilidad debe ser explorada. En especial, su interés radica en que genera la posibilidad de autogestión del empleo del agua por los olivareros, como ya se hace con algunos embalses en la Región de Murcia.

Se observa que este trabajo se refiere a una región que es francamente muy seca, con una bajísima dotación de agua para el riego del olivar. Justamente por esta razón, aparecen una gran cantidad de conceptos y sugerencias, a través de los cuales los regantes pueden adaptarse de la mejor forma posible al rigor de la escasez de agua, que pueden tener aplicación en las cuencas bajo análisis.

f) Uso, eficiencia y ahorro de agua en las ciudades. Publicación de un grupo de trabajo mixto público-privado-académico-ciudadano, Revista Aguas 2001, España

A continuación se transcriben algunos párrafos del artículo publicado.

“La gestión del agua en las ciudades españolas, salvo excepciones, ha estado presidida hasta fechas muy recientes por un único imperativo: garantizar el suministro de agua a los ciudadanos que cumpliera las exigencias que la ley impone para considerarla potable. Si por causas estructurales o circunstancias coyunturales este suministro no estaba garantizado, el desafío para los poderes públicos era cómo conseguir "agua nueva" para satisfacer las demandas existentes. Cualquier desequilibrio entre la oferta y la demanda de agua se ha intentado corregir siempre por el lado de la oferta.”

“Sin embargo, en los últimos tiempos una convicción se va abriendo paso en la sociedad en general y entre los técnicos y políticos responsables del sector: de la misma manera que se puede actuar sobre la gestión de la oferta del agua también se puede y se debe actuar sobre la demanda. Incluso se comienzan a percibir los beneficios económicos, ambientales y sociales de gestionar la demanda de agua. Sin negar la necesidad que pudiera existir, en algún lugar concreto, de mejorar la oferta del agua, lo cierto es que trabajar incrementando la eficacia es una vía más ecológica, más económica, más rápida y de menor conflictividad social, lo cual, en un país de sequía estructural, en el que la literatura refleja abundantes conflictos vinculados al uso del agua, no es una ventaja menor.“

“Lograr avances significativos en el camino para hacer un uso racional del agua en las ciudades españolas pasa por actuar de forma conjunta y complementaria, con un enfoque sistémico, sobre dichos factores. Y deben hacerlo todos los agentes sociales implicados, muy fundamentalmente las administraciones públicas, las empresas, y las asociaciones voluntarias de consumidores, vecinos y ecologistas; practicando el principio, fácil de afirmar pero más difícil de realizar, de la responsabilidad compartida.”

“El texto intenta diagnosticar problemas y formular criterios. También alternativas, propuestas concretas y practicables a corto plazo en las ciudades que suscitaron un mayor consenso en los debates. Las propuestas pretenden lograr que todos los hogares tengan agua que sea de calidad. Además, hay que incrementar la productividad de este recurso de creciente escasez.”

Las propuestas que se desprenden del estudio presentado se refieren, en su gran mayoría, a cómo administrar la oferta y demanda de agua potable por parte de la administración central, específicamente por parte de los municipios, para lograr menos pérdidas, mayor ahorro, mayor seguridad y mejor calidad en el abastecimiento. Una de las 26 proposiciones presentadas se refiere a aplicar tarifas que incentiven el ahorro.

Este tema en Chile está resuelto de otra forma, en que el cuerpo legal sanitario establece tarifas al costo real de una empresa modelo, siendo el sistema fiscalizado por el Estado. La tarifa sigue siendo el argumento más claro para el ahorro por parte del usuario, la empresa modelo es la forma más directa de lograr la eficiencia por parte de la empresa, y la fiscalización es la forma de garantizar la calidad y la seguridad en la entrega por parte de la empresa.

Sin embargo, pareció interesante presentar este estudio aquí, por el concepto de actuar sobre la demanda, que es uno de los pilares básicos para el logro de la eficiencia, y la importancia de las tarifas, cuando hacen sentir el costo real del bien. Ambos aspectos y su aplicabilidad fueron tomados en cuenta para las recomendaciones que surgen de este estudio.

4.2.7 Metodologías de aumento de la eficiencia física en el uso del agua, a nivel local

De acuerdo con la revisión efectuada, se presenta aquí una sistematización de las metodologías que existen para aumentar la eficiencia en el uso del agua a nivel predial e intermedio.

Entre los especialistas en recursos hídricos, a nivel mundial, existe consenso en que existe la necesidad de contar con nuevas tecnologías que permitan ahorrar agua, y que, por lo tanto, hay que impulsar estudios sobre medidas destinadas a lograr un uso más eficiente del recurso.

El agua es un recurso que está cada vez más escaso, por un lado, debido al aumento de la población, que importa un aumento de la demanda, y por otro lado, al agotamiento de fuentes, menor construcción de grandes obras poco rentables, contaminación del agua y cambio climático, que significan una reducción de la oferta.

En cuanto a la problemática de los sistemas de riego, en la mayoría de los países en desarrollo, incluido Chile, es todavía muy usado el riego por gravedad, que no representa un uso eficiente del agua.

Las principales causas de la pérdida son: evaporación en canales y ríos, infiltración en conducciones, fugas en infraestructura en mal estado y desperdicios por mal manejo. Del total de las pérdidas por conducción, se estima que la evaporación contribuye con el 5%, mientras que las fugas, infiltración y manejo son responsables del 30, 30 y 35% del total, respectivamente.

La eficiencia en la aplicación del agua de riego a nivel de predio es muy variable, y se estima que varía entre un 75% en los sectores de riego más tecnificados, hasta solo 35% en otros sectores con menores recursos.

Estos niveles de eficiencia son típicos a nivel mundial. Se estima que la eficiencia de los sistemas de riego en el mundo tienen un promedio de 37%, y sólo unos pocos alcanzan niveles de alrededor del 50%, si bien en teoría pueden lograrse valores cercanos a 90%.

Considerando la problemática planteada anteriormente, a continuación se resume el estado del arte de la tecnología, específicamente de las líneas de investigación y desarrollo tecnológico que parecen más prometedoras, de acuerdo a la bibliografía consultada.

Las líneas de desarrollo tecnológico que se identifican a nivel mundial, se presentan aquí en tres grupos: mejoramiento en la operación, mejoramiento en la captación y conducción, y mejoramiento en técnicas de riego a nivel de predio e investigación básica.

a) Mejoramiento en la operación

- Elaboración de programas de cultivo. Una de las áreas con mayores posibilidades para incrementar la eficiencia del uso del agua para riego, es la aplicación de técnicas de optimización en la asignación del agua. Esto se puede entender de dos formas:

aplicando el agua en los momentos del período vegetativo en que el agua es más requerida por la planta, y aplicando el agua a cultivos que requieren menos agua para desarrollarse.

- Uso combinado de agua salina y dulce. En algunos lugares existe una cierta cantidad de agua disponible con contenidos elevados de sales. En general, esta agua no se utiliza para riego, pero las investigaciones recientes indican que ambos tipos de agua pueden utilizarse de manera combinada, controlando que no haya daño al suelo que recibe estas aguas. Este tipo de sistema de riego no es posible de aplicar a cualquier cultivo, sino sólo a aquéllos que ofrecen una cierta resistencia a la salinidad. En estos casos, conocida la función de respuesta del cultivo a la salinidad, es posible maximizar la producción.

- Monitoreo de condiciones del suelo y clima - La determinación de las condiciones del suelo durante el desarrollo de un cultivo puede permitir el proporcionarle, con una alta precisión, la cantidad requerida en el momento oportuno. Una forma de lograrlo es mediante la instalación de dispositivos de medición, con registro continuo. Es necesario profundizar en la investigación para desarrollar métodos económicos de medición. Un método que tiene buenas perspectivas consiste en la instalación de tensiómetros u otros medidores de humedad en los predios. Los propietarios son los encargados de recabar los datos de tensión de humedad en el suelo, y derivarlos a la unidad central del sistema de riego. Con esta información, los encargados de la operación del sistema pueden decidir con mayor objetividad, cuándo conviene regar.

- Pronóstico de sequías. En los países semiáridos, las sequías constituyen el desastre natural más costoso para la agricultura. En este sentido, es de suma importancia desarrollar métodos para pronosticar estos eventos. Los métodos deberían utilizar el tipo de datos disponibles en el país, y producir un pronóstico cuantitativo, razonablemente confiable, de la magnitud de una sequía.

- Protección contra inundaciones. La protección de las tierras agrícolas contra inundaciones es también importante, para evitar la pérdida de suelos. El desarrollo de métodos de pronóstico y diseño de estructuras de protección es también una línea de investigación prioritaria.

- Medición volumétrica. De gran importancia es la implementación de estructuras de aforo, que sean económicas y de fácil diseño y uso, y que permitan medir volumétricamente el agua distribuida. Sin medición volumétrica de las entregas es difícil mejorar la eficiencia en el uso.

b) <u>Mejoramiento en la captación y en la conducción</u>

- Reducción de pérdidas por evaporación desde embalses. Una línea de investigación que puede brindar resultados en la reducción de la evaporación en embalses, a bajo costo, es la introducción de material flotante de color blanco. Al parecer, se produce

una disminución de la temperatura en el cuerpo de agua, con lo que se consigue una correspondiente disminución en la evaporación. Algunos métodos de disminución de la evaporación en embalses están disponibles comercialmente, pero no se tiene suficiente información sobre su funcionamiento en grandes obras.

- Disminución de infiltración en la conducción. Las pérdidas por infiltración en canales no revestidos son la principal causa, desde el punto de vista hidráulico, de pérdidas de agua en la conducción. La solución más evidente, aunque costosa, es el revestimiento de canales. Una línea de investigación que puede ser exitosa es el diseño y prueba de "selladores", tales como carbonato de sodio, en canales no revestidos. Sobre el particular no se han hecho suficientes estudios, pero por su bajo costo podrían representar una buena alternativa.

- Optimización en el manejo de canales. En redes de distribución muy extensas, o con canales muy largos, deben definirse políticas óptimas de operación, que minimicen las pérdidas. Este problema está asociado con el de control de flujo en la red de canales, por lo que deben atacarse de manera simultánea y coordinada. El desarrollo de algoritmos de optimización en la operación de redes de canales es una línea de investigación de gran interés, pero que se complica por la existencia de diferentes cultivos, con diferentes requerimientos de agua, en zonas alimentadas por un mismo canal.

- Control automatizado de canales. Este es un campo de investigación en el que se ha avanzado significativamente desde hace más de una década. Ya en 1974, la FAO publicó un texto en el que se recomiendan algunos métodos de control automatizado. En el control del flujo en canales se ha avanzado especialmente en el diseño de compuertas de control de niveles y gastos.

c) <u>Mejoramiento de las técnicas de riego</u>

- Identificación de las condiciones que definen la aplicabilidad de un sistema de riego. La elección apropiada de un sistema de riego, acorde con las condiciones de suelo, disponibilidad de agua, calidad, clima, etc. es uno de los problemas de mayor interés en regiones semiáridas. Sin embargo, la información sobre las experiencias en este tema y sus resultados en diversas regiones, se encuentra dispersa. Sería de utilidad en reunir esta información en un texto capaz de permitir a los usuarios contar con criterios objetivos a la hora del diseño del sistema de riego.

- Riego intermitente. Esta es una nueva técnica de riego intrapredial, potencialmente capaz de aumentar la eficiencia, tanto en lo que se refiere a disminuir las pérdidas en drenaje al final del predio, como las pérdidas por percolación profunda. El riego intermitente en sistemas de surcos o bordes, consiste en sustituir la aplicación continua de agua por ciclos alternados de riego y no riego. Durante la etapa en que se suspende el riego se producen modificaciones en las características de infiltración del suelo, de tal manera que en las siguientes etapas de riego mejora la uniformidad y

disminuyen las pérdidas.

La técnica de riego intermitente fue propuesta formalmente por Stringham y Séller en 1979, y desde entonces, por su importancia, se ha iniciado un abundante trabajo de investigación en diferentes líneas. Se ha encontrado que el método de riego intermitente reduce pérdidas y aumenta la eficiencia de aplicación, en muy variadas condiciones. Uno de los aspectos más importantes a adoptar como una línea de investigación prioritaria, es el diseño de dispositivos de riego intermitente automáticos para sistemas gravitacionales. Actualmente ya existen en el comercio válvulas eléctricas que operan con energía solar, sin embargo, por su costo están fuera del alcance de muchos agricultores.

- Riego deficitario controlado. Está entrando ya hace algunos años el concepto del riego deficitario controlado, el cual pone énfasis en aplicar las cantidades necesarias sólo en algunas etapas vegetativas más críticas de la planta. El desafío de este método es encontrar los momentos en los cuales debe ser regada la planta para minimizar el stress hídrico.

- Irrigación con déficit. En situaciones en las que existe escasez de agua, se puede elaborar un programa de riego tal que una parte del predio tenga un riego completo, otra regada con déficit, y finalmente una tercera parte que solo disponga de la precipitación y los excedentes de las dos anteriores. Visto a nivel de predio, tal sistema producirá menos que si se regara completamente, pero, ante la escasez del recurso, la producción global del sistema puede verse aumentada, al no producirse pérdidas por salidas a los drenajes.

- Reúso del agua. Como ya se mencionó al comienzo, el consumo de agua en las ciudades será cada vez mayor, lo que provocará crecientemente que las aguas efluentes de las plantas de tratamiento de aguas servidas deban ser reutilizadas. De esta manera, los sistemas de reúso tienen gran prioridad en cuanto a desarrollo, adaptación y transferencia de tecnología. Cabe señalar que empresas sanitarias del país ya están preocupadas del tema.

- Sistemas LEPA - Con estas siglas se identifica un nuevo sistema de aplicación precisa de baja energía (Low Energy Precision Application), desarrollado por Lyle y Bordovsky (1981), que se utiliza para mejorar la eficiencia en sistemas por aspersión. El método rápidamente demostró que efectivamente podía mejorar la eficiencia en sistemas por aspersión, aunque los costos de inversión fueran altos. Considerando, por otra parte, que el costo de energía es a su vez alto, los sistemas LEPA ofrecen una de las mejores alternativas para los futuros sistemas presurizados.

4.2.8 Estudios anteriores

Se recopiló estudios de diverso tipo y procedencia, tanto particulares para las cuencas del los ríos Elqui, Limarí y Choapa, como generales sobre la eficiencia del uso del agua en zonas áridas. El objetivo fue generar una visión lo más amplia posible que permitiera, una vez desarrollado el estudio, hacer las proposiciones más adecuadas, física y económicamente viables, y aplicables a la IV Región.

Con este fin se revisó la biblioteca del CIRH/DGA, el archivo técnico de la DOH, las bibliotecas de la Univesidad de La Serena, INIA Intihuasi de La Serena, Ovalle e Illapel, la biblioteca de la CNR, se consultó sobre bibliografía de interés a las Juntas de Vigilancia, y se hizo una revisión amplia en internet.

Los estudios revisados se refieren fundamentalmente a los siguientes temas, que cubren los temas tratados en el presente estudio: Catastros de usuarios y canales, oferta y demanda de agua, usos (dentro de los usos, especialmente al uso agrícola), balances hídricos y disponibilidad del recurso, derechos sobre las aguas superficiales y subterráneas de las diferentes cuencas, forma en que se reparte y se gestiona el recurso a nivel de juntas de vigilancia y canales, estudios de modelación, mercado del agua, eficiencia económica en el uso del agua, calidad de aguas, catastro de tranques de relave, proyectos de obras mayores, proyectos de obras menores como mejoramiento de canales mediante revestimiento y entubamiento, fichas técnicas y agroeconómicas de cultivos agrícolas, información de coeficientes de cultivo, manuales de estimación de costo de obras menores de la CNR y de INDAP, y por último, información de censos agrícolas del INE y del SAG, y anuarios de precios de ODEPA..

Se presenta a continuación una lista bibliográfica de todos los estudios revisados. Para cada estudio se redactó una breve reseña con los objetivos perseguidos en cada uno de ellos, sus resultados, y la utilidad de los antecedentes para el presente estudio. Esta reseña se omite en el presente informe, por su gran extensión, pero se incluye en el Anexo Digital X, en el DVD que acompaña este tomo. También se presenta esta bibliografía en una cobertura SIG, como se especifica en el Capítulo 3. Los estudios se presentan ordenados en forma cronológica.

1. Estudio y evaluación de los recursos de aguas subterráneas, valle del río Choapa en zona canal Choapa Norte, IV Región, Provincia de Choapa. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Riego. Juan Karzulovic e Hilario Juez. Diciembre 1977.

2. Estadísticas de análisis químicos y sedimentos: IV región. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Hidrología, Laboratorio Hidrológico. 1978.

3. Programa de racionalización del uso de las aguas del río Elqui. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios y Racionalización. Ricardo Astaburuaga. Febrero 1978.

4. Tasas de riego de uso racional y beneficioso del río Choapa: IV Región. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios y Racionalización. Consultor: Víctor Fuentes Caamaño. 1979.

5. Investigación de Recursos Hidráulicos en la IV Región. Hidrología. SERPLAC, DGA, ONU, CORFO. Mayo 1979.

6. Investigación de Recursos Hidráulicos en la IV Región. Hidrogeología de la cuenca del río Limarí. SERPLAC, DGA, ONU, CORFO. Mayo 1979.

7. Estudio de eficiencia de riego en el valle del río Choapa. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios y Racionalización. Universidad del Norte Coquimbo, Centro de Investigación y Capacitación Agrícola. 1979-1980.

8. Catastro de regantes hoya del río Elqui. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios. 1981.

9. Servicios de construcción de pozos. Anaconda S.A. Álamos y Peralta Ingenieros Consultores. 1982.

10. Catastro de usuarios cuencas superiores del río Limarí. Comisión Nacional de Riego. INGECO Ltda. Ingenieros Consultores. 1983.

11. Catastro de Usuarios del río Choapa, IV Región. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. Solano Vega y Asociados. 1987.

12. Estudio Integral de Riego Valle de Elqui. Comisión Nacional de Riego. Ina Ingenieros Consultores, Ipla Ltda, Noguera y Asoc, Agroingenería Ltda. 1987.

13. Análisis crítico de la red de medición de niveles de agua subterránea: IV Región. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. Álamos y Peralta Ingenieros. 1987.

14. Levantamiento catastral de los tranques de relaves en Chile. Etapa B: Regiones IV, VI y VII. Catastro resumido de los tranques de relaves de la IV Región, Coquimbo. Servicio Nacional de Geología y Minería. Ingeniería y Geotecnia Ltda. Marzo 1990.

15. Seminario: Problemas ambientales de la Región de Coquimbo, Diciembre 1991, basado en el libro “Problemas ambientales de Chile”, publicado por Espinoza, Gross y Hajek, P. Universidad Católica de Chile, 1990.

16. Estudio de síntesis de catastros de usuarios de agua e infraestructuras de aprovechamiento. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios. SIT Nº 6. REG Ricardo Edwards G. Ingenieros Ltda. 1991.

17. Listados de calidad química: IV Región. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Hidrología. IPLA Ingeniería y Planificación. 1991.

18. Mejoramiento Sistema Paloma. IV Región. Estudio Hidrológico. Informe Final. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Riego. Ingendesa. Abril 1992.

19. Mejoramiento Sistema Paloma, IV Región. Modelo de Simulación. Informe Final. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Riego. Ingendesa. Junio 1992.

20. Análisis estadístico de caudales en los ríos de Chile. Volumen II. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de aguas. BF Ingenieros Civiles. 1992.

21. Catastro de usuarios de agua de la cuenca del río Limarí. Ministerio de Obras Públicas Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios. REG Ricardo Edwards G. Ingenieros Ltda. 1992.

22. Diagnóstico y situación actual de riego, valle del Choapa, IV Región. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Riego. Consultoría DEP-007. Ricardo Edwards G. Ingenieros Ltda. Septiembre de 1993.

23. Mejoramiento canal Buzeta. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Riego. Consultaría OME-30. AC Ingenieros Consultores. 1993.

24. Proyecto embalse Puclaro. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Riego. Consorcio Ingeniería Ingendesa – Edic Ltda. 1994.

25. Mejoramiento del canal Villalón. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Riego. Consultaría OME-39. IRH Ingeniería y Recursos Hidráulicos Ltda. 1994.

26. Mejoramiento integral canal Camarico. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Riego. Consultaría OME-43. Hydroconsult Ltda. 1994.

27. Unificación canal San Pedro Viejo y trabajos adicionales. Ministerio de Obras públicas, Dirección de Riego. Consultarías OME-34 y OME-041. BF Ingenieros Civiles. 1994.

28. Uso eficiente del agua. UNESCO-ORCYT, PHI, Comisión Nacional del Agua, IMTA. Editores Héctor Garduño y Felipe Arreguín Cortés. 1994.

29. Estudio integral de riego proyecto Choapa. Comisión Nacional de Riego. Ingendesa. 1995.

30. Análisis de la oferta y demanda de recursos hídricos en cuencas críticas Huasco y Elqui. Cuenca del río Elqui. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Planeamiento. SIT N° 23. Brown y Ferrer Ltda en asociación con Conic-BF Ingenieros Civiles Consultores Ltda. Junio 1995.

31. Estudio Integral de Riego Proyecto Choapa. Comisión Nacional de Riego. Ingendesa. Junio 1995.

32. Análisis del mercado de los recursos hídricos. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Planeamiento. INECON Ltda. Diciembre 1995.

33. Análisis de la oferta y demanda de recursos hídricos en cuencas críticas de Choapa, Pupío, Quilimarí, Petorca y La Ligua. Cuenca del río Choapa. Informe Final. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. SIT Nº 27. REG Ingenieros Consultores Ltda. Febrero 1996.

34. La sequía: ¿Cómo podemos enfrentarla? Ministerio de Agricultura. INIA Intihuasi con la colaboración de la Comisión Regional de Sequía. Cartilla Divulgativa Nº 18 de 1996.

35. Entubamiento Canal Vecindario Grande La Chimba. Ministerios de Obras Públicas, Dirección de Riego. Jorge Soto Cifuentes. 1996.

36. Análisis de la oferta y demanda de recursos hídricos en cuencas críticas de Choapa, Pupío, Quilimarí, Petorca y La Ligua: Informe Final. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios y Planificación. REG Ricardo Edwards G. Ingenieros Ltda. 1996.

37. Valorización de las acciones para el otorgamiento de derechos en el sistema Paloma. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas. Ingendesa. 1996.

38. Estudio para mejorar la gestión estatal y privada para el desarrollo del riego en la cuenca del río Choapa. Ministerio de Agricultura, Subsecretaría, ODEPA-UAR. ML y LJ Asociados. Noviembre 1997.

39. Manejo integral del recurso hídrico a nivel de cuencas. Cuenca del río Elqui. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Riego. Inecon Ingenieros y Economistas Consultores Ltda. Diciembre 1997.

40. Análisis del impacto económico originado por sequías hidrológicas. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios y Planificación. SIT Nº 37. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultades de Agronomía e Ingeniería. Diciembre 1997.

41. Programación del riego. Ministerio de Agricultura. INIA Intihuasi. Cartilla Divulgativa Nº 10 de 1997.

42. Investigación de los niveles de contaminación por hidrocarburos policíclicos aromáticos en las aguas del río Elqui mediante técnica de HPLC. Tesis para optar al título de Químico Laboratorista. Universidad de La Serena. Catti Cabello y Blanca Noya. 1997.

43. Investigación de los niveles de contaminación por plaguicidas carbamatos en las aguas del río Elqui, mediante la técnica de HPLC. Tesis para optar al título de Químico Laboratorista. Universidad de La Serena. Cristián Cortés y Marcos Valdiva. 1997.

44. Estudio de Factibilidad y Diseño del Embalse Corrales y sus Obras Complementarias. Informe Final de Factibilidad. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas. MN Ingenieros Consultores. 1997.

45. Optimización Uso del Recurso Hídrico. Río Pama. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas. Procivil Ingenieros Ltda. 1997.

46. Estudio de impactos de sequías en las cuencas de los ríos Limarí y Aconcagua. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios y Planificación. SIT N° 54. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultades de Agronomía e Ingeniería. Diciembre 1998.

47. Optimización Uso del Recurso Hídrico. Río Mostazal. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas. Procivil Ingenieros Ltda. 1998.

48. Optimización Uso del Recurso Hídrico. Río Combarbalá. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas. EDIC Ingenieros Ltda. 1998.

49. Análisis físico químico de aguas: lagos, embalses, lagunas. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos, Laboratorio Ambiental. 1998.

50. Servicios de construcción de pozos acuíferos del río Choapa junta Cuncumén. Compañía Minera Los Pelambres. Captagua Ingeniería. 1998.

51. Unificación canal Peralillo, río Elqui, IV Región. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Riego. Consultaría OME-66. R&Q Ingeniería Ltda. 1998.

52. Diagnóstico eficiencia de riego en Chile, 1ª Etapa, IV Región. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas. Ingeniería y Recursos Hidráulicos Ltda. 1998.

53. Análisis de disponibilidad de agua, río Choapa. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. REG Ricardo Edwards G. Ingenieros Ltda. 1998.

54. Análisis de la situación de derechos de agua para abastecer el embalse Corrales en el río Choapa. Minera Los Pelambres. Álamos y Peralta Ingenieros Consultores. 1998.

55. The distributive impact of the water market in Chile: A case study in Limarí province Chile, 1981-1997. Donato Romano (U. Florencia, Italia) y Michel Leporati (Indap, Chile). 1998.

56. Manual de producción de hortalizas. Prodecop IVª Región. FIDA, INIA, INDAP, 1998

57. Manual de fichas agroeconómicas de cultivos de hortalizas para el área del proyecto PROMM canal Buzeta. Francisco Meza, Oscar Campusano, Alfonso Osorio. ODEPA, INIA Intihuasi, Noviembre 1999

58. Elementos de riego tecnificado. Comisión Nacional de Riego. INIA Intihuasi 1999

59. Manual de pequeñas obras de riego. INDAP, Ministerio de Agricultura, 1999

60. Investigación de los niveles de contaminación por herbicidas Diquat y Paraquat en las aguas de los ríos Estero Derecho, Cochiguaz, Claro, Turbio y Elqui, año 1999-2000, empleando el método EPA N1 549. Tesis para optar al título de químico Laboratorista. Universidad de La Serena. Marcela Pardo y Marcela Pinto. 2000.

61. Estudio económico de distintos tipos de conducción de agua. INIA Intihuasi, Oficina Técnica Limarí, Ovalle. 2000.

62. Estrategias de uso del agua de riego en comunidades agrícolas de la Región de Coquimbo. INIA Intihuasi, La Serena. 2000.

63. Optimización Uso del Recurso Hídrico. Río Cogotí. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas. Electrowatt Chile. 2000.

64. Explotación optimización uso del recurso hídrico río Mostazal. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. 2000.

65. Plan de Manejo Integral de la Cuenca del Choapa. Sistema de monitoreo de aguas. Gobierno IV Región. Belén Milanés. 2000.

66. Mercado de agua para irrigación: Una aplicación al sistema Paloma de la cuenca del Limarí, Chile. Programa de manejo de recursos hídricos (PMRH) de Chile. Universidad de Los Andes, GESCAM y Banco Mundial. Mayo 2001.

67. Revestimiento de canales: Cuidando el agua en Chile. Artículo Chile Riego, páginas 16-18. Julio 2001.

68. Potencial productivo y económico de sistemas agrícolas con recursos hídricos escasos. INIA Intihuasi, La Serena. 2001.

69. Análisis de la disponibilidad del recurso hídrico superficial en cauces controlados de las cuencas de los ríos Elqui, Limarí y Choapa. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de La Serena, Facultad de Ingeniería, Departamento de Obras Civiles. C. Alfaro C. y C. Honores U. 2001.

70. Análisis del peligro a la contaminación antrópica de los acuíferos de la cuenca del río Elqui. Memoria de título. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Geología. Gullibert Alcides Novoa Godoy. 2001.

71. Estudio del impacto del embalse Puclaro en el equilibrio sedimentológico del río Elqui aguas abajo de la presa. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de La Serena. Patricio Morales. 2001.

72. Modelo de simulación mensual para la operación del sistema de recursos hidráulicos del río Elqui, Provincia del Elqui, Cuarta Región. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas. Junta de Vigilancia Río Elqui y sus Afluentes. Luis Arrau del Canto, Ingenieros Consultores. 2001.

73. Evaluación ambiental sectorial y regional de la cuenca del río Elqui, IV Región, Chile. Programa de manejo de recursos hídricos (PMRH). Ministerio de Obras Públicas. Junio 2002.

74. Gestión integrada de los recursos hídricos en la cuenca del Elqui, IV Región Chile, memoria de título de Ingeniero Civil Universidad de La Serena, Marcela Mena, Diciembre 2002.

75. Informe de evaluación anual enero-diciembre de 2002. Programa de Fortalecimiento de la Junta de Vigilancia del Estero Derecho. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas. 2002.

76. Mejoramiento integral de canales, cuenca del río Elqui, IV Región. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas. SMI Luis San Martín Moll. 2002.

77. Fichas técnicas y de costos de establecimiento de frutales en el valle del Choapa. CNR y Gobierno Regional de Coquimbo, PROVALTT Choapa, IVª Región, Oficina técnica INIA Illapel, Abril 2003

78. Fichas técnicas y económicas de cultivos establecidos en el valle del Choapa, PROVALTT Choapa, IVª Región, Abril 2003

79. Modelo de simulación mensual sistema de recursos hídricos Choapa/Corrales, IV Región. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas. Instituto Nacional de Hidráulica (INH). Julio 2003.

80. Evaluación de los recursos subterráneos de la cuenca del río Elqui IV Región. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de aguas, Departamento de Recursos Hídricos, en base a Informe Dictuc. SIT N° 161. Diciembre 2003.

81. Manual de buenas prácticas ambientales en canales de regadío. Comisión Nacional de Riego. INIA Incahuasi, La Serena. 2003.

82. Uso eficiente del recurso hídrico. Ernesto Brown F. 2003.

83. Distribución y comportamiento de metales pesados en las aguas del río Elqui y sus tributarios. Tesis de Grado. Universidad de La Serena, Facultad de Ingeniería, Departamento Ingeniería de Minas. Samuel Ernesto Guevara González. 2003.

84. Mercado del agua para irrigación y uso urbano: Una aplicación a la cuenca del río Elqui, Chile. Informe preliminar. Oscar Cristi y Alejandro Trejo, World Bank – Netherlands Water Partnership Program (BNWPP), Washington, DC, 2003.

85. Diagnóstico y Clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del río Elqui. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. Cade-Idepe. Diciembre 2004.

86. Efectos de la actividad minera y de las obras hidráulicas en la calidad de las aguas del río Elqui y de sus afluentes. Memoria de Título de Ingeniero Civil Ambiental. Universidad de La Serena. Gonzalo Galleguillos Castro. 2004.

87. Estudio mejoramiento riego río Huatulame, Prefactibilidad, IV Región. Gobierno IV Región. Luis Arrau del Canto Ingenieros Consultores. 2004.

88. Diagnóstico de la calidad de las aguas en la cuenca del río Choapa. Marion Briens, INIA Intihuasi Oficina Illapel, para Agropolis Francia y Junta de Vigilancia del río Choapa. Tesis. 2005.

CAPÍTULO 5 DIAGNÓSTICO CUENCA ELQUI

El presente capítulo contiene el diagnóstico acerca del uso del agua en la cuenca del Elqui. Este capítulo tuvo por objetivo integrar los antecedentes y conocimiento adquiridos acerca del funcionamiento de la cuenca, desarrollar un modelo de simulación hidrológica, y formular un diagnóstico sobre lo que está ocurriendo con el agua en la cuenca en la actualidad.

5.1 TRABAJO DE TERRENO: ENTREVISTAS Y RECONOCIMIENTOS

5.1.1 Campañas de terreno

El trabajo central de entrevistas y reconocimientos se efectuó en cuatro campañas de terreno, que fueron las siguientes:

Campaña 1: 5 al 10 de abril de 2005
Durante este período, fundamentalmente se realizaron las entrevistas a las autoridades de la región y de la cuenca, de la juntas de vigilancia y de la empresa sanitaria Aguas del Valle. Además, se recorrió la cuenca para conocerla, se conocieron canales y bocatomas, y se obtuvo una visión global de la situación.

Campaña 2: 18 de abril al 3 de mayo de 2005
Durante este período se realizaron todas las entrevistas a los niveles medio y local, es decir, se visitó la empresa minera Palo Negro en la quebrada de Marquesa, diversas industrias y a todos los usuarios individuales que se entrevistarían. Además, en este período se conversó con los profesionales de la Junta de Vigilancia, y con gente de la zona, para caracterizar los tipos de cultivo y los métodos de riego en la medida que no estuvieran contenidos en el catastro frutícola de CIREN.

Campaña 3: 3 al 6 de abril de 2006
En esta campaña se mantuvo entrevistas a nivel de juntas de vigilancia para identificar a los usuarios que recibirían como aporte un proyecto por parte de este estudio.

Campaña 4: 2 al 5 de mayo de 2006
En esta campaña se visitó en detalle 4 canales, para conocer en terreno los problemas de los usuarios, identificar la naturaleza de la posible solución, e identificar las necesidades de trabajos para la realización de los proyectos.

Además de las campañas anteriores, se efectuaron viajes a terreno para impartir 3 charlas, informativas y de capacitación, ante los interesados, autoridades y usuarios, en La Serena, que se detallan en el Capítulo 12, Difusión.

En cada uno de los viajes se efectuaron grabaciones y fotografías que forman parte del video didáctico que se entrega junto con el presente informe.

5.1.2 Entrevistas

El trabajo de entrevistas se desarrolló de acuerdo con los tres niveles de análisis de este estudio: global, medio y local. En cada nivel se trataron los temas que se señalan en la metodología, con los personajes que se indican a continuación. A todos los encuestados se les solicitó nombre, cargo (si procede), y algún dato de contacto. Todas las entrevistas se presentan en detalle en el Anexo Digital II.

a) Nivel global

En este nivel se entrevistó a las siguientes autoridades, para las cuales se señala la institución y el cargo correspondiente en el Cuadro 5-1:

Cuadro 5-1
Autoridades entrevistadas nivel global

Institución	Nombre	Cargo
SEREMI Agricultura	Pedro Hernández	Secretario Regional Ministerial
Dirección Regional de Aguas	Carlos Galleguillos	Director Regional
Dirección de Obras Hidráulicas	Claudio Rojas	Director Reg. Subrogante, Encargado Emb. Puclaro
INIA Intihuasi	Leoncio Martínez	Departamento Riego
INIA Intihuasi	Alfonso Osorio	Departamento Riego
INIA Intihuasi	Carlos Sierra	Departamento Suelos
Junta de Vigilancia Río Elqui	Hernán Torres	Gerente General
Junta de Vigilancia Río Elqui	Manuel Domínguez	Ingeniero Civil Hidráulico
Junta de Vigilancia Río Elqui	Alex Cortés	Ingeniero Agrónomo
Junta de Vigilancia Estero Derecho	Carlos Peralta	Presidente
Universidad de La Serena	Edmundo González	Proyecto CEAZA
CONAMA IVª Región	Pedro Valenzuela	Director Subrogante
SAG	Ricardo Vilches	Jefe Departamento Protección Agrícola
Comisión Nacional de Riego	Angela Rojas	Coordinadora Zona Norte
Comisión Nacional de Riego	Marcelo Díaz	Especialista Riego
INDAP	Ignacio Moncayo	Director Subrogante
Aguas del Valle	Juan Carlos Huerta	Jefe de Producción

b) Nivel medio

Los representantes entrevistados en este nivel, con las instituciones que representan y su cargo correspondiente, se muestran en el Cuadro 5-2 a continuación.

Cuadro 5-2
Representantes entrevistados nivel medio

Institución	Nombre	Cargo
Asociación Canal Bellavista	José Izquierdo	Presidente
Comunidad de Aguas Canal Alto Peralillo	Solicita confidencialidad	Solicita confidencialidad
Comunidad de Aguas Canal Altovalsol	Octavio Cuellar Rojas	Directiva
Comunidad de Aguas Canal San Pedro Nolasco (En trámite la formación)	José Antonio Valdés Herrera	Presidente
Comunidad de Aguas Ñipas Trancas	Daniel Warner	Presidente
Comunidad de Agua Canal Pampa Alfalfares	Hernán Pizarro	Presidente
APR Bellavista-Ceres	Daniel Contreras	Administrador Representante Asociación APR IVª Región
APR Guanta	Cecilia del Rosario Araya Díaz	Operadora y Secretaria
APR Las Rojas	Elsa Volta	Operadora
APR La Jarilla	Carlos Peralta	Administrador

c) Nivel local

Especialmente en este nivel, hubo algunos problemas, porque algunas empresas no acceden a otorgar entrevistas. Por otro lado, tanto por parte de las empresas como de los usuarios, no se obtuvo respuesta a muchas de las preguntas, especialmente a las relacionadas con el agua y con sus aspectos económicos, tanto por desconocimiento de la información como por sentir que es privada. Algunos usuarios individuales pidieron no ser identificados, de modo que no se revela aquí su identificación.

Las empresas mineras e industrias entrevistadas se listan en el Cuadro 5-3, y fueron las siguientes:

Cuadro 5-3
Representantes entrevistados nivel local

Empresa	Representante	Cargo
Minera Palo Negro	Alonso Toledo	Gerente de Operaciones
Capel Planta Vicuña-Peralillo	Juan José Muñoz	Gerente de Producción
Exportadora Del Monte Coquimbo	Gabriel Varela	¿?
Cooperativa Agr.y Pisquera San Carlos Ltda.(Papayas Olivier)	Verónica Robles	Jefe Administración y Finanzas.

Además se entrevistó a 18 usuarios, que se listan en el Cuadro 5-4 a continuación.

Cuadro 5-4
Usuarios agrícolas entrevistados nivel local

Nombre	Ubicación
Alberto Pomaroli	Pan de Azúcar
Andrés Hoyl	Pampa Alfalfares Parcela 18
Ángel Díaz Montalbán	El Romeral, Parcela 14
Fabrizio Bortoloti	Pan de Azúcar
Franco Olivier	San Carlos
Gianni Dallasera	El Romero
Giorgio Bertolla	Pan de Azúcar
Héctor Galleguillos	El Romero, Parcela 6
Hernán Venegas, Germán Venegas, Luis Venegas	El Romero
Hernán Pizarro	Altovalsol
José Antonio Salinas	El Romero, Parcela 15
José Antonio Valdés	Altovalsol
Lino Eler	Pan de Azúcar
Luis Gallardo	Pan de Azúcar
Patricio Valencia	El Islón
No autoriza a dar nombre	Altovalsol
Víctor H. Rojas Núñez	Peralillo, Principal Nº 96
No autoriza a dar nombre	Pan de Azúcar

5.1.3 Resultados del trabajo de terreno para el nivel global

En el nivel global, los temas tratados fueron fundamentalmente, los objetivos que las diversas instituciones manejan para la cuenca, sus proyectos futuros relacionados con el aumento de eficiencia, las restricciones o condicionantes a respetar, la actividad del mercado del agua y derechos de aprovechamiento, la capacidad técnica para la administración de las entidades correspondientes, y los problemas de contaminación.

También se persiguió, con las preguntas, clarificar algunos aspectos operativos y cuantitativos que se requieren para operar el modelo de simulación.

De acuerdo con la especialidad de cada entrevistado, y con el tiempo disponible, no siempre fue posible aplicar todas las preguntas a cada una de las autoridades, sino que sólo las que les eran más afines. No obstante ello, se pudo obtener respuestas interesantes para cada uno de los temas, las que se presentan a continuación.

a) Objetivos generales con respecto al agua en la cuenca

Los objetivos generales respecto del agua en la cuenca, expresados por los diversos personeros entrevistados, fueron los siguientes:

DGA

- lograr un buen uso de los derechos
- conocer y poder controlar los problemas de calidad
- evitar los usos clandestinos, especialmente de las aguas subterráneas

SEREMIA

- aumentar las exportaciones
- aumentar la seguridad de riego
- considerar las demandas del sector de secano
- aumentar la producción en zonas servidas por Puclaro y Corrales
- aumentar eficiencia de riego
- aumentar cantidad de canales revestidos
- ver formas de incentivar la inversión privada
- buscar productos de mayor rentabilidad (paltos)
- minimizar impactos de las sequías para disminuir la pobreza
- flexibilidad y eficiencia con que operan los sistemas de distribución y las entidades de administración y reparto en el nivel medio, la forma en que se asigna y reasigna el recurso a nivel global y la capacidad de control para el cumplimiento de las reglas que se observa a nivel global.
- aprovechar bien los suelos y las tecnologías de riego disponibles

JUNTA DE VIGILANCIA RÍO ELQUI

- hacer administración clara de los derechos
- asegurar el riego a los agricultores

- redactar nuevos estatutos
- evitar las pérdidas en los canales con sistemas de conducción especiales
- hacer uso múltiple de las aguas, construyendo centrales hidroeléctricas
- estudiar la distribución volumétrica como en el Limarí
- modernizar y reorientar la actividad agropecuaria a tarvés del uso más eficiente del agua
- hacer capacitación
- promover el desarrollo turístico del embalse Puclaro
- proteger el patrimonio ancestral

UNIVERSIDAD DE LA SERENA, CEAZA
- hacer modelaciones hidrológicas del valle

CONAMA
- fiscalizar cumplimiento ley de bases del Medio Ambiente
- fiscalizar cumplimiento de la norma de descarga DS90
- fiscalizar cumplimiento de la norma secundaria para aguas superficiales, que saldrá a fines de 2005
- incentivar el manejo responsable del recurso hídrico por parte de todos los empresarios: mineros, agrícolas, turísticos
- establecer acuerdos de producción limpia con las industrias
- no frenar iniciativas

SAG
- llevar el catastro de vides
- emitir certificados fitosanitarios a los productores
- fiscalizar la aplicación de plaguicidas agrícolas

CNR
- asegurar el riego, más que aumentar la superficie regada
- focalizar la inversión para apoyar obras menores de conducción y distribución en torno a las grandes obras
- hacer capacitaciones a los regantes
- hacer capacitaciones en gestión a las comunidades

INDAP
- apoyar el desarrollo de la agricultura familiar campesina (AFC)
- mejorar la base productiva del pequeño productor, dando apoyo técnico y entregando información de mercado actualizada y oportuna
- dar orientación empresarial, productiva y comercial a los pequeños productores
- incorporar a los agricultores a la cadena agrocomercial
- otorgar créditos de enlace para permitirles acceder a bonificaciones y subsidios
- apoyar la ejecución de obras de riego a través del servicio de riego campesino

DOH
- construcción de obras hidráulicas
- administración conjunta de embalses para preparar traspasos

JUNTA DE VIGILANCIA ESTERO DERECHO
- administración del recurso hídrico en su jurisdicción
- gestión y administración del APR
- administración de la comunidad agrícola La Estancia

EMPRESA DE AGUA POTABLE AGUAS DEL VALLE
- entregar agua potable a la población
- hacer el adecuado tratamiento de las aguas servidas

b) Proyectos futuros, y proyectos en relación con el aumento de eficiencia

DGA
- usar las aguas que se liberarán
- proyectos agrícolas futuros en La Higuera y Los Choros
- analizar futuros derechos no consuntivos

SEREMIA
- apoyar a los pequeños agricultores, que son el 88% del total. Deben ser fortalecidos en cuanto a tecnología, escala, asociatividad y cadena de comercialización

INIA
- colaborar con sus investigaciones a aumentar la eficiencia de métodos de riego, y de la aplicación, a través de la programación de los riegos. Agricultores estarían acostumbrados a tener agua en exceso.

JVELQUI
- proyecto de central hidroeléctrica al pie del embalse Puclaro
- proyecto de unificación de canales
- proyecto de tubería cerrada
- distribución volumétrica, que requiere más tranques nocturnos, que se analizan vía INDAP. Plan piloto canal La Calera, con fondos CNR
- mejoramiento infraestructura de distribución: revestir, entubar
- tecnificación del riego intrapredial
- capacitación y apoyo a usuarios a través de la página web

CEAZA
- un estudio de Celedón habría revelado un gran acuífero explotable aguas abajo de Puclaro

CNR
- fortalecimiento de las organizaciones
- capacitaciones

INDAP
- programa de recuperación de suelos degradados
- desarrollo de capacidades productivas y empresariales
- mejoramiento y desarrollo de inversiones
- programa de fomento para segmentos especiales
- inversión financiera (CP y LP)

DOH
- desarrollo de planes maestros de aguas lluvias
- proyecto hidroeléctrico embalse Cogotí

JV ESTERO DERECHO
- revestir canales
- sacar árboles de los canales
- tecnificar el riego
- tener un pequeño embalse para regular aunque sean 1 millón de m3.
- hacer un nuevo APR para el sector de Montegrande

c) Restricciones a superar o condiciones a respetar en el futuro

Algunas personas indicaron restricciones, que se presentan a continuación.

DGA
- no cultivar suelos dentro del lecho o riberas del río. Falta una delimitación del cauce
- delimitar el uso de los suelos de ladera con riesgo de erosión
- controlar la explotación descontrolada y desordenada de los acuíferos
- mejorar el estado de los canales
- controlar la contaminación doméstica del agua en los canales
- evitar la contaminación minera desde Marquesa y en la cuenca del Limarí

CEAZA
- robo de agua con mangueras desde canales

JVELQUI
- corregir el tema del CPA, porque dificulta el mercado del agua
- evitar los robos con mangueras desde los canales, le corresponde a cada comunidad

CONAMA
- respetar la normativa vigente
- compatibilizar usos con biodiversidad

- respetar acuerdos de producción limpia

AGUAS DEL VALLE
- respetar normas de riles, normas de efluentes y normas secundarias
- en la actualidad, la SISS fiscaliza los vertidos.

d) Mercado del agua y derechos de aprovechamiento

DGA
- no hay distorsión en los derechos de aguas superficiales, sí en los subterráneos
- es difícil realizar traslados de derechos superficiales. Hay que modificar marcos y a veces el derecho en otra parte no está.
- En el Limarí, la DGA ve sólo los traslados permanentes, no los temporales

JVELQUI
- la JV maneja sólo derechos superficiales
- casi no se utilizan los pozos desde que existe el embalse Puclaro
- debido a la naturaleza de la infraestructura, los traslados son difíciles y el mercado es muy restringido (aprox. 3 traslados al año).
- los traslados pararon completamente con las condiciones que puso el CPA de inscripción previa, que no se realiza.
- la JV no es informada de los traslados entre usuarios de un mismo canal.

JV ESTERO DERECHO
- no hay mercado del agua, no se permite por la rigidez de las tomas
- sólo se pueden hacer intercambios internamente en los canales
- no se permiten más de tres derechos por cada comunero

e) Capacidad técnica para la administración

DGA
- falta control sobre pozos, hay clandestinos
- falta control por parte del Servicio de Salud para fiscalizar calidad de agua dentro de los canales

JV ELQUI
- opera según estatutos
- tiene un grupo de 4 celadores con equipos de radiotransmisión
- desearía llegar a las comunidades como consultor
- tiene capacidad técnica para hacer proyectos, pero DGA no quiere que se inscriba en el registro de consultores del MOP
- tiene buena participación de usuarios
- presenta un alto nivel de conformidad de los usuarios
- tiene muy baja conflictividad, los conflictos son sólo ocasionales y se resuelven personalmente

- mantiene a los socios informados antes de las asambleas
- se entregan balances, se hacen auditorías externas
- mantiene ingenieros de terreno en contacto con los asociados
- tiene una página web
- los pronósticos son técnicos, son respetados por los usuarios
- programas de fortalecimiento de las organizaciones de usuarios con la DOH

INDAP
- administra un programa de asesoría técnica para agricultores de bajos recursos, a través de los DDR (departamentos de desarrollo rural).
- Tiene CDL (consejos de desarrollo local), donde se priorizan los proyectos de asistencia técnica para los sectores más vulnerables

DOH
- mantiene programas de administración de embalses en conjunto con los administradores locales, pero está en vías de hacer entrega de estas obras

JV ESTERO DERECHO
- buena capacidad de control de los caudales en canales.
- celador eficiente
- no se registran robos
- la participación de los usuarios es buena
- todo es más fácil por ser los mismos de la comunidad agrícola

f) Problemas de contaminación y salinidad u otros

DGA
- hay problemas de salinidad en las zonas cercanas al litoral
- agua salobre en el río hasta 4 km aguas arriba del puente fiscal
- suelo salobre y agua subterránea salobre en Pan de Azúcar

JVELQUI
- basurales
- vertederos en quebradas
- contaminación difusa no estudiada
- contaminación con desechos mineros y sedimentos por rotura tranques de relaves de quebrada Marquesa

CEAZA
- hay algunas agroindustrias, desconoce el efecto contaminante de los vertidos sobre las aguas

DOH
- estudios para evitar efectos ambientales de los embalses

JV ESTERO DERECHO

- contaminación sanitaria del río en verano, por sobrepoblación de turismo y temporeros
- arranques de agua de campings de ½ pulgada, insuficientes.
- muchos tractores aplicando pesticidas a las uvas. Pero esto estaría vigilado por los exportadores
- no hay empresas mineras ni pirquineros

AGUAS DEL VALLE

- opina que las extracciones de áridos en el río contribuyen a vaciar el acuífero
- todas las localidades abastecidas con agua potable tienen plantas de tratamiento de aguas servidas.
- en 2006 entra en vigencia el DS90, más estricto. Las plantas de lodo activado cumplen, pero las de aireación aún no. Sin embargo, cumplen con la norma 1333 que se les aplicaba originalmente.
- se hace permanentemente monitoreos de agua cruda. No se ha detectado pesticidas ni fertilizantes en el agua cruda.

5.1.4 Resultados del trabajo de terreno para el nivel medio

A nivel medio, los trabajos de terreno tuvieron por objetivo caracterizar las Asociaciones de Canalistas, las comunidades de agua y los comités de agua potable rural. Los acápites siguientes presentan una reseña del contenido de la información recabada en las entrevistas.

a) Asociaciones de canalistas y comunidades de agua

Según se estableció en la metodología, se entrevistó a la única Asociación de Canalistas de la cuenca, y a 5 comunidades de aguas, que cubren un rango de acciones entre 89 y 3677 acciones por canal.

i) Distribución interna del agua

Al respecto, se puede señalar que la distribución del agua al interior de los canales se realiza por métodos muy diversos. Hay marcos partidores (como en los canales Bellavista y Pampa Alfalfares), compuertas (la mayoría de los canales tiene compuertas para su distribución interna, estas compuertas se encuentran en estado descrito desde bueno hasta malo), o simplemente mangueras (canal Ñipas Trancas).

ii) Capacidad de administración

Todos los canales entrevistados señalan que tienen buena capacidad de administración, porque tienen personal para ello: Además del presidente, hay directores, un secretario, un tesorero y al menos un celador.

iii) Participación de usuarios

En relación con la participación de los usuarios, las directivas opinan en general que hay muy poca participación, muy poco interés por parte de los usuarios, y también muy pocos conflictos. Esto se explica porque no hay problemas con el agua, los turnos están claros, tampoco ha habido sequías en los últimos tiempos, de modo que la gestión de la directiva tiene buena aceptación. Los problemas serios se producen cuando hay sequías. Actualmente, los problemas que hay se producen por robos de agua con mangueras. Los usuarios reclaman cuando no les llega el agua.

iv) Agua subterránea

En cuanto al agua subterránea, no hay ningún tipo de organización, aunque sí hay pozos para suplir la falta de agua superficial que eventualmente se produce. Desde que existe el embalse Puclaro, se ha reducido fuertemente el uso de las aguas subterráneas, incluso en la cuenca de Pan de Azúcar. De esta cuenca, se dice que está muy sobreexplotada en cuanto a calidad y cantidad. Lo anterior ya no puede considerarse efectivo, al menos no pudo ser verificado a través de los estudios cuantitativos y de calidad que incluye el presente trabajo.

v) Mercado del agua

El mercado del agua es un tema que, de acuerdo con la percepción de los usuarios, tiene una representación relativamente baja en esta cuenca. Como la distribución desde el río se hace mediante marcos aforadores de altura crítica, los cuales constituyen una infraestructura rígida, el traslado de derechos exige reconstruir al menos dos marcos, lo que exige inversiones no menores, además del acuerdo de los usuarios comprometidos de ambos canales, lo que constituye una barrera a la movilidad.

Para la distribución interna de cada canal, cuando hay marcos partidores, como en el caso del canal Bellavista, la posibilidad de traslado es nula. Sólo podría hacerse cambios de los marcos durante la semana de la limpia, porque el resto del año, el agua fluye. No hay una cultura de cambio o traslado de derechos, más aún ahora que hay problemas con las inscripciones de los derechos en el CPA. Este canal, sin embargo, tiene un proyecto para transformar sus tomas de marco rígido, en compuertas, para permitir una entrega volumétrica en vez de una entrega proporcional permanente, lo que permite la movilidad de los derechos en el espacio y en el tiempo.

Cuando la infraestructura interna de los canales es de compuertas, se pueden movilizar derechos. En efecto, las entrevistas muestran que en algunos canales se usa movilizar derechos dentro de un canal, como por ejemplo, el canal Alto Peralillo. En los demás canales, si bien se admite que en teoría la posibilidad de trasladar derechos existe, en la realidad no es usual, los usuarios no se interesan mucho por hacer estos traslados. Cuando el método de distribución es el marco, el traslado significa un costo, que el usuario no quiere asumir. El canal Ñipas Trancas permite traslados sólo al final de su recorrido. Las directivas no fomentan la movilidad de los derechos, probablemente porque los turnos están muy claramente establecidos, los

usuarios están habituados y su infraestructura de acumulación está adaptada a ellos, y las modificaciones acarrearían desorden y confusión.

vi) Eficiencia de conducción

El tema de la ineficiencia de conducción no es percibido como una gran fuente de pérdidas. Se habla de que las pérdidas se producen tanto por filtraciones como por mal manejo como embanques, que hacen rebalsar los canales. Las cifras que entregan los entrevistados varían entre 15% y 30%, incluyendo filtraciones, evaporación, derrames y robos, aunque no queda claro cómo las estiman. No se manifiesta como un anhelo el de revestir o entubar los canales, salvo en algunos casos específicos. En el caso específico del canal Bellavista, aunque se sabe que hay pérdidas, por otro lado hay grandes aportes por recuperaciones y por afluentes desde quebradas, por lo cual el agua que se entrega finalmente es alrededor de 140% de los derechos.

vii) Mercados de destino

Los mercados a que se destina la producción son los siguientes:

- uva de mesa se va casi toda a exportación (EEUU y otros), salvo el porcentaje de rechazo, que va a la industria pisquera
- uva pisquera se va a agroindustrias locales
- trigo se va al molino Coquimbo
- fruta se va al mercado extranjero o nacional, dependiendo de los precios
- chacarería y hortalizas son compradas en potrero por intermediarios, que llevan la mercadería a Santiago (Vega Central y Mercado Mayorista Lo Valledor), también al norte.
- algunos productos específicos, como la cochinilla, que se usa para obtener carmín, son enviados al extranjero a través de intermediarios nacionales

viii) Subsidios

De los subsidios, los que más se usan según los entrevistados, son los de fomento al riego de la CNR, y los de recuperación de suelos degradados, de INDAP.

ix) Medio ambiente

En cuanto a los problemas ambientales, la aparición de ellos depende fuertemente de la ubicación del canal, y, de hecho, los usuarios señalan problemas de diversos tipos. Por ejemplo, el canal Ñipas Trancas toma las aguas después que el río ha sido contaminado desde instalaciones turísticas. Canales que atraviesan zonas habitadas o urbanizadas, como Altovalsol y San Pedro Nolasco, son contaminados con basuras y residuos domésticos a su paso por las localidades. Incluso serían receptores de fecas.

El problema más notorio es el de la bajada de los relaves con ocasión de fuertes precipitaciones. Los relaves bajan desde la Quebrada Marquesa y afectan las tomas de aguas

abajo. Este problema ha generado daño a los suelos y a los cultivos que han recibido estos sedimentos.

El canal Bellavista se transforma en balneario en el verano, esto debe ser evitado, puesto que hay muchos agricultores que tienen certificado de buenas prácticas agrícolas, a los que afecta esta situación.

b) Comités de Agua Potable Rural

Las entrevistas a estos comités en la cuenca del Elqui fueron cuatro, de las cuales se desprende fundamentalmente lo siguiente:

i) Fuentes de agua

Las fuentes de agua son diversas, en gran medida no están registradas ni tienen sus derechos formalizados, pero en su gran mayoría son pozos de aguas subterráneas. Bellavista-Ceres es una excepción, pues compra agua cruda a Aguas del Valle, de la planta Las Rojas, desde donde es llevada por acueducto a un pozo donde se clora y se envía al estanque. Los comités de Pan de Azúcar y El Sauce también compran agua a Aguas del Valle, pues el acuífero desde donde se surtían, se habría contaminado con fertilizantes (no se pudo obtener ningún dato concreto que confirme la veracidad de esta suposición. Podría tratarse de la mala calidad propia de las aguas de este acuífero). Huanta se abastece de una vertiente. Todas las demás localidades rurales se abastecen por pozos.

ii) Pérdidas físicas

Los comités entrevistados declaran no tener pérdidas físicas de agua en sus sistemas. Las pérdidas son de facturación, pues hay gente que recibe agua y no paga, y con el sistema de comités no hay atribuciones para cortar el agua. Bellavista-Ceres tiene 15-20% de pérdidas por este concepto.

iii) Capacidad técnica de administración

Los comités entrevistados dicen tener buena capacidad técnica para la administración, y no tener problemas de administración, pero sí de control de pago. Para ello necesitan transformarse en Cooperativas. Ningún servicio de la IVª Región opera como cooperativa todavía.

iv) Aguas servidas

En cuanto al agua servida, sólo Gualliguaica tiene alcantarillado y planta de tratamiento de aguas servidas. Las demás localidades tienen fosas sépticas y pozos absorbentes. Esto es lo más barato para ellos, pues si tuvieran alcantarillado, tendrían que tener también una planta de tratamiento, lo que no está dentro de sus posibilidades de pago. Las localidades que sí podrían

tener alcantarillado son las de la vecindad de Vicuña, que podrían usar la planta de tratamiento existente.

v) Precios del agua

De hecho, el agua no es barata en estos APR, casi todos los entrevistados tienen precios diferenciados por tramos de uso, siendo el valor más bajo de $200 / m3, hasta 10 m3/mes.

vi) Conflictos

No se registran conflictos, salvo por el tema del no pago. En Guanta este problema es extremo, pues se surtían originalmente de una vertiente puesta a disposición para estos fines por el dueño del predio. En 1999, se decidió potabilizar el agua, por lo que se instaló una nueva cañería sacando agua de la misma vertiente, y se hizo una nueva red. El problema es que la gente no usa el agua de esa red, porque es cobrada, sino que usa, en gran medida aún, el agua de la red antigua.

Para resolver problemas técnicos como ampliaciones, mejoramientos, etc, lo usual es que las entidades recurran a los subsidios estatales. Bellavista-Ceres está haciendo mejoramientos con aportes extra de la gente, y con las cuotas, sin solicitar subsidios estatales. Las APR del Estero Derecho recurren a los subsidios estatales para sus mejoramientos y ampliaciones.

vii) Comentario

Se observa, en consecuencia, que los APR no tienen derechos de agua regularizados, sus problemas de ampliación los resuelven con subsidios estatales o sin ellos, en cuanto al alcantarillado no están muy convencidos de que sea lo mejor modificar el sistema de fosa y pozo, por el encarecimiento que significa, salvo cuando hay la posibilidad de entregar las aguas servidas a una planta de tratamiento existente, pero sí tienen una gran aspiración, y es la de convertirse en cooperativas. Esta modalidad es más efectiva desde el punto de vista de la administración, pues les permite forzar la cobranza.

5.1.5 Resultados del trabajo de terreno para el nivel local

El nivel local está representado por los usuarios individuales, que son las empresas mineras, las industrias o agroindustrias, y los usuarios agrícolas.

a) Usuarios mineros

En cuanto a las empresas mineras, una entrevista personal se logró solamente con una empresa de la cuenca, la minera Palo Negro. Sin embargo, la información obtenida fue muy inespecífica y poco concreta, en especial en lo referente al agua. El. entrevistado puso mucho énfasis en que la empresa está muy conciente del tema medioambiental, por lo que construyó un nuevo tranque de relaves aguas arriba de la faena, dentro de una cuenca que se cerró con un

muro, para evitar o mitigar los accidentes de arrastre que se generan debido a la mala ubicación de los tranques anteriores dentro del cauce de la quebrada Marquesa.

La información útil para los fines del presente estudio se obtuvo a través de un análisis de experto, el cual se presenta en el Anexo Digital I.

b) Industrias y agroindustrias

En cuanto a las agroindustrias, interesaba conocer fundamentalmente aquéllas que no se abastecen de agua potable, y que no usan el alcantarillado público, y averiguar sobre algunos aspectos económicos.

Para obtener respuestas útiles a los fines del presente estudio, se entrevistó industrias que operaran fuera del radio urbano de las principales ciudades de la cuenca. En cuanto al tema de los recursos hídricos, todas ellas se encuentran abastecidas por agua potable, no declaran pérdidas, recirculan agua dentro de sus equipos o maquinarias con fines de refrigeración, no devuelven aguas del proceso industrial al alcantarillado (tienen convenios de producción limpia con CONAMA), sino que tienen sistemas propios de tratamiento y evaporación, y si tienen residuos orgánicos (las pisqueras), los entregan para mejoramiento de suelos, y no al río.

Más detallada fue la información que entregaron acerca de la producción, costos, insumos y cantidad de producto.

c) Usuarios agrícolas

En relación con el recurso hídrico, las entrevistas más relevantes para la caracterización del uso fueron las entrevistas a agricultores. Se entrevistó a 18 dueños de predios entre 6 y 200 hectáreas, con derechos en los canales San Carlos, Peralillo, El Romero, San Pedro Nolasco, Altovalsol, Pampa Alfalfares, Jaramillo y Bellavista. Las entrevistas se centraron predominantemente en la zona más baja del valle, puesto que para la zona alta, mayormente vitícola y frutícola, se obtuvo mucha información del catastro CIREN, toda la cual está consignada en el SIG.

El trabajo de terreno a nivel local con los usuarios agrícolas estuvo enfocado a obtener información relevante para todos los temas que se reseñan a continuación.

i) Cultivos

Los regantes que han plantado frutales y especialmente viñas, se encuentran hacia la parte alta del valle, agua arriba del embalse Puclaro, por motivos climáticos. Suelen tener riego tecnificado en sus predios, la mayoría específicamente riego por goteo. Aguas abajo del embalse, disminuye la cantidad de frutales, y desaparecen las viñas, debido a la presencia del clima costero. Una causa de eliminación de papayos y chirimoyos en esta zona es la falta de mercado para estos productos, y, en el caso de la chirimoya, la dificultad de comercialización debido a la corta duración de la postcosecha. Por otro lado, lo promisorio que resulta el

mercado internacional de la palta y de los cítricos, ha generado una conversión. Las características de los cultivos y de sus métodos de riego asociados, se presentan en una cobertura del SIG. Un cultivo que tiene interés no por sí mismo sino que por el insecto que lo infecta, es la tuna, de la cual se observan grandes paños plagados de cochinillas. Estas se usan para obtener el carmín.

Los productos no frutales que se plantan o siembran, son fundamentalmente papas, hortalizas (apio, lechuga, zanahoria, porotos verdes, alcachofines, zapallos, pimiento morrón), cereales (trigo y algo de avena), y algo de alfalfa, que se usa para forraje. Los cereales y la alfalfa se riegan por tendido, las papas y chacras tienen riego en general por surcos, pero también hay predios parcialmente o totalmente tecnificados, que aplican a estos cultivos el riego por cinta o goteo.

ii) Fuente de riego

La gran mayoría de los usuarios entrevistados que se ubican en el valle del Elqui, no declaran riego por pozos. Por el contrario, los regantes de Pan de Azúcar sí declaran riego con aguas subterráneas. Algunos de los usuarios de Pan de Azúcar ya no usan sus pozos para riego, desde que entró en operación el embalse. Tienen suficiente agua de riego. No obstante hay algunos que siguen usando sus pozos para regar.

iii) Costo de operación de pozos

En cuanto al costo de operación de los pozos, en general no lo saben, pero saben que están afectos a la tarifa AT4.

iv) Aplicación del riego

En la actualidad, casi todos riegan sólo con aguas superficiales. Todos los entrevistados (con una sola excepción), tienen tranques de acumulación nocturna, en los que almacenan las aguas de su turno, para aplicarlas con desfase de hasta algunos días, según lo requiera el regadío. Muchos de estos tranques son comunitarios.

Se riega 4, 5 o hasta 8 horas por día, cambiando la aplicación del riego a los diferentes paños. El trigo se riega 1 vez cada 12 días a 15 días, las papas y chacras en general 1 vez cada 7 días, los frutales regados por goteo se riegan durante 3 a 4 horas, 3 veces por semana.

v) Demanda de riego a nivel de predio

Consultados acerca de la cantidad de agua que se aplica a los cultivos anualmente, es un dato que por lo general no se maneja. Suele conocer esta información sólo la gente que riega por goteo, pues bombean en forma muy controlada desde estanques. Los valores que se manejan son de entre 2400 m3/ha/año para el riego tecnificado, hasta 12.000 m3/ha/año para el riego no tecnificado. De acuerdo con las investigaciones del INIA, los agricultores que tienen 10.000

m3/ha/año tienen suficiente agua, pero muchos de ellos perciben esto como deficitario, debido a las ineficiencias prediales en el manejo del agua.

Cuando falta el agua, lo que no ha sido el caso desde que existe el embalse Puclaro, y no se tiene acceso al agua de pozos, para los cultivos anuales se reduce el área plantada, en un 20, 30 y hasta 70%y 80%. Por ejemplo, se deja de plantar trigo, que requiere mucha aplicación de agua, y es poco rentable. Para los cultivos permanentes, no es posible reducir la superficie, por lo cual se ha tenido que asumir las bajas de rendimiento, que han llegado hasta 10-15%, en el caso de la uva pisquera. Sin embargo, los agricultores en general se adaptan a la oferta hídrica del año.

Para la gente que tiene pozos, no hay años críticos, porque suplen el déficit de agua superficial con agua subterránea. En tales casos, ha habido arriendos de agua desde pozos hacia predios vecinos.

vi) Mercado del agua

La totalidad de los entrevistados (salvo una excepción) no ha participado nunca en el mercado del agua. El usuario de excepción tiene un pozo en Pan de Azúcar, y ocasionalmente ha arrendado aguas. Sin embargo, la opinión generalizada de los usuarios es que se acude poco al mercado. Entre canales no se puede trasladar derechos por la rigidez de la infraestructura. El costo de modificación de la infraestructura de distribución es muy alto, de modo que no es algo común. Al interior de los canales se podría hacer, pero no es algo usual. Dado el gran ordenamiento de los derechos de agua en este valle, el mercado del agua y la movilidad de los derechos no están muy presentes en la cultura de riego.

vii) Administración de los canales

Sobre la administración de los canales, las opiniones son bien diversas, incluso sobre el mismo canal. Hay usuarios que opinan que el canal El Romero, por ejemplo, está bien administrado, otros opinan que está muy mal, y que todo se hace a medias. Los reclamos son que nadie vigila las limpias, es muy malo el celador, y no se rinde cuentas de los gastos.

Para el canal Bellavista, las opiniones son en general buenas, aunque hay algunos que opinan que podría ser mejor. Hay quejas contra el transporte de las aguas del canal Herradura, sin previa consulta a los usuarios, y sin modificación de marcos partidores, lo que alteraría las entregas.

Para el canal San Carlos, la administración se encuentra muy buena, pero para evitar morosidad, los grandes pagan por los chicos. Para este canal el usuario entrevistado opina que hay mucho robo de agua, lo que se ha oído con cierta frecuencia y generalidad en las campañas de terreno.

El canal Alfalfares se percibe con una administración muy buena. El problema estaría en los comuneros, que tienen poco interés por participar.

Los canales San Pedro Nolasco, Altovalsol y Jaramillo aparecen sin problemas de administración, salvo algunos problemas de cuotas.

Los usuarios opinan que la administración del río es muy buena, pero que no rinden cuentas.

No obstante todo lo anterior, que se refiere a la parte administrativa y participativa, las respuestas acerca de los turnos y el riego permiten observar que, en general, no hay problemas por la falta de agua ni por irregularidades en las entregas. La gente parece estar muy clara de cuándo le toca recibir su agua, y eso es algo que está bien instituido, y en relación con lo cual no se observan quejas.

viii) Pérdidas en los canales

Acerca de las pérdidas en los canales, aparentemente es un tema sobre el que no se sabe mucho. Los usuarios opinan que el canal tiene entre 2 y 30% de pérdidas, el valor de 20 a 30% es muy recurrente, y de hecho es un dato que se oye mucho en la cuenca. Sin embargo, también se percibe que esta pérdida es muy relativa, porque los canales, según el desarrollo de su trazado, reciben recuperaciones desde otros canales, zonas de riego, o aportes desde quebradas o vertientes, lo que compensa en parte o totalmente las pérdidas, como es el caso del canal Bellavista, que a pesar de todos sus problemas distribuye el 140% de las aguas correspondientes a sus derechos.

En cuanto a las pérdidas de agua intraprediales, todos los usuarios afirman que no las hay.

ix) Problemas de contaminación

Consultados acerca de problemas de contaminación, no se perciben problemas de contaminación aguas arriba de la quebrada Marquesa. Los canales de aguas abajo, todos sin excepción, han sido afectados por las bajadas de sedimentos de los tranques de relave de la quebrada Marquesa. Esto ha significado que se han depositado sedimentos en los campos, dañando la producción. Sobre las indemnizaciones, la mayoría dice no haber recibido nunca ninguna, mientras que un usuario del canal El Romero afirma que el gobierno habría pagado una indemnización.

No ha ocurrido lo mismo con la quebrada de Arrayán, por la que podrían descender los aportes desde Andacollo, pero esto aparentemente no ha ocurrido, posiblemente porque este centro minero se encuentra en la divisoria de aguas de dos subcuencas, de modo que en la ubicación de los tranques de relave no hay casi ecorrentía. Lo contrario es lo que ocurre en la quebrada Marquesa, donde las mineras y sus tranques de relaves están a mitad de cuenca, ubicados dentro del cauce del río o muy cerca de él en una zona donde el cauce es muy estrecho. De este modo son afectados por caudales no despreciables ya concentrados, capaces de generar erosión de tales tranques, y acarreo de grandes masas de sedimentos.

Los canales que pasan por la localidad de Las Rojas, aparentemente serían afectados por residuos domésticos e incluso fecas, como lo denuncian los usuarios del canal El Romero. En

el canal Bellavista habría una proliferación de algas. Para el acuífero de Pan de Azúcar, se habla de un aumento de pH del agua por la sobreexplotación.

x) Rendimientos de los cultivos

Se efectuaron preguntas sobre algunos aspectos económicos de la producción. Se consultó sobre rendimientos de los diferentes cultivos, obteniéndose la siguiente información de rendimientos anuales:

- uva pisquera 15 a 30 o 35 a 45 ton / ha
- uva de exportación 1000 a 3000 cajas (¿?) / ha
- limones 70 a 75 ton / ha
- chirimoya 25 a 35 ton / ha
- papayo 30 o 40 a 50 ton /ha
- papas 150 a 200 o 250 a 300 o hasta 500 sacos de 80 kg / ha
- trigo 25 o 40 a 50 quintales / ha
- alcachofas 120000 a 160000 un / ha
- apio 1500 a 1700 docenas / ha
- lechuga 1200 a 1500, o 2600 cajas de 15 un / ha
- zanahoria 400 sacos de 80 kg / ha
- poroto verde 300 a 350 mallas de 30 kg / ha
- arvejas 200 a 250 mallas de 30 kg / ha
- habas 350 a 400 mallas de 30 kg / ha
- zapallo 40 a 50 ton / ha
- pimiento morrón 40 ton / ha
- cochinilla 400 kg / ha

xi) Forma de comercialización de los productos

Se consultó sobre la forma de comercialización de los productos. En general se obtuvo por respuesta que la uva de mesa se comercializa a través de las empresas exportadoras, la uva pisquera la compra Capel o Control, las frutas como chirimoya y cítricos tienen mercado nacional e internacional, y todo lo demás tiene mercado nacional. La producción de papas, chacra y hortaliza es en general comprada en potrero por intermediarios de los mercados mayoristas de la Vega Central o de Lo Valledor de Santiago. También hay intermediarios que distribuyen hacia el norte del país. El trigo lo compra el Molino Coquimbo. Las alcachofas las compra la agroindustria Lafken. La cochinilla es comprada por intermediarios nacionales, pero va al mercado internacional en un 95%.

xii) Precios de los productos

Consultando sobre los precios que los productores obtienen por sus productos, se obtuvo la siguiente información:

- uva pisquera 80 a 100 $ / kg
- chirimoya 300 a 400 $ / kg
- limones 100 a 180 $ / kg

- papas 6000 a 8000 $ / saco
- alcachofa 20 $ / unidad
- papaya 200 $ / kg

No todos los entrevistados estuvieron dispuestos a entregar esta información sobre sus productos, pues la consideran privada.

xiii) Subsidios

Aproximadamente la mitad de los usuarios entrevistados ha accedido a algún tipo de subsidio. Se observa que la mayoría de los usuarios que tiene riego por goteo, lo ha implementado a través de la ley de fomento al riego de la CNR. También se han construido tranques de acumulación nocturna con el apoyo de este subsidio. Un solo usuario dice hacer tenido acceso al subsidio del programa de suelos degradados por parte de INDAP. Otro usuario ha tenido subsidio de FONTEC para hacer una investigación sobre fertilizantes.

5.2 MODELO ELQUI: GENERACIÓN DE INFORMACIÓN DE ENTRADA

En este subcapítulo y los siguientes, se presenta el trabajo de modelación realizado para la cuenca del Elqui.

La información de entrada para el modelo de simulación se presenta en 47 matrices. Estas matrices contienen toda la información que caracteriza la cuenca, en forma temáticamente ordenada, y estructurada de la manera en que el modelo la requiere para leerla.

Las 47 matrices se anexan en medios magnéticos, Anexo III, en la versión final de la calibración (Escenario 0_S1).

Como se ha señalado antes, gran parte de esta información también se ha vertido a las bases de datos del SIG, cuando la información corresponde a alguna variable que puede ser representada espacialmente.

A continuación se expone la forma en que se ha recabado la información para llenar el modelo Magic de la cuenca del Elqui.

5.2.1 Esquema topológico de modelación

Analizando el funcionamiento del sistema hídrico Elqui y los distintos elementos que lo conforman, en conjunto con todos los requerimientos específicos del modelo Magic, se representó la cuenca mostrada en la Figura 5-1, de acuerdo con las interconexiones que se muestran en la Figuras 5-2. El esquema representa toda la topología de la hidrología de la cuenca, esto es:

- la ubicación de los ríos principales con sus diferentes tramos, definidos por la ubicación de los nodos
- la ubicación de los embalses mayores existentes en la cuenca
- la ubicación de las subcuencas aportantes, definidas igualmente por la ubicación de los nodos, y los nodos de llegada de los recursos aportados
- la ubicación de los sectores de riego que se definieron en la cuenca
- origen y destino de los canales matrices y derivados (como sistemas por sector de riego) que riegan los diferentes sectores de riego
- la ubicación de los sistemas acuíferos que se definieron en la cuenca

Para evitar hacer más engorroso el dibujo, se han omitido los siguientes flujos:

- origen y destino de las percolaciones desde ríos y sectores de riego hacia los acuíferos
- origen y destino de los derrames de riego, desde sectores de riego hacia los nodos
- origen y destino de los afloramientos desde los acuíferos hacia los nodos
- las captaciones puntuales
- las descargas puntuales

En base a la información topológica que el modelo recibe, se generan los balances internos que permiten finalmente conocer los flujos de interacción como series de tiempo.

Figura 5-1: Cuenca del Elqui para modelación.

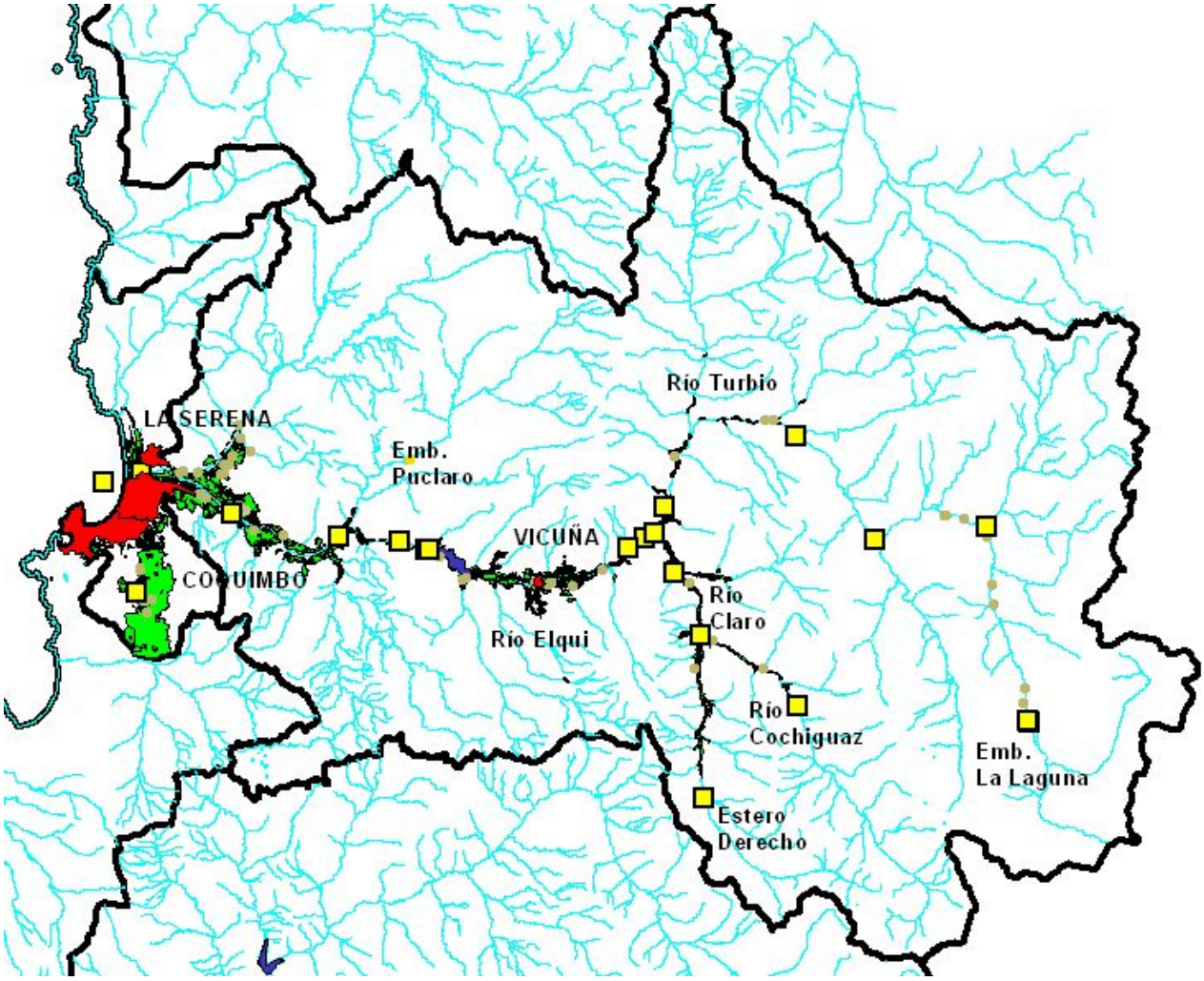
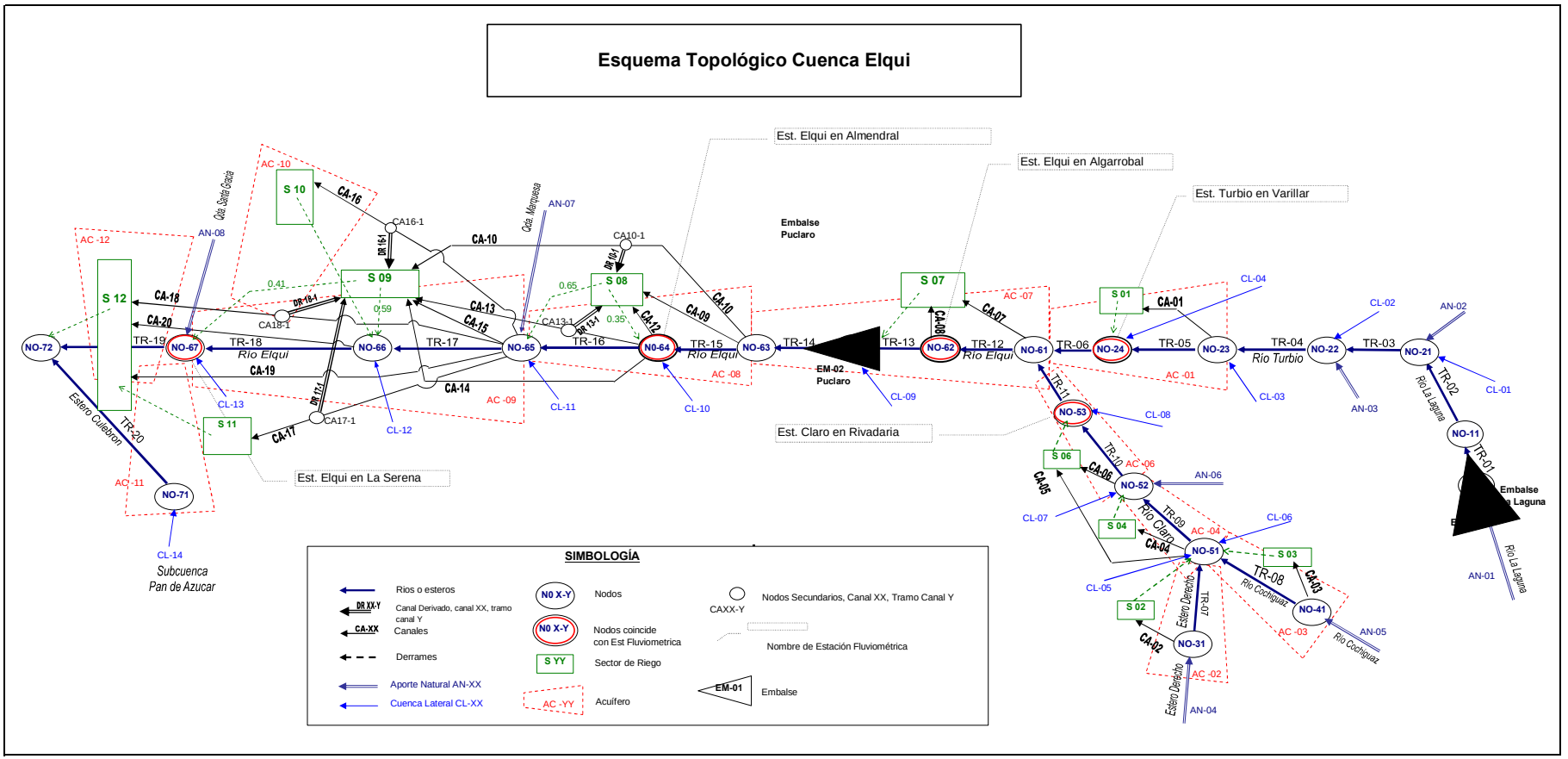


Figura 5-2

Esquema topológico de la cuenca del Elqui para modelación con MAGIC



5.2.2 Estadísticas de precipitaciones

Es importante contar con buenas estadísticas de precipitaciones en la cuenca, debido a que son la fuente para la generación de caudales en cuencas no controladas, por un lado, y por otro lado, también se usan para determinar la precipitación efectiva agronómica sobre las zonas de riego.

Se analizaron las estadísticas de precipitaciones registradas en estaciones DGA. Se utilizó complementariamente datos de lluvias medidos por la Junta de Vigilancia del Río Elqui. Las estadísticas fueron correlacionadas en períodos mensuales y agrupando meses; esto permitió completar los datos faltantes. Las estadísticas procesadas y usadas en el modelo son las que se presentan en el Cuadro 5-5:

Cuadro 5-5
Estadísticas de precipitación

Estación	Comentario
La Laguna Embalse	completada con datos Junta de Vigilancia
Rivadavia	correlacionada con Estación Vicuña
Monte Grande	correlacionada con Estación Vicuña
Vicuña (INIA)	completada con datos Junta de Vigilancia
Almendral	correlacionada con Vicuña
La Serena (Escuela Agrícola)	completada con datos Junta de Vigilancia y correlacionada con Vicuña

En el Anexo Digital IV de Precipitaciones y Caudales, se presentan las estadísticas completas de las 6 estaciones, y los cuatro gráficos que muestran las correlaciones efectuadas.

5.2.3 Generación de caudales en subcuencas aportantes no controladas

El modelo requiere que se genere la oferta de caudales en cada una de las subcuencas aportantes. En la cuenca del Elqui hay subcuencas aportantes de naturaleza pluvial y de naturaleza nival.

a) Subcuencas pluviales

La definición de los nodos para la modelación determina cada una de las subcuencas aportantes del sistema. En base a la escorrentía que se mide en las subcuencas controladas, ya sean nivales o pluviales, se hace una estimación de los aportes de todas las demás subcuencas. Es importante señalar que los caudales de las cuencas que generan los aportes más importantes están todos controlados.

Se generaron caudales medios mensuales en las subcuencas pluviales no controladas con el modelo MPL. Los diferentes modelos MPL de las subcuencas aportantes fueron todos calibrados, llegándose a los parámetros finales del Cuadro 5-6:

Cuadro 5-6
Parámetros MPL calibrados para aportes de subcuencas pluviales no controladas

Subc	NA	AREA	Si	Ezi	A	B	Pmin	Hmax	K	FC	ALFA	Smin	Scrit	Scc
AN-07b	5	589.130	0.01	0.01	1.331	1.058	0.01	250	18	0.7	65	0.300	0.800	0.900
AN-08	5	1079.790	0.01	0.01	1.196	0.992	0.01	250	18	0.7	65	0.300	0.800	0.900
CL-07	5	70.840	0.01	0.01	1.146	1.080	0.24	250	18	0.7	35	0.300	0.800	0.900
CL-08	5	40.170	0.01	0.01	1.068	1.068	0.24	250	18	0.7	35	0.300	0.800	0.900
CL-09	5	930.940	0.01	0.01	1.127	1.042	0.24	250	18	0.7	35	0.300	0.800	0.900
CL-10	5	33.600	0.01	0.01	1.176	0.992	0.09	250	18	0.7	65	0.300	0.800	0.900
CL-11	5	42.410	0.01	0.01	1.116	0.891	0.01	250	18	0.7	65	0.300	0.800	0.900
CL-12	5	843.610	0.01	0.01	1.167	0.962	0.01	250	18	0.7	65	0.300	0.800	0.900
CL-13	5	105.690	0.01	0.01	1.004	0.642	0.01	250	18	0.7	65	0.300	0.800	0.900
CL-14	5	253.170	0.01	0.01	1.008	0.651	0.09	250	18	0.7	65	0.300	0.800	0.900

donde:

NA	Número de años de la estadística de precipitaciones
AREA	Área de la cuenca, en km².
Si	Grado de Saturación Inicial en [º/1]
Ezi	Flujo Subterráneo Inicial en [m3/s]
A	Coeficiente que multiplica el dato de lluvia con el fin de obtener la lluvia media sobre la cuenca.
B	Coeficiente que multiplica el dato de evaporación de bandeja con el fin de obtener la evapotranspiración potencial media sobre la cuenca.
Pmin	Porcentaje de la lluvia que se manifiesta como escorrentía superficial inmediata.
Hmax	Máxima lámina de agua contenida en el suelo saturado, en (mm).
K	Constante de tiempo del embalse subterráneo, en (días).
FC	Tasa de infiltración correspondiente a suelo saturado (S=1), en (mm/día).
ALFA	Variación de la tasa de infiltración por unidad de variación del grado de humedad, es decir, ALFA = -df/ds.
Smin	Grado de humedad correspondiente al punto de marchitez permanente.
Scrit	Grado de humedad crítico bajo el cual la tasa de evapotranspiración real decrece linealmente
Scc	Grado de humedad correspondiente a capacidad de campo.

b) Subcuencas nivales

Después de analizar diversas metodologías de generación de caudales en las cuencas nivales, se utilizó el modelo nival de transposiciones basadas en el área ponderada y la altura, desde estaciones aledañas en régimen natural. Estas estaciones fueron previamente corregidas, rellenadas y extendidas para el período de análisis. En el caso de la estación Turbio en Varillar, los caudales medidos se rectificaron por los efectos del riego y del embalse La Laguna, de modo de generar caudales en base a un régimen natural.

El modelo de generación de caudales nivales fue el siguiente:

$$Qk\ (cuenca\ nival\ j) = \frac{Qk\ (estación) \cdot A\ (cuenca\ nivel\ j) \cdot Z\ (cuenca\ nival\ j)}{(A\ (estación\ i) \cdot Z\ (estación\ i)}$$

donde:

Qk (cuenca nival j): Caudal en cuenca nival j en el mes k (k entre abril de 1963 a marzo de 2004).
Qk estación: Caudal en el mes k de la estación fluviométrica rellenada.
A (cuenca nival j): Área de la cuenca nival j.
A (estación i): Área de la cuenca asociada al punto donde se ubica la estación fluviométrica rellenada i.
Z (estación i): Elevación media de la cuenca asociada al punto donde se ubica la estación fluviométrica rellenada i.
Z (cuenca nivel j): Elevación media de la cuenca nival j.
Se calculó como promedio ponderado de rangos de elevación:

$$Z\ (cuenca\ nival\ j) = \sum_m Ajm \cdot zjm \ / \ (\sum_m Ajm)$$

donde:
Ajm = área del rango de elevación m en cuenca j
zjm = elevación media del rango de elevación m en la cuenca j

En el Cuadro 5-7 se indican las subcuencas para las que se generó los caudales en base al procedimiento descrito, y las estaciones que se tomaron de base para tal generación.

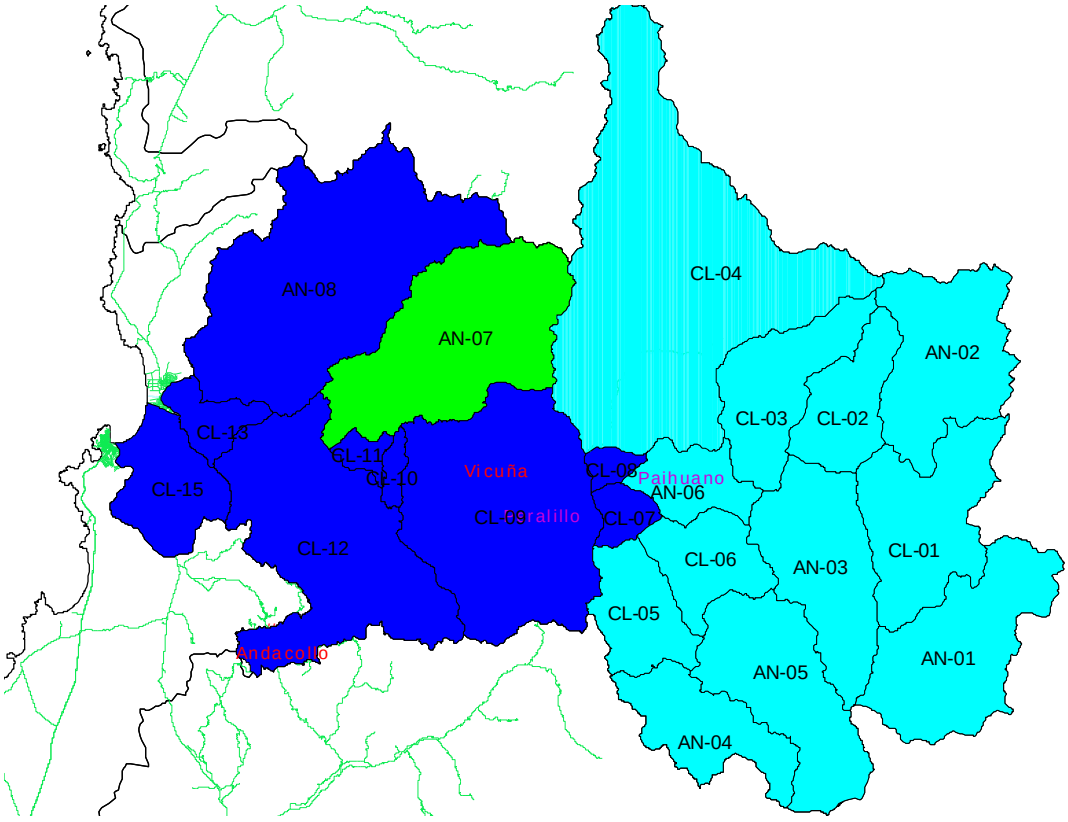
En la Figura 5-3 se presenta la definición de las subcuencas aportantes dentro de la cuenca del Elqui. Se distinguen las cuencas pluviales (azul), mixtas (verde) y nivales (celeste).

Cuadro 5-7
Subcuencas con generación de caudal en base a modelo nival

Código	Identificación cuenca	Estación fluviométrica asociada
AN-01	Río La Laguna Cabecera	Río La Laguna en entrada Embalse La Laguna (JV)
AN-02	Río Toro Cabecera	Río Toro antes junta La Laguna
AN-03	Río Incahuaz	Río Turbio en Varillar RN
AN-04	Estero Derecho Cabecera	Estero Derecho en Alcohuaz
AN-05	Río Cochiguaz Cabecera	Río Cochiguaz en El Peñón
AN-06	Quebrada Paihuano	Río Cochiguaz en El Peñón
AN-07a	Quebrada de Marquesa	Estero Derecho en Alcohuaz
CL-01	Río La Laguna Entre Embalse La Laguna y Junta Río Toro	Río Turbio en Varillar RN
CL-02	Río Turbio entre Río Toro y Río Incahuaz	Río Turbio en Varillar RN

Código	Identificación cuenca	Estación fluviométrica asociada
CL-03	Río Turbio entre Río Incahuaz y Huanta	Río Turbio en Varillar RN
CL-04	Río Turbio zonas de riego	Río Turbio en Varillar RN
CL-05	Estero Derecho zonas de riego	Estero Derecho en Alcahuaz
CL-06	Río Cochiguaz zonas de riego	Río Cochiguaz en El Peñón

Figura 5-3
Subcuencas aportantes



5.2.4 Aguas subterráneas

a) Acuíferos

Los límites de los acuíferos se trazaron definiendo el contacto roca-relleno en función del contacto identificado en la imagen satelital de alta resolución. Se suavizaron los contornos para asegurar que los rellenos definidos correspondieran a estratos acuíferos relevantes. En el Cuadro 5-8 se incluye un listado de los acuíferos definidos, los que se muestran el Figura 5-4.

Los parámetros que permiten caracterizar los acuíferos del sistema se obtuvieron del estudio de la referencia (Ref: Estudio Integral de Riego Valle de Elqui. INA Ingenieros Consultores, Ipla Ltda., Noguera y Asoc, Agroingenería Ltda, estudio encargado por la Comisión Nacional de Riego, 1987).

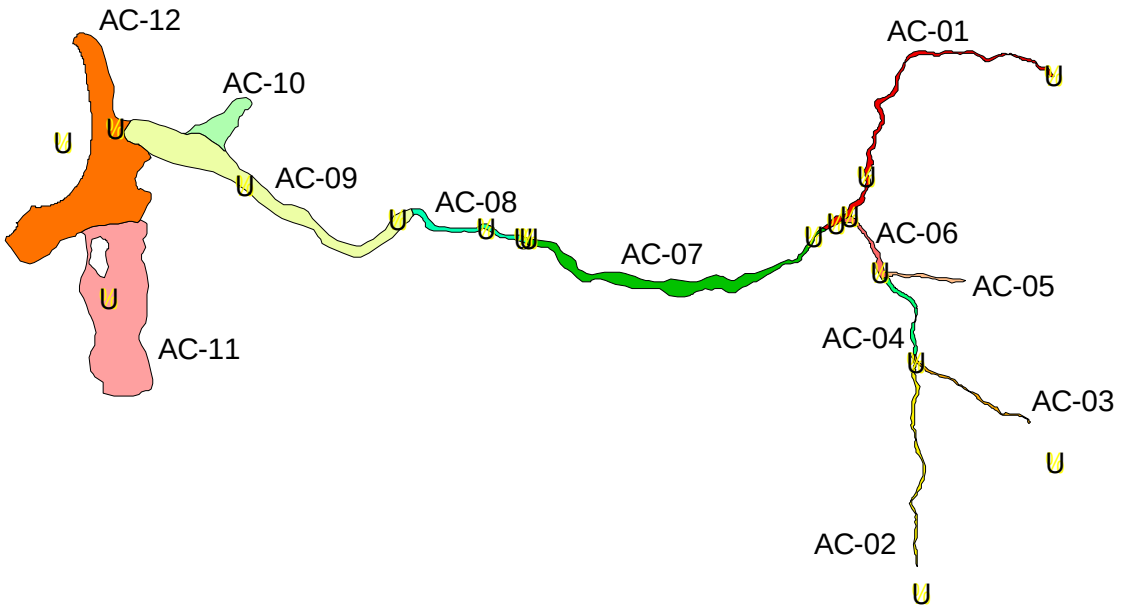
Los parámetros finales de calibración, de espesor saturado, conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento, son los que se presentan en el Cuadro 5-8.

Las elevaciones de niveles piezométricos se obtuvieron de los datos registrados en los pozos incluidos en la red de monitoreo de aguas subterráneas de la DGA. La historia de niveles de esos pozos se muestra en el Capítulo 5.3 de calibración. Los gradientes hidráulicos se calcularon en función de esos valores, y se presentan también en el Cuadro 5-8.

Cuadro 5-8
Caracterización acuíferos Elqui

Código del acuíf	Nombre del acuífero	Volumen inicial de simulación (m3)	S (adimensional)	Espesor sat secc entrada (m)	Espesor sat secc salida (m)	Perm. Entrada ke (m/mes)	Perm. Salida ks (m/mes	Grad entrada ie (º/1)	Grad salida is (º/1)	Q inicial de entrada (m3/s)	Q inicial de salida (m3/s)
AC-01	Turbio	5.430.000	0,020	40	60		1400	0,015	0,015	0,000	0,088
AC-02	Derecho	890.000	0,010	40	40	156	311	0,038	0,038	0,000	0,017
AC-03	Cochiguaz	410.000	0,010	40	40	117	311	0,039	0,039	0,000	0,014
AC-04	Claro Monte Grande	990.000	0,015	62	40	311	596	0,039	0,029	0,049	0,077
AC-06	Claro Paihuano	1.510.000	0,020	40	60	596	1400	0,029	0,015	0,077	0,134
AC-07	Elqui Alto	38.100.000	0,065	61	40	1400	1000	0,015	0,008	0,089	0,035
AC-08	Elqui Medio	9.760.000	0,100	40	120	1000	800	0,008	0,014	0,035	0,143
AC-09	Elqui Bajo	141.100.000	0,100	120	80	800	1011	0,014	0,009	0,143	0,351
AC-10	Santa Gracia	8.900.000	0,030	26	30	150	100	0,018	0,009	0,000	0,130
AC-11	Pan de Azúcar	188.400.000	0,050	300	100	500	500	0,002	0,002	0,010	0,077
AC-12	Costa	57.560.000	0,050	158	60	500	200	0,006	0,006	0,640	0,333

Figura 5-4
Acuíferos definidos para la modelación



b) Pozos

La información relacionada con los pozos del sistema se obtuvo de los registros de derechos otorgados y en trámite de la DGA Regional y de la DGA Central. Esos antecedentes fueron procesados y comparados entre sí para evitar la repetición de datos. Los pozos considerados en la modelación fueron todos aquellos que tienen derechos comprometidos, vale decir, aquellos con derechos otorgados y los con derechos en trámite, ingresados antes de las fechas límite que se señalan en el Cuadro 5-9.

Cuadro 5-9
Fechas límite de otorgamiento de derechos por parte de la DGA

Sector	Nombre	Fecha límite
Sector 9	Elqui Bajo	abr 2003
Sector 10	Santa Gracia	mar 2003
Sector 11	Pan de Azúcar	nov 2003
Sector 12	Costa	nov 2000

Como resultado de este análisis, en el Anexo Digital V se incluye la tabla con todos los pozos que tienen derechos comprometidos (otorgados y por constituir) en la DGA.

En el Cuadro 5-10 se presenta el resumen de los derechos, asociados a cada tipo de uso, por sector de análisis del modelo MAGIC.

Cuadro 5-10
Pozos agregados por tipo de uso y por acuífero, para modelación con MAGIC

Código	Acuífero	Objeto Destino	Uso	Qb max, o derechos [m3/s]	Información adicional
PO-001	AC-01	ZR-01	US-01	0,142	Riego
PO-002	AC-01	N/A	US-02	0,030	APR Las Mercedes, Varillas, Chapilca, Rivadavia
PO-003	AC-01	N/A	US-04	0,055	EMPRESA NACIONAL DE EXPLOSIVOS S.A. (ENAEX S.A.)
PO-004	AC-02	ZR-02	US-01	0,014	Riego
PO-005	AC-02	N/A	US-02	0,030	APR Alcohuaz, Horcón, La Jarilla
PO-006	AC-04	ZR-04	US-01	0,050	AGROINDUSTRIAL DIAGUITAS LIMITADA
PO-007	AC-06	N/A	US-02	0,011	EMPRESA DE SERVICIOS SANITARIOS DE COQUIMBO S.A.
PO-008	AC-07	ZR-07	US-01	1,412	Riego
PO-009	AC-07	N/A	US-02	0,084	AP Vicuña y Peralillo
PO-010	AC-07	N/A	US-02	0,015	APR Andacollito hasta Gualliguaica
PO-011	AC-08	ZR-08	US-01	0,016	UNION DE CENTROS BIBLICOS
PO-012	AC-08	N/A	US-02	0,010	APR El Molle
PO-013	AC-09	ZR-09	US-01	0,551	Riego
PO-014	AC-09	N/A	US-02	1,518	AP La Serena y Coquimbo
PO-015	AC-09	N/A	US-02	0,050	APR Marquesa hasta Islón
PO-016	AC-09	N/A	US-03	0,113	Minería
PO-017	AC-10	ZR-10	US-01	0,203	Riego
PO-018	AC-10	N/A	US-02	0,030	APR El Romero
PO-019	AC-10	N/A	US-04	0,004	EMPRESA DE TRANSPORTE FERROVIARIO S.A.
PO-020	AC-11	ZR-11	US-01	2,949	Riego
PO-021	AC-11	N/A	US-02	0,200	AP Coquimbo (Pan de Azúcar)
PO-022	AC-11	N/A	US-02	0,030	APR Huachalalume. Nueva Vida, El Sauce
PO-023	AC-11	N/A	US-03	0,248	Minería
PO-024	AC-11	N/A	US-04	0,150	FERRONOR S.A.
PO-025	AC-12	ZR-12	US-01	0,189	Riego
PO-026	AC-12	N/A	US-02	0,154	AP
PO-027	AC-12	N/A	US-02	0,010	APR El Sauce
PO-028	AC-12	N/A	US-03	0,080	Minería
PO-029	AC-12	N/A	US-04	0,037	Industria

Para los diferentes usos, se definieron los factores de uso del Cuadro 5-11, de acuerdo con las consideraciones que se agregan.

Cuadro 5-11
Factores de uso de derechos subterráneos

Código	Nombre	Factor de Uso, [º/1]	Observaciones
US-01	riego	1	no se usa cuando se bombea el déficit
US-02	potable	1	estadística de uso efectivo
US-03	minero	0,25	
US-04	industrial	0,25	

El factor de uso para el uso de riego no se aplica, pues en general se trabaja con la opción de bombear sólo el déficit que persiste después de usar las aguas superficiales disponibles.

Para el agua potable, tanto rural como urbana, se ingresa en la tabla de caudales, los caudales efectivamente usados, de modo que el factor de uso es igual a uno.

Para el uso minero, a pesar de las múltiples averiguaciones y solicitudes de información, no se ha podido obtener datos en las propias empresas, de modo que se ha asumido un factor de uso en función de la cantidad de agua que requieren los procesos y la cantidad de producto que obtienen las empresas mineras. Los estudios usados de base para este análisis se presentan en el Anexo Digital I. En el caso de derechos sin representación física de una planta activa, se ha aplicado un factor de uso de 0,25.

Para las industrias, no se pudo obtener información acerca del factor real de uso, de modo que en general se usó un valor convencional que también se usa en la DGA, y que es de 0,25.

5.2.5 Canales

Los canales se identificaron y caracterizaron en base a los antecedentes en SIG aportados por la DGA y la CNR, a los antecedentes proporcionados por la Junta de Vigilancia del río Elqui, y con los datos incluidos en la referencia “Modelo de Simulación Mensual para la operación del sistema de recursos hidráulicos del río Elqui, Provincia del Elqui, Cuarta Región”, Luis Arrau del Canto Ingenieros Consultores, mayo 2001.

El detalle de todos los canales existentes en la cuenca del Elqui, y considerados para la modelación, se presentan en dos coberturas SIG, llamadas Canales y Red_canales_elqui_ magic.

En el Cuadro 5-12 se presenta un resumen de los canales matrices modelados, y en el Cuadro 5-13, un resumen de los canales derivados modelados.

Cuadro 5-12
Canales matrices modelados

Código	Topología	Nombre	Acciones
CA-01	ZR-01 desde NO2-3	La de los Pinto-Capt.Casa Rosada	2202
CA-02	ZR-02 desde NO3-1	Hualtatas – Asiento	3043
CA-03	ZR-03 desde NO4-1	Empedrado-Junta Mal Paso	1037
CA-04	ZR-04 desde NO5-1	Totoral - Sn Guillermo Bajo Alto Q.	981
CA-05	ZR-06 desde NO5-1	C.Rodríguez, Los Aguirre	424
CA-06	ZR-06 desde NO5-2	Chañares - Las Juntas	1574
CA-07	ZR-07 desde NO6-1	Algarrobal - Miraflores	669
CA-08	ZR-07 desde NO6-2	Alto Campana - Polvada	5083
CA-09	ZR-08 desde NO6-3	Porotal y Agua de Pangue	63
CA-10	ZR-08 y ZR-09 desde NO6-3	Maitén o Delirio	507
CA-11	ZR-09 desde NO6-3	Puclaro 1 y 2	38
CA-12	ZR-08 desde NO6-4	Quiscal y Polla Alta	35
CA-13	ZR-08 y ZR-09 desde NO6-4	Casuto y Marquesa	379
CA-14	ZR-09 desde NO6-4	La Calera	622
CA-15	ZR-09 desde NO6-5	Titón – Culcatán	2978
CA-16	ZR-09 y ZR-10 desde NO6-5	San Pedro Nolasco, El Romero	1900
CA-17	ZR-09 y ZR-11 desde NO6-5	Bellavista	3677
CA-18	ZR-09 y ZR-12 desde NO6-5	La Pampa	583
CA-19	ZR-12 desde NO6-5	Herradura	1150
CA-20	ZR-12 desde NO6-6	Callejas - Cruz del Molino	1479

Cuadro 5-13
Canales derivados modelados

Canal matriz zona de riego	Área [m^2]	Proporción	C. derivado C. matriz	Acciones totales	Capacidad	Acciones tramos	Capacidad tramos
Maitén-ZR08	1160725	47.8	DR10-1	506.8	0.5	242.2	0.260
Maitén-ZR09	1267621	52.2	CA-10			264.6	0.284
Casuto-ZR08	741536	25.9	DR13-1	379.5	0.5	98.3	0.141
Casuto-ZR09	2122292	74.1	CA-13			281.2	0.404
Romero-ZR09	10689544	44.2	DR16-1	1899.6	3.5	838.9	1.538
Romero-ZR10	13516537	55.8	CA-16			1060.7	1.945
Bellavista-ZR09	7017106	9.1	DR17-1	3677.0	5.8	334.9	0.526
Bellavista-ZR11	70033352	90.9	CA-17			3342.2	5.248
Pampa - ZR09	3361183	93.8	DR18-1	583.5	1.1	547.3	1.010
Pampa - ZR12	222026	6.2	CA-18			36.2	0.067

5.2.6 Desmarques

Como la cuenca del Elqui funciona aún por desmarques, fue necesario adaptar el modelo MAGIC a esta modalidad de uso, según se explicó en el Capítulo 3.2.1. Las estadísticas de desmarques, asociadas a los canales del sistema Elqui, fueron extraídas del estudio de modelación de Luis Arrau, mayo 2001, y completadas con datos proporcionados por la Junta de Vigilancia para el período de 1999 a 2004. En el Anexo Digital VI se presentan las estadísticas completas de desmarques utilizadas para la calibración.

5.2.7 Zonas de riego

a) Tipos de cultivos y coeficientes kc

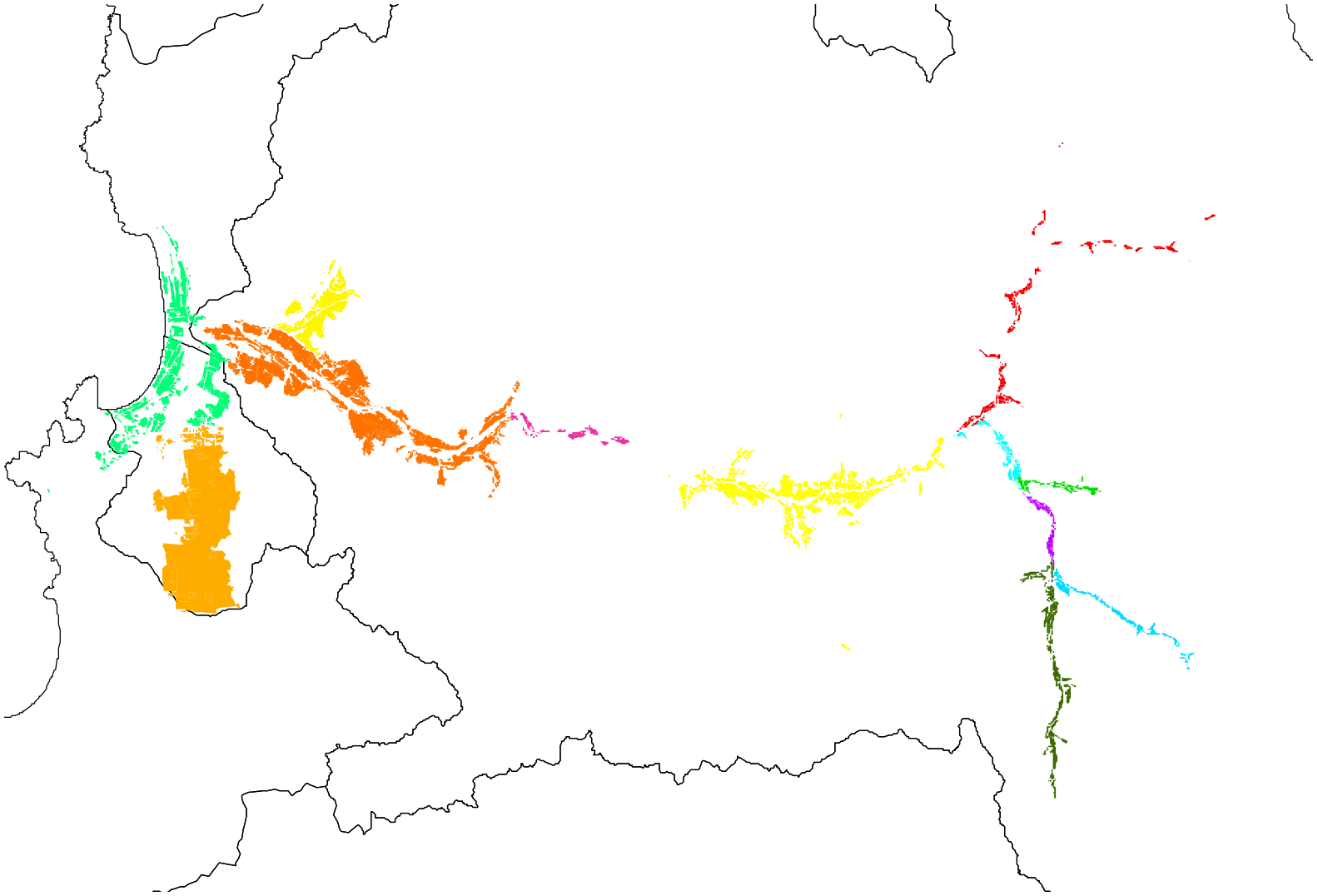
Los sectores de riego, que se presentan en la Figura 5-5 con nombre y número, se definieron identificando áreas cultivadas en fotografías aéreas, luego asociando tipos de cultivos y métodos de riego con información recogida en terreno durante las campañas, y finalmente haciendo un encuadre de la información así obtenida, con el Censo Agrícola INE 1996/7 y con los Catastros de Vides del SAG (Catastro de Vides 2003 y Catastro Comunal 2005). En el Anexo Digital VII se presentan los cuadros comparativos entre tales catastros.

Los coeficientes kc se obtuvieron específicamente para la IVª Región, en base a las siguientes fuentes:

- Manual de Producción de Hortalizas. Prodecop IVª Región, FIDA, INIA, INDAP, 1998
- Fichas técnicas y de costos de establecimiento de frutales en el valle del Choapa, CNR y Gobierno Regional de Coquimbo, PROVALTT Choapa, IVª Región, Oficina técnica INIA Illapel, Abril 2003
- Manual de fichas agroeconómicas de cultivos de hortalizas para el área del proyecto PROMM canal Buseta. Francisco Meza, Oscar Campusano, Alfonso Osorio, OPEPA, INIA Intihuasi. Noviembre 1999
- Fichas técnicas y económicas de cultivos establecidos en el valle del Choapa, PROVALTT Choapa, IVª Región, Abril 2003
- Conversación personal con Ing. Agrónomo Francisco Meza, INIA Illapel
- Conversación personal con Ing. Agrónomo Leoncio Martínez, INIA La Serena
- Conversación personal con Ing. Agrónomo Katrin Stehr, de Walmaster, productor de Fertipellets

En el Cuadro 5-14, adjunto, se muestran las especies identificadas y los coeficientes de cultivo kc adoptados.

Figura 5-5
Zonas de riego definidas para la modelación



Cuadro 5-14
Coeficientes de cultivo kc para especies presentes en la cuenca Elqui

Cultivo	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar
Alfalfa	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Almendro	0,5	0	0	0	0,6	0,75	1	1	1	1	1	0,9
Bábaco	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5
Caqui	0	0	0	0	0,5	0,8	1,1	1,1	1,1	1,1	1	0,5
Chirimoyo	0,7	0,65	0,65	0,7	0,7	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,7
Cítrico	0,55	0,55	0,5	0,5	0,5	0,55	0,55	0,55	0,6	0,6	0,6	0,55
Clementina	0,55	0,55	0,5	0,5	0,5	0,55	0,55	0,55	0,6	0,6	0,6	0,55
Cultivo anual	0,24	0,31	0,26	0,26	0,42	0,587	0,72	0,72	0,72	0,48	0,35	0,24
Damasco	0,5	0	0	0	0,4	0,6	0,8	1,1	1,1	1,1	1,1	0,8
Durazno	0,5	0	0	0	0,4	0,6	0,8	1,1	1,1	1,1	1,1	0,8
Eucaliptus	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Frutales	0,5	0	0	0	0,4	0,6	0,8	1,1	1,1	1,1	1,1	0,8
Frutilla	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,75	0,8	0,8	0,7	0,5	0,5	0,5
Granado	0,5	0	0	0	0,6	0,75	1	1	1	1	1	0,9
Higuera	0,5	0	0	0	0,6	0,75	1	1	1	1	1	0,9
Hortaliza	0,24	0,31	0,26	0,26	0,42	0,587	0,72	0,72	0,72	0,48	0,35	0,24
Huerto casero	0,4	0	0	0	0,4	0,6	0,8	1,1	1,1	0,95	0,7	0,5
Kiwi	0	0	0	0	0,45	0,75	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,5
Lima	0,55	0,55	0,5	0,5	0,5	0,55	0,55	0,55	0,6	0,6	0,6	0,55
Limonero	0,55	0,55	0,5	0,5	0,5	0,55	0,55	0,55	0,6	0,6	0,6	0,55
Lúcumo	0,55	0,55	0,5	0,5	0,5	0,55	0,55	0,55	0,6	0,6	0,6	0,55
Mandarino	0,55	0,55	0,5	0,5	0,5	0,55	0,55	0,55	0,6	0,6	0,6	0,55
Mango	0,55	0,55	0,5	0,5	0,5	0,55	0,55	0,55	0,6	0,6	0,6	0,55
Naranjo	0,55	0,55	0,5	0,5	0,5	0,55	0,55	0,55	0,6	0,6	0,6	0,55
Nectarino	0,5	0	0	0	0,4	0,6	0,8	1,1	1,1	1,1	1,1	0,8
Níspero	0,55	0,55	0,5	0,5	0,5	0,55	0,55	0,55	0,6	0,6	0,6	0,55
Nogal	0,5	0	0	0	0,6	0,75	1	1	1	1	1	0,9
Olivo	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,6	0,6	0,6	0,55
Palto	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
Papayo	0,55	0,55	0,5	0,5	0,5	0,55	0,55	0,55	0,6	0,6	0,6	0,55
Parcela agrado	0,55	0,55	0,5	0,5	0,5	0,55	0,55	0,55	0,6	0,6	0,6	0,55
Pecana	0,5	0	0	0	0,6	0,75	1	1	1	1	1	0,9
Pomelo	0,55	0,55	0,5	0,5	0,5	0,55	0,55	0,55	0,6	0,6	0,6	0,55
Pradera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Rotación anuales	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,85	0,9	1	1,1	1,1	1,1	1
Tuna	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5
Vid de mesa	0	0	0	0	0,45	0,75	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,5
Vid de pisco	0,5	0	0	0	0,45	0,75	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8
Vid vinífera	0,5	0	0	0	0,45	0,75	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8

b) Métodos de riego

Las eficiencias de aplicación de los métodos de riego se obtuvieron de la Ref. INIA Intihuasi, Proyecto PROMM-IV Región, Cartilla Divulgativa Nº 10, 1997.

Los valores son los que se muestran en el Cuadro 5-15.

Cuadro 5-15
Eficiencia de aplicación de los métodos de riego presentes en la cuenca Elqui

Método	Eficiencia
tendido	0.30
surco	0.45
borde recto	0.50
borde en contorno	0.60
pretiles	0.60
tazas	0.65
californiano	0.65
aspersión	0.75
microjet (microaspersión)	0.85
goteo (cinta)	0.90

Para algunas áreas en las que se identifica diversos métodos de riego en conjunto (CIREN), fue necesario calcular eficiencias promedio, que son las del Cuadro 5-16.

Cuadro 5-16
Eficiencias de riego promedio para paños con métodos mixtos

Método	Eficiencia
aspersión, goteo	0.82
cintas, goteo	0.90
cintas, tazas	0.78
curva de nivel	0.50
curva de nivel, goteo	0.92
curva de nivel, tazas	0.70
Goteo	0.90
goteo, microaspersión	0.88
goteo, pozo	0.90
goteo, surco	0.68
goteo, surco, tazas	0.67
goteo, tazas	0.78
microaspersión	0.85
platabanda	0.50
surco, tazas	0.55
surco, tendido	0.38
tazas, surco, aspersión	0.61

c) Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración potencial en cada sector de riego se obtuvo del estudio "Atlas Agroclimático de Chile, Regiones IV a IX", CIREN, Marzo 1990. En dicho estudio, se presentan valores agregados por cuenca, para la temporada diciembre-febrero. Estos valores se distribuyeron en forma proporcional a las mediciones de evaporación de bandeja, y se completaron para todo el año de la misma forma. En el Cuadro 5-17 se presentan los valores resultantes.

Cuadro 5-17
Evapotrnaspiración potencial por zona de riego (mm)

Zona de riego	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar
ZR-01	82	64	57	59	72	93	123	141	161	156	133	114
ZR-02	89	70	62	64	78	101	134	153	175	170	144	124
ZR-03	82	64	57	59	72	93	123	141	161	156	133	114
ZR-04	96	76	67	70	85	110	145	166	190	184	156	134
ZR-05	82	64	57	59	72	93	123	141	161	156	133	114
ZR-06	96	76	67	70	85	110	145	166	190	184	156	134
ZR-07	84	66	59	61	74	96	127	145	166	161	137	117
ZR-08	80	63	56	58	70	91	120	137	158	153	130	111
ZR-09	71	56	50	51	63	81	107	123	141	136	116	99
ZR-10	73	57	51	52	64	83	109	125	143	139	118	101
ZR-11	67	53	47	49	59	77	101	116	132	128	109	93
ZR-12	67	53	47	49	59	77	101	116	132	128	109	93

d) Precipitaciones agronómicas efectivas

Las precipitaciones efectivas mensuales desde el punto de vista agronómico, Pef, son las que reducen las necesidades de riego y las transforman en necesidades netas. Para la determinación de las precipitaciones efectivas se trabajó con las precipitaciones asociadas al año 85% de probabilidad de excedencia, de la estadística de la estación representativa de la zona de riego. Aquellas menores que 12 mm/mes se consideraron nulas. Las mayores se redujeron a un 60%.

Las estaciones asociadas a cada zona de riego, son las que se muestran en el Cuadro 5-18.

Cuadro 5-18
Estaciones pluviométricas asociadas a cada zona de riego

zona de riego	estación
ZR-01	Rivadavia
ZR-02	Monte Grande
ZR-03	Monte Grande
ZR-04	Monte Grande
ZR-06	Monte Grande
ZR-07	Vicuña
ZR-08	Almendral
ZR-09	La Serena
ZR-10	La Serena
ZR-11	La Serena
ZR-12	La Serena

En el Cuadro 5-19 se muestran las precipitaciones efectivas calculadas para cada sector de riego.

Cuadro 5-19
Precipitaciones efectivas (mm)

Código ZR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
ZR-01	0	0	10,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-07	0	0	9,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Con la adaptación realizada al MAGIC especialmente para el presente estudio, el modelo internamente calcula las necesidades netas mensuales ponderadas por zona de riego, a partir de los datos de área, cultivos, métodos de riego y coeficiente de cultivo de cada uno de los paños caracterizados, y con la evapotranspiración y precipitación efectiva que se ingresa por zona de riego.

5.2.8 Capacidad de regulación nocturna y horas de riego

La capacidad de regulación nocturna se obtuvo de la cobertura temática de embalses menores (hasta 50.000 m3) de la CNR. Para cada zona de riego se asumió que la capacidad de regulación nocturna es igual a la suma de los volúmenes de los embalses menores que se ubican dentro de la zona.

En cuanto a las horas de riego, se asumió como dato de inicio, que se riega durante 20 horas al día. Este dato está basado en los resultados de las entrevistas, en que los regantes señalaron que el sistema de turnos funciona rotando entre los diferentes usuarios sin interrupción, pero que algunos de ellos reciben sus aguas en tranques nocturnos, para luego regar desde ahí durante varias horas al día, y no de noche. Este valor no sufrió modificaciones durante la calibración, pero se modificó en un escenario futuro para analizar su influencia, que no resultó significativa.

5.2.9 Embalses

En la zona de estudio existen dos embalses grandes: La Laguna y Puclaro. Sus características se obtuvieron de la referencia Estudio de Modelación, Luis Arrau, Mayo 2001, de antecedentes recopilados en terreno y de antecedentes facilitados por la DOH especialmente para el presente estudio.

a) Volumen de los embalses

En el Cuadro 5-20 se presentan las características de volumen de los embalses.

Cuadro 5-20
Volumen de los embalses

Código del embalse	Nombre del embalse	Volumen bruto máximo, [$10^6 m^3$]	Volumen bruto muerto, [$10^6 m^3$]	Volumen bruto inicial, [$10^6 m^3$]	Coeficiente de embalse
EM-01	La Laguna	36.66	0.16	18.25	0.70
EM-02	Puclaro	200.88	0.88	0	0.70

b) Curvas de embalse

En las Figuras 5-6 y 5-7 se muestran las curvas de cota de inundación en función del volumen embalsado (curva z(V)), y superficie del espejo de agua en función del volumen embalsado (curva S(V)) de ambos embalses, con sus ecuaciones asociadas. Las ecuaciones asociadas son del tipo polinomio cúbico.

Figura 5-6
Curvas de embalse para La Laguna

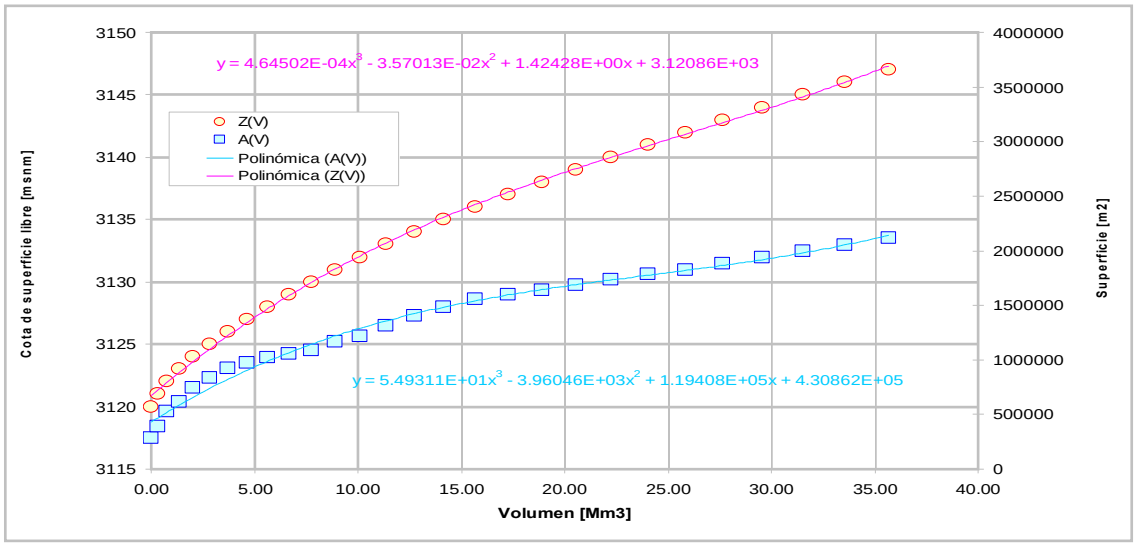
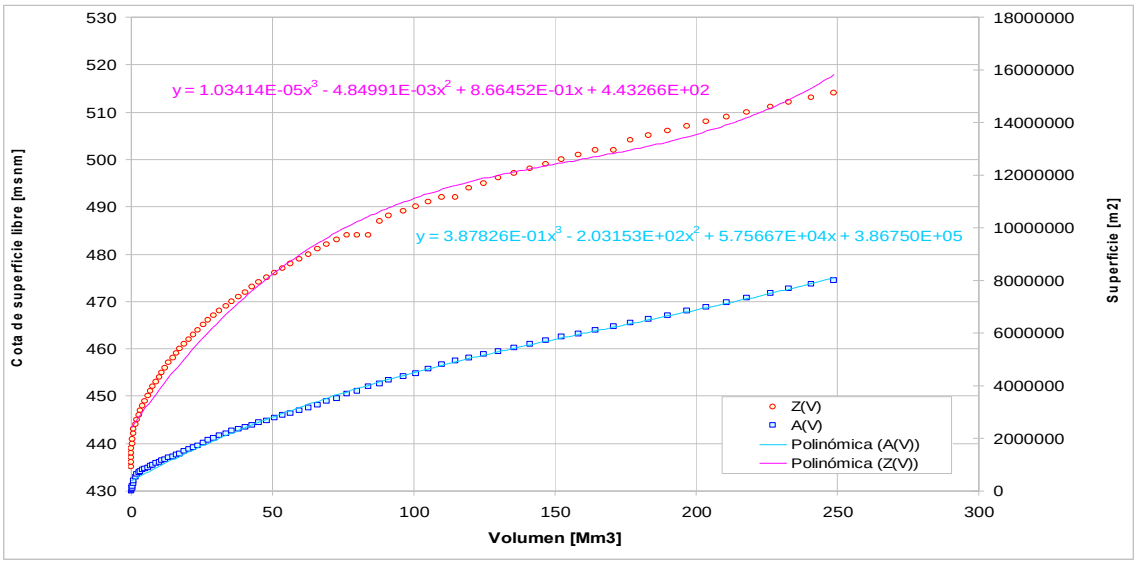


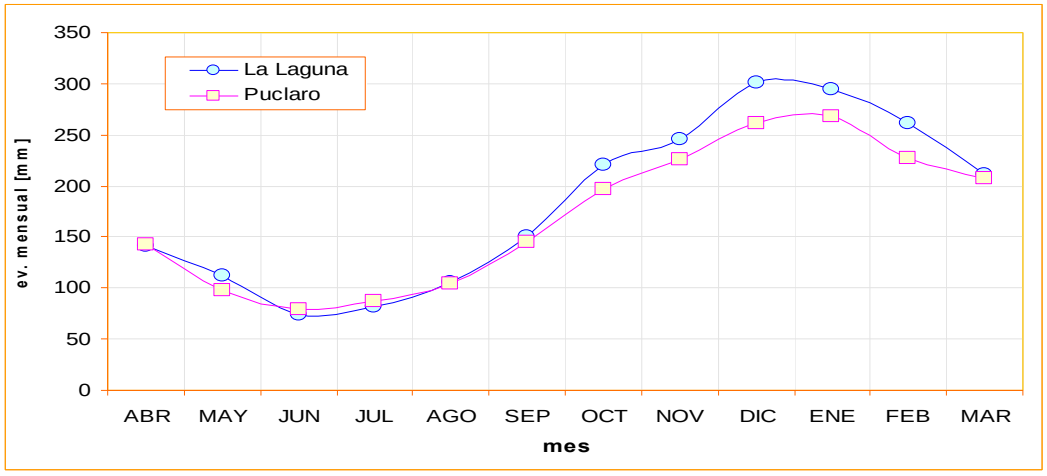
Figura 5-7
Curvas de embalse para Puclaro



c) Tasas de evaporación desde embalses

En la Figura 5-8 se muestran las variaciones mensuales de las tasas de evaporación de cada embalse, obtenidas a partir de datos de evaporación de bandeja. Estas tasas no incluyen el coeficiente de embalse.

Figura 5-8
Tasas de evaporación desde embalses



d) Curvas de filtración

En las Figuras 5-9 y 5-10 se muestran las curvas de filtración de los embalses en función de los volúmenes embalsados, obtenidos de los datos recogidos en la región.

Figura 5-9
Filtración en función del volumen Embalse Puclaro

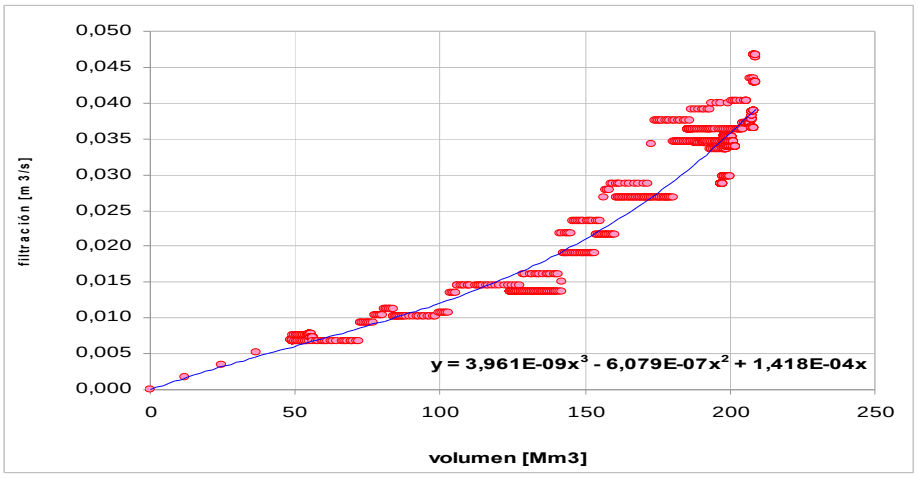
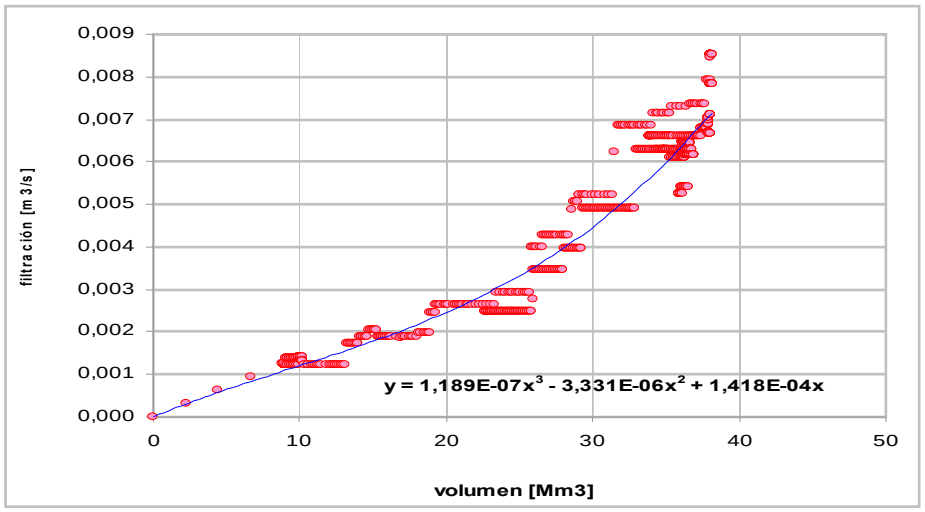


Figura 5-10
Filtración en función del volumen Embalse La Laguna



e) Caudal máximo de entrega

En las Figuras 5-11 y 5-12 se muestran las curvas de caudal máximo de entrega que permiten las válvulas de los embalses, en función de los volúmenes embalsados.

Figura 5-11
Caudal máximo de entrega en función del volumen
Embalse Puclaro

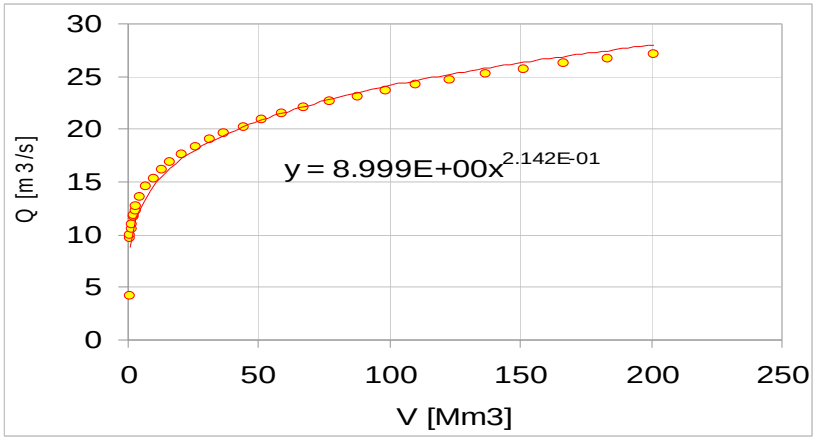
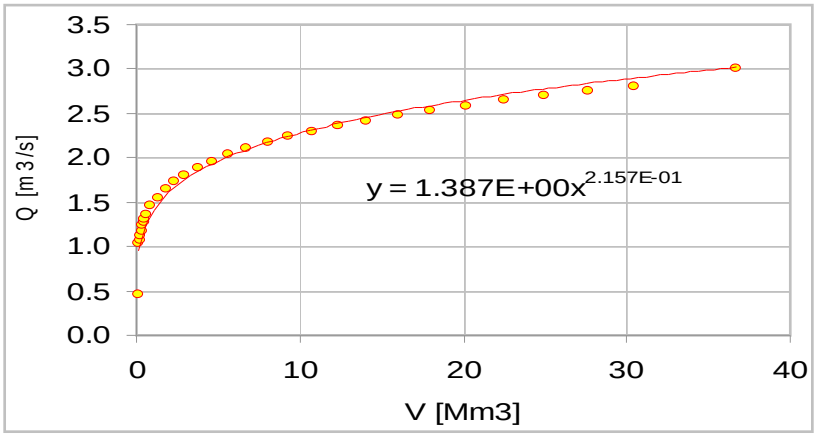


Figura 5-12
Caudal máximo de entrega en función del volumen
Embalse La Laguna



f) Nodos que se abastecen desde cada uno de los embalses

Finalmente, es necesario indicar los nodos que se abastecen de cada uno de los embalses, para lo cual se ha considerado lo siguiente:

Embalse Laguna: abastece las demandas de riego en los nodos NO-23, NO-61 y NO-62. Embalse Puclaro: abastece las demandas de riego en los nodos NO-63, NO-64 y NO-65. Los canales aguas abajo del nodo NO-66 (Altovalsol), que en el modelo se abastecen desde el nodo NO-66, lo hacen en base a retornos y derrames, y no solicitan aguas al embalse.

5.2.10 Ríos

Los ríos considerados en la modelación son los del Cuadro 5-21 siguiente.

Cuadro 5-21
Ríos modelados

Código	Río
RI-01	Río La Laguna
RI-02	Río Turbio
RI-03	Estero Derecho
RI-04	Río Cochiguaz
RI-05	Río Claro
RI-06	Río Elqui
RI-07	Estero Culebrón

Los ríos fueron divididos en 20 tramos, de acuerdo con la cantidad de nodos. En el Cuadro 5-22 se presenta la topología de los tramos de río, y en el Cuadro 5-23 se han incluido las principales características de los tramos, una vez calibrado el modelo.

Cuadro 5-22
Topología tramos de río

Tramo	Río	Nodo inicial	Nodo final	Acuífero que recibe percolac.
TR-01	RI-01	NO-01	NO-11	N/A
TR-02	RI-01	NO-11	NO-21	N/A
TR-03	RI-02	NO-21	NO-22	N/A
TR-04	RI-02	NO-22	NO-23	N/A
TR-05	RI-02	NO-23	NO-24	AC-01
TR-06	RI-02	NO-24	NO-61	AC-01
TR-07	RI-03	NO-31	NO-51	AC-02
TR-08	RI-04	NO-41	NO-51	AC-03
TR-09	RI-05	NO-51	NO-52	AC-04
TR-10	RI-05	NO-52	NO-53	AC-06
TR-11	RI-05	NO-53	NO-61	AC-06
TR-12	RI-06	NO-61	NO-62	AC-07
TR-13	RI-06	NO-62	NO-62b	AC-07
TR-14	RI-06	NO-62b	NO-63	AC-07
TR-15	RI-06	NO-63	NO-64	AC-08
TR-16	RI-06	NO-64	NO-65	AC-09
TR-17	RI-06	NO-65	NO-66	AC-09
TR-18	RI-06	NO-66	NO-67	AC-09
TR-19	RI-06	NO-67	NO-72	AC-12
TR-20	RI-07	NO-71	NO-72	AC-11

Cuadro 5-23
Características calibradas de los tramos de río

Código del tramo	Largo (m)	Ancho (m)	Espesor estrato permeable (m)	Perm. Vert. K (m/s)	Coef rugos. Manning n	Pendiente i
TR-01	300	20	1,5	0,000007	0,025	0,038
TR-02	27516	26	1,5	0,000007	0,025	0,038
TR-03	18152	28	1,5	0,000007	0,025	0,025
TR-04	19383	28	1,5	0,000007	0,025	0,018
TR-05	27489	32	1,5	0,000007	0,025	0,015
TR-06	5760	32	1,5	0,000007	0,025	0,015
TR-07	23001	40	1,5	0,000007	0,025	0,040

Código del tramo	Largo (m)	Ancho (m)	Espesor estrato permeable (m)	Perm. Vert. K (m/s)	Coef rugos. Manning n	Pendiente i
TR-08	17055	26	1,5	0,000007	0,025	0,041
TR-09	10163	26	1,5	0,000007	0,025	0,023
TR-10	5804	40	1,5	0,000007	0,025	0,015
TR-11	1810	40	1,5	0,000007	0,020	0,015
TR-12	2918	44	1,5	0,000007	0,030	0,011
TR-13	29000	37	1,5	0,000007	0,030	0,011
TR-14	261	37	1,5	0,000007	0,030	0,011
TR-15	4905	29	1,5	0,000007	0,030	0,010
TR-16	9565	42	1,5	0,000007	0,030	0,009
TR-17	17445	61	1,5	0,000007	0,030	0,011
TR-18	14317	54	1,5	0,000007	0,030	0,007
TR-19	2000	54	1,5	0,000007	0,030	0,006
TR-20	12500	10	1,5	0,000700	0,070	0,009

5.2.11 Captaciones puntuales

Se refiere a las tomas que se producen en los nodos con fines diferentes a los de riego, como agua potable, industrial o minera, o pérdidas por evapotranspiración. Estas captaciones puntuales pueden o no tener retornos hacia el sistema. En el caso de la cuenca del Elqui, se definieron 10 captaciones puntuales, correspondientes nueve de ellas a evapotranspiración desde los cauces de río, y una a la toma puntual para el agua potable. Ninguna de ellas tiene retornos hacia la cuenca. Los retornos del agua potable se entregan al mar.

Las captaciones puntuales se presentan en el Cuadro 5-24.

Cuadro 5-24
Captaciones puntuales

Código CP	Nodo	Info	Caudal medio anual (m3/s)
CP-01	NO-23	ET	0,017
CP-02	NO-52	ET	0,026
CP-03	NO-61	ET	0,010
CP-04	NO-62	ET	0,127
CP-05	NO-63	ET	0,029
CP-06	NO-64	ET	0,042
CP-07	NO-65	ET	0,171
CP-08	NO-65	Captación AP	0,736
CP-09	NO-66	ET	0,155
CP-10	NO-72	ET	0,056

5.2.12 Descargas puntuales

Como descargas puntuales se consideraron los retornos de las aguas servidas urbanas desde las plantas de tratamiento, desde las localidades de Paihuano, Peralillo, Vicuña y Andacollo, entregadas a los nodos correspondientes. Estas descargas suman en total 28 l/s en la actualidad. La fuente para estas aguas potables son los diferentes acuíferos, desde los cuales se efectúan las extracciones de agua potable.

Las aguas servidas importantes en cantidad en la cuenca, son las de La Serena y Coquimbo. Como se ha dicho antes, estas aguas no vuelven a la cuenca, sino que son entregadas al mar (nodo 72).

De las localidades rurales, sólo Gualliguaica tiene alcantarillado y una planta de tratamiento, pero este caudal de retorno es despreciable dentro del contexto global.

En el Cuadro 5-25 se muestran las descargas puntuales consideradas en la modelación.

Cuadro 5-25
Descargas puntuales

Código	Nodo	Info	Caudal promedio (m3/s)
DP-001	NO-52	Paihuano	0,0012
DP-002	NO-63	Peralillo	0,0008
DP-003	NO-63	Vicuña	0,0180
DP-004	NO-65	Andacollo	0,0080
DP-005	NO-72	La Serena Coquimbo	0,5675

5.2.13 Demandas hidroeléctricas

No se han considerado demandas hidroeléctricas para la modelación. Durante el período de calibración son aún inexistentes, y posteriormente sólo se generarían las mismas aguas destinadas al riego, por lo que tampoco se han tenido en cuenta en la etapa de operación futura del modelo de simulación. Por lo tanto, las matrices correspondientes se mantienen vacías.

5.3 MODELO ELQUI: CALIBRACIÓN

El objetivo de la calibración del modelo hidrológico implementado para la cuenca del río Elqui, consiste en poder reproducir el flujo pasante en algunos puntos de control del río y, paralelamente, aunque con un menor grado de importancia, poder reproducir el nivel de las aguas subterráneas.

Los puntos de control para la calibración del modelo corresponden a nodos previamente escogidos y definidos topológicamente de manera de poder simular el caudal observado en las estaciones fluviométricas existentes en la cuenca. Estas estaciones fluviométricas deben contar con un registro histórico confiable, preferentemente continuo y con información suficiente para el período escogido para la calibración.

En el Cuadro 5-26 se detallan los nodos y estaciones correspondientes elegidas para la calibración.

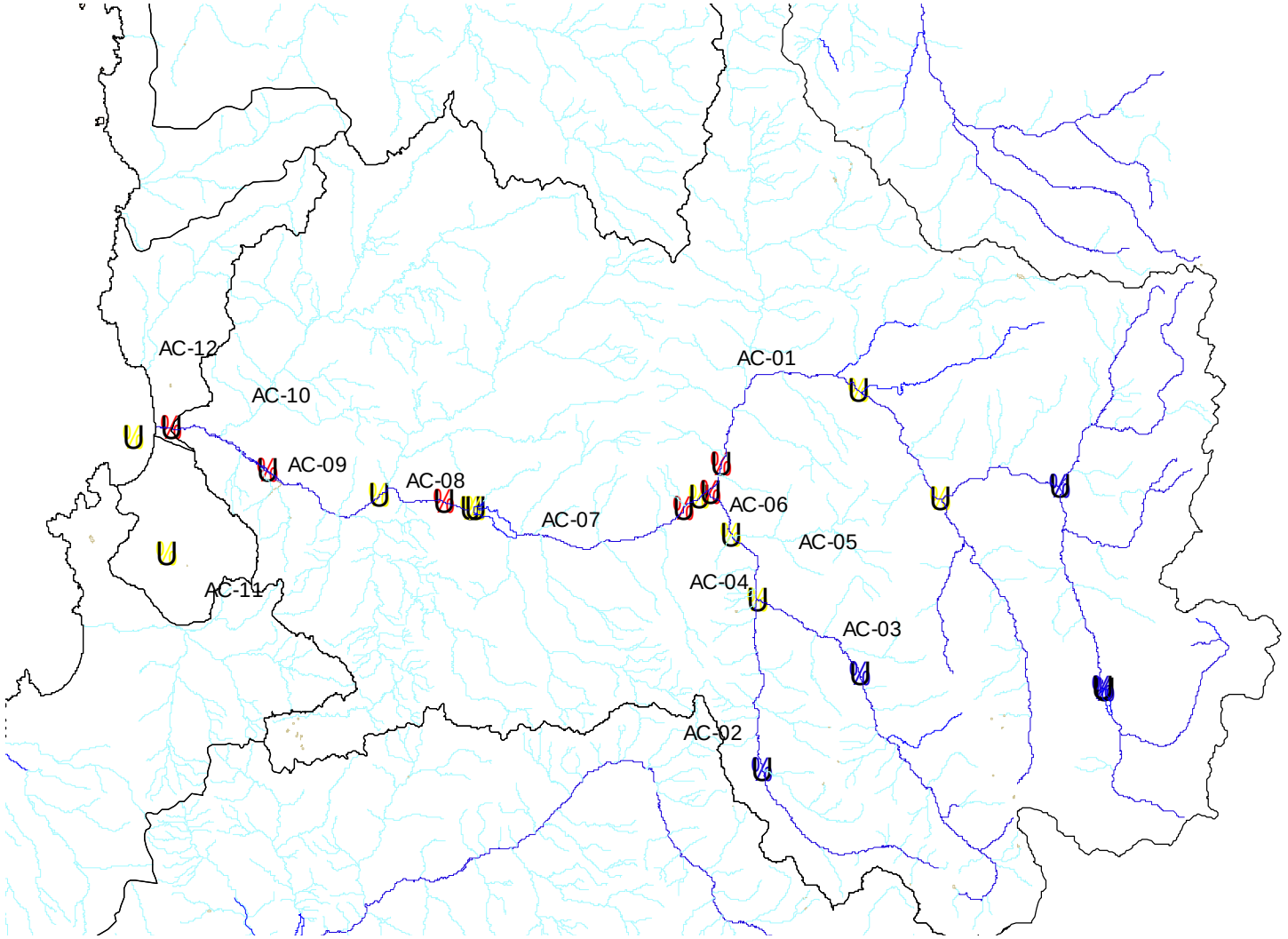
Cuadro 5-26
Nodos y Estaciones Fluviométricas
consideradas para la calibración del Modelo Magic-Elqui

NODO	Estación Fluviométrica	Período de Información
NO-11	La Laguna en Salida Embalse	1968-2004
NO-24	Río Turbio en Varillar	1968-2004
NO-53	Río Claro en Rivadavia	1968-2004
NO-62	Río Elqui en Algarrobal	1968-2004
NO-64	Río Elqui en Almendral	1968-2004
NO-66	Altovalsol	
NO-67	Río Elqui en la Serena	1985-2004
NO-67	Estero Culebrón en el Sifón	1986-2003

En el cuadro anterior, si bien el nodo NO-66, Altovalsol, no corresponde a una estación fluviométrica, se decidió observar los flujos modelados en este punto del río, pues de acuerdo con información obtenida de la Junta de Vigilancia del Río Elqui, la distribución de las acciones persigue dejar un caudal superficial nulo en ese punto. Los canales aguas abajo de ese punto viven de las recuperaciones.

En la Figura 5-13 se muestra la ubicación de los nodos en conjunto con la ubicación de las estaciones fluviométricas. En azul se observan las estaciones de cabecera, en rojo las estaciones de calibración, y en amarillo los demás nodos del modelo.

Figura 5-13
Nodos con estaciones fluviométricas de cabecera y de calibración cuenca río Elqui



5.3.1 Período de Calibración

Si bien se cuenta con información extendida para las estaciones fluviométricas consideradas en la calibración, se tuvo en cuenta que en la operación del valle, el embalse Puclaro empezó a funcionar el año 1999, por lo que la calibración se realizó para el período abril 1999- abril 2004. Este período representa más fielmente la condición actual de la cuenca.

Además, el período escogido de 5 años, incluye un año húmedo, el evento extremo correspondiente a septiembre 2002 -febrero 2003. Este evento se considera positivo para los fines de la calibración del modelo y del período escogido, puesto que si la modelación es capaz de representar tanto los caudales medios mensuales de los años normales como de este evento extremo, entonces se estará validando la bondad del ajuste logrado con el modelo.

5.3.2 Parámetros ajustados en la calibración.

Dentro de los parámetros que fueron ajustados en la calibración, se pueden nombrar los siguientes:

a) Tramos de río

Dentro de los parámetros que configuran los tramos de río, en la tabla RI_TRAMOS, fueron modificados los valores de

- espesor del estrato permeable (e) y
- coeficiente de permeabilidad vertical (k).

Ambos valores afectan básicamente la cantidad de agua que es percolada a través del lecho de río hacia el acuífero.

b) Eficiencia de distribución del agua dentro de cada zona de riego

Esta eficiencia se refiere a la conducción al interior de cada zona de riego, y se asumió como 1, debido a que las ineficiencias al interior de la zona de riego se incluyeron dentro del concepto de eficiencia de aplicación del riego predial. De todas formas, el modelo da la opción de diferenciar una ineficiencia de conducción al interior de cada zona de riego.

c) Caudales en cuencas aportantes no controladas

Durante el proceso de calibración se trabajó sobre la totalidad de los modelos de generación de caudales, pluviales (MPL) y nivales, buscando lograr los mejores ajustes. Fueron estimados los caudales de escorrentía en las cuencas aportantes nivales CL-01, CL-02, CL-03, CL-04 y AN-03, tomando como estación base para cada una de ellas la estación Río Turbio en Varillar en régimen natural. Con ésta última se logró una mejor representación de los caudales pasantes en el río Turbio antes de la junta con el río Claro (Turbio en Varillar) que tomando la estación base Toro antes La Laguna.

En la tabla ESTAD_Q de la matriz de datos de entrada del modelo, que se incluye en el Anexo Digital III, se presentan las estadísticas de caudal asumidas para cada una de estas subcuencas, como también las estadísticas de todas las subcuencas aportantes.

c) Coeficientes de Derrame y Percolación

Los valores de derrame y percolación se asignaron por paño de cultivo, en función de la eficiencia de aplicación de riego y de la naturaleza del suelo en cada paño. Internamente, el modelo calcula las eficiencias ponderadas resultantes para cada zona de riego. En el Cuadro 5-27 se presentan los valores de los coeficientes con los que finalmente se caracterizó cada una de las zonas de riego.

Cuadro 5-27
Parámetros de riego:
eficiencia de aplicación, coef. de derrame y coef. de percolación

Zona de riego	Efic.riego	Coef. Derr	Coef. Perc.
ZR-01	0,719	0,080	0,201
ZR-02	0,639	0,060	0,301
ZR-03	0,461	0,139	0,400
ZR-04	0,728	0,082	0,190
ZR-06	0,698	0,072	0,230
ZR-07	0,668	0,082	0,250
ZR-08	0,500	0,120	0,380
ZR-09	0,520	0,100	0,380
ZR-10	0,455	0,165	0,380
ZR-11	0,512	0,048	0,440
ZR-12	0,463	0,157	0,380

d) Parámetros de los sectores acuíferos

Para la calibración subterránea, se modificó la tabla AC_PARAM, que contiene los parámetros que definen la geometría y las características de los acuíferos. Los parámetros ajustados para lograr una buena representatividad de los niveles y cotas promedio de cada sector acuífero, corresponden a:

- Coeficiente de almacenamiento
- Coeficientes de permeabilidad hidráulica horizontal en las secciones de entrada y salida, y
- Tipo de sección considerada para el acuífero. Originalmente se usó una sección tipo triangular para todos los sectores, sin embargo, de acuerdo con el comportamiento observado de los niveles freáticos, los sectores acuíferos de Santa Gracia, AC-10, y Pan de Azúcar, AC-11, se comportan mejor con secciones de tipo rectangular.

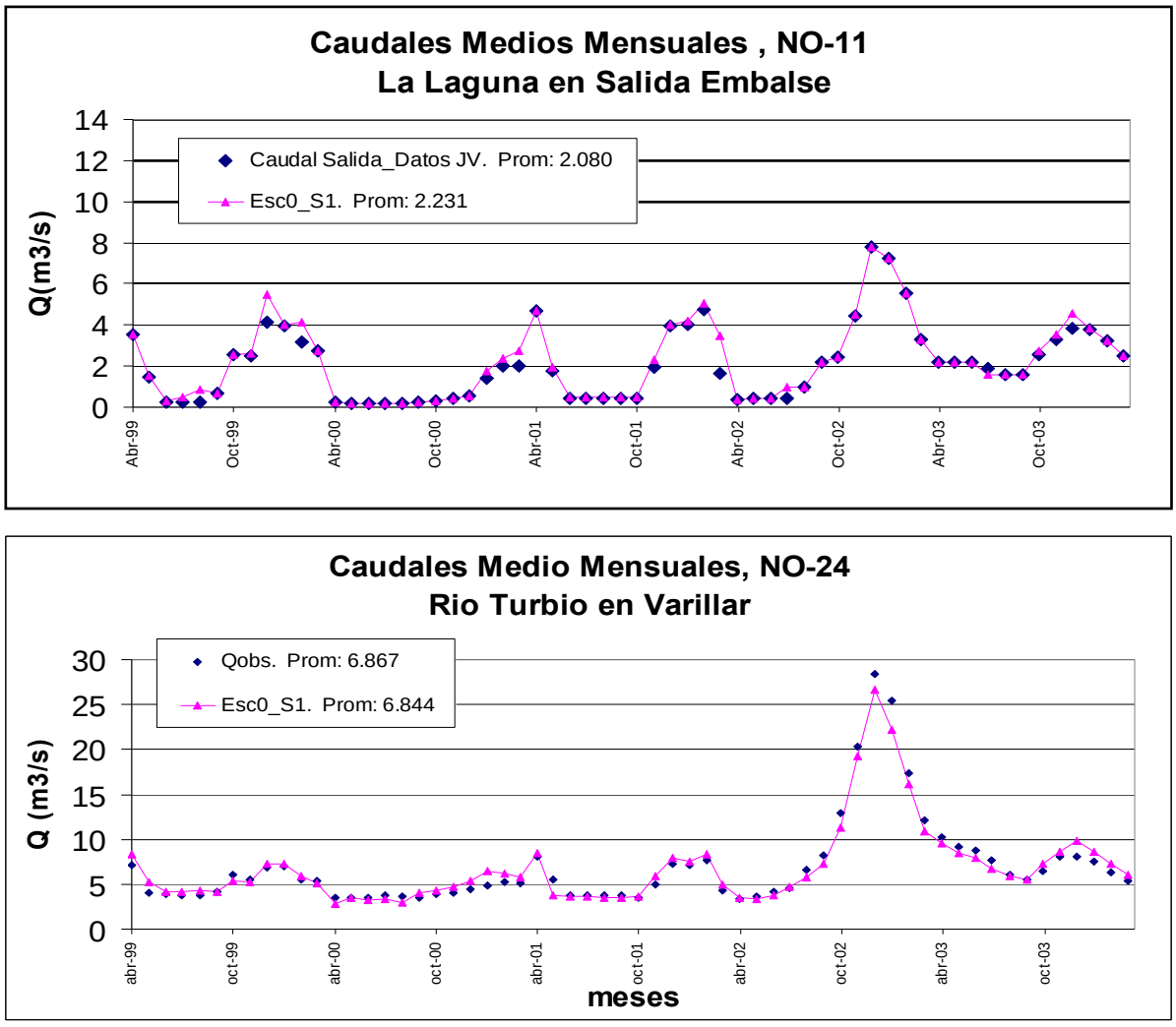
Los valores finales adoptados en la tabla AC_PARAM se mostraron en el Cuadro 5-8 antecedente.

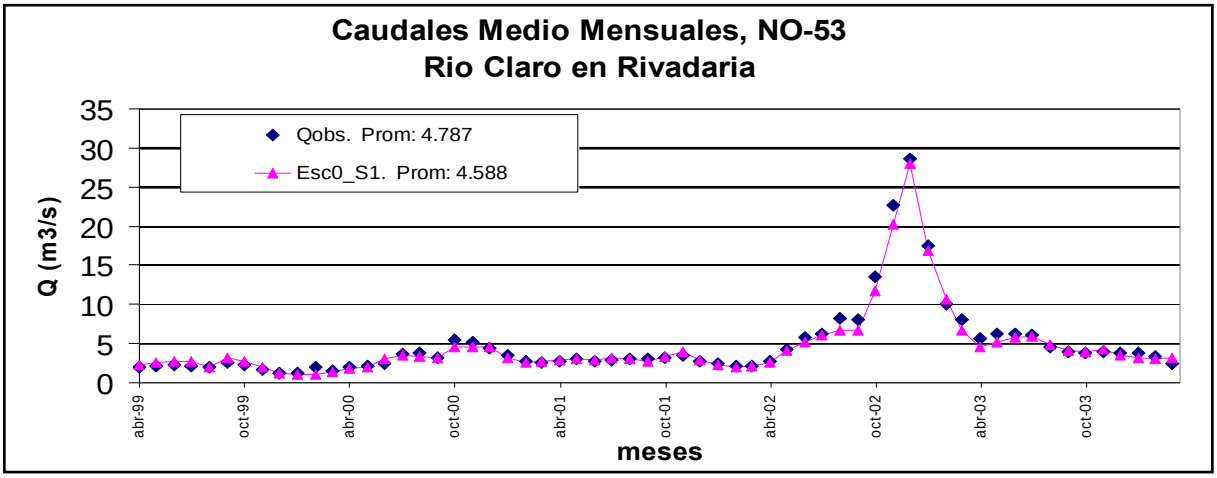
5.3.3 Análisis del escenario de calibración

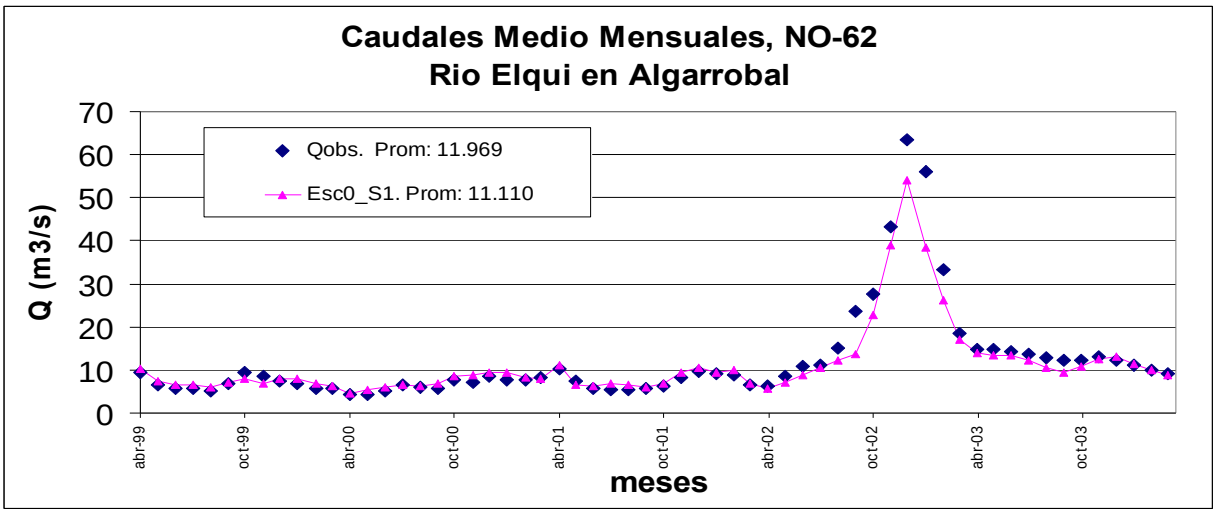
a) Calibración superficial

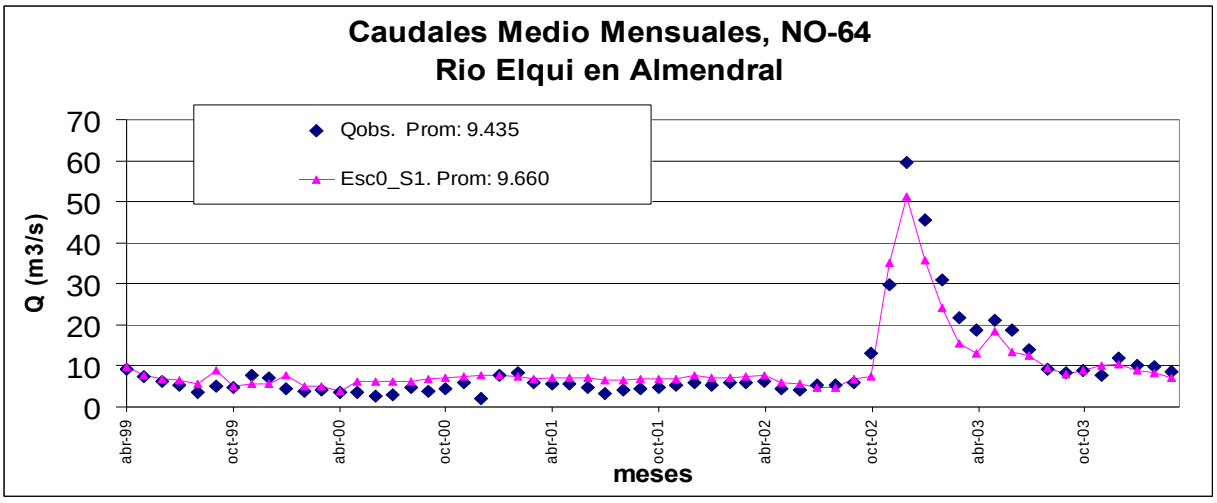
La calibración superficial consistió en ajustar los valores de los caudales observados en el río en ciertos puntos de control, con los caudales obtenidos con la modelación. A continuación, en la Figura 5-14 se presenta de manera gráfica la comparación entre los caudales medidos y los caudales simulados.

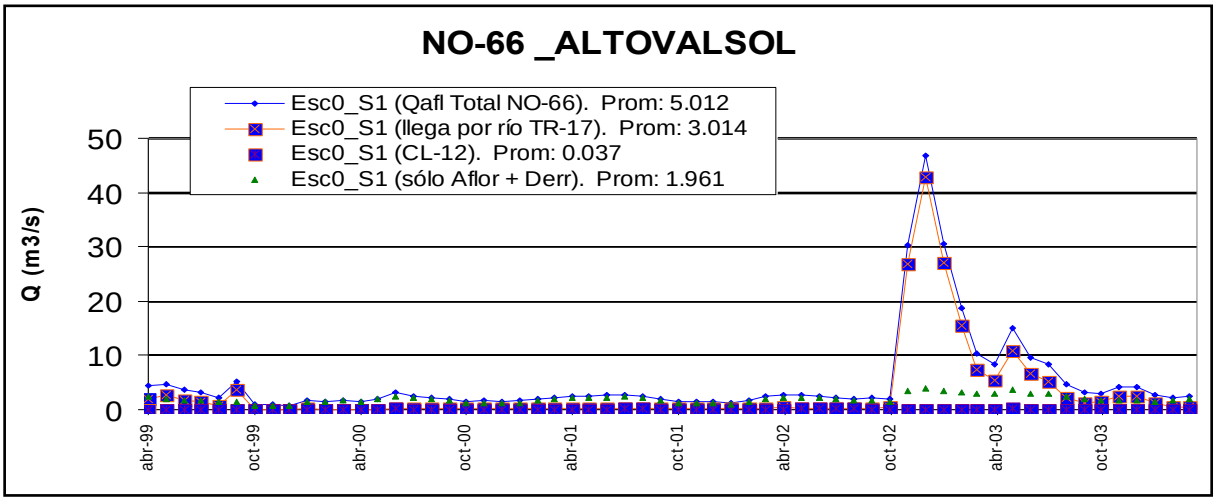
Figura 5-14
Comparación entre caudales medidos y simulados en estaciones de calibración

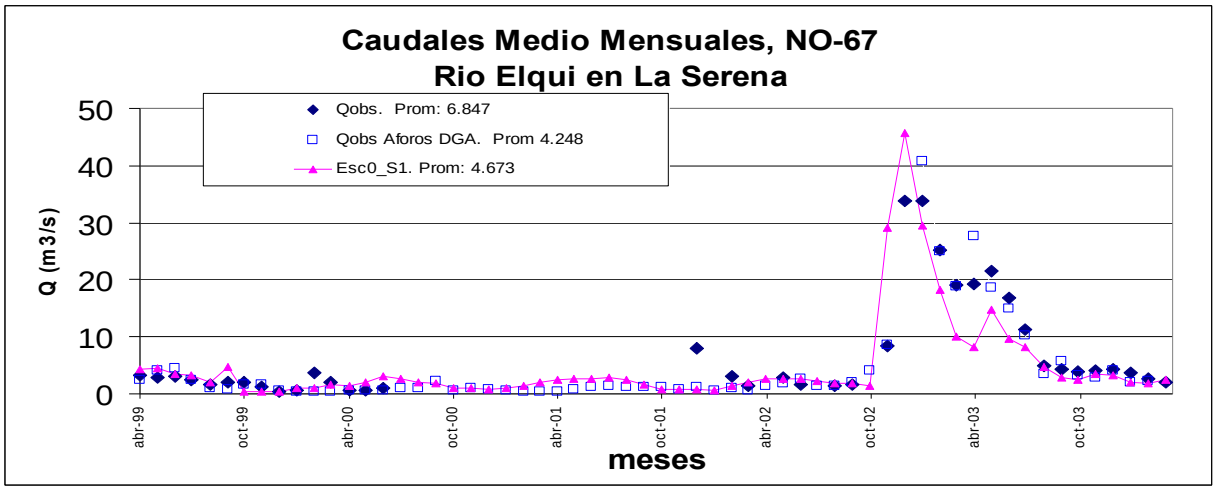


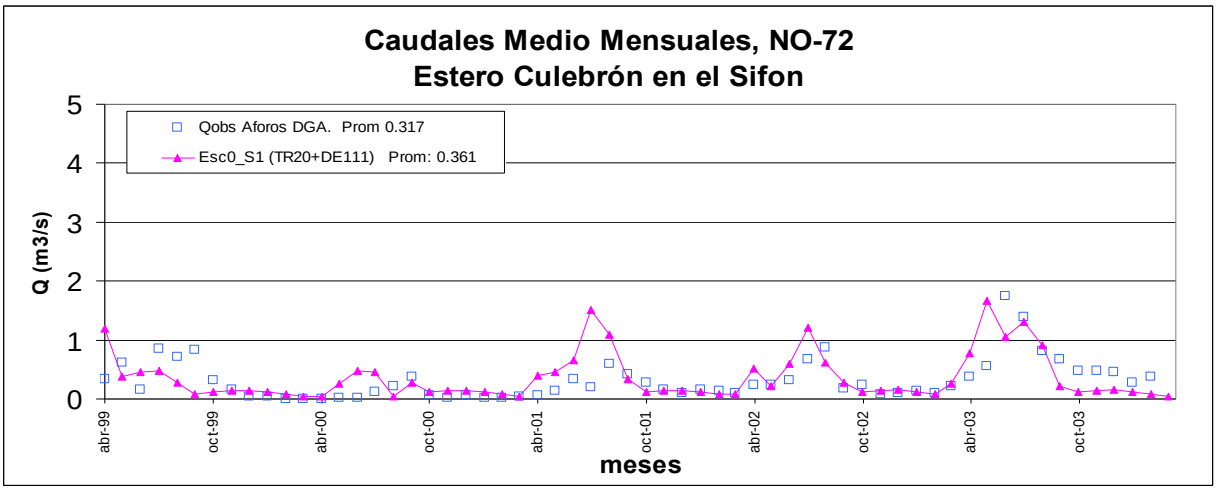

Caudales Medio Mensuales, NO-53
Rio Claro en Rivadaria
Qobs. Prom: 4.787
Esc0_S1. Prom: 4.588
Q (m3/s)
meses
0
5
10
15
20
25
30
35
abr-99
oct-99
abr-00
oct-00
abr-01
oct-01
abr-02
oct-02
abr-03
oct-03


Caudales Medio Mensuales, NO-62
Rio Elqui en Algarrobal
Qobs. Prom: 11.969
Esc0_S1. Prom: 11.110
Q (m3/s)
meses
0
10
20
30
40
50
60
70
abr-99
oct-99
abr-00
oct-00
abr-01
oct-01
abr-02
oct-02
abr-03
oct-03


Caudales Medio Mensuales, NO-64
Rio Elqui en Almendral
Qobs. Prom: 9.435
Esc0_S1. Prom: 9.660
Q (m3/s)
meses
0
10
20
30
40
50
60
70
abr-99
oct-99
abr-00
oct-00
abr-01
oct-01
abr-02
oct-02
abr-03
oct-03


NO-66 _ALTOVALSOL
Esc0_S1 (Qafl Total NO-66). Prom: 5.012
Esc0_S1 (llega por río TR-17). Prom: 3.014
Esc0_S1 (CL-12). Prom: 0.037
Esc0_S1 (sólo Aflor + Derr). Prom: 1.961
Q (m3/s)
0
10
20
30
40
50
abr-99
oct-99
abr-00
oct-00
abr-01
oct-01
abr-02
oct-02
abr-03
oct-03


Caudales Medio Mensuales, NO-67
Rio Elqui en La Serena
Qobs. Prom: 6.847
Qobs Aforos DGA. Prom 4.248
Esc0_S1. Prom: 4.673
Q (m3/s)
0
10
20
30
40
50
abr-99
oct-99
abr-00
oct-00
abr-01
oct-01
abr-02
oct-02
abr-03
oct-03
meses


Caudales Medio Mensuales, NO-72
Estero Culebrón en el Sifon
Qobs Aforos DGA. Prom 0.317
Esc0_S1 (TR20+DE111) Prom: 0.361
Q (m3/s)
0
1
2
3
4
5
abr-99
oct-99
abr-00
oct-00
abr-01
oct-01
abr-02
oct-02
abr-03
oct-03
meses

En general, se puede observar un buen ajuste entre los valores medidos y los simulados en el período de calibración. Para años extremos, la simulación entrega valores por debajo de los observados, lo que se atribuye al modelo nivel, y en todo caso se puede considerar conservador en términos de disponibilidad del recurso.

Si bien para Altovalsol, NO-66, no existen datos observados, se decidió graficar las curvas de
- caudal afluente total (Qafl Total)
- caudal que llega sólo a través del tramo de río TR-17 y
- caudal de afloramiento más derrames desde zonas de riego

para mostrar que el caudal afluente por el río en efecto, en períodos secos, llega al valor cero.

b) Calibración subterránea

En la calibración subterránea, el objetivo es tratar de reproducir la variación o señal de la cota piezométrica que el acuífero muestra en la realidad. Es necesario recordar que el modelo Magic es un modelo de balance, donde no hay una representación acuciosa del acuífero, por lo que el comportamiento simulado no pretende reproducir exactamente las variaciones medidas, pro sí debe comportarse dentro de un rango razonable, y reproducir las grandes señales.

Para obtener la cota piezométrica asociada a cada sector acuífero, y que tenga variación mensual, se utilizan los resultados del estado del volumen final de cada uno de los acuíferos, entregados en los archivos del tipo AC-XX.txt del modelo Magic.

Para los sectores acuíferos AC-01 al AC-09 y AC-12, la sección es de tipo triangular, por lo que el cálculo de la cota del nivel piezométrico (h) depende del ancho estimado en función del volumen en cada mes, todo lo anterior afectado por el coeficiente de almacenamiento y por el largo del tramo acuífero. Para los sectores AC-10 y AC-11, el cálculo resulta más simple, siendo la cota inversamente proporcional al coeficiente de almacenamiento (Sy) y al área del relleno en planta (W x L)

A continuación, en la Figura 5-15 se muestra la ubicación de los pozos con registro de nivel por parte de la DGA. En la Figura 5-16 se muestran los gráficos de la calibración subterránea para cada uno de los sectores. En algunos sectores hay varios pozos de observación, en otros uno solo o ninguno. El comportamiento simulado aparece en rojo, mientras que el comportamiento observado se muestra en varios colores.

Figura 5-15
Ubicación de pozos de observación DGA

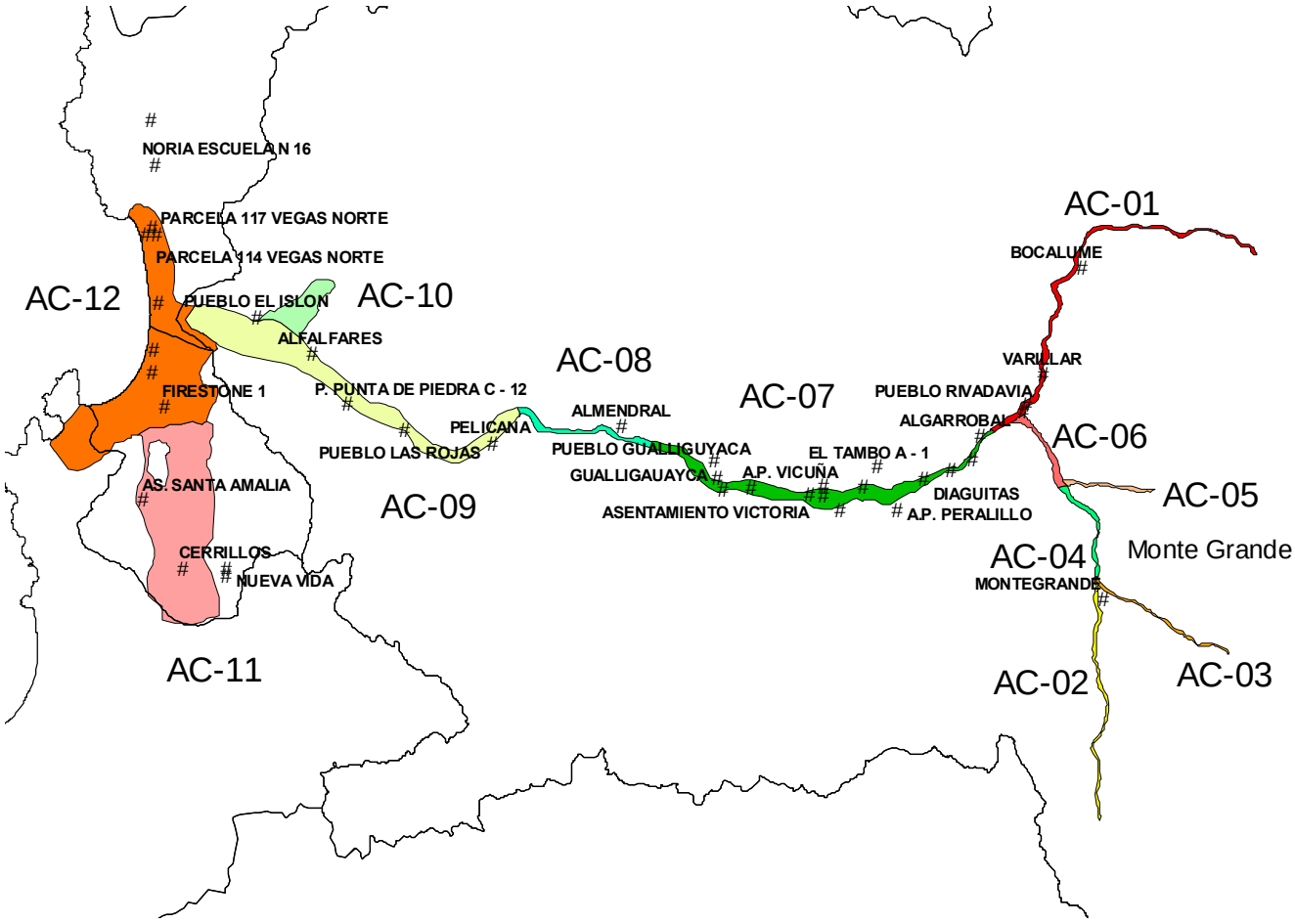
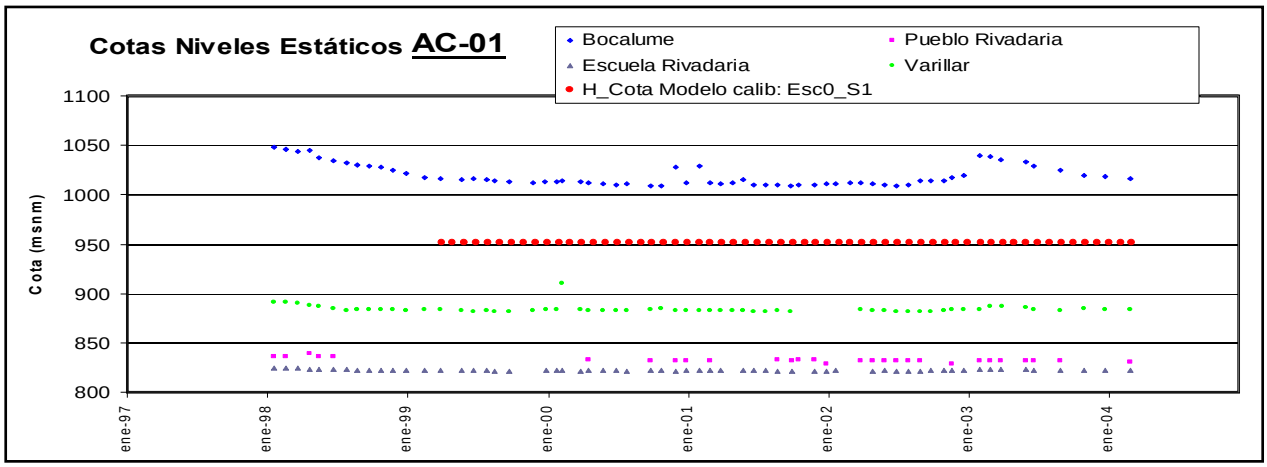
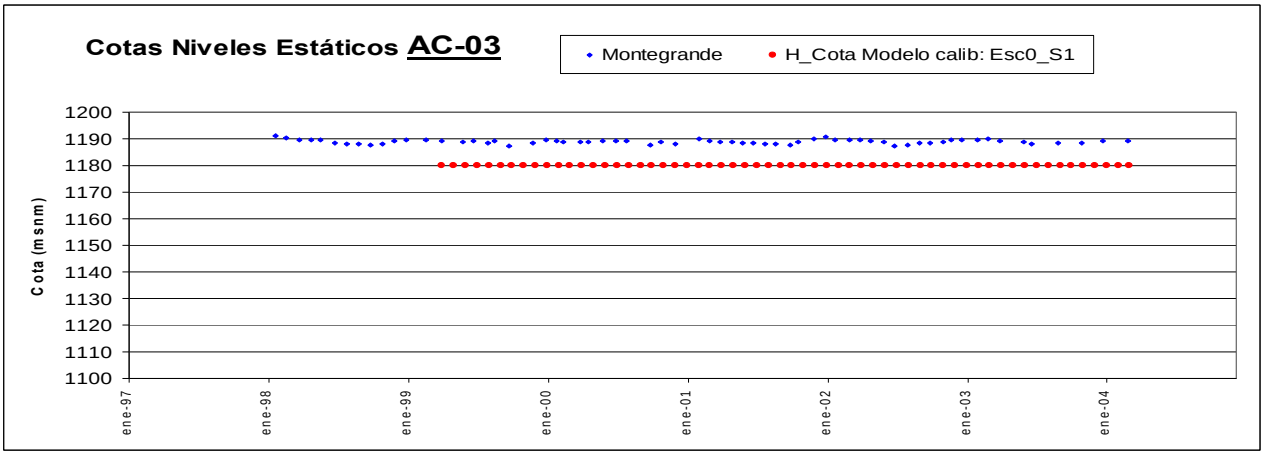
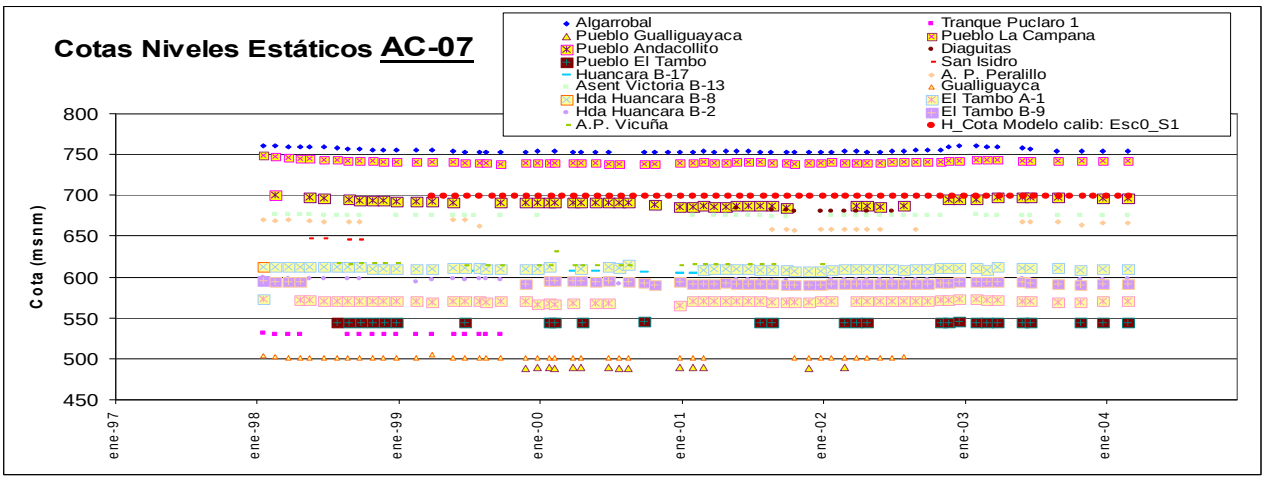
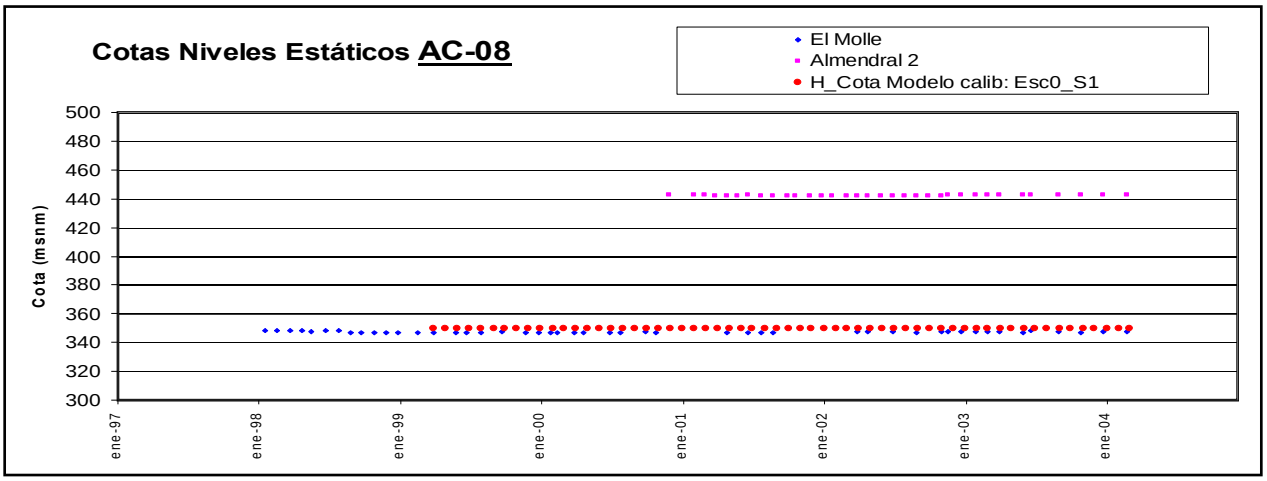


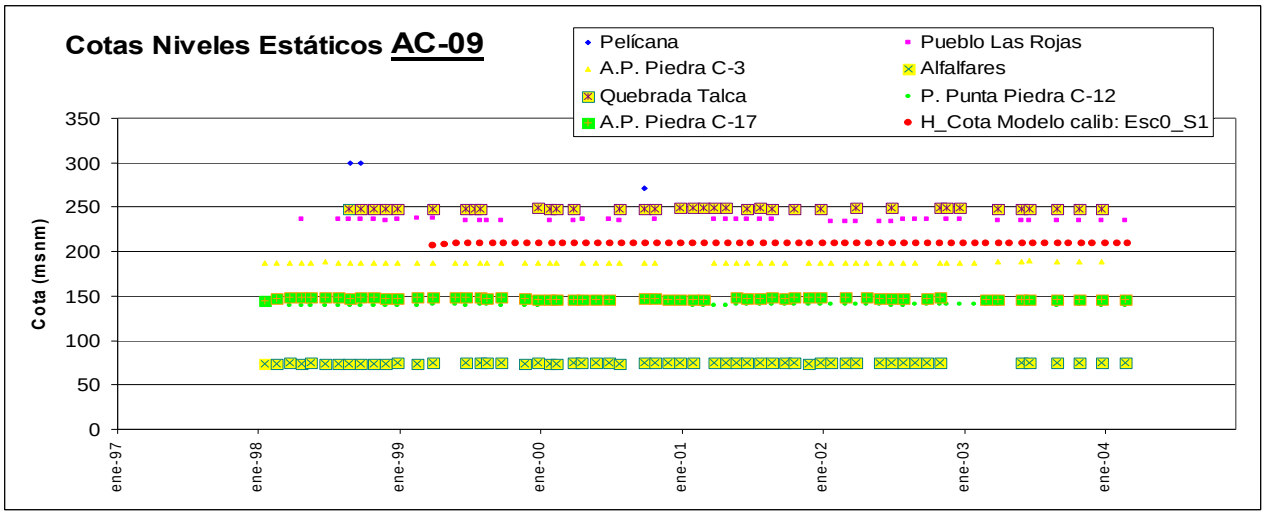
Figura 5-16
Comportamiento observado y simulado en acuíferos cuenca Elqui

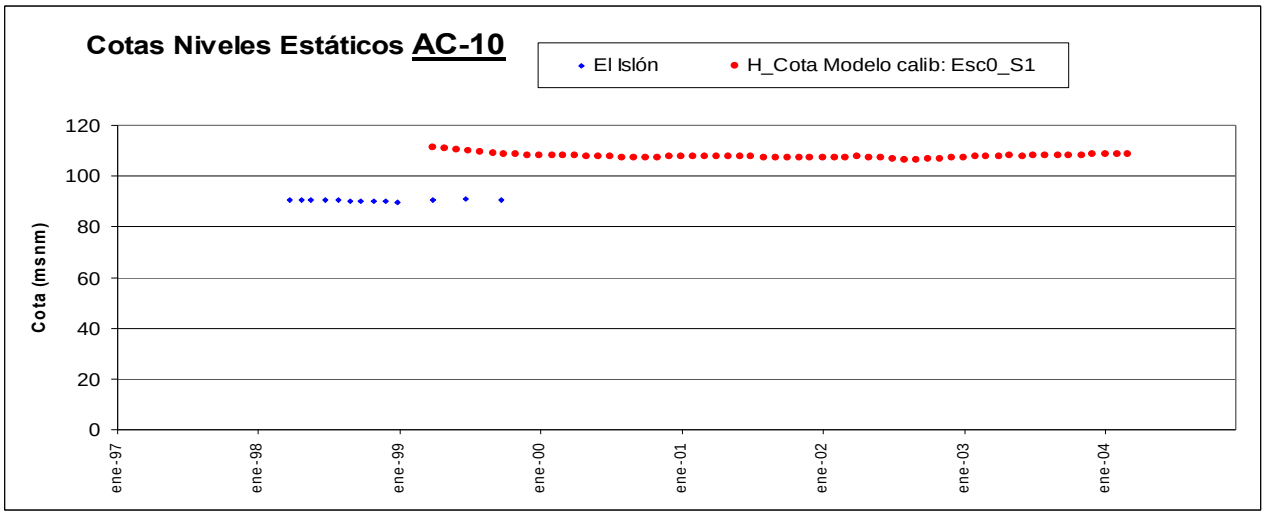


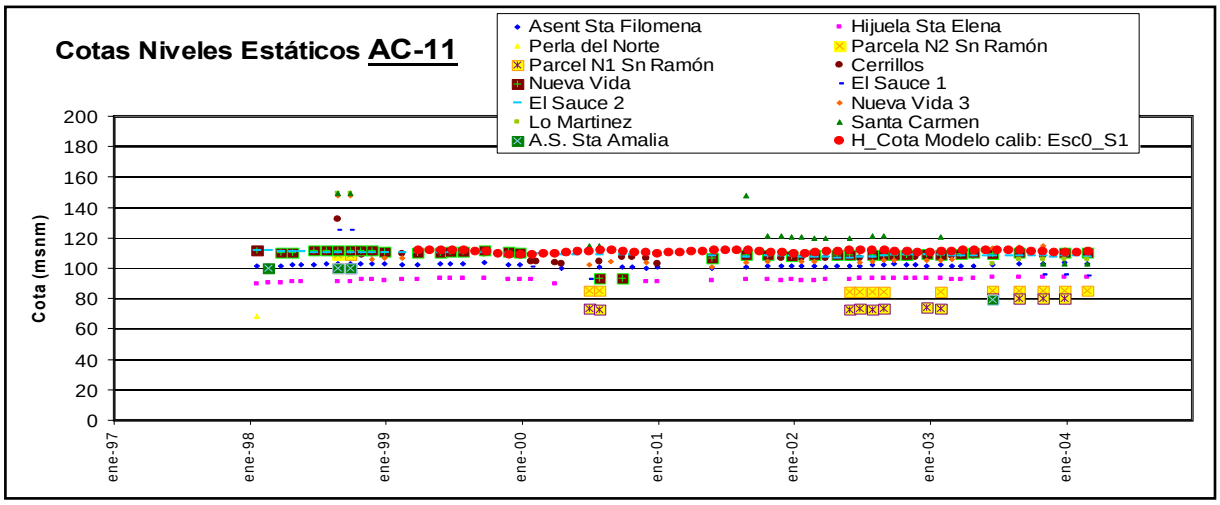


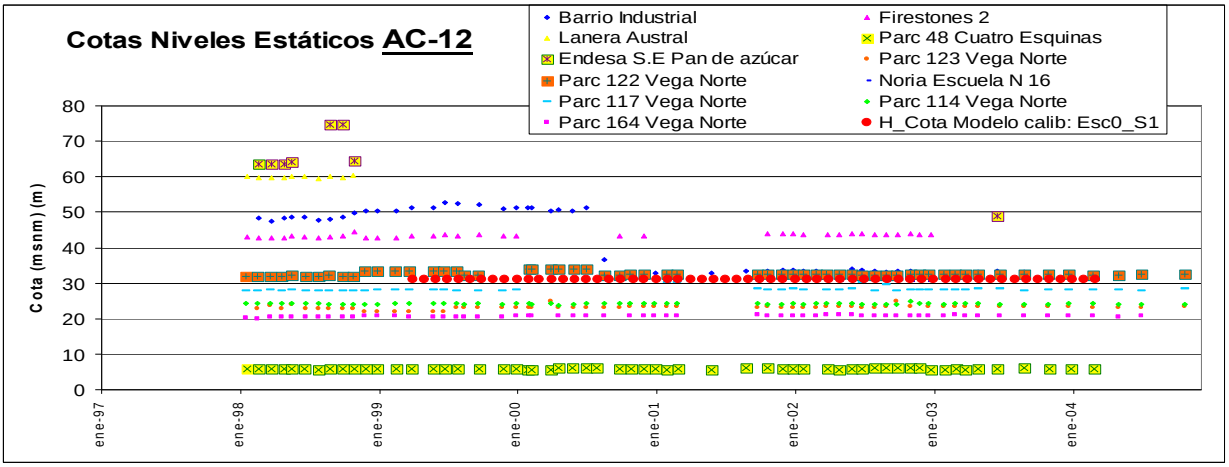



Cotas Niveles Estáticos AC-08
El Molle
Almendral 2
H_Cota Modelo calib: Esc0_S1
Cota (msnm)
500
480
460
440
420
400
380
360
340
320
300
ene-97
ene-98
ene-99
ene-00
ene-01
ene-02
ene-03
ene-04


Cotas Niveles Estáticos AC-09
Pelícana
Pueblo Las Rojas
A.P. Piedra C-3
Alfalfares
Quebrada Talca
P. Punta Piedra C-12
A.P. Piedra C-17
H_Cota Modelo calib: Esc0_S1
Cota (msnm)
350
300
250
200
150
100
50
0
ene-97
ene-98
ene-99
ene-00
ene-01
ene-02
ene-03
ene-04


Cotas Niveles Estáticos AC-10
El Islón
H_Cota Modelo calib: Esc0_S1
Cota (msnm)
120
100
80
60
40
20
0
ene-97
ene-98
ene-99
ene-00
ene-01
ene-02
ene-03
ene-04





En general se observa lo siguiente: Para los sectores acuíferos AC-01 y AC-03, se puede decir que la variación de los niveles observados en el tiempo es casi nula y en general también para el resto del valle. Para el caso de los pozos Bocalume y Montegrande, éstos presentan algunas variaciones, las que, sin embargo, corresponden a la ubicación más bien lateral y fuera del acuífero principal de estos pozos. El modelo, al representar el acuífero principal, no puede reproducir tales variaciones.

El sector acuífero AC-07 es el sector más largo en extensión, pero también muy estrecho, y tiene una densidad alta de pozos de observación. La variación de los niveles también es casi nula en todos ellos, lo que obedece a la baja tasa de uso de este acuífero. El modelo entrega un nivel o cota piezométrica que no escapa de lo real.

Lamentablemente no hay una buena estadística del comportamiento observado en el acuífero AC-10 (Santa Gracia). El comportamiento simulado, donde el nivel del acuífero permanece relativamente estable, obedece a una reducción en la capacidad de bombeo, de 203 a 160 l/s,

pues en las condiciones de la calibración, el acuífero no es capaz de entregar los 203 l/s que están comprometidos a la fecha.

En el acuífero 11, Pan de Azúcar, se observa una notable coherencia entre lo observado y lo simulado. Este acuífero tiene una gran cantidad de derechos (3,54 m3/s, 2,81 m3/s para riego), los que llegan a ser efectivamente explotados durante algunos meses del año. Esta condición es una nueva condición de equilibrio, el acuífero se mantiene estable, sin tendencias de descenso, lo que significa que el límite a la explotación que ha impuesto la DGA es razonable. Los niveles simulados se ajustan bien a la realidad y se consideran, por lo tanto, aceptables.

c) Comportamiento de embalses

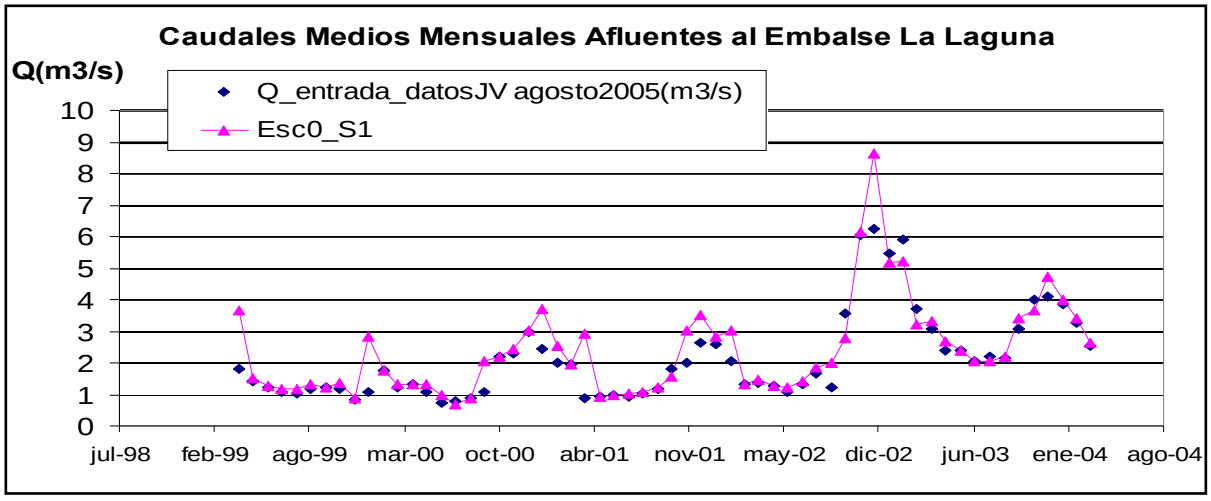
Todo el comportamiento anteriormente calibrado se verifica a través del comportamiento de los embalses. Conocidas las extracciones de ellos, y su estado, es posible contrastarlas con las extracciones que simula el modelo a partir de las demandas impuestas aguas abajo, y los estados de embalse resultantes de las entradas y salidas.

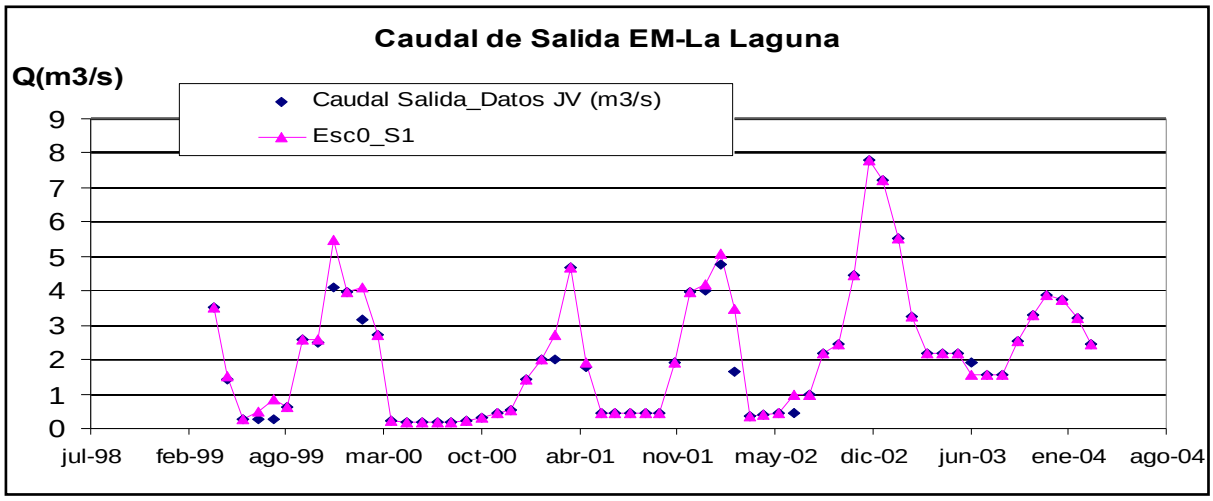
A continuación se presentan, para cada uno de los embalses, sus comportamientos observados y simulados.

i) Embalse La Laguna

Para el embalse La Laguna se pueden comparar los valores observados y simulados de las siguientes variables: caudales de entrada, estado del embalse y caudales de salida, que se presentan en la Figura 5-17 adjunta. Los gráficos muestran que el modelo, en la forma en que quedó calibrado, representa satisfactoriamente bien la realidad.

Figura 5-17
Caudales de entrada, de salida y estado del embalse La Laguna

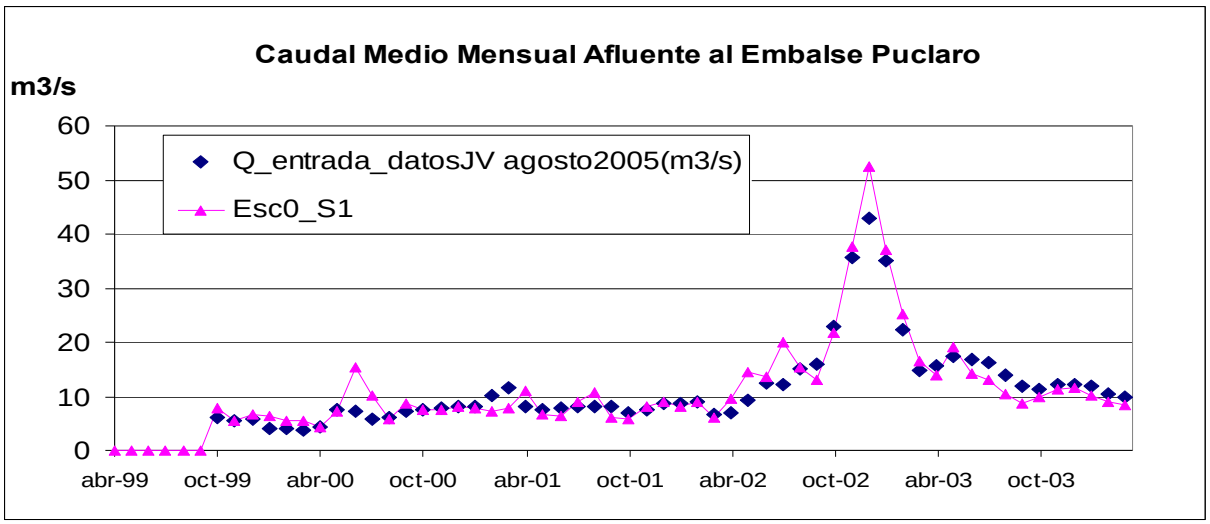


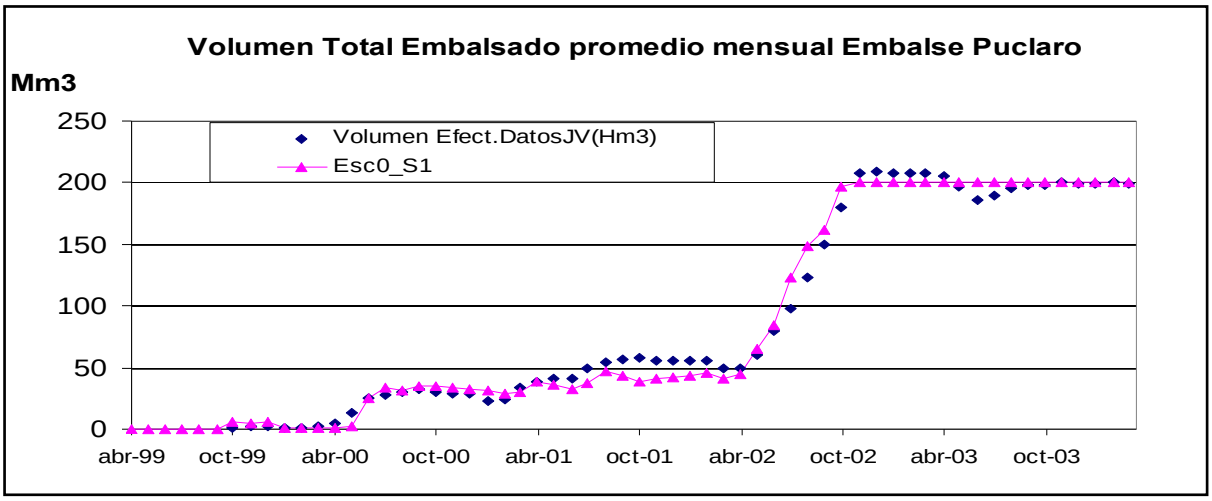


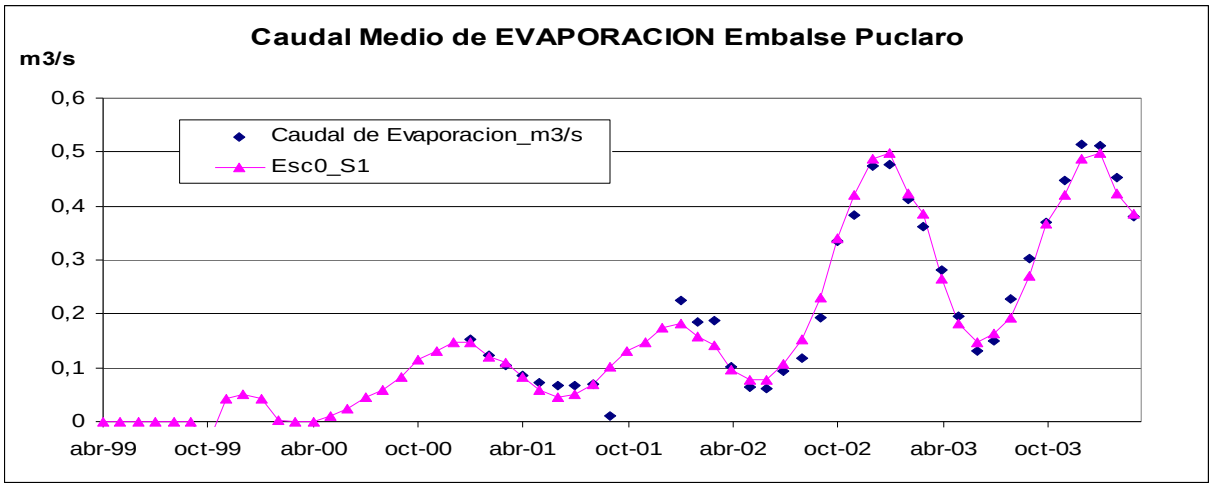
ii) Embalse Puclaro

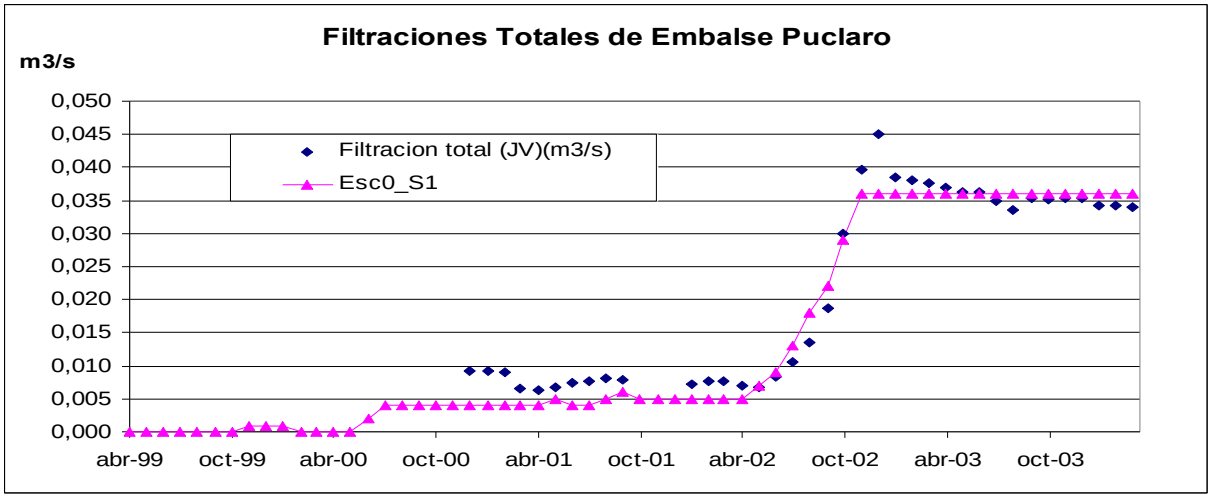
Para el embalse Puclaro se pueden comparar los valores observados y simulados de las siguientes variables: caudal de entrada, estado del embalse, filtraciones, evaporación, rebases y caudal de salida, los que se presentan en la Figura 5-18 adjunta. Los gráficos muestran que el modelo, en la forma en que quedó calibrado, representa satisfactoriamente bien la realidad.

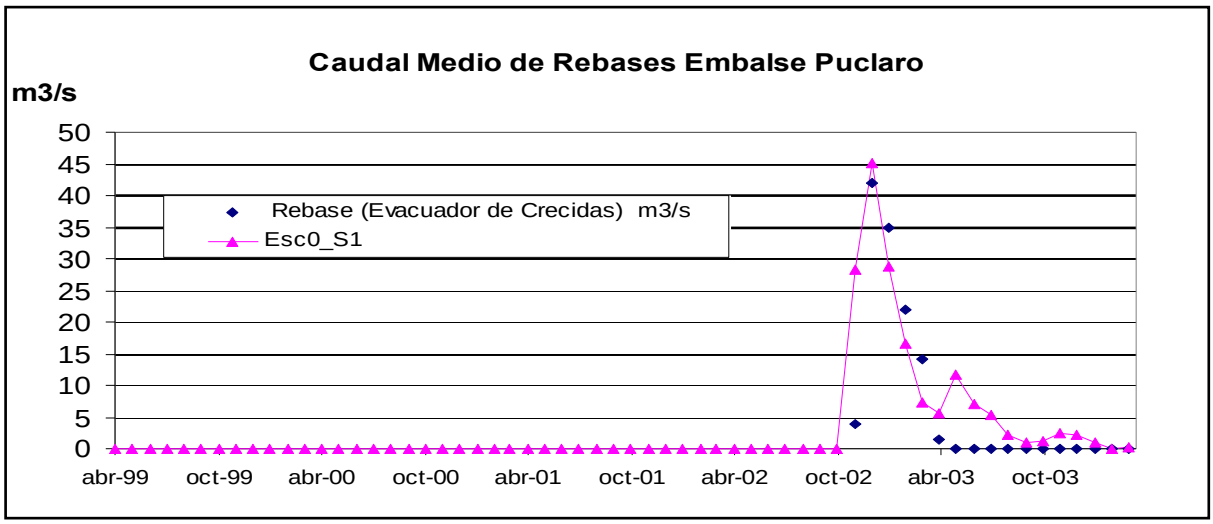
Figura 5-18
Caudal de entrada, estado, filtraciones, evaporación, rebases y caudal de salida embalse Puclaro

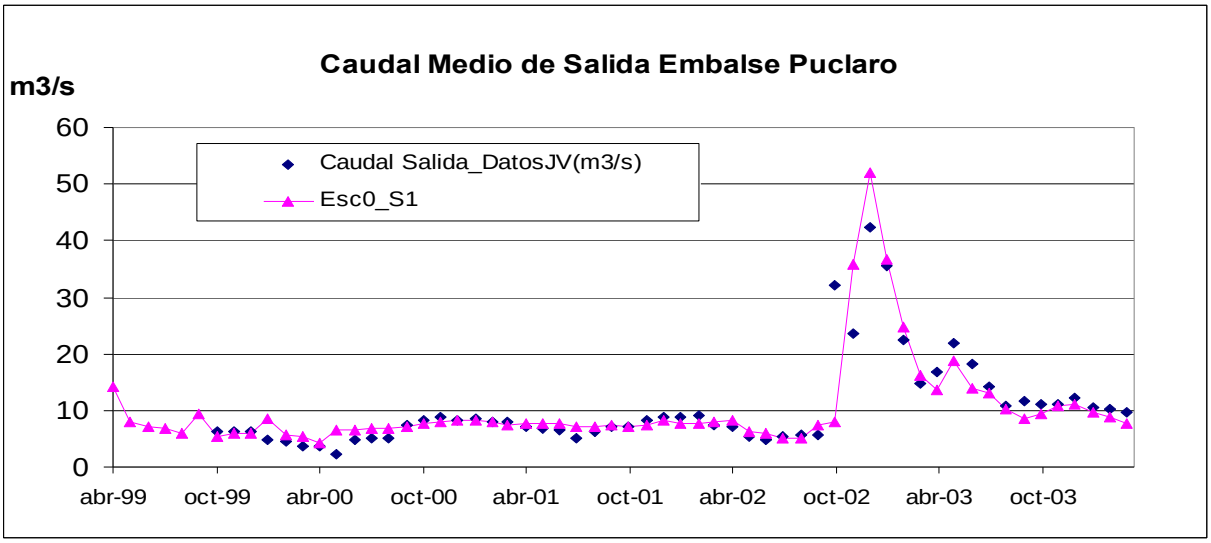



Volumen Total Embalsado promedio mensual Embalse Puclaro
Mm3
250
200
150
100
50
0
Volumen Efect.DatosJV(Hm3)
Esc0_S1
abr-99
oct-99
abr-00
oct-00
abr-01
oct-01
abr-02
oct-02
abr-03
oct-03


Caudal Medio de EVAPORACION Embalse Puclaro
m3/s
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
Caudal de Evaporacion_m3/s
Esc0_S1
abr-99
oct-99
abr-00
oct-00
abr-01
oct-01
abr-02
oct-02
abr-03
oct-03


Filtraciones Totales de Embalse Puclaro
m3/s
0,050
0,045
0,040
0,035
0,030
0,025
0,020
0,015
0,010
0,005
0,000
Filtracion total (JV)(m3/s)
Esc0_S1
abr-99
oct-99
abr-00
oct-00
abr-01
oct-01
abr-02
oct-02
abr-03
oct-03


Caudal Medio de Rebases Embalse Puclaro
m3/s
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
Rebase (Evacuador de Crecidas) m3/s
Esc0_S1
abr-99
oct-99
abr-00
oct-00
abr-01
oct-01
abr-02
oct-02
abr-03
oct-03


Caudal Medio de Salida Embalse Puclaro
m3/s
60
50
40
30
20
10
0
Caudal Salida_DatosJV(m3/s)
Esc0_S1
abr-99
oct-99
abr-00
oct-00
abr-01
oct-01
abr-02
oct-02
abr-03
oct-03

5.4 MODELO ELQUI: RESULTADOS

El modelo se desarrolló para poder dar respuesta a las siguientes interrogantes planteadas en los términos de referencia del presente estudio, y que son de muy difícil análisis en el caso de no contarse con un modelo integrado:

- Grado de utilización del recurso hídrico
- Interacción entre aguas superficiales y subterráneas
- Comportamiento de acuíferos
- Seguridad de riego
- Flujos de retorno
- Se agregó, por considerarse importante, el análisis de las salidas al mar

A continuación se desarrolla cada uno de estos aspectos, los cuales se apoyan con figuras. En estas figuras se ha tratado de no variar la escala vertical, para mostrar visualmente la importancia relativa entre las diferentes zonas de riego. Además, para que se pueda apreciar los valores, se ha agregado en la leyenda el valor promedio de la serie para cada variable analizada.

No hay gráficos para la zona 5, Quebrada de Paihuano, porque esta zona, aunque fue caracterizada, no pudo ser incluida en la modelación por falta de información. No obstante ello, también fue considerada en el modelo, a través de una demanda con distribución mensual que fue restada del aporte natural que llega a la cuenca desde esta subcuenca.

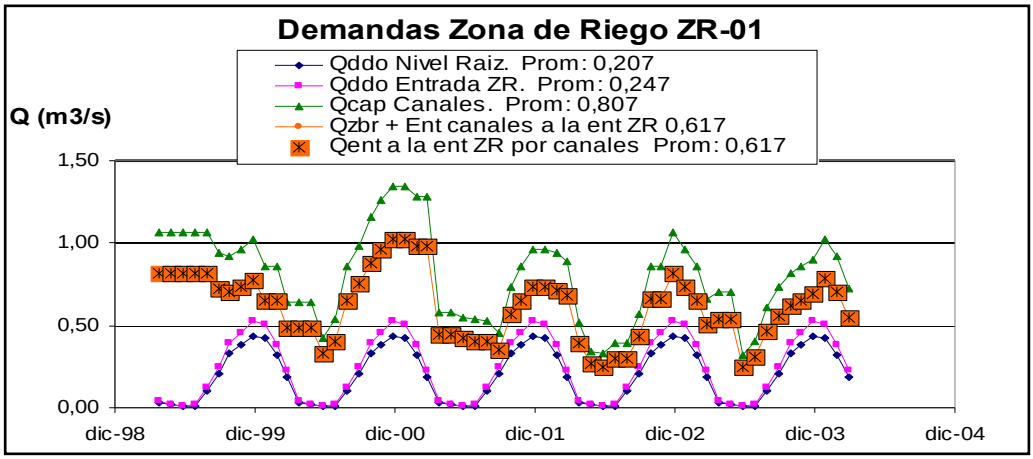
5.4.1 Grado de utilización del recurso hídrico

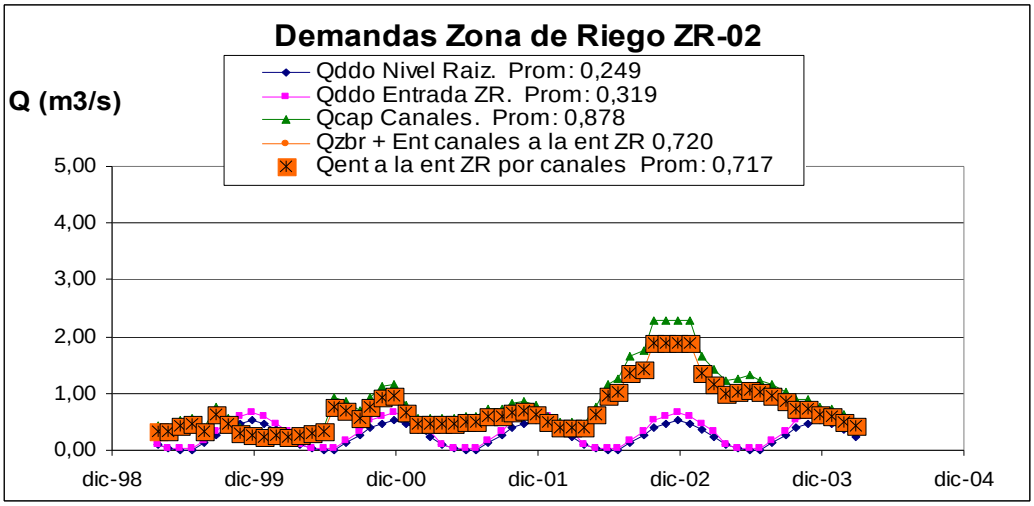
Este tema se analiza a través de la comparación entre las diferentes demandas que se obtienen para cada zona de riego:

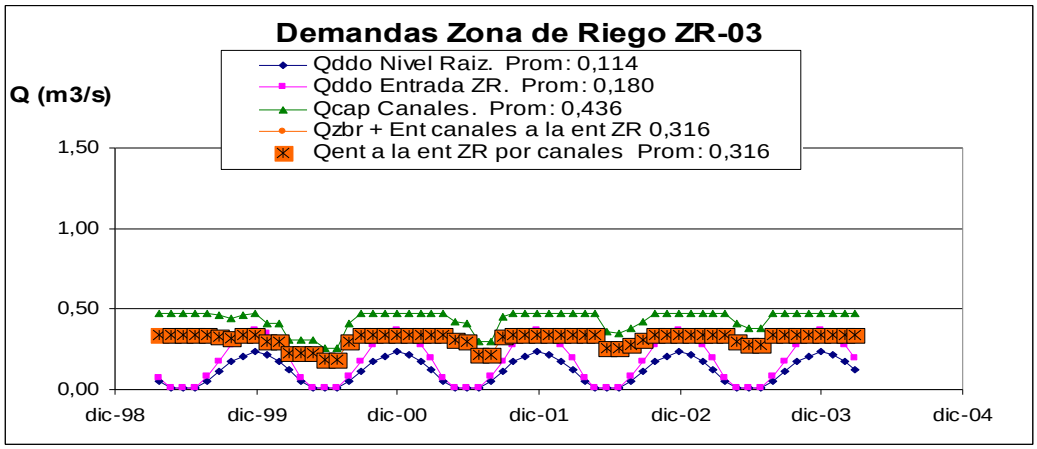
- las demandas a nivel raíz de los cultivos
- las demandas en la entrada de cada zona de riego, considerando método de riego (o eficiencia de aplicación) y eficiencia de conducción intrapredial
- la entrega de agua en bocatoma, que corresponde a los desmarques
- la entrega de agua superficial (por canal) a la zona de riego
- la entrega total de agua a la zona de riego, agregando a lo anterior el bombeo que se produce cuando hay déficit

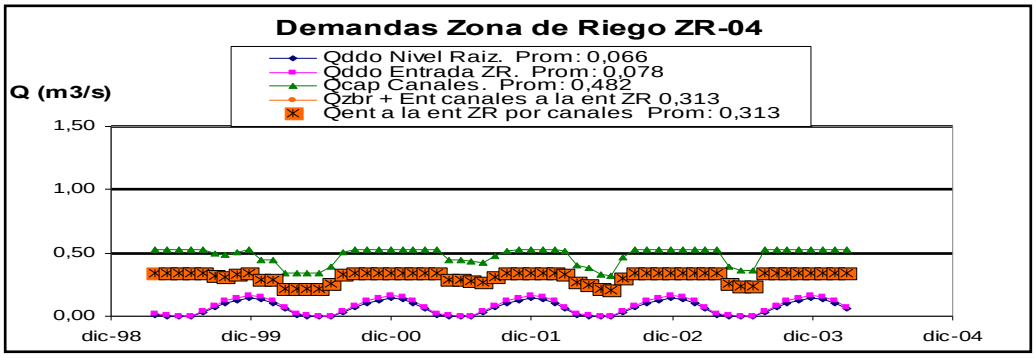
Los cinco tipos de demanda obtenidos se presentan en la Figura 5-19 adjunta, por zona de riego.

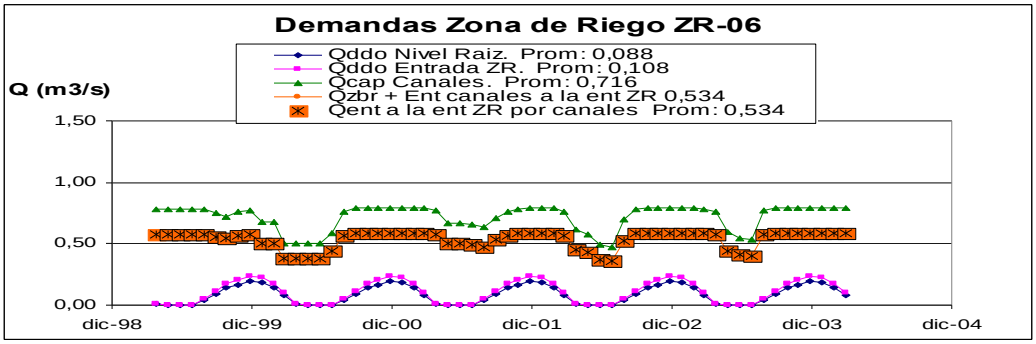
Figura 5-19
Caudales demandados y recibidos a nivel de zona de riego

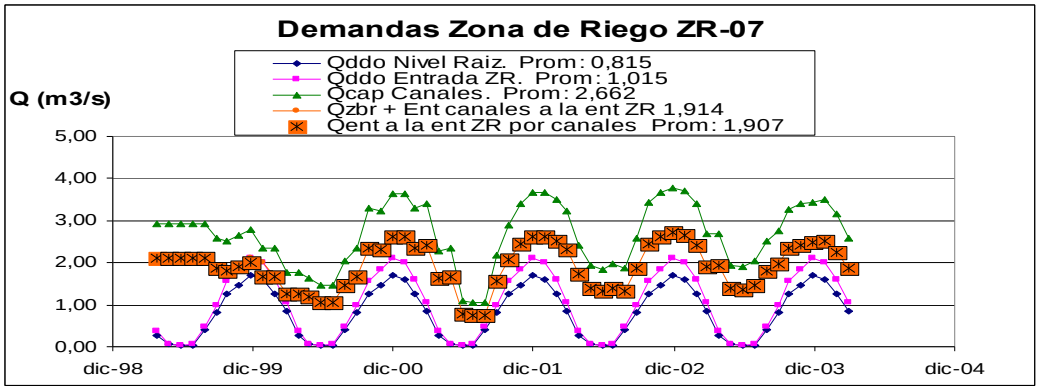


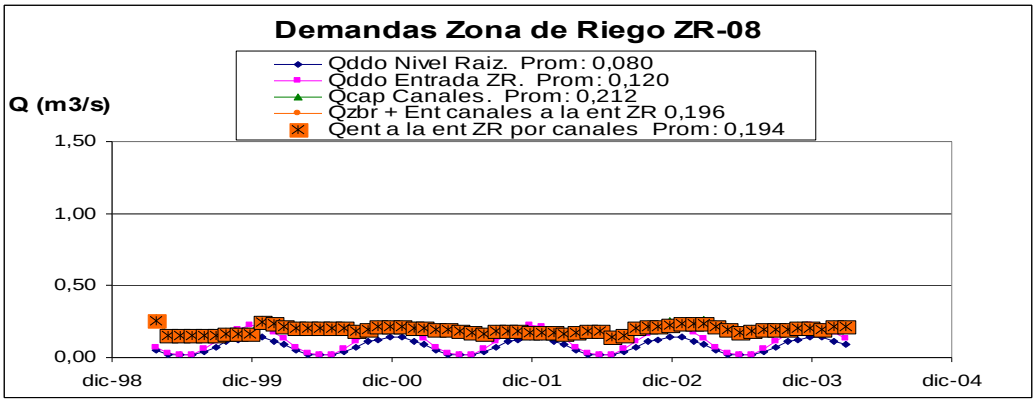


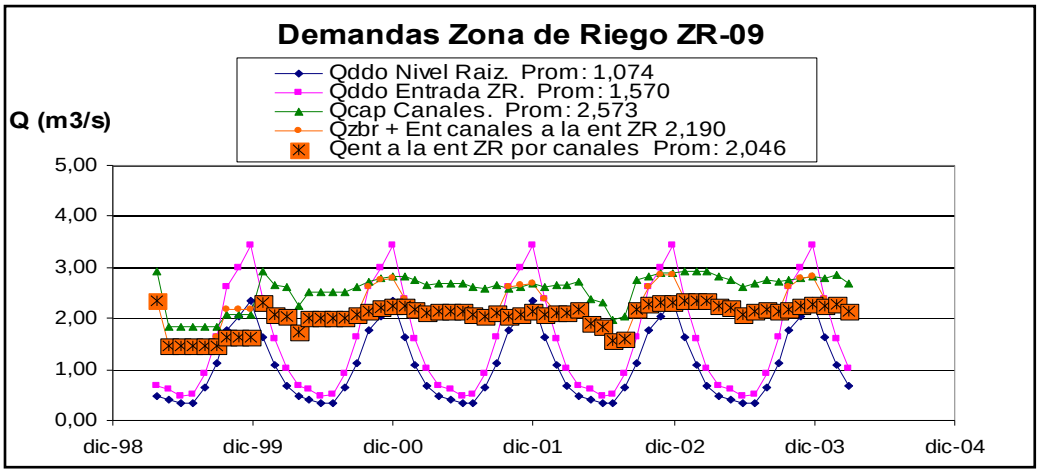


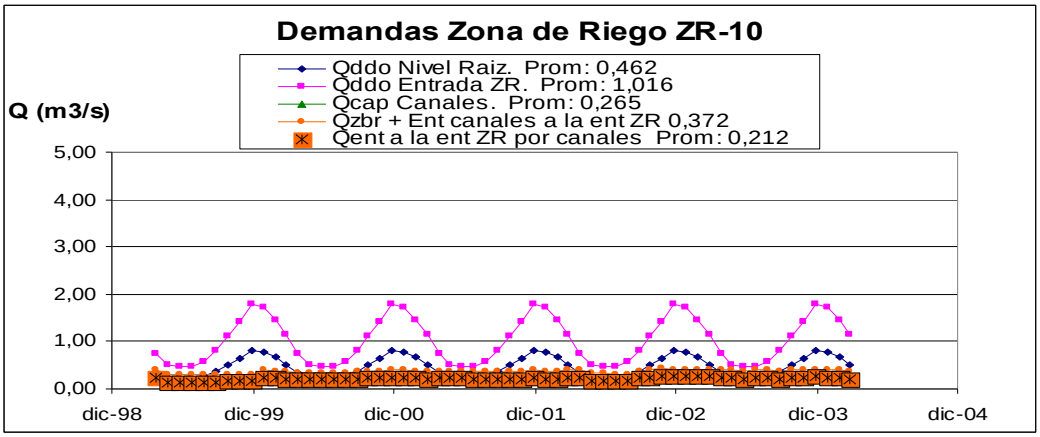

Demandas Zona de Riego ZR-04
Qddo Nivel Raiz. Prom: 0,066
Qddo Entrada ZR. Prom: 0,078
Qcap Canales. Prom: 0,482
Qzbr + Ent canales a la ent ZR 0,313
Qent a la ent ZR por canales Prom: 0,313
Q (m3/s)
1,50
1,00
0,50
0,00
dic-98
dic-99
dic-00
dic-01
dic-02
dic-03
dic-04

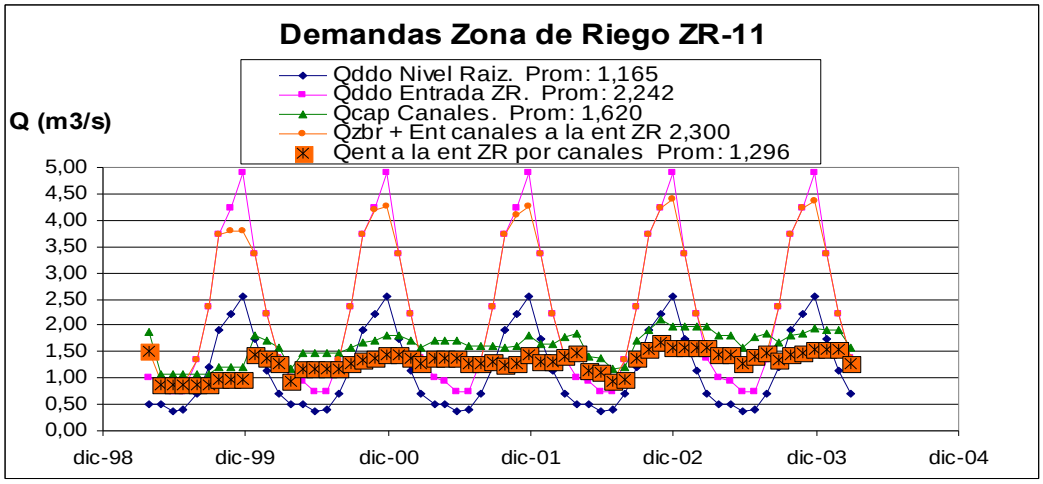

Demandas Zona de Riego ZR-06
Qddo Nivel Raiz. Prom: 0,088
Qddo Entrada ZR. Prom: 0,108
Qcap Canales. Prom: 0,716
Qzbr + Ent canales a la ent ZR 0,534
Qent a la ent ZR por canales Prom: 0,534
Q (m3/s)
1,50
1,00
0,50
0,00
dic-98
dic-99
dic-00
dic-01
dic-02
dic-03
dic-04

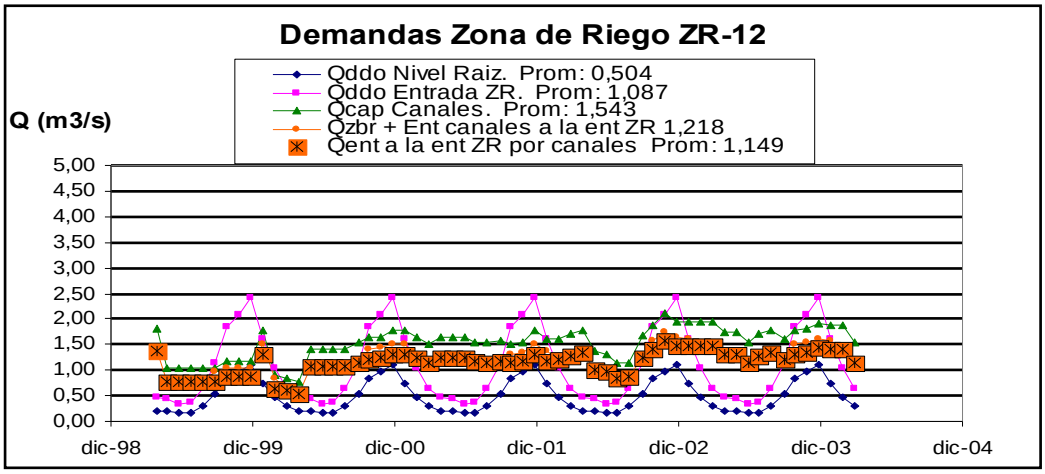

Demandas Zona de Riego ZR-07
Qddo Nivel Raiz. Prom: 0,815
Qddo Entrada ZR. Prom: 1,015
Qcap Canales. Prom: 2,662
Qzbr + Ent canales a la ent ZR 1,914
Qent a la ent ZR por canales Prom: 1,907
Q (m3/s)
5,00
4,00
3,00
2,00
1,00
0,00
dic-98
dic-99
dic-00
dic-01
dic-02
dic-03
dic-04


Demandas Zona de Riego ZR-08
Qddo Nivel Raiz. Prom: 0,080
Qddo Entrada ZR. Prom: 0,120
Qcap Canales. Prom: 0,212
Qzbr + Ent canales a la ent ZR 0,196
Qent a la ent ZR por canales Prom: 0,194
Q (m3/s)
1,50
1,00
0,50
0,00
dic-98
dic-99
dic-00
dic-01
dic-02
dic-03
dic-04


Demandas Zona de Riego ZR-09
Qddo Nivel Raiz. Prom: 1,074
Qddo Entrada ZR. Prom: 1,570
Qcap Canales. Prom: 2,573
Qzbr + Ent canales a la ent ZR 2,190
Qent a la ent ZR por canales Prom: 2,046
Q (m3/s)
5,00
4,00
3,00
2,00
1,00
0,00
dic-98
dic-99
dic-00
dic-01
dic-02
dic-03
dic-04


Demandas Zona de Riego ZR-10
Qddo Nivel Raiz. Prom: 0,462
Qddo Entrada ZR. Prom: 1,016
Qcap Canales. Prom: 0,265
Qzbr + Ent canales a la ent ZR 0,372
Qent a la ent ZR por canales Prom: 0,212
Q (m3/s)
5,00
4,00
3,00
2,00
1,00
0,00
dic-98
dic-99
dic-00
dic-01
dic-02
dic-03
dic-04


Demandas Zona de Riego ZR-11
Qddo Nivel Raiz. Prom: 1,165
Qddo Entrada ZR. Prom: 2,242
Qcap Canales. Prom: 1,620
Qzbr + Ent canales a la ent ZR 2,300
Qent a la ent ZR por canales Prom: 1,296
Q (m3/s)
5,00
4,50
4,00
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
dic-98
dic-99
dic-00
dic-01
dic-02
dic-03
dic-04



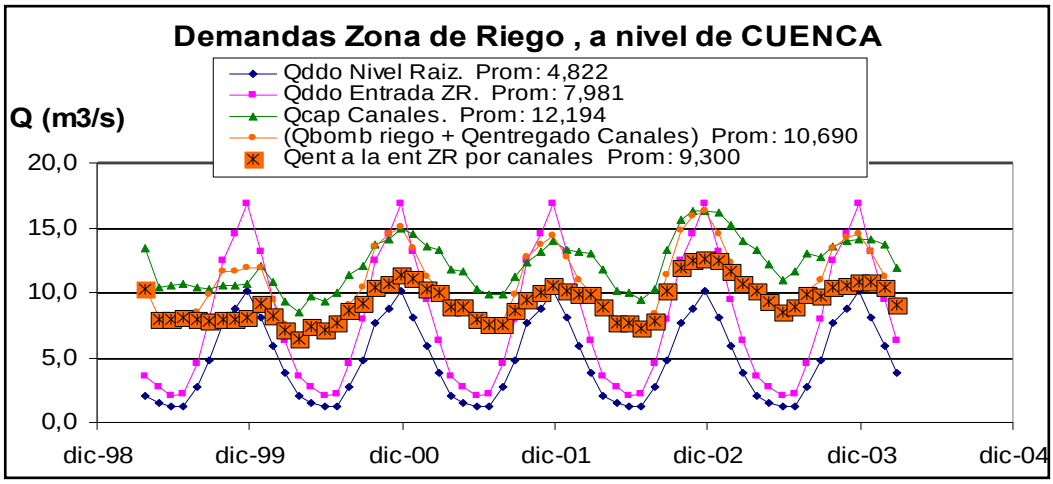
De estos resultados se puede observar que todos los sectores sobre el embalse Puclaro tienen su demanda cubierta, tanto a nivel raíz, como a nivel de zona de riego, y esto sólo con aguas superficiales, sin tener que recurrir a las aguas subterráneas. Sólo el Estero Derecho presenta problemas en años más secos.

Por el contrario, bajo el embalse, las aguas superficiales son más escasas. En las zonas 8, 9 y 12, si bien las aguas captadas en bocatoma alcanzarían a cubrir la demanda a nivel raíz, no cubren la demanda a nivel de zona de riego, que necesariamente es mayor. Peor aún, con las pérdidas de conducción, el agua que llega a la zona de riego escasamente cubre la demanda a nivel raíz. En las zonas 10 y 11, el agua captada en bocatoma ni siquiera alcanza a cubrir la demanda a nivel raíz. En todos estos sectores, el agua superficial debe ser suplementada con el agua subterránea. Sin embargo, este suplemento resulta eficiente e importante sólo en la zona 11 (Pan de Azúcar), porque en los restantes sectores hay restricciones legales que impiden obtener más derechos. El agua que puede ser bombeada legalmente para riego, es muy escasa. Las únicas zonas donde se justifica la restricción a la explotación subterránea, son los sectores de Santa Gracia y Pan de Azúcar, donde el acuífero, en las condiciones simuladas de riego, no tiene más capacidad de explotación. En los acuíferos Elqui Medio, Elqui Bajo y Costa, el acuífero está legalmente cerrado, habiendo una mayor capacidad de explotación.

Como resultado para toda la cuenca, se obtiene la siguiente Figura 5-20, que muestra la importancia del bombeo (el que se produce fundamentalmente en la zona de Pan de Azúcar). Esta figura muestra además que, a nivel de cuenca, el agua bombeada es aproximadamente tanta como la que se pierde por conducción en los sistemas de canales.

Se observa también que el agua superficial que llega a las zonas de riego, en promedio cubre las necesidades a nivel raíz, de modo que si se llegara a un riego 100% eficiente, y si se distribuyera el agua perfectamente asociada a la demanda dentro de la cuenca, ésta podría ser cubierta prácticamente sin necesidad de bombeo.

Figura 5-20
Demanda y entrega agregada de todas las zonas de riego, a nivel de la cuenca



Más comentarios, observaciones y conclusiones del análisis se presentan en el Capítulo 5.5 correspondiente al diagnóstico.

5.4.2 Interacción entre aguas superficiales y subterráneas

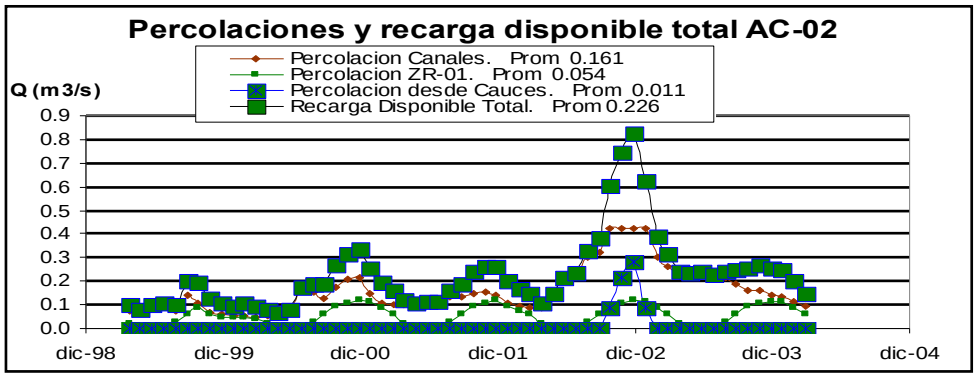
A través de la modelación, este tema ha podido ser mostrado como la interacción entre los cauces, canales, zonas de riego y acuíferos. Los flujos de interacción son las percolaciones, que llegan desde cauces, canales y zonas de riego hacia los acuíferos, que conforman la disponibilidad total para la recarga. Sin embargo, dependiendo del estado del acuífero, se producen rechazos de recarga o afloramientos hacia los nodos del cauce superficial, de modo que aparece un nuevo concepto, el de la recarga neta, que es el agua que realmente entra al acuífero.

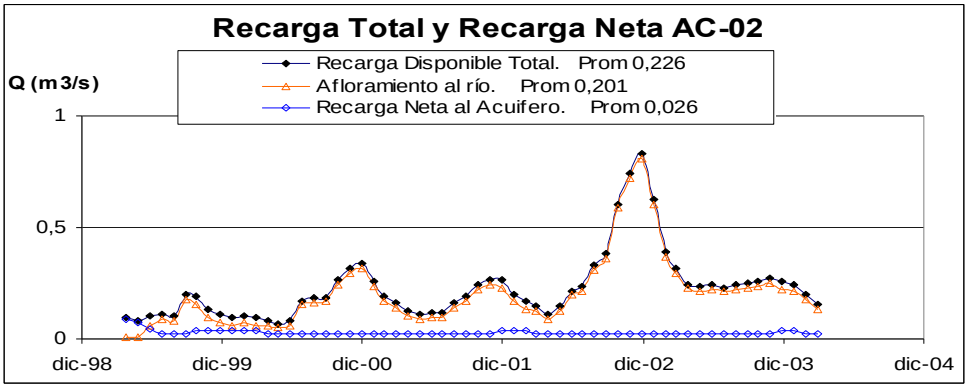
En la Figura 5-21 a) y b), se observan por un lado, los recursos disponibles para percolación que se generan en cauces, canales y zonas de riego. Estos recursos conforman la recarga disponible. Por otro lado, se grafica esta recarga disponible, en conjunto con los afloramientos, de modo que se obtiene la recarga neta que alimenta los acuíferos.

En las figuras se han usado escalas verticales diferentes, una para mostrar los flujos muy chicos, y otras para los flujos más grandes de los acuíferos 7, 9 y 11.

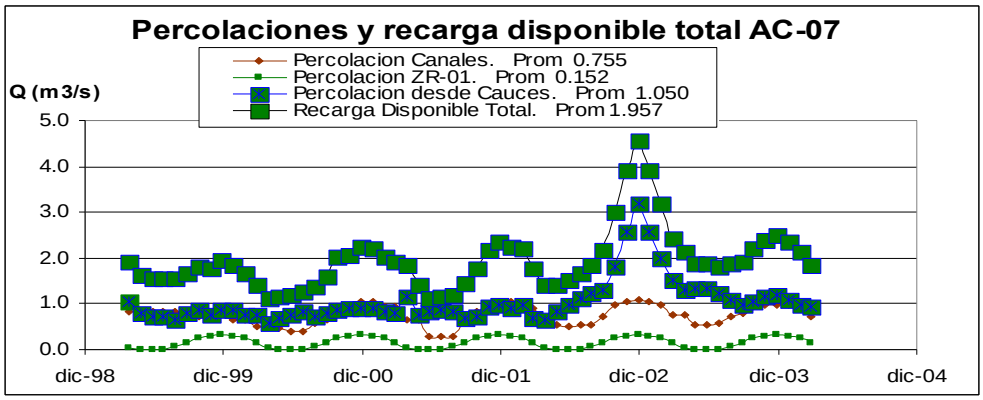
Figura 5-21 a) y b)
Interacción Superficial – Subterránea por mesozonas

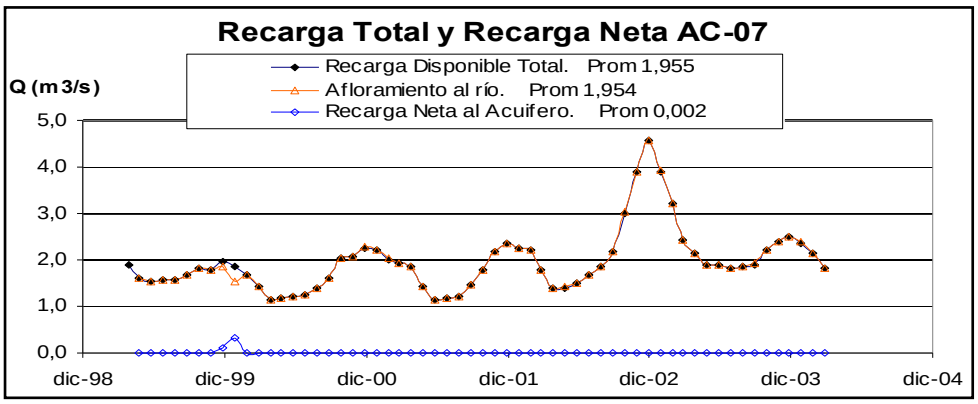
Estero Derecho



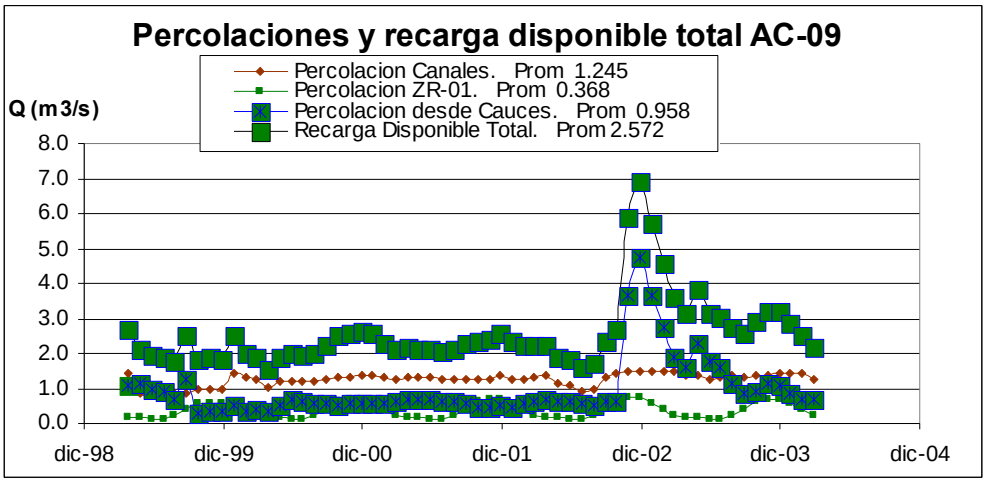


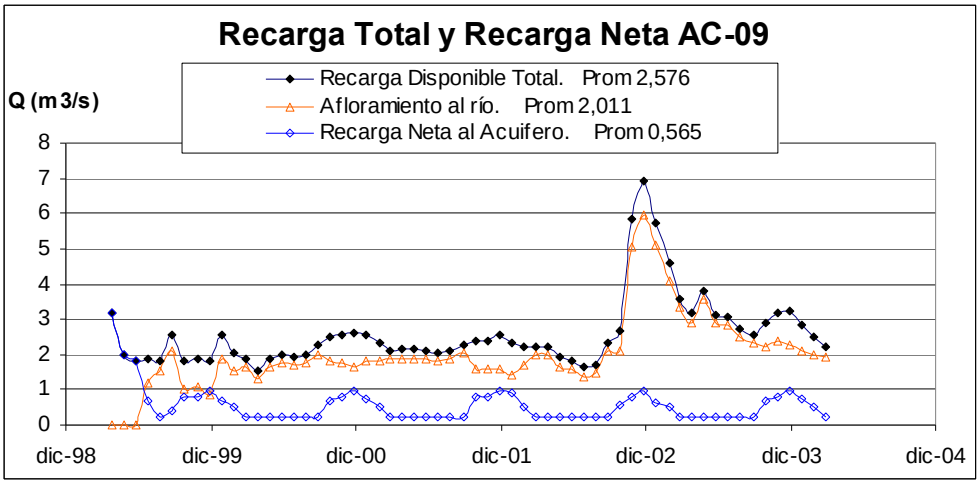
Elqui Alto



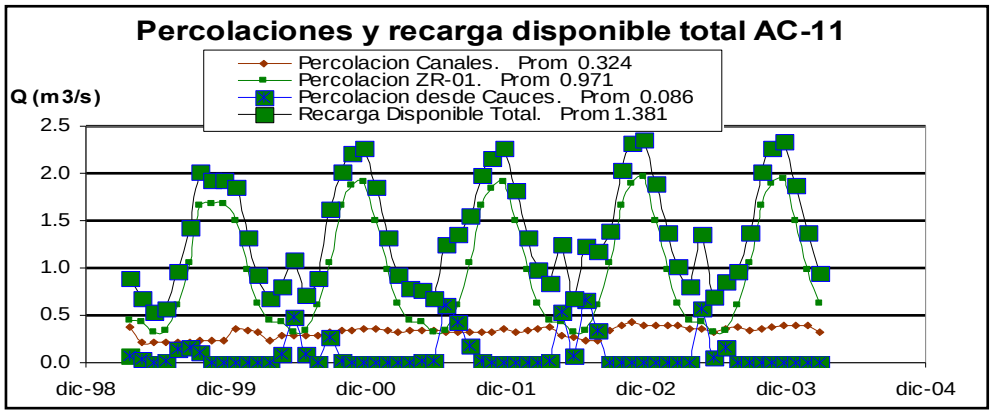

Recarga Total y Recarga Neta AC-07
Recarga Disponible Total. Prom 1,955
Afloramiento al río. Prom 1,954
Recarga Neta al Acuifero. Prom 0,002
Q (m3/s)
5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
dic-98
dic-99
dic-00
dic-01
dic-02
dic-03
dic-04

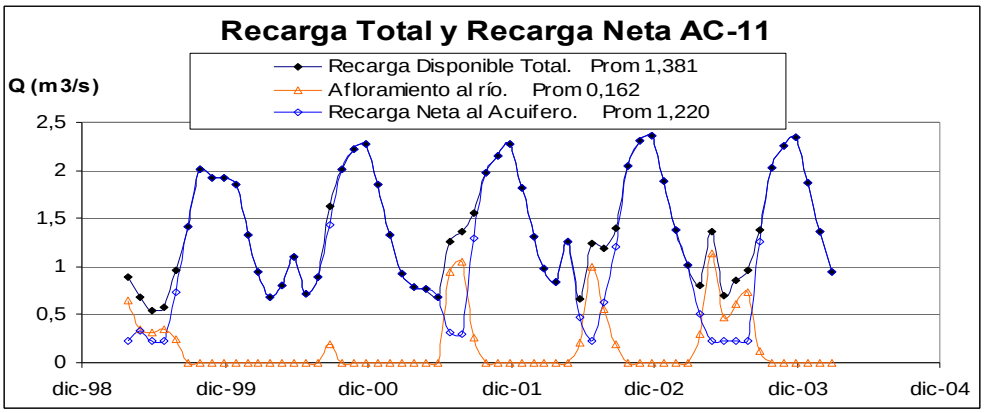
Elqui Bajo


Percolaciones y recarga disponible total AC-09
Percolacion Canales. Prom 1.245
Percolacion ZR-01. Prom 0.368
Percolacion desde Cauces. Prom 0.958
Recarga Disponible Total. Prom 2.572
Q (m3/s)
8.0
7.0
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
dic-98
dic-99
dic-00
dic-01
dic-02
dic-03
dic-04


Recarga Total y Recarga Neta AC-09
Recarga Disponible Total. Prom 2,576
Afloramiento al río. Prom 2,011
Recarga Neta al Acuifero. Prom 0,565
Q (m3/s)
8
7
6
5
4
3
2
1
0
dic-98
dic-99
dic-00
dic-01
dic-02
dic-03
dic-04

Pan de Azúcar





Se observa en estas figuras, que en las zonas altas sobre el embalse, en general muy tecnificadas, las percolaciones hacia los acuíferos provienen fundamentalmente desde cauces y canales, los que tienen siempre grandes ineficiencias. Las percolaciones desde las zonas de riego son menores. En la zona 2, donde el cauce es prácticamente inexistente, la mayor percolación al acuífero la producen los canales. Lo mismo ocurre en las zonas de Elqui Medio y Bajo, aunque en estos sectores las recargas desde las zonas de riego cobran importancia, debido a la menor tecnificación.

En las zonas 11 y 12 (Pan de Azúcar y Costa), donde no hay cauces, la situación es totalmente diferente. La alimentación del acuífero proviene fundamentalmente desde las percolaciones de las zonas de riego.

En cuanto a las recargas, casi todos los acuíferos de cauces y también el acuífero del sector costa, se encuentran en la misma situación: como están siempre casi llenos, no aceptan la recarga disponible. La recarga disponible es rechazada en una gran medida o en su totalidad, figurando como afloramiento y por consiguiente, como aporte hacia el sistema superficial. En

el fondo, las aguas disponibles para percolación no entran a los acuíferos, porque ellos se encuentran siempre llenos.

Una situación algo especial se observa en el sector 8, aguas abajo del embalse Puclaro. En este sector, el acuífero acepta una mayor cantidad de recarga en general, porque su alimentación subterránea desde aguas arriba está parcialmente estrangulada por la cortina del embalse, con lo que se incentiva la alimentación desde las aguas superficiales (cauce).

Nuevamente se observa que la situación es diferente en los sectores 10 y 11. En Santa Gracia, no hay afloramientos, y toda la disponibilidad de recarga se transforma en recarga efectiva. Algo similar ocurre en el acuífero de Pan de Azúcar, donde la explotación es intensiva, y el acuífero acepta casi toda la oferta de recarga superficial, la que, como se dijo, proviene fundamentalmente del riego.

5.4.3 Comportamiento de los acuíferos

A continuación se muestra en detalle todos los flujos a que es sometido cada uno de los acuíferos en el período de simulación. Es necesario considerar que el período de calibración abarca los años posteriores a la construcción del embalse Puclaro, que han sido años relativamente buenos, donde el recurso superficial no ha escaseado. Sin embargo, también es necesario tener presente que el modelo se operó asumiendo que toda la superficie regable de la cuenca ha estado siendo efectivamente regada, y en tales condiciones se observa que hay sectores donde el agua superficial no es suficiente, y es necesario bombear el déficit. Esto es coherente con lo recogido en las entrevistas, en que los usuarios de los mismos sectores manifiestan que usan aguas superficiales y también subterráneas para suplir sus demandas, y que todas las áreas disponibles están siendo efectivamente cultivadas.

Las variables que se muestran en las figuras adjuntas, son las siguientes:

- bombeos
- variación del volumen almacenado
- flujos de salida de los acuíferos
- afloramientos desde cada uno de los acuíferos
- afloramientos hacia cada uno de los nodos

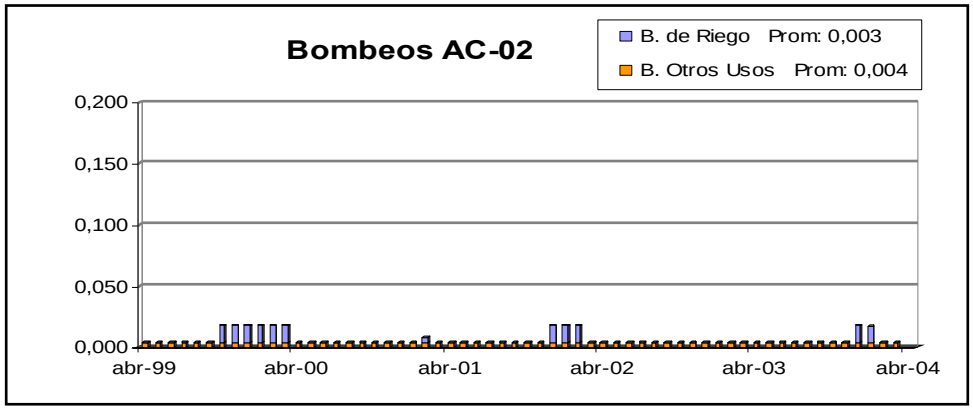
En la Figura 5-22 se presentan los bombeos:

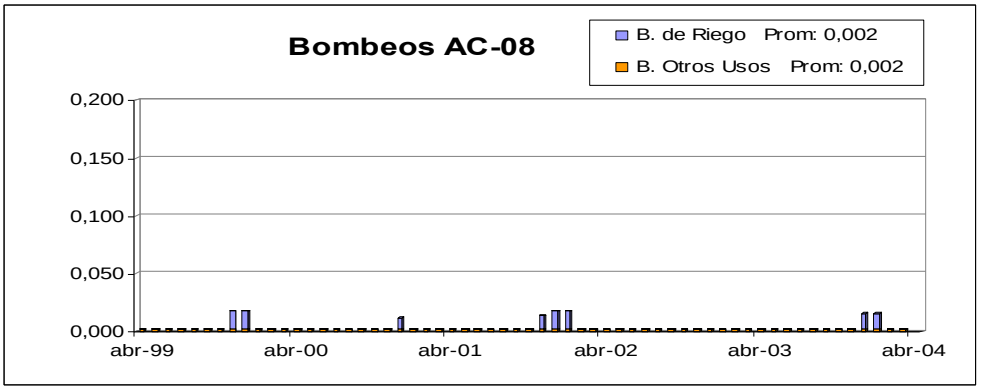
- bombeos de riego (éstos son bombeos resultantes de acuerdo con el déficit que deja la disponibilidad de aguas superficiales)
- bombeos para otros usos (éstos son bombeos impuestos)

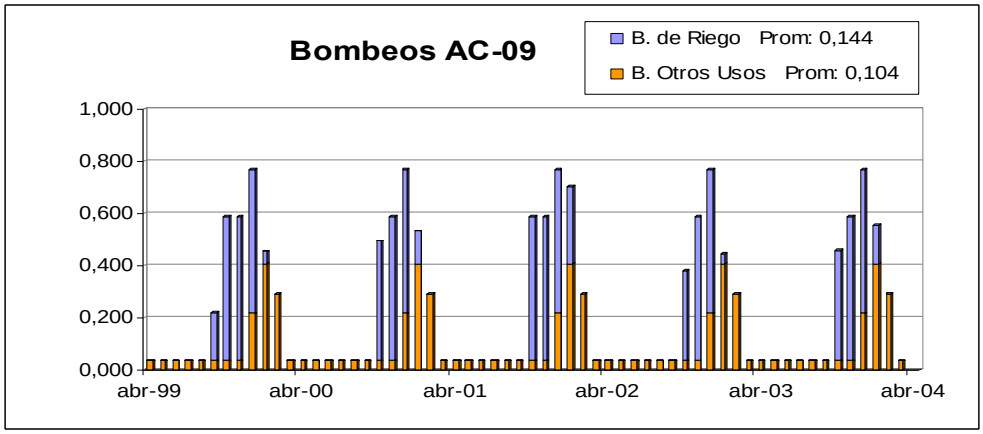
Como ambos se presentan superpuestos, la altura de la barra da el valor del bombeo total desde cada acuífero. Se han usado sólo dos escalas verticales, y una tercera como excepción.

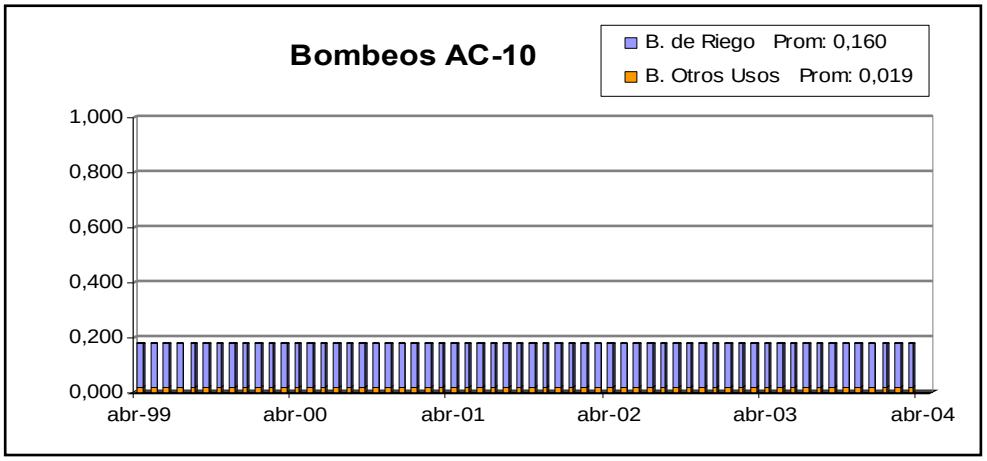
Los acuíferos 1 y 7 no usan sus derechos subterráneos de riego, se explotan casi exclusivamente para agua potable urbana y rural. Los acuíferos 3 (Cochiguaz) y 4 (Claro Montegrande) no aparecen porque no registra pozos de ningún tipo. El acuífero 5 (Paihuano) no se incluyó en la modelación. El acuífero 6 (Claro Paihuano) no registra pozos de riego.

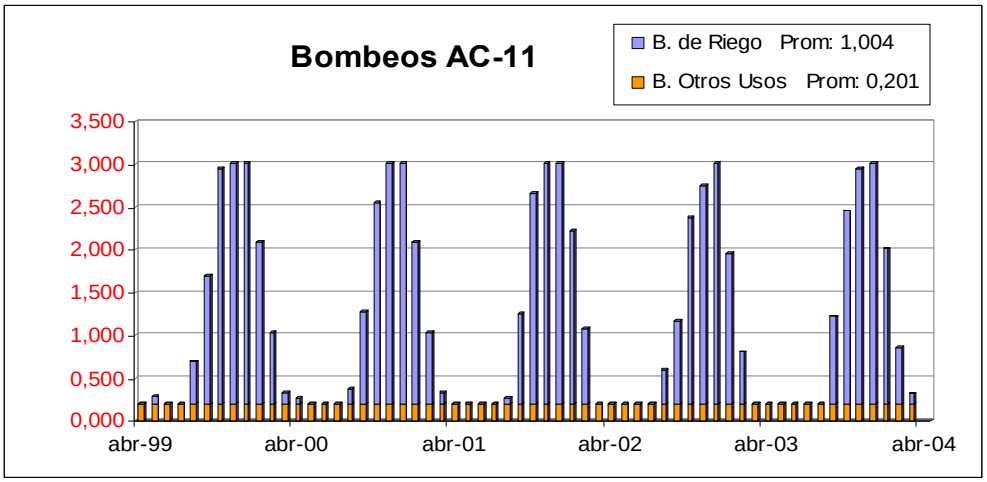
Figura 5-22
Bombeos para todos los usos

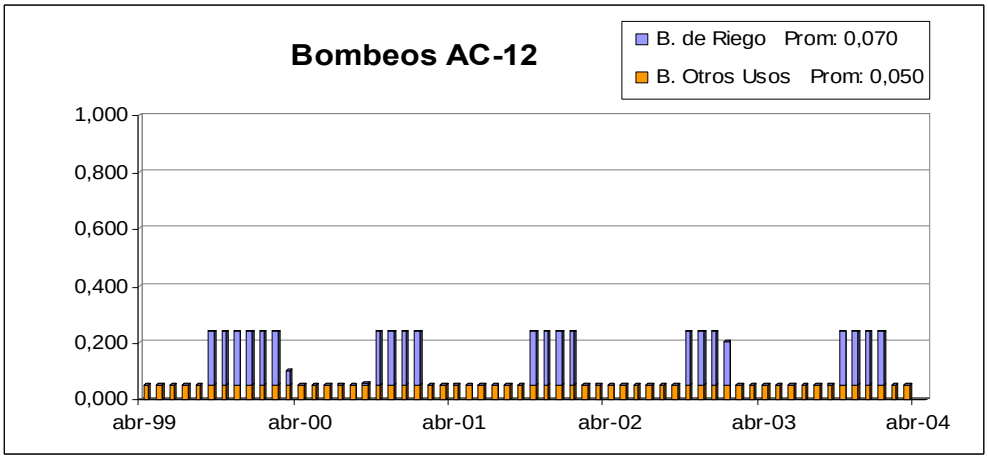







Bombeos AC-10
B. de Riego Prom: 0,160
B. Otros Usos Prom: 0,019
1,000
0,800
0,600
0,400
0,200
0,000
abr-99
abr-00
abr-01
abr-02
abr-03
abr-04


Bombeos AC-11
B. de Riego Prom: 1,004
B. Otros Usos Prom: 0,201
3,500
3,000
2,500
2,000
1,500
1,000
0,500
0,000
abr-99
abr-00
abr-01
abr-02
abr-03
abr-04


Bombeos AC-12
B. de Riego Prom: 0,070
B. Otros Usos Prom: 0,050
1,000
0,800
0,600
0,400
0,200
0,000
abr-99
abr-00
abr-01
abr-02
abr-03
abr-04

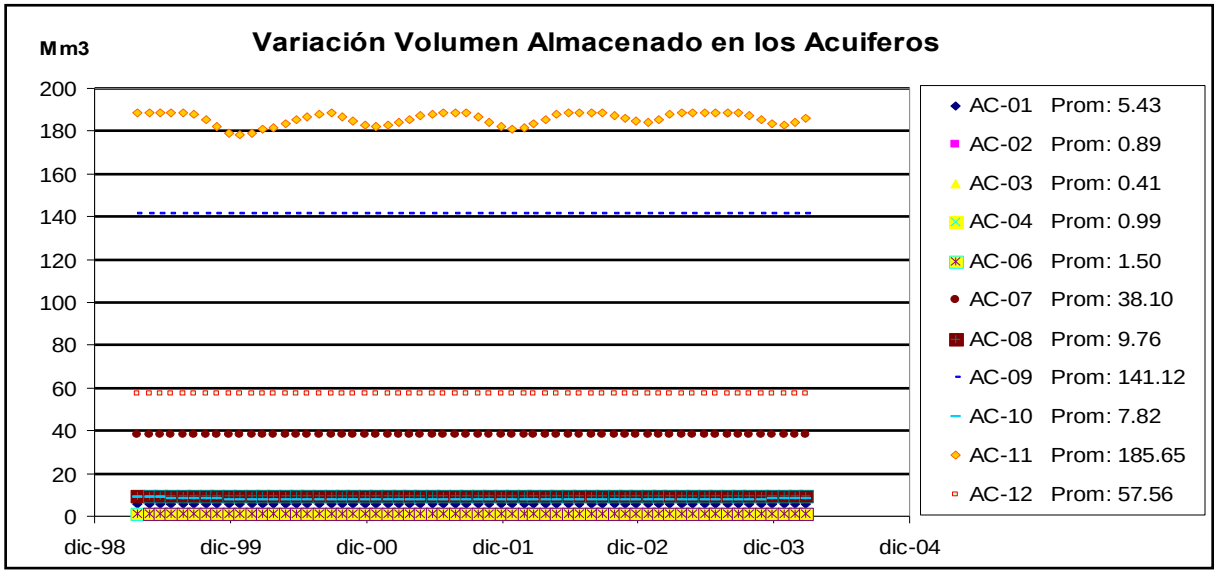
Sobre el embalse Puclaro, el uso para riego, donde hay pozos, no es importante. Una excepción la constituye la zona 2 (Estero Derecho), donde el bombeo no se puede intensificar por falta de derechos. En este sector, los déficits de agua para riego pueden llegar a ser importantes.

Desde el embalse Puclaro hacia aguas abajo, el uso del agua subterránea para riego sí pasa a ser importante, llegando en verano a unos 600 l/s en la zona 9 (Elqui Bajo), hasta cerca de 200 l/s en Santa Gracia (copando las posibilidades del acuífero y topando en los derechos), hasta casi 3,00 m3/s en Pan de Azúcar y hasta casi 200 l/s en el acuífero de la costa.

Los efectos de este bombeo sobre los diferentes acuíferos se observa en la Figura 5-23 a continuación. Esta figura muestra la evolución del volumen mensual almacenado en cada acuífero, para todos los acuíferos de la cuenca. En la leyenda se muestra el valor promedio de la serie. Lo que se aprecia es que, bajo la condición de que el bombeo supla el déficit de las aguas superficiales sin superar los derechos constituidos, ningún acuífero sufre bajas importantes. Esto se debe, por un lado, a que las aguas superficiales no son escasas, como ocurre en los sectores 1, 3, 4, 6, 7 y 8, y por otro lado, a que las extracciones subterráneas están efectivamente restringidas por los derechos, como ocurre en los acuíferos 2 (Estero Derecho), 9 (Elqui bajo), 10 (Santa Gracia) y 12 (Costa). En el acuífero 11 de Pan de Azúcar, se produce un equilibrio bastante ajustado entre los requerimientos y los derechos disponibles, por un lado, y también entre los derechos constituidos y la capacidad de entrega del acuífero. El acuífero alcanza a suplir los derechos constituidos, y éstos alcanzan a cubrir los requerimientos de riego, sin desequilibrar el acuífero.

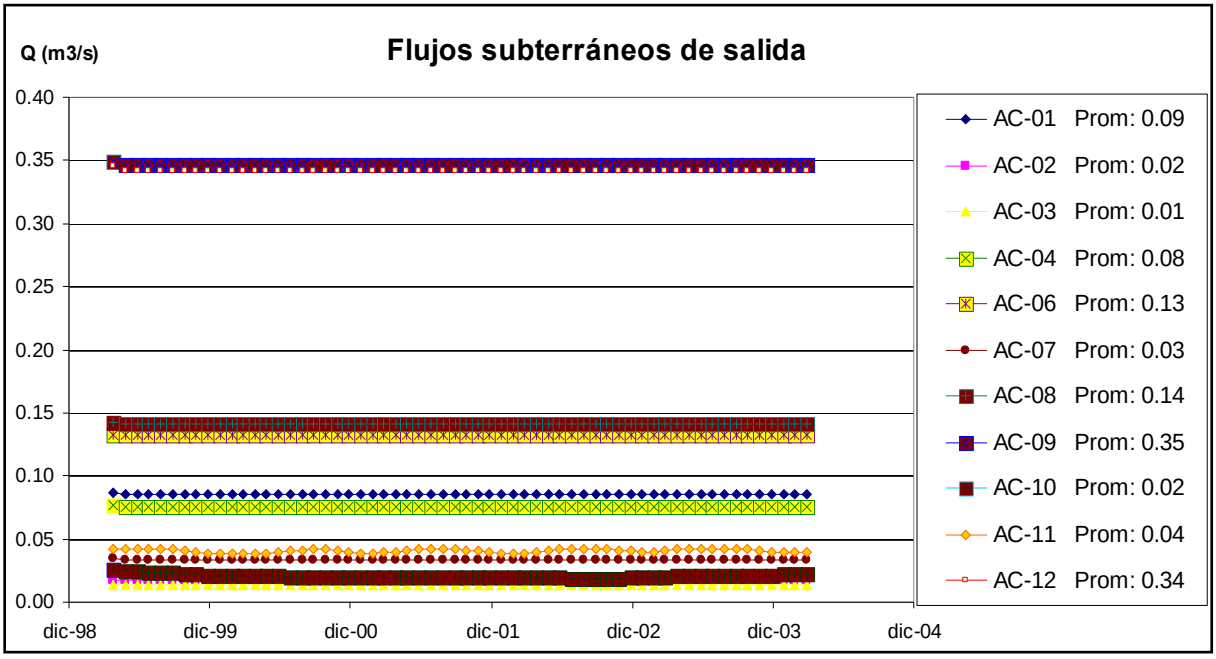
Por lo tanto, las restricciones de derechos que se justifican desde el punto de vista de las capacidades de los acuíferos, son las de los sectores 10 y 11.

Figura 5-23
Evolución del volumen almacenado en los acuíferos



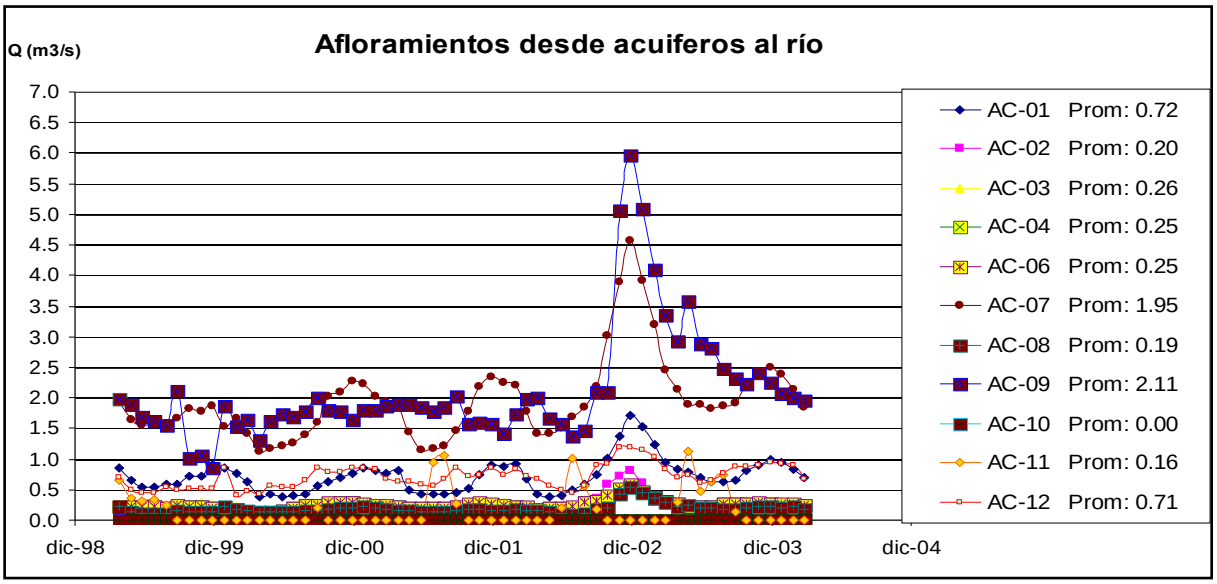
En la Figura 5-24 se presentan los flujos de salida desde cada uno de los acuíferos. Se observa que estos flujos se mantienen prácticamente inalterados en el tiempo, sin grandes fluctuaciones. Solamente el acuífero 11 denota alguna fluctuación menor entre verano e invierno, reflejando la mayor explotación en verano. La salida subterránea al mar corresponde al caudal efluente desde el acuífero 12, que alcanza aproximadamente 330 l/s como promedio del período.

Figura 5-24
Flujos subterráneos de salida desde cada uno de los acuíferos



La Figura 5-25 muestra los afloramientos desde cada uno de los acuíferos, los que corresponden a los rechazos de recarga antes señalados.

Figura 5-25
Afloramientos que genera cada uno de los acuíferos

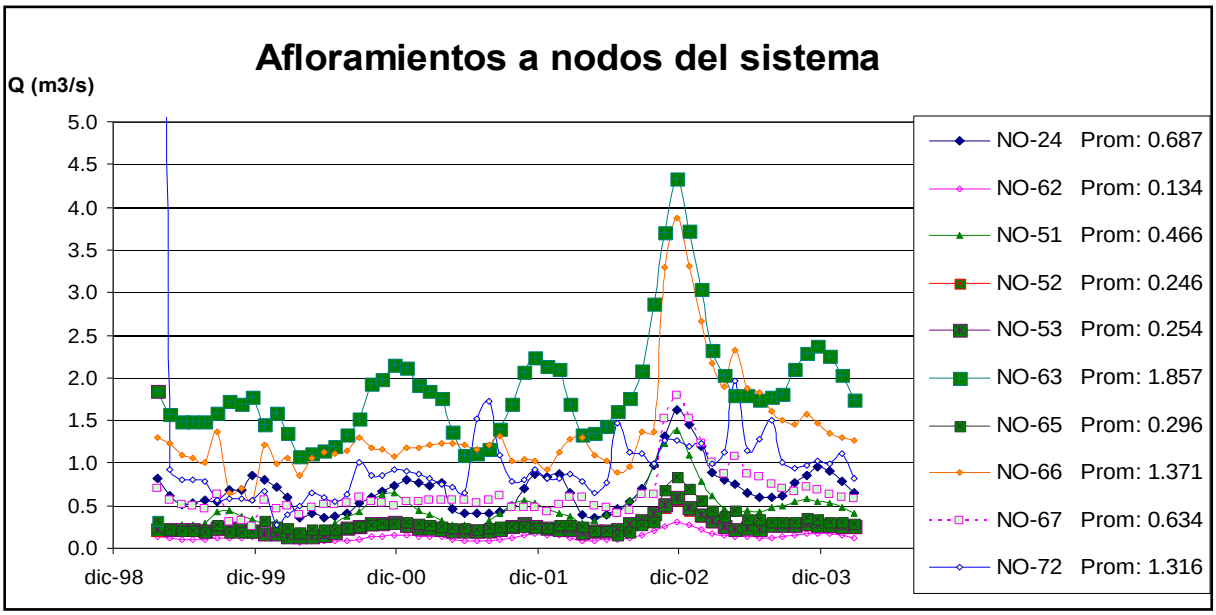


Los mayores afloramientos, entre 1 y 2 m3/s, provienen de los acuíferos 7 (Elqui alto) y 9 (Elqui bajo), lo que muestra que ellos admitirían una explotación mayor sin deprimirse. También tienen afloramientos importantes los acuíferos 1 (río Turbio) y 12 (Costa), entre 0,5 y 1,3 m3/s.

Finalmente, en la Figura 5-26 se muestran los caudales de afloramiento que llegan a cada uno de los nodos de los cauces superficiales, que son los mismos caudales anteriores, mostrados de otra forma.

Los afloramientos más grandes se producen hacia el embalse Puclaro, donde la cortina (aunque tiene una ventana) obstruye el flujo subterráneo, y en el nodo de Altovalsol (alrededor de 1 m3/s como mínimo).

Figura 5-26
Afloramientos que llegan a cada uno de los nodos de ríos



Respecto de todo este análisis, que se profundiza en el capítulo de diagnóstico, es necesario reiterar que el período de calibración estudiado corresponde a un período hidrológicamente bueno. No se puede apreciar, en este período, los efectos que tendría una sequía frente a las demandas de agua aquí asumidas. Este análisis se presenta en el Capítulo 8, operación de los modelos de simulación, donde se muestran los resultados de la operación del modelo en condiciones hidrológicas diferentes, incluyendo una sequía.

5.4.4 Seguridad de riego

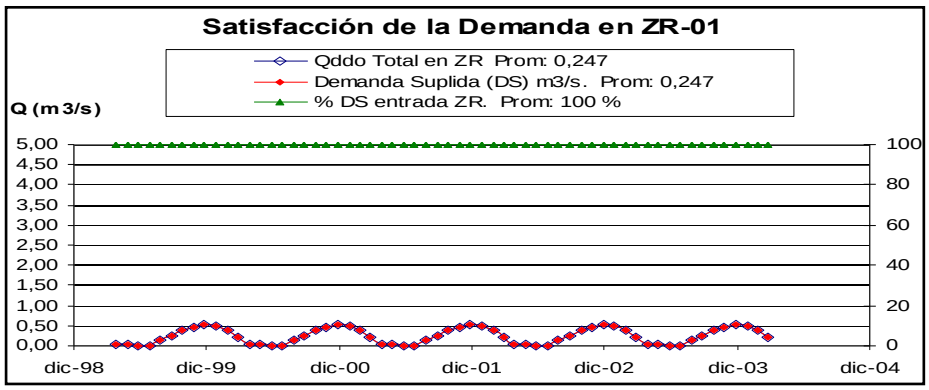
El modelo MAGIC calcula, para cada mes, el porcentaje de la demanda suplida. En base a esta información es directo obtener una seguridad de riego, entendida como porcentaje de años fallos de un total de años analizados, cuando de dispone de dos cosas:

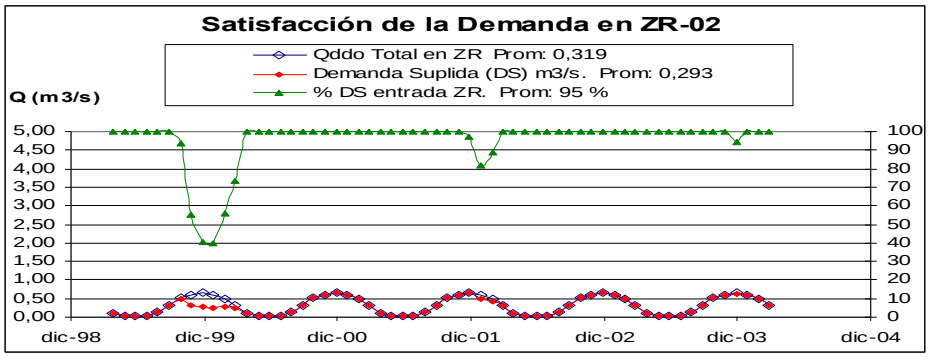
- un criterio que permita discernir qué porcentaje de satisfacción de demanda se exige como mínimo en cada mes, para considerar que no hay falla, y
- una estadística de una longitud tal que permita hablar de un % de años.

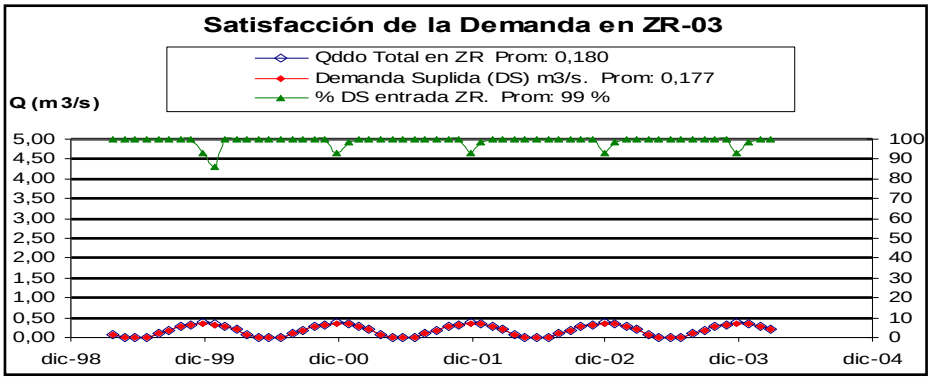
En el presente caso, se ha adoptado el criterio de falla de la CNR, utilizado también por la DOH, pero que admite revisión y adaptación a la realidad local. Este criterio consiste en que se considera año no fallo el que todos los meses, salvo uno, logró porcentajes de satisfacción de la demanda mayores que 90%, y el mes que no logró 90%, logró al menos 80%. Los años que no cumplen con estas condiciones son fallos.

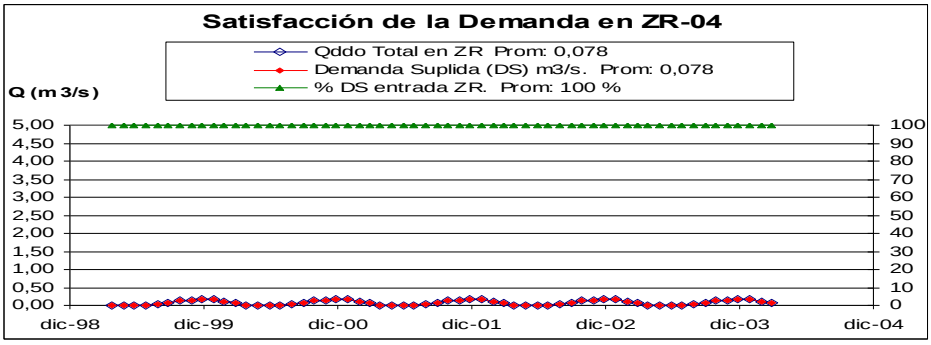
A continuación, en la Figura 5-27 se entrega la serie de porcentajes de satisfacción de la demanda obtenidos para cada una de las zonas de riego, durante el período de calibración (5 años). Para mayor claridad, en todos los gráficos la demanda se muestra a la misma escala.

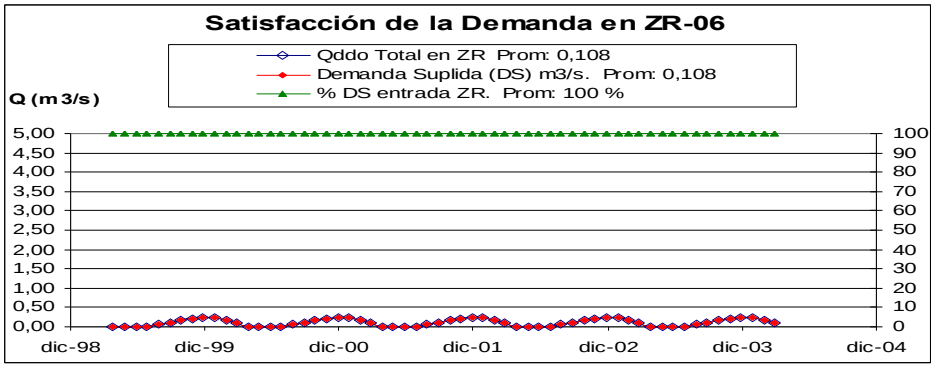
Figura 5-27
Porcentaje de satisfacción de la demanda por zona de riego

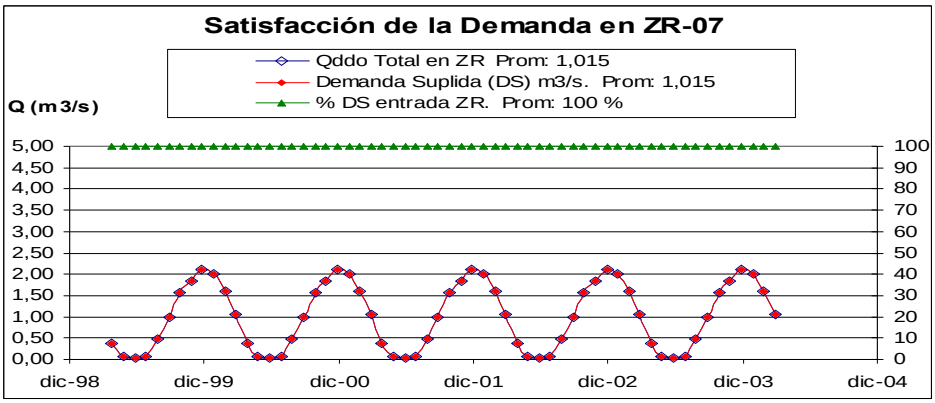


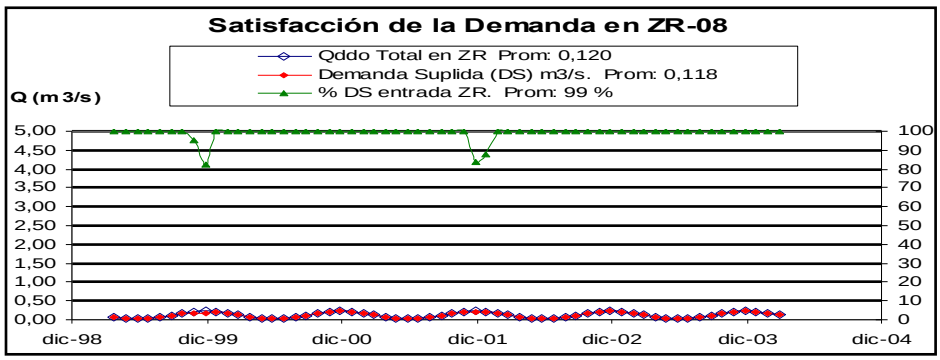


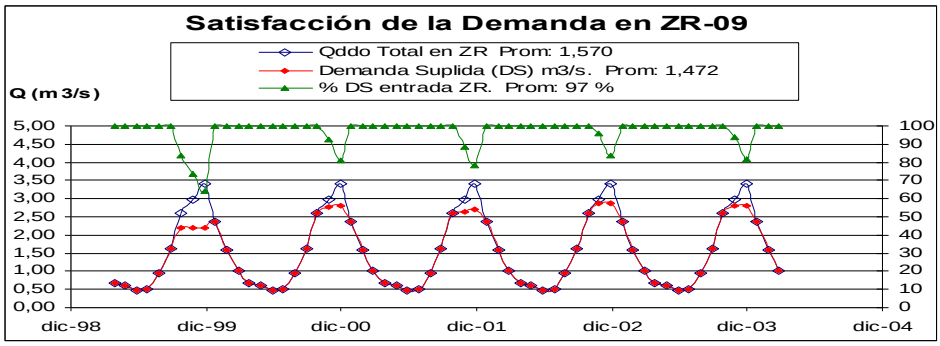

Satisfacción de la Demanda en ZR-03
Qddo Total en ZR Prom: 0,180
Demanda Suplida (DS) m3/s. Prom: 0,177
% DS entrada ZR. Prom: 99 %
Q (m3/s)
5,00
4,50
4,00
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
dic-98
dic-99
dic-00
dic-01
dic-02
dic-03
dic-04

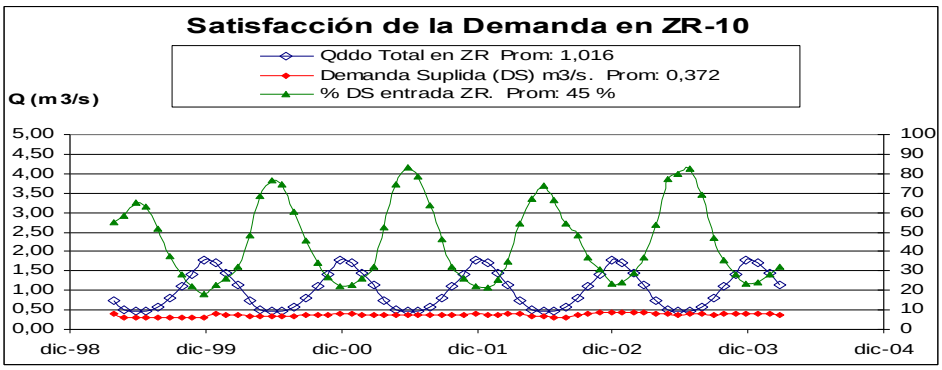

Satisfacción de la Demanda en ZR-04
Qddo Total en ZR Prom: 0,078
Demanda Suplida (DS) m3/s. Prom: 0,078
% DS entrada ZR. Prom: 100 %
Q (m3/s)
5,00
4,50
4,00
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
dic-98
dic-99
dic-00
dic-01
dic-02
dic-03
dic-04

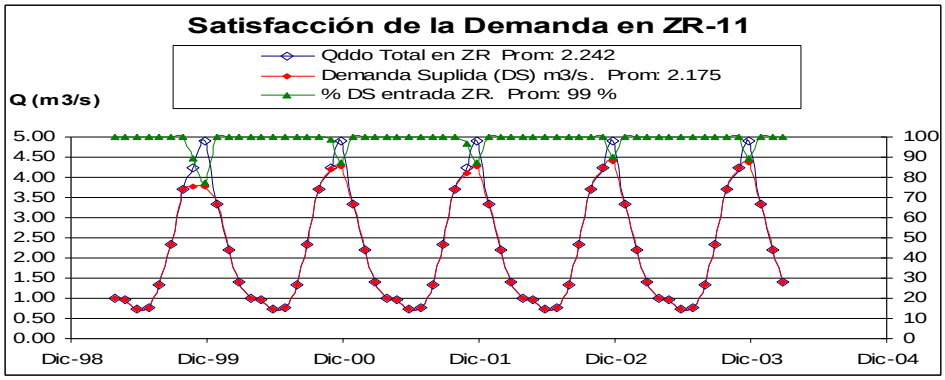

Satisfacción de la Demanda en ZR-06
Qddo Total en ZR Prom: 0,108
Demanda Suplida (DS) m3/s. Prom: 0,108
% DS entrada ZR. Prom: 100 %
Q (m3/s)
5,00
4,50
4,00
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
dic-98
dic-99
dic-00
dic-01
dic-02
dic-03
dic-04

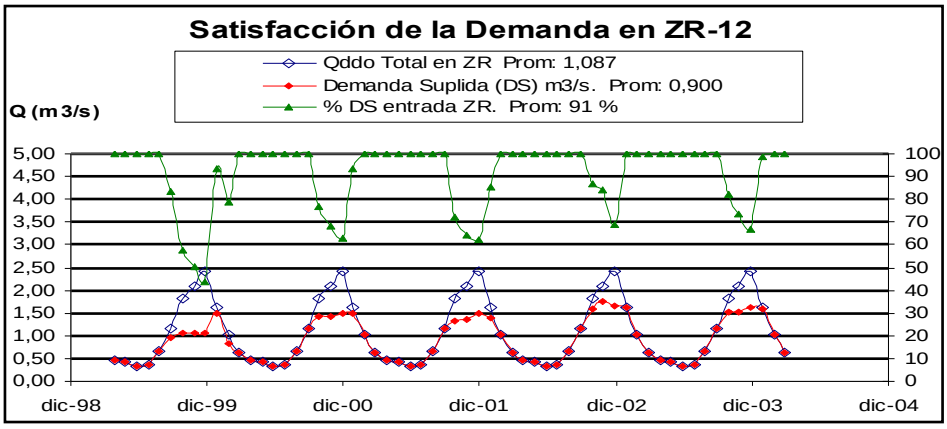

Satisfacción de la Demanda en ZR-07
Qddo Total en ZR Prom: 1,015
Demanda Suplida (DS) m3/s. Prom: 1,015
% DS entrada ZR. Prom: 100 %
Q (m3/s)
5,00
4,50
4,00
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
dic-98
dic-99
dic-00
dic-01
dic-02
dic-03
dic-04


Satisfacción de la Demanda en ZR-08
Qddo Total en ZR Prom: 0,120
Demanda Suplida (DS) m3/s. Prom: 0,118
% DS entrada ZR. Prom: 99 %
Q (m3/s)
5,00
4,50
4,00
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
dic-98
dic-99
dic-00
dic-01
dic-02
dic-03
dic-04


Satisfacción de la Demanda en ZR-09
Qddo Total en ZR Prom: 1,570
Demanda Suplida (DS) m3/s. Prom: 1,472
% DS entrada ZR. Prom: 97 %
Q (m3/s)
5,00
4,50
4,00
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
dic-98
dic-99
dic-00
dic-01
dic-02
dic-03
dic-04


Satisfacción de la Demanda en ZR-10
Qddo Total en ZR Prom: 1,016
Demanda Suplida (DS) m3/s. Prom: 0,372
% DS entrada ZR. Prom: 45 %
Q (m3/s)
5,00
4,50
4,00
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
dic-98
dic-99
dic-00
dic-01
dic-02
dic-03
dic-04


Satisfacción de la Demanda en ZR-11
Qddo Total en ZR Prom: 2.242
Demanda Suplida (DS) m3/s. Prom: 2.175
% DS entrada ZR. Prom: 99 %
Q (m3/s)
5.00
4.50
4.00
3.50
3.00
2.50
2.00
1.50
1.00
0.50
0.00
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Dic-98
Dic-99
Dic-00
Dic-01
Dic-02
Dic-03
Dic-04



En estos gráficos se observa que la demanda es suplida con un 80% a 100% de seguridad (8 a 10 años de 10), en todas las zonas aguas arriba del embalse Puclaro, con la excepción de la zona 2, Estero Derecho, donde en estos 5 años buenos hay dos fallos, es decir, sólo un 60% de seguridad.

Aguas abajo del embalse Puclaro, la situación cambia, pues las áreas no alcanzan a ser cubiertas con las mismas seguridades. La zona 9, al apoyarse con aguas subterráneas, riega aproximadamente el 90% de su área con elevada seguridad. La zona 10 (Santa Gracia) definitivamente necesitaría más aguas superficiales, pues su acuífero es limitado. Presenta todos los años fallos en verano, es decir, podría regar sólo aproximadamente un 30% del área con elevada seguridad, si sólo tuviera cultivos de verano. La alternativa de esta zona es regar cultivos también de invierno, como efectivamente lo hace, aprovechando el clima para usar el agua cuando hay.

La zona 11 logra una seguridad bastante alta, de 80%, para el 100% de su área, gracias a las aguas subterráneas. La zona 12 (Costa) presenta seguridades bajas debido a que no puede explotar más su acuífero, por falta de derechos. En las condiciones actuales de derechos podría cultivar aproximadamente el 70% de su área total con una seguridad de 85%, si se dedicara sólo a cultivos de verano. Pero también utiliza la alternativa de instalar cultivos en invierno.

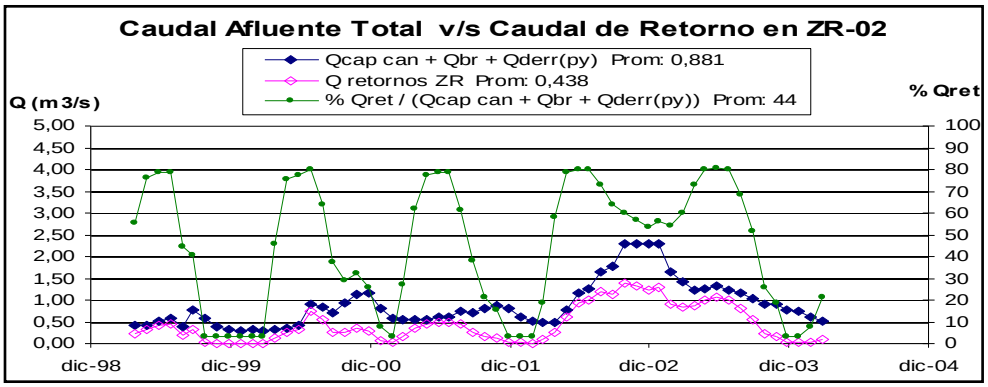
5.4.5 Flujos de retorno

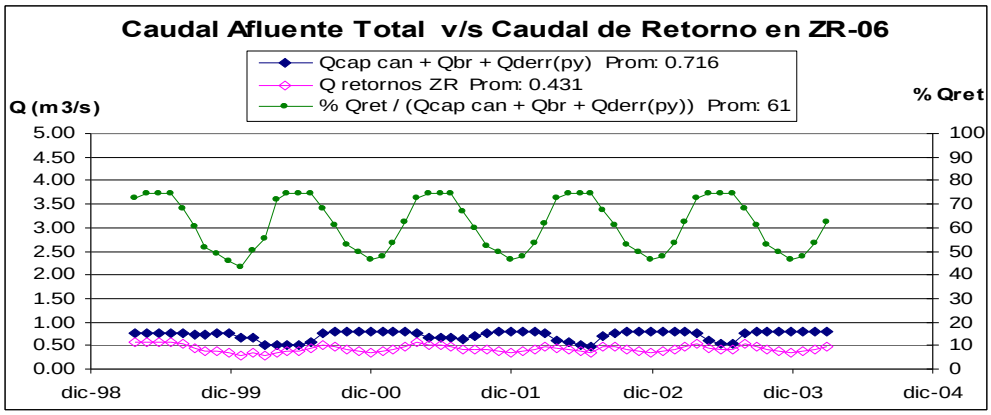
En el modelo MAGIC, las zonas de riego se alimentan con aguas superficiales desde canales, tranques nocturnos, embalses, y derrames desde otras zonas de riego (si corresponde), pero también se alimentan de lluvias, y finalmente desde pozos con aguas subterráneas cuando todo lo anterior no alcanza a cubrir las necesidades. De todos los caudales afluentes, una parte efectivamente es la que cubre la demanda a nivel de raíz de las plantas, pero siempre hay un exceso que vuelve al río, y una parte de percolaciones que alimentan los acuíferos.

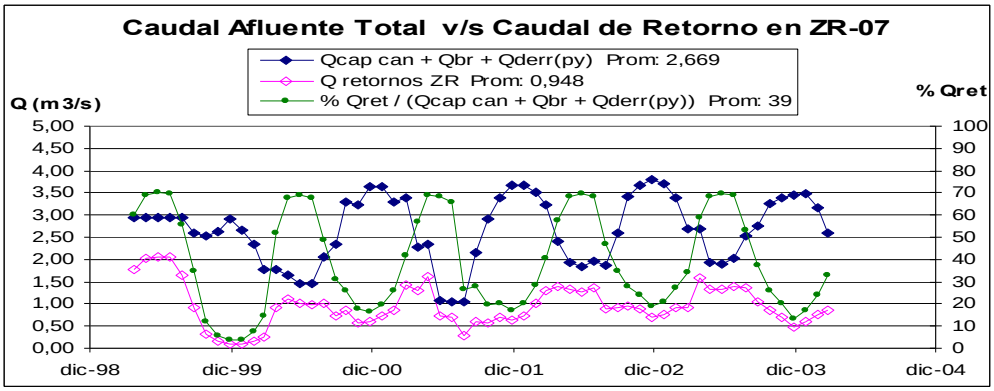
En la Figura 5-28 se muestran los caudales totales afluentes a cada zona de riego, los retornos al río que ellos generan desde cada zona, en valor absoluto, y también como porcentaje del

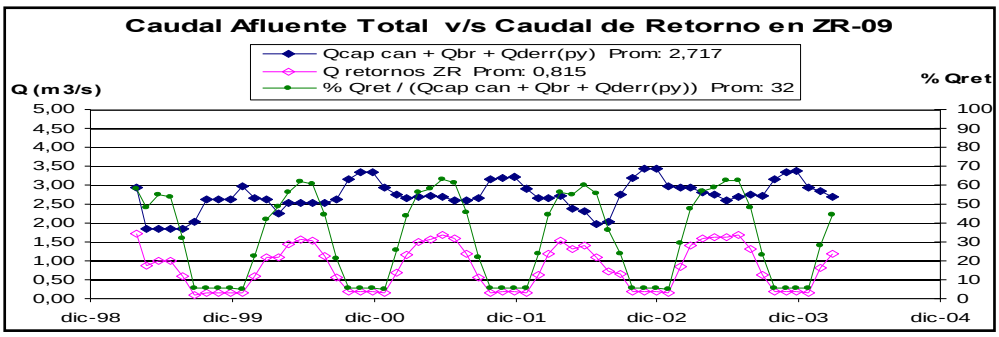
caudal afluente, en la escala derecha. Las escalas se han mantenido iguales para todas las zonas.

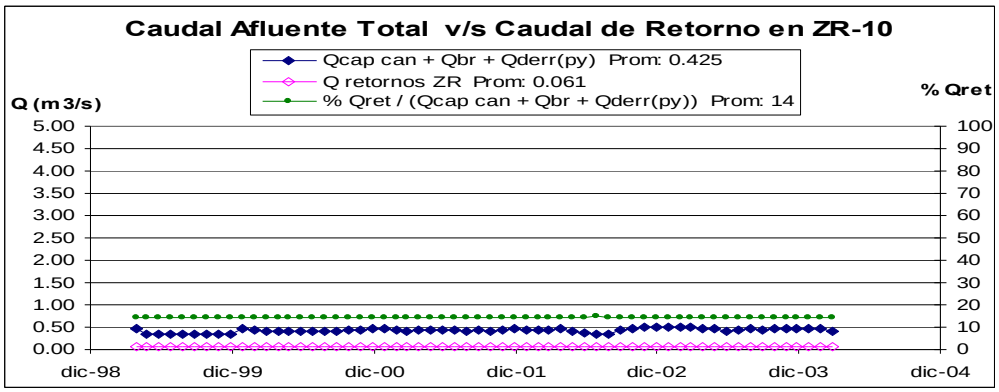
Figura 5-28
Caudal afluente a zona de riego, caudal de retorno expresado como caudal y como porcentaje

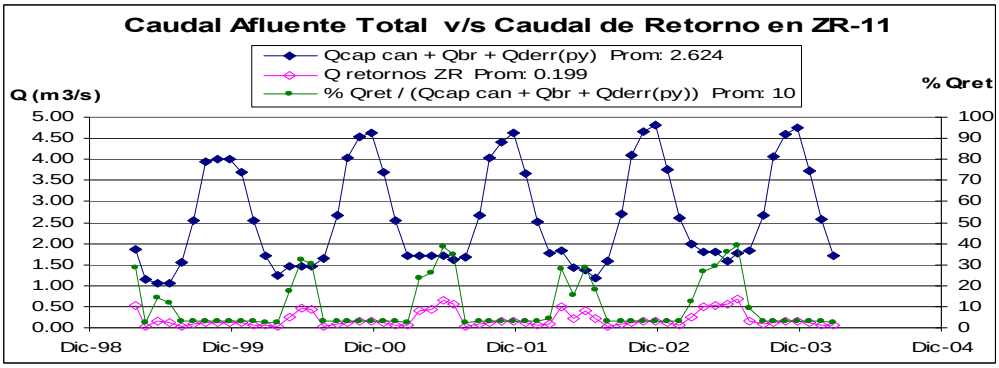


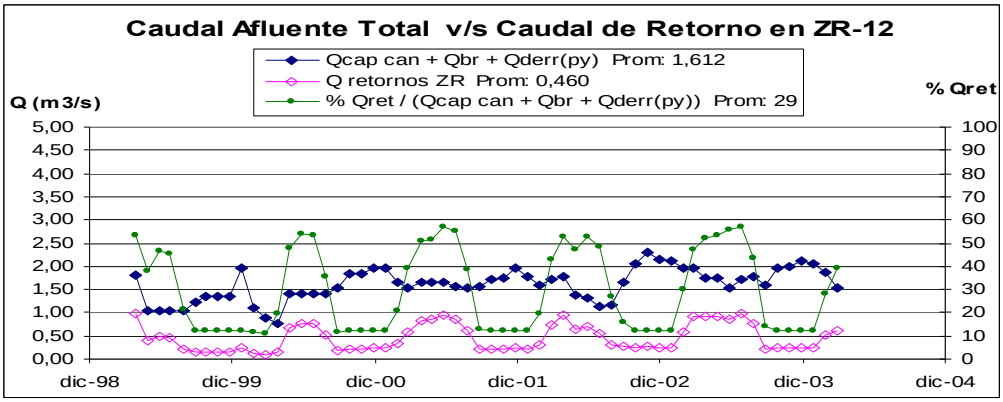





Caudal Afluente Total v/s Caudal de Retorno en ZR-09
Qcap can + Qbr + Qderr(py) Prom: 2,717
Q retornos ZR Prom: 0,815
% Qret / (Qcap can + Qbr + Qderr(py)) Prom: 32
Q (m3/s)
% Qret
5,00
4,50
4,00
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
dic-98
dic-99
dic-00
dic-01
dic-02
dic-03
dic-04


Caudal Afluente Total v/s Caudal de Retorno en ZR-10
Qcap can + Qbr + Qderr(py) Prom: 0.425
Q retornos ZR Prom: 0.061
% Qret / (Qcap can + Qbr + Qderr(py)) Prom: 14
Q (m3/s)
% Qret
5.00
4.50
4.00
3.50
3.00
2.50
2.00
1.50
1.00
0.50
0.00
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
dic-98
dic-99
dic-00
dic-01
dic-02
dic-03
dic-04


Caudal Afluente Total v/s Caudal de Retorno en ZR-11
Qcap can + Qbr + Qderr(py) Prom: 2.624
Q retornos ZR Prom: 0.199
% Qret / (Qcap can + Qbr + Qderr(py)) Prom: 10
Q (m3/s)
% Qret
5.00
4.50
4.00
3.50
3.00
2.50
2.00
1.50
1.00
0.50
0.00
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Dic-98
Dic-99
Dic-00
Dic-01
Dic-02
Dic-03
Dic-04


Caudal Afluente Total v/s Caudal de Retorno en ZR-12
Qcap can + Qbr + Qderr(py) Prom: 1,612
Q retornos ZR Prom: 0,460
% Qret / (Qcap can + Qbr + Qderr(py)) Prom: 29
Q (m3/s)
% Qret
5,00
4,50
4,00
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
dic-98
dic-99
dic-00
dic-01
dic-02
dic-03
dic-04

Respecto de los caudales de retorno hay dos aspectos que deben ser señalados. En primer lugar, como hay entregas parejas durante el año, en el invierno hay grandes retornos que son las aguas no usadas, que pasan de largo por los canales, y vuelven al río. La única zona donde esto no ocurre, sino que hay un uso bastante constante del agua, es la zona 10, Santa Gracia.

El otro aspecto a destacar es el hecho de que el uso del agua en verano es bastante intensivo en casi todas las zonas, llegando a usarse entre el 80 y el 100 % en la mayoría de ellas. La excepción la constituyen las zonas 4 y 6, río Claro, donde los retornos de verano son muy altos, entre 35 y 45 %.

Las zonas bajo el Puclaro son las que hacen el uso más intensivo del agua en general, con promedios de retornos entre 10 y 32% de todas las aguas recibidas. Sobre el Puclaro, los promedios de los retornos se encuentran entre 37 y 61%.

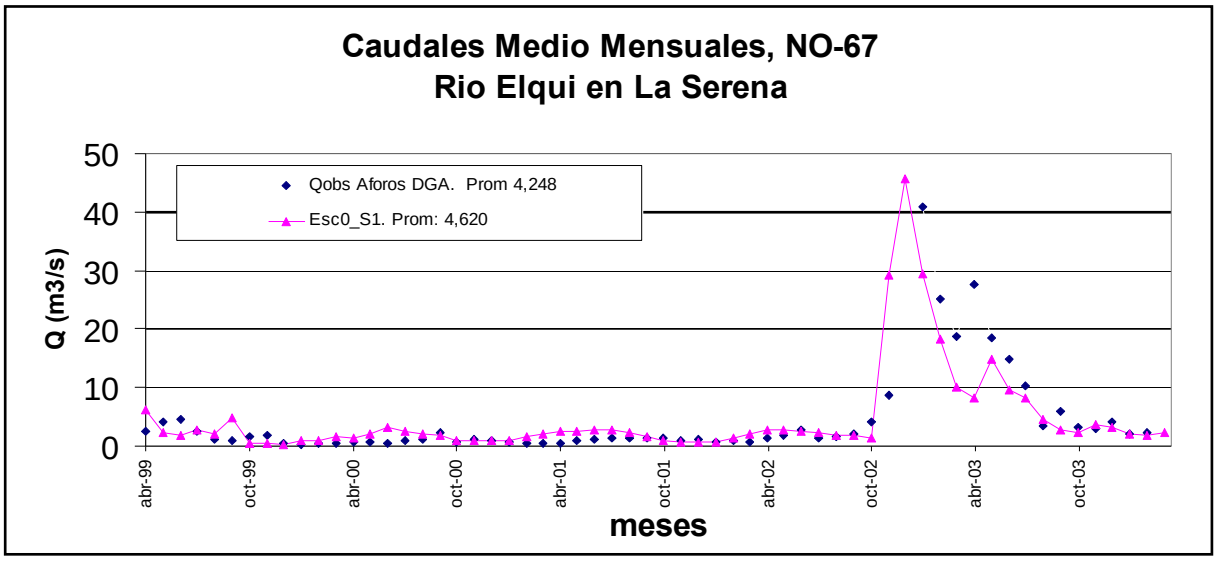
5.4.6 Salidas al mar

El flujo de salida al mar tiene cinco componentes:

- el flujo superficial desde el río Elqui, que es el más importante
- el flujo superficial desde el estero Culebrón (despreciable en relación con el anterior), compuesto por aportes de aguas lluvia y derrames de la zona de riego de Pan de Azúcar
- el flujo subterráneo desde el acuífero 12 (costa), que aporta una componente casi constante, pero pequeña
- los derrames superficiales de la zona de riego de la costa
- las descargas puntuales desde los emisarios del agua servida urbana de La Serena y Coquimbo.

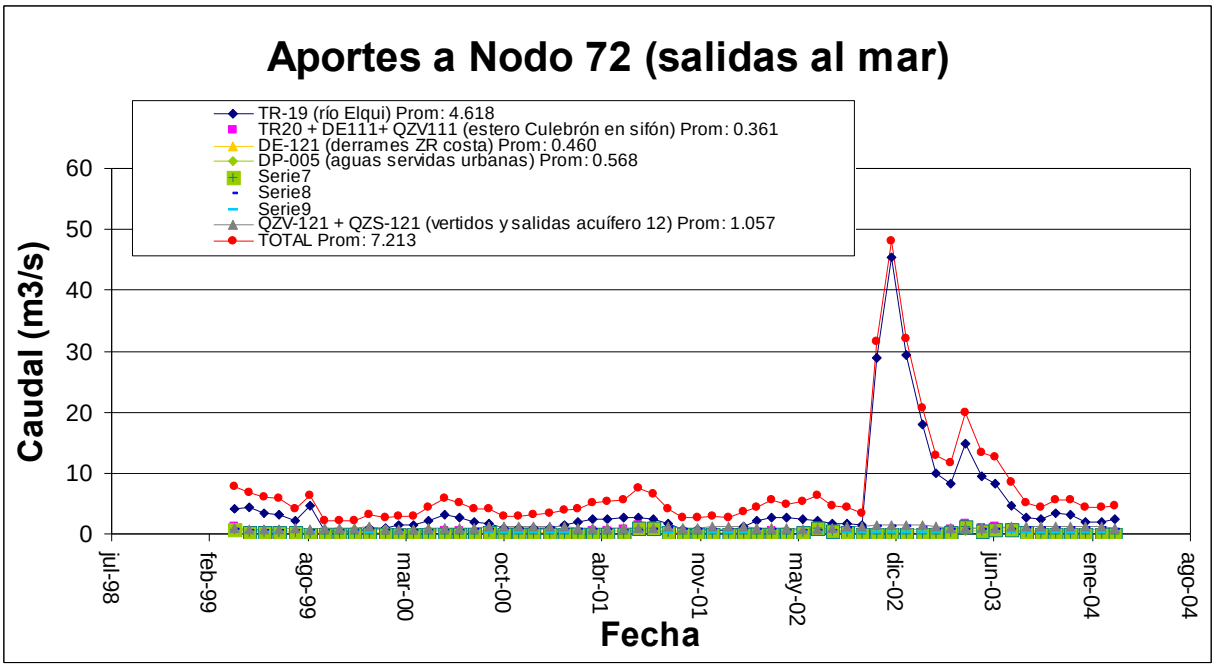
En la Figura 5-29 se muestra el cierre del balance del modelo en la Estación Elqui en La Serena (proveniente de la calibración), donde los caudales superficiales del tramo final del río Elqui están razonablemente bien reproducidos.

Figura 5-29
Caudales observados y simulados en estación Elqui en La Serena Nodo 67



El total de agua que se pierde hacia fuera de la cuenca, con todas las demás componentes, se grafica en la Figura 5-30.

Figura 5-30
Componentes de la salida al mar Nodo 72



Lo anterior muestra que las aguas que se pierden hacia el mar son más que solamente las aguas superficiales que se miden en Elqui en La Serena.

Sin considerar las crecidas, se observa que en años normales (1999-2001) hay un flujo base que se pierde al mar, por el río Elqui, en promedio de 1, 95 m3/s, que no ha sido retenido en las condiciones de operación de este escenario. También se pierden al mar en forma constante en promedio los 0,57 m3 de aguas servidas urbanas, y todas las salidas del acuífero 12, que sumarían aprox. 0,95 m3/s. A ellos se suman los flujos menores y casi inevitables, de derrames por el estero Culebrón, de unos 0,24 m3/s, y los derrames de la zona de riego Costa, de unos 0,35 m3/s. Como resultado del Capítulo 8, operación del modelo de simulación, se prueban acciones y se analiza el efecto de ellas en cuanto a retener esta agua dentro de la cuenca.

5.5 DIAGNÓSTICO EFICIENCIA FÍSICA A NIVEL LOCAL Y GLOBAL: USO AGRÍCOLA

Para el uso agrícola, el diagnóstico se basa muy fundamentalmente en la operación del modelo de simulación, que integra toda la información recopilada en terreno y en gabinete, y entrega resultados de flujos en cualquier punto de la cuenca. Los resultados han sido contrastados y validados con las personas más entendidas en los asuntos del agua en la cuenca.

La visión local del diagnóstico de la eficiencia física se efectúa analizando todas las variables señaladas en los Términos de Referencia, y agregando además el análisis de varios indicadores adicionales que ha parecido de interés desprender de la información generada.

El análisis de la eficiencia del uso del agua en la agricultura se efectúa a través del análisis por zona de riego que permite hacer el modelo, incorporando consideraciones acerca de los paños individuales que han permitido hacer la caracterización por zona, e integrando luego la información para mostrarla a nivel global.

El presente diagnóstico se refiere a la situación actual, el modelo se estableció para representar esta situación, y se operó también en las condiciones actuales. El período de calibración del modelo, que representa la condición actual, es el período 1999-2003, ambos inclusive. Para describir el comportamiento del sistema hídrico en este período, se han desarrollado los aspectos que se presentan continuación, muchos de los cuales también se han representado en el SIG.

5.5.1 Superficie total cultivada

Hay diferentes versiones de la superficie total cultivada, dependiendo de los estudios que se revisen, como también de la época en que ellos fueron desarrollados. Los antecedentes recopilados, contrastados con los antecedentes generados en el presente estudio, son los siguientes:

Las 23.440 ha registradas en el presente estudio corresponden al total del área que se considera cultivable, en toda la cuenca, distribuida por sectores de riego tal como se señala en el Cuadro 5-31. Estas áreas se identificaron, por paños, tanto en la imagen satelital como en las fotografías aéreas. Las fotografías aéreas existentes cubren toda la parte baja de la cuenca, hasta unos 10 km aguas arriba del embalse Puclaro.

Los valores de 18.872 y de 16.358 ha provienen de fuentes que se basan en estudios anteriores, realizados hace 10 y 15 años atrás. El Censo de 1996/7 consigna áreas de 16.082 ha cultivadas con cultivos anuales y permanentes, y 5850 ha de praderas sembradas en la cuenca del Elqui. Es probable que éstas últimas hayan evolucionado hacia los cultivos más rentables de hoy.

Cuadro 5-31
Superficie cultivada total y por zona de riego

ZR	Sup CAZALAC ha	Sup. IRH Ha	Sup. ULS ha
ZR-1	758	466,80	525,84
ZR-2	891	889,70	35,70
ZR-3	419	203,20	323,00
ZR-4	222	268,70	182,30
ZR-5	212	285,90	0,00
ZR-6	286	296,90	303,90
ZR-7	2949	2684,60	2652,70
ZR-8	292	308,30	297,00
ZR-9	6015	5326,71	4874,73
ZR-10	1352	1156,68	647,95
ZR-11	7009	4664,35	4664,35
ZR-12	3035	2320,16	1850,66
TOTAL	**23440**	**18872,00**	**16358,14**

Dado todo lo anterior, el valor generado en el presente estudio, de 23.440 ha, se considera aceptable como base de análisis. De este valor, 5737 ha (25%) se encuentran sobre el embalse Puclaro, y 17703 ha (75%) bajo él. De las 5737 ha sobre Puclaro, 3707 (65%) se encuentran bajo el embalse La Laguna, y las restantes 2030 ha (35%) corresponden al río Claro y sus afluentes.

Hay una estimación de la Junta de Vigilancia, de lo que podría ser el total del área potencialmente regable en la cuenca, que sería de unas 30.000 ha, incluyendo algunos megaproyectos que consideran plantaciones en las laderas de algunos cerros.

5.5.2 Distribución de cultivos

De la información recogida y presentada en el SIG, se ha obtenido el cuadro resumen de los tipos de cultivo por zona de riego, que se muestra en el Cuadro 5-32. Del Cuadro 5-32, a su vez, se ha obtenido el porcentaje de cultivos por zona de riego, que se presenta en el Cuadro 5-33.

Al respecto, se observa que en la cuenca, la mayor parte del terreno (67%) está dedicada a los cultivos de chacra, hortaliza y anuales. Un 62% del terreno se ocupa en cultivos de chacra y hortalizas, mientras que el otro 5% se usa para cereales, fundamentalmente trigo, pero también avena. Estos cultivos se ubican principalmente aguas abajo del embalse Puclaro, donde el clima no es apto para vides.

Cuadro 5-32
Distribución de cultivos por zona de riego, en ha cultivadas

ZR	Vid mesa	Vid vino	Vid pisco	Frutales	Chacra, hort, rot	Alfalfa, pastizal	Total
ZR 1	603	0	51	56	0	47	758
ZR 2	255	0	410	7	220	0	891
ZR 3	124	0	227	14	37	17	419
ZR 4	139	0	40	16	28	0	222
ZR 5	91	0	24	42	0	55	212
ZR 6	209	0	54	11	13	0	286
ZR 7	1185	126	1078	391	125	45	2950
ZR 8	2	93	68	106	22	0	292
ZR 9	51	80	56	788	5040	0	6015
ZR 10	0	0	0	35	1317	0	1352
ZR 11	0	0	0	863	6093	53	7009
ZR 12	0	0	0	241	2793	0	3035
TOTAL	**2658**	**298**	**2008**	**2571**	**15688**	**217**	**23440**

Cuadro 5-33
Distribución porcentual de cultivos por zona de riego

ZR	Vid mesa	Vid vino	Vid pisco	Frutales	Chacra, hort, rot	Alfalfa, pastizal	Total
ZR 1	79,63	0,00	6,77	7,34	0,00	6,27	100,00
ZR 2	28,62	0,00	45,95	0,76	24,66	0,00	100,00
ZR 3	29,56	0,00	54,28	3,24	8,81	4,11	100,00
ZR 4	62,36	0,00	17,89	7,15	12,60	0,00	100,00
ZR 5	42,97	0,00	11,16	19,91	0,00	25,97	100,00
ZR 6	73,02	0,00	18,83	3,69	4,46	0,00	100,00
ZR 7	40,16	4,27	36,55	13,27	4,24	1,51	100,00
ZR 8	0,68	31,80	23,42	36,41	7,69	0,00	100,00
ZR 9	0,85	1,32	0,93	13,11	83,79	0,00	100,00
ZR 10	0,00	0,00	0,00	2,58	97,42	0,00	100,00
ZR 11	0,00	0,00	0,00	12,32	86,92	0,76	100,00
ZR 12	0,00	0,00	0,00	7,96	92,04	0,00	100,00
TOTAL	**11,34**	**1,27**	**8,57**	**10,97**	**66,93**	**0,93**	**100,00**

Un cultivo de gran importancia económica es la vid, que ocupa el 21% del área cultivable. Un 11% corresponde a vid de mesa de exportación, un 9% a vid pisquera y un 1% a vid vinífera. Al respecto, cabe señalar que todas las plantaciones de vides se ubican desde Marquesa hacia arriba, con una sola excepción, que es una plantación de ladera.

Entre los frutales, que abarcan el 11% del área cultivable de la cuenca, predominan (y aumentan) los paltos y cítricos, y disminuyen los papayos y chirimoyos. Los frutales, a diferencia de las vides, están distribuidos por toda la cuenca.

El resto de los cultivos (alfalfa, praderas, otros), es totalmente secundario en la cuenca, no alcanzando en la actualidad más que el 1% del área.

5.5.3 Superficies según métodos de riego

La agregación de las superficies por método de riego dio por resultado el Cuadro 5-34. En este cuadro se ordenaron al inicio los métodos tecnificados, que son aspersión, curva de nivel, goteo y microaspersión, y al final, los tradicionales, que son: platabanda, surco, taza y tendido. Los métodos más utilizados son los que se refieren al goteo, dentro de los tecnificados, y los surcos, entre los métodos tradicionales.

Cuadro 5-34
Superficies por método de riego

ZR	ASPERSION	GOTEO	MICROASPERSION	PLATABANDA	CURVA DE NIVEL	SURCO	TAZAS	TENDIDO	TOTAL
ZR 1	0	612	0	0	0	98	0	47	**758**
ZR 2	0	520	0	0	1	370	0	0	**891**
ZR 3	0	160	0	0	0	242	0	17	**419**
ZR 4	0	169	0	0	0	52	1	0	**222**
ZR 5	0	81	0	0	0	59	17	55	**212**
ZR 6	0	199	0	0	0	79	8	0	**286**
ZR 7	0	1878	1	0	30	1036	5	0	**2950**
ZR 8	0	79	0	0	1	182	5	25	**292**
ZR 9	0	1551	0	0	1	4372	91	0	**6015**
ZR 10	0	175	0	0	0	1171	6	0	**1352**
ZR 11	8	1653	27	0	0	5277	43	0	**7009**
ZR 12	3	121	21	1	0	2838	51	1	**3035**
TOTAL	**11**	**7197**	**49**	**1**	**33**	**15776**	**227**	**146**	**23440**

5.5.4 Porcentaje de tecnificación por zona de riego

En el Cuadro 5-35 se han agrupado todas las superficies tecnificadas y no tecnificadas por zona de riego, y se ha obtenido el porcentaje del área total cultivada que está tecnificada en la actualidad.

Se observa que el porcentaje más alto de superficie tecnificada se encuentra en las zonas de riego de los ríos Turbio y Claro, y Elqui desde la confluencia de ambos hasta el embalse Puclaro. Esta es precisamente la zona climáticamente apta para el cultivo de la vid, y es la zona que se ve más intensivamente cultivada por ser los cultivos permanentes.

Cuadro 5-35
Porcentaje de tecnificación

ZR	Total Superficie	Total Superficie Tecnificada	Total Superficie No Tecnificada	% Tecnificación =Sup.Tecn./Sup.Total
ZR-1	758	612	146	81
ZR-2	891	520	371	58
ZR-3	419	160	259	38
ZR-4	222	169	53	76
ZR-5	212	81	131	38
ZR-6	286	199	87	70
ZR-7	2950	1879	1071	64
ZR-8	292	79	214	27
ZR-9	6015	1551	4464	26
ZR-10	1352	175	1177	13
ZR-11	7009	1688	5321	24
ZR-12	3035	144	2890	05
TOTAL	**23440**	**7258**	**16182**	**31**

Hacia abajo del embalse Puclaro, hay menos cultivos permanentes, que son algunos frutales (catastrados por CIREN), sin embargo, los cultivos más usuales son los temporales y anuales, ya sea cereal, papa u otras hortalizas, los cuales en su mayoría no se riegan en forma tecnificada. Al respecto es necesario decir que también se está comenzando a tecnificar el riego de los cultivos anuales tipo chacra y hortaliza, con miras a su exportación. .

En promedio, de todo el valle hay actualmente un 31% del área que tiene riego tecnificado.

5.5.5 Acciones por unidad de superficie

Las acciones de los canales fueron obtenidas de los registros de las Juntas de Vigilancia, y agregadas de acuerdo con los requerimientos de operación del Magic, por zona de riego.

Es necesario distinguir entre las acciones de las Juntas de Vigilancia del Elqui y del Estero Derecho. En promedio, la Junta de Vigilancia del Elqui maneja alrededor de 1,1 acciones por ha, mientras que la Junta de Vigilancia del Estero Derecho administra 3,4 acciones por ha. En el caso de ésta última, la mayor cantidad de acciones por ha no significa mayor cantidad de agua por ha, sino que solamente una mayor subdivisión de las aguas disponibles, con fines de gestión.

Cuadro 5-36
Acciones por zona de riego

ZR	Superficie total	Acciones totales (suma de todos los canales)	Acciones/ha
ZR-01	758	2136	2,82
ZR-02	891	3043	3,41
ZR-02 (JV)	1352	3043	2,25
ZR-03	419	1016	2,42
ZR-04	222	1239	5,58
ZR-05	212	Sin Información	Sin Información
ZR-06	286	1685	5,90
ZR-07	2950	5888	2,00
ZR-08	292	476	1,63
ZR-09	6015	5643	0,94
ZR-10	1352	1094	0,81
ZR-11	7009	3342	0,48
ZR-12	3035	2593	0,85
TOTAL	**23440**	**28154**	**1,21**
JV Elqui	**22337**	**25110**	**1,12**
Estero Derecho	**891**	**3043**	**3,41**
Queb.Paihuano	**212**		

En los sectores correspondientes a la Junta de Vigilancia del Elqui se observa que las zonas mejor dotadas de acciones en relación con su superficie, son las correspondientes al río Claro, entre Montegrande y Rivadavia (zonas 4 y 6), con más de 5 acciones por ha. Le sigue el río Turbio (zona 1) y Cochiguaz (zona 3), con 2,8 y 2,4 acciones / ha respectivamente. El sector de Vicuña (zona 7) tiene características intermedias, con 2 acciones / ha. Por debajo de este valor se encuentra toda la zona bajo el embalse Puclaro, empeorando hacia aguas abajo. La zona peor dotada es el valle de Pan de Azúcar, con 0,48 acciones / ha.

Si las acciones se dotan de agua en forma homogénea, o casi homogénea, como sucede en el Elqui, entonces las zonas con mayor dotación por hectárea quedan muy favorecidas.

5.5.6 Caudales demandados y caudales recibidos por las zonas de riego

En base a los resultados del modelo de simulación, operado para la época del Puclaro, se observa las siguientes demandas, a nivel raíz y a nivel de entrada a la zona de riego, que se presentan en el Cuadro 5-37. Los Cuadros 5-38 y 5-39 a continuación, contienen la oferta de agua, las demandas efectivamente suplidas y la distribución del recurso hídrico dentro de las zonas de riego.

Cuadro 5-37
Caudal demandado en las zonas de riego

Zona de riego	Area total de riego	Q ddo nivel Raíz	Tasa dda nivel raíz promedio	Q recib x lluvia	Q ddo neto raíz	Qddo entrada ZR	Tasa dda entrada ZR promedio
	Ha	m3/s	l/s/ha	m3/s	m3/s	m3/s	l/s/ha
ZR-01	758	0,207	0,266	0,001	0,206	0,247	0,326
ZR-02	891	0,249	0,275	0,000	0,249	0,319	0,358
ZR-03	419	0,114	0,271	0,000	0,114	0,180	0,430
ZR-04	222	0,066	0,295	0,000	0,066	0,078	0,351
ZR-06	286	0,088	0,302	0,000	0,088	0,108	0,377
ZR-07	2949	0,815	0,276	0,004	0,811	1,015	0,344
ZR-08	292	0,080	0,272	0,000	0,080	0,120	0,410
ZR-09	6015	1,074	0,178	0,000	1,074	1,570	0,261
ZR-10	1352	0,462	0,342	0,000	0,462	1,016	0,751
ZR-11	7009	1,165	0,166	0,000	1,165	2,242	0,320
ZR-12	3035	0,504	0,166	0,000	0,504	1,087	0,358
ZR-05	212						
Total	**23440**	**4,822**	**0,207**	**0,005**	**4,817**	**7,981**	**0,344**

Cuadro 5-38
Oferta de agua, caudales recibidos y demanda suplida

Zona de riego	Q captado canales en BT	Q entregado canales a ZR	Q entregado bombeo	Q producido para riego	Q recibido para riego en ZR	Q recibido total ZR (inc lluvia)	Tasa riego recibida promedio	% DS
	m3/s	m3/s	m3/s	M3/s	m3/s	m3/s	l/s/Ha	%
ZR-01	0,807	0,617	0,000	0,807	0,617	0,618	0,795	100
ZR-02	**0,878**	**0,717**	**0,003**	**0,881**	**0,720**	**0,720**	**0,796**	**95**
ZR-03	0,436	0,316	0,000	0,436	0,316	0,316	0,752	99
ZR-04	0,482	0,313	0,000	0,482	0,313	0,313	1,411	100
ZR-06	0,716	0,534	0,000	0,716	0,534	0,534	1,822	100
ZR-07	2,662	1,907	0,007	2,669	1,914	1,918	0,650	100
ZR-08	0,212	0,194	0,002	0,214	0,196	0,196	0,668	99
ZR-09	2,573	2,046	0,144	2,717	2,190	2,190	0,364	97
ZR-10	**0,265**	**0,212**	**0,160**	**0,425**	**0,372**	**0,372**	**0,275**	**45**
ZR-11	1,620	1,296	1,004	2,624	2,300	2,300	0,328	99
ZR-12	**1,543**	**1,149**	**0,070**	**1,612**	**1,218**	**1,218**	**0,401**	**91**
Total	**12,194**	**9,300**	**1,390**	**13,583**	**10,690**	**10,695**	**0,458**	**90,0**

Cuadro 5-39
Distribución del recurso

Zona de riego	Area total de riego	Q producido para riego	Q recibido para riego en ZR	Q aplic. Raíz	Q derr	Q perc	Q retornos
	Ha	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s
ZR-01	758	0,807	0,617	0,207	0,012	0,029	0,382
ZR-02	891	0,881	0,720	0,228	0,011	0,054	0,438
ZR-03	419	0,436	0,316	0,112	0,017	0,048	0,155
ZR-04	222	0,482	0,313	0,066	0,004	0,009	0,239
ZR-06	286	0,716	0,534	0,088	0,005	0,015	0,431
ZR-07	2949	2,669	1,914	0,813	0,050	0,152	0,948
ZR-08	292	0,214	0,196	0,079	0,009	0,030	0,088
ZR-09	6015	2,717	2,190	1,007	0,097	0,368	0,815
ZR-10	1352	0,425	0,372	0,169	0,061	0,141	0,061
ZR-11	7009	2,624	2,300	1,130	0,074	0,971	0,199
ZR-12	3035	1,612	1,218	0,417	0,141	0,342	0,460
Total	**23228**	**13,583**	**10,690**	**4,316**	**0,481**	**2,159**	**4,216**

Para el análisis de estos cuadros es necesario tener presente que se trata de valores promedio, para todas las variables. Los valores promedio enmascaran fallas temporales de verano o de sequías, pues esas fallas quedan compensadas con valores grandes que se presentan en invierno o períodos húmedos. Los valores que se marcan en negrilla, muestran zonas donde los promedios no permiten apreciar que sí hay fallas en el suministro de agua, en los momentos más secos de la serie.

Sobre el embalse Puclaro, ninguna zona tiene problemas de riego, salvo la zona 2, correspondiente al Estero Derecho. Las demás zonas se abastecen fundamentalmente con aguas superficiales, y sólo en pequeña medida se suplementan con aguas subterráneas. La zona 2 puede presentar problemas en los años normales a secos.

Hacia aguas abajo del embalse Puclaro, las zonas 8 (bajo Puclaro ex 2ª sección), 9 (Elqui bajo) y 11 (Pan de Azúcar) tienen la posibilidad de alimentarse suficientemente, supliendo los déficits de aguas superficiales con bombeos. Las zonas 10 y 12, por el contrario, no se alcanzan a abastecer completamente. Para la zona 9, el uso de pozos es fundamental, y suple una buena parte de la demanda no cubierta por el agua superficial, pero de la gran cantidad de derechos que existe en ese acuífero (2,24 m3/s), la mayor parte (1,55 m3/s) está destinada al agua potable, y no está disponible para el riego. Sólo hay 0,55 m3/s disponibles como tope para el riego, el resto está en la industria. Por este motivo, no se alcanza a dar mayor seguridad de riego a la zona 9. En la zona 10, el acuífero no es capaz de suplir los requerimientos que no suple el agua superficial. En la zona 12, el límite lo ponen nuevamente los derechos, no la capacidad del acuífero.

En todo caso, en las zonas que no tienen una seguridad suficiente (80-85%), que son las zonas 2, 9, 10 y 12, lo más probable es que en la actualidad el área cultivada con cultivos permanentes sea menor que la asumida, es decir, que se cultive sólo un porcentaje del área total cultivable. Este porcentaje se puede estimar en función de la demanda suplida con un 85% de seguridad en los meses de máxima. De la estadística de los últimos 5 años (años hidrológicamente buenos), y con la forma de operar el agua que se ha usado en este período, se obtiene que se podrían cultivar en forma permanente un 90% en la zona 2, 90% en la zona 9, 30% en la zona 10 y 70% en la zona 12.

Estos porcentajes cambian al mirar una estadística más larga y realista, y al intentar hacer entregas más eficientes desde los embalses, como se verá en el Capítulo 8 de operación del modelo.

5.5.7 Tasa de riego

La tasa de riego es la medida del agua total que se aplica a las zonas de riego mediante canales y pozos. Se compara las tasas de riego promedio, aplicadas efectivamente a cada zona de riego, con las tasas demandadas, a nivel raíz y a nivel de zona de riego. Se obtienen las siguientes tasas de riego, todas en promedio:

Cuadro 5-40
Tasas de riego

Zona de riego	Area total de riego	Tasa dda nivel raíz promedio	Tasa dda entrada ZR promedio	Tasa riego recibida promedio	Q ddo entrada ZR	Q recibido entrada ZR	% DS
	Ha	l/s/ha	l/s/ha	l/s/Ha	m3/s	m3/s	%
ZR-01	758	0,266	0,326	0,795	0.247	0.247	100
ZR-02	891	**0,275**	**0,358**	**0,796**	**0.319**	**0.293**	**95**
ZR-03	419	0,271	0,430	0,752	0.180	0.177	99
ZR-04	222	0,295	0,351	1,411	0.078	0.078	100
ZR-06	286	0,302	0,377	1,822	0.108	0.108	100
ZR-07	2949	0,276	0,344	0,650	1.015	1.015	100
ZR-08	292	0,272	0,410	0,668	0.120	0.118	99
ZR-09	6015	0,178	0,261	0,364	1.570	1.472	97
ZR-10	1352	**0,342**	**0,751**	**0,275**	**1.016**	**0.372**	**45**
ZR-11	7009	0,166	0,320	0,328	2.242	2.175	99
ZR-12	3035	**0,166**	**0,358**	**0,401**	**1.067**	**0.900**	**91**
Total	**23228**	**0,207**	**0,344**	**0,458**	**7.981**	**6.955**	**90.0**

En negrillas se señalan las tasas que si bien en promedio parecieran cubrir adecuadamente las demandas, no lo hacen en algunos meses más secos, generando fallas en la cobertura.

Se observa que debido a las grandes dotaciones de derechos que tienen los canales en las zonas 4 y 6 (río Claro), en dichas zonas hay disponibilidades de tasas mayores que 1 l/s/ha, en promedio. Estas tasas son propias de métodos de riego no tecnificados. De todas formas, esto muestra que estos canales, en épocas normales, no usan todos sus derechos, porque no hay área de cultivo desarrollada como para aplicarlos.

En las zonas menos o no tecnificadas, aguas abajo del Embalse Puclaro, las tasas de riego van disminuyendo, y llegan hasta un valor promedio mínimo de 0,28 l/s/ha en la zona 10 (Quebrada Santa Gracia), lo que muestra que estos derechos son intensivamente utilizados.

5.5.8 Flujos de retorno

Las series de tiempo de los flujos de retorno se presentan en el Capítulo 5.4.5. En base a ellos, es posible observar que los mayores porcentajes de retorno sobre el agua que recibe la zona de riego, se producen en los sectores altos, sobre el embalse Puclaro. Bajo el embalse, a pesar de que el riego es más ineficiente por falta de tecnificación, los retornos se reducen y el agua es mejor aprovechada.

Cuadro 5-41
Importancia de flujos de retorno superficial

Zona de riego	Area total de riego	Q producido para riego	Q recibido para riego en ZR	Q retornos	% retornos
	Ha	m3/s	m3/s	m3/s	%
ZR-01	758	0,807	0,617	0,382	50
ZR-02	891	0,881	0,720	0,438	44
ZR-03	419	0,436	0,316	0,155	37
ZR-04	222	0,482	0,313	0,239	50
ZR-06	286	0,716	0,534	0,431	61
ZR-07	2949	2,669	1,914	0,948	39
ZR-08	292	0,214	0,196	0,088	42
ZR-09	6015	2,717	2,190	0,815	32
ZR-10	1352	0,425	0,372	0,061	14
ZR-11	7009	2,624	2,300	0,199	10
ZR-12	3035	1,612	1,218	0,460	29
Total	**23228**	**13,583**	**10,690**	**4,216**	**33**

5.5.9 Porcentaje de demanda suplida y seguridad de riego

La seguridad de riego se define en base al porcentaje de la demanda suplida, obtenido mes a mes. Se entiende que el riego es seguro, cuando la demanda es suplida al menos en un 90% todos los meses del año, salvo en un mes, en que debe ser suplida al menos en un 80%. Si no

se cumplen estas condiciones, el año se considera fallo. El porcentaje de años no fallos de una estadística permiten obtener la seguridad de riego.

En el presente caso, se analiza la estadística de un período de 5 años. En el Capítulo 5.4.4 se entregan todas las series de tiempo de 5 años para cada una de las zonas de riego. De ellas se obtiene el Cuadro 5-42.

Es de hacer notar que estos valores son representativos de un período hidrológico normal-bueno, en que ya funcionó el embalse Puclaro. Esto significa que para estadísticas más largas, que incluyan sequías, estos valores empeoran.

Cuadro 5-42
Seguridad de riego y demanda suplida

Zona de riego	Area total de riego	Años fallos	Seguridad de riego	% DS
	Ha	de 5	%	%
ZR-01	758	0	100	100
ZR-02	891	**2**	**60**	**95**
ZR-03	419	0	100	99
ZR-04	222	0	100	100
ZR-06	286	0	100	100
ZR-07	2949	0	100	100
ZR-08	292	0	100	99
ZR-09	6015	1	80	97
ZR-10	1352	**5**	**0**	**45**
ZR-11	7009	1	80	99
ZR-12	3035	**5**	**0**	**91**
Total	**23228**			**90,0**

Se observa, nuevamente, que los sectores altos hasta Puclaro, con la excepción del Estero Derecho, tienen altas seguridades de riego. El Estero Derecho, como no tiene regulación, tiene dificultades para suplir su demanda, salvo en años buenos. Para los sectores bajo el embalse, los sectores 8 y especialmente 11 (Pan de Azúcar), suplen el déficit de oferta superficial con agua subterránea. Queda con algunos problemas de abastecimiento la zonas 9, porque tiene pocos derechos subterráneos destinados al riego, y quedan en malas condiciones de abastecimiento las zonas 10 y 12, que no pueden regar toda su superficie. Probablemente rieguen sólo un porcentaje de esa superficie, y, en todo caso, riegan en invierno, aprovechando el agua cuando la tienen.

La zona 10 no puede acudir al acuífero para aumentar su seguridad de riego, sino que debiera proceder al traslado de aguas superficiales. La zona 12 podría aumentar su seguridad de riego,

en base a una mayor explotación de los acuíferos, pero hay un límite administrativo, porque la DGA tiene restringida la constitución de nuevos derechos. En tal situación, en el modelo se puede bombear sólo hasta un tope que no alcanza a mejorar la situación.

En resumen, se observa que una gran parte de la cuenca tiene alta seguridad de riego, y puede regar todas sus tierras cultivables sin problemas. Las zonas que tienen problemas de abastecimiento en verano, son la zona 2 (Estero Derecho), levemente la zona 9 (Elqui Bajo), la zona 10 (Santa Gracia) y la zona 12 (Elqui costa), vale decir, gran parte del área del Elqui que se encuentra bajo Puclaro, áreas que sin embargo tienen una buena cobertura de su demanda durante el resto del año. La situación más difícil la presenta la Quebrada Santa Gracia.

Los resultados para un período más largo se muestran en los escenarios de operación que se presentan en el Capítulo 8.

5.5.10 Fuentes de agua por zona de riego

Lo anteriormente señalado, basado en los resultados del modelo de simulación, permite obtener las fuentes de agua de las que se surten principalmente las zonas de riego, que son las que se muestran en el Cuadro 5-43. Se observa que el uso de pozos cobra importancia aguas abajo del embalse Puclaro (zonas 8 en adelante), y en la zona 2, que no está respaldada por ningún embalse.

Cuadro 5-43
Fuente de agua por zona de riego

Sector	Fuente
ZR-01	canal
ZR-02	canal/pozo
ZR-03	canal
ZR-04	canal
ZR-05	canal
ZR-06	canal
ZR-07	casi sólo canal
ZR-08	casi sólo canal
ZR-09	canal/pozo
ZR-10	canal/pozo
ZR-11	canal/pozo
ZR-12	canal/pozo

5.5.11 Eficiencia de aplicación y eficiencia total desde bocatoma

De la información presentada, se obtiene directamente las siguientes eficiencias de uso del recurso:

- eficiencia de aplicación del riego, por zona de riego (caudal demandado nivel raíz / caudal demandado a la entrada de la zona de riego)

- eficiencia total desde bocatoma, por zona de riego (caudal recibido nivel raíz / caudal captado en BT más bombeado)

Ambas eficiencias se presentan, por zona de riego, en el Cuadro 5-44.

Se observa que en las zonas altas, la eficiencia de riego es muy alta, pero el hecho de contar con una cantidad grande de acciones por hectárea, hace que haya una eficiencia de uso total muy baja. Es decir, del agua captada, sólo se usa entre un 14 y un 26%, el resto es devuelto al sistema.

Por el contrario, hacia las zonas más bajas de la cuenca, la eficiencia de aplicación del riego va disminuyendo, pues los agricultores tienen menos riego tecnificado, pero por el contrario, va aumentando la eficiencia con que se usa el agua disponible, lo que se debe a que en parte se surten con pozos, reduciendo las pérdidas de conducción. Esto último no es el caso en la zona 12, donde nuevamente se observa una eficiencia baja de uso del agua producida para riego, con las consiguientes pérdidas de agua hacia el mar.

Cuadro 5-44
Eficiencia de uso del agua

Zona de riego	Area total de riego (ha)	% Efic. Aplicación zona	Efic total desde BT
ZR-01	758	72	26
ZR-02	891	64	26
ZR-03	419	46	26
ZR-04	222	73	14
ZR-05	212		
ZR-06	286	70	12
ZR-07	2949	67	30
ZR-08	292	56	37
ZR-09	6015	52	37
ZR-10	1352	46	40
ZR-11	7009	51	43
ZR-12	3035	46	26
Total	**23440**	**54**	**35**

5.5.12 Derechos subterráneos para riego y totales

Lo señalado sobre las acciones de agua superficial explica que las zonas menos dotadas de aguas superficiales hayan recurrido en mayor medida a los derechos subterráneos para suplir su demanda.

Los derechos subterráneos, totales y de riego, comprometidos en la cuenca, están distribuidos como se muestra en el Cuadro 5-45. Los derechos que no son para riego, son para agua potable, industria y minería, según se precisa en los acápites correspondientes.

Se observa que hay gran cantidad de derechos subterráneos para riego en los sectores 7 (Vicuña) y 11 (Pan de Azúcar). Las demás zonas altas tienen muy pocos o no tienen derechos subterráneos, porque no los necesitan.

El acuífero 9 (Elqui Bajo) tiene pocos pozos destinados a riego. Para esta zona, el uso del agua subterránea para suplir la demanda de riego es fundamental para complementar el recurso superficial, pero de la gran cantidad de derechos que existe en ese acuífero (2,23 m3/s), la mayor parte (1,55 m3/s) está destinada al agua potable, y no está disponible para el riego. Sólo hay 0,55 m3/s disponibles para el riego. Con esto se logra dar una seguridad adecuada al 90% de la superficie.

En la zona 10 (Santa Gracia), los derechos subterráneos constituidos son del orden de la capacidad física del acuífero.

Cuadro 5-45
Derechos subterráneos para riego y total

Acuífero	Derechos Totales	Derechos Riego
	m3/s	m3/s
AC-01	0,227	0,142
AC-02	0,044	0,014
AC-03	0,000	0,000
AC-04	0,050	0,050
AC-06	0,011	0,000
AC-07	1,511	1,412
AC-08	0,026	0,016
AC-09	2,232	0,551
AC-10	0,237	0,203
AC-11	3,542	2,814
AC-12	0,470	0,189
Total	**8,350**	**5,391**

5.5.13 Características físicas de los acuíferos

En el Cuadro 5-46 se muestra el volumen y los flujos de entrada y salida promedio, con los que se modeló cada uno de los acuíferos definidos. El volumen total de agua almacenada en los acuíferos es de 453 millones de m3. De este volumen, el 90% se encuentra bajo el embalse Puclaro, y el 41% corresponde al acuífero de Pan de Azúcar.

Cuadro 5-46
Volumen y flujos de entrada y salida de acuíferos

Acuífero	Volumen agua	Flujo entrante	Flujo saliente
	Mill m3	m3/s	m3/s
AC-01	5,43	0,000	0,086
AC-02	0,89	0,000	0,017
AC-03	0,41	0,000	0,014
AC-04	0,99	0,031	0,076
AC-06	1,50	0,076	0,132
AC-07	38,11	0,088	0,034
AC-08	9,76	0,034	0,141
AC-09	141,1	0,141	0,347
AC-10	8,93	0,000	0,021
AC-11	188,42	0,010	0,041
AC-12	59,56	0,385	0,342
Total	**453,04**	**0,000**	**0.342**

5.5.14 Percolaciones, afloramientos y recargas netas

Para analizar el comportamiento de los acuíferos, se ha hecho el análisis de las recargas disponibles, provenientes de percolaciones desde las aguas superficiales (canales, cauces y zonas de riego), los afloramientos y las recargas netas, que se muestran en el Cuadro 5-47.

Por otro lado, en el Cuadro 5-48 se muestra el grado de explotación de los acuíferos, distinguiendo entre los diferentes uso a los que se destinan los derechos.

Cuadro 5-47
Percolaciones, afloramientos y recarga neta de acuíferos

Acuífero	Percol. desde canales	Percol. desde ZR	Percol. desde cauce	Recarga disponible	Afloramiento	Recarga neta	% Recarga neta sobre recarga disp.
	m3/s	m3/s	m3/s	M3/s	m3/s	m3/s	%
AC-01	0.190	0.029	0.609	0.828	0.724	0.104	13
AC-02	0.161	0.054	0.011	0.226	0.203	0.023	10
AC-03	0.121	0.048	0.107	0.276	0.263	0.014	5
AC-04	0.169	0.009	0.115	0.292	0.246	0.045	15
AC-06	0.182	0.015	0.125	0.321	0.254	0.067	21
AC-07	0.755	0.152	1.050	1.955	1.955	0.001	0
AC-08	0.110	0.030	0.161	0.301	0.191	0.110	37
AC-09	1.245	0.368	0.958	2.572	2.109	0.462	18
AC-10	0.053	0.141	0.000	0.194	0.000	0.194	100
AC-11	0.324	0.971	0.086	1.381	0.162	1.220	88
AC-12	0.394	0.342	0.055	0.791	0.715	0.077	10
Total	**3.703**	**2.159**	**3.277**	**9.137**	**6.821**	**2.317**	**25**

Cuadro 5-48
Grado de explotación de los acuíferos

Acuífero	Recarga disponible	Recarga neta	Capac Bombeo Total	Capac Bombeo Riego	Bomb total	Bomb riego	Bomb otros usos	% bom tot sobre der totales	% bom riego sobre der riego	% bom tot sobre recargas netas
	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	%	%	%
AC-01	0.828	0.104	0.227	0.142	0.018	0.000	0.018	7.9	0.0	17.3
AC-02	0.226	0.023	0.044	0.014	0.007	0.003	0.004	15.0	18.7	28.5
AC-03	0.276	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
AC-04	0.292	0.045	0.050	0.050	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
AC-06	0.321	0.067	0.011	0.000	0.011	0.000	0.011	100.0	0.0	16.5
AC-07	1.955	0.001	1.511	1.412	0.056	0.007	0.049	3.7	0.5	0.0
AC-08	0.301	0.110	0.026	0.016	0.004	0.002	0.002	14.9	11.9	3.5
AC-09	2.572	0.462	2.232	0.551	0.249	0.144	0.104	11.1	26.2	53.8
AC-10	0.194	0.194	0.237	0.203	0.179	0.160	0.019	92.3	100.0	92.1
AC-11	1.381	1.220	3.542	2.814	1.206	1.004	0.201	35.0	35.7	98.8
AC-12	0.791	0.077	0.470	0.189	0.120	0.070	0.050	25.5	36.9	156.2
Total	**9.137**	**2.317**	**8.350**	**5.391**	**1.848**	**1.390**	**0.458**	**22.1**	**25,8**	**79,8**

Se observa en este cuadro que hay cinco comportamientos distintos de los acuíferos, analizando la explotación en relación con la recarga disponible.

En primer lugar están los acuíferos superiores, de los sectores 1 al 7 (aguas arriba de Puclaro), donde casi no se produce recarga neta. En estos acuíferos, la ausencia de recarga neta se explica porque casi no presentan explotación, ya sea porque no hay suficientes derechos (acuífero 2, Estero Derecho) o porque no hay necesidad de aguas subterráneas (zonas 1, 3, 4, 6, 7) Las zonas 1, 6 y 7 prácticamente no usan los pozos que tienen, y las zonas 3 y 4 no tienen pozos. Al encontrarse en la caja del río, y estar en estrecho contacto con él, estos acuíferos van casi siempre llenos. Las disponibilidades de recarga son en gran medida rechazadas. Las recargas netas en este sector llegan como máximo al 21% de la recarga disponible.

Hacia aguas abajo del Puclaro, se encuentra el sector 8 (Elqui medio bajo Puclaro). En este sector tampoco hay explotación del acuífero, sin embargo hay una aceptación mayor de las recargas disponibles (37% en promedio), por el hecho de que hay un estrangulamiento de paso (parcial, no total), en la cortina del embalse Puclaro, lo que hace que el acuífero 8 acepte parte de la recarga superficial aunque no sea explotado.

Un caso diferente se presenta en el sector 9 (Elqui bajo). Si bien hay grandes afloramientos, o rechazos de recarga, hay una explotación no menor, con lo cual se produce una necesidad de recarga. Hay una interacción más importante entre las aguas superficiales y las subterráneas en este sector. No obstante ello, la explotación de este acuífero podría ser aún mayor, sin afectar los volúmenes embalsados, lo que se analiza en un escenario de explotación.

Los acuíferos 10 (Santa Gracia) y 11 (Pan de Azúcar) se encuentran en una situación totalmente diferente, porque no están ligados a un cauce permanente. Son acuíferos extendidos, cuyas recargas disponibles provienen fundamentalmente de canales y zonas de riego. Estos acuíferos reciben toda las recargas que se encuentran disponibles, y las explotan casi en su totalidad. Ambos acuíferos se encuentran en una situación crítica de explotación.

El caso del acuífero 10 es más crítico que el 11, porque las demandas son muy grandes en relación con las recargas. En la situación analizada, en que el área efectivamente regada es chica, los derechos se asemejan a las recargas, de modo que los derechos permiten una explotación intensiva que copa la capacidad del acuífero. En el acuífero 11, también los derechos exceden las recargas disponibles, pero las demandas al acuífero son similares a las recargas, de modo que los derechos permiten la explotación de tal demanda, y el acuífero permanece en un estado de equilibrio.

Lo anterior muestra que es adecuada y justificada la restricción impuesta por la DGA en estos sectores (Santa Gracia y Pan de Azúcar) para la constitución de nuevos derechos subterráneos.

Finalmente, el acuífero 12 (costa) muestra un valor de recarga neta negativa, porque es un acuífero esencialmente vertiente, de hecho es el acuífero terminal del sistema, y vierte sus caudales por sobre la cuña marina. En este acuífero, el bombeo está restringido administrativamente, a un 15% de las recargas disponibles, lo que no tendría una justificación clara en la naturaleza ni comportamiento del acuífero Las aguas de este acuífero podrían ser aprovechadas en vez de ser entregadas al mar.

Hay algunos acuíferos en los cuales los derechos comprometidos significan un tope para la explotación solicitada. Estos son los acuíferos 2 (Estero Derecho), 8 (Elqui bajo Puclaro), 9 (Elqui bajo), 10 (Santa Gracia), 11 (Pan de Azúcar) y 12 (Costa). Como ya se ha visto, sólo en los acuíferos 10 y 11 se justifica este tope, tal como actualmente se establece, dadas las características de recargas y demandas de dichos acuíferos.

En las demás zonas, a través de la operación del modelo una vez calibrado, se estudia el límite de explotación para cada acuífero, y se señala los sectores donde las restricciones administrativas existentes podrían ser, en alguna medida, relajadas.

5.5.15 Intensidad de uso de las aguas subterráneas

Hay algunas zonas de la cuenca donde no se usan las aguas subterráneas, porque el agua superficial da abasto. Estas zonas son: el Turbio (1), el Cochiguaz (3), el Claro (4 y 5) y el Elqui hasta el embalse Puclaro (7). Las zonas donde el acuífero tiende a usarse, pero los derechos limitan la explotación, son el acuífero del Estero Derecho (con derechos por 14 l/s para riego), todo el Elqui bajo el embalse Puclaro (8 y 9), Santa Gracia (10) y el sector Costa (12). De todos estos acuíferos, sólo en el de Santa Gracia los derechos constituidos generan una explotación que llega al límite de la capacidad de aporte del acuífero. En todos los demás acuíferos, hay una cantidad de recarga disponible, y un volumen del acuífero siempre

prácticamente intacto, que podría ser usado si hubiera más derechos. Esto se refiere especialmente a los acuíferos de los sectores 9 (Elqui Bajo), donde la gran mayoría de los derechos son para asegurar el agua potable, quedando sin uso gran parte de ellos, y 12, donde la explotación topa en los derechos comprometidos.

El acuífero de Pan de Azúcar (zona 11) representa una situación muy especial de nuevo equilibrio, en que los derechos existentes son suficientes para complementar el agua superficial, logrando dar seguridad a toda el área actual, sin afectar, por otro lado, los equilibrios del acuífero. Pese a la explotación bastante intensiva de los derechos existentes durante el verano, el acuífero se mantiene sin señales de sobreexplotación. Esta situación podría cambiar si los derechos se vendieran hacia otros usos de explotación más intensiva durante todo el año.

5.5.16 Acuíferos con posibilidad de incrementar la intensidad de uso

De acuerdo con lo observado, y bajo las condiciones de análisis, los acuíferos donde sería posible incrementar de explotación serían, en teoría, casi todos los de la cuenca, con excepción del acuífero de Santa Gracia (10) y el de Pan de Azúcar (11). En todo el valle sobre el Puclaro, sin embargo, los acuíferos son pequeños, y además, no hay demanda para tal recurso, con excepción del acuífero del Estero Derecho (zona 2), cuyo comportamiento se analiza en el Capítulo 8 de operación.
Bajo el embalse Puclaro, específicamente en los acuíferos 8, 9 y 12 (Elqui medio, bajo y Costa) sí habría demanda por el recurso subterráneo, también habría capacidad para una mayor explotación. Justamente en este sector está restringida la constitución de nuevos derechos.

En el Capítulo 8 se presenta la operación de varios escenarios que permiten dilucidar cuáles acuíferos podrían tolerar una mayor explotación, y una estimación de cuánto podría ser esa explotación si se busca suplir las necesidades del riego.

5.5.17 Estimación de m3 entregados en bocatoma, por acción y por hectárea

En el Cuadro 5-49 se presenta, para cada zona de riego, la dotación de m3/acción/año con que cuentan en promedio las acciones de cada sector. También se presenta la dotación de m3/acción/año para un año normal y para un año húmedo. No hay años secos en este período.

Cuadro 5-49
Estimación de m3 por acción por zona de riego

Zona de riego	Acciones	Acciones / ha	Promedio			Año húmedo 2002-2003			Año normal 1999-2000		
			Q canales en BT	Q en BT / acc	Volumen anual / acc	Q canales en BT	Q en BT / acc	Volumen anual / acc	Q canales en BT	Q en BT / acc	Volumen anual / acc
			m3/s	l/s/acc	m3/acc/año	m3/s	l/s/acc	m3/acc/año	m3/s	l/s/acc	m3/acc/año
ZR-01	2136	2.82	0.807	0.378	11915	0.652	0.305	9625	0.961	0.450	14193
ZR-02	3043	3.42	0.878	0.289	9099	1.610	0.529	16686	0.435	0.143	4512
ZR-03	1016	2.42	0.436	0.429	13533	0.442	0.435	13722	0.447	0.439	13859
ZR-04	1239	5.58	0.482	0.389	12268	0.468	0.378	11910	0.492	0.397	12514
ZR-06	1685	5.89	0.716	0.425	13400	0.697	0.413	13036	0.728	0.432	13627
ZR-07	5888	2.00	2.662	0.452	14258	2.774	0.471	14856	2.641	0.448	14143
ZR-08	476	1.63	0.212	0.445	14045	0.220	0.463	14603	0.200	0.421	13273
ZR-09	5643	0.94	2.573	0.456	14379	2.629	0.466	14689	2.210	0.392	12352
ZR-10	1094	0.81	0.265	0.242	7639	0.282	0.257	8119	0.216	0.198	6236
ZR-11	3342	0.48	1.620	0.485	15287	1.727	0.517	16293	1.328	0.397	12529
ZR-12	2593	0.85	1.543	0.595	18766	1.688	0.651	20531	1.167	0.450	14192
Total	**28155**	**1.21**	**12.194**	**0.433**	**13658**	**13.188**	**0.468**	**14771**	**10.825**	**0.384**	**12125**

En esta tabla nuevamente conviene distinguir entre las Juntas de Vigilancia del Elqui y del Estero Derecho (ZR-02). En las zonas de la Junta de Vigilancia del Elqui, la dotación por acción es bastante uniforme, variando entre 11900 y 15300 m3/acción/año, con las excepciones extremas de la zona 10, de Santa Gracia, con 7600 m3/acción/año, y la zona 12 de la costa, que se alimenta de recuperaciones, con 18700 m3/acción/año. En el Estero Derecho, se observa que la dotación media es de 9100 m3/acción/año.

Para el Estero Derecho, la dotación de la acción varía fuertemente entre años húmedos y secos, mostrando el efecto de la falta de regulación. Para el Elqui, por el contrario, no hay variaciones fuertes entre los años normales y húmedos, como lo muestran las cifras. Hay que tener presente, eso sí, que en este período no hubo años secos.

En el Cuadro 5-50 se presenta la dotación de m3/hectárea/año, igualmente para el promedio del período, para un año normal y para un año húmedo.

Si bien a partir de la dotación pudiera parecer que el agua entregada a las zonas bajas es más que a las zonas altas, esto en realidad no es así, debido al número de acciones por hectárea que posee cada zona. En las zonas altas, hay muchas acciones, y en las zonas bajas, pocas acciones por unidad de superficie. De este modo, la dotación de las acciones se contrapone a la dotación de m3/ha/año resultante para cada sector, donde se observa claramente que las zonas altas, como tienen muchas acciones, disponen de mucho más agua por hectárea que las zonas bajas.

Se observa que el Estero Derecho cuenta con un volumen anual en años normales, de alrededor de 15.000 m3/ha/año. En el sistema del Elqui, la alta dotación de acciones del río Claro se refleja en dotaciones de hasta 80.000 m3/ha/año en esos sectores, lo que contrasta fuertemente

con los 11600 que recibe el Elqui bajo, los 5600 que recibe Pan de Azúcar y los 5000 que recibe Santa Gracia. Esta es la razón que explica que todos estos sectores se apoyan con aguas subterráneas, en la medida que esas bajas dotaciones no alcanzan a cubrir sus requerimientos. Sin embargo, como estas zonas son mayoritariamente hortaliceras, tienen requerimientos más bajos.

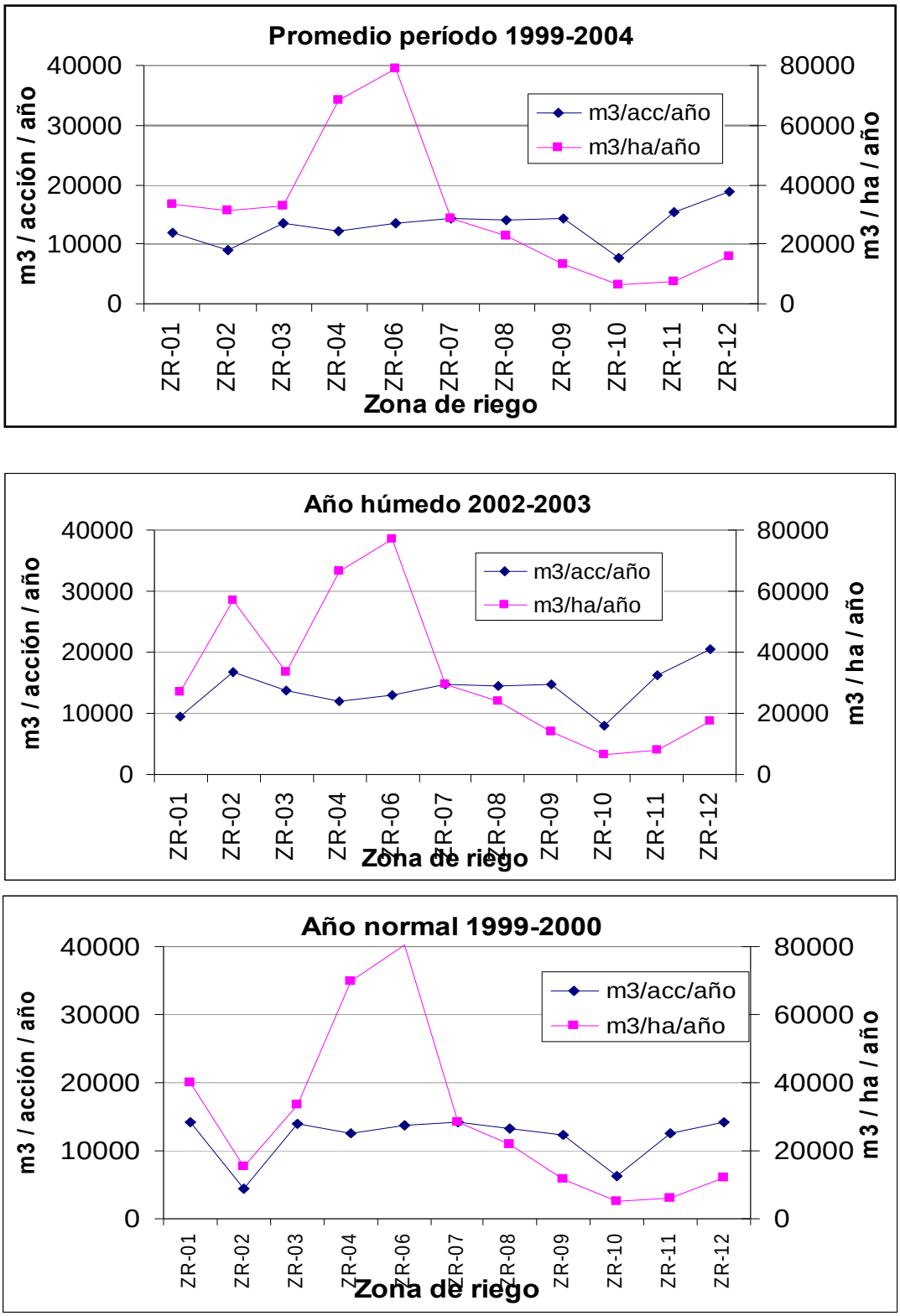
No obstante lo anterior, es necesario recalcar que el agua no utilizada en los sectores altos vuelve al sistema, y está nuevamente disponible para ser captada en los sectores más bajos, o para quedar retenida en el embalse Puclaro. Hacia aguas abajo del embalse Puclaro es donde deben cuidarse más las entregas, porque los excedentes se pierden en el mar.

En la Figura 5-31 se grafica el comportamiento de ambas variables para el año promedio, húmedo y normal.

Cuadro 5-50
Estimación de m3 por hectárea por zona de riego

			Promedio			Año húmedo 2002-2003			Año normal 1999-2000		
Zona de riego	Acciones	Acciones / ha	Q canales en BT	Q en BT / ha	Volumen anual / ha	Q canales en BT	Q en BT / ha	Volumen anual / ha	Q canales en BT	Q en BT / ha	Volumen anual / ha
			m3/s	l/s/ha	m3/ha/año	m3/s	l/s/ha	m3/ha/año	m3/s	l/s/ha	m3/ha/año
ZR-01	2136	2.82	0.807	1.065	33575	0.652	0.860	27122	0.961	1.268	39996
ZR-02	3043	3.42	0.878	0.985	31076	1.610	1.807	56987	0.435	0.489	15408
ZR-03	1016	2.42	0.436	1.041	32816	0.442	1.055	33273	0.447	1.066	33606
ZR-04	1239	5.58	0.482	2.171	68470	0.468	2.108	66469	0.492	2.215	69843
ZR-06	1685	5.89	0.716	2.503	78950	0.697	2.435	76800	0.728	2.546	80283
ZR-07	5888	2.00	2.662	0.903	28467	2.774	0.941	29662	2.641	0.895	28238
ZR-08	476	1.63	0.212	0.726	22896	0.220	0.755	23805	0.200	0.686	21636
ZR-09	5643	0.94	2.573	0.428	13490	2.629	0.437	13781	2.210	0.367	11588
ZR-10	1094	0.81	0.265	0.196	6181	0.282	0.208	6570	0.216	0.160	5046
ZR-11	3342	0.48	1.620	0.231	7289	1.727	0.246	7769	1.328	0.189	5974
ZR-12	2593	0.85	1.543	0.508	16033	1.688	0.556	17541	1.167	0.384	12125
Total	**28155**	**1.21**	**12.194**	**0.525**	**16555**	**13.188**	**0.568**	**17905**	**10.825**	**0.466**	**14697**

Figura 5-31
m3/acción/año y m3/ha/año



Todo lo señalado permite reconocer una distorsión en la asignación de las acciones por hectárea que tienen los regantes a lo largo del valle. En efecto, hay una gran distorsión al observarse que los regantes de las zonas sobre Puclaro tienen entre dos y seis acciones por hectárea, mientras que en las zonas bajas tienen entre 0,48 y 1,6 acciones por hectárea. Lo señalado tiene su efecto práctico enla dotación de agua por hectárea, debido a que la dotación de agua por acción es bastante uniforme a lo largo de la cuenca, con una leve tendencia hacia el alza hacia aguas abajo. Donde las dotaciones son muy bajas, la gente se ha complementado con pozos.

5.5.18 Conveniencia de relocalizar derechos y flexibilizar los sistemas de distribución

De acuerdo con el análisis realizado y los antecedentes recabados, la cuenca del Elqui, ahora que tiene un sistema de dos embalses, busca tender hacia una distribución volumétrica del agua. Este sistema de distribución permite ajustar mejor las entregas a las demandas del momento, pero requiere migrar desde el concepto de proporcionalidad o desmarques, hacia un concepto de dotación de m3 / acción / año.

Una vez más se observa claramente la diferencia de dotación de derechos para las áreas cultivadas sobre el Puclaro, en relación con las áreas bajo el Puclaro.

La relocalización de los derechos sobrantes, sin embargo, se produce en forma automática, al haber exceso de derechos en la parte superior del valle. Estos derechos no son usados íntegramente en el riego, y los excedentes, por lo tanto, vuelven al río. De hecho, los derechos de abajo son más precarios, porque se sustentan en la ineficiencia de uso por parte de los usuarios de arriba.

La relocalización podría efectuarse también en forma deliberada, de modo de medir lo que no se está utilizando, para transarlo en el mercado del agua. Un sistema de esta naturaleza requeriría de mediciones precisas, para controlar las entregas. Este sistema tendría la gran ventaja de que fomentaría el mercado del agua, pues aportaría precisión acerca de las aguas usadas y las aguas disponibles, y una mayor flexibilidad para su traslado dentro del sistema.

En las condiciones actuales de la cuenca, en que la escasez hídrica aparentemente quedó atrás, la respuesta a la pregunta sobre qué tipo de mejoras se justifica hacer para aumentar la precisión de la medición de las aguas, es de tipo económico. Los derechos que realmente conviene que se muevan, lo hacen, tanto a lo largo del río como dentro de un mismo canal.

La forma en que las acciones se relocalizan para su uso efectivo, se observa en el Cuadro 5-52 siguiente.

Cuadro 5-52
Relocalización de acciones en escenario de calibración

Zona de riego	Areas	Acciones	Acciones / ha	Q canales en BT	Acciones	Acciones / ha
	Ha	nominales	nominales	m3/s	Esc. 0_S1	Esc 0_S1
ZR-01	758	2136	2.82	0.807	1791	2.36
ZR-02	891	3043	3.42	0.878	3043	3.42
ZR-03	419	1016	2.42	0.436	968	2.31
ZR-04	222	1239	5.58	0.482	1070	4.82
ZR-06	286	1685	5.89	0.716	1589	5.56
ZR-07	2949	5888	2.00	2.662	5907	2.00
ZR-08	292	476	1.63	0.212	470	1.61
ZR-09	6015	5643	0.94	2.573	5710	0.95
ZR-10	1352	1094	0.81	0.265	588	0.43
ZR-11	7009	3342	0.48	1.620	3595	0.51
ZR-12	3035	2593	0.85	1.543	3424	1.13
Total	**23228**	**28155**	**1.21**	**12.194**	**28155**	**1.21**
Total Elqui		**25112**		**11.316**	**25112**	

Según se observa, en este escenario la relocalización efectiva de acciones es leve, y responde a los criterios que aplica la junta de vigilancia, de entregar dotaciones levemente más altas en las zonas bajas.

En el Capítulo 8 se evalúan escenarios en los cuales se movilizan sensiblemente los derechos, pues se ajustan a la demanda. Esta movilización se plantea en una forma deliberada, en que se entrega el agua en las bocatomas de acuerdo con la demanda efectiva. Se analiza la efectividad en cuanto a demanda suplida de esta acción, y los costos asociados para llevarla a cabo. La evaluación económica finalmente da la pauta para las recomendaciones finales.

5.5.19 Áreas con baja eficiencia de uso

Respecto de este tema, hay dos aspectos que deben tenerse en cuenta: la eficiencia local de uso, que en gran medida es una función de los métodos de riego, y la eficiencia global de uso de las acciones o los derechos disponibles.

En la cuenca del Elqui, estos dos aspectos funcionan en forma contrapuesta. En las zonas altas de la cuenca, hasta el embalse Puclaro, hay altas eficiencias de riego (sobre 64% con excepción de Cochiguaz), debido a que un alto porcentaje de las áreas cultivadas tiene riego tecnificado. Sin embargo, la eficiencia total del uso del agua disponible según desmarques es la más baja de la cuenca, llegando como máximo apenas al 30%.

Por el contrario, en las zonas bajo el Puclaro, las eficiencias de riego son bajas, entre 46 y 56%, pero la eficiencia global de uso de los derechos es mayor, llegando hasta 43% en Pan de Azúcar.

Hay que insistir en que lo señalado se refiere al período de calibración, 1999-2003. Muy probablemente, antes del embalse Puclaro, la eficiencia de uso de las acciones en las zonas superiores tiene que haber sido mayor, debido a que los desmarques eran menores. Esta situación de ineficiencia se da ahora debido a que se cuenta con más agua.

De todas formas, se observa que no es una ineficiencia global, sino que sólo local, puesto que las aguas no utilizadas no se pierden, sino que vuelven al sistema, para ser usadas más abajo, o ser embalsadas en el Puclaro.

5.5.20 Existencia de derechos sin uso efectivo

No hay derechos sin uso en la cuenca. Todos los derechos son usados, los derechos superficiales siempre en condición de prorrata, y los derechos subterráneos, algunos más intensivamente que otros, pero todos se usan en períodos de sequías, como se verá más adelante. La sobredotación de acciones superficiales en toda la cuenca aguas arriba del Puclaro, tiene un objetivo funcional para facilitar el riego en terrenos de alta pendiente. Pero también es necesario decir que mientras esas acciones sólo tengan la función de mejorar el riego, y no se usen para aumentar fuertemente el área cultivada, ni sean sacados de la cuenca, es indiferente la forma en que se usen, pues los sobrantes de todas formas vuelven al río.

En el Capítulo 8 se evalúa un escenario en que se analiza lo que ocurriría ante un aumento significativo de explotación de los derechos superficiales aguas arriba del embalse Puclaro, a través de un aumento de las áreas cultivadas tanto arriba como abajo del embalse (escenario 8.2, 37.800 ha, que resultó inviable). Los acuíferos altos no toleran bien esta explotación, pues se alimentan de las percolaciones. Los sectores bajos se verían más afectados, pues al reducirse el agua superficial, tendrían que recurrir más fuertemente a sus propios acuíferos, los que tampoco tolerarían esta explotación.
En cuanto a los derechos subterráneos, ellos cumplen primordialmente una función de seguro ante la sequía. No son siempre todos usados, pero hay instancias en que su existencia puede paliar grandes daños durante sequías. Esto se analiza también en el Capítulo 8 de operación del modelo.

5.5.21 Disponibilidad física para nuevos derechos y déficit de disponibilidad legal

De acuerdo con lo que es posible apreciar en este diagnóstico, gran parte de los acuíferos de la cuenca del Elqui se encuentra actualmente en una situación de subexplotación. Las excepciones son la Quebrada Santa Gracia y el valle de Pan de Azúcar. En los escenarios de operación se analiza cuáles acuíferos podrían ser más explotados, y los que para ello requieren de más derechos. Sin embargo, hay algunos acuíferos, como los de los ríos Claro, Derecho y

Cochiguaz, que son muy pequeños, y la posibilidad real de explotarlos más es muy reducida, según se desprende de los escenarios de operación que se analizan en el Capítulo 8. Diferente es el caso de los acuíferos 8, 9 y 12 (Elqui bajo y Costa), donde bajo ciertas condiciones podría aumentarse la explotación de los acuíferos si existieran más derechos disponibles, según se analiza también en el Capítulo 8.

5.5.22 Indicador de probabilidad del consumo

Se puede asociar una probabilidad de excedencia al caudal promedio consumido a nivel de cuenca, y también al caudal total usado, esto es, el consumo más las pérdidas.

Para ello se establece primero la probabilidad de la oferta. El total de caudales generados en promedio en la cuenca del Elqui, durante el período 99-2004 ha sido de 14,8 m3/s en promedio. Este período ha sido normal-húmedo, de modo que es más seguro usar una estadística más larga para el análisis. Para el período de operación del modelo, de 15 años entre 1989 y 2003, el promedio de aportes es de 14,4 m3/s, caudal que tiene una probabilidad de excedencia de alrededor de 39%. Otros caudales tienen las probabilidades que se muestran en el Cuadro 5-53.

Cuadro 5-53
Probabilidad de la oferta

Caudal m3/s	Volumen mill m3	Probb excedencia
42.50	1340.15	0.06
27.87	878.81	0.13
20.73	653.71	0.19
15.83	499.15	0.25
15.72	495.71	0.31
14.89	469.51	0.38
12.53	395.08	0.44
11.07	348.98	0.50
10.56	333.11	0.56
9.39	296.12	0.63
9.01	284.17	0.69
8.66	273.16	0.75
6.94	218.77	0.81
6.06	191.20	0.88
4.93	155.44	0.94

El caudal medio anual utilizado consuntivamente en la cuenca, y también la identificación de las pérdidas que genera ese uso consuntivo, se muestran en el Cuadro 5-54.

Cuadro 5-54
Caudales demandados consuntivamente

Tipo de demanda	Caudal m3/s	Volumen mill m3	Prob.Exced.
Demanda cons. agrícola suplida	4.320	136,859,933	
Demanda cons. Minera	0.101	3,185,136	
Demanda cons. Ind.	0.062	1,955,232	
Demanda cons. APU	0.250	7,884,000	
Demanda consuntiva APR	0.039	1,229,904	
Evapotranspiración natural	0.630	19,867,680	
Total demanda	**5.402**	**170,981,885**	**91%**
Pérdidas			
Demanda no cons. APU	0.570	17,975,520	
Evaporación de embalses	0.259	8,167,824	
Salidas tramo río	1.949	61,463,664	
Pérdidas AC-12	0.956	30,148,416	
Estero Culebrón	0.236	7,442,496	
Derrames ZR costa	0.357	11,258,352	
Total pérdidas	**4.327**	**136,456,272**	
Uso consuntivo total	**9.729**	**307,438,157**	**61%**

El caudal de 5,40 m3/s utilizado consuntivamente tiene una probabilidad de excedencia de unos 91%, es decir, es un caudal muy pequeño. Sin embargo, para contar con ese caudal hay que sumar pérdidas por 4,33 m3 más, lo que totaliza un caudal de 9,73 m3/s. Este caudal tiene una probabilidad de excedencia de 61%.

Lo señalado muestra que el sistema aún no está optimizado, y presenta grandes ineficiencias, si se requiere un caudal grande de 61% de probabilidad de excedencia, para hacer uso solamente de un caudal muy pequeño, de 91% de probabilidad de excedencia.

La eficiencia de uso del agua será mayor mientras más grande sea el caudal efectivamente usado (más chica la probabilidad de excedencia) y mientras más pequeñas las pérdidas que haya que agregar para hacer uso de ese caudal.

Un caudal de probabilidad 91% es muy pequeño, y muestra que la cuenca tiene una mayor potencialidad aún no aprovechada. El hecho de estar usando un caudal 61% para consumir efectivamente sólo un caudal 91%, muestra que el embalse aún no ha sido aprovechado a cabalidad.

Hay que tener presente que el período de análisis 1999-2004 ha sido hidrológicamente abundante. En condiciones más amplias de promedio, el caudal de pérdidas al mar resultaría menor, el uso consuntivo total también sería menor y tendría una probabilidad de excedencia mayor, como se verá en el Capítulo 8.

5.5.23 Indicador de eficiencia global

Del Cuadro 5-55 se puede obtener un factor que podría llamarse de eficiencia global, que relaciona el caudal consumido con el caudal total requerido usado para suplir dicha demanda consuntiva. En este caso, el factor resulta de 56%, de acuerdo con los valores siguientes:

Cuadro 5-55
Eficiencia global

Total demandado para consumir	5.402 m3/s	193,309,373 m3
Total usado	9.729 m3/s	311,790,125 m3
Eficiencia neta	**56%**	
Porcentaje no aprovechado	**44%**	

La ineficiencia de uso del 44% se debe fundamentalmente a las salidas al mar desde el río Elqui, a las pérdidas desde el acuífero de costa hacia el mar, y las entregas al mar de las aguas servidas pretratadas.

Del caudal perdido hay un porcentaje que se podría utilizar transformándolo en demanda consuntiva, el cual se trata de retener en los escenarios que se plantean en el Capítulo 8.

5.5.24 Indicador de reúso global promedio y total

Se puede definir un indicador de reúso global promedio dividiendo el caudal total que ha sido captado para todos los usos, por el caudal total usado (consumido más perdido). Este factor es producto de que existe una ineficiencia local y media, pero al mismo tiempo favorece el uso efectivo del agua, al mostrar que se está recirculando y recaptando el agua varias veces, evitando que llegue al mar. Al ir acompañado de un elevado factor de eficiencia global del uso, muestra un elevado uso efectivo.

Los datos del Cuadro 5-56 muestran que para consumir 9,73 m3/s se captaron 15,46 m3/s, lo que indica un factor de reúso de 1,59.

Cuadro 5-56
Factor de reúso global promedio y eficiencia global promedio

Tipo de demanda	Caudal m3/s	Observaciones	Caudal m3/s
Demanda cons. Agrícola suplida	4.320	Caudal captado agr.	13.584
Demanda cons. Minera	0.101	Caudal captado Min	0.216
Demanda cons. Ind.	0.062	Caudal captado Ind	0.062
Demanda cons. APU	0.250	Caudal captado APU	0.831
Demanda consuntiva APR	0.039	Caudal capt. APR	0.141
Evapotranspiración natural	0.630	ET natural	0.630
Total demanda	**5.402**		**15.464**
Total pérdidas	**4.327**		
Uso consuntivo total	**9.729**		
Factor reúso global año promedio			**1,59**

Si se considera que internamente en la modelación se usó un factor de reúso de derrames y percolaciones de 1,5, el factor total de reúso en esta cuenca, en las condiciones del escenario de calibración, sería de 2,4.

5.5.25 Indicador de reúso global en sequía

Este indicador es un factor similar al anterior, pero obtenido para una situación extrema de sequía. Como no hay años de sequía en el período de calibración de este modelo, se ha tomado la información del escenario base 1, que contiene el año de sequía 1996/7.

Se observa en esta situación, que el factor de reúso resulta bastante inferior, es decir, se reduce el reúso. Como al mismo tiempo aumenta y resulta muy alto el indicador de eficiencia global de uso (acápite siguiente), esta combinación significa que en una situación de sequía, cada usuario consume más eficientemente el agua que capta (en promedio). Sin embargo, al ser mayor que uno, aún refleja cierta ineficiencia local y media.

Cuadro 5-57
Factor de reúso global en sequía

Tipo de demanda	Caudal m3/s	Observaciones	Caudal m3/s
Demanda cons. Agrícola suplida	3.809	Caudal captado agr.	6.459
Demanda cons. Minera	0.101	Caudal captado Min	0.216
Demanda cons. Ind.	0.062	Caudal captado Ind	0.062
Demanda cons. APU	0.250	Caudal captado APU	0.831
Demanda consuntiva APR	0.039	Caudal capt. APR	0.141
Evapotranspiración natural	0.630	ET natural	0.630
Total demanda	**4.891**		**8.339**
Total pérdidas	**1.503**		
Uso consuntivo total	**6.394**		
Factor reúso global sequía			**1.30**

En estas condiciones, el factor de reúso total resultaría de 1,95.

5.5.26 Indicador de eficiencia global en sequía

De los datos del Cuadro 5-57 se obtiene directamente un factor de eficiencia global en sequía, de 76%, es decir, de toda el agua disponible (consumida y perdida), el 76% fue consumido. El valor muestra que aunque haya sequía, hay algunos caudales que se pierden, que son fundamentalmente las entregas de las aguas servidas tratadas, y las pérdidas desde el acuífero costero.

5.6 DIAGNÓSTICO EFICIENCIA FÍSICA A NIVEL GLOBAL: OTROS USOS

El diagnóstico que se presenta a continuación, abarca los usos no agrícolas: agua potable, minería e industria. Para el uso no agrícola, el diagnóstico se basa en los datos que se han podido obtener para caracterizar cada uno de los usos.

5.6.1 Uso en agua potable

El uso de agua potable se ha caracterizado atendiendo dos sistemas: el agua potable urbana y el agua potable rural.

a) Agua potable urbana

El agua potable urbana en toda la IVª Región está a cargo de la Empresa Aguas del Valle, que dentro de la cuenca del Elqui surte las ciudades de La Serena, Coquimbo y Vicuña, y las localidades de Peralillo, Paihuano y Andacollo. La ciudad de Andacollo se surte con aguas de la cuenca de Pan de Azúcar.

La Serena y Coquimbo se surten desde la captación superficial de Las Rojas, que tiene 736 acciones del río Elqui, equivalente a 736 l/s. Ese caudal es posible de ser tratado en la planta de decantación. Cuando la demanda crece, lo que ocurre en los meses de verano, la empresa se surte adicionalmente de aguas subterráneas, que se captan en baterías de pozos desde diversos puntos: 5 pozos entre Las Rojas y la bocatoma del canal, 14 pozos y un dren en Punta de Piedra, y 6 pozos en Alfalfares. Entre todos los pozos producen hasta 400 l/s más, para cubrir una demanda de hasta 1100 l/s. Las localidades menores se surten todas desde pozos.

En cuanto a las aguas servidas, las localidades menores tienen todas una planta de tratamiento. Para las aguas servidas de La Serena y Coquimbo hay plantas de rejas y desarenado, y luego son enviadas costa afuera por sendos emisarios marinos. Los residuos sólidos se llevan a vertederos de basura.

Las características cuantitativas del uso de agua potable, son las que se presentan en los Cuadros 5-58 y 5-59 a continuación.

Cuadro 5-58
Derechos por fuente

Fuente	Derechos en l/s	Localidad	Abastece a
Superficial	736	Las Rojas	La Serena Coquimbo
Dren	250	Las Rojas	La Serena Coquimbo
Subterránea	88	Las Rojas	La Serena Coquimbo
Dren	140	Punta de Piedra	La Serena Coquimbo
Subterránea	381	Punta de Piedra	La Serena Coquimbo
Subterránea	59	Saturno	La Serena Coquimbo
Subterránea	600	Alfalfares	La Serena Coquimbo
	2254		**La Serena Coquimbo**
Subterránea	11	Paihuano	Paihuano
Subterránea	16	Peralillo	Peralillo
Subterránea	68	Vicuña	Vicuña
Subterránea	100	Nueva Vida	Andacollo, Tongoy, Guanaqueros
Subterránea	100	Nueva Vida	Andacollo, Tongoy, Guanaqueros
Total derechos	**2549**		

Cuadro 5-59
Porcentaje de uso efectivo de los derechos y porcentaje de pérdidas

Localidad abastecida	Prod 2000	Prod 2001	Prod 2002	Prod 2003	Producción Promedio	% de los Derechos	% pérdida	Nº Aranques	Pobl. Abast.	Tipo PTAS
	M m3	M m3	M m3	M m3	M m3	%	%		hab.	
La Serena Coquimbo	24017016	23714959	23096495	23908741	23684303	33	24	95526	334341	Emisario Submarino
Paihuano	99396	108401	117853	114715	110091	32	35	468	1638	Lodos Activados
Peralillo	159483	148032	157964	164872	157588	31	20	689	2412	Lodos Activados
Vicuña	802221	882883	864273	899473	862213	40	24	3685	12898	Lagunas Aireadas
Andacollo	458899	468564	462519	473351	465833	25	20	3111	10889	Laguna Aireada
Guanaqueros	252460	240258	255350	306839	263727	25	36	1267	4435	Lodos activados
Tongoy	607180	654273	639262	691010	647931	25	25	2147	7515	Sin información
TOTAL					**831 l/s**				**374128**	

Se observa que el porcentaje de uso de los derechos de agua potable en general no supera el 40%, lo que responde al rango de seguridad que las empresas deben tener en cuanto a sus derechos, para surtirse en épocas de sequía.

Por otro lado, el porcentaje de pérdidas de las empresas sólo es posible obtenerlo como pérdidas de facturación, que incluyen pérdidas físicas, ineficiencias y robos. No es posible estimar por separado las pérdidas físicas. Las pérdidas totales varían entre 20 y 36%, rango

bastante clásico dentro del cual se mueve el comportamiento de las aguas potables urbanas en Chile. Si se compara esta cifra con el 20% de pérdidas que se exige a la empresa modelo con fines de tarificación, se observa que la empresa real es más ineficiente que la empresa modelo. Sin embargo, esta ineficiencia por sobre el 20%, no puede ser cargada a la tarifa, sino que tiene que ser absorbida por la empresa.

b) Agua potable rural

Las aguas potables rurales de la cuenca del Elqui, todas se abastecen desde pozos, salvo las que compran directamente agua a Aguas del Valle (Bellavista-Ceres y Pan de Azúcar), y Huanta, que se abastece de una vertiente.

La situación de derechos en general no está definida, los derechos de este uso en general no existen, o están en trámite. Son pocos los comités que tienen su situación de derechos al día. En el cuadro se muestra la situación de todos los comités de la cuenca del Elqui. Por lo señalado, no se puede obtener un porcentaje de uso de los derechos. Lo que se puede hacer es expresar el uso efectivo como porcentaje del caudal máximo de bombeo (probable caudal solicitado como derecho), lo que se muestra en la penúltima columna del Cuadro 5-61.

Otro análisis que resulta interesante en este contexto, es conocer la dotación de caudal que efectivamente reciben los habitantes cubiertos con el servicio. La dotación se muestra en la última columna del Cuadro 5-61.

El valor que finalmente se usa para la modelación, es el valor agregado del uso efectivo que resulta por acuífero, el cual se ingresa como caudal de bombeo con factor de uso igual a uno en el modelo. Los caudales modelados se presentan en el Cuadro 5-60.

Cuadro 5-60
Caudales modelados APR

Código del Pozo	Código del acuífero	Caudal efectivo
PO-002	AC-01	4,0
PO-005	AC-02	3,5
PO-012	AC-08	1,5
PO-015	AC-09	9,0
PO-018	AC-10	18,0
PO-022	AC-11	1,9
PO-027	AC-12	0,6
Total		**38.7**

Cuadro 5-61
Listado de Comités de Agua Potable Rural Cuenca del Elqui

COMUNA:	LOCALIDADES QUE COMPONEN COMITÉ:	AÑO INICIO	Nº ARRANQUES:	Nº BENEFICIARIOS:	FUENTE	CONSUMO TOTAL AÑO 2003 (m3/año)	Q consumo real en l/s	% de uso de la capac.de bombeo	Dotación media resultante l/hab/día
VICUÑA	PERALILLO	1996	77	385	SONDAJE	12465	0,395	4	89
COQUIMBO	TAMBILLOS	1999	116	580	NORIA	7007	0,222	9	33
COQUIMBO	LAS BARRANCAS	2000	83	415	NORIA	S/I			
COQUIMBO	PAN DE AZUCAR	1983	588	2940	SONDAJE AGV-1	141127	4,475	50	132
COQUIMBO	EL SAUCE, RINCONADA	1996	230	1150	AGV	32119	1,018		77
COQUIMBO	NUEVA VIDA	1995	94	470	SONDAJE	7907	0,251	4	46
COQUIMBO	HUACHALALUME	1996	104	520	SONDAJE	20980	0,665	5	111
LA SERENA	BELLAVISTA, CERES, MONARDES	1995	241	1205	RED AGV	32224	1,022		73
LA SERENA	COQUIMBITO, ALTOVALSOL		499	2495	SONDAJE	72106	2,286	18	79
LA SERENA	SANTA ANA, RENACER, SAN ANTONIO, SANTA ELISA, EL ROMERO		190	950	SONDAJE	15285	0,485	2	44
LA SERENA	GABRIELA MISTRAL, EL ROSARIO	1985	200	1000	SONDAJE	30027	0,952	32	82
LA SERENA	ISLON	1974	232	928	SONDAJE	26895	0,853	33	79
LA SERENA	LAMBERT	1978	249	1121	SONDAJE	27532	0,873	17	67

COMUNA:	LOCALIDADES QUE COMPONEN COMITÉ:	AÑO INICIO	Nº ARRANQUES:	Nº BENEFICIARIOS:	FUENTE	CONSUMO TOTAL AÑO 2003 (m3/año)	Q consumo real en l/s	% de uso de la capac.de bombeo	Dotación media resultante l/hab/día
LA SERENA	LAS ROJAS, PUNTA PIEDRA, LAS GRANJAS, PUNTA SAN JOSE	1971	250	1250	SONDAJE (2)	23145	0,734	2	51
LA SERENA	PELICANA	1983	85	425	SONDAJE	6342	0,201	2	41
LA SERENA	QUEBRADA DE TALCA, EL HINOJAL	1980	224	1120	SONDAJE	28741	0,911	5	70
PAIHUANO	HORCON, ALCOHUAZ, EL RETIRO, LAS PLACETAS	1985	249	1245	SONDAJE (2)	36246	1,149	11	80
PAIHUANO	QUEBRADA DE PAIHUANO	1998	129	645	SONDAJE	9708	0,308	5	41
PAIHUANO	PISCO ELQUI , LA JARILLA, MONTE GRANDE Y QUEBRADA DE PINTO.	1982	630	2583	NORIA SONDAJE	117849	3,737		125
VICUÑA	CHAPILCA	1985	94	470	SONDAJE	10359	0,328	4	60
VICUÑA	DIAGUITAS	1970	346	1730	SONDAJE	39359	1,248	10	62
VICUÑA	EL ARENAL	1985	82	445	SONDAJE	20065	0,636	2	124
VICUÑA	EL MOLLE, POLLA ALTA	1972	210	945	SONDAJE	52742	1,672	2	153
VICUÑA	EL TAMBO	1972	244	1004	SONDAJE	40244	1,276	18	110
VICUÑA	GUALLIGUAICA	1985	128	640	SONDAJE	13913	0,441	2	60
VICUÑA	SIN LOCALIDAD SE ASIGNO HUANTA		72	360	VERTIENTE	5098	0,162		39

COMUNA:	LOCALIDADES QUE COMPONEN COMITÉ:	AÑO INICIO	Nº ARRANQUES:	Nº BENEFICIARIOS:	FUENTE	CONSUMO TOTAL AÑO 2003 (m3/año)	Q consumo real en l/s	% de uso de la capac.de bombeo	Dotación media resultante l/hab/día
VICUÑA	LA CALERA - VILLA EL ARRAYAN	1990	158	790	SONDAJE	17108	0,542	12	59
VICUÑA	LA COMPAÑÍA	1995	99	495	SONDAJE	12715	0,403	6	70
VICUÑA	MARQUESA, NUEVA TALCUNA	1988	415	2075	SONDAJE	S/I			
VICUÑA	PUNTA AZUL, SAN CARLOS	1998	118	590	SONDAJE	10170,39	0,323	5	47
VICUÑA	RIVADAVIA	1971	317	1585	SONDAJE	46731	1,482	15	81
VICUÑA	SAN ISIDRO, CALINGASTA		769	3845	SONDAJE	147613	4,681	23	105
VICUÑA	VARILLAR, LAS MERCEDES	1986	115	575	SONDAJE	14797	0,469	3	71
VIUCÑA	ANDACOLLITO	1983	310	1550	SONDAJE (2)	52431	1,663	10	93
TOTAL							**38,7**		

La capacidad total de bombeo para este uso se estima en 141 l/s, de acuerdo con la información contenida en estos antecedentes.

5.6.2 Uso en minería

El uso del agua en minería no fue posible obtenerlo a través de las entrevistas ni a través de los documentos que las empresas mineras publican. Por este motivo, el diagnóstico del uso del agua por parte de la minería fue realizado mediante criterio de experto. El uso de agua fue estimado en función de la producción, y en función de algunos parámetros internos de eficiencia y de recirculación, que aparecen en los informes del Anexo I.

De este modo, se obtuvo las características de uso del agua en la minería que se muestran en el Cuadro 5-62, donde también se indica en qué forma fueron tomadas en cuenta las mineras en la modelación. El detalle de los pozos para uso minero se encuentra en el Anexo Digital V.

Cuadro 5-62
Uso de agua en minería

Nombre	Fuente	Derechos en l/s	Uso efectivo en l/s	Porcentaje de uso %	Forma de estimación	Modelado como
San Jerónimo	subterránea	no identificados	0		sin antecedentes	no modelada
San Jerónimo	subterránea	no identificados	12		datos internos	restada de aporte natural AN-7
Palo Negro	subterránea	no identificados	10		datos internos	restada de aporte natural AN-7
Linderos	subterránea	no identificados	10		datos internos	extraída de AC-09
Las Rojas	subterránea	no identificados	3		datos internos	extraída de AC-09
CM El Indio	subterránea	50	50	100	datos internos	reflejada en estac.fluv. Toro
CM El Indio	superficial	21	21	100	datos internos	reflejada en estac.fluv. Toro
PO-016	subterránea	113	28	25		extraída de AC-09
PO-023	subterránea	248	62	25		extraída de AC-11
PO-028	subterránea	80	20	25		extraída de AC-12
TOTAL		**512**	**216**			

5.6.3 Uso industrial

Casi todas las industrias de la cuenca del Elqui están ubicadas dentro del conglomerado urbano de La Serena y Coquimbo, lo que significa que se abastecen de agua potable, y entregan sus aguas servidas al alcantarillado público.

De hecho, en cuanto a las aguas servidas, en toda la IVª Región hay una sola industria registrada, en la cuenca del Limarí, que no entrega sus aguas al alcantarillado, sino que descarga a un curso superficial. Otras empresas, agroindustrias o industrias faenadoras de alimentos, oficialmente no vierten descargas a cursos superficiales.

Algunos vertidos al río fueron identificados en 1999 por el SAG, y muestreados para analizar la contaminación que ellos generaban. Actualmente, se informa que estas industrias ya no tendrían vertidos al río, pues habrían suscrito convenios de producción .limpia con CONAMA,

y tendrían piscinas propias de evaporación, desde donde recuperan la materia orgánica como abono.

En cuanto al uso propiamente tal del agua, se pudo establecer en terreno que cuando estas empresas se surten de aguas no potables, en general lo hacen a través de aguas subterráneas desde pozos. Para determinar la cantidad de uso de esta agua, se revisó el catastro de derechos subterráneos de la DGA Regional y Central, y se identificó todos los derechos asociados a industrias. En ausencia de antecedentes más fidedignos, y ante la diversidad de la intensidad con que se hace uso de estos derechos, se asumió, con fines de modelación, que éstos se usan en un 25%. Las industrias entrevistadas declaran no tener pérdidas, no generar vertidos al río, usar aguas de enfriamiento sólo para refrigerar maquinaria, y no recircular aguas.

De este modo, en el Cuadro 5-63 se resume la información con la que se caracterizó el uso industrial del agua. El detalle de todos los pozos considerados, entre ellos los de uso industrial, se presenta en el Anexo Digital V.

Cuadro 5-63
Uso industrial del agua

Código Pozo	Acuífero	Derechos en l/s	Porcentaje uso efectivo	Uso efectivo en l/s
PO-003	AC-01	55	25	13,75
PO-019	AC-10	4	25	1
PO-024	AC-11	150	25	37,5
PO-029	AC-12	37	25	9,25
TOTAL		**246**		**61,5**

5.7 DIAGNÓSTICO EFICIENCIA ECONÓMICA DEL USO DEL AGUA

Este diagnóstico se presenta para el uso agrícola, en los tres niveles, y para el uso minero. Para el uso industrial no fue posible desarrollar un diagnóstico, por falta de antecedentes sobre los procesos y sus requerimientos de agua, que, por lo demás, son altamente diversos.

Para el uso de agua potable, como se dijo antes, hay un cuerpo sanitario constituido por 5 leyes y diversos decretos, en que se plasma los siguientes conceptos:

- Separación de los roles de prestador del servicio y fiscalizador de su calidad
- Estructuración del servicio sanitario como empresa
- Creación de las tarifas de autofinanciamiento óptimas
- Creación del subsidio focalizado

Con lo anterior, el cuerpo de leyes establece un sistema tripartito entre usuarios, empresas prestadoras y estado, que define los derechos y deberes de cada parte. La eficiencia de uso del agua en el uso de agua potable queda garantizada a través del sistema de tarifas a costo real, en que el usuario recibe una señal correcta sobre el valor de su consumo a través de su cuenta, la empresa recauda el dinero que requiere para cubrir sus costos, las utilidades de las empresas están controladas a través del contraste con la empresa modelo, y el estado está en condiciones de fiscalizar el sistema.

De este modo, no está dentro de los alcances del presente estudio hacer diagnósticos ni proposiciones acerca del tema del agua potable.

En cambio, para la agricultura se presenta un diagnóstico basado en la concepción de algunos indicadores que se presentan en el Capítulo 4, que permiten mostrar la eficiencia económica con que se usa el agua y hacer comparaciones entre cuencas.

También se presenta un ejercicio sobre la eficiencia económica de uso del agua en la minería, basado en algunos parámetros propios de los procesos mineros, conociendo las cantidades producidas y asumiendo diversos precios para la producción.

5.7.1 Eficiencia de uso del agua en agricultura a nivel de cultivos o individual

Tal como se ha señalado previamente, se realizó una recopilación de información que permitió caracterizar la eficiencia económica de uso del agua de cada una de las especies principales presentes en la zona.

Se trabajó sobre la base de información a nivel de paño que recopilada en el presente estudio. Es necesario aclarar que no estuvo dentro del alcance del presente estudio obtener información detallada de manejo económico a nivel de paño o individual. Por esta razón, se ha adoptado valores promedio de costos, precios y consumo de agua para los cultivos, caracterizando paños

de un mismo cultivo mediante los valores representativos obtenidos de las entrevistas y consultas hechas en terreno, y de la bibliografía local. Dicha información es presentada a continuación, en los Cuadros 5-64 y 5-65.

Cuadro 5-64
Estándares medios de rendimientos, precios y costos por hectárea, y eficiencia observada del suelo

Especie	Rdto. Factor Suelo (Unidades/ha/ cosecha)	Unidades	Precio Medio ($/Unidad)	Costo Total ($/ha/cosecha)	Efic. Obs. Suelo o MNAE $/ha/cosecha
Zanahoria	**777**	sacos 75 Kg	6,000	1,637,081	**3,024,380**
Chirimoyo	**22,000**	kg/ha	538	2,915,341	**2,912,565**
Tomate	**50,864**	Kg/ha	145	5,543,558	**1,818,942**
Zapallito	**90,981**	u./ha	30	1,008,159	**1,751,593**
Vid Mesa	**1,935**	Cajas/ha	5	1,457,165	**1,585,881**
Coliflor	**24,303**	u./ha	88	712,423	**1,426,210**
Limonero	**60,000**	Kg/ha	145	1,033,494	**1,246,709**
Choclo	**55,468**	u./ha	35	771,304	**1,156,196**
Arveja	**7,000**	Kg/ha	340	1,225,367	**1,154,633**
Frutales	**0**	---	---	---	**1,080,784**
Repollo	**20,063**	u./ha	80	697,424	**907,636**
Poroto v	**6,540**	u./ha	295	1,094,955	**834,345**
Palto	**9,500**	Kg/ha	500	1,043,611	**806,228**
Apio	**62,309**	u./ha	24	841,037	**654,381**
Papa	**24,662**	Kg	72	1,144,617	**623,593**
Alcachofa	**34,000**	u./ha	60	1,469,963	**570,037**
Nogal	**3,500**	Kg/ha	1,100	1,646,960	**529,637**
Alfalfa	**18000**	kg/ha	37	301,874	**364,126**
Pimiento	**30,068**	u./ha	36	733,471	**348,992**
Vid Pisquera	**25,000**	Kg./ha	70	676,558	**309,531**
Vid Vino	**18,000**	Kg/ha	150	1,069,947	**288,282**
Mandarino	**35,000**	kg/ha	150	2,776,312	**270,645**
Naranjo	**25,000**	Kg/ha	100	663,190	**213,821**
Trigo	**55**	qq/ha	7,750	320,242	**106,098**
Pastizal	**12532**	kg/ha	22	245,210	**32,995**
Pradera	**12532**	kg/ha	22	245,210	**32,995**

Fuente: elaboración propia en base a datos CIREN, INE, INIA y ODEPA.

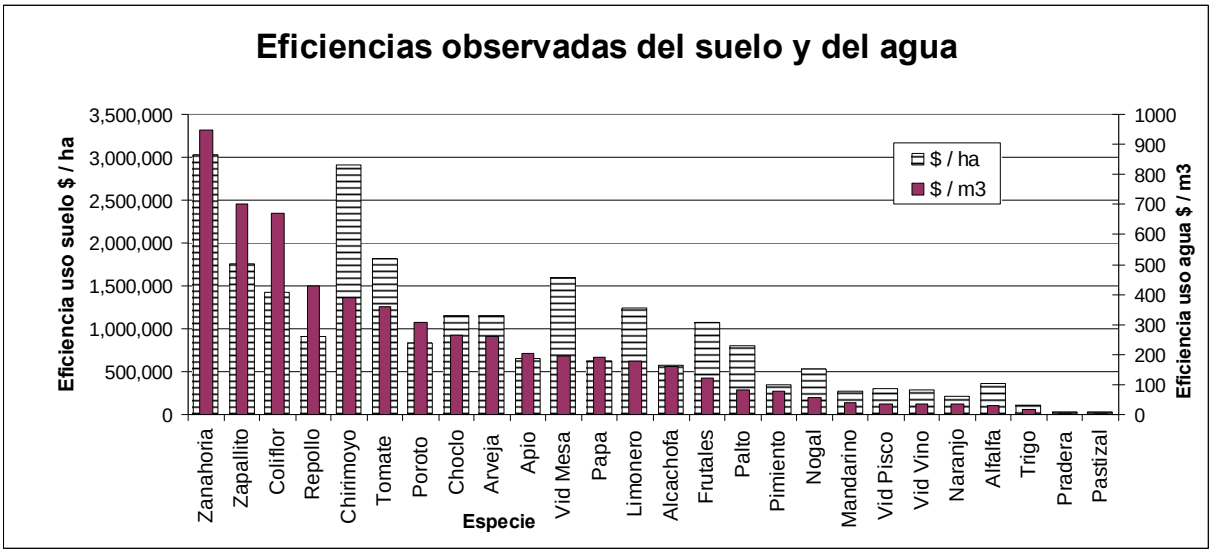
Cuadro 5-65
Indicadores de eficiencia observada del suelo y del agua

Especie	Superficie ha	Efic.Obs.Suelo MNAE $/ha/cosecha	Uso de Agua N Raíz m3/ha/cos	Total agua usada m3/cosecha	Efic.Obs.Agua $/m3/ha
Zanahoria	828	**3,024,380**	3,192	2,644,194	**947**
Zapallito	449	**1,751,593**	2,494	1,118,784	**703**
Coliflor	386	**1,426,210**	2,125	821,171	**670**
Repollo	664	**907,636**	2,125	1,411,687	**427**
Chirimoyo	472	**2,912,565**	7,503	3,540,860	**388**
Tomate	516	**1,818,942**	5,045	2,604,076	**360**
Poroto	1,858	**834,345**	2,727	5,067,833	**306**
Choclo	1,089	**1,156,196**	4,373	4,762,595	**264**
Arveja	944	**1,154,633**	4,419	4,171,797	**261**
Apio	3,344	**654,381**	3,192	10,674,550	**205**
Vid Mesa	2,658	**1,585,881**	8,078	21,474,137	**196**
Papa	1,292	**623,593**	3,300	4,263,735	**189**
Limonero	506	**1,246,709**	7,031	3,558,580	**177**
Alcachofa	2,491	**570,037**	3,542	8,822,296	**161**
Frutales	735	**1,080,784**	9,042	6,646,841	**120**
Palto	299	**806,228**	9,786	2,927,747	**82**
Pimiento	1,506	**348,992**	4,361	6,567,657	**80**
Nogal	48	**529,637**	9,509	452,243	**56**
Mandarino	206	**270,645**	7,031	1,449,448	**38**
Vid Pisco	2,008	**309,531**	8,582	17,232,656	**36**
Vid Vino	298	**288,282**	8,349	2,491,192	**34**
Naranjo	63	**213,821**	6,524	408,961	**33**
Alfalfa	65	**364,126**	12,547	811,646	**29**
Trigo	318	**106,098**	5,968	1,898,679	**18**
Pradera	25	**32,995**	12,268	310,007	**3**
Pastizal	55	**32,995**	12,268	674,974	**3**

Fuente: elaboración propia en base a datos de terreno y de CIREN, INE, INIA y ODEPA
* valor en revisión

Las eficiencias obtenidas, tanto de uso del agua como del suelo, se presentan en la Figura 5-32.

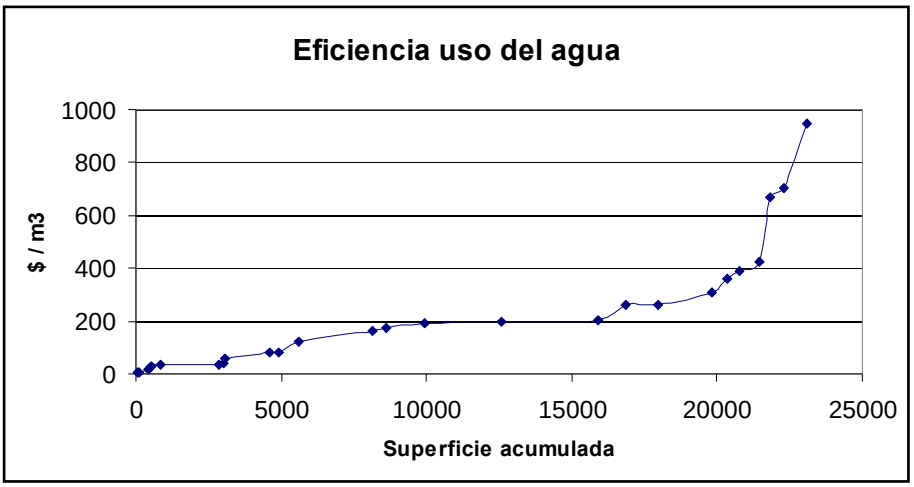
Figura 5-32
Eficiencias de uso del agua y del suelo



Se puede apreciar que la eficiencia de uso del agua es muy variable, pues varía entre 947 y 3 $/m3. Por otro lado, se aprecia que el agua no se aplica a los cultivos que tienen mayor eficiencia observada de uso del agua, y tampoco necesariamente a cultivos que tienen la mayor eficiencia de uso del suelo o el mayor margen neto. Hay muchos cultivos de baja productividad por hectárea y por m3, que se mantienen por razones culturales (de tradición, de forma de vida, de falta de conocimiento, de falta de capacitación), razones económicas (de falta de recursos para cambiar o renovar cultivos o aplicar nuevas tecnologías) y razones de escala (muchos productores pequeños, muy chicos como para rentabilizar adecuadamente cultivos más valiosos y más exigentes en cuanto a inversiones y aplicación de tecnología).

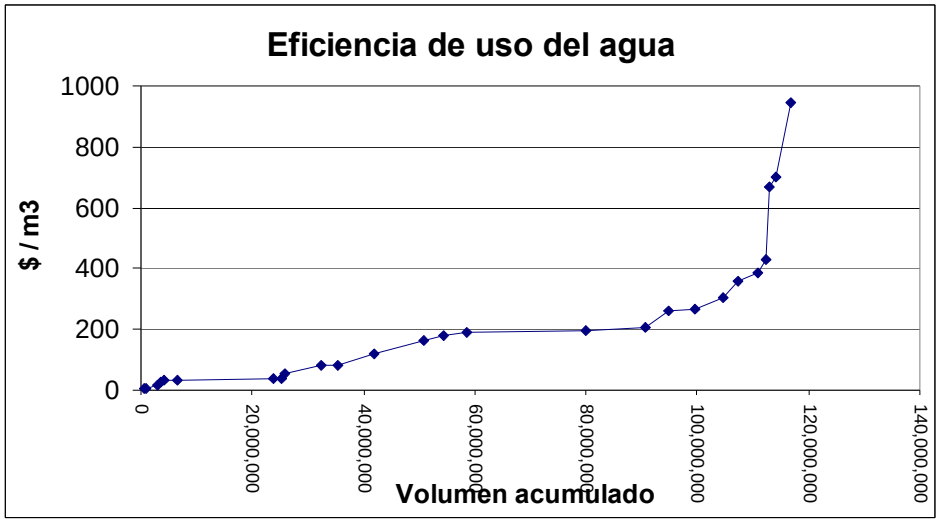
Acumulando las superficies y el agua total utilizada de los Cuadros 5-64 y 5-65, y presentándola gráficamente en función de la eficiencia observada de uso del agua, se llega a las Figuras 5-33, 5-34 y 5-35. En la Figura 5-33, en que se acumula la superficie que genera eficiencias del agua bajo o hasta un determinado valor, se puede apreciar que una gran cantidad de hectáreas, aproximadamente 16.000 de las 23.580 totales, tienen una eficiencia observada en el uso del agua que no supera los $200 / m3. Sólo hay unas 10.500 hectáreas que obtienen entre 200 y 947 $ por cada m3 aplicado, que en general son hortalizas.

Figura 5-33
Eficiencia observada de uso del agua en función de la superficie acumulada



En la Figura 5-34, en la que se acumula el total del agua utilizada en función de la eficiencia observada, se observa que cerca de 90 millones de los 120 millones de m3 totales son destinados a cultivos de eficiencia observada menor o igual que 200 $/m3.

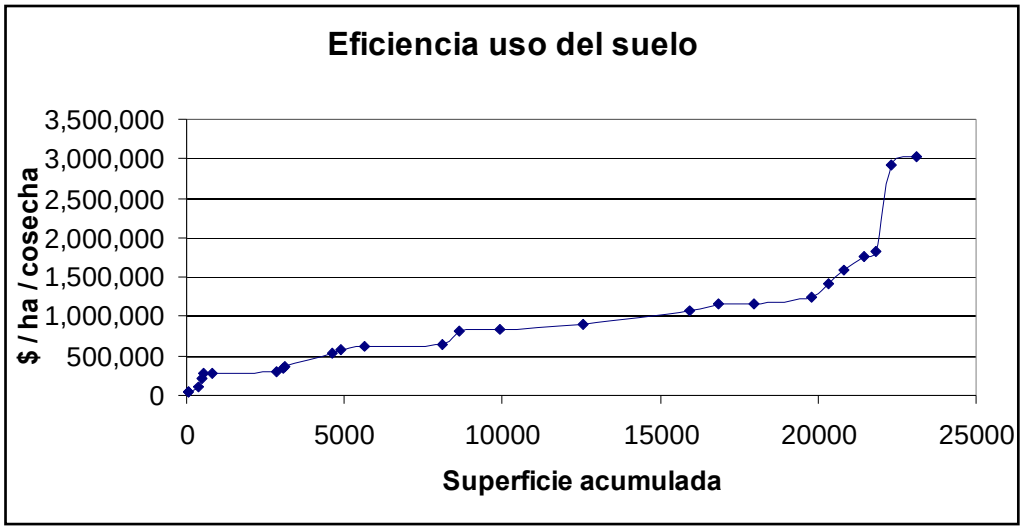
Figura 5-34
Eficiencia observada de uso del agua en función del agua total utilizada



En la Figura 5-35, por otro lado, se muestra gráficamente cuánta superficie muestra eficiencias de uso del suelo por debajo de cierto valor. Se puede observar que es más eficiente el uso del suelo que del agua, puesto que la curva tiende a desprenderse más luego de los valores bajos.

Aproximadamente 12.000 de las 23580 ha (casi la mitad) tienen márgenes netos inferiores a 600.000 $/cosecha, mientras que el resto tiene márgenes entre 600.000 y 3.100.000 $/cosecha.

Figura 5-35
Eficiencia observada de uso del suelo en función de la superficie acumulada



5.7.2 Eficiencia de uso del agua en agricultura a nivel medio

Por sobre el nivel de cultivo individual, se ha definido una agregación por cultivos que responde a dos escalas de zonificación. Primero, un nivel denominado de "Zonas" en el cual se han definido "Zonas de Riego", compuestas por paños individuales. En segundo lugar, se ha querido definir un nivel de análisis intermedio entre el nivel de zonas de riego y el nivel cuenca como un todo. Estas son las "mesozonas" (MZ), las cuales se establecen en base a agregación de Zonas de Riego.

A continuación, en el Cuadro 5-66 se presenta la definición de las mesozonas.

Cuadro 5-66
Definición de mesozonas

Meso Zona	Zona de Riego	Nombre
MZ 1	ZR 2	Estero Derecho
MZ 2	ZR 1, 3, 4, 5, 6, 7	Elqui Alto (sobre Puclaro)
MZ 3	ZR 8, 9, 10, 12	Elqui Medio y Bajo (bajo Puclaro)
MZ 4	ZR 11	Pan de Azúcar

La definición de mesozonas permite calcular los indicadores a una escala intermedia de análisis y efectuar un análisis más detallado de la expresión en el territorio de la eficiencia de

uso de los recursos hídricos. A continuación, se presentan los resultados del procesamiento de los datos para cada una de ellas. En primer lugar, en el Cuadro 5-67, se pueden apreciar las superficies de los principales tipos de cultivo por mesozona. En general, en las zonas altas predomina la presencia de frutales y viñas, mientras que en las zonas bajas predominan las hortalizas.

Cuadro 5-67
Superficie de las categorías de cultivo por mesozona (ha)

Categoría	MZ 1	MZ 2	MZ 3	MZ 4
Hortalizas	-	104	7.879	6.093
Chacras	-	-	1.292	-
Frutales	262	2.704	1.160	861
Vides Viníferas	410	1.600	297	-
Cultivos anuales	220	98	-	-
Praderas	-	120	25	-

Fuente: elaboración propia.

En el Cuadro 5-68 se presenta el resultado de los cálculos de los indicadores para el nivel medio.

Cuadro 5-68
Indicadores de eficiencia económica de uso del agua según mesozona (MZ)

Indicadores de eficiencia económica	MZ 1	MZ 2	MZ 3	MZ 4
Eficiencia económica observada promedio ($/m3)	71,2	120,6	262,8	279,7
% de eficiencia en relación al potencial observado	37%	12%	24%	27%
Desviación estándar de la eficiencia ($/m3)	80,8	93,2	196,7	208,1
Coef. de variación de la eficiencia observada %	113,4%	77,3%	74,9%	74,4%

En el Cuadro 5-68 se pueden apreciar los estándares de cada zona. En la parte alta del valle hay dos realidades diferentes, la mesozona 1 (Estero Derecho) y la mesozona 2 (Elqui alto). Ambas difieren bastante. En el caso de la MZ 1, el indicador de eficiencia en relación al potencial máximo revela que está cerca de su potencial. Sin embargo, esto puede ilustrar la dificultad de medir potencialidades por medio de indicadores de datos observados, por cuanto, si bien se podría concluir que la MZ 1 está cerca de su potencial máximo, también se puede señalar que se podría matizar dicha conclusión en base a criterios adicionales señalando que el potencial de esa zona es el mismo que el de la MZ 2 por condiciones de clima y suelo, pero lo que sucede es que existen otros factores que han impedido que dicho potencial se exprese, como la mayor variabilidad del recurso hídrico.

Por ello, es interesante agregar al análisis el coeficiente de variación, que justamente matiza los resultados puesto que en la MZ 1 se deriva una mayor variabilidad, y por tanto, estaría más

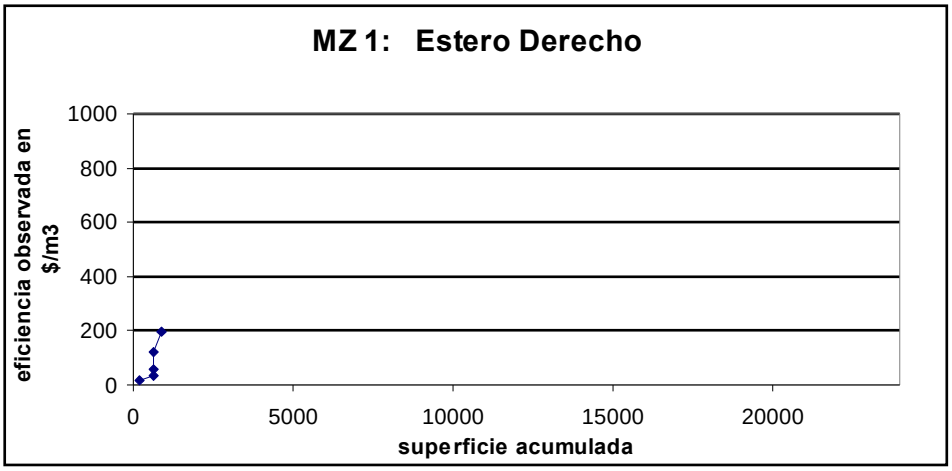
lejos de su potencial que la MZ 2. Finalmente, vale la pena señalar que el uso de indicadores debe ser reforzado con información de terreno para dar criterio de realidad al análisis. En definitiva, el uso de indicadores de potencialidad debe ser interpretado con cautela.

Por otra parte, si se comparan sólo las mesozonas MZ 2, 3 y 4, se puede observar que todos los indicadores de potencialidad presentan tendencias consistentes, esto es, en la MZ 2 presenta un menor porcentaje de eficiencia en relación al potencial máximo, y por otra parte, presenta mayor coeficiente de variación que la MZ 3 y 4, lo que indica que la zona baja del valle al igual que Pan de Azúcar están más cerca de su propio potencial.

A continuación, se presentan los gráficos que ilustran la situación de cada una de las mesozonas definidas. Para todas ellas se ha mantenido en el eje X la superficie total cultivada de la cuenca, para permitir apreciar visualmente el área que se cultiva en cada una.

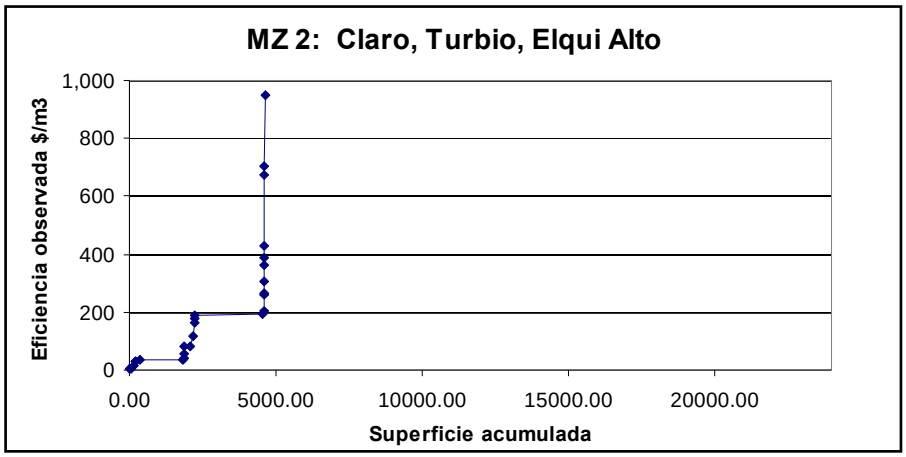
En la Figura 5-36 se puede apreciar que en la MZ 1 existe una proporción no menor de superficie de especies de mayor eficiencia (uva de mesa) pero, a la vez, una gran parte de la superficie se utiliza en especies de baja eficiencia (vid de pisco). Además, se puede ver como las especies de mayor eficiencia de la MZ 1 presentan valores mucho menores de eficiencia que las demás mesozonas. Eso tiene relación con el hecho de que no hay hortalizas presentes.

Figura 5-36
Eficiencia observada de uso del agua en función de la superficie acumulada MZ 1



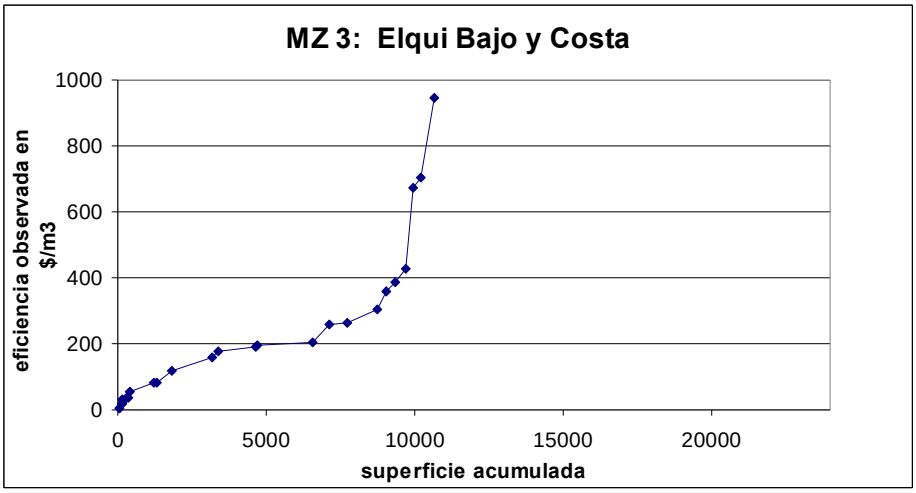
En la Figura 5-37 se puede apreciar que en la mesozona 2 existe una serie de especies de alta eficiencia, pero su superficie es muy pequeña. La mayor parte de la superficie se utiliza en especies de eficiencia media, cercana a los 200 $/m3 (uva de mesa), y una gran parte de la superficie se destina a especies de muy bajo rendimiento (uva de pisco). Esto mismo lleva a que el coeficiente de eficiencia en relación al potencial máximo sea muy pequeño.

Figura 5-37
Eficiencia de uso del agua en función de la superficie acumulada MZ 2



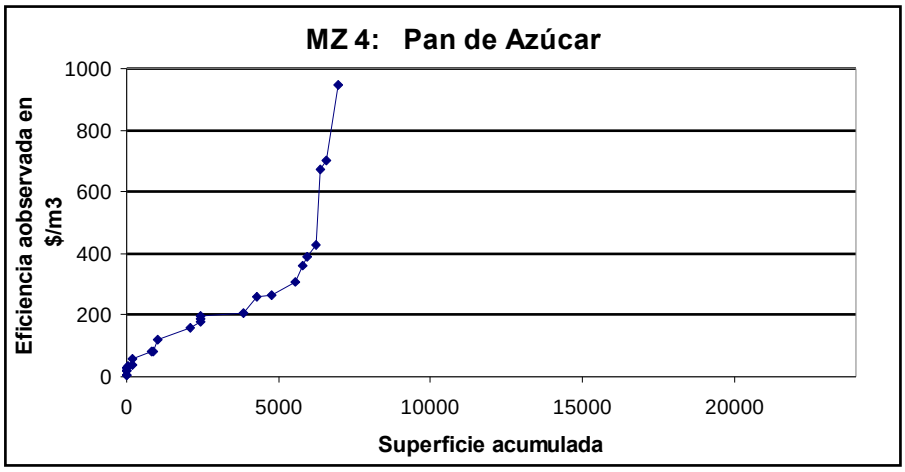
En la Figura 5-38 (MZ 3) se puede apreciar una distribución de eficiencia más homogénea, pero de todas formas, la eficiencia de las especies más destacadas es mucho más alta que las especies de menor eficiencia.

Figura 5-38
Eficiencia de uso del agua en función de la superficie acumulada MZ 3



En la Figura 5-39 (MZ 4) se puede apreciar una distribución bastante similar a la de la Figura 5-37. Esto es, una distribución más homogénea que la de las primeras dos Meso Zonas pero al mismo tiempo donde existe aún un potencial de reasignación.

Figura 5-39
Eficiencia de uso del agua en función de la superficie acumulada MZ 4



Desde el momento en que coexisten especies de muy alta eficiencia con especies de baja o casi nula eficiencia procede preguntarse ¿por qué no se produce una reasignación de manera de dar un uso de alta eficiencia a todos los recursos hídricos disponibles?

Respecto de lo anteriormente presentado, vale la pena tener presente lo siguiente: Por un lado, tal como se ha mostrado en las secciones precedentes, el cambio descrito ya está sucediendo, si bien es gradual.

Por otro lado, se debe tener presente que incluso la maximización de la rentabilidad se sacrifica a veces frente a la posibilidad de minimización del riesgo. A ello responde la necesidad de mantener una estructura productiva diversificada, puesto que con ello se disminuye el riesgo. El riesgo más claro consiste en que los mercados reaccionen con una caída de precios frente a un aumento de producción, cuando no son infinitos o casi infinitos. De modo que se trata de un proceso dinámico marcado por diversas fuentes de incertidumbre y por la competencia.

No obstante lo anterior, donde confluyen las características de agua escasa, y alta rentabilidad económica de un cultivo, se observa una reorientación en el sentido de sacar el mayor partido posible al recurso hídrico.

Por ejemplo, la especie de mayor eficiencia observada de uso de los recursos hídricos es la zanahoria, una hortaliza cuya producción se orienta a los mercados domésticos y de amplia distribución en el territorio nacional. Resulta evidente que no se puede dedicar una amplia proporción del valle a esta especie sin enfrentar una pérdida de rentabilidad producto de una sobre oferta en los mercados. Sin embargo, a nivel de categorías se observa claramente un aumento de la plantación de hortalizas y por lo tanto una tendencia coherente con el incentivo que ilustra el caso descrito.

En otras palabras, la rentabilidad establece una fuerza motriz para el cambio de cultivos y, dadas las restricciones técnicas y económicas, el conjunto de productores del valle toma decisiones para ir dirigiéndose hacia una situación más cercana al óptimo económico.

Lo importante es tener presente que existe una fuerza motriz y a la vez, que existen restricciones que impiden movilizarse hacia el óptimo.

Desde el punto de vista del presente trabajo lo fundamental es identificar las restricciones que pertenecen al ámbito de la gestión de recursos hídricos y generar medidas para disminuirlas.

En términos generales, sistemas de gestión flexibles permiten que la reasignación del recurso hídrico no sea una de las restricciones que impidan aumentar la eficiencia de uso de los recursos hídricos, por lo cual resulta de interés promover las medidas de gestión en este sentido, y un argumento para ello son las diferencias de eficiencia que pueden deducirse de los antecedentes presentados previamente. En otras palabras, a pesar de que el valle del río Elqui está bastante desarrollado en su potencial, aún existe espacio para aumentar la eficiencia de uso del recurso hídrico. Esto se realizará en la medida que con ello se logre aumentar las rentabilidades.

5.7.3 Eficiencia de uso del agua en agricultura a nivel global

A continuación, se presentan los indicadores de eficiencia económica del valle del río Elqui como un todo:

Cuadro 5-69
Indicadores de eficiencia económica nivel global

Eficiencia económica observada promedio ($/m3)	256,6
% de eficiencia en relación al potencial observado	21%
Desviación estándar de la eficiencia ($/m3)	201,5
Coeficiente de variación (%)	78,5%

Fuente: elaboración propia.

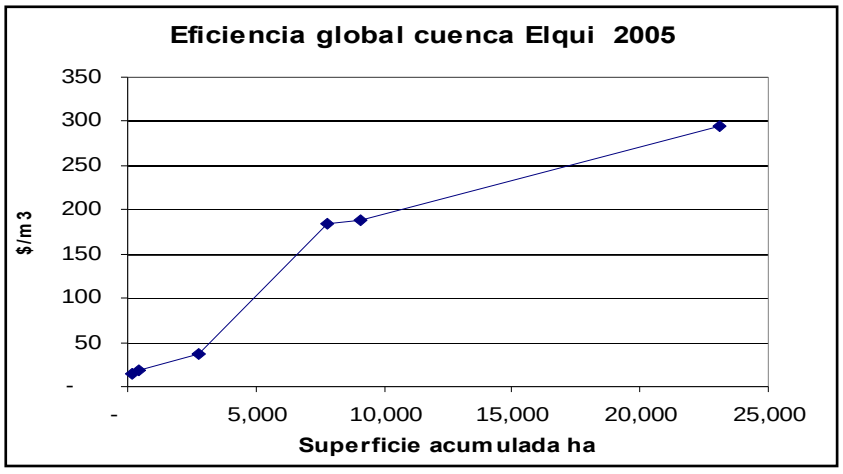
A continuación, se presentan cálculos de eficiencia económica según un promedio ponderado para las diferentes categorías de cultivo.

Cuadro 5-70
Superficie y eficiencia observada por categoría de cultivo para el valle del río Elqui.
Año 2005

Categoría	Superficie (Ha.)	Superficie acumulada (ha)	Eficiencia observada media ($/m3)
Hortalizas	14.076	23.124	294
Chacras	1.292	9.048	189
Frutales	4.987	7.756	184
Vides Viníferas	2.306	2.769	36
Cultivos anuales	318	463	18
Praderas	145	145	14

Fuente: elaboración propia en base a datos CIREN, INE, INIA y ODEPA.

Figura 5-40
Eficiencia observada media por categoría de cultivos
Año 2005



Tal como se puede apreciar en el Cuadro 5-70 y la Figura 5-40, si se calcula la eficiencia observada media de las diferentes categorías de cultivos, las hortalizas y las chacras aparecen como las categorías de mayor productividad y por tanto de mayor eficiencia. Ello puede parecer contradictorio respecto de la percepción general de que son los frutales de exportación los rubros más rentables y de mayor dinamismo en la zona.

Esta aparente contradicción se explica por lo siguiente: los frutales no necesariamente son los rubros más eficientes en términos económicos, ni desde el punto de vista del factor agua ni del factor tierra. Por ejemplo, utilizan mucha más agua por hectárea en comparación con las hortalizas (8604 m3/ha en uva de mesa versus 3.192 m3/ha en zanahoria) y no necesariamente

generan mucho más valor económico por hectárea cuando se incluye la consideración del factor tiempo (1.585.881 $/ha en uva de mesa versus 3.024.380 $/ha en zanahoria).

Son otros los factores que los hacen ventajosos como alternativas productivas para los agricultores. Estas son principalmente dos grandes ventajas: por un lado, la producción de frutales de exportación permite expandir la escala productiva manejada por un productor debido a que tienen un requerimiento de labores de un menor número de trabajadores por hectárea, y además, la venta en mercados externos permite colocar grandes volúmenes de producción sin depender de mercados volátiles como los mercados de las hortalizas, los cuales son muy sensibles a los volúmenes ofertados. Además, manejar grandes superficies de hortalizas implica la necesidad de manejar un conjunto de especies con técnicas productivas diferentes, y mucho personal en épocas de cosecha, con lo cual, en una escala superior a la escala normal de los pequeños y medianos productores, éste se torna un negocio con un nivel significativo de complejidad y riesgo.

Un antecedente importante que se deriva del Cuadro 5-70, es que se observa que en las categorías de mayor eficiencia económica observada la superficie presente es más alta que en las categorías de menor eficiencia. Por ejemplo, la categoría hortalizas es al mismo tiempo la de mayor eficiencia y la de mayor superficie. Según la experiencia de los consultores esto no es común. En otras partes del país, las categorías de menor eficiencia son las que ocupan mayor superficie y también mayor cantidad de recursos hídricos. Esto revela que el valle ya ha realizado un proceso de reasignación del recurso hídrico, lo cual también es consistente con el análisis de las tendencias de largo plazo que se hizo previamente. En él, se pudo apreciar cómo las categorías de mejores perspectivas como hortalizas y frutales han aumentado a expensas de categorías de peores perspectivas como los cereales.

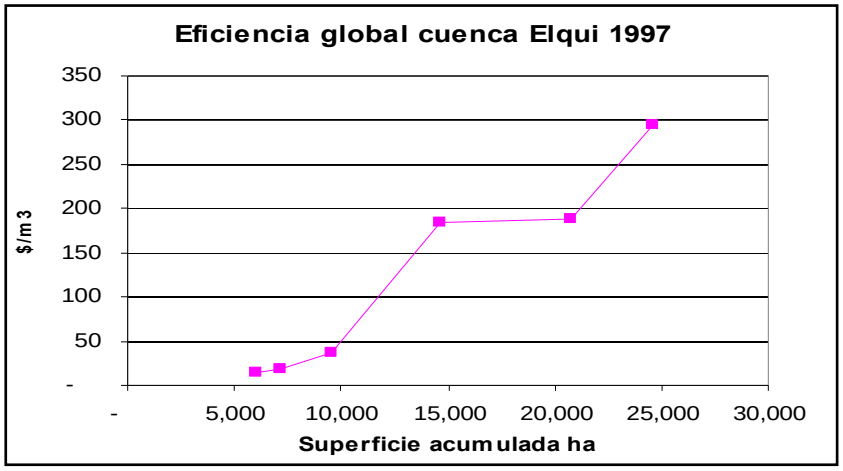
A continuación, se realiza un análisis de los indicadores para dos momentos en el tiempo con el fin de poder visualizar la tendencia de reasignación de recursos hídricos hacia opciones de mayor valor. Primero, en el Cuadro 5-71 y Figura 5-41 se presenta la misma información que en el Cuadro 5-63 y Figura 5-39, pero para un momento anterior, en el año 1997.

Cuadro 5-71
Superficie y eficiencia observada por categoría de cultivo para el valle del río Elqui. Año 1997

Categoría	Superficie (Ha)	Superficie Acumulada (Ha)	Eficiencia económica media ($/m3)
Hortalizas	3.854	24.608	294
Chacras	6.160	20.754	189
Frutales	5.016	14.594	184
Vides Viníferas	2.364	9.578	36
Cultivos anuales	1.157	7.214	18
Praderas	6.057	6.057	14

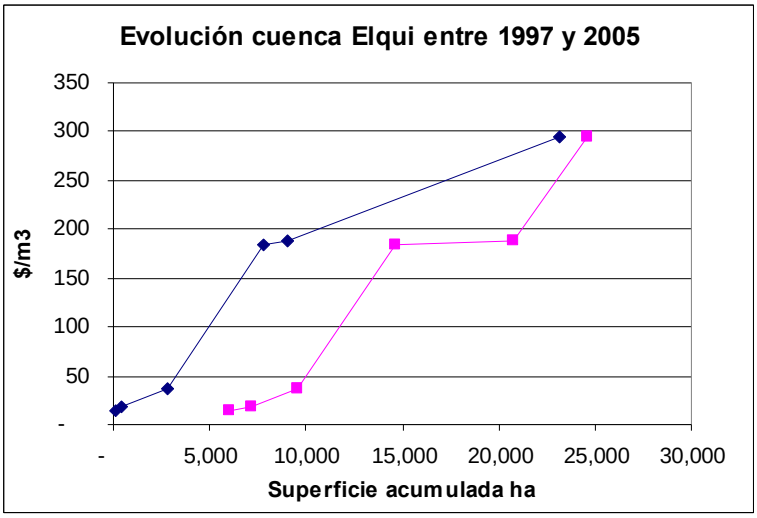
Fuente: elaboración propia en base a datos INE 1997.

Figura 5-41
Eficiencia observada media del agua 1997



El cambio en eficiencia entre las gráficas de las Figuras 5-40 y 5-41, se puede apreciar en la Figura 5-42, donde la línea punteada representa la eficiencia con los datos 1996/97 (asumiendo márgenes netos constantes en ambos cortes temporales) y la línea continua representa la eficiencia con los datos actuales. Tal como se puede apreciar, el valor medio de eficiencia aumenta y la variabilidad disminuye.

Figura 5-42
Eficiencia comparada entre 1997 y 2005 Cuenca Elqui



Al calcular el valor total producido, esto es, multiplicando la superficie de cada categoría por el valor producido por hectárea en cada categoría, el cambio presentado en la Figura 5-42 representa un incremento total de 58% de eficiencia económica a nivel del valle producto del

cambio de cultivos. En la práctica, lo que ha sucedido es que se ha disminuido la superficie de praderas y cultivos anuales, gracias a lo cual se ha podido incrementar la superficie de hortalizas y frutales.

Para lograr este cambio sin duda que la principal fuerza motriz han sido las señales de los mercados, puesto que tal como se señaló previamente, las tendencias históricas de los mercados muestran una clara reorientación regional en el mismo sentido. Sin embargo, el manejo del recurso hídrico ha jugado un factor clave a la hora de hacer posible este cambio.

Históricamente, la variabilidad de suministro hídrico dado por las recurrentes sequías hidrológicas era enfrentada con el establecimiento de una proporción importante de praderas en el valle. De esta manera, si el año era restrictivo se podía priorizar el uso de agua hacia los cultivos más rentables dejando que las praderas se secaran. Dada la baja inversión involucrada en las praderas, el dejarlas secar no implicaba tantas pérdidas como dejar secar otros cultivos. Sólo con una mayor seguridad de riego, resulta posible aumentar la proporción de cultivos de alto valor, por lo cual, primero se recurrió a las aguas subterráneas a través de la construcción de pozos, y luego se produjo la construcción del embalse Puclaro. Ambos elementos, al dar seguridad de riego, constituyen claramente un factor que explica el cambio observado.

5.7.4 Diagnóstico eficiencia económica del uso del agua en la minería

En la cuenca del Elqui, después que cerró la minera El Indio, quedan como principales empresas mineras identificables y activas en la actualidad, las mineras Sn. Gerónimo y Palo Negro en la quebrada de Marquesa, y las mineras Linderos y Las Rojas en el valle.

Producción

Entre todas, sumarían una producción de unas 2.680 toneladas de mena seca / día. Si se asume una razón de concentración de 44, usual para la zona, se llega a una producción de 61 toneladas de concentrado / día.

Ingresos

Hay una fórmula para estimar el ingreso, en función del precio internacional del cobre, la maquila de refinación, la ley del producto concentrado, las pérdidas metalúrgicas y la maquila de fusión conversión, que es la siguiente:

$$VC = 22{,}046\ (p - MR)\ (Lp - Pm) - MFC$$

Los valores que ENAMI aplica para caracterizar los parámetros de esta ecuación, son los siguientes:

MR = 10% de p
Pm = 4 % de la Ley del producto concentrado
MFC = 100 US$ / ton concentrado.

La ley del producto concentrado se encuentra entre 35 y 40%.

Con esto se obtiene los siguientes ingresos por tonelada de concentrado, dependiendo del precio internacional del cobre:

Cuadro 5-72
Ingresos por tonelada de concentrado en función del precio internacional del cobre

P inter. US$/libra	g US$	lp %	Pm %	MPC US$/ton	VP US$/ton
0.5	0.05	40	1.6	100	281
0.6	0.06	40	1.6	100	357
0.7	0.07	40	1.6	100	433
0.8	0.08	40	1.6	100	510
1	0.1	40	1.6	100	662
2	0.2	40	1.6	100	1424
3	0.3	40	1.6	100	2186

Costos

Se acepta que el costo de producción varía entre 5 y 12 US$/tonelada de mena seca, lo que para una razón de concentración de 44, equivale a 220 - 528 US$/tonelada de concentrado. Esto significa que dependiendo del costo de producción, ésta recién se justifica a partir de un determinado precio del cobre, que en general debiera ser mayor que 0,8 US$/libra en el mercado internacional.

Uso de agua

El uso de agua para la minería se estima en 2,5 a 3,0 m3 por tonelada de mena seca. Las empresas son algunas más, otras menos eficientes en el reuos y la recirculación del agua. De este modo, el agua fresca que usan los procesos, varía entre 0,4 y 1,5 m3 por tonelada de mena seca.

Para una producción de 2680 toneladas de mena seca al día, esto significa entre 1072 y 4020 m3 de agua al día, valor que equivale a un caudal entre 12 y 47 l/s.

Eficiencia económica de uso del agua

En el siguiente Cuadro 5-73 se muestra la eficiencia de uso del agua en la minería, expresada como US$/m3, para dos situaciones extremas de eficiencia física: uso de agua de 0,4 y 1,5 m3 de agua por cada tonelada de mena seca producida.

Cuadro 5-73
Eficiencia de uso del agua en la minería del cobre

P inter. US$/libra	Valor Conc. US$/ton c	Costo US$/ton c	Beneficio US$/ton c	Uso de agua m3/tms	Beneficio US$/m3	Uso de agua m3/tms	Beneficio US$/m3
0.5	280.95	440	-159.05	0.4	-9.04	1.5	-2.41
0.6	357.15	440	-82.85	0.4	-4.71	1.5	-1.26
0.7	433.34	440	-6.66	0.4	-0.38	1.5	-0.10
0.8	509.53	440	69.53	0.4	3.95	1.5	1.05
1	661.91	440	221.91	0.4	12.61	1.5	3.36
2	1,423.82	440	983.82	0.4	55.90	1.5	14.91
3	2,185.73	440	1,745.73	0.4	99.19	1.5	26.45

Se observa que a partir de un precio internacional de 0,8 US$ la libra, cada m3 de agua renta a partir de 1 US$ por m3, lo que en este momento son 540 $/m3, correspondiente a los productos agrícolas de alto valor.

Sin embargo, para precios del cobre más altos, cercanos a los 3 US$/libra, donde se encuentran en la actualidad, la rentabilidad de cada m3 de agua alcanza valores entre 26 y 99 US$, equivalente a un rango entre $ 14.000 y $ 53.000. Este rendimiento económico del agua es totalmente incomparable con el de la agricultura, superándola por entre 20 y 100 veces, para los cultivos más rentables.

Lo anterior muestra el poder comprador de agua que tienen las empresas mineras, especialmente en la actualidad con el alto precio del cobre, y muestra también que no hay criterios económicos que puedan impedir el traspaso del agua desde la agricultura hacia la minería. Sólo podrían aducirse criterios geoestratégicos o geopolíticos para impedir este traspaso, cuando hay demanda.

En todo caso, es bueno que el agricultor que va a entrar en un negocio con alguna empresa minera, conozca la rentabilidad que la minería obtiene con el agua, de modo que participe en la ganancia a través de la transacción, y el negocio sea, como debe ser, una ganancia para ambas partes.

5.8 DIAGNÓSTICO EFICIENCIA ADMINISTRATIVA

Este diagnóstico se efectúa a nivel medio y a nivel global.

5.8.1 Eficiencia administrativa a nivel medio

El diagnóstico a nivel medio se refiere fundamentalmente al tema administrativo, en los siguientes temas:

- flexibilidad del sistema de distribución
- eficiencia en la distribución
- eficiencia en la administración

Sobre estos temas se indagó en profundidad a través de las entrevistas, de modo que después del análisis cuantitativo presentado a nivel local en base a la modelación, y tomando en cuenta todo lo que se vio en terreno, se puede afirmar lo siguiente:

a) Flexibilidad del sistema de distribución

El sistema de distribución está estructurado en base a canales con bocatomas flexibles, tipo pata de cabra, y marcos aforadores de escurrimiento crítico en las bocatomas de los canales en el río, cuyos anchos son proporcionales a los derechos. Estas estructuras están, en general, en buen estado. Al interior de los canales, los sistemas son más variados, de compuertas, marcos partidores o mangueras, en estado variable de conservación.

En relación con la flexibilidad, es necesario distinguir dos niveles: la flexibilidad para traslados entre canales, y la flexibilidad para traslados dentro de un mismo canal.

En el primer caso, los traslados no son fáciles, pues la infraestructura de toma está adaptada a los derechos del canal. Por lo tanto, debe ser modificada al trasladar un derecho, lo que genera un costo de modificación no despreciable. Deben modificarse dos marcos, el del canal cedente de derechos y el del canal receptor.

Pero no sólo hay aquí una rigidez del sistema físico frente a los traslados, sino que también una rigidez de gestión, pues los usuarios de ambos canales deben estar de acuerdo con los traslados, y este tema tiene cierta importancia, pues en ambos canales cambian las duraciones de los turnos, y los caudales transportados, de modo que se modifica también el porcentaje de pérdidas, y todo esto requiere una flexibilidad y adaptación por parte de todos los regantes involucrados.

Por último, también hay una gran rigidez administrativa frente a los traslados entre canales, debido a que los derechos deben estar inscritos en el CPA, y para ello, previamente perfeccionados. El hecho de que la mayoría de los derechos no lo esté, dificulta, demora e inhibe los traslados formales entre canales.

Hay algunos casos de gran rigidez, que son los canales del estero Derecho y del canal Bellavista, éste último en proceso de modificación de marcos partidores a compuertas, como se ha señalado antes. En el primer caso, los traslados entre canales ni siquiera se permiten, por lo que el intercambio y ajuste de derechos está restringido a las transacciones informales que puedan realizarse al interior de un sistema de canales. En el segundo caso, el hecho de que este canal no se opera con compuertas, sino que con marcos partidores, hace en la práctica inviable cualquier traslado, puesto que cualquier cambio requeriría secar el canal por una semana o más, y eso sólo ocurre una vez al año, con las limpias, por un par de días.

No obstante todo lo anterior, también ha habido traslados y ventas de derechos entre canales, como se observa en el estudio sobre mercado del agua realizado por Oscar Cristi, el cual se comenta más extensamente en el Capítulo 5.8.2 b).

En el otro nivel, dentro de un mismo canal, es mucho más fácil trasladar derechos. Como el sistema es de compuertas, se pueden movilizar los derechos con el solo acuerdo de los participantes. Este tipo de traslado es mucho más frecuente, como se desprende del análisis de mercado que se presenta en el Capítulo 5.8.2 b), tanto para traslados formales, como son las ventas de derechos, como para los traslados informales, como son los préstamos y arriendos. De hecho, fue posible constatar que los traslados dentro de un mismo canal no tienen nada que ver con el mercado del agua, y corresponden a una práctica de sentido común que tiene una vigencia muy anterior. Estos traslados hasta hoy son, en gran medida, informales, y no se formalizan ante la JV ni ante la DGA, sólo se informan internamente a la directiva de la comunidad y al celador.

De este modo, no debe pensarse que el tipo de infraestructura de distribución de la cuenca del Elqui es totalmente rígida frente a los traslados, de hecho, también los hay. Las rigideces existentes corresponden a la infraestructura de toma del río, pero también provienen de los propios usuarios, y de la DGA, que debiera agilizar los procedimientos de inscripción.

b) Eficiencia en la distribución

En la cuenca se registran pocos problemas en cuanto a la eficiencia de distribución. En este aspecto, la JV cuenta con la confianza de los canalistas, que aceptan y asumen sus disposiciones, tanto en cuanto al cálculo de desmarques, como en cuanto a vigilancia y distribución. Los problemas aparecen cuando falta el agua, porque es entonces cuando se comienzan a notar más fuertemente las ineficiencias, especialmente las de conducción, y las pérdidas por robos con mangueras que también hay en los canales.

Dentro de la situación actual, que es de relativa bonanza, la gente no se queja de pérdidas ni de ineficiencias, al extremo de que, consultados sobre el particular, dicen tener pérdidas nulas tanto en sus canales como en sus predios.

Dentro de esta cuenca es muy difícil establecer parámetros de eficiencia de conducción, pues hay muchos canales con grandes pérdidas, las que sin embargo, son aprovechadas en el sector de riego de más abajo, o vuelven a recargar los acuíferos, o incluso se manifiestan dentro de

otro canal que corre más bajo. Por esta razón, el tema de la eficiencia física de conducción no se ha tomado muy en serio, y también debido a eso, las pérdidas son importantes en algunos sectores. Solamente los puntos más álgidos han sido reparados, contando los canales con algunos kilómetros revestidos.

El bajo interés por participar en la gestión y administración de los canales por parte de los usuarios, muestra también que no hay grandes problemas ni conflictos en la distribución. Especialmente mientras hay agua, la gente está muy clara acerca de cuándo le toca recibir su turno, esto está claramente instituido, y aparentemente es respetado por los usuarios.

c) Eficiencia en la administración

La administración nace de la necesidad de poner de acuerdo a un grupo de personas que usan una obra común, para obtener a través de ella un recurso escaso. La cuenca del Elqui ha vivido durante gran parte de su historia una gran escasez de agua, parcialmente paliada con el embalse La Laguna a partir del año 1946. En este esquema, se desarrolló la capacidad necesaria para lograr una buena distribución, tanto del río hacia los canales matrices, como también dentro de los canales.

A partir de 1999, la gente siente que está viviendo una realidad diferente, a partir del embalse Puclaro. Este embalse ha permitido mantener los desmarques en niveles que logran suplir las necesidades. Esto no sólo es una percepción, sino que es una realidad en una gran parte del valle, como se pudo constatar a través del análisis de los resultados que entrega el modelo se simulación. Además, las Juntas de Vigilancia y las organizaciones de usuarios han sido objeto de grandes esfuerzos de fortalecimiento que ha llevado a cabo la DOH en la región, a través de sus programas de fortalecimiento, el cual ha abarcado tanto la parte física de obras, como la parte de gestión.

En este nuevo esquema, muy pocos declaran tener problemas serios ni con la administración de su propio canal, ni con la Junta de Vigilancia. La participación de los socios dentro de la Junta de Vigilancia es buena, y la forma en que la Junta se comunica con sus asociados, permite bastante interactividad. En cuanto a la administración interna de los canales, el nivel de participación es muy bajo, lo que se atribuye a que ha habido bastante agua. Los conflictos no son serios, en general hay morosidad por parte de los agricultores más pequeños, y los grandes tienen que pagar las cuotas de ellos para mantener en buena forma el canal. La baja participación de los usuarios en los temas comunes es una constante al interior de los canales, pero esto no se asocia con una mala administración, sino que con el hecho de que ha habido suficiente agua. De hecho, las administraciones de las comunidades entrevistadas, todas sin excepción, encuentran que tienen una estructura apta para la administración, y, en efecto, son pocos los reclamos por parte de los usuarios.

5.8.2 Eficiencia administrativa a nivel global

El diagnóstico de la eficiencia administrativa a nivel global incluye los siguientes aspectos:

- capacidad de control para el cumplimiento de las reglas
- forma en que se asigna y reasigna el recurso hídrico en la cuenca (mercado del agua).

a) Capacidad de control para el cumplimiento de las reglas

Las reglas en relación con el agua que interesa analizar en este estudio, son las que se refieren a su gestión cuantitativa, cualitativa y de administración. Dichas reglas son las siguientes

i) las disposiciones del Código de Aguas, en materia de constitución de derechos de agua, de modo que haya respeto por los derechos de terceros y también por el medio ambiente. En esta materia, la institución rectora es la DGA.

ii) las disposiciones del Código de Aguas en materias de distribución y administración de los derechos de agua por parte de las instituciones previstas por el código para ese fin, que son las Juntas de Vigilancia, Asociaciones de Usuarios y Comunidades de Agua

iii) las disposiciones de calidad de aguas, provenientes de:
- la norma de calidad para el agua potable NCH 409 / 1984
- la norma de calidad para el agua de riego y otros usos NCH 1333 / 1978
- la norma de emisión para descargas de riles a sistemas de alcantarillado (revisión del DS MOP Nº 609 / 1998)
- la norma de emisión para descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales DS Nº 90 / 2000 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia
- la norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas DS Nº 46 / 2002 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia

Están en preparación las normas secundarias de las aguas en el río, las cuales se espera que para la cuenca del Elqui estén listas a fines de 2005.

En las materias de calidad y emisión, las instituciones rectoras son varias: la Superintendencia de Servicios Sanitarios, el Servicio de Salud, y también el SAG, todos encargados de la fiscalización, según corresponda.

A continuación se comenta la capacidad de control de cada una de las instituciones involucradas.

Dirección General de Aguas

En materia de derechos de agua, la institución rectora es la Dirección General de Aguas. De acuerdo con la información recabada en la cuenca, no hay problemas con los derechos superficiales, salvo por la dificultad para los traslados, dificultad que estriba fundamentalmente en la forma en que está concebida la infraestructura de distribución, y en algunas medidas administrativas que han dificultado aún más las transacciones. Entre éstas últimas, se señala el

perfeccionamiento de los derechos y la inscripción en el CPA que se requieren para formalizar un traslado.

Sin embargo, con los derechos subterráneos aparentemente hay más problemas, al menos desde la perspectiva de la administración. El acuífero está parcialmente cerrado para la constitución de nuevos derechos permanentes (sectores de Elqui Bajo, Santa Gracia y Costa Norte), pues se asume que nuevos derechos subterráneos podrían afectar los derechos superficiales de terceros que van por el cauce. Interesa en la Región fomentar la inversión de nuevos capitales, pero no es fácil si los usuarios no venden sus derechos, los potenciales inversionistas no tienen claridad acerca de cómo obtenerlos, y no hay posibilidad de obtener derechos subterráneos en gran parte de la cuenca. Todo lo anterior, enmarcado en la realidad actual de que el agua superficial es más abundante, el agua subterránea se usa menos, y no se constituyen más derechos justamente ahí donde se necesitan, ha dado lugar a una creciente clandestinidad.

Hay una cantidad desconocida de pozos clandestinos o no legalizados, que escapan al control de la DGA. Sin embargo, bajo las actuales condiciones, en que no se usan mucho, no generan efectos apreciables sobre los acuíferos, ni sobre las aguas superficiales de terceros. En realidad, esos pozos cumplen una función de seguro ante un evento de sequía.

En cuanto a la administración de los derechos, no hay una organización para las aguas subterráneas, y tampoco hay interés en crearla, debido a lo señalado antes sobre la seguridad que han adquirido los derechos superficiales con la construcción del embalse Puclaro. Con la modificación del código, al haber zona de restricción, la organización está creada de oficio, pero aun así es dudoso que una organización de ese tipo cumpla una función real en el valle, mientras el acuífero no llegue a un estado crítico de explotación.

Junta de Vigilancia del río Elqui y sus afluentes

La Junta de Vigilancia del río Elqui y sus afluentes tiene jurisdicción sobre el río Elqui y todos sus afluentes, salvo el Estero Derecho y la Quebrada de Paihuano. Administra en la actualidad 117 canales y 8 captaciones de bombeo.

En cuanto al estado de las bocatomas, ellas son en su mayoría temporales, del tipo de patas de cabra en el río, por lo cual se van con las crecidas de invierno. Las de aguas abajo del embalse Puclaro ya no se van, pues no sufren crecidas.

Los marcos aforadores de escurrimiento crítico se encuentran en buen estado, y son operados y mantenidos bajo llave por los celadores, cuando impera el sistema de desmarques.

El sistema de desmarques no opera cuando en el invierno han caído más de 2,5 m de nieve en la estación del patio bajo el muro del embalse La Laguna. En tal caso, se declara río libre.
Los canales son en su totalidad excavados en tierra, no revestidos, sólo hay revestimientos en algunos puntos más críticos, los que suman un total de 29 km de un total de 746 km.

Antes de la existencia del embalse Puclaro, el embalse La Laguna se operaba en forma interanual, de modo de no dejarlo con menos de 20.000.000 m3 al final de la temporada. Ahora que existe el embalse Puclaro, el embalse La Laguna se usa vaciándolo anualmente.

Los pronósticos se hacen en función de la ruta de nieve y del fenómeno del Niño. En la asamblea de mayo se establece el calendario de desmarques. Si después nieva mucho más, en septiembre se puede reconsiderar el calendario.

Los derechos superficiales que administra la Junta prácticamente no son objeto de mercado del agua. El sistema es muy rígido, debido a la naturaleza de los marcos en la captación de cada canal. Ha habido pocas solicitudes de traslados, alrededor de tres al año, y éstas se trancaron completamente cuando se creó el Catastro Público de Aguas, porque la DGA impuso que los derechos a trasladar debían estar inscritos en el CPA, para lo cual deben estar previamente perfeccionados.

El embalse Puclaro ha venido a dar seguridad de riego a las acciones existentes, y no a crear nuevos derechos. De hecho, las dotaciones de agua por acción antes del embalse eran muy chicas, muchas veces de no más de 40%, llegando hasta el 12% en sequías extremas, lo que significaba que había que parear canales.

En la actualidad, los desmarques llegan hasta 60% e incluso 65%, dotación con la cual los regantes quedan conformes. En el capítulo de modelación se precisa más el tema de las seguridades de riego.

Tampoco hay acumulación de derechos superficiales sin uso efectivo. Todos los derechos están asignados a algún canal, y éste se surte en la temporada de riego, generalmente con un desmarque entre 50 y 60%, lo que los regantes consideran que es bastante. Nadie se queja en la actualidad de falta de agua, porque aún está fresca en la memoria la época previa al embalse Puclaro, donde los desmarques eran de 40% o menos.

Como ya no hay disponibilidad de nuevos derechos superficiales, porque están todos constituidos, sólo hay posibilidad de movilizar o reasignar los derechos. Esto está en manos de la Junta de Vigilancia, y ellos están a punto de publicar un nuevo estatuto con la actualización de los derechos. Lo que ha ocurrido es que algunos usuarios han trasladado sus derechos hacia aguas arriba del río, para sacarlos con bombas, de modo que hoy existen 8 captaciones que se registran sólo parcialmente en los estatutos vigentes.
Hay otro aspecto que requiere una aclaración formal, que es la distinción entre acciones brutas y netas. Sólo valen las netas para la distribución, aunque las cuotas se pagan por las brutas. Pero esto quedó así cuando se estableció el rol Lyon, y se puede simplificar.

Como las acciones superficiales están todas constituidas, la gente del Elqui no se explica por qué la DGA no declara agotado este río. Es posible que la DGA esté esperando ver qué modificaciones en la tenencia genera el nuevo código, con sus patentes por no uso, para tomar una decisión definitiva.

Diferente es el tema con los derechos subterráneos. Los pozos, como ocurre en muchas cuencas donde no hay suficiente regulación superficial, se usan para suplir las necesidades cuando hay déficit de agua superficial. Como el déficit se ha reducido con el embalse, y además desde 1999 no ha habido años malos, los pozos profundos casi no se usan. Esto es especialmente notorio en el caso de la cuenca Pan de Azúcar, alimentada por el canal Bellavista, donde los pozos han pasado a tener un uso eventual.

No obstante ello, los derechos subterráneos también han sido objeto del mercado de aguas, especialmente en Pan de Azúcar. Se arriendan a los vecinos que tienen menos recursos superficiales.

La Junta de Vigilancia no incluye los derechos subterráneos dentro de los derechos que administra. No tendría inconveniente en hacerlo, y que los mismos celadores controlen los pozos. Pero eso es algo que no se ha instituido, los pozos se manejan en forma independiente.

En resumen, la capacidad de control por parte de esta JV es razonablemente buena, de hecho no hay mayores conflictos ni reclamos al respecto.

Lo señalado muestra que hay una buena y bien aceptada capacidad de gestión por parte de esta Junta de Vigilancia, en lo referente a derechos superficiales que están bajo su jurisdicción. Los derechos subterráneos se manejan en forma individual, sin concepto de comunidad, probablemente debido al buen comportamiento de los acuíferos en los últimos años.

Junta de Vigilancia del Estero Derecho

La Junta de Vigilancia De Estero Derecho tiene jurisdicción sobre los canales del Estero Derecho, antes de la junta con el Cochiguaz. Este afluente se desprendió de la Junta del Elqui en la sequía de 1968, porque la gran sequía no le permitió tributar hacia el Elqui. Desde esa fecha, ya no tiene la obligación de tributar, y se ha constituido en una nueva Junta de Vigilancia. Como tal, y con sus propios estatutos, existe desde 1977. Los estatutos fueron reformados en 2001.

Esta Junta administra exclusivamente los derechos del Estero Derecho, los cuales son 3043,42 acciones en 20 canales de derechos permanentes, que se reparten entre 539 agricultores, para regar una superficie total de 1352 hectáreas. Las totalidad de los cultivos son uva, 691 ha de uva de exportación regada por goteo, y 661 ha de uva pisquera, de la cual 139 se riegan por goteo, y 523 por surco. También hay dos canales que tienen derechos eventuales.

Esta Junta tiene como factor muy favorable para su funcionamiento, el hecho de que los socios regantes son a la vez comuneros de la comunidad agrícola La Estancia, y son los mismos que se surten con el APR La Jarilla. De este modo, se hace una administración integrada de estas tres instituciones, lo que facilita la armonía. De hecho, según informa el Presidente de la Junta, que es a la vez presidente de la comunidad y administrador del APR, no hay mayores problemas entre los usuarios, y si los hay, se resuelven directamente.

Aunque las tomas en el estero son rústicas, los marcos están en buen estado, y se mantienen "enllavados" por el celador, que es quien debe ocuparse de cambiar la posición de la compuerta cuando el recurso aumenta o se reduce. Según las precipitaciones caídas en el invierno anterior, la JV determina si la temporada va a ser normal o restringida. Si han caído en promedio 100 mm o más, se puede dar río libre por toda la temporada hasta abril. Si es menos, la junta va bajando la entrega a los canales, dependiendo de lo que se mide en la estación Pabellón de la DGA. En general, el recurso es más abundante al inicio de la temporada, pero luego hay que ir cerrando las compuertas. En esta temporada se terminó con un 40% de la capacidad de los canales.

Cuando termina la temporada de riego, una cuadrilla de la comunidad sube a la estancia, y reparte las aguas en las vegas, para que se saturen. Luego en verano, se cree que estas aguas son liberadas, y aumentan la oferta.

Aunque las bocatomas en el río son también rústicas, los marcos de aforamiento crítico con sus compuertas metálicas están en muy buen estado. Los marcos son totalmente rígidos, de modo que no hay posibilidad de mercado del agua. No está permitido el mercado del agua. Sólo puede haber intercambio entre usuarios de un mismo canal.

Los canales de esta junta tenían grandes pérdidas hasta 1995. Ese año se determinó que eran de hasta 80%, debido a que los canales tenían recorridos muy largos, estaban excavados en tierra, y tenían plantaciones de cortina o álamos en los bordes, que se suponía que servían para afirmar la tierra, pero han aumentado mucho la evapotranspiración. Esos árboles hoy no se pueden sacar sin replantar en otro lugar, pero lo que sí se ha hecho, es revestir los canales. Para eso se ha usado la ley de riego. Hay diversos canales ya revestidos en un 100%, o entubados, otros en proceso de revestimiento. Hoy, con las mejoras, se habla de pérdidas de un 20 a 30%.

Las cuotas que pagan los asociados son de $150 mensuales por acción. Internamente en los canales los asociados pagan un poco más.

Se informa que no hay pozos de aguas subterráneas en el sector de jurisdicción de esta junta de vigilancia, a pesar de que en los registros de la DGA figura un pozo de 14 l/s que se asume destinado al riego. Sí está el pozo del APR La Jarilla, que alimenta todas las localidades desde Montegrande hacia el sur. Ese pozo tiene una capacidad de 60 l/s, pero usa sólo 10 l/s. Tiene dos bombas, dos cloradores, y dos tuberías hacia un estanque elevado desde donde se abastecen todas las localidades.

Esta Junta de Vigilancia estuvo incluida en el programa de fortalecimiento que llevaba la DOH durante los años 1999 a 2002. El programa tenía como objetivo principal preparar a los regantes para la administración del futuro embalse Piuquenes. El programa se promocionó a través de una reunión informativa con el Consejo Municipal de Paihuano, boletines informativo trimestrales, y cuatro programas radiales mensuales. Se realizaron talleres sobre los derechos y deberes de los regantes, y se publicaron cartillas informativas.

Por otro lado, en relación con los aspectos técnicos, se capacitó a personal de la JV y a celadores para realizar aforos, se calibró dispositivos de medición en varios canales, y se realizaron visitas a otros canales y al INIA de Vicuña.

Se mantuvieron reuniones interinstitucionales, con instituciones públicas, y también con la empresa BASF, que dio un taller de manejo seguro de fitosanitarios. Adicionalmente, se efectuaron talleres informativos y educativos relacionados con el recurso hídrico, para alumnos y profesores.

No obstante todo lo anterior, finalmente se desistió de la construcción del embalse Piuquenes, por motivos económicos de rentabilidad, lo que significa que los usuarios de esa zona sufren escasez de agua aproximadamente la mitad de los años.

La capacidad de control de esta JV también se aprecia como razonablemente buena, en especial debido a que esta subcuenca constituye de hecho una comunidad agrícola, que tiene intereses comunes.

Superintendencia de Servicios Sanitarios

La SISS cumple tres roles en relación con el agua:

- por un lado, debe fiscalizar a las empresas prestadoras del servicio sanitario, en relación con la calidad del servicio que reciben los usuarios
- por otro lado, debe controlar el proceso de tarificación del agua potable, alcantarillado y tratamiento, a través de la realización de estudios de tarifas que se llevan en forma paralela a cada empresa prestadora de servicios
- finalmente, tiene la función de supervisar y fiscalizar la emisión de residuos industriales líquidos, tanto los que van al alcantarillado público como los que se emiten hacia medios naturales como ríos, lagos, aguas subterráneas y mar.

El tema de la fiscalización de las empresas sanitarias está enrielado en Chile desde la vigencia de la ley Nº 18.902, del 27 de enero de 1990, que crea la SISS y fija sus atribuciones. Se puede decir que como resultado de esa ley y de todo el contexto legal que rige el sistema sanitario chileno, Chile se encuentra hoy en día a la vanguardia mundial en lo respectivo a coberturas de agua potable urbana, rural, alcantarillado, y prontamente, también en el tratamiento de aguas servidas.

En relación con su rol fiscalizador de calidad y emisiones, consultada la SISS al respecto de las fiscalizaciones que lleva adelante en la cuenca del Elqui, se obtuvo la siguiente información:

i) Plantas de tratamiento de aguas servidas autorizadas:

Todas las localidades que cuentan con agua potable urbana, tienen plantas de tratamiento autorizadas por la SISS. Ellas son:

- Las Serena- Coquimbo
- Vicuña
- Andacollo
- Peralillo
- Paihuano.

La SISS lleva un control sistemático de las emisiones de estas plantas de tratamiento. Al respecto, se presentan algunos resultados correspondientes al año 2003/2004 en el Capítulo 5.9. Todas las plantas más nuevas, que son de lodos activados, cumplen con la normativa del DS 90. Las demás plantas, que son de lagunas aireadas, cumplen con la normativa anterior NCh 1333. En todo caso, en Septiembre de 2006, todas las entregas de aguas servidas deberán estar cumpliendo la norma DS 90.

ii) Empresas que descargan directamente al mar

Entre éstas hay varias empresas productoras de ostiones, que descargan al mar sus hidrolavados. En la cuenca del Elqui, la empresa Pesquera San José de Coquimbo es la única que es considerada una fuente existente respecto del DS 90 tabla 5, por lo que tiene plazo hasta Septiembre de 2006 para que se le exija el cumplimiento de la norma.

iii) Establecimientos industriales que descargan al alcantarillado

La norma que rige la calidad de las descargas de riles al alcantarillado público, es el DS 609 de 1998, modificado mediante el DS 3592 del 2000. De acuerdo con esta norma, la entidad fiscalizadora es la empresa sanitaria, sin perjuicio de que también la SISS queda facultada para hacer los controles directos que estime necesario.

Para el presente trabajo, se contó con el listado de los establecimientos industriales sujetos al DS MOP Nº 609 / 98, que son: 26 empresas que entregan sus riles al alcantarillado del emisario de Coquimbo, 50 empresas que entregan sus riles al alcantarillado del emisario de La Serena, 2 empresas (hospitales) que entregan sus riles al alcantarillado de Andacollo, y 2 empresas (hospitales) que entregan sus aguas al alcantarillado de Vicuña.

De acuerdo con los controles directos efectuados por la SISS, aproximadamente la mitad de las empresas que descargan sus riles a los alcantarillados de Coquimbo y La Serena, no cumplen con la normativa vigente. Sí lo hacen los hospitales de Vicuña y Andacollo.

iv) Establecimientos industriales que descargan a aguas subterráneas

No se tiene conocimiento, en la cuenca del Elqui, de empresas que se encuentren en esta condición.

Todo lo anteriormente señalado muestra que hay un control bastante efectivo por parte de la SISS sobre las fuentes puntuales potencialmente contaminantes en la cuenca. Lo que falta es

un mayor control por parte de la empresa sanitaria sobre los establecimientos que aún incumplen la normativa DS 609 / 98, y que estarían sobrecargando la descarga al mar.

Servicio de Salud

En el marco de su misión de velar por la salud de la población, el Servicio de Salud de Coquimbo lleva una estadística de calidad de aguas en diversos puntos de los ríos principales que constituyen las cuencas de la IVª Región.

Para el desarrollo del presente estudio se tuvo acceso a las estadísticas que ha llevado dicho servicio en el período 2000-2003, en diversos puntos de la cuenca del Elqui. Tales estadísticas se comentan en el Capítulo 5.9

Servicio Agrícola y Ganadero SAG

En relación con el presente trabajo, las labores de las que está encargado el SAG son las siguientes:
- llevar el catastro de vides
- reglamentar y controlar el uso de plaguicidas.

El SAG también administra, en forma conjunta con el INDAP, y paralela a la CNR, fondos para invertir en programas de rehabilitación de suelos degradados.

i) Catastro de vides

La Ley 18.455 que regula producción y comercialización de las bebidas alcohólicas y vinagres, publicada el 11 de noviembre de 1985, le encarga al Servicio Agrícola y Ganadero, llevar un Catastro del Viñedo Chileno con la información actualizada de todos los propietarios o tenedores de viñas y parronales.

Es así, como en el año 1985 se confeccionó el catastro nacional en esta materia, el cual se actualizó completamente el año 1993 y desde ese año a la fecha, se mantiene al día.

El Servicio presenta anualmente este Catastro del Viñedo Chileno, respondiendo a la necesidad de contar con antecedentes estadísticos que sirvan para implementar políticas adecuadas para el desarrollo del sector, y también para apoyar una adecuada toma de decisiones por parte de los diferentes agentes que intervienen en esta área de la agricultura chilena.
Cada actualización recoge la información de nuevas plantaciones no censadas a la fecha, y de variaciones en las plantaciones existentes. Se trabaja con una cartografía de terreno, definiéndose como plantación comercial la superficie ocupada con viñas o parronales, de tamaño igual o superior a 0,5 hectáreas.

La información recopilada incluye antecedentes de localización del viñedo, superficie según variedades, sistemas de conducción, régimen hídrico (riego, secano, vega), edad de las plantaciones y la individualización completa del propietario.

Además, el SAG mantiene información a nivel comunal, que si bien no es publicada en Catastros, fue facilitada para el presente trabajo.

La información sobre plantaciones vitícolas del SAG para el año 2004, se presenta en el Cuadro comparativo del Anexo Digital VII, que muestra también la información del censo agrícola de 1996/7. Este catastro, sin embargo, actualmente se actualiza sólo a iniciativa de los productores, pues no hay acciones de catastro que el SAG desarrolle en forma planificada. La información actualizada obtenida durante el presente proyecto, se presenta en detalle en el Capítulo 5.5.

ii) Control de plaguicidas

Como se consigna en el DL Nº 3557 de 1980, el SAG es la autoridad oficial responsable de reglamentar y controlar las actividades relacionadas con el control de plagas y plaguicidas en Chile. Así, debe controlar la fabricación, importación, distribución, venta y uso de plaguicidas agrícolas.

Para ello cuenta con dos programas. Por un lado, está el programa de control de las importaciones, a través del cual se controla que no ingresen plaguicidas prohibidos al país, y que los plaguicidas internados estén inscritos en el Registro de Plaguicidas de uso agrícola.

Por otro lado, el SAG lleva un programa de control de la distribución de los plaguicidas, en que se controla las condiciones de almacenamiento y etiquetado, y se verifica la composición de los plaguicidas, para que corresponda a lo que señalan las etiquetas.

El SAG ha emitido un conjunto de resoluciones que prohíben el uso de determinados ingredientes activos.

En todo caso, se puede decir que el desarrollo agrícola de la cuenca se basa en gran medida en productos de exportación, que se exportan a Europa y Estados Unidos, por lo que los agroquímicos usados son, en general, los permitidos a nivel internacional.
El control que el SAG lleva en la región sobre el uso de plaguicidas, no incluye muestreos de aguas, sino que se refiere más bien a la forma de aplicación y tipos de plaguicidas usados. Para el presente trabajo, se contó con la información que el SAG generó en un programa de control de calidad de aguas (no incluye plaguicidas) en la cuenca del Elqui, que se llevó a cabo en 1999. Se tomaron muestras aguas arriba y aguas abajo de 5 empresas que en esa fecha podrían ser potencialmente contaminantes: Minera San Jerónimo, Minera Dos Valles, Pisco Capel Vicuña, Pisco Elqui y Papayas Olivier

Se midieron 6 parámetros de calidad, de los cuales lamentablemente ninguno corresponde a ingredientes activos de plaguicidas: Conductividad, pH, Sólidos Disueltos Totales, Sulfato, Cobre, Coniformes Fecales

Los resultados, si bien mostraron en esa época algún efecto de estas empresas sobre el río, especialmente contaminación orgánica desde las empresas pisqueras, ya estarían obsoletos,

debido a que estas empresas ahora tienen convenios de producción limpia con CONAMA, y aplican buenas prácticas para poder cumplirlos.

b) Forma en que se reasigna el recurso hídrico en la cuenca (mercado del agua)

i) Estudio de Oscar Cristi sobre el mercado del agua en la cuenca del Elqui

Para la cuenca se ha realizado un interesante estudio sobre el mercado del agua, llamado "Mercado de agua para irrigación y uso urbano: Una aplicación a la Cuenca del Río Elqui, Chile" (informe preliminar), 2003, de los autores Cristi, Oscar y Alejandro Trejo, World Bank-Netherlands Water Partnership Program (BNWPP), Washington, DC.

En dicho estudio se comenta, al inicio, que hay muy pocos países que han instituido el mercado libre del agua, por lo cual hay un retraso en esta materia a nivel mundial. Las razones para ello, serían fundamentalmente dos:

- la dificultad que enfrentan los gobiernos para establecer una asignación inicial de los derechos de aprovechamiento del agua, y
- un cierto escepticismo de los políticos frente a las posibilidades reales de los mercados para el agua. Aunque reconocen su valor teórico, piensan que tiene demasiadas restricciones prácticas que limitan el número de participantes.

El señalado retraso mundial en la institución del mercado del agua sería un motivo para que se dedicaran al tema los investigadores, y Chile ofrece muy buenas posibilidades de investigación, puesto que es uno de los países con un mercado de aguas más liberal a nivel mundial, donde el sistema, además, tiene ya una historia y una actividad de más de 20 años.

En el estudio que se comenta, se efectuó una recopilación de antecedentes sobre transacciones que involucran derechos de agua, en los Conservadores de Bienes Raíces de La Serena y Vicuña, y en los registros de la Junta de Vigilancia del Río Elqui, abarcando el período 1980-2000. De esta forma se efectuó un registro de precios y número de transacciones. También se efectuó una encuesta a 305 agricultores de la cuenca, que recoge información productiva y sobre el uso del agua y de la tierra en la temporada 2001-2002.

Los resultados del mencionado estudio que más interesan para el presente proyecto, son los siguientes:

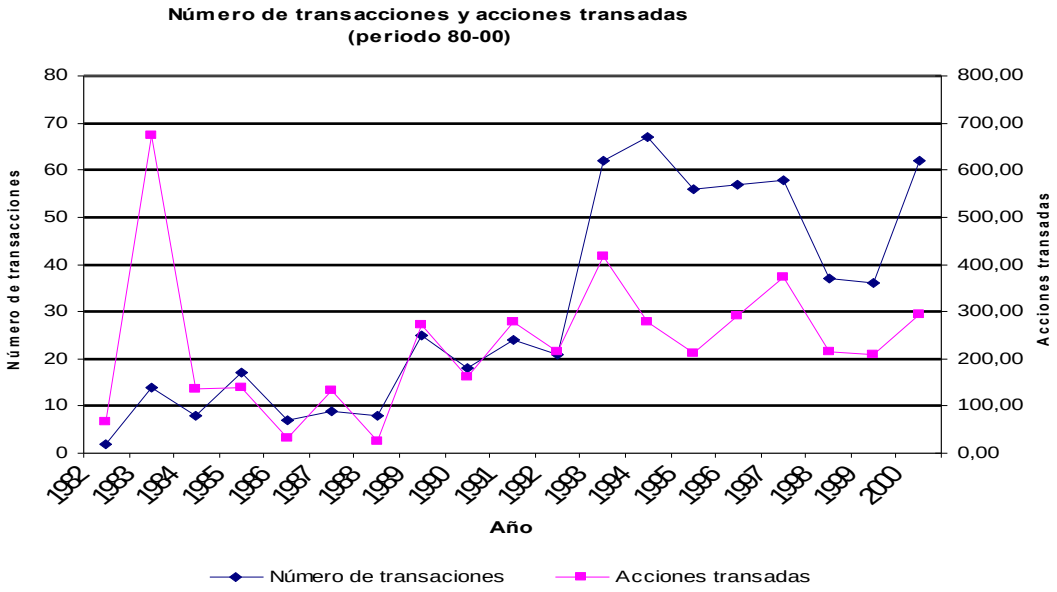
1. En la cuenca del Elqui ha operado el mercado de aguas, buscando reasignar los derechos de agua a partir de la asignación original. Si bien no ha sido un mercado muy activo, ha habido transacciones y traslados.

2. Se encontraron 1.264 inscripciones de transacción para el período de análisis de 18 años, de las cuales se comprobó que 653 eran sin tierra. Para las restantes 611 inscripciones no se pudo comprobar si eran sin tierra, porque no se encontró la escritura

en los CBR de La Serena ni de Vicuña. Hasta 1988, el número de transacciones al año era de alrededor de 10, y posteriormente, de alrededor de 30 (Figura 5-43).

3. También se observa la evolución que ha mostrado la cantidad de acciones transadas, en el período 1980-2000. Se observa que hasta el año 1988, la cantidad de acciones transadas fue de alrededor de 100, y posteriormente, de alrededor de 250, por lo que el lapso 1080 – 1988 se llama de maduración, y corresponde al tiempo que la gente necesitó para internalizar la posibilidad real de efectuar este intercambio (Figura 5-43).

Figura 5-43
Número de transacciones y cantidad de acciones transadas



4. La ubicación de estas transacciones por sector de análisis se muestra en el Cuadro 5-67 adjunto, obtenido del estudio de Cristi y adaptado a los sectores de análisis del presente estudio. No hay información para los sectores Estero Derecho ni Pan de Azúcar.

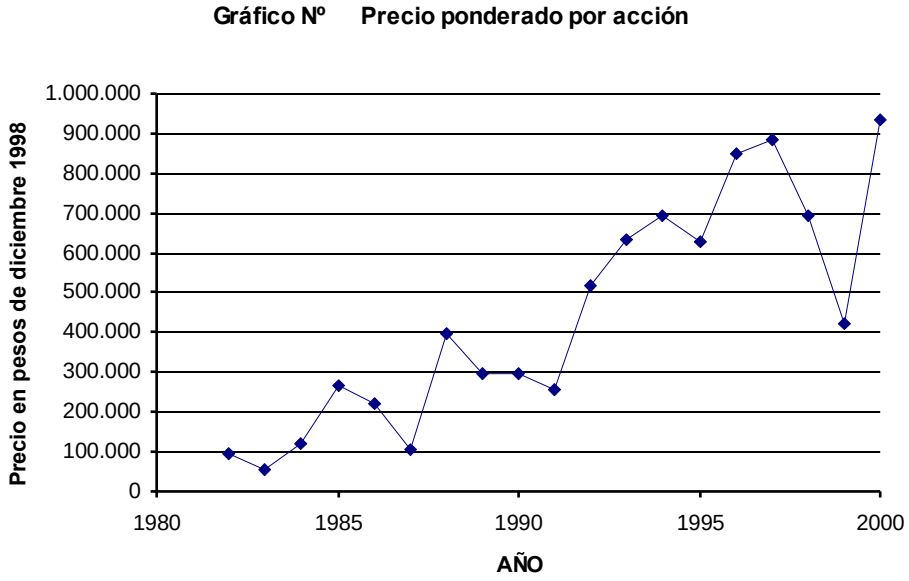
5. En promedio para todo el sector analizado, un 17% de las acciones habría sido materia de transacción, lo que equivale a aproximadamente a 4430 acciones de un total de 25300.

6. Del total transado, alrededor de un 14% constituyen traspasos desde el sector agrícola hacia el urbano, es decir, son compras por parte de alguna de las empresas de agua potable.

7. En cuanto a los precios de las acciones transadas, de las 653 transacciones sin tierra, se pudo obtener datos de precios de transacción de los derechos en 651 casos. Se obtiene un valor promedio ponderado que muestra grandes fluctuaciones, pero en definitiva una

tendencia a subir durante el período 1982 hasta 2000, comenzando por un valor de alrededor de $ 100.000 por acción y llegando hasta valores sobre 900.000 por acción.

Figura 5-44
Precio ponderado por acción



8. También se afirma en este estudio, que la mayor parte de las transacciones de derechos de agua ocurren al interior de un mismo canal. Dicha afirmación queda respaldada por la cantidad de traslados que registra la JVRE, que son los que se efectúan entre canales. Por ejemplo, para el período 93-00 se registraron 420 transacciones por un total de 2269 acciones. Sin embargo, ante la JVRE sólo hubo 25 solicitudes de traslado, por un total de 744 acciones.

9. El bajo número de traslados de derechos entre canales se explica por tres razones: los costos asociados a la modificación de los canales para regular los nuevos caudales, los castigos por los traslados, y los efectos que se producen tanto sobre los agricultores del propio canal como del canal receptor, en cuanto a modificación de tiempos de turno, por lo cual los traslados deben contar con la aprobación de todos ellos.

10. No se encontró evidencia de un mercado de arriendos de corto plazo. Este hecho se asocia en primer lugar a que no hay escasez de agua en la cuenca, ya que los agricultores en un 86% opinan tener suficientes acciones para cubrir sus necesidades (año 2001-2002, con el Embalse Puclaro en pleno funcionamiento y sin haber pasado por años secos desde 1996/7). En segundo lugar, la falta de incentivos para un mercado de corto plazo se asocia con la falta de dispositivos de medición, lo que no permite conocer con exactitud cuánta agua se utiliza y de cuánta agua se podría prescindir.

En el Cuadro 5-74, a continuación, se muestra la cantidad de acciones transadas por sector de riego definido para el modelo Magic, y la profundidad del mercado, en la forma del porcentaje de las acciones transadas sobre el total de acciones del sector.

Cuadro 5-74
Acciones transadas y profundidad del mercado

Sector Modelo Magic	Total de acciones brutas de cada sector (verificar)	Acciones transadas	Profundidad de Mercado (% de acciones transadas)
1	2091,475	401,6	19%
2	1037,48	183,9	18%
3	1916,51	159,1	8%
4	901,29	201,5	22%
5	6147,39	984,7	16%
6	1727,57	389,5	23%
7	3425,35	334,8	10%
8	5046,93	883	17%
9	2387,6	400,5	17%
10	646,71	333,2	52%
Sectores no identificados		149,8	
Total	**25328,305**	**4421,6**	**17%**

ii) Mercado del agua en la percepción lograda a través de las entrevistas

De acuerdo con las entrevistas a autoridades y usuarios, se ha observado que en la cuenca del Elqui hay dos tipos de intercambio de derechos: el intercambio a lo largo del río, y el intercambio al interior de los canales.

En cuanto al primero, se observa que, aunque hay un mercado de aguas en la cuenca a lo largo del río, éste no es un mercado ágil. Para esto hay razones estructurales, sociales y administrativas. Las razones estructurales se refieren a que la infraestructura de reparto está basada en marcos de escurrimiento crítico, de ancho proporcional a los derechos, los cuales hay que modificar de a dos cada vez que hay un traslado. Las razones sociales se refieren a que hay que contar con la aprobación de los canales cedente y receptor de los nuevos derechos, los que no siempre están de acuerdo, dependiendo de la situación de reparto en que quedan después del traslado.

No obstante lo anterior, cuando hay una real voluntad de hacer traslados de derechos entre canales, también se han hecho, en especial mientras no operó otro impedimento, que es de índole administrativa.

De acuerdo con la percepción recogida en la región, se ha convertido en un impedimento a los traslados de derechos la exigencia de la DGA de que los derechos que se trasladan deben estar inscritos en el Catastro Público de Aguas, para lo cual deben estar perfeccionados. Esta inscripción no está priorizada al interior de la DGA, por lo cual ella constituiría una traba administrativa que de hecho habría imposibilitado los traslados de derechos en los últimos años.

Por otro lado, está el mercado del agua al interior de los canales. A este respecto es necesario aclarar que dentro de los canales, efectivamente hay intercambio de derechos. Aunque hay muchos intercambios informales, debido probablemente a la baja precisión en la medida de los caudales, también los hay formales, y de hecho así lo expresan los presidentes de las comunidades de aguas. De todas formas, no se puede decir que haya un gran mercado de aguas en la cuenca, porque los agricultores en general están habituados a adaptar sus necesidades hídricas a la disponibildad de agua para la temporada, que es conocida de antemano. Por lo demás, esta disponibilidad ha aumentado significativamente desde la entrada en operación del embalse Puclaro, y tampoco ha habido años secos desde entonces. Pero el intercambio de aguas al interior de los canales es algo usual, que por lo demás proviene de tiempos anteriores al mercado del agua, y que se materializaba en forma de simples préstamos o arriendos informales, hasta ventas de derechos con la entrada en vigencia del Código de 1981.

El mercado de aguas ha solucionado, por un lado, el tema de los requerimientos crecientes de las empresas de agua potable, y por otro lado, los requerimientos de instalación de grandes empresas agrícolas, que trabajan con una visión de más largo alcance y de más largo plazo, y que buscan y trasladan derechos aunque los trámites para ello sean muy difíciles.

Finalmente, es necesario señalar que también hay mercado de aguas entre usuarios superficiales y subterráneos, cuando el agua superficial escasea. En especial en el valle de Pan de Azúcar, donde hay una gran cantidad de pozos que se usan para la agricultura en tiempos de escasez de recursos superficiales, hay arriendos de agua (o mercado temporal) en que los propietarios de pozos arriendan agua a usuarios menos dotados de recursos. En la actualidad, este intercambio es menos usual, porque los recursos superficiales alcanzan a cubrir las necesidades tradicionales de la agricultura del valle, pero los pozos constituyen el seguro contra la sequía, y sus aguas se transan.

En cuanto a la visión de futuro que tiene la JVRE, es necesario señalar que ella pretende implementar las condiciones de un mercado temporal de aguas, en la forma de una cuenta corriente por usuario, igual que en el valle del Limarí. Esto lo permitiría la existencia del sistema de embalses Laguna-Puclaro. Sin embargo, se entiende que para ello faltaría una mayor capacidad de acumulación individual, que permitiera flexibilizar las entregas y adaptarlas a las necesidades, y una medición precisa de las entregas, que permita medir los caudales que pudieren quedar libres para ser reasignados a través de una transacción.

5.9 DIAGNÓSTICO EFICIENCIA AMBIENTAL

El diagnóstico de la eficiencia ambiental de los usos del agua se efectúa desde dos miradas. En primer lugar, se hace una presentación de la calidad de las aguas de la cuenca, con bastante detalle. Posteriormente, se efectúa la identificación de los usos que imprimen esta calidad a las aguas, y se obtiene por conclusión cuáles de los usos son ambientalmente eficientes y cuáles no. La eficiencia ambiental de los diversos usuarios se presenta en el Capítulo 10.1.4.

5.9.1 Antecedentes para el análisis

Para el desarrollo de este tema se contó con dos tipos de información: información base constituida por resultados de monitoreos de calidad, e información elaborada en diversos estudios.

a) Información base

La información base que fue posible recopilar para el desarrollo de este análisis fue la siguiente:

- La información de calidad que genera la DGA en sus estaciones de monitoreo de calidad de aguas. Este monitoreo se realiza desde 1991 en la mayoría de las estaciones, y consiste en mediciones trimestrales de 32 parámetros, de los cuales los primeros 4 se miden en terreno y los restantes en laboratorio:
  - Conductividad específica
  - Temperatura
  - Oxígeno Disuelto
  - pH
  - Bicarbonatos HCO_3
  - Boro B
  - Carbonatos CO3
  - Cianuro CN
  - Cloruros Cl
  - Nitratos NO3
  - Nitritos NO2
  - Aluminio total Al
  - Arsénico total As
  - Cadmio total Cd
  - Calcio disuelto Ca
  - Cobre total Cu
  - Cromo hexavalente total Cr VI
  - Hierro total Fe
  - Litio disuelto Li
  - Magnesio disuelto Mg

- Manganeso total Mn
- Mercurio total Hg
- Molibdeno disuelto Mo
- Níquel total Ni
- Plata total Ag
- Plomo total Pb
- Potasio disuelto K
- Selenio disuelto Se
- Sodio disuelto Na
- Zinc total Zn
- Cobalto total Co
- RAS Razón de adsorción de sodio

Las estaciones de monitoreo de calidad de la DGA, de aguas superficiales y subterráneas, son las siguientes:

- Dren G Tranque El Indio
- Río Malo después faena minera El Indio
- Baños del Toro
- Río Malo antes Junta Río Vacas Heladas
- Río Vacas Heladas antes junta Río Malo
- Río Toro antes Junta Río La Laguna
- Río La Laguna antes Junta río Toro
- Río Turbio después junta Toro y laguna
- Río Incahuaz antes Junta Turbio
- Río Turbio en Huanta
- Río Turbio en Varillar
- Río Derecho en Alcohuaz
- Río Claro en Rivadavia
- Río Elqui en Algarrobal
- Río Elqui en Almendral
- Río Elqui en Puente Las Rojas
- Río Elqui en La Serena
- Pozo en Alfalfares
- Pozo en Vegas Norte
- Pozo en Cuatro Esquinas

- La información de calidad obtenida en el Servicio de Salud de Coquimbo, que consiste en un conjunto de datos obtenidos de muestreos realizados desde enero 2003 hasta la fecha, en diversos puntos de los ríos principales de la cuenca del Elqui. Los parámetros que ha muestreado el Servicio de Salud, son los siguientes:
  - Arsénico
  - Cianuro
  - Cobre
  - Hierro
  - Manganeso

- Total Sólidos Disueltos
- Residuos totales
- Conductividad
- pH

Las estaciones de muestreo son las siguientes:
- Dren G Tranque de Relaves El Indio
- Río Malo después Tranque de Relaves
- Baños del Toro, entrada Piscina
- Río Malo antes Río Vacas Heladas
- Río Vacas Heladas antes Río Malo
- Río Toro antes junta Río La Laguna
- Río La Laguna antes junta río Toro
- Río Turbio después junta Toro y Laguna
- Río Turbio en Huanta

- La información sobre calidad de riles y aguas servidas de la IVª Región obtenida de la SISS. Esta información es la siguiente:

  - listado de todas las plantas de tratamiento de aguas servidas que operan en la cuenca del Elqui, con información sobre el tipo de planta, fecha de autorización, población saneada a dic 2002 y 2003, caudal promedio tratado en 2004, y normativa a que está afecta cada una de las plantas.

  - listado de las industrias que entregan sus riles al alcantarillado de las diferentes plantas de tratamiento de la empresa Aguas del Valle, y si cumplen o no cumplen con el DS 609 / 98. La SISS fiscaliza esos riles y traspasa la información de las industrias que no cumplen con el DS. 609, a la empresa, para que pueda proceder a aplicar las multas correspondientes.

  - listado de las industrias que entregan sus riles al mar. Son cinco en total, 4 en Coquimbo y una en Guanaqueros. Sólo una de ellas es considerada fuente puntual, por lo cual estará sujeta al DS 90 / 2000 a partir de Septiembre de 2006.

  En la cuenca del Elqui no hay industrias que descarguen sus aguas a cursos superficiales. Industrias como Capel y Pisco Control, que antes lo hacían, que eran fiscalizadas por el SAG, y cuyos efluentes generaban aumentos significativos de conductividad y sólidos totales y fuertes cambios de pH en el río, hoy reúsan sus aguas y tienen acuerdos de producción limpia con CONAMA.

  En la cuenca del Elqui tampoco hay empresas mineras que descarguen efluentes hacia cursos superficiales o hacia el mar. No hay información en la SISS ni en la DGA sobre empresas que estén descargando riles hacia aguas subterráneas.

b) Información elaborada

Además, se contó con la información elaborada en diversos estudios, relacionados con la calidad del agua o con temas medioambientales, de cuyo contenido se presenta una reseña en el Anexo Digital X. Una lista de los estudios consultados específicamente para efectos del diagnóstico de la eficiencia ambiental del uso del agua se presenta a continuación:

- Levantamiento catastral de los tranques de relaves en Chile. Etapa B: Regiones IV, VI y VII. Catastro resumido de los tranques de relaves de la IVª Región, Coquimbo, Ingeniería y Geotecnia Ltda, para Sernageomin, Marzo 1990

- Investigación de los niveles de contaminación por hidrocarburos policíclicos aromáticos en las aguas del río Elqui mediante técnica de HPLC. Tesis para optar al título de Químico Laboratorista. Universidad de La Serena, Catti Cabello y Blanca Noya, 1997.

- Investigación de los niveles de contaminación por plaguicidas carbamatos en las aguas del río Elqui, mediante la técnica de HPLC. Tesis para optar al título de Químico Laboratorista, Universidad de La Serena. Cristián Cortés y Marcos Valdivia, 1997

- Investigación de los niveles de contaminación por herbicidas Diquat y Paraquat en las aguas de los ríos Estero Derecho, Cochiguaz, Claro, Turbio y Elqui, año 1999-2000, empleando el método EPA N1 549. Tesis para optar al título de químico Laboratorista Universidad de La Serena, Marcela Pardo y Marcela Pinto, 2000.

- Análisis del peligro a la contaminación antrópica de los acuíferos de la cuenca del río Elqui. Memoria de título. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Geología. Gullibert Alcides Novoa Godoy, Santiago, 2001.

- Estudio del impacto del embalse Puclaro en el equilibrio sedimentológico del río Elqui aguas abajo de la Presa. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de La Serena, Patricio Morales, 2001

- Gestión integrada de los recursos hídricos en la cuenca del Elqui, IVª Región Chile, memoria de título de Ingeniero Civil Universidad de La Serena, Marcela Mena, Diciembre 2002

- Evaluación ambiental sectorial y regional de la cuenca del río Elqui, IVª Región, Chile. Ministerio de Obras Públicas, Chile, Programa de manejo de recursos hídricos (PMRH), Junio 2002.
- Efectos de la actividad minera y de las obras hidráulicas en la calidad de las aguas del río Elqui y de sus afluentes. Memoria de Título de Ingeniero Civil Ambiental de la Universidad de La Serena. Gonzalo Galleguillos Castro. 2004.

- Diagnóstico y Clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del río Elqui. Cade-Idepe para Dirección General de Aguas. Diciembre 2004

5.9.2 Presentación de la información disponible

En este subcapítulo se presenta la información de calidad de aguas, sistematizada. Se presenta información sobre parámetros de calidad físico-química general y específica, y bacteriológica.

Este análisis se hace a la luz de las normas de calidad de agua potable y de riego, que son las que más interesan en la región, y son las más fáciles de comprender por el lector. El análisis de efluentes de plantas de tratamiento de aguas servidas se hace a la luz de las normas de emisión, que son relativamente recientes.

La información que se analiza es la información disponible, que proviene de la DGA y del Servicio de Salud.

El análisis que se presenta, se basa en la evolución espacio-temporal de los parámetros, observada a través de una serie de gráficos para cada una de las variables. Dichos gráficos se encuentran en el Informe de la Etapa III y no se incluyen en el presente informe.

NCh 409 / 84:

Entre los 32 parámetros que mide la DGA, no se encuentran los parámetros físicos de turbiedad, color, olor y sabor, normados para la entrega del agua potable, después de la decantación y cloración, ni los parámetros microbiológicos de coniformes y cloro residual libre. Tampoco se miden el amoníaco, los detergentes, fluoruro, herbicidas organoclorados ni pesticidas organoclorados, de los cuales la norma regula una gran cantidad (14). Lo que sí se mide son los macroiones, y algunos elementos traza o microiones, no todos regulados por las normas, los cuales se comentan a continuación.

Por otro lado, el Servicio de Salud de Coquimbo sólo mide sólidos totales disueltos, algunos metales (cobre, hierro y manganeso), y algunos microelementos (arsénico y cianuro), todos regulados por la norma de agua potable.

El SAG, por su parte, tiene algunas mediciones muy locales y ocasionales, con las que caracterizó el efecto de los efluentes de algunas agroindustrias y empresas mineras sobre el río. Sin embargo, en el intertanto estas empresas ya han contraído compromisos de producción limpia con la COREMA, por lo cual actualmente se informa que ya no descargarían vertidos al río.

NCh 1333 of.78

La DGA no mide los parámetros Bario, Berilio, Fluoruros, Sólidos disueltos totales, Vanadio ni Coliformes fecales, que se encuentran en la norma de agua para riego y otros usos.

Los parámetros que mide el Servicio de Salud están todos incluidos en las normas de riego y otros usos, pero hay muchos parámetros, más limitados por dicha norma, que este servicio no mide.

La norma de agua para riego y otros usos no es la que regula los límites para los agentes activos de herbicidas y pesticidas, sino que esto lo hace la norma de agua potable.

a) Parámetros generales

Los parámetros generales medidos son: la Conductividad, pH, Temperatura y Oxígeno Disuelto.

pH

La norma limita el pH a valores entre 6 y 8,5 para agua potable, y entre 5,5 y 9 para agua de riego.

El agua que viene de la Minera El Indio tiene valores de pH de alrededor de 4.0 (entre 3 y 4 según mediciones del SS), es decir, son significativamente ácidas. Estas aguas mantienen el río Malo con valores de pH muy bajos, incluso en descenso desde 1998 en adelante (algunos valores bajo 3 aguas abajo del tranque de relaves). El pH bajo no se observa en otras aguas naturales de cuencas cercanas, ni en los baños del Toro (entre 6 y 8), ni en el río Vacas Heladas (alrededor de 6), ni en los afluentes La Laguna (entre 6,5 y 9) ni Incaguaz (entre 6 y 8,5).

El pH muy bajo proveniente de la minera El Indio luego va siendo neutralizado con el aporte de los demás ríos, llegando ya a ser normal (entre 6 y 8,5) después de la junta del río Toro y Laguna, donde pasa a llamarse Turbio. Sin embargo la naturaleza ácida permite incorporar algunos elementos que se señalan a continuación.

El pH del agua superficial se mantiene dentro del rango normal para agua potable y riego, hasta la misma desembocadura. Sólo en Las Rojas muestra algunas alzas ocasionales por sobre el valor de 8,5, posiblemente influenciado por al agua subterránea, que en ese sector presenta variaciones que llegan hasta 10.

El parámetro pH no muestra influencia del embalse hacia aguas abajo de él.

En el estero Culebrón, que se mide en el Sifón, el pH adopta valores entre 6 y 9, pero en general bajo 8.

Conductividad

Para la conductividad, en la cabecera de la cuenca, donde se encuentra la Minera El Indio, los valores fluctúan entre 1000 y 2500 umhos/cm, con una media cercana a 2000. Este valor, sin embargo, sí es posible verlo en los demás afluentes de la zona. El río Vacas Heladas tiene

valores de entre 1000 y 3000. Los Baños del Toro tienen un valor de alrededor de 8000, con algunos peaks de hasta 12.000, los que, sin embargo, no se manifiestan hacia abajo en el sistema hídrico, lo que hace pensar que estas aguas están aisladas.

Los altos valores de conductividad son contrarrestados por los aportes del Incahuaz, de entre 200 y 400, y del río La Laguna, que fluctúa entre 300 y 700, llegando ocasionalmente a 1000, y del río Claro, que no pasa de 200.

De este modo, el río Turbio después de la Junta Toro y Laguna, fluctúa entre 500 y 1500, el Turbio en Varillar entre 400 y 800, y al formarse el río Elqui, éste fluctúa entre 300 y 800, hasta aguas abajo de Las Rojas. El pozo de Alfalfares en este sector muestra consistentemente valores de alrededor de 500.

Cerca de La Serena, comienza a aumentar el valor de la conductividad, llegando en La Serena a valores entre 300 y 2000, y en las aguas subterráneas, a valores de entre 1000 y 1400 en las Vegas Norte, y entre 1400 y 2000 en 4 Esquinas.

No obstante lo anterior, este parámetro sí muestra un efecto del embalse Puclaro, en el sentido de que aguas abajo de él se mitigan las variaciones de conductividad de las aguas superficiales, de modo que los valores ya no suben más allá de 600 en Almendral, de 700 en Las Rojas, y de 1500 en La Serena.

En el estero Culebrón la conductividad es muy variable, se miden entre 700 y 3000 umhos/cm, y ocasionalmente más.

Temperatura

La temperatura natural de los ríos de cordillera, medida presumiblemente siempre de día, fluctúa entre los 0 y los 20 ºC, con excepción del Dren de la Minera El Indio, donde la temperatura es poco variable, y fluctúa entre 5 y 10 grados hasta 1998, y posteriormente entre los 8 y los 13 grados, pero este efecto se transmite sólo hasta el río Malo aguas abajo de la minera. El río Turbio en la junta Toro Laguna también fluctúa entre 0 y 20 grados, pero ya en Huanta se eleva la temperatura al rango entre 3 y 23 grados, y en Varillar entre 5 y 25 grados.

El río Claro aporta aguas entre 10 y 25 grados, y el Elqui presenta temperaturas entre 6 y 22 grados en Algarrobal y entre 10 y 25 grados en Almendral, rango que se estrecha a 13 y 22 grados después de la construcción del embalse Puclaro. En La Serena el agua presenta temperaturas entre 10 y 25 grados, antes y después del embalse Puclaro.

En cuanto a las aguas subterráneas, todas medidas en la zona baja de la cuenca, fluctúan entre 15 y 20 grados en todo el período.

Para las aguas del estero Culebrón, las temperaturas fluctúan entre 10 y 20 ºC.

Oxígeno Disuelto

En toda la cuenca, el oxígeno disuelto varía en forma natural entre 7 y 11 mg/l, y en La Serena, entre 8 y 13 mg/l.

Las excepciones son: el Dren G, que presenta valores entre 5 y 9, que sin embargo no afecta mucho hacia aguas abajo, sólo hasta el río Malo después de la minera. El río Malo en la junta con Vacas Heladas ya está recuperado, con valores entre 7 y 11. La otra excepción son los Baños del Toro, donde probablemente debido a la alta temperatura, el OD es muy bajo, entre 1 y 5 mg/l.

Finalmente, también las aguas subterráneas presentan valores muy bajos de OD, entre 0 y 3 a 5 mg/l.

En el estero Culebrón, el OD varía entre 5 y 11 mg/l.

b) Macroiones negativos

Bicarbonatos

Los bicarbonatos no tienen límites normados.

Los ríos Malo, Vacas Heladas y Toro no aportan bicarbonatos hacia el sistema hídrico del Elqui. En los Baños del Toro se miden 200 mg/l. El río La Laguna aporta entre 100 y 200 mg/l. El río Incaguaz aporta aprox. 50 mg/l. Con esto, el río Turbio tiene bicarbonatos en general bajo 100 mg/l, pero llega a la confluencia con 100 mg/l. El río Claro aporta igualmente 100 mg/l.

Formado el río Elqui, en Algarrobal se miden consistentemente los mismos 100 mg/l, pero hacia aguas abajo van aumentando. En Almendral se miden entre 100 y 180, después del Puclaro se mantienen más cerca de 100 mg/l.

Hacia Las Rojas se miden entre 100 y 200, lo mismo que en las aguas subterráneas del pozo Alfalfares. En La Serena se miden entre 100 y 300 mg/l, lo mismo que en el pozo Vegas Norte. El único pozo muy diferente es el de 4 Esquinas, donde se miden entre 100 y 700 mg/l.

Los bicarbonatos en el estero Culebrón se encuentran generalmente bajo los 350 mg/l.

Carbonatos

Los carbonatos no están normados.

Todo el sistema hídrico de la cuenca del Elqui no presenta carbonatos hasta Elqui en Almendral, Las Rojas y La Serena, donde aparecen sólo muy ocasionalmente. Sólo se miden carbonatos en los pozos, con un poco más de frecuencia. En Alfalfares llegan a 20 mg/l, en

Vegas Norte a 30 y en 4 Esquinas a 60 mg/l. Salvo excepciones, tampoco se miden carbonatos en el estero Culebrón.

Cloruros

Estos están normados para agua potable y para riego. Los límites son de 250 y 200 mg/l, respectivamente.

Las aguas del sistema del Toro aportan algo de cloruros a través del río Vacas Heladas, entre 50 y 150 mg/l. Ni el río Malo ni la minera El Indio aportan prácticamente cloruros al sistema. Tampoco el río Laguna (bajo 60 mg/l) ni el río Incaguaz (10 mg/l), ni el río Claro (bajo 10 mg/l). De este modo, el Turbio tiene bajo 50 mg/l al juntarse con el Claro, y el Elqui se mantiene con valores muy bajos hasta La Serena. Recién ahí comienza a notarse una dispersión, midiéndose hasta 300 mg/l, seguramente por la influencia marina en las aguas superficiales. Después de la entrada en operacón del embalse Puclaro, no se ha medido más que 250 mg/l en esta estación.

En cuanto a los pozos, Alfalfares presenta bajo 80 mg/l, Vegas Norte bajo 200 y 4 Esquinas bajo 250 mg/l.

En el estero Culebrón también hay influencia de cloruros, probablemente marinos, pues se miden valores de hasta 600 mg/l, superando el límite de 200 mg/l aprox. la mitad del tiempo.

Lo anterior muestra en la cuenca misma no hay un problema de cloruros, y probablemente los únicos cloruros que se registran son los del mar que ocasionalmente entran al río Elqui y al estero Culebrón.

La gran excepción en cuanto a cloruros son los Baños del Toro, que presentan un contenido de alrededor de 2300 mg/l. Este contenido, sin embargo, no se manifiesta hacia el sistema hídrico, lo que hace pensar que estas aguas se encuentran francamente aisladas del sistema hídrico de la cuenca.

Sulfatos

Diferente es el comportamiento de los sulfatos. La norma limita la presencia de este ion a 250 mg/l tanto para riego como para agua potable.

El contenido de sulfatos es muy alto por el lado del río Toro. Comienza en el Dren G con valores entre 1000 y 1500. El afluente Vacas Heladas aporta entre 500 y 1000 mg/l, y los Baños del Toro presentan alrededor de 800 mg/l en forma consistente. Esto significa que el río Toro llega con valores entre 700 y 1000, a juntarse con el río Laguna.

Este trae valores relativamente bajos, entre 80 y 180 mg/l, dejando al Turbio con valores entre 150 y 500. El Incahuaz aporta alrededor de 80, dejando al Turbio con valores entre 100 y 300 hasta Varillar.

Lo señalado muestra que el río Turbio, donde comienza la zona de riego, excede la norma de riego en los sulfatos, con alguna frecuencia.

El río Claro tiene valores muy bajos, que suben hacia su confluencia con el Turbio, hasta llegar a valores entre 30 y 70 mg/l. Este caudal, cuando es importante, puede diluir los contenidos del Turbio.

En todo el río Elqui, hasta La Serena, e incluidas las aguas subterráneas muestreadas en el pozo Alfalfares, se miden valores entre 100 y 200 mg/l, con lo que se cumplen ambas normas. El embalse no ha modificado en nada este comportamiento.

Sólo en La Serena se miden valores entre 100 y 400 mg/l, al igual que en el pozo 4 Esquinas, lo que probablemente corresponde a la influencia marina. En el pozo Vegas Norte se mide entre 100 y 300 mg/l.

Lo señalado muestra que los ríos Laguna y Claro resuelven el problema de los sulfatos que proviene de la cuenca del Toro, y en forma especialmente acentuada desde el Dren G de la minera El Indio, permitiendo que el contenido del río Elqui sea aceptable.

En el Estero Culebrón también se miden sulfatos, en general entre 150 y 400 mg/l. Las ocasiones en que se excede la norma no son pocas. Probablemente esto también muestra la influencia marina.

c) Macroiones positivos

Sodio

El sodio está normado para las aguas de riego, con un límite porcentual para la razón de adsorción de sodio de 35%, no así para el agua potable, donde el límite está dado por el sabor.

En las aguas de la cuenca, la razón de adsorción de sodio es mínima, llegando a valores en general no superares el 2%. El río Elqui en La Serena presenta un 3%, el estero Culebrón hasta un 5%. Un comportamiento algo diferente lo presentan los pozos, que al final de la cuenca tienen valores de 18% (Alfalfares), y de 8% (pozos Vegas Norte, 4 Esquinas y estero Culebrón), probablemente debido a la influencia de depósitos marinos. Sin embargo, no se detecta una influencia de intrusión marina ni en las aguas subterráneas ni superficiales.

Un valor más alto que el resto de la razón de sodio, presentan las aguas de Baños del Toro, con 26%. Sin embargo, otra vez se observa que no hay influencia de estas aguas sobre las restantes aguas de la cuenca.

Potasio

El potasio no está restringido en las normas de calidad.

En la cuenca del Elqui, los contenidos de potasio son en general muy bajos. En las cuencas afluentes del norte, en general no superan las concentraciones de 15 mg/l, con la excepción del Dren G del Indio, donde llegaban a 40, pero después de 1998 no superan los 20 mg/l. En las cuencas afluentes desde el sur, las concentraciones son extremadamente bajas, entre 1 y 2 mg/l, con lo cual el río Elqui presenta valores bajo 5 mg/l hasta La Serena. Las aguas subterráneas tienen contenidos algo mayores, hasta 10 mg/l, y el pozo 4 Esquinas, entre 15 y 35 mg/l. El estero Culebrón tiene hasta 10 mg/l.

Calcio

El contenido de calcio no está limitado por la norma.

En la cuenca del Elqui, los afluentes altos del norte, vale decir, ríos Malo, Toro y Vacas Heladas aportan concentraciones de hasta 250 mg/l de calcio. El dren G del Tranque El Indio aporta hasta 300 mg/l. Los afluentes desde el sur, Laguna, Incahuaz y Claro, aportan cantidades mucho menores, de hasta 60 mg/l. Como resultado de lo anterior, el río Elqui presenta alrededor de 80 mg/l hasta La Serena, donde el valor vuelve a aumentar a 150 mg/l. El pozo de Alfalfares tiene contenidos muy bajos, de hasta 10 mg/l. Los pozos del sector de Vegas y 4 Esquinas tienen hasta 120 mg/l, al igual que el estero Culebrón.

Los Baños del Toro presentan valores entre 250 y 320 mg/l.

Magnesio

El contenido de magnesio está limitado a 125 mg/l en la norma para agua potable.

En toda la cuenca, el contenido de Mg es muy bajo. En los afluentes desde el norte, vale decir río Toro, Malo y Vacas Heladas, el contenido de Mg se encuentra entre los 25 y los 50 mg/l. Al respecto, sólo cabe señalar que las concentraciones del río Malo, desde el dren G del tranque El Indio hacia abajo, muestran un aumento sostenido desde 1997 (25 mg/l) hasta la actualidad (50 mg/l), mientras que en los sistemas no influidos por la minera no se observa este comportamiento creciente.

Los afluentes desde el sur, Incahuaz, Derecho y Claro, el contenido no supera los 10 mg/l. Como resultado de esto, el río Elqui en todo su recorrido no presenta más que 18 mg/l, salvo en La Serena, donde la concentración sube a 50 mg/l, al igual que en los pozos de la costa, y en el estero Culebrón. El agua subterránea del pozo Alfalfares tiene bajísima concentración de Mg, bajo 2 mg/l, salvo excepciones. No se observa ningún efecto del embalse Puclaro sobre las concentraciones de este elemento.

d) Microelementos

Se presenta a continuación el comportamiento de los microelementos normados, para los que hay mediciones disponibles en las fuentes antes señaladas.

Nitratos

Los nitratos están limitados a 10 mg/l en la norma para agua potable. En la cuenca no hay problema de nitratos. Las concentraciones se encuentran bajo los 2,5 mg/l en las cuencas aportantes, como también en el río Elqui y las aguas subterráneas muestreadas, con la única excepción de Elqui en La Serena, donde ocasionalmente alcanzan valores de hasta 5 mg/l.

Cianuro

El cianuro está limitado por ambas normas a un valor de 0,2 mg/l. En ninguna parte de la cuenca se observa la presencia de cianuro en las mediciones (mediciones con resultados bajo el límite de detección), salvo en el Dren G de la minera El Indio. En este punto, entre 1993 y 1995 se llegó a medir valores de hasta 0,6 mg/l. Actualmente se registran valores de hasta 0,04 mg/l, lo que se encuentra bajo el límite de la norma.

Boro

El boro es un elemento que está regulado en la norma para riego, por su efecto fitotóxico. El límite es de 0,75 mg/l.

Este elemento tiene una presencia natural en los afluentes del norte, Malo, Toro y Vacas Heladas, con valores entre 2 y 6 mg/l, y ocasionalmente hasta 8. Para los baños del Toro sería similar, aunque hay una sola medición.

Este elemento no tiene relación con la minera El Indio. En los afluentes del sur, la concentración está normalmente bajo 1 mg/l, y así se mantiene a lo largo de todo el río Elqui, las aguas subterráneas, y también en el estero Culebrón, donde rara vez se excede este valor.

Aluminio

La norma para riego limita el Aluminio a 5 mg/l.

En la cuenca, se observa que el aporte de aluminio proviene de los afluentes del norte, Toro, Malo y Vacas Heladas, con concentraciones entre 5 y 30 mg/l. Sin embargo, el dren G del tranque de relaves aporta concentraciones de hasta 60 mg/l, las que se manifiestan en el río Toro hasta su junta con Laguna. En los Baños del Toro prácticamente no hay contenido de aluminio.
El afluente Laguna tiene concentraciones en general bajo 5 mg/l, salvo excepciones que llegan hasta 10. Los demás afluentes del sur, Incahuaz y Claro, no aportan aluminio al sistema.

El río Elqui en Algarrobal tiene concentraciones en general menores que 5 mg/l, salvo excepciones que llegan a 20. Sin embargo, desde Almendral hacia aguas abajo las concentraciones ya no superan los 3 mg/l, ni en las aguas superficiales ni subterráneas, ni tampoco en el estero Culebrón.

No es posible asegurar que este efecto sea atribuible al Embalse Puclaro, pues hay mediciones sólo a partir de 1997.

Arsénico

El arsénico está limitado por ambas normas, a 0,05 mg/l por la norma para agua potable, y a 0,10 mg/l por la norma para riego y otros usos. La evolución especio-temporal del arsénico se muestra gráficamente, por ser un elemento que ha suscitado gran atención dentro de la cuenca.

De acuerdo con los valores medidos por la DGA y del SS, los valores más altos de arsénico en la cuenca se miden en el río Malo después de las faenas mineras del Indio, con valores entre 2 y 17 mg/l, ocasionalmente hasta 44 mg/l, y un promedio de alrededor de 4 mg/l, y también en los Baños del Toro, con valores entre 10 y 20 mg/l. El río Vacas Heladas tiene concentraciones entre 0,3 y 2,0 mg/l, superando también la norma. Tanto en el Dren G, como en el río Toro antes de Laguna, se observa una reducción del rango de valores observados, después de 1998, de modo que el río Toro llega con valores menores que 1,0 mg/l a la junta con Laguna.

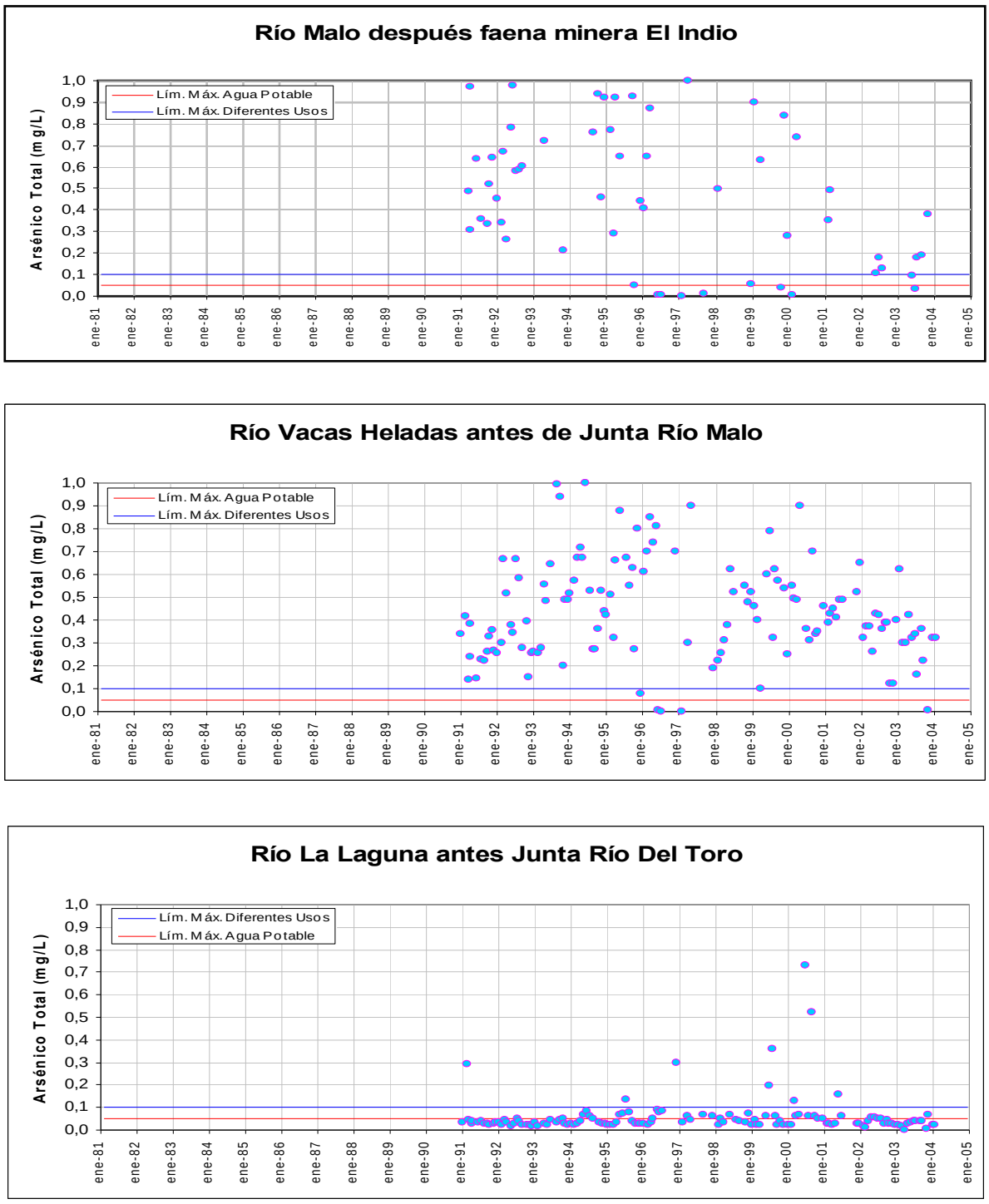
El rïo La Laguna no está desprovisto de As, pues tiene concentraciones entre 0 y 0,1 mg/l, al límite de la norma de riego.

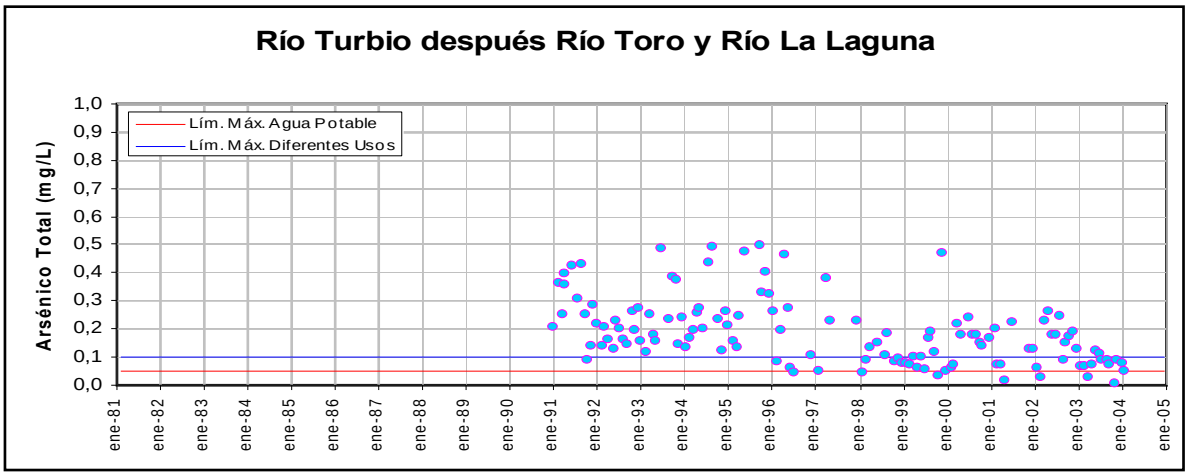
Hacia aguas abajo de la junta del Toro y Laguna, el río Turbio muestra un cambio de tendencia a partir de 1998. Antes, tenía concentraciones entre 0 y 0,7 mg/l, y después se estrechó el rango a 0,3 mg/l.

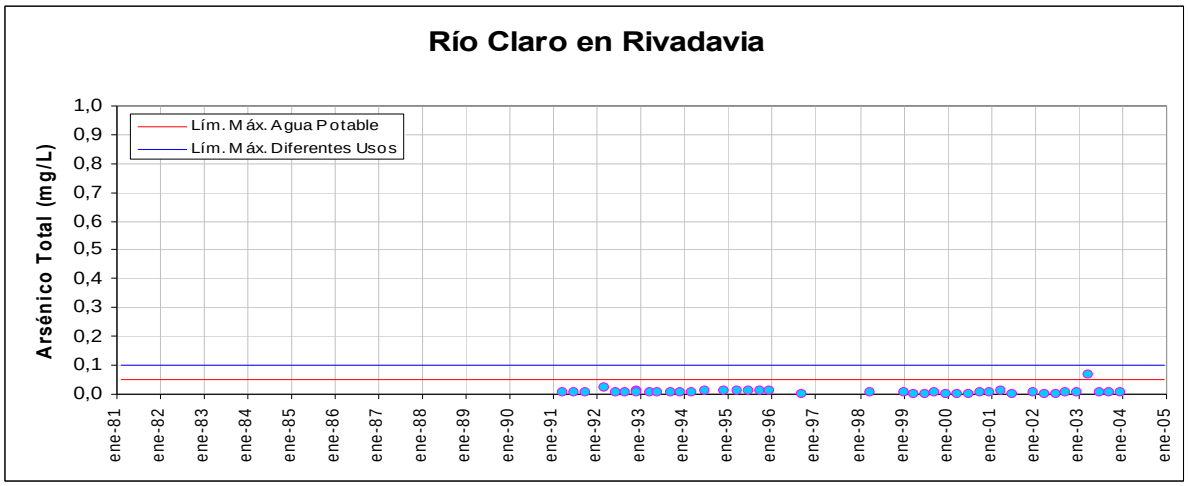
Un aporte cero de arsénico presentan los ríos Incahuaz y Claro, los que con su aporte permiten reducir las concentraciones provenientes del Turbio. Así, el río Elqui en Algarrobal presentaba, hasta 1998, concentraciones de hasta 0,2 mg/l, y posteriormente, hasta 0,1 mg/l. Elqui en Almendral tenía concentracioens de hasta 0,15 mg/l antes del embalse Puclaro, pero después de su entrada en operación, nunca más superó la norma de agua potable, de modo que, con el cierre de la minera, por un lado, y el embalse, por otro, el agua del río Elqui quedó casi libre de arsénico.

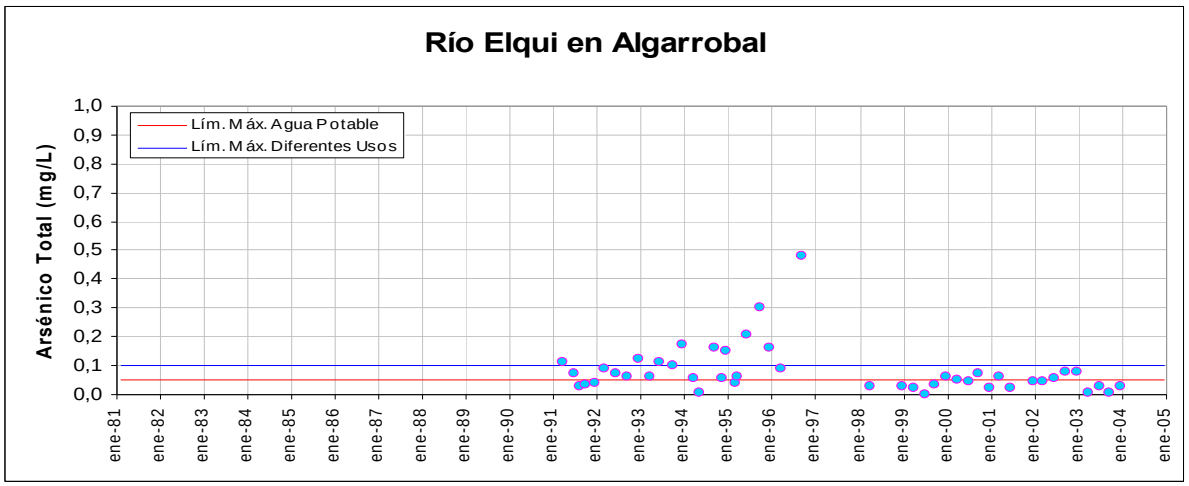
Tampoco las aguas subterráneas ni el Estero Culebrón tienen concentraciones de arsénico dignas de mencionar.

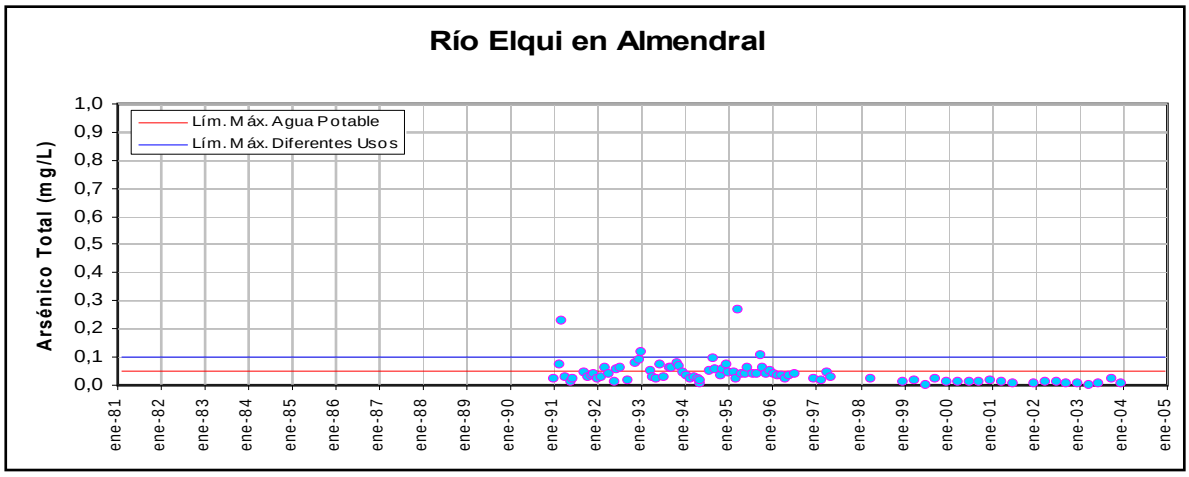
Figura 5-44
Evolución espacio-temporal del arsénico total

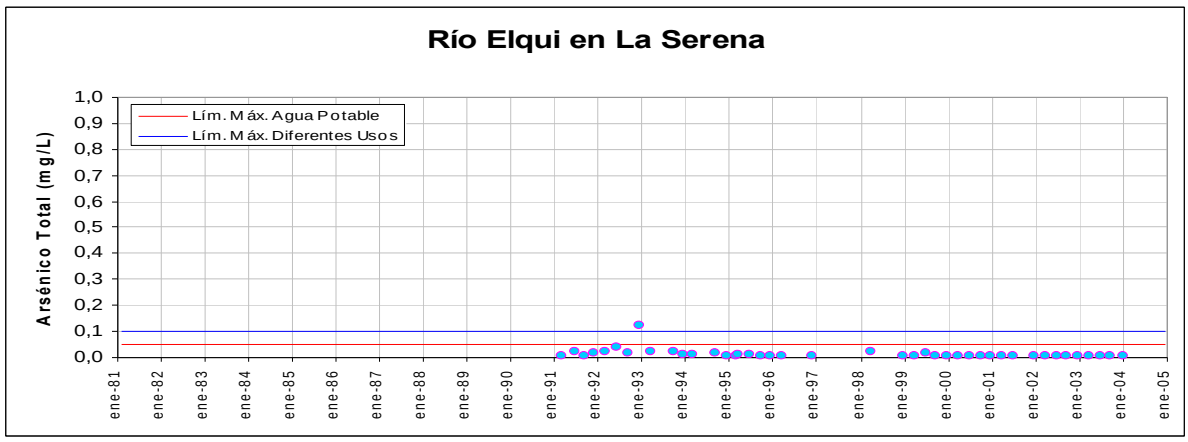


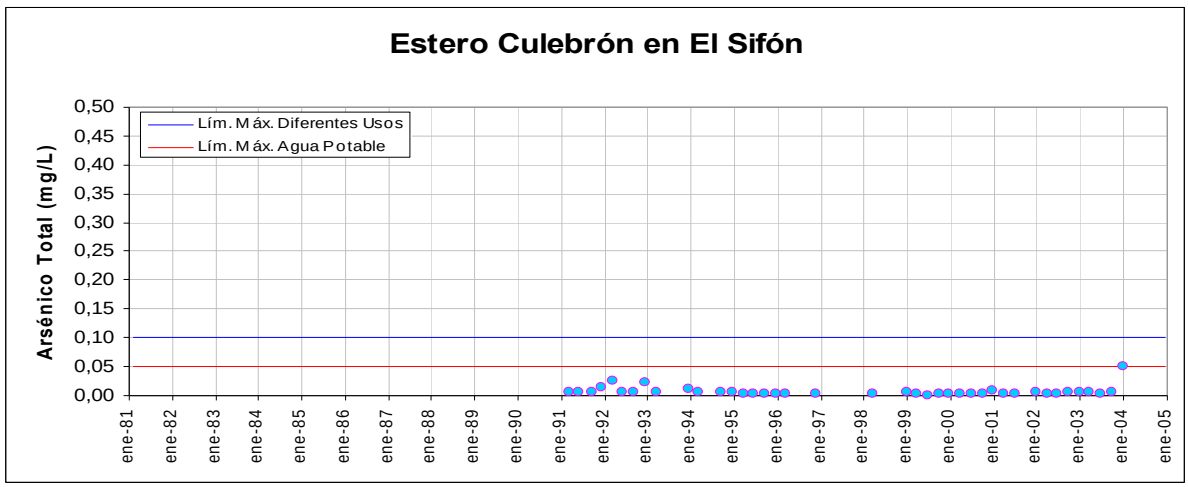

Río Turbio después Río Toro y Río La Laguna
Arsénico Total (mg/L)
Lím. Máx. Agua Potable
Lím. Máx. Diferentes Usos
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
ene-81
ene-82
ene-83
ene-84
ene-85
ene-86
ene-87
ene-88
ene-89
ene-90
ene-91
ene-92
ene-93
ene-94
ene-95
ene-96
ene-97
ene-98
ene-99
ene-00
ene-01
ene-02
ene-03
ene-04
ene-05


Río Claro en Rivadavia
Arsénico Total (mg/L)
Lím. Máx. Agua Potable
Lím. Máx. Diferentes Usos
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
ene-81
ene-82
ene-83
ene-84
ene-85
ene-86
ene-87
ene-88
ene-89
ene-90
ene-91
ene-92
ene-93
ene-94
ene-95
ene-96
ene-97
ene-98
ene-99
ene-00
ene-01
ene-02
ene-03
ene-04
ene-05


Río Elqui en Algarrobal
Arsénico Total (mg/L)
Lím. Máx. Agua Potable
Lím. Máx. Diferentes Usos
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
ene-81
ene-82
ene-83
ene-84
ene-85
ene-86
ene-87
ene-88
ene-89
ene-90
ene-91
ene-92
ene-93
ene-94
ene-95
ene-96
ene-97
ene-98
ene-99
ene-00
ene-01
ene-02
ene-03
ene-04
ene-05


Río Elqui en Almendral
Arsénico Total (mg/L)
Lím. Máx. Agua Potable
Lím. Máx. Diferentes Usos
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
ene-81
ene-82
ene-83
ene-84
ene-85
ene-86
ene-87
ene-88
ene-89
ene-90
ene-91
ene-92
ene-93
ene-94
ene-95
ene-96
ene-97
ene-98
ene-99
ene-00
ene-01
ene-02
ene-03
ene-04
ene-05


Río Elqui en La Serena
Arsénico Total (mg/L)
Lím. Máx. Agua Potable
Lím. Máx. Diferentes Usos
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
ene-81
ene-82
ene-83
ene-84
ene-85
ene-86
ene-87
ene-88
ene-89
ene-90
ene-91
ene-92
ene-93
ene-94
ene-95
ene-96
ene-97
ene-98
ene-99
ene-00
ene-01
ene-02
ene-03
ene-04
ene-05


Estero Culebrón en El Sifón
Arsénico Total (mg/L)
Lím. Máx. Diferentes Usos
Lím. Máx. Agua Potable
0,50
0,45
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
ene-81
ene-82
ene-83
ene-84
ene-85
ene-86
ene-87
ene-88
ene-89
ene-90
ene-91
ene-92
ene-93
ene-94
ene-95
ene-96
ene-97
ene-98
ene-99
ene-00
ene-01
ene-02
ene-03
ene-04
ene-05

Cadmio

El cadmio es un elemento tóxico, por lo que está restringico por la norma de agua potable y de riego, a concentraciones de 0,01 mg/l.

El único aporte sensible de cadmio se percibe en relación con las faenas mineras del Indio, sin que el cierre de la mina haya modificado esta situación. Los aportes, con concentraciones de 0,050 mg/l, se notan a lo largo de todo el río Toro. A partir de la junta del Toro con Laguna (río Turbio), los contenidos de cadmio se mantienen por debajo del límite de la norma. En forma natural, ninguno de los ríos afluentes a la cuenca, contienen cadmio.

Cobre

El cobre es un elemento que está más restringido en la norma de riego (0,2 mg/l) que en la norma de agua potable (1 mg/l), pues es un microelemento esencial para el hombre.

En la cuenca del Elqui, no hay aportes naturales de cobre desde los afluentes del sur, ni desde el río Vacas Heladas. Sólo trae un aporte grande de cobre el río Malo después del tranque de relaves. Este aporte es considerable, y llega a concentraciones de entre 40 y 250 mg/l. Hacia aguas abajo se va diluyendo, pero al inicio del río Turbo todavía se registran, sin variación después del cierre de la minera, concentraciones entre 0 y 8 mg/l.

Los ríos Incahuaz y Claro, sin aportes sensibles de cobre, nuevamente diluyen los contenidos de cobre, llegando Elqui en Algarrobal a tener concentraciones de hasta 2 mg/l, ocasionalmente hasta 3.

Elqui en Almendral tenía concentraciones de hasta 0,5 mg/l antes del embalse Puclaro, y después de su entrada en vigencia, no supera los 0,2 mg/l de la norma de riego. Esta situación favorable se mantiene hasta la desembocadura. Tampoco tienen cobre las aguas subterráneas ni el estero Culebrón.

Hierro

El hierro tiene límites de 0,3 mg/l para el agua potable, y de 5 mg/l para el agua de riego.

El hierro es un elemento que tiene una fuerte presencia en la cuenca. El río La Laguna tiene concentraciones entre 0 y 4 mg/l, pero con alguna frecuencia llega a valores de 20. El río Incahuaz tiene concentraciones entre 0 y 1 mg/l, casi siempre superando el límite del agua potable. El río Claro tiene concentraciones en general bajo el límite del agua potable.

Por el lado de los afluentes del norte, traen mucho hierro todos los afluentes. El río Vacas Heladas tiene concentraciones entre 0 y 40 mg/l, con valores más frecuentes alrededor de los 15 mg/l. Los ríos Malo y Toro, probablemente influidos por las faenas mineras del Indio, y los valores bajos de pH, presentan concentraciones muy dispersas, entre 0 y 80 mg/l, las cuales no han cambiado nada desde el cierre de la mina.

Sorprendentemente, en los Baños del Toro las concentraciones de hierro son muy bajas, casi siempre bajo 0,3 mg/l. Nuevamente hay evidencia de que estas aguas no se juntan con el resto del sistema, pues no se observa aporte de dilución hacia aguas abajo.

Como consecuencia de todo lo anterior, el río Turbio en su inicio tiene valores muy altos y dispersos, entre 0 y 15 mg/l, con valores ocasionales de hasta 40. Hasta Varillar, la situación se mitiga, resultando los valores en su gran mayoría entre 0 y 6 mg/l, con valores ocasionales de hasta 25.

En Algarrobal, el Elqui presenta valores entre 0 y 6, con concentraciones ocasionales de hasta 9 mg/l. En Almendral, se nota muy claramente la influencia del embalse Puclaro, que abate en gran medida el contenido de hierro, que originalmente era de entre 0 y 5 mg/l, dejándolo en 0,3 (norma de agua potable), con valores más altos sólo muy ocasionalmente. Esta misma situación se mantiene hasta La Serena.

En el pozo de Alfalfares, el agua subterránea presenta valores entre 0 y 2 mg/l, pero en los demás pozos, Vegas Norte y 4 Esquinas, los contenidos son mayores, entre 0 y 10 mg/l.

En el estero Culebrón se encuentra por lo general bajo los 0,3 mg/l de la norma de agua potable.

Litio

El litio está restringido por la norma de riego por su toxicidad para los cítricos, a una concentración de 0,075 lmg/l.

En la cuenca, sólo hay mediciones ocasionales, una en 1995 y una en 1997. Estos valores ocasionales superan la norma en el Dren G del tranque El Indio, en el río Malo, Toro, Vacas Heladas y Turbio, también en Elqui en Algarrobal, en Almendral y Las Rojas, llegando a valores de 1 o 2 mg/l. No hay litio en los afluentes Incahuaz, Claro ni estero Culebrón.

Manganeso

Los límites de las normas son de 0,1 mg/l para el agua potable y 0,2 mg/l para riego.

Los valores de Mn son muy altos, entre 15 y 20 en el Dren G del Indio, entre 7 y 14 en el río Malo después de la minera, entre 2 y 8 en el río Vacas Heladas, entre 4 y 8 en el rÏo Toro antes junta Laguna. En los Baños del Toro son sorprendentemente bajos, entre 0,5 y 1,2 mg/l.

El río La Laguna aporta concentraciones entre 0 y 0,3 mg/l, con lo que el río Turbio a su inicio muestra valores entre 0,5 y 1,5. En Huanta, el rango es entre 0,4 y 0,9 mg/l.

El Incahuaz y el Derecho aportan concentraciones por lo general bajo la norma de agua potable, con lo que el rïo Elqui en Algarrobal tiene entre 0,1 y 0,6, aún superando ambas normas.

Después del embalse Puclaro ya casi no se supera la norma de agua potable, tampoco en el agua subterránea del pozo Alfalfares. En los pozos Vegas Norte Y 4 Esquinas, los valores nuevamente son algo mayores, llegando a 0,4 mg/l. En el estero Culebrón, sólo ocasionalmente hay valores sobre 0,2 mg/l.

Molibdeno

Está limitado a 0,01 mg/l en el agua de riego.

En la cuenca alta se percibe un contenido natural de Mo en las aguas, que no es permanente sino que se detecta sólo ocasionalmente. Los ríos Laguna y Toro aportan hasta 0,04 mg/l, el dren G hasta 0,05 mg/l, los Baños del Toro hasta 0,08 mg/l, el río Incahuaz hasta 0,03 mg/l, el río Claro hasta 0,03 mg/l, con lo que el río Elqui llega a tener, ocasionalmente, hasta 0,03 mg/l, lo mismo que el agua de los pozos, y del estero Culebrón.

Mercurio

El mercurio es tóxico y está limitado por la norma de agua potable a un valor de 0,001 mg/l. Valores sobre la norma de Hg se han registrado ocasionalmente en el Dren G, el río Malo después de las faenas mineras, en el río Toro y en el río Vacas Heladas, y sólo antes del año 2000, salvo para el caso del Dren G y del río Malo después de las faenas, donde también se han medido después. En el resto de la cuenca, prácticamente nunca se ha superado la norma de agua potable.

Otros microelementos

Otros microelementos limitados por las normas, como Selenio y Plata, no presentan valores superiores a los límites. Para el plomo y níquel, sólo se registran ocasionalmente valores mayores que las normas e el río Malo después de las faenas mineras, y en el Dren G, valores cuyo efecto no persiste más allá de las estaciones señaladas.

Para el zinc, los valores sobre la normas se registran con frecuencia en las estaciones relacionadas con la minera El Indio, pero su efecto tampoco persiste más allá, pues los contenidos son diluidos.

Para el cobalto, también hay efectos que provienen de la minera El Indio. En este caso se perciben a lo largo de todo el río Toro, hasta la junta con el río Laguna, pero de ahí en adelante son diluidos.

e) Parámetros microbiológicos

La SISS lleva un control sistemático de las emisiones de estas plantas de tratamiento. Al respecto, se presentan aquí algunos resultados correspondientes al año 2003/2004.

Las emisiones desde los emisarios marinos (La Serena, Coquimbo) se miden antes de su entrega al mar. En el emisario de La Serena, antes de su entrega al mar, se miden entre 8 y 50 x 10^6 coliformes fecales en 100 ml. En el emisario Coquimbo, se miden entre 8 y 90 x 10^6 coliformes fecales en 100 ml. El efecto de las emisiones sobre el borde costero se mide además, a través del muestreo de diversos puntos ubicados a orilla de playa, los cuales han registrado valores entre 0 y 500 CF/100 ml, tanto frente a La Serena como frente a Coquimbo, y ocasionalmente, frente a Coquimbo, hasta 3000 CF/100 ml.

Las emisiones de las plantas de tratamiento de aguas servidas se rigen por diversas normativas. Así, por ejemplo, al emisario submarino de Coquimbo, a las lagunas aireadas de Andacollo y de Vicuña, que son fuentes más antiguas, aplica la NCh 1333, que regula la calidad del agua para diferentes usos. Por otro lado, para las fuentes nuevas, posteriores a septiembre de 2001, aplica el DS Nº 90 / 2000, en sus diferentes modalidades.

En este contexto, al emisario submarino de La Serena aplica el DSNº 90 Tabla Nº 5, que establece límites máximos de concentración para descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua marinos fuera de la zona de protección del litoral. A la planta de lodos activados de Peralillo, aplica el DS 90 Tabla Nº1, que establece límites máximos permitidos en descargas de residuos líquidos a cuerpos de agua fluviales. A la planta de lodos activados de Paihuano, aplica el DS 90 Tabla Nº 2, que establece límites de concentración máximos permitidos para descargas de residuos líquidos a aguas fluviales, considerando la capacidad de dilución del cauce receptor.

Para todas las concesionarias que no tienen planes de desarrollo aprobados a la entrada de vigencia de la norma, el plazo de cumplimiento de esta normativa es septiembre de 2006. La empresa Aguas del Valle tiene plena conciencia de esta situación, que la obliga a cumplir con la normativa del DS 90 a más tardar, en todos los puntos de descarga, en Septiembre de 2006.

Lo anteriormente señalado tiene importancia en el sentido de que en Septiembre de 2006, todas las entregas de aguas servidas deberán estar cumpliendo la norma DS 90.

f) Plaguicidas y fertilizantes

De acuerdo con lo anteriormente señalado, las mediciones de nitratos que lleva la DGA en forma sistemática, muestran que no hay contaminación de nitratos provenientes de ninguna fuente. No se obtuvo la información sobre la calidad de las aguas crudas solicitada en repetidas oportunidades a la empresa Aguas del Valle. La información que lleva esta empresa es la única información existente sobre plaguicidas y otros contaminantes en aguas crudas. No obstante ello, en la entrevista con el Gerente de Producción, él afirmó que no se ha detectado contenido ni de plaguicidas ni de fertilizantes ni de otros elementos tóxicos en las aguas crudas que se extraen con fines de agua potable.

g) Otros aspectos ambientales

Basurales

En relación con la calidad del agua, y en especial de las aguas subterráneas del sector, es necesario mencionar la existencia de un basural de proporciones frente al sector de las Compañías. Este basural, a pesar de estar denunciado localmente, persiste, y nadie asume la responsabilidad de evacuarlo. Un basural de esta naturaleza es una falta de respeto a la población aledaña, además de un peligro para la salud de la población y un peligro de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas del sector.

También se ha mencionado el vertido de basuras en quebradas, sin control por parte de ninguna autoridad, lo que debiera ser controlado y eliminado.

Tranques de relaves

En general, las mineras dejan sus tranques de relaves sin protección y expuestos a la acción de sismos y lluvias. En especial preocupan los de la Quebrada de Marquesa, que aportan gran cantidad de sedimentos con ocasión de los eventos de lluvias mayores.

Recontaminación de canales

En los sectores donde los canales atraviesan por zonas pobladas, frecuentemente se hace mal uso de ellos, en el sentido de que reciben contaminación doméstica y agrícola. Esta recontaminación invalida los esfuerzos de descontaminación que hace la población urbana al pagar el tratamiento de las aguas servidas para que los ríos se mantengan limpios. .

Erosión desde laderas cultivadas

Aunque no todos los agricultores tienen esta aprensión, hay algunos que piensan que habrá un problema de erosión desde laderas de cerros donde éstas han sido cultivadas. En efecto, el hecho de soltar todo el suelo y formar camellones, que se orientan en el sentido de la pendiente, puede favorecer la escorrentía en eventos fuertes de lluvias. En todo caso, aún no hay normativa al respecto.

CAPÍTULO 6 DIAGNÓSTICO CUENCA LIMARÍ

6.1 TRABAJO DE TERRENO: ENTREVISTAS Y RECONOCIMIENTOS

El presente Capítulo 6 contiene el diagnóstico acerca del uso del agua en la cuenca del Limarí. Este capítulo tuvo por objetivo integrar los antecedentes y conocimiento adquiridos acerca del funcionamiento de la cuenca, desarrollar un modelo de simulación hidrológica, y formular un diagnóstico sobre lo que está ocurriendo con el agua en la cuenca en la actualidad.

6.1.1 Campañas de terreno

Se efectuaron diversas campañas a terreno, con diferentes finalidades:

Campaña 1: 6 al 20 de Julio de 2005.
En esta campaña se efectuaron todas las entrevistas al nivel local y medio, vale decir, a usuarios agrícolas, industrias, agroindustrias, comunidades de agua, asociaciones de canalistas, comités de agua potable rural, y también algunas entrevistas a nivel de Junta de Vigilancia. Además, durante este período se conversó con gente de la zona acerca de los cultivos y métodos de riego predominantes en las áreas no catastradas por CIREN.

Campaña 2: 24 de noviembre al 3 de diciembre de 2005.
Durante esta campaña se hizo un recorrido por la cuenca completa, llegando hasta la ubicación de los nodos más altos considerados en el modelo de simulación. Se dilucidaron dudas específicas para la modelación, se observó las condiciones de terreno, se realizó entrevistas a las autoridades locales y a una empresa minera, y se conoció y re-entrevistó a los presidentes de las Juntas de Vigilancia, haciendo consultas aclaratorias y recogiendo datos históricos sobre la distribución y el uso del agua.

Además de la realización de estas campañas, se efectuaron viajes a terreno para impartir 3 charlas, informativas y de capacitación, ante los interesados, autoridades y usuarios, en la ciudad de Ovalle Estas campañas se detallan en el Capítulo 12, difusión.

En cada uno de los viajes se efectuaron grabaciones y fotografías que forman parte del video didáctico que se entrega junto con el presente informe.

6.1.2 Entrevistas

El trabajo de entrevistas se desarrolló de acuerdo con los tres niveles de análisis de este estudio: global, medio y local. En cada nivel se trataron los temas presentados en el Capítulo 4,

con los personajes que aquí se indican. A todos los encuestados se les solicitó nombre, cargo (si procedía), y algún dato de contacto. Con cada entrevistado se puso énfasis en la temática de su particular interés y conocimiento. Todas las entrevistas se presentan en detalle en el Anexo Digital II.

a) Nivel global

Para el nivel global, los objetivos de las entrevistas fueron los de gestión global a nivel de instituciones públicas, gestión global a nivel de Juntas de Vigilancia, y gestión de la empresa de agua potable urbana. En este nivel se entrevistó a las siguientes personas, para las cuales se señala la institución y el cargo correspondiente en el Cuadro 6-1. Cabe señalar que las entrevistas a autoridades regionales, que abarcan materias de las tres cuencas, se presentan en el diagnóstico de la cuenca del Elqui.

Cuadro 6-1
Entrevistas nivel global a autoridades de la cuenca del Limarí

Institución	Nombre	Cargo
Gobernación Provincial	Cristián Sáez	Gobernador Provincial
Dirección General de Aguas	Ivan Jacob	Jefe Provincial
Corfo	Fernando Correa Lisandro Farías	Encargados PTI
Dirección de Obras Hidráulicas	Claudio Vilches	Jefe Provincial
INIA Limarí	Eduardo Alcaíno	Encargado Oficina Técnica
Junta de Vigilancia Río Limarí y sus afluentes	Manuel Muñoz	Administrador
Junta de Vigilancia Río Combarbalá y sus afluentes	Felipe Sarmiento	Secretario
Junta Vigilancia Río Mostazal	Iván Varela Perry	Presidente
Junta de Vigilancia Río Rapel	María Loreto Ramos	Secretaria

b) Nivel medio

El nivel medio se entendió representado por las Asociaciones de Canalistas, Comunidades de Aguas y Comités de Agua Potable Rural. Para el nivel medio, los objetivos de las entrevistas fueron efectuar consultas sobre la gestión, la flexibilidad de las obras, y las características del uso del agua en riego y en agua potable rural.

Los representantes entrevistados en este nivel, con las instituciones que representan y su cargo correspondiente, se muestran en el Cuadro 6-2 a continuación.

Cuadro 6-2
Representantes entrevistados nivel medio

Institución	Nombre	Cargo
Comunidad de Aguas Canal Puntilla San Juan	Javier Angel Fernández	Presidente
Asociación de Canalistas Embalse Recoleta	Marcos Tirado	Subadministrador
Asociación de Canalistas Canal Palqui-Maurat-Semita	Juan Domingo Salinas	Administrador
Asociación de Canalistas Canal Camarico	Juan Francisco Soto	Administrador
APR Sonora – Los Acacios	Manuel Mondaca	Presidente
APR Chalinga	Hugo Pinto Cepeda	Miembro Directivo
APR Porvenir de Unión Campesina	Moisés Hernán Zepeda Tavilo	Presidente
APR Los Nogales – Campo Lindo	Manuela Núñez	Secretaria. Administrativa
Asociación Gremial de Servicios APR Provincia Limarí	Manuel Mondaca	Presidente

c) Nivel local

El objetivo de las entrevistas en el nivel local, fue el de conocer los antecedentes sobre el uso del agua y también sobre los rendimientos económicos, en los sectores agrícola, industria y minería. Las entrevistas a este nivel, en la cuenca del Limarí, se realizaron a usuarios agrícolas y agroindustrias, y a la Compañía Minera Panulcillo S.A., actualmente arrendada y administrada por ENAMI.

No siempre fue posible recabar toda la información solicitada, pues hay personas que perciben como confidencial cierto tipo de información, especialmente la relacionada con la parte económica. Además, también hay cierto desconocimiento acerca de las materias cuantitativas relacionadas con el agua, por lo que no siempre fue posible obtener todas las respuestas.

La empresa minera, industria y agroindustria entrevistadas se listan en el Cuadro 6-3, y fueron las siguientes:

Cuadro 6-3
Representantes empresas entrevistados nivel local

Empresa	Representante	Cargo
Cía. Minera Panulcillo S.A.	Marcos Velásquez	Ing. Medio Ambiente y Procesos
Viña Francisco de Aguirre	Tomás Herrera	Supervisor Medio Ambiente
Compañía Pisquera de Chile S.A.	Víctor Milla	Encargado de planta Sotaquí (subrogante)

Además se entrevistó a 21 usuarios agrícolas, que se listan en el Cuadro 6-4 a continuación.

Cuadro 6-4
Usuarios agrícolas entrevistados nivel local

Nombre	Ubicación
Juan Gilberto Martínez	El Reloj, camino Punitaqui
Elías Ibacache	Unión Campesina
Rodrigo Caniguante	Graneros
Alberto Alfonso Peralta	Las Majadas
Jorge Sierra Tanivilo	Flor del Valle c. Tulahuén
Javier Angel Fernández	Flor del Valle c. Tulahuén
Domingo Morgado	El Tome Bajo
Orlando González Pereira	El Palqui
Pedro Cisternas	Huanilla
Juan Pastor Contreras	Huanilla
Iván Varela Perry	Pedregal
Raúl Carmona Castex	Mostazal
Patricio Pinto Villar	Llanos de La Chimba
Eduardo Mallegos	Punitaqui
Eduardo Castillo O.	La Capilla – Combarbalá
Idilia Osven O.	La Capilla – Combarbalá
Felipe Sarmiento	Los Molinos – Combarbalá
Moisés Zepeda Tanivilo	Ceres – Ovalle
Patricio Alvarado Tarifeño	Graneros
Luis Prohens	El Tome
NN solicita confidencialidad	Camarico

6.1.3 Resultados del trabajo de terreno para el nivel global

En el nivel global, los temas tratados fueron fundamentalmente, los objetivos que las diversas instituciones manejan para la cuenca, las restricciones o condicionantes a considerar o respetar, los proyectos futuros relacionados con el aumento de eficiencia, la actividad del mercado del agua y derechos de aprovechamiento, la capacidad técnica para la administración de las entidades correspondientes, y los problemas de contaminación.

También se persiguió, con las preguntas, clarificar algunos aspectos operativos y cuantitativos que se requieren para operar el modelo de simulación.

De acuerdo con la especialidad de cada entrevistado, y con el tiempo disponible, no siempre fue posible aplicar todas las preguntas a cada una de las autoridades, sino que sólo las que les eran más afines. No obstante ello, se pudo obtener respuestas interesantes para cada uno de los temas, las que se reseñan a continuación.

a) Objetivos relacionados con los recursos hídricos para la cuenca

GOBERNACIÓN
- elevar la seguridad de riego del valle.
- lograr la vigilancia de la calidad de las aguas por parte del SAG
- lograr la certificación.
- levantar el proyecto INNOVA Chile, que está frustrado.
- aplicar más la ley de fomento al riego.

DGA
- velar por la correcta distribución de los recursos
- resolver problemas de distribución y de contaminación contra denuncias
- constituir y regularizar derechos
- aplicar la patente por no uso

DOH
- mejorar el modelo operacional del sistema Paloma
- mejorar el uso del agua
- mejorar capacidad de canales
- mejorar el pronóstico que se hace el 1º de mayo y se ratifica el 30 de Septiembre.

INIA
- afinar la demanda hídrica
- optimizar la frecuencia de riego
- buscar alternativas productivas que demanden menos agua.
- generar tecnología para solucionar el problema de salinidad. Es necesario lavar los suelos.
- investigación hidrogeológica del lecho del río.
- investigación hidrogeológica en zonas de secano.

JV LIMARÍ
- riego tecnificado
- revestimiento de canales
- embalses de acumulación

JV COMBARBALÁ
- tranques de acumulación
- revestimiento de canales
- riego tecnificado
- embalse Murallas Viejas

JV MOSTAZAL
- tranques acumuladores
- tecnificación del riego

ASOCIACIÓN CANALISTAS EMBALSE RECOLETA
- riego tecnificado
- revestimiento canales
- compuertas
- tranques
- medición por telemetría en tiempo real vía estaciones por paneles solares

ASOCIACIÓN CANAL PALQUI-MAURAT-SEMITA
- revestimiento de canales
- compuertas metálicas de toma
- toma en el río con defensa fluvial

ASOCIACIÓN CANAL CAMARICO
- entrega volumétrica
- compuertas con aforadores
- riego tecnificado
- tranques comunitarios
- revestimiento de canales

b) Restricciones a superar o condiciones a respetar en el futuro

GOBERNACIÓN
- resguardo ambiental frente a los proyectos mineros pequeños

DGA
- disponibilidad del recurso hídrico

DOH
- problemas ambientales de Los Pingos, especialmente con crecidas
- falta de regulación en cuenca Punitaqui.

INIA
- no apoyar económicamente actividades que no son viables
- no generar expectativas de agricultura donde no se puede vivir de la agricultura
- no fomentar la crianza caprina

c) Proyectos futuros y proyectos relacionados con el aumento de eficiencia

GOBERNACIÓN
- estaciones telemeteorológicas
- presurización del agua a través de entubamiento
- revestimiento de canales
- sistema georreferenciado electrónico

DGA
- entubamiento de canales
- revestimiento de canales

DOH
- nuevos revestimientos como polietileno
- nuevos embalsamientos para Punitaqui

INIA
- impermeabilizar y unificar canales, mejorar compuertas, para los agricultores pequeños.
- tecnificar mucho más el riego.
- usar métodos tradicionales donde se justifica
- embalses pequeños de regulación para varios agricultores.

d) Mercado del agua y derechos de aprovechamiento

GOBERNACIÓN
- falta sistema de semáforo. Hay mucho robo con bombas
- se aplicará la ley del mono para los pozos pequeños.
- el mercado del agua deja fuera el sector de secano.

DGA
- hay mercado arriba y abajo de los embalses.
- hay mucho traspaso temporal, de acciones y de volúmenes, que la DGA no ve
- hay que regularizar por la ley del mono muchos pozos
- los pozos no son clandestinos, sino que regularizables

DOH
- hay un problema con el traspaso del embalse. Es muy confuso cómo se distribuirán los derechos del embalse por sobre los derechos ya existentes de los regantes
- eso puede generar problemas con el mercado de los derechos de agua.

JV LIMARÍ
- mercado volumétrico opera 100%
- hay reglamentos claramente establecidos para trasladar aguas
- posibilidad de traslados siempre que no afecte a terceros
- no se fomenta la movilidad de los derechos, sí los traslados de agua

JV COMBARBALÁ
- hay posibilidad de traslado de derechos
- el mercado opera a baja escala
- no se meten a fomentarlo
- hay aprox.1 transacción por año
- hay flexibilidad de traslado de aguas sólo cuando hay turno redondo, previo aviso

JV MOSTAZAL
- los grandes arriendan acciones por períodos en forma esporádica
- se pueden hacer traslados
- no se fomentan los traslados
- muy poco mercado de derechos, 2 o 3 transacciones en 10 años
- algunos canales permiten el traslado de derechos

ASOCIACIÓN CANALISTAS EMBALSE RECOLETA
- no se permite traspaso de acciones de un canal a otro
- sí se permite transacciones de volúmenes de agua si son de la misma fuente
- no se fomenta la movilidad de los derechos
- el mercado del agua opera completamente para los volúmenes
- los traspasos abundan en períodos de sequía (100 al año)

ASOCIACIÓN CANAL PALQUI-MAURAT-SEMITA
- no se meten en el tema de las transacciones, sólo en los traslados
- el mercado opera según la ley
- se puede trasladar entre marcos de acuerdo con lo normado por el Código de Aguas

ASOCIACIÓN CANAL CAMARICO
- dentro del canal se permiten traslados
- no se mueven los derechos, sólo el agua como en una cuenta corriente
- el agua disponible se maneja en forma volumétrica

e) Capacidad técnica para la administración

JV LIMARÍ
- funcionan de acuerdo a la ley
- buena capacidad técnica
- equipamiento: oficina, vehículo, computador
- personal: administrador, secretaria, contador, 5 celadores para 187 canales
- buena aceptación por parte de los usuarios

JV COMBARBALÁ
- buena capacidad técnica
- directiva completa, secretaria contable, un celador, oficina, computador, teléfono
- falta un vehículo
- buena aceptación por parte de los usuarios

JV MOSTAZAL
- buena capacidad técnica
- oficina, computador, personal capacitado
- un celador en el río y 8 a 10 celadores para los canales
- buena aceptación por parte de los usuarios

JV RAPEL
- presidente, directores, 2 secretarias
- computador
- oficina propia
- no tienen profesionales
- no tienen vehículos

ASOCIACIÓN CANALISTAS EMBALSE RECOLETA
- buena capacidad técnica
- ingenieros, técnicos universitarios, asesores contable y legal, oficina, computador, camioneta, radios
- 18 celadores para 18 canales y 2 de reemplazo
- empresa constructora que reviste canales
- buena aceptación de los usuarios, pero igual reclaman

ASOCIACIÓN CANAL PALQUI-MAURAT-SEMITA
- buena capacidad técnica
- directiva de 5 personas
- oficina, computador, camioneta
- 3 celadores para las secciones del canal
- buena aceptación

ASOCIACIÓN CANAL CAMARICO
- buena capacidad técnica
- infraestructura completa
- 7 directores, 1 administrador, secretaria, cajera, contadora, persona a cargo de las estadísticas, auxiliar.
- un celador para los marcos matrices en el río y un celador por marco comunitario
- buena aceptación por parte de los usuarios

f) Problemas de calidad, contaminación y salinidad u otros

GOBERNACIÓN
- riles de pisco, Control y Capel.
- 26 sistemas de alcantarillado colapsados en la región
- debe hacerse más PTAS

DGA
- Minera Los Pingos, con tranque de relaves en cordillera, aporta contaminación de cobre, tuvo que hacer estudio ambiental
- Minera El Pingo, río Mostazal arriba, ha tenido problemas de arrastre en su tranque de relaves
- Minera Panulcillo, ha tenido fuertes problemas de contaminación con hierro y bajo pH en el estero Ingenio, tuvo que hacer un estudio ambiental

DOH
- contaminación de canales al pasar por zonas habitadas o comunidades

INIA
- no hay grandes efectos ambientales negativos en esta cuenca

JV LIMARÍ
- riesgo de contaminación por parte de las mineras, aunque ahora hay planes de descontaminación
- descargas de aguas servidas al río
- descargas de las industrias pisqueras
- podría afectar especies sensibles como paltos

JV COMBARBALÁ
- no percibe problemas de contaminación de ningún tipo

JV MOSTAZAL
- contaminación río San Miguel por torta de relaves de minera Los Pingos

ASOCIACIÓN CANALISTAS EMBALSE RECOLETA
- contaminación urbana de los canales
- desean certificar las aguas del embalse Recoleta

ASOCIACIÓN CANAL PALQUI-MAURAT-SEMITA
- sobreutilización de pesticidas
- humo por quema de sarmientos
- contaminación de canales por acceso de animales
- minera Los Pingos en el Río Grande

ASOCIACIÓN CANAL CAMARICO
- principalmente problemas de contaminación urbana

6.1.4 Resultados del trabajo de terreno para el nivel medio

A nivel medio, los trabajos de terreno tuvieron por objetivo recoger la información que pudieran aportar las comunidades de agua y los comités de agua potable rural, con los resultados que se presentan a continuación.

a) Comunidades de agua

En la cuenca del Limarí se entrevistó a 2 comunidades de aguas y 4 comités de agua potable rural.

i) Tipo de derechos

Al respecto, lo primero que se puede señalar es que en los canales entrevistados, y, en realidad, la gran mayoría de los canales de la cuenca salvo algunas excepciones muy menores, tienen acciones permanentes sobre el río.

ii) Distribución interna del agua

Los canales en general no funcionan según desmarques, sino que según turnos de entrega. Estos turnos rotan entre los usuarios, o el canal va directamente a alimentar un tranque de acumulación, desde el cual los regantes se surten posteriormente.

La distribución del agua al interior de los canales se realiza por métodos muy diversos. Después de la toma principal, que en general tiene un marco aforador y una compuerta metálica, el agua se distribuye por compuertas interiores y tacos, muchas veces por turnos, o desde un tranque de acumulación comunitario. Pero también hay ejemplos de canal parcialmente entubado, con válvulas de entrega a los usuarios cuya toma se ubica en el tramo entubado (Canal La Chimba).

iii) Eficiencia de conducción

Respecto del estado de los canales, se reportan muchas filtraciones, contra las que se lucha con revestimientos para los que ayuda la Ley de Riego. También hay tramos entubados (por ejemplo dentro de la caja del río), pero las pérdidas se estiman siempre en un 20 a 30% del caudal entrante. Esto afecta a los usuarios, porque a ellos se les resta directamente la pérdida estimada de su dotación anual volumétrica.

iv) Capacidad de administración

Todos los canales señalan que tienen buena capacidad de administración. Tienen directiva completa, celadores y secretaria, cobran las cuotas para la JV y juntan el dinero para las limpias y el pago de la secretaria y el celador.

v) Participación de usuarios

En relación con la participación de los usuarios, a nivel de juntas de vigilancia se manifiesta que es diversa. En general, si hay poca participación, ésta se asocia con el hecho de que los usuarios están conformes.

En cuanto al nivel de conformidad de los usuarios, dentro de las JV se expresa que no hay problemas con los usuarios. Al interior de los canales, tampoco hay muchos conflictos. Solamente cuando el agua es muy escasa, se pueden presentar. Los dirigentes encuentran que el hecho de estar muchos años en el cargo, muestra que hay conformidad por parte de los regantes, o porque nadie se interesa en estos cargos que no son remunerados.

vi) Aguas subterráneas

En cuanto al agua subterránea, se observa que en general, en los valles de los ríos hay muy pocos pozos para riego. Los pozos que hay son para APR, y de algunos particulares de tipo empresarial. Sin embargo, hay gran cantidad de norias y pozos de bajo caudal, en rellenos de baja calidad acuífera, no ligados a los cauces de los ríos. No hay ningún tipo de organización de aguas subterráneas.

vii) Mercado del agua y traspasos

El mercado del agua es un tema que tiene dos interpretaciones en la cuenca. Por un lado está la transacción formal de derechos, y por otro lado, el traspaso temporal de volúmenes de agua. Este último es muy usual. Aguas arriba de los embalses, lo más usual es el traslado temporal y más bien informal de acciones dentro de cada uno de los canales. Las transacciones hacia otro canal son poco frecuentes. Las asociaciones y comunidades no fomentan el mercado de aguas, porque no quieren que se quite agua de sus canales. Teóricamente existe la posibilidad, pero en la práctica no existe la disposición para hacer los cambios. En general no quedan registros de transacciones en las comunidades de agua.

Aguas abajo de los embalses, el traspaso de aguas en forma de volúmenes es muy fluido, y como el sistema está apoyado por una gran cantidad de tranques de acumulación, el agua requerida se solicita con 48 horas de antelación, y es enviada por el sistema de canales hacia el regante.

Todo este proceder aguas abajo del embalse se ha manejado en base a la dotación volumétrica de las acciones, que se define al inicio de la temporada, y que da lugar a una cuenta corriente de volúmenes, los cuales es fácil intercambiar y transar gracias a la infraestructura existente, que permite una gran flexibilidad.

viii) Comercialización de productos

En cuanto a la comercialización de los productos, la uva pisquera se vende a Capel o Control. Las hortalizas se venden a intermediarios.

ix) Subsidios

Los subsidios más utilizados son los de la ley de riego, y los de INDAP de ayuda para pequeños productores.

x) Problemas ambientales

En cuanto a los problemas ambientales, se señalan fundamentalmente las tortas de relave de la minera Los Pingos en el río Mostazal, y la contaminación doméstica de los canales.

b) Comités de Agua Potable Rural

En la cuenca del Limarí se hicieron cinco entrevistas, cuatro a comités de APR y una a la Asociación Gremial de Servicios de Agua Potable Rural de la provincia del Limarí. Hay 72 instalaciones de APR en la provincia. De las entrevistas se desprende fundamentalmente lo siguiente:

i) Fuentes de agua

Las fuentes de agua son todas de agua subterránea, tanto norias como sondajes, con dos excepciones, que son Unión Giaconi y Sonora Los Acacias, las cuales compran agua a la empresa Aguas del Valle.

ii) Derechos de agua

En cuanto a los derechos de agua, sólo el 5% tiene sus derechos inscritos. El restante 95% estaría en proceso de regularización.

iii) Pérdidas físicas

Los comités entrevistados declaran tener pérdidas físicas de agua, por roturas, filtraciones y por limpias del estanque. También hay pérdidas económicas por robo y desperfecto de medidores.

iv) Calidad del agua

No manejan información sobre la calidad del agua cruda, la que no se controla. Sí se sabe, por ejemplo, que el agua cruda de Punitaqui tiene hierro. Aguas del Valle ocasionalmente hace análisis bacteriológicos del agua potable que se distribuye.

v) Saneamiento

En cuanto al saneamiento, en algunas localidades se usan los pozos negros sin cámara. En otras, hay sistemas de fosa séptica y pozo absorbente. En una localidad, Sonora Los Acacios, hay alcantarillado para 150 casas, y una planta de tratamiento. El agua tratada se reutiliza para el riego de áreas verdes públicas.

vi) Administración

En general se administran con una directiva, una comisión de revisión de cuentas, un operador y una secretaria, sólo éstos últimos son pagados pero tienen bajos sueldos. A algunos comités les falta equipamiento para manejarse más ágilmente en terreno.

La Asociación de APR aspira a que pueda haber una reinversión de las utilidades en las APR, para renovar las redes de aducción, distribución y estanques, pues en la mayoría de los casos

ya tienen más de 15 años de existencia. Además, por todas las nuevas exigencias ambientales de las exportadoras, piden que el sector privado también participe en el financiamiento de las APR y alcantarillado, ya que se verán directamente favorecidos.

6.1.5 Resultados del trabajo de terreno para el nivel local

El trabajo a nivel local incluyó usuarios agrícolas individuales, también industrias y agroindustrias, y una empresa minera.

a) Usuarios agrícolas

Se entrevistó a 21 dueños de predios entre 2 y 100 hectáreas productivas, con derechos en los canales Camarico, Cogotí, Derivado Punitaqui, Tome, Palqui-Maurat-Semita, Núñez, Durazno, Arena, río Huatulame, La Crucita, La Capilla, El Algarrobal, La Colorada, Puntilla de San Juan, Vega y Molino Viejo. La información recabada se reseña a continuación.

i) Cultivos y métodos de riego

La información recabada en terreno, que se presenta a continuación, se utilizó, en complementación al catastro frutícola de CIREN, catastro SAG y Censo de 1997, para caracterizar la situación actual de cultivos y métodos de riego en la cuenca.

La información obtenida es la siguiente:

Superficie regada por Canal Palqui-Maurat-Semita: 90% de la superficie se dedica a frutales como uva de mesa, mandarinas y palto. El 95% de los sistemas de riegos utilizados es tecnificado, principalmente goteo, y un 5% tradicional por surco.

Río Mostazal: El 20 % de la superficie total bajo riego está efectivamente plantada, de ésta, el 90 % corresponde a uva de mesa, uva pisquera y nogales, y el 10 % restante a empastadas. El 100% de las empastadas está regado por tendido y en frutales el 80 % está con riego tradicional.

Río Combarbalá y sus Afluentes: Las 100 ha de cítricos están regadas por goteo, las 95 ha de parrón de uva de mesa están regadas por goteo, dentro de las 50 ha de palto, nogal y huertos caseros, el 5% está por goteo y el 95% está por surcos. Las 5 ha de hortalizas está con riego por surcos.

Canal Derivado Punitaqui: Un 40% de la superficie está cultivada y un 60 % sin cultivar. De lo cultivado, el 50% es uva pisquera, el 25% es palto y el 25% restante incluye cítricos, hortalizas y praderas. El 100% de los paltos y uva pisquera está regado por goteo, y los cítricos, hortalizas y praderas por surco.

Canales del Embalse Recoleta El 70% de lo cultivado corresponde a hortalizas, el 20% a paltos, cítricos y mandarinas y el 10% restante a uva pisquera y empastadas. Casi el 100% de las hortalizas se riegan por surcos. En el caso de los paltos, cítricos y mandarinas se riega prácticamente el 100% por goteo, las empastadas todo por tendido y la uva pisquera por goteo y surco.

Río Grande y Limarí: Esta área se caracteriza por sectores.

Sector Ramadas-Tulahuén: De la superficie cultivada, un 80% son pastos y praderas naturales, 10 % son vides y 10% son nogales. El 100% de los pastos y praderas se riegan por tendido, y los frutales en su mayoría son regados por surcos.

Tulahuén-Carén: De la superficie cultivada, un 30% son pastos, todos regados por tendidos, un 20 % es uva de mesa regada toda con riego tecnificado, un 40% corresponde a uva pisquera regada toda por surcos, un 10 % corresponde a frutales y hortalizas en pequeñas superficies.

Carén -Monte Patria:
Subsector 1. Carén-Río Rapel: Hay un 60% de uva de mesa, 30% de uva pisquera, 5% de hortalizas y un 5% de otros frutales. La uva de mesa se riega en un 100% por goteo, la uva pisquera se riega en un 50% por goteo y un 50% por surco. Las hortalizas se riegan en un 90% por surcos y un 10% por riego tecnificado de cinta. El resto de los frutales como durazno, cítricos y paltos, están regados en un 30% por goteo (principalmente cítricos y paltos) y en un 70 % por surcos como los duraznos.

Subsector 2. .Río Rapel-Río Ponio: Hay un 60% de uva pisquera, un 30% de pastos y praderas y un 10% de hortalizas. La uva pisquera está casi en un 100% con riego tradicional. Las hortalizas se riegan todas por surcos y las praderas y pastos por tendido.

Subsector 3. Río Ponio-Monte Patria: Hay un 80% de uva de mesa, un 10% de uva pisquera y un 10% de hortalizas. En uva de mesa, un 80% está con riego tecnificado y un 20% con riego tradicional. La uva pisquera está toda con riego por surco, al igual que las hortalizas.

Salida Paloma-Ovalle: Hay un 20% de cítricos, un 20% de paltos, 30% de vid de mesa, 15% de vid pisquera, 10% de hortalizas, 5% de pastos naturales y praderas. El total de los paltos y cítricos se riegan por goteo y/o microaspersión. La uva de mesa está en un 80% bajo riego por goteo y un 20 % por surco. La vid pisquera está en un 50% bajo riego por goteo y un 50 % por surco. En hortalizas, el 70% está regado por surco y el 30% está regado por cinta. Las praderas naturales y pastos se riegan en un 100% por tendido.

Ovalle-Trapiche: Hay 20% de uva de mesa, 30% de uva pisquera, 20% de hortalizas, 20% de pastos y praderas, 10% de paltos. La uva (de mesa y pisquera) está en un 40% con goteo y un 60% con riego por surco. Las hortalizas están en un 70% con riego por surco y en un 30% con cinta. El total de pastos y praderas está bajo riego por tendido. Las paltas están en un 100% por goteo.

Trapiche-Salala: Hay un 15% de uva pisquera, 5% de uva de mesa, 50% de pastos y un 30% de hortalizas. La uva pisquera se riega en un 80% con surco y en un 20% con goteo. La uva de mesa está en un 50% regada por goteo y en un 50% por surco. El total de los pastos está regado por tendido. Las Hortalizas están en un 80% con riego por surcos y un 20% con riego por cinta.

Canales Embalse Cogotí: Sector Salida Embalse Cogotí-Río Huatulame en el Tome: El 80% de lo cultivado es parrón de uva de mesa, 10% de cítricos y paltas, y 10% de hortalizas. Casi el 100% de la uva de mesa está por goteo, en paltos y cítricos el 98 % está con riego tecnificado y un 2 % con riego tradicional, y las hortalizas en un 60 % están con riego tradicional por surcos, y en un 40 % con riego tecnificado por goteo y cinta.

Ribera sur embalse Paloma (Huanilla): El 80% de lo cultivado es parrón de uva de mesa, 10% de cítricos y paltos, 10% de hortalizas. Toda la uva de mesa esta por goteo, el 99% de los cítricos y paltos está por goteo y toda las hortalizas están por riego tradicional.

Zona entre ribera norte embalse Paloma y Derivado Cauchil: Hay un 60% de uva de mesa, cítricos y paltos y un 40 % de hortalizas. Los frutales en un 75 % están regados por riego tecnificado por goteo y en un 25 %, con riego tradicional por surcos. Las hortalizas están regadas en un 100% por surco.

Paloma-Ovalle: Hay un 15% de parrón pisquero, un 15 % de parrón de uva de mesa, 30% de cítricos y paltos, 5% de duraznos, 25% de hortalizas y un 10% de barbecho sin cultivar. Tanto la uva de mesa como la pisquera están en un 95% con riego por goteo y en un 5% por riego tradicional. De los cítricos y paltos, casi el 100% está bajo riego por goteo. Las hortalizas se riegan casi en un 100% por riego tradicional.

Ovalle-El Hinojo: Hay un 30% de hortalizas, 20% de alfalfa, 15% de uva pisquera, 10% de uva de mesa y un 25% de paltos y cítricos. Las hortalizas están regadas en un 100% por riego tradicional. La alfalfa en un 99% está regada por tendido y en un 1% por pivote central. La uva pisquera está regada en un 80% de riego tradicional y un 20% con riego tecnificado. En uva de mesa el 50% está regado con riego tradicional y el otro 50% con riego tecnificado. En paltos y cítricos, el 90% está con riego tecnificado por goteo.

El Hinojo-El Ciénago: Hay un 60% de uva pisquera, un 15% de uva de mesa, un 10% de hortalizas, 5% de alfalfa y un 10% de paltos y cítricos. La uva pisquera está en un 95% con riego tecnificado por goteo y en un 5% por surco. La uva de mesa está en un 95 % con riego tecnificado por goteo. Las hortalizas están en un 100% con riego tradicional por surcos. La alfalfa está en un 100% regada por tendido. Paltos y cítricos están en un 90% con riego tecnificado por goteo.

ii) Fuente de agua

Casi todos los agricultores riegan sólo con derechos de canal, los cuales corresponden a acciones de río y acciones de embalse. Las excepciones entrevistadas son algunos ubicados en

Graneros, Punitaqui y Camarico, que también tienen pozo o noria para complementar el agua superficial. En Punitaqui también hay algo de agua de vertiente, en el afluente Las Majadas, que es aprovechada en la agricultura.

iii) Pérdidas físicas

En cuanto a las pérdidas físicas de agua, se reportan pérdidas muy variables, entre 15 y 40% en los canales mismos, dependiendo del lugar, y entre 5 y 50% de pérdidas dentro del predio, por infiltraciones desde los tranque de acumulación, o mal manejo del agua al interior del predio. En general, se observa que hay una estimación local de las pérdidas que se producen en los canales, por el hecho de que estas pérdidas son prorrateadas entre los usuarios, y por lo tanto no les llega toda su agua.

iv) Sistema de riego

Se observa que hay dos sistemas de riego claramente diferenciados en esta cuenca. Aguas arriba de los embalses, el sistema de riego es por turno, el turno se recibe cada 8 días, durante un tiempo proporcional a las acciones. En general, los usuarios tienen tranques de acumulación para acumular las aguas del turno y aplicarlas posteriormente a su conveniencia.

Aguas abajo de los embalses, el sistema funciona en forma volumétrica. Al inicio de la temporada, y en función del estado de los embalses, cada acción de cada sistema se valoriza en una determinada cantidad de m3 por año, lo que pasa a ser la dotación en la cuenta corriente de agua de cada usuario. Esta agua se recibe a pedido, haciendo el pedido con dos días de anticipación. En este sistema, los usuarios deben asumir las pérdidas que se generan dentro de su canal, pues su cuota se reduce por pérdidas en la proporción que le corresponde.

v) Costo de la energía

Prácticamente no fue posible obtener datos de costo mensual de la energía eléctrica, solamente en un caso el usuario dice que paga $10.000 / ha / mes, con la tarifa AT4.3 o BT4.3.

vi) Cantidad de agua aplicada

En cuanto al agua aplicada, muchos de los entrevistados tienen una idea bastante clara del agua que aplican, especialmente los que riegan en forma tecnificada. Las cifras obtenidas, sin embargo, difieren bastante, y son las siguientes:

- parrón pisquero por surco: 6000 m3/ha/año
- parrón pisquero por goteo: 3000 a 4500, 5500, 8000 m3/ha/año
- parrón uva de mesa de exportación por goteo: 5500 m3/ha/año
- frutales por goteo: 2500 m3/ha/año, 8000 m3/ha/año
- paltos: 5000 m3/ha/año, 10000 m3/ha/año
- hortalizas: 5000 m3/ha/año, 10000 m3/ha/año
- tomate por goteo aire libre: 6000 m3/ha/año
- tomate por goteo bajo plástico: 2000 m3/ha/año

vii) Mercado del agua

En cuanto al mercado del agua, nuevamente se puede apreciar, de la respuesta de los entrevistados, que hay dos tipos de mercado: el mercado de compra-venta de acciones, y las compras de volúmenes.

La compraventa de acciones no es usual en la cuenca, aunque también se produce. En general los grandes compran acciones, y los más chicos venden.

En todos los canales, lo más usual es la compraventa de volúmenes. También es usual el traslado de volúmenes de un canal a otro y de un embalse a otro. El m3 vale, en tiempos normales, entre $15 y $20 el m3, llegando en épocas muy húmedas a $ 2 por m3, y en épocas de sequía a $100 el m3. La limitante para los traspasos es la capacidad de conducción de los canales.

Las organizaciones en general no fomentan la compra y venta del agua, no se meten, es cosa entre los privados. Ellos sólo atienden los pedidos, y como hay capacidad de almacenamiento individual, las entregas se pueden programar. Hay algunos canales, sobre el sistema de embalses, donde no se permiten las transacciones de agua fuera del canal, sólo dentro de un mismo canal, porque no quieren perder acciones que significan pagos para mantención. Sin embargo, también en estos canales, hay traspaso de aguas, modificando la duración de los turnos, y son traspasos formales, es decir, arriendos por tiempo.

Hay muchos usuarios que no pueden comprar agua, porque aunque tienen la necesidad, no tienen el dinero suficiente.

Hay agricultores que compran agua todos los años, pues su dotación por acciones no les alcanza para cubrir sus necesidades (zona de Camarico).

Por otro lado, hay preparación de terrenos en el sector de Huatulame, donde no han podido concretarse las plantaciones por falta de derechos de agua.

viii) Rendimientos de los cultivos

Para los rendimientos anuales de los cultivos se obtuvieron los siguientes datos:

Vid de pisco: 25 a 30 ton/ha, también 40 ton/ha
Vid de mesa: 1500 a 2000 cajas de 8,2 kg / ha
Flame: 2300 cajas /ha
Red Globe: 3000 a 3500 cajas / ha
Promedio parrón moderno (más denso) bien tenido: 3000 cajas / ha
Hinojo 300 kg/ha
Palto nuevo: 10 a 15 ton/ha
Palto adulto: 20 a 25 ton/ha
Alcachofa: 80.000 un/ha. Se afecta hasta 70% si falta agua.
Tomate: 60 ton/ha al aire libre y 110 ton/ha bajo plástico.
Porotos: 80 - 100 mallas de 30 kg / ha

Arvejas: 100 mallas de 30 kg / ha.
Habas: 100 mallas de 30 kg / ha
Alfalfa: 150 fardos/ha/temporada
Durazno: 12 a 14 ton/ha (regular)
Nogal: 4000 kg/ha.

En años secos, los rendimientos de cultivos permanentes sin riego tecnificado bajan entre 20 y 60%. Los cultivos con riego tecnificado bajan un 15% a 20%, hasta 50% los tomates. Sin embargo, para gran parte de los usuarios la sequía es teórica. Es notable que la respuesta, ante la pregunta de qué hacen en los años secos, sea que compran agua, antes de reducir cultivos. Los que tienen cultivos anuales y poco dinero, son los que reducen las áreas cultivadas y priorizan el agua hacia los cultivos permanentes.

ix) Mercados a que se destina la producción

La producción de uva de mesa es destinada casi totalmente a la exportación, 70% a EEUU y 30% a otros países. Sólo los restos se destinan a pasas. Nueces, paltas y cítricos se intentan siempre exportar, si el precio es mejor que el del mercado nacional. También hay un exportador de plantas de vivero, que exporta plantas a Perú, Bolivia y Argentina.

En el mercado nacional se quedan la uva de pisco, que se va a las pisqueras como Capel, Control y Ruta Norte, las hortalizas, alcachofas y, en general las frutas como duraznos y otras, que se venden al mercado de Ovalle, o a Santiago, a mercados mayoristas como La Vega o Lo Valledor.

CCU compró Capel, y en tres años harán un contrato de compra y venta de la uva por 20 años, con un piso de 78 $/kg y un techo de 102 $/kg.

x) Precios

Los precios son los siguientes:
Uva de pisco: 80-120 $/kg
Uva de exportación: 6 a 7, hasta 12 y 15 US$/caja de 8,2 kg (en Copiapó, por la fecha, salen a US$ 20 /caja).
Este año salen a:
Thompson: 9,5 US$ / caja
Flame: 11 US$ / caja
Red globe: 15 US$ / caja
Crimson: 4US$ / caja.
Paltas de exportación: US$ 1/kg
Palto: $2500/planta
Nogal: $3500/planta
Vides: $300/planta
Alcachofa: $25 / unidad
Tomate: $ 2000/caja de 18 kg.

Arveja: $ 3000/malla
Poroto verde: $ 5000/malla
Melón: $100/unidad
Choclo: $80 / unidad
Sandía: $800 / unidad
Nueces sin pelar: $1200 / kg.

Los precios varían en función de varios aspectos: la oferta (producción) y demanda (consumo del producto), la calidad del producto en la temporada, la estacionalidad (primores), la hortaliza en invierno se paga mejor.

Para los productos de exportación, los precios varían de acuerdo con las cosechas de Sudáfrica, la fecha de los embarques, la fecha de llegada de los barcos, la cantidad de uva de guarda que haya en EEUU (Crimson), el momento económico del país, el tipo de cambio.

xi) Fichas técnicas

En general, los productores son asesorados por Capel, Control, INDAP o los compradores, si son empresariales, y no manejan ellos mismos las fichas técnicas. También hay agricultores empresariales, que manejan sus fichas técnicas, pero no las facilitan para este estudio. En resumen, las fichas técnicas para los cultivos del Limarí se consiguieron a través de las publicaciones del INIA para la Región.

xii) Retornos o utilidad de los productos

Ninguno de los entrevistados entregó esta información, por considerarla privada.

xiii) Proyectos de expansión

No son importantes los proyectos de expansión de los entrevistados dentro de sus propios predios. Los grandes proyectos de expansión son los que vienen de afuera, y hay algunos, que sin embargo, según se dice, se habrían quedado sin agua.

xiv) Subsidios

Casi todos los usuarios entrevistados han utilizado alguna vez algún tipo de subsidio. Los subsidios más utilizados son los de la CNR e INDAP (suelos degradados).

xv) Administración de los canales

En el tema de la administración, son muy pocos los usuarios entrevistados que se sienten desconformes con la administración de su canal o del río cuando corresponde. En general, la administración se encuentra buena, están bien organizados para entregar el agua, el agua llega a los usuarios según los turnos o a pedido.

Aguas abajo de los embalses hay una aspiración bastante generalizada, que es la reducción de las pérdidas dentro de los canales, porque las pérdidas son asumidas por los usuarios, en la forma de un descuento de la dotación de agua por acción. Los usuarios opinan que las administraciones debieran postular a subsidios para estas obras.

Una excepción la constituye el canal Puntilla de San Juan, donde los usuarios consideran que la repartición es mala porque no respeta las acciones, sino se distribuye por cantidad de usuarios, igual tiempo para cada uno. Esto es algo que habría que comprobar, porque sería ilegal.

Otra excepción sería el canal Tome, para el cual se pide rehabilitarlo por parte de la DOH. En la actualidad estaría inutilizable.

En el canal La Capilla del río Combarbalá hay poca agua, y hay problemas con el último usuario, al cual a veces no le llega el agua.

xvi) Problemas de contaminación

Consultados acerca de problemas de contaminación, la mayoría de los entrevistados no conoce ni percibe ningún tipo de contaminación de las aguas.

Sin embargo, algunos de los usuarios sí mencionan algunos problemas, que son:

- contaminación minera desde tortas de relave de la minera Los Pingos, en el canal Puntilla de San Juan, desde la minera Los Mantos, en el canal Derivado Punitaqui, y desde mineras interiores en canales Durazno, Arenas y Núñez del río Mostazal
- contaminación desde basurales y contaminación doméstica hacia los canales Cogotí y Camarico.

b) Industrias y agroindustrias

En la cuenca del Limarí se entrevistó a la Viña Francisco de Aguirre, que produce mosto concentrado y vino, y a la Compañía Pisquera de Chile, que fabrica alcohol para pisco, el cual es enviado a La Serena para la producción de Pisco. Ambas se surten fundamentalmente de agua de canal y agua potable, la pisquera también tiene un pozo. Se entrevistó a los jefes de planta, sobre las características de uso del agua.

La información que se pudo obtener fue acerca de los procesos en que usan agua (lavado de cubas, pisos, maquinaria, refrigeración de sellos de bombas, refrigeración de concentrador, consumo humano). En el caso de la Viña, utiliza unos 670 m3/mes (0,26 l/s), mientras que la pisquera usa 1600 m3/mes (0,6 l/s).

En cuanto a las aguas servidas industriales, la primera tiene una planta de tratamiento con reactores anaeróbicos UASB en cubas. La segunda la vierte a piscinas de evaporación. Tienen acceso al alcantarillado, pero no vierten las aguas servidas industriales ni al alcantarillado ni al río.

En cuanto a eventuales impactos ambientales, la primera no tiene ninguno. La segunda sólo vierte las aguas de refrigeración, sin contaminantes, al río, de modo que ninguna generaría contaminación.

En cuanto al mercado del agua, la Viña arrienda aguas, 9 acciones del canal Rumpo. La pisquera no participa, pues no necesita comprar ni vender ni arrendar.

c) Empresas mineras

Se entrevistó a la Compañía Minera Panulcillo, empresa actualmente arrendada y administrada por ENAMI, la cual no tiene mina sino que compra el mineral a todos los pequeños mineros de 50 km a la redonda. Funciona desde 1951.

Hasta 1981, esta empresa se llamaba Asociación Minera de Ovalle. Después fue Compañía Minera Panulcillo S.A, y hoy esta compañía está arrendada y administrada por ENAMI. La planta se llama Ovalle, ex Cocinera.

Es una planta de procesos, que compra y recibe los minerales extraídos por todos los pequeños mineros de la cuenca del Limarí. Esta planta se creó en 1959, en esa época había una mina, pero esa se cerró.

La planta procesa minerales de súlfuros y óxidos de cobre, y oro, aprox. 15 ton/mes. Los súlfuros se procesan por flotación, lográndose concentrados de 20 a 24% de contenido de cobre. Los óxidos se procesan por lixiviación y precipitación, lográndose precipitados de 80-85% de contenido de cobre. Para los procesos de fundición, el material se envía a Ventanas y Paipote.

En el futuro, en la mina Delta, que está arriba, se tratará la parte súlfuros, con flotación. En la parte baja, se queda el tratamiento de la parte öxidos. La extracción se hará por solventes. Se está reconcibiendo un gran muro que separe todo el proceso del escurrimiento natural, para que no haya filtraciones hacia la Quebrada del Ingenio.

La producción anual es la siguiente:

Súlfuros: 6000 a 7000 ton de concentrado de Cu / año.
Óxidos: 1200 a 1400 ton de precipitado de Cu / año

Los costos de producción son los siguientes:

Súlfuros: 13,56 US$ / ton
Öxidos: 24,64 US$ / ton (son 2 procesos)

Las fuentes de agua son varias: aguas superficiales del Estero El Ingenio, 3 pozos subterráneos con derechos, y acciones en el canal Talhuén del embalse Recoleta. No participan en el mercado del agua.

Los caudales utilizados en la producción son los siguientes:

- Para la flotación de los súlfuros, usan aprox. 400 m3/día, de lo cual un 15% es agua fresca, o sea, 60 m3/día (0,7 l/s). De la flotación, el residuo se va al tranque de relaves, desde donde se bombea de vuelta.
- Para los óxidos, usan 220 m3/día, de lo cual 10% es agua fresca. O sea 22 m3/día (0,25 l/s). En los procesos de lixiviación y precipitación, el agua se reutiliza. Pero está el problema del hierro, para reutilizarla, hay que sacarle el hierro. En el proceso de lixiviación, antes se evaporaba el agua en una gran piscina, pero parte de esta agua se filtraba hacia el estero El Ingenio. Hay unas bacterias que consumen el hierro.

Las pérdidas de agua están constituidas por la evaporación y los derrames. Pero el agua se recircula indefinidamente.

Se utilizan aguas de enfriamiento sólo para enfriamiento de las chancadoras. El agua se refresca en estanques.

Tienen tranques de relaves, pero no tienen descarga de riles. Sin embargo, desde los tranques de relaves se produce contaminación, porque se infiltran hacia el estero el Ingenio las soluciones de descarte de la lixiviación. Sin embargo, desde 2001 se están tomando medidas para evitar esto. Las medidas son las siguientes:

- Se está construyendo una gran piscina revestida, habría impacto hasta 2 km aguas abajo. Después del pantano, la totora dejaría el agua aclarada, porque absorbería los metales pesados. Se han hecho análisis de que contenidos de fe de hasta 2000 mg/l se reducen hasta 0,1 mg/l después de las totoras. La piscina entregaría aguas con menos de 1000 mg/l.
- Instalación de una planta para tratar las aguas residuales: 70-100 m3/día, se efectuó en 2001 con JICA.
- Cal para subir el pH de las aguas efluentes.
- Poner plantas de totora en los terrenos de la empresa.
- Se está haciendo un muro fijo para la retención de los relaves.

Otras empresas mineras de importancia son las empresas mineras Los Pingos, en el río Grande arriba, y la empresa El Pingo, en el río Mostazal. Todas ellas se presentan en el SIG y se consideran en el modelo MAGIC.

6.2 MODELO LIMARÍ: GENERACIÓN DE INFORMACIÓN DE ENTRADA

La información de entrada para el modelo de simulación se presenta en 47 matrices. Estas matrices contienen toda la información que caracteriza la cuenca.

La información ingresada consiste en antecedentes hidrológicos, pluviométricos y fluviométricos, antecedentes hidrogeológicos de los rellenos acuíferos existentes, antecedentes agronómicos relativos al uso actual del suelo, sus necesidades evapotranspirativas, métodos de riego con sus eficiencias de aplicación y pérdidas por percolación, derrames y retornos, antecedentes de la infraestructura de riego de canales y embalses de noche y de regulación, antecedentes legales relativos a derechos de agua y secciones legales de los valles como también normas de operación que se aplican para la distribución de los recursos hídricos en los diferentes tipos de años hidrológicos.

Las matrices de entrada requieren que la información esté temáticamente ordenada, y estructurada de la manera en que el modelo la requiere para leerla. Toda la información que se puede representar espacialmente, está incluida en el SIG, donde las bases de datos contienen la información temática y de conectividad con que se alimentó el modelo de simulación.

Las 47 matrices se anexan en medios magnéticos, para el escenario final de calibración (Escenario Limarí 024).

A continuación se expone la información de base, y la forma en que ha sido recabada y preparada para hacer operativo el modelo MAGIC.

6.2.1 Esquema topológico de modelación

Analizando el funcionamiento del sistema hídrico del río Limarí, y de los distintos elementos que lo conforman, en conjunto con todos los requerimientos específicos del modelo Magic, se representó la cuenca que se muestra en la Figura 6-1, según el esquema topológico de la Figura 6-2. El esquema topológico incluye todas las interconexiones entren los diversos elementos que configuran la cuenca.

En dicho esquema se representa toda la topología de la hidrología de la cuenca, esto es:

- la ubicación de los ríos principales con sus diferentes tramos, definidos por la ubicación de los nodos
- la ubicación de los embalses mayores existentes y potenciales en la cuenca
- la ubicación de las subcuencas aportantes, definidas igualmente por la ubicación de los nodos, y los nodos de llegada de los recursos aportados
- la ubicación de los sectores de riego que se definieron en la cuenca
- origen y destino de los canales matrices y derivados (como sistemas por sector de riego) que riegan los diferentes sectores de riego

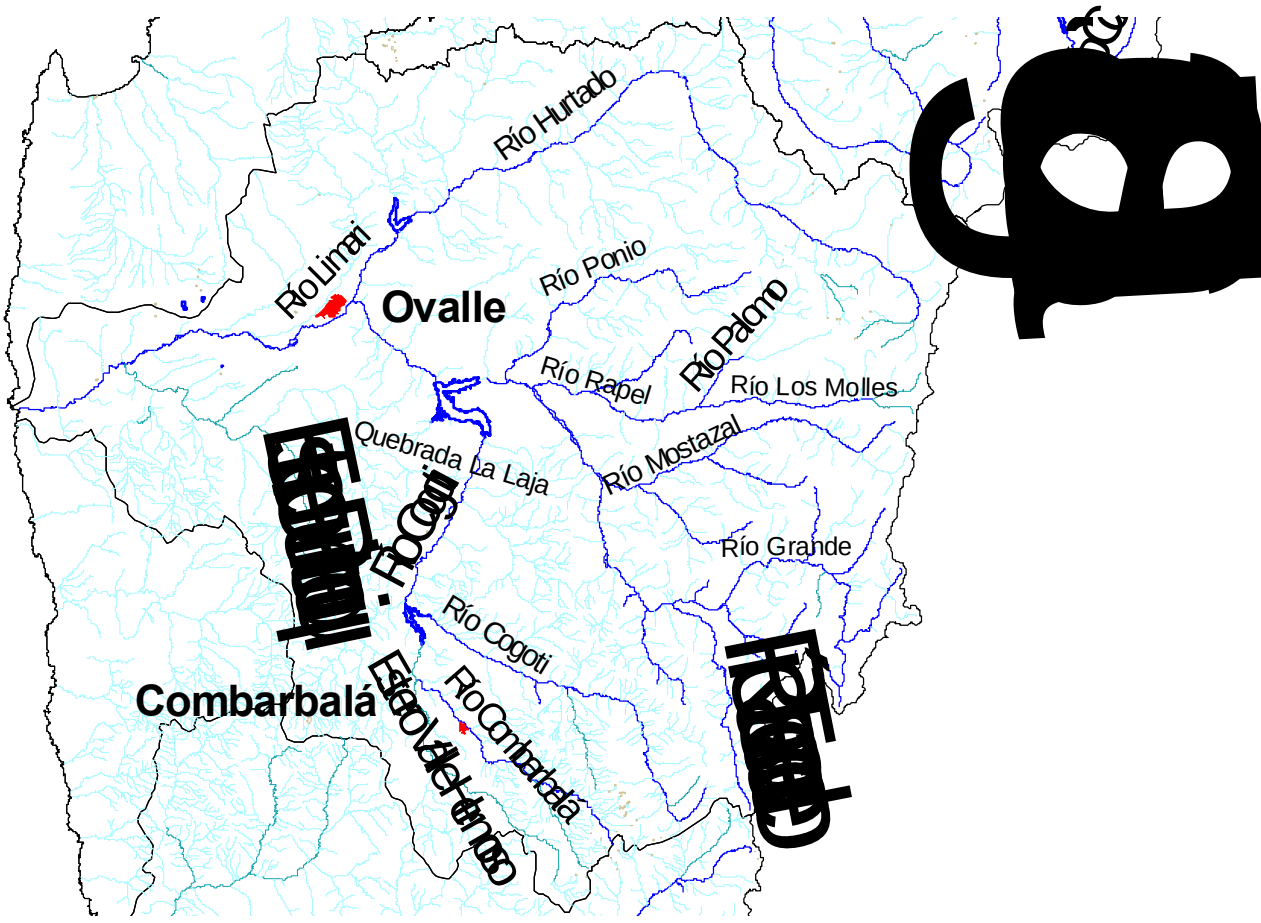
Para evitar hacer más confuso el dibujo, se han omitido en este esquema:

- la ubicación de los sistemas acuíferos que se definieron en la cuenca
- origen y destino de las percolaciones desde ríos y sectores de riego hacia los acuíferos
- origen y destino de los derrames de riego, desde sectores de riego hacia los nodos
- origen y destino de los afloramientos desde los acuíferos hacia los nodos
- las captaciones puntuales
- las descargas puntuales

Los acuíferos definidos se pueden ver en detalle en la Figura 6-6 y en la cobertura de acuíferos del SIG. Los demás aspectos se explican en detalle más adelante.

En base a la información topológica, se generan los balances internos que permiten finalmente conocer los flujos de interacción como series de tiempo.

Figura 6-1
Cuenca del Limarí para modelación



6.2.2 Estadísticas de Precipitaciones

Para contar con la información de precipitaciones requerida para las subcuencas y sectores de riego se recopilaron y analizaron las estadísticas mensuales del BNA de las estaciones Pabellón, Hurtado, Ovalle DGA, Paloma en Embalse, Carén, Las Ramadas, Cogotí 18 y Cogotí Embalse. Se trabajó con el período de años hidrológicos (abril a marzo) de 1950 a 2003. Fue necesario efectuar rellenos aislados de algunos meses sin datos aplicando al valor medio anual de ese mes el factor que resulta de dividir la lluvia de ese mes en otra estación por su valor medio anual.

Para verificar la homogeneidad de las series se aplicó el método de las curvas doble acumuladas calculando un patrón con el promedio de las lluvias anuales de las seis estaciones Ovalle DGA, Paloma en Embalse, Carén, Las Ramadas, Cogotí 18 y Cogotí Embalse. Las estaciones de Pabellón y Hurtado mostraron demasiadas inconsistencias y se excluyeron del análisis.

El análisis de las curvas doble acumuladas permitió detectar varias tendencias, caracterizadas, como es usual, por sus tangentes, y obtener los factores de corrección para homogeneizar hacia la tendencia del último período que termina en 2003.

Las tangentes o pendientes de cada período y los factores de corrección se muestran en el Cuadro 6-5 mientras que las curvas se incluyen en las Figuras 6-3 y 6-4. Las estadísticas corregidas se presentan en el Anexo Digital IV.

Cuadro 6-5
Tangentes y factores de corrección

Las Ramadas		
Periodo	Tan	Factor
03 a 78	1.722	1.000
78 a 62	1.487	1.158
62 a 50	1.199	1.436

Cogoti18		
Periodo	Tan	Factor
03 a 62	0.998	1.000
62 a 50	1.170	0.853

Cogoti embalse		
Periodo	Tan	Factor
03 a 78	0.948	1.000
78 a 50	0.990	0.958

Ovalle DGA		
Periodo	Tan	Factor
03 a 78	0.583	1.000
78 a 50	0.638	0.914

Paloma embalse		
Periodo	Tan	Factor
03 a 78	0.729	1.000
78 a 50	0.807	0.903

Caren		
Periodo	Tan	Factor
03 a 78	1.034	1.000
78 a 50	1.117	0.926

Figura 6-3
Curvas Doble Acumuladas Ovalle y otras

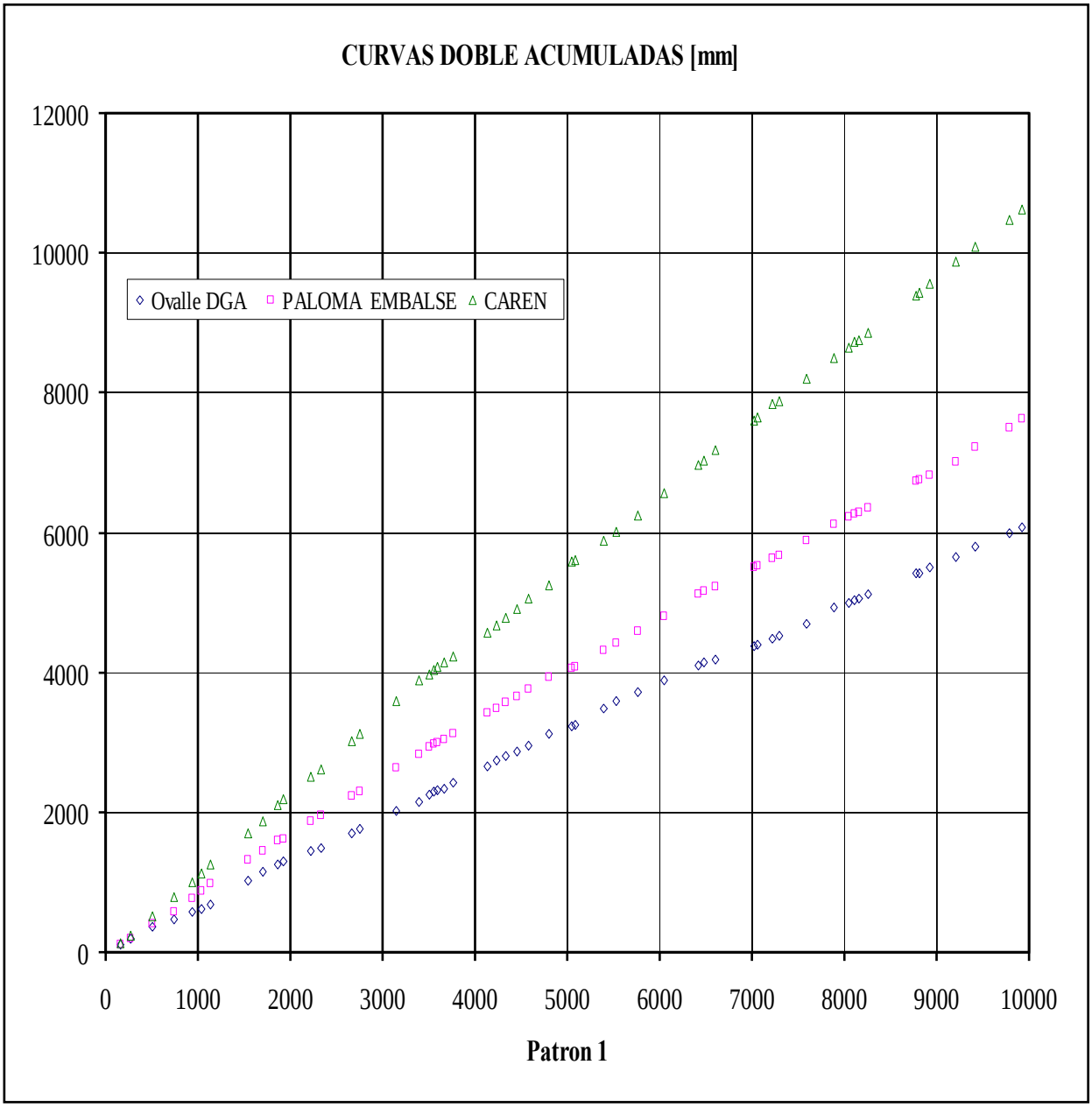
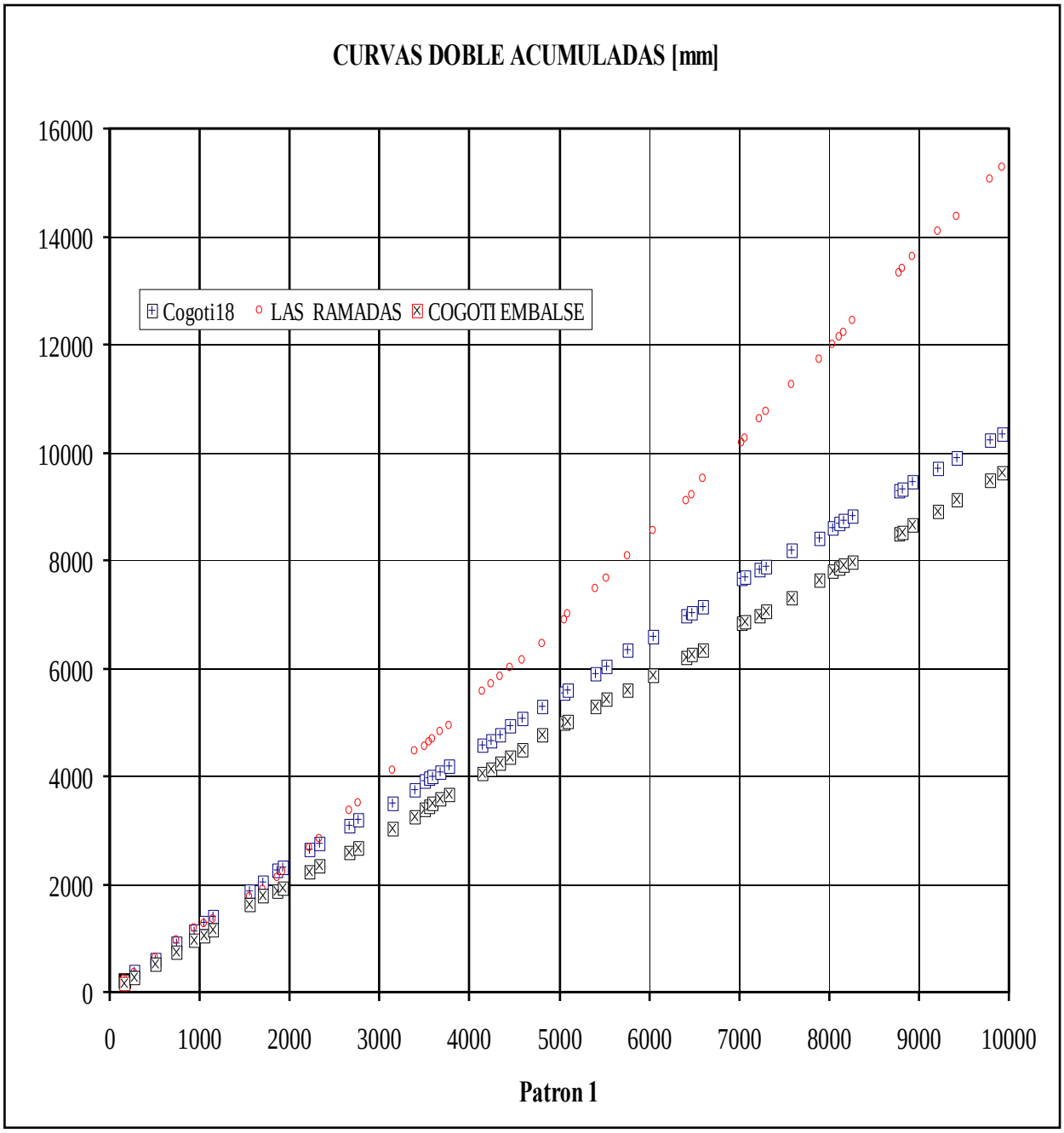


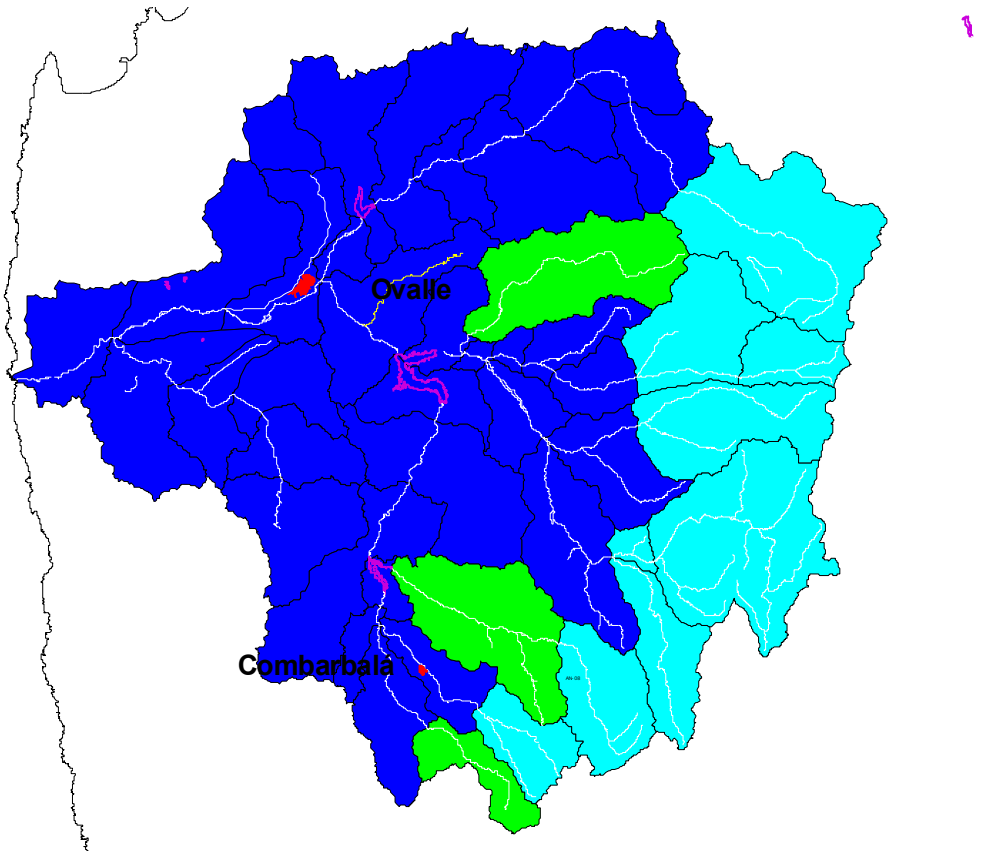
Figura 6-4
Curvas doble acumuladas Cogotí 18 y otras



6.2.3 Subcuencas aportantes de caudal

La definición de los nodos para la modelación determina cada una de las subcuencas aportantes del sistema. En base a la escorrentía que se mide en las subcuencas controladas, ya sean nivales o pluviales, se hace una estimación de los aportes de todas las demás subcuencas. Es importante señalar que los aportes de las cuencas que generan los aportes cuantitativamente más importantes, están todos controlados con estaciones fluviométricas. En la Figura 6-5 se muestra la configuración de las subcuencas resultantes para la cuenca del Limarí, distinguiendo entre nivales (en celeste), mixtas (en verde) y pluviales (en azul).

Figura 6-5
Subcuencas aportantes a la cuenca del Limarí



a) Estadísticas de cabecera

Los caudales de cabecera de las cuencas se obtuvieron del Anexo 4 de la Memoria de Ingeniero Civil de C. Alfaro y C. Honores de la Universidad de La Serena para el período 1950 a 1998 y se completaron con los datos del BNA hasta 2003.

Las estadísticas de las cuencas de cabecera, que se consideran en régimen natural aunque existe influencia de riego pero menor, son las siguientes: Hurtado en San Agustín, Molles en Ojos de Agua, llevada a régimen natural agregándole el caudal captado por la central Los Molles, Mostazal en Cuestecita, Grande en Las Ramadas, Tascadero en Desembocadura, Cogotí en Fragüita, y Combarbalá en Ramadillas.

Para verificar la homogeneidad de las series de cabecera se calcularon las curvas doble acumuladas de los caudales medios anuales expresados como lámina de agua en [mm] usando un patrón igual al promedio de las series analizadas. Expresar los caudales medios anuales como lámina de agua permite detectar valores anómalos, como es el caso de Combarbalá en Ramadillas en el año 1987 que muestra una escorrentía anual de 1867 mm, cifra que exige una lluvia anual superior a los 2000 mm, que es poco probable que haya ocurrido.

En el Cuadro 6-6 se incluyen dichas series anuales junto con las áreas de las cuencas.

Las estadísticas mensuales de caudales de cabecera se incluyen en el Anexo Digital IV.

Cuadro 6-6
Series anuales de caudales

Escorrentía anual de estaciones de cabecera del río Limarí [mm]
AÑOS HIDROLOGICOS ABR A MAR

Area km2	671.9	158.8	195.7	535.0	241.3	475.0	113.0	157.1		
	HSA	MOA	MCH	GRAM	TASC	CGF	CombRam	PVH	PatYuv	PatEsc
1950	83.1	125.0	192.5	195.4	119.3	145.2	264.6	106.9	167.8	154.0
1951	56.8	90.4	109.6	128.8	55.1	100.1	163.4	66.0	114.0	96.3
1952	84.9	119.7	178.9	185.2	109.4	139.0	235.2	95.0	234.6	143.4
1953	200.0	273.0	549.8	483.8	397.4	341.0	565.9	228.7	240.2	380.0
1954	104.1	145.3	248.0	242.3	164.5	168.7	242.1	97.8	201.2	176.6
1955	53.1	83.8	94.1	116.9	43.6	83.7	136.4	55.1	101.6	83.3
1956	41.5	69.7	60.0	88.8	16.5	74.3	138.2	55.8	97.5	68.1
1957	172.8	233.9	451.5	405.6	320.9	276.2	638.5	258.0	406.7	344.7
1958	76.7	109.1	157.0	168.1	93.0	128.6	225.6	91.1	154.6	131.1
1959	92.4	114.6	200.4	203.1	126.7	147.7	181.5	73.3	165.4	142.4
1960	70.0	95.0	99.1	154.4	79.7	106.7	151.5	61.2	62.3	102.2
1961	89.5	129.2	180.1	279.3	127.1	221.6	626.1	253.0	312.0	238.2
1962	60.2	90.8	76.6	133.4	55.8	98.3	178.2	72.0	111.2	95.7
1963	137.1	200.6	276.3	422.4	292.7	301.0	615.2	248.6	333.0	311.7
1964	73.3	130.4	87.4	148.7	59.6	111.5	148.8	60.1	94.0	102.5
1965	228.9	320.7	548.0	700.6	368.2	444.2	695.1	280.9	388.0	448.3
1966	93.8	166.6	121.3	299.7	127.0	204.0	282.5	114.1	240.4	176.1
1967	50.4	94.5	75.0	104.3	47.9	88.6	149.9	60.6	111.0	83.9
1968	32.0	58.8	15.9	53.2	13.8	52.2	132.8	53.7	51.0	51.5
1969	33.8	54.1	12.4	84.1	14.9	68.7	131.1	53.0	36.8	56.5
1970	28.9	48.1	25.4	61.0	13.5	56.0	131.6	53.2	78.1	52.2
1971	27.4	47.0	27.2	57.5	13.4	51.9	133.3	53.8	96.8	51.4
1972	202.7	306.1	360.7	503.9	491.2	334.4	719.9	290.9	376.2	401.2
1973	94.7	122.2	128.8	158.3	65.7	86.7	153.9	62.2	93.2	109.1
1974	58.8	78.8	62.4	111.1	43.6	51.6	146.6	59.2	98.5	76.5
1975	48.1	67.8	48.3	95.4	48.4	56.1	145.5	58.8	119.6	71.1
1976	51.9	81.3	51.1	87.8	57.5	58.8	155.8	63.0	124.9	75.9
1977	128.2	156.3	176.6	405.2	232.5	268.2	445.1	179.9	222.1	249.0
1978	174.3	237.5	535.0	416.0	458.8	313.8	670.7	271.0	250.5	384.6
1979	89.4	106.9	117.4	179.6	60.1	112.5	145.3	58.7	40.3	108.7
1980	141.9	214.6	353.5	372.5	314.3	229.5	299.0	120.8	306.7	255.8
1981	69.2	98.3	114.5	145.6	36.1	105.5	155.5	62.8	130.3	98.4
1982	147.7	218.9	414.9	420.2	697.9	309.9	718.8	290.5	233.5	402.4
1983	200.2	257.8	414.2	462.6	406.8	295.2	557.1	225.1	284.9	352.4
1984	265.9	279.2	741.7	699.1	595.4	441.8	934.5	377.6	367.3	541.9
1985	100.1	136.7	169.4	149.1	62.3	64.5	158.9	64.2	61.9	113.2
1986	92.1	106.7	90.9	166.1	141.3	121.1	212.2	85.8	125.8	127.0
1987	314.5	355.4	681.8	921.4	824.5	528.2	1867.0	754.4	427.5	780.9
1988	99.1	138.4	135.3	167.3	161.4	75.4	164.5	66.5	37.5	126.0
1989	71.9	107.9	120.8	162.6	128.7	123.4	208.2	84.1	158.2	125.9
1990	59.6	73.9	71.5	95.6	36.4	43.1	155.1	62.7	70.6	74.7
1991	134.3	168.2	235.4	301.8	313.2	213.8	324.6	131.2	290.1	227.8
1992	180.6	249.7	357.0	341.2	311.8	224.5	351.9	142.2	301.1	269.9
1993	82.8	130.2	154.6	201.7	161.5	133.2	236.9	95.7	157.4	149.6
1994	64.1	98.0	107.0	132.9	51.0	32.2	159.0	64.3	71.8	88.6
1995	43.1	64.7	35.3	54.9	25.9	26.6	128.0	51.7	44.5	53.8
1996	35.1	49.6	34.6	50.0	39.9	48.4	138.2	55.8	99.4	56.4
1997	298.7	346.1	674.1	727.2	830.8	488.5	765.4	309.3	518.2	555.0
1998	113.9	123.5	174.4	176.2	79.0	103.5	193.3	78.1	31.7	130.2
1999	73.8	96.2	154.8	112.8	53.0	56.1	38.8	4.7	121.0	73.8
2000	125.9	163.8	379.2	259.9	208.8	197.5	229.5	74.9	277.0	205.0
2001	125.9	158.0	303.2	223.8	136.8	135.2	124.0	44.8	211.4	156.5
2002	316.7	407.6	746.4	606.3	377.2	388.3	557.5	233.4	374.6	454.1
2003	141.6	178.9	239.8	212.0	79.2	73.0	34.4	11.0	135.7	121.2

b) Estaciones de calibración

Las estadísticas de los demás controles existentes se prepararon para su posterior empleo en el proceso de contraste con los resultados y calibración del modelo de operación del sistema. Las estadísticas de calibración son las siguientes: Mostazal en Carén, Rapel en Junta, Pama en Valle Hermoso, Huatulame en El Tome, Hurtado en Angostura de Pangue, Punitaqui antes junta Limarí y Limarí en Panamericana.

c) Generación de caudales

Los aportes de las cuencas sin control se han obtenido por transposición de los datos de una o más estadísticas de cabecera consideradas como estación base, o en base a un modelo de generación de escorrentía pluvial.

i) Generación de caudales en subcuencas nivales y mixtas

Se consideraron como cuencas nivales, en primera instancia, las que tienen más del 20% de su área sobre la cota 2000 msnm. Posteriormente se ajustó este criterio cuando la realidad mostraba la necesidad de hacerlo.

Las subcuencas definidas como nivales y mixtas, cuyos aportes debían ser generados, fueron obtenidas mediante la transposición de los caudales medidos en alguna subcuenca controlada, que dispusiera de información en el período de simulación, cercana y de régimen hídrico similar. Los coeficientes de transposición corresponden al cuociente entre los caudales generados mediante el método CICA en la subcuenca a generar y la subcuenca asociada a la estación base.

Las subcuencas cuyos caudales se generaron a partir de cuencas nivales o mixtas, y los parámetros utilizados, son los que se muestran en el Cuadro 6-7 siguiente:

Cuadro 6-7
Parámetros para generación de subcuencas nivales y mixtas

Subcuenca	Régimen	Área	Factor	Estación Base
AN-05a *	Nival	265.368	0.299	Grande en Las Ramadas
AN-06a *	Nival	78.358	0.164	Cogotí en Fraguita
CL-01	Nival	41.461	0.035	Tascadero en Desembocadura
CL-05	Nival	352.060	1.524	Molles en Ojos de Agua
CL-14a *	Nival	157.814	0.243	Cogotí en Fraguita

(*) Parte nival de la subcuenca mencionada.

ii) Generación de caudales en subcuencas pluviales

Para las cuencas sin control que son de régimen pluvial, se aplicó el modelo pluvial denominado MQM, o MPL actualizado en la DGA, con un juego inicial de parámetros obtenido de su calibración en el valle de Aconcagua. Los valores de los parámetros que se presentan en el Cuadro 6-8 anterior, son los parámetros resultantes después de todos los ajustes que se hicieron durante la calibración.

Cuadro 6-8
Parámetros calibrados para generación de caudales en cuencas pluviales

Subc	NA	AREA	Si	Ezi	A	B	Pmin	Hmax	K	FC	ALFA	Smin	Scrit	Scc
AN-05b	14	229,258	0,01	0,01	1,943	1,023	0,001	600	120	8	62	0,23	0,805	0,974
AN-06b	14	78,744	0,01	0,01	1,757	0,884	0,010	400	120	6	62	0,23	0,805	0,974
AN-10	14	118,025	0,01	0,01	1,457	1,092	0,150	600	120	8	62	0,23	0,805	0,974
AN-11	14	303,427	0,01	0,01	1,574	1,055	0,025	600	120	8	62	0,23	0,805	0,974
CL-02	14	385,700	0,01	0,01	1,422	1,037	0,050	600	120	8	20	0,23	0,805	0,974
CL-03	14	247,437	0,01	0,01	1,434	1,032	0,050	600	120	8	20	0,23	0,805	0,974
CL-04	14	167,295	0,01	0,01	1,031	0,846	0,050	600	120	8	20	0,23	0,805	0,974
CL-06	14	133,381	0,01	0,01	1,093	1,041	0,050	600	120	8	20	0,23	0,805	0,974
CL-07	14	144,605	0,01	0,01	1,537	0,845	0,050	600	120	8	20	0,23	0,805	0,974
CL-08	14	32,199	0,01	0,01	1,071	0,846	0,050	600	120	8	20	0,23	0,805	0,974
CL-09	14	22,485	0,01	0,01	1,031	0,846	0,050	600	120	8	20	0,23	0,805	0,974
CL-10	14	141,746	0,01	0,01	1,461	1,023	0,050	600	120	8	20	0,23	0,805	0,974
CL-11	14	225,775	0,01	0,01	1,365	1,007	0,010	400	120	6	62	0,23	0,805	0,974
CL-12	14	160,582	0,01	0,01	1,329	1,030	0,010	400	120	4	10	0,23	0,805	0,974
CL-13	14	63,823	0,01	0,01	1,119	1,011	0,010	400	120	4	10	0,23	0,805	0,974
CL-14b	14	311,541	0,01	0,01	1,210	1,030	0,030	600	120	8	62	0,23	0,805	0,974
CL-15	14	58,478	0,01	0,01	1,119	1,027	0,010	400	120	4	10	0,23	0,805	0,974
CL-16	14	396,869	0,01	0,01	1,073	0,892	0,100	600	120	8	62	0,23	0,805	0,974
CL-17	14	452,095	0,01	0,01	1,113	0,925	0,100	600	120	8	62	0,23	0,805	0,974
CL-18	14	176,959	0,01	0,01	1,439	0,864	0,088	600	120	8	62	0,23	0,805	0,974
CL-19	14	395,644	0,01	0,01	1,413	0,850	0,100	600	120	8	62	0,23	0,805	0,974
CL-20	14	208,591	0,01	0,01	1,910	0,883	0,050	600	120	8	62	0,23	0,805	0,974
CL-21	14	204,390	0,01	0,01	1,879	0,941	0,050	600	120	8	62	0,23	0,805	0,974
CL-22	14	230,272	0,01	0,01	1,825	0,940	0,050	600	120	8	62	0,23	0,805	0,974
CL-23	14	396,056	0,01	0,01	2,130	0,934	0,050	600	120	8	62	0,23	0,805	0,974
CL-24	14	120,528	0,01	0,01	2,020	0,941	0,050	600	120	8	62	0,23	0,805	0,974
CL-25	14	425,768	0,01	0,01	1,880	1,266	0,050	600	120	8	62	0,23	0,805	0,974
CL-26	14	320,952	0,01	0,01	1,606	1,225	0,001	600	120	8	62	0,23	0,805	0,974
CL-27	14	65,824	0,01	0,01	1,620	1,154	0,010	600	120	8	62	0,23	0,805	0,974
CL-28	14	281,562	0,01	0,01	1,510	1,001	0,192	600	120	8	62	0,23	0,805	0,974
CL-29	14	410,027	0,01	0,01	1,339	1,058	0,150	600	120	8	62	0,23	0,805	0,974
CL-30	14	196,712	0,01	0,01	1,062	1,053	0,025	600	120	8	62	0,23	0,805	0,974
CL-31	14	192,432	0,01	0,01	1,028	1,037	0,025	600	120	8	62	0,23	0,805	0,974
CL-32	14	196,696	0,01	0,01	0,909	1,078	0,025	600	120	8	62	0,23	0,805	0,974
CL-33	14	405,501	0,01	0,01	0,802	1,022	0,025	600	120	8	62	0,23	0,805	0,974
CL-34	14	261,559	0,01	0,01	1,006	0,979	0,000	600	120	8	62	0,23	0,805	0,974

(**) Parte pluvial de la subcuenca mencionada.

6.2.4 Aguas subterráneas

a) Definición de acuíferos

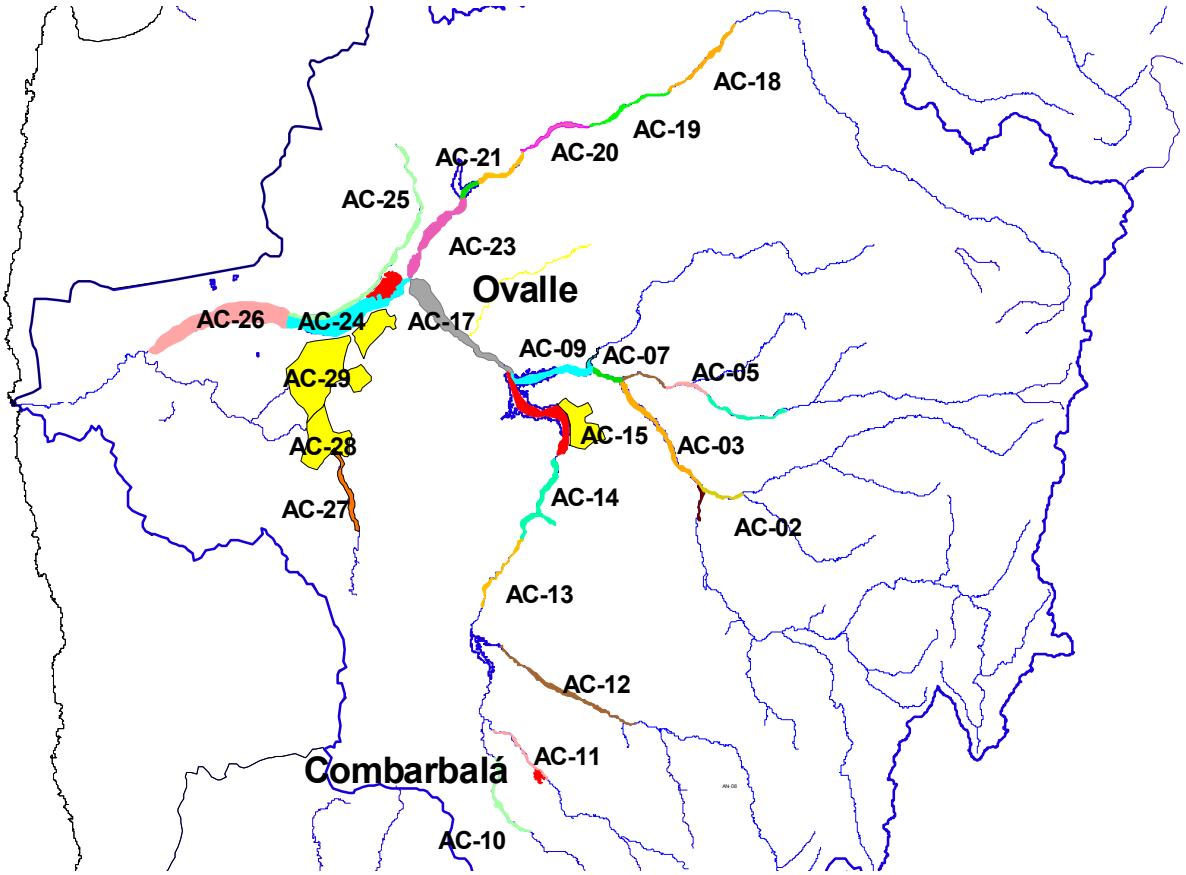
Los límites de los acuíferos se trazaron en función de la caracterización de depósitos geológicos que se hizo con ocasión del estudio "Investigación de recursos hidráulicos de la IVª Región, CHI-535", de 1979. En dicho estudio se identificó para toda la cuenca, la geología de superficie y se determinó las características hidrogeológicas de los depósitos que presentaran alguna característica de acuífero. De todos los depósitos caracterizados, en el presente estudio se asumieron como acuíferos propiamente tales los depósitos fluviales actuales y los depósitos de terraza fluvial inferior del cuaternario reciente. Sin embargo, como hay una gran cantidad de norias y pozos en algunas terrazas más antiguas, se incluyó también éstas, que corresponden a depósitos de terraza mayor del cuaternario antiguo, como depósitos acuíferos (en la figura en amarillo). Los acuíferos considerados para la modelación se presentan en la Figura 6-6.

Los parámetros que permiten caracterizar los acuíferos del sistema se obtuvieron de dos fuentes: tanto del estudio arriba citado, como de una revisión de la información básica contenida en todos los expedientes aprobados de solicitudes de derechos ingresados a la DGA. Estos últimos son 150 expedientes, de los cuales 50 tienen pruebas de bombeo.

Los parámetros de espesor saturado, conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento con los que se logró calibrar el modelo MAGIC, son los que se presentan en el Cuadro 6-9.

La elevación del nivel piezométrico se obtuvo de los datos registrados en los pozos de la red de monitoreo de aguas subterráneas de la DGA. La historia de niveles de esos pozos se muestra en la Figura 6-11 del Capítulo 6.3. Los gradientes hidráulicos se calcularon en función de esos valores, y se presentan también en el Cuadro 6-9

Figura 6-6
Acuíferos definidos para la modelación



Cuadro 6-9
Parámetros acuíferos Limarí

Código	Nombre	Volumen inicial simulación (Mm3)	Coeficiente de alm. S (º/1)	Espesor saturado estrato 1 (m)	Espesor saturado estrato 2 (m)	Espesor saturado total (m)	Coef. Perm. entrada ke (m/mes)	Coef. Perm. Salida ks (m/mes)	Gradiente entrada ie (º/1)	Gradiente salida is (º/1)
AC-01	Grande sobre Mostazal	1,73	0,14	10	0	10	6000	6000	0,0206	0,0182
AC-02	Mostazal sobre Grande	2,63	0,14	10	0	10	6000	6000	0,0227	0,0182
AC-03	Grande entre Mostazal y Rapel	13,25	0,08	10	10	20	6000	6000	0,0182	0,0132
AC-04	Rapel bajo junta Palomo Molle	4,76	0,14	10	0	10	6000	6000	0,0251	0,0205
AC-05	Rapel entre Tomes y Grande	2,60	0,14	10	0	10	6000	4800	0,0205	0,0327
AC-06	Rapel antes junta Grande	1,94	0,08	10	5	15	3600	3600	0,0327	0,0132
AC-07	Grande bajo junta Rapel	3,49	0,08	10	10	20	4000	4000	0,0132	0,0101
AC-08	Ponio	1,59	0,14	10	0	10	6000	6000	0,0357	0,0101
AC-09	Grande sobre Paloma	26,34	0,089	20	15	35	2200	2200	0,0101	0,0094
AC-10	Pama	3,18	0,14	6	0	6	6000	6000	0,0194	0,0108
AC-11	Combarbalá	2,42	0,044	5	0	5	6000	6000	0,0184	0,0088
AC-12	Cogoti	3,72	0,056	5	7	12	6000	6000	0,0367	0,0125
AC-13	Huatulame	2,73	0,09	7	5	12	6000	6000	0,0064	0,0057
AC-14	Huatulame	14,94	0,065	12	20	32	2000	1000	0,0057	0,0833
AC-15	El Palqui	18,96	0,037	5	30	35	400	200	0,0301	0,0251
AC-16	Huatulame Tome Embalse Paloma	33,92	0,071	15	20	35	900	400	0,0131	0,0094
AC-17	Grande entre Embalse Paloma Hurtado	58,95	0,06	15	30	45	400	4000	0,0094	0,0093
AC-18	Hurtado tercera sección	5,91	0,14	10	0	10	6000	6000	0,0214	0,0142
AC-19	Hurtado cuarta sección	4,64	0,14	10	0	10	6000	6000	0,0142	0,0142
AC-20	Hurtado quinta sección	6,63	0,088	13	5	18	6000	6000	0,0142	0,0107
AC-21	Hurtado quinta sección	5,55	0,088	13	10	23	4800	4800	0,0088	0,0097
AC-22	Embalse Recoleta	3,60	0,088	13	10	23	4800	400	0,0097	0,0077
AC-23	Hurtado entre Recoleta Grande	33,08	0,06	15	30	45	400	2000	0,0077	0,0102
AC-24	Limarí Ovalle	91,83	0,048	15	50	65	2200	2000	0,0051	0,0036
AC-25	Quebrada Ingenio	36,46	0,071	15	20	35	3000	3000	0,0076	0,0036
AC-26	Limarí Ovalle Panamericana	119,40	0,048	15	50	65	2000	2000	0,0036	0,0031
AC-27	Punitaqui alto	9,06	0,14	5	0	5	3200	3200	0,0141	0,0066
AC-28	Graneros	19,56	0,02	0	36	36	1600	400	0,0066	0,0045
AC-29	Camarico	50,39	0,02	0	43	43	400	400	0,0071	0,0083
AC-30	La Chimba	9,79	0,02	0	33	33	400	200	0,0404	0,0501

b) Pozos

La información relacionada con los pozos del sistema, se obtuvo de los registros de derechos otorgados y en trámite de la DGA Regional y de la DGA Central. Esos antecedentes fueron procesados, comparados entre sí y depurados, para evitar la repetición de datos. El listado completo y depurado de pozos se presenta en el Anexo Digital V del presente informe.

Para la modelación del Limarí, se consideró que todas las solicitudes aprobadas y en trámite son derechos comprometidos, salvo en el río Huatulame, donde desde aproximadamente agosto de 2003 no se están constituyendo nuevos derechos, debido a problemas de interferencia río-acuífero.

Para los diferentes usos se definieron factores de uso, que se muestran en el Cuadro 6-10.

Cuadro 6-10
Factores de uso

Código	Nombre	Factor de Uso, [º/1]	Observaciones
US-01	Riego	1	no se usa cuando se bombea el déficit
US-02	Potable	1	estadística de uso efectivo
US-03	Minero	0,25	
US-04	Industrial	0,25	

El factor de uso para el uso de riego no se aplica, pues se ha trabajado con la opción de bombear sólo el déficit que queda después de usar las aguas superficiales disponibles.

Para el agua potable, tanto rural como urbana, se ingresa en la tabla de caudales, los caudales efectivamente usados, de modo que el factor de uso es igual a uno.

En cuanto al uso minero, el factor de uso se aplica a aquellas instalaciones para las cuales no se ha podido obtener datos. De acuerdo con el Informe de Experto presentado en el Anexo II, la minería en la cuenca del Limarí se reduce a la pequeña minería, con excepción de la minera Panulcillo. Panulcillo extrae su agua fundamentalmente desde pozos que están fuera de la cuenca del Limarí, y usa agua de canales, que están consideradas dentro de las aguas superficiales. Las restantes empresas mineras, distribuidas en toda la cuenca del Limarí consumirían en total entre todas un caudal subterráneo permanente y continuo de unos 13 l/s, lo que se considera despreciable. Por esta razón, no aparece el uso minero en el Cuadro 6-11.

Para las industrias, no se pudo obtener información acerca del factor real de uso, de modo que se usó un valor convencional que también se usa en la DGA, y que es de 0,25.

En el Cuadro 6-11 se presenta el resumen de los derechos, asociados a cada tipo de uso, por sector de análisis del modelo MAGIC.

Cuadro 6-11
Pozos agregados por tipo de uso y por acuífero, para modelación con MAGIC

Código	Acuífero	Objeto Destino	Uso	Qb max, (m3/s)	Info
PO-001	AC-01	N/A	US-02	0.02	APR
PO-002	AC-02	N/A	US-02	0.03	APR
PO-003	AC-03	N/A	US-02	0.034	APR
PO-004	AC-04	N/A	US-02	0.038	APR
PO-005	AC-05	N/A	US-02	0.02	APR
PO-006	AC-06	ZR-08	US-01	0.03	Riego
PO-007	AC-06	N/A	US-02	0.011	APR
PO-008	AC-07	N/A	US-02	0.008	APR
PO-009	AC-09	N/A	US-02	0.027	APU Monte Patria
PO-010	AC-10	ZR-11	US-01	0.035	Riego
PO-011	AC-10	N/A	US-04	0.016	Industrial
PO-012	AC-11	ZR-12	US-01	0.023	Riego
PO-013	AC-11	N/A	US-02	0.005	APU Combarbalá
PO-014	AC-12	ZR-13	US-01	0.001	Riego
PO-015	AC-12	N/A	US-02	0.042	APR
PO-016	AC-13	N/A	US-02	0.009	APR
PO-017	AC-14	ZR-15	US-01	0.112	Riego
PO-018	AC-14	N/A	US-02	0.036	APU Chañaral
PO-019	AC-15	N/A	US-02	0.046	APU El Palqui
PO-020	AC-15	ZR-17	US-01	0.161	Riego
PO-021	AC-15	N/A	US-04	0.04	Industrial
PO-022	AC-16	ZR-17	US-01	0.113	Riego
PO-023	AC-17	ZR-18	US-01	0.01	Riego
PO-024	AC-17	ZR-20	US-01	0.006	Riego
PO-025	AC-17	ZR-21	US-01	0.003	Riego
PO-026	AC-17	N/A	US-02	0.043	APU Sotaquí
PO-027	AC-18	ZR-24	US-01	0.007	Riego
PO-028	AC-18	N/A	US-02	0.007	APR
PO-029	AC-19	ZR-25	US-01	0.021	Riego
PO-030	AC-19	N/A	US-02	0.022	APR
PO-031	AC-20	N/A	US-02	0.008	APR
PO-032	AC-21	N/A	US-02	0.006	APR
PO-033	AC-23	N/A	US-02	0.015	APU Huamalata
PO-034	AC-23	N/A	US-04	0.009	Industrial
PO-035	AC-24	ZR-38	US-01	0.17	Riego
PO-036	AC-25	ZR-39	US-01	0.007	Riego
PO-037	AC-25	ZR-40	US-01	0.482	Riego
PO-038	AC-25	N/A	US-02	0.016	APR
PO-039	AC-26	ZR-41	US-01	0.45	Riego
PO-040	AC-26	N/A	US-02	0.032	APR
PO-041	AC-27	ZR-36	US-01	0.044	Riego
PO-042	AC-27	N/A	US-02	0.01	APU Punitaqui
PO-043	AC-28	ZR-35	US-01	0.06	Riego
PO-044	AC-28	ZR-36	US-01	0.1	Riego
PO-045	AC-28	N/A	US-02	0.01	APR
PO-046	AC-28	N/A	US-04	0.045	Industrial
PO-047	AC-29	N/A	US-02	0.013	APR
PO-048	AC-29	ZR-32	US-01	0.155	Riego
PO-049	AC-29	ZR-34	US-01	0.309	Riego
PO-050	AC-29	N/A	US-04	0.032	Industrial
PO-051	AC-30	ZR-31	US-01	0.071	Riego
PO-052	AC-30	N/A	US-04	0.02	Industrial

6.2.5 Canales

a) Trazado

La cobertura usada de base para la representación de los canales en este estudio, fue la de la CNR, que se encuentra entre las coberturas básicas, y se llama canales.shp. En base a esta cobertura se generó otra, que se llama canales_magic_limarí, donde se ha corregido, actualizado y completado toda la información en base al conocimiento adquirido tanto en terreno como de la bibliografía específica. La base de datos de esta cobertura también ha sido completada, para adaptarla a los requerimientos de modelación del modelo MAGIC.

b) Capacidades y eficiencias de canales del sistema

La información que se presenta en el Cuadro 6-12, se obtuvo del informe de Ingendesa de junio 1992 sobre el modelo de simulación del sistema Paloma, se verificó en terreno, y sirvió de base para la caracterización del sistema de canales:

Cuadro 6-12
Capacidades de canales según estudio Ingendesa

Canal	Capacidad (m3/s)	Eficiencia (º/1)
Matriz Paloma	8.0	0.93
Derivado Recoleta	3.0	0.99
Derivado Cogotí	4.35	0.70
Derivado Punitaqui	1.9	0.80
Canal Camarico	3.5	0.79
Matriz Cogotí	8.0	0.534
Canal Punitaqui	1.2	0.642
Canal Villalón	6.0	0.615
Villaseca	2.0	0.80
Tuqui	2.0	0.75
Talhuén	2.0	0.73
Sifón Tamelcura	1.2	1.00

El Cuadro 6-13 contiene todos los canales matrices finalmente incluidos en la modelación, mientras que el Cuadro 6-14 contiene los canales derivados modelados.

Cuadro 6-13
Canales matrices cuenca Limarí

Canal	Nodo Origen	Objeto Final	Destino Percolaciones	Nº canales	Cap (m3/s)	Eficiencia (º/1)	Long (km)	Observaciones
CA-01	NO-0101	ZR-01	AC-01	10	0,680	1,00	15,312	
CA-02	NO-0201	ZR-02	AC-01	3	0,292	1,00	9,351	
CA-03	NO-0103	ZR-02	AC-01	34	2,922	0,70	76,567	
CA-04	NO-0301	ZR-03	AC-02	25	3,220	0,90	72,182	
CA-05	NO-0301	CA05-1	AC-02	2	0,390	0,95	9,016	
CA-05	CA05-1	ZR-04	AC-03		0,390	0,95	3,827	
CA-06	NO-0105	ZR-04	AC-03	23	2,881	0,70	65,121	
CA-07	NO-0105	ZR-17	AC-15	1	1,300	0,75	41,247	Palqui-Maurat-Semita
CA-08	NO-0105	ZR-09	AC-07	3	0,180	0,75	6,704	
CA-09	NO-0401	ZR-05	AC-04	7	0,735	1,00	22,973	
CA-10	NO-0401	ZR-06	AC-04	1	0,143	0,70	12,297	
CA-11	NO-0501	ZR-06	AC-04	9	2,137	0,70	40,763	
CA-12	NO-0501	CA12-1	AC-04	3	0,808	0,82	9,169	
CA-12	CA12-1	ZR-07	AC-05		0,808	0,82	5,563	
CA-13	NO-0502	ZR-07	AC-05	4	0,804	0,75	14,275	
CA-14	NO-0502	CA14-1	AC-05	4	0,912	0,80	8,489	
CA-14	CA14-1	ZR-08	AC-06		0,912	0,80	19,675	
CA-15	NO-0503	ZR-08	AC-06	2	0,412	0,75	6,071	
CA-16	NO-0503	CA16-1	AC-06	1	0,153	0,80	2,424	
CA-16	CA16-1	ZR-09	AC-07		0,153	0,80	4,278	
CA-17	NO-0503	CA17-1	AC-06	1	0,396	0,82	4,485	
CA-17	CA17-1	CA17-2	AC-07		0,396	0,82	4,674	
CA-17	CA17-2	ZR-10	AC-08		0,396	0,82	2,996	
CA-18	NO-0504	ZR-09	AC-07	3	0,434	0,70	7,222	
CA-19	NO-0106	CA19-1	AC-07	1	0,250	0,75	1,633	
CA-19	CA19-1	ZR-10	AC-09		0,250	0,75	2,076	
CA-20	NO-0601	ZR-10	AC-09	2	0,349	0,70	18,742	
CA-21	NO-0107	ZR-10	AC-09	7	0,560	0,75	14,959	
CA-22	NO-0701	ZR-11	AC-10	17	2,917	0,70	39,818	
CA-23	NO-0801	ZR-12	AC-11	15	2,414	0,70	94,103	
CA-24	NO-0901	ZR-13	AC-12	22	3,073	0,70	94,764	
CA-25	NO-1001	CA25-1	AC-13	73	57,442	0,95	27,136	
CA-25	CA25-1	ZR-15	AC-14		57,442	0,95	27,709	
CA-28	NO-1001	CA28-1	AC-14	1	8,000	0,85	15,403	Canal Cogotí
CA-28	CA28-1	CA28-2	AC-15		8,000	0,85	16,445	
CA-28	CA28-2	CA28-3	AC-16		8,000	1,00	32,533	
CA-28	CA28-3	CA28-4	AC-17		8,000	0,85	36,904	
CA-28	CA28-4	ZR-30	AC-30		8,000	0,85	28,713	
CA-29	NO-1003	ZR-17	AC-16	2	0,126	0,75	4,575	
CA-30	NO-1003	ZR-16	AC-16	1	0,020	0,75	1,137	
CA-31	NO-0110	ZR-20	AC-17	2	0,821	0,70	21,498	
CA-32	NO-0110	CA32-1	AC-17	1	3,500	0,94	32,547	Camarico
CA-32	CA32-1	CA32-2	AC-30		3,500	0,94	16,77	
CA-32	CA32-2	CA32-3	AC-29		3,500	0,94	61,261	

Canal	Nodo Origen	Objeto Final	Destino Percolaciones	Nº canales	Cap (m3/s)	Eficiencia (º/1)	Long (km)	Observaciones
CA-32	CA32-3	ZR-35	AC-28		3,500	0,94	22,449	
CA-33	NO-0110	ZR-21	AC-17	1	0,650	0,93	29,818	Tamelcura
CA-34	NO-0110	CA34-1	AC-17	1	5,000	0,93	25,995	D Recoleta
CA-34	CA34-1	CA34-2	AC-25		5,000	0,93	33,629	
CA-34	CA34-2	ZR-42	AC-23		5,000	1,00	85,593	
CA-35	NO-0110	CA35-1	AC-17	1	5,300	0,93	25,995	D Cogotí
CA-35	CA35-1	CA35-2	AC-30		5,300	0,84	23,549	
CA-35	CA35-2	CA35-3	AC-29		5,300	0,84	14,979	
CA-35	CA35-3	ZR-36	AC-27		3,100	0,84	61,838	D y Canal Punitaqui
CA-36	NO-0111	ZR-38	AC-25	1	0,700	0,70	25,488	
CA-37	NO-1101	ZR-22	AC-18	18	2,173	1,00	50,236	
CA-38	NO-1101	CA38-1	AC-18	2	0,400	1,00	6,794	
CA-38	CA38-1	ZR-23	AC-18		0,400	1,00	4,833	
CA-39	NO-1102	ZR-23	AC-18	21	1,910	1,00	55,889	
CA-40	NO-1102	CA40-1	AC-18	1	0,200	1,00	2,870	
CA-40	CA40-1	ZR-24	AC-18		0,200	0,75	7,585	
CA-41	NO-1103	ZR-24	AC-18	24	1,864	0,70	63,387	
CA-42	NO-1104	ZR-25	AC-19	25	1,623	0,70	51,849	
CA-43	NO-1105	ZR-26	AC-20	7	0,76	0,70	24,603	
CA-44	NO-1106	ZR-27	AC-21	10	0,76	0,70	18,772	
CA-45	NO-1201	ZR-28	AC-23	1	2,000	0,80	24,187	Villaseca
CA-46	NO-1201	CA46-1	AC-23	1	6,000	1,00	10,711	Villalón
CA-46	CA46-1	CA46-2	AC-25		6,000	0,93	33,629	
CA-46	CA46-2	ZR-42	AC-26		6,000	1,00	85,593	
CA-47	NO-1201	CA47-1	AC-23	1	5,000	0,87	2,307	Tuqui, Angostura, Talhuén
CA-47	CA47-1	ZR-29	AC-25		1,681	0,87	16,246	Tuqui
CA-48	NO-1203	ZR-38	AC-24	7	1,580	0,85	35,227	
CA-49	NO-1203	CA49-1	AC-24	1	0,900	0,90	10,764	
CA-49	CA49-1	ZR-41	AC-25		0,900	0,90	4,372	
CA-50	NO-1301	ZR-38	AC-25	2	0,080	0,80	1,289	
CA-51	NO-1301	ZR-39	AC-25	8	0,323	0,80	8,276	
CA-52	NO-1301	ZR-40	AC-25	3	0,266	0,80	5,824	
CA-53	NO-1204	ZR-41	AC-26	20	4,886	0,80	91,108	
CA-54	NO-1401	ZR-36	AC-27	9	0,729	0,70	15,52	
CA-55	NO-1402	ZR-43	AC-28	1	0,263	0,70	3,116	
CA-56	NO-1403	ZR-43	AC-26	6	1,139	1,00	24,384	
CA-57	NO-1404	ZR-44	AC-26	11	1,686	1,00	23,697	
CA-58	NO-0106	CA28-4	AC-09		1,400	0,85	22,000	Alim Canal Cogotí
CA-59	NO-1004	ZR-16	AC-16		0,500	1,00	0,250	Bombeo desde Paloma

Cuadro 6-14
Canales derivados modelados cuenca Limarí

Código	Canal Matriz	Nodo Secundario	Obj. Final	Acuífero	Capacidad (m3/s)	% Q matriz (º/1)	Observaciones
DR05-1	CA-05	CA05-1	ZR-03	AC-02	0,149	0,38	
DR12-1	CA-15	CA12-1	ZR-06	AC-04	0,475	0,59	
DR14-1	CA-14	CA14-1	ZR-07	AC-05	0,225	0,25	
DR16-1	CA-16	CA16-1	ZR-08	AC-06	0,064	0,42	
DR17-1	CA-17	CA17-1	ZR-08	AC-06	0,163	0,41	
DR17-2	CA-17	CA17-2	ZR-09	AC-07	0,115	0,29	
DR19-1	CA-19	CA19-1	ZR-09	AC-07	0,062	0,25	
DR25-1	CA-25	CA25-1	ZR-14	AC-13	20,000	0,32	
DR28-1	CA-28	CA28-1	ZR-15	AC-14	0,928	0,12	
DR28-2	CA-28	CA28-2	ZR-17	AC-15	2,544	0,32	
DR28-3	CA-28	CA28-3	ZR-16	AC-15	2,048	0,26	
DR28-4	CA-28	CA28-4	ZR-18	AC-17	1,400	0,18	
DR32-1	CA-32	CA32-1	ZR-19	AC-17	0,161	0,05	
DR32-2	CA-32	CA32-2	ZR-33	AC-30	0,105	0,03	
DR32-3	CA-32	CA32-3	ZR-34	AC-29	2,744	0,78	
DR34-1	CA-34	CA34-1	ZR-29	AC-23	0,300	0,06	
DR34-2	CA-34	CA34-2	ZR-40	AC-25	1,250	0,25	
DR35-1	CA-35	CA35-1	ZR-37	AC-29	2,385	0,45	
DR35-2	CA-35	CA35-2	ZR-31	AC-30	0,710	0,13	
DR35-3	CA-35	CA35-3	ZR-32	AC-29	0,668	0,13	
DR38-1	CA-38	CA38-1	ZR-22	AC-18	0,188	0,47	
DR40-1	CA-40	CA40-1	ZR-23	AC-18	0,035	0,18	
DR46-1	CA-46	CA46-1	ZR-28	AC-23	0,054	0,01	
DR46-2	CA-46	CA46-2	ZR-40	AC-25	1,584	0,26	
DR47-1	CA-47	CA47-1	ZR-39	AC-25	3,319	0,66	Talhuén y Angostura
DR49-1	CA-49	CA49-1	ZR-38	AC-25	0,637	0,71	

c) Caudales

La forma en la que se obtuvieron los caudales de cada canal definido en el modelo dependió de la información disponible. Se favoreció primeramente la información de extracciones registradas por juntas de vigilancia y asociaciones de canalistas. En el caso de no estar disponible esta información, se consideró que la extracción era la misma todos los meses e igual a las acciones en l/s correspondientes. En el caso de no conocerse tampoco las acciones asociadas, en algunos casos se consideró que las extracciones debían satisfacer la máxima demanda del sector de riego y en otros, que se podía ocupar la totalidad de los recursos disponibles en el nodo.

En los casos en que se disponía de registros de extracción que consideraban más de un canal, y no se conocía el detalle de extracciones por canal, el reparto de aguas se hizo en forma proporcional a las acciones, y si no se conocían éstas, a las áreas regadas por cada canal.

El Cuadro 6-15 muestra la forma en la que se obtuvo la estadística de caudales en los canales:

Cuadro 6-15
Forma de obtener los caudales en los canales.

Código Canal	Forma de obtener caudales
CA-01	Obtenido utilizando acciones asociadas
CA-02	Obtenido utilizando acciones asociadas
CA-03	Obtenido utilizando acciones asociadas
CA-04	Obtenido utilizando acciones asociadas
CA-05	Obtenido utilizando acciones asociadas
CA-06	Obtenido utilizando acciones asociadas
CA-07	Registros de extracción disponibles
CA-08	Obtenido utilizando acciones asociadas
CA-09	Obtenido utilizando acciones asociadas
CA-10	Obtenido utilizando acciones asociadas
CA-11	Obtenido utilizando acciones asociadas
CA-12	Obtenido utilizando acciones asociadas
CA-13	Obtenido utilizando acciones asociadas
CA-14	Obtenido utilizando acciones asociadas
CA-15	Obtenido utilizando acciones asociadas
CA-16	Obtenido utilizando acciones asociadas
CA-17	Obtenido utilizando acciones asociadas
CA-18	Obtenido utilizando acciones asociadas
CA-19	Obtenido utilizando acciones asociadas
CA-20	Utiliza todo el aporte de cabecera
CA-21	Obtenido utilizando acciones asociadas
CA-22	Utiliza todo el aporte de cabecera
CA-23	Utiliza todo el aporte de cabecera
CA-24	Utiliza todo el aporte de cabecera
CA-25	Registros de extracción disponibles
CA-28	Registros de extracción disponibles
CA-29	Obtenido utilizando acciones asociadas
CA-30	Obtenido utilizando acciones asociadas
CA-31	Registros de extracción disponibles
CA-32	Registros de extracción disponibles
CA-33	Registros de extracción disponibles
CA-34	Registros de extracción disponibles
CA-35	Registros de extracción disponibles
CA-36	Registros de extracción disponibles
CA-37	Obtenido utilizando acciones asociadas
CA-38	Obtenido utilizando acciones asociadas
CA-39	Obtenido utilizando acciones asociadas
CA-40	Obtenido utilizando acciones asociadas
CA-41	Obtenido utilizando acciones asociadas
CA-42	Obtenido utilizando acciones asociadas

Código Canal	Forma de obtener caudales
CA-43	Obtenido utilizando acciones asociadas
CA-44	Obtenido utilizando acciones asociadas
CA-45	Registros de extracción disponibles
CA-46	Registros de extracción disponibles
CA-47	Registros de extracción disponibles
CA-48	Registros de extracción disponibles
CA-49	Registros de extracción disponibles
CA-50	Utiliza todo el aporte de cabecera
CA-51	Utiliza todo el aporte de cabecera
CA-52	Utiliza todo el aporte de cabecera
CA-53	Registros de extracción disponibles
CA-54	Utiliza todo el aporte de cabecera
CA-55	Obtenido en función de la demanda asociada
CA-56	Obtenido en función de la demanda asociada
CA-57	Obtenido en función de la demanda asociada
CA-58	Registros de extracción disponibles
CA-59	Registros de extracción disponibles

Los códigos de los canales 26 y 27 quedaron vacantes y no representan ningún canal del sistema.

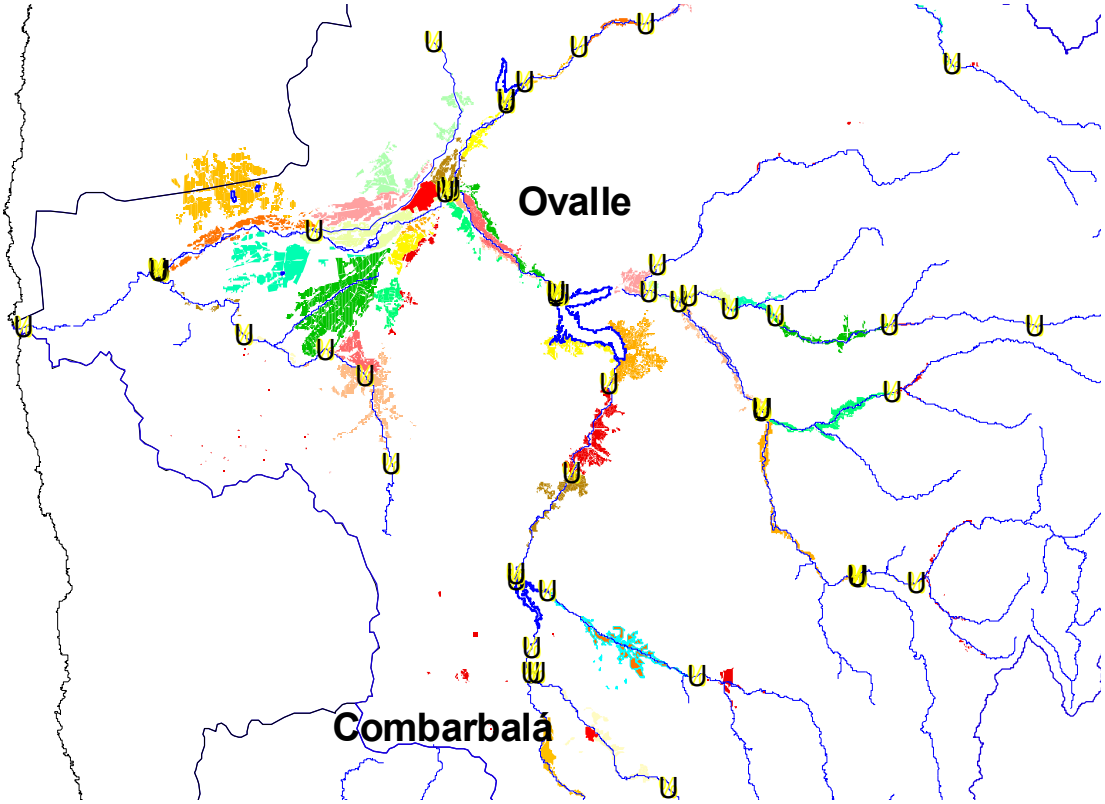
6.2.6 Zonas de riego

Las zonas de riego se presentan en la Figura 6-7. Estas zonas se definieron identificando áreas cultivadas en fotografías aéreas y en el mosaico satelital. Con la información adquirida a CIREN, complementada con la información recogida en terreno durante las campañas, con la información obtenida de estudios anteriores (Ingendesa), y además, haciendo un encuadre con la información obtenida del Censo Agrícola INE 1996/7 y con los Catastros de Vides del SAG (Catastro de Vides 2003 y Catastro Comunal 2005), se ha caracterizado, además, los cultivos y métodos de riego dentro de cada una de los sectores cultivados de la cuenca.

En relación con los estudios anteriores, el informe de Ingendesa 1992 aportó antecedentes de tipo agrológico relativos a tasas de riego por cultivo para las zonas alta, media y baja de los valles como también los porcentajes de cada uno de los 10 cultivos considerados para cada zona, información que se tomó en cuenta para la caracterización.

Para la identificación de las zonas de riego se tuvo en cuenta el sistema de canales, y las áreas regadas por cada uno de ellos, de modo de facilitar la asignación de recursos en la modelación.

Figura 6-7
Definición de zonas de riego



a) Tipos de cultivos y coeficientes kc

Los coeficientes kc se obtuvieron en una primera instancia de estudios anteriores, sin embargo, fue necesario adecuarlos a las características propias de la región. Los cultivos de la IVª Región presentan en general un desfase temporal hacia la anticipación, en relación con los mismos cultivos en la zona centro y sur del país. Es por esto que los valores de kc obtenidos en base a estudios anteriores y publicaciones FAO, se afinaron tanto en cuanto a monto como en cuanto al momento en que ocurren en la IVª Región, en base a las siguientes fuentes:

- Manual de Producción de Hortalizas. Prodecop IVª Región, FIDA, INIA, INDAP, 1998

- Fichas técnicas y de costos de establecimiento de frutales en el valle del Choapa, CNR y Gobierno Regional de Coquimbo, PROVALTT Choapa, IVª Región, Oficina técnica INIA Illapel, Abril 2003

- Manual de fichas agroeconómicas de cultivos de hortalizas para el área del proyecto PROMM canal Buseta. Francisco Meza, Oscar Campusano, Alfonso Osorio, OPEPA, INIA Intihuasi. Noviembre 1999

- Fichas técnicas y económicas de cultivos establecidos en el valle del Choapa, PROVALTT Choapa, IVª Región, Abril 2003

- Conversación personal con Ing. Agrónomo Francisco Meza, INIA Illapel

- Conversación personal con Ing. Agrónomo Leoncio Martínez, INIA La Serena

- Conversación personal con Ing. Agrónomo Katrin Stehr, de Walmaster, productor de Fertipellets

En el Cuadro 6-16, adjunto, se muestran las especies identificadas y los coeficientes de cultivo kc adoptados.

Cuadro 6-16
Coeficientes de cultivo para especies presentes en la cuenca Limarí

Cultivo	abr	may	jun	Jul	Ago	Sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar
Vid vinífera	0,50	0,00	0,00	0,00	0,45	0,75	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,80
Vid pisquera	0,50	0,00	0,00	0,00	0,45	0,75	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,80
Vid de mesa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45	0,75	0,90	0,90	0,90	0,90	0,80	0,50
Palto	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
Nogal	0,50	0,00	0,00	0,00	0,60	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90
Almendro	0,50	0,00	0,00	0,00	0,60	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90
Limonero	0,55	0,55	0,50	0,50	0,50	0,55	0,55	0,55	0,60	0,60	0,60	0,55
Pomelo	0,55	0,55	0,50	0,50	0,50	0,55	0,55	0,55	0,60	0,60	0,60	0,55
Naranjo	0,55	0,55	0,50	0,50	0,50	0,55	0,55	0,55	0,60	0,60	0,60	0,55
Mandarino	0,55	0,55	0,50	0,50	0,50	0,55	0,55	0,55	0,60	0,60	0,60	0,55
Clementina	0,55	0,55	0,50	0,50	0,50	0,55	0,55	0,55	0,60	0,60	0,60	0,55
Duraznero	0,50	0,00	0,00	0,00	0,40	0,60	0,80	1,10	1,10	1,10	1,10	0,80
Nectarino	0,50	0,00	0,00	0,00	0,40	0,60	0,80	1,10	1,10	1,10	1,10	0,80
Damasco	0,50	0,00	0,00	0,00	0,40	0,60	0,80	1,10	1,10	1,10	1,10	0,80
Lima	0,55	0,55	0,50	0,50	0,50	0,55	0,55	0,55	0,60	0,60	0,60	0,55
Lúcumo	0,55	0,55	0,50	0,50	0,50	0,55	0,55	0,55	0,60	0,60	0,60	0,55
Mango	0,55	0,55	0,50	0,50	0,50	0,55	0,55	0,55	0,60	0,60	0,60	0,55
Chirimoyo	0,70	0,65	0,65	0,70	0,70	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,70
Níspero	0,55	0,55	0,50	0,50	0,50	0,55	0,55	0,55	0,60	0,60	0,60	0,55
Tuna	0,40	0,40	0,40	0,50	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,50	0,50	0,50
Caqui	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,80	1,10	1,10	1,10	1,10	1,00	0,50
Granada	0,50	0,00	0,00	0,00	0,60	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90
Higuera	0,50	0,00	0,00	0,00	0,60	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90
Nuez Macad.	0,50	0,00	0,00	0,00	0,60	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90
Pecana	0,50	0,00	0,00	0,00	0,60	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90
Ciruelo europeo	0,50	0,00	0,00	0,00	0,40	0,60	0,80	1,10	1,10	1,10	1,10	0,80
Ciruelo japonés	0,50	0,00	0,00	0,00	0,40	0,60	0,80	1,10	1,10	1,10	1,10	0,80
Peral	0,50	0,00	0,00	0,00	0,40	0,60	0,80	1,10	1,10	1,10	1,10	0,80
Olivo	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,60	0,60	0,60	0,55

Cultivo	abr	may	jun	Jul	Ago	Sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar
Manzano	0,50	0,00	0,00	0,00	0,40	0,60	0,80	1,10	1,10	1,10	1,10	0,80
Tangelo	0,55	0,55	0,50	0,50	0,50	0,55	0,55	0,55	0,60	0,60	0,60	0,55
Membrillo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,80	1,00	1,10	1,10	1,00	1,00	0,50
Maíz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,75	0,90	1,15	1,15	0,85	0,50	0,00
Porotos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35	0,70	1,00	0,80	0,60	0,00	0,00	0,00
Papas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,75	0,90	1,15	1,15	0,85	0,50	0,00
Tomates	0,00	0,00	0,00	0,45	0,75	1,20	0,85	0,80	0,60	0,00	0,00	0,00
Alcachofa	0,60	0,60	0,60	0,60	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60
Morrón	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45	0,75	1,20	1,20	1,20	0,80	0,40
Pepino Dulce	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,56	0,73	1,00	0,92	0,77	0,60
Trigo	0,00	0,00	0,30	0,40	0,60	0,80	0,90	1,10	0,80	0,30	0,00	0,00

b) Métodos de riego

Las eficiencias de aplicación de los métodos de riego se obtuvieron de la Ref: INIA Intihuasi, Proyecto PROMM-IV Región, Cartilla Divulgativa Nº10, 1997. Los valores son los que se presentan en el Cuadro 6-17.

Cuadro 6-17
Eficiencia de aplicación para diferentes métodos de riego en la cuenca Limarí

Método de Riego	Código MR	Eficiencia
TENDIDO	MR-01	0,30
SURCO	MR-02	0,45
TAZAS	MR-03	0,65
CURVA DE NIVEL	MR-04	0,50
PLATABANDA	MR-05	0,58
GOTEO	MR-06	0,90
ASPERSION	MR-07	0,75
MICROASPERSION	MR-08	0,85
CINTAS	MR-06	0,90
BORDES	MR-04	0,50

c) Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración potencial en cada sector de riego se obtuvo del estudio "Atlas Agroclimático de Chile, Regiones IV a IX", CIREN, Marzo 1990. En dicho estudio, se presentan valores agregados por cuenca, para la temporada diciembre-febrero. Estos valores se distribuyeron en forma proporcional a las mediciones de evaporación de bandeja durante esos meses, y se completaron para todo el año de la misma forma. En el Cuadro 6-18 se presentan los valores resultantes.

Cuadro 6-18
Evapotranspiración potencial por zona de riego (mm)

Código ZR	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar
ZR-01	122	112	62	79	96	105	150	143	180	171	159	157
ZR-02	122	112	62	79	96	105	150	143	180	171	159	157
ZR-03	122	112	62	79	96	105	150	143	180	171	159	157
ZR-04	122	112	62	79	96	105	150	143	180	171	159	157
ZR-05	122	112	62	79	96	105	150	143	180	171	159	157
ZR-06	122	112	62	79	96	105	150	143	180	171	159	157
ZR-07	122	112	62	79	96	105	150	143	180	171	159	157
ZR-08	122	112	62	79	96	105	150	143	180	171	159	157
ZR-09	89	59	38	37	55	79	122	150	181	184	155	132
ZR-10	82	55	35	34	51	73	113	139	167	170	143	121
ZR-11	127	117	65	82	100	109	156	149	187	178	166	163
ZR-12	127	117	65	82	100	109	156	149	187	178	166	163
ZR-13	127	117	65	82	100	109	156	149	187	178	166	163
ZR-14	94	63	40	39	58	83	129	159	191	195	164	139
ZR-15	94	63	40	39	58	83	129	159	191	195	164	139
ZR-16	94	63	40	39	58	83	129	159	191	195	164	139
ZR-17	94	63	40	39	58	83	129	159	191	195	164	139
ZR-18	82	55	35	34	51	73	113	139	167	170	143	121
ZR-19	82	55	35	34	51	73	113	139	167	170	143	121
ZR-20	82	55	35	34	51	73	113	139	167	170	143	121
ZR-21	82	55	35	34	51	73	113	139	167	170	143	121
ZR-22	117	108	60	76	92	101	145	137	173	164	153	150
ZR-23	117	108	60	76	92	101	145	137	173	164	153	150
ZR-24	117	108	60	76	92	101	145	137	173	164	153	150
ZR-25	117	108	60	76	92	101	145	137	173	164	153	150
ZR-26	84	56	36	35	52	74	115	142	171	174	146	124
ZR-27	91	61	39	38	56	80	124	153	184	188	158	134
ZR-28	91	61	39	38	56	80	124	153	184	188	158	134
ZR-29	91	61	39	38	56	80	124	153	184	188	158	134
ZR-30	70	47	30	29	43	62	96	119	143	145	122	104
ZR-31	70	47	30	29	43	62	96	119	143	145	122	104
ZR-32	70	47	30	29	43	62	96	119	143	145	122	104
ZR-33	70	47	30	29	43	62	96	119	143	145	122	104
ZR-34	70	47	30	29	43	62	96	119	143	145	122	104
ZR-35	70	47	30	29	43	62	96	119	143	145	122	104
ZR-36	70	47	30	29	43	62	96	119	143	145	122	104
ZR-37	70	47	30	29	43	62	96	119	143	145	122	104
ZR-38	70	47	30	29	43	62	96	119	143	145	122	104
ZR-39	91	61	39	38	56	80	124	153	184	188	158	134
ZR-40	91	61	39	38	56	80	124	153	184	188	158	134
ZR-41	70	47	30	29	43	62	96	119	143	145	122	104
ZR-42	72	48	31	30	44	64	99	122	146	149	125	106
ZR-43	70	47	30	29	43	62	96	119	143	145	122	104
ZR-44	70	47	30	29	43	62	96	119	143	145	122	104

d) Precipitaciones agronómicas efectivas

Las precipitaciones efectivas mensuales desde el punto de vista agronómico, Pef, son las que reducen las necesidades de riego y las transforman en necesidades netas. Se asumió como precipitación efectiva sobra cada zona de riego la precipitación asociada al año 85% de probabilidad de excedencia, de la estadística de la estación representativa de la zona de riego. Aquellas menores que 12 mm/mes se consideraron nulas. Las mayores se redujeron a un 60%.

Las estaciones asociadas a cada zona de riego, son las que se muestran en el Cuadro 6-19.

Cuadro 6-19
Estaciones pluviométricas asociadas a cada zona de riego

Código ZR	Obs	Código ZR	Obs
ZR-01	Las Ramadas	ZR-23	Pabellón
ZR-02	Tulahuén	ZR-24	Hurtado
ZR-03	Pedregal	ZR-25	Pichasca
ZR-04	Carén	ZR-26	Pichasca
ZR-05	Rapel	ZR-27	Samo Alto
ZR-06	Rapel	ZR-28	Emb. Recoleta
ZR-07	Rapel	ZR-29	Ovalle DGA
ZR-08	Rapel	ZR-30	Ovalle DGA
ZR-09	Paloma embalse	ZR-31	Ovalle DGA
ZR-10	Paloma embalse	ZR-32	Punitaqui
ZR-11	Combarbalá	ZR-33	Ovalle DGA
ZR-12	Combarbalá	ZR-34	Punitaqui
ZR-13	Cogotí 18	ZR-35	Punitaqui
ZR-14	El Tome	ZR-36	Punitaqui
ZR-15	El Tome	ZR-37	La Torre
ZR-16	El Tome	ZR-38	Ovalle DGA
ZR-17	El Tome	ZR-39	Ovalle DGA
ZR-18	Sotaquí	ZR-40	Ovalle DGA
ZR-19	Sotaquí	ZR-41	La Torre
ZR-20	Sotaquí	ZR-42	La Torre
ZR-21	Sotaquí	ZR-43	Punitaqui
ZR-22	Pabellón	ZR-44	La Torre

En el Cuadro 6-20 se muestran las precipitaciones efectivas calculadas para cada sector de riego.

Cuadro 6-20
Precipitaciones efectivas por sector de riego (mm)

Código ZR	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar
ZR-01	0	0	0	22,8	19,5	10,2	0	0	0	0	0	0
ZR-02	14,1	0	17,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-03	0	0	10	0	8,1	0	0	0	0	0	0	0
ZR-04	0	0	0	26,4	0	7,6	0	0	0	0	0	0
ZR-05	0	0	0	26,1	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-06	0	0	0	26,1	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-07	0	0	0	26,1	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-08	0	0	0	26,1	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-11	0	0	0	15,9	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-12	0	0	0	15,9	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-13	0	7,7	16,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-14	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-15	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-16	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-17	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-22	0	0	8,7	0	0	15	0	0	0	0	0	0
ZR-23	0	0	8,7	0	0	15	0	0	0	0	0	0
ZR-24	0	0	19,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-25	0	0	0	16,2	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-26	0	0	0	16,2	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-27	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-28	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-29	0	0	0	9,3	8,1	0	0	0	0	0	0	0
ZR-30	0	0	0	9,3	8,1	0	0	0	0	0	0	0
ZR-31	0	0	0	9,3	8,1	0	0	0	0	0	0	0
ZR-32	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-33	0	0	0	9,3	8,1	0	0	0	0	0	0	0
ZR-34	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-35	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-36	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-38	0	0	0	9,3	8,1	0	0	0	0	0	0	0
ZR-39	0	0	0	9,3	8,1	0	0	0	0	0	0	0
ZR-40	0	0	0	9,3	8,1	0	0	0	0	0	0	0
ZR-41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-43	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Con la adaptación realizada al MAGIC especialmente para el presente estudio, el modelo internamente calcula las necesidades netas mensuales ponderadas por zona de riego, a partir de los datos de área, cultivos, métodos de riego y coeficiente de cultivo de cada uno de los paños

caracterizados, y con la evapotranspiración y precipitación efectiva que se ingresa por zona de riego.

6.2.7 Capacidad de regulación nocturna y horas de riego

La capacidad de regulación nocturna se obtuvo de la cobertura temática de embalses menores (hasta 50.000 m3) de la CNR. Para cada zona de riego se asumió que la capacidad de regulación nocturna es igual a la suma de los volúmenes de los embalses menores que se ubican dentro de la zona. En la cuenca del Limarí hay una capacidad de regulación nocturna de aproximadamente 200 m3/ha en promedio. Esto es 3 veces más que en la cuenca del Elqui, y 6 veces más que en la cuenca del Choapa.

En cuanto a las horas de riego, se asumió como dato, que se riega durante 20 horas al día. Este dato está basado en los resultados de las entrevistas, en que los regantes señalaron que el sistema de turnos funciona rotando entre los diferentes usuarios sin interrupción, pero que algunos de ellos reciben sus aguas en tranques nocturnos, para luego regar desde ahí durante varias horas al día, y no de noche.

6.2.8 Embalses

a) Curvas de embalse: volumen, superficie y filtración

Los antecedentes que se presentan a continuación para los tres embalses, en los Cuadros 6-21, 6-22 y 6-23, fueron obtenidos del informe de Ingendesa de junio 1992.

i) Volumen

Corresponde al volumen almacenado en función de la cota en la forma

$$V = a*(h - h0)^b + c \,, \quad \text{con: h en [m], V en [m3]}$$

Cuadro 6-21
Curva de volumen en función de la cota

Embalse	h0	a	b	c	Vmax (Mill m3)
Recoleta	4,00	247922	1,75	0	98106400
Paloma	0,00	34632	2,45	1860000	748860780
Cogotí	0,00	415	3,1	-500000	148860780

ii) Superficie

Corresponde al área inundada en función de la cota

$$S = a*(h - h0)^b + c , \quad \text{con} \quad h \text{ en [m], S en [m2]}$$

Cuadro 6-22
Superficie libre en función de la cota

Embalse	h0	A	b	c
Recoleta	4,00	433863	0,75	0
Paloma	0,00	83117	1,4	0
Cogotí	0,00	1286,5	2,1	0

iii) Filtración

Corresponde a los volúmenes diarios de filtración en función de la cota del embalse a principios de mes:

$$F = a*(h - h0)^b + c , \quad \text{con} \quad h \text{ en [m], F en [m3/día]}$$

Cuadro 6-23
Filtraciones en función de la cota

Embalse	h0	A	b	c
Recoleta	0,00	23	1,0	1040
Paloma	43,00	31	1,7	0
Cogotí	10,00	1950	1,2	0

b) Tasas de evaporación

Corresponden a valores medios para cada mes expresados en mm, y son las que se presentan en el Cuadro 6-24.

Cuadro 6-24
Tasas de evaporación desde los embalses

Mes	Recoleta	Paloma	Cogotí
Ene	181.7	218.2	206.82
Feb	136.02	183.36	179.99
Mar	96.43	156.31	153.69
Abr	65.28	103.77	101.13
May	41.56	68.21	69.63
Jun	29.14	48.6	56.35
Jul	28.05	45.63	48.93
Ago	38.83	66.48	63
Sep	62.11	100.03	84.62
Oct	103.85	148.59	131.2
Nov	145.02	178.02	164.22
Dic	168.71	217.35	206.24

c) Caudales máximos de entrega

Para que no sea restrictiva la capacidad de entrega, se ha adoptado los valores de 80 m3/s para el Cogotí, 80 m3/s para el Recoleta y 120 m3/s para el Paloma.

6.2.9 Ríos y tramos

Los ríos de la modelación son los del Cuadro 6-25 adjunto:

Cuadro 6-25
Ríos modelados

Código	Nombre
RI-01	Río Grande
RI-02	Río Tascadero
RI-03	Río Mostazal
RI-04	Río Los Molles
RI-05	Río Rapel
RI-06	Río Ponio
RI-07	Estero Valle Hermoso
RI-08	Río Combarbalá
RI-09	Río Cogotí
RI-10	Río Huatulame
RI-11	Río Hurtado
RI-12	Río Limarí
RI-13	Quebrada del Ingenio
RI-14	Estero Punitaqui

Los ríos fueron divididos en 49 tramos, de acuerdo con la cantidad de nodos. En el Cuadro 6-26 se presenta la topología de los tramos de río, y en el Cuadro 6-27 se han incluido las principales características de los tramos, resultantes de la calibración.

Cuadro 6-26
Topología de los tramos de río

Código del tramo	Río	NOini	NOfin	Acuífero
TR-01	RI-01	NO-0101	NO-0102	AC-01
TR-02	RI-01	NO-0102	NO-0103	AC-01
TR-03	RI-01	NO-0103	NO-0104	AC-01
TR-04	RI-01	NO-0104	NO-0105	AC-01
TR-05	RI-01	NO-0105	NO-0106	AC-03
TR-06	RI-01	NO-0106	NO-0107	AC-07
TR-07	RI-01	NO-0107	NO-0108	AC-09
TR-08	RI-01	NO-0108	NO-0109	AC-09
TR-09	RI-01	NO-0110	NO-0111	AC-17
TR-10	RI-01	NO-0111	NO-1203	AC-17
TR-11	RI-02	NO-0201	NO-0103	AC-01
TR-12	RI-03	NO-0301	NO-0302	AC-02
TR-13	RI-03	NO-0302	NO-0105	AC-02
TR-14	RI-04	NO-0401	NO-0501	AC-04
TR-15	RI-05	NO-0501	NO-0502	AC-04
TR-16	RI-05	NO-0502	NO-0503	AC-05
TR-17	RI-05	NO-0503	NO-0504	AC-06
TR-18	RI-05	NO-0504	NO-0106	AC-06
TR-19	RI-06	NO-0601	NO-0107	AC-08
TR-20	RI-07	NO-0701	NO-0702	AC-10
TR-21	RI-07	NO-0702	NO-0703	AC-13
TR-22	RI-07	NO-0703	NO-0903	AC-13
TR-23	RI-08	NO-0801	NO-0802	AC-11
TR-24	RI-08	NO-0802	NO-0703	AC-11
TR-25	RI-09	NO-0901	NO-0902	AC-12
TR-26	RI-09	NO-0902	NO-0903	AC-12
TR-27	RI-10	NO-1001	NO-1002	AC-13
TR-28	RI-10	NO-1002	NO-1003	AC-14
TR-29	RI-10	NO-1003	NO-1004	AC-16
TR-30	RI-10	NO-1004	NO-0109	AC-16
TR-31	RI-11	NO-1101	NO-1102	AC-18
TR-32	RI-11	NO-1102	NO-1103	AC-18
TR-33	RI-11	NO-1103	NO-1104	AC-18
TR-34	RI-11	NO-1104	NO-1105	AC-19
TR-35	RI-11	NO-1105	NO-1106	AC-20
TR-36	RI-11	NO-1106	NO-1107	AC-21
TR-37	RI-11	NO-1107	NO-1108	AC-21
TR-38	RI-11	NO-1201	NO-1202	AC-23
TR-39	RI-11	NO-1202	NO-1203	AC-23
TR-40	RI-12	NO-1203	NO-1204	AC-24
TR-41	RI-12	NO-1204	NO-1205	AC-26
TR-42	RI-12	NO-1205	NO-1206	AC-26
TR-43	RI-12	NO-1206	NO-1207	AC-26
TR-44	RI-13	NO-1301	NO-1204	AC-25
TR-45	RI-14	NO-1401	NO-1402	AC-27
TR-46	RI-14	NO-1402	NO-1403	AC-28
TR-47	RI-14	NO-1403	NO-1404	AC-26
TR-48	RI-14	NO-1404	NO-1405	AC-26
TR-49	RI-14	NO-1405	NO-1206	AC-26

Cuadro 6-27
Características calibradas de los tramos de río

Código del tramo	Largo (m)	Ancho (m)	Espesor estrato permeable (m)	Permeabilidad Vertical (m/s)	Coef Rugosidad Manning n	Pendiente del cauce (º/1)
TR-01	8822	10	1,5	0,0000000	0,035	0,01564
TR-02	200	10	1,5	0,0000000	0,035	0,01564
TR-03	4685	12	1,5	0,0000051	0,035	0,11462
TR-04	200	12	1,5	0,0000000	0,035	0,11462
TR-05	18692	19	1,5	0,0000051	0,035	0,01070
TR-06	4805	14	1,5	0,0000051	0,035	0,01041
TR-07	3422	14	1,5	0,0000051	0,035	0,01110
TR-08	200	14	1,5	0,0000000	0,035	0,03000
TR-09	20715	28	1,5	0,0000051	0,035	0,00483
TR-10	200	28	1,5	0,0000000	0,035	0,00483
TR-11	200	10	1,5	0,0000000	0,035	0,01564
TR-12	5927	12	1,5	0,0000257	0,035	0,08858
TR-13	300	12	1,5	0,0000000	0,035	0,08858
TR-14	19406	12	1,5	0,0000000	0,035	0,05864
TR-15	15403	12	1,5	0,0000257	0,035	0,02272
TR-16	6347	12	1,5	0,0000257	0,035	0,02946
TR-17	7821	12	1,5	0,0000257	0,035	0,02238
TR-18	200	12	1,5	0,0000257	0,035	0,00320
TR-19	4900	10	1,5	0,0000051	0,035	0,02551
TR-20	24224	12	1,5	0,0000051	0,035	0,01238
TR-21	3751	13	1,5	0,0000000	0,035	0,01680
TR-22	200	13	1,5	0,0000000	0,035	0,01680
TR-23	19798	12	1,5	0,0000051	0,035	0,03283
TR-24	200	12	1,5	0,0000000	0,035	0,03283
TR-25	22726	17	1,5	0,0000051	0,035	0,01813
TR-26	200	17	1,5	0,0000000	0,035	0,01813
TR-27	15907	19	1,5	0,0000051	0,035	0,00629
TR-28	13436	47	1,5	0,0000051	0,035	0,00655
TR-29	3404	46	1,5	0,0000051	0,035	0,00734
TR-30	200	46	1,5	0,0000000	0,035	0,00734
TR-31	19987	10	1,5	0,0000000	0,035	0,02877
TR-32	2537	14	1,5	0,0000000	0,035	0,15767
TR-33	13329	14	1,5	0,0000051	0,035	0,01688
TR-34	13204	17	1,5	0,0000051	0,035	0,01515
TR-35	10379	14	1,5	0,0000051	0,035	0,01204
TR-36	9745	15	1,5	0,0000051	0,035	0,01026
TR-37	200	15	1,5	0,0000000	0,035	0,01026
TR-38	15079	24	1,5	0,0000051	0,035	0,01074
TR-39	200	24	1,5	0,0000000	0,035	0,01074
TR-40	22097	32	1,5	0,0000051	0,035	0,00453
TR-41	23102	34	1,5	0,0000051	0,035	0,00325
TR-42	200	34	1,5	0,0000000	0,035	0,00325
TR-43	21727	57	1,5	0,0000000	0,035	0,00230
TR-44	38766	10	1,5	0,0000051	0,035	0,00645
TR-45	12052	12	1,5	0,0000051	0,035	0,00622
TR-46	5922	12	1,5	0,0000051	0,035	0,00422

Código del tramo	Largo (m)	Ancho (m)	Espesor estrato permeable (m)	Permeabilidad Vertical (m/s)	Coef Rugosidad Manning n	Pendiente del cauce (º/1)
TR-47	13201	11	1,5	0,0000000	0,035	0,00280
TR-48	19681	12	1,5	0,0000000	0,035	0,00381
TR-49	200	12	1,5	0,0000000	0,035	0,00381

6.2.10 Captaciones puntuales

Se refiere a las extracciones que se efectúan en los nodos con fines diferentes a los de riego, como agua potable, industrial o minera, o pérdidas por evapotranspiración. Estas captaciones puntuales pueden o no tener retornos hacia el sistema. En el caso de la cuenca del Limarí, se definieron 36 captaciones puntuales, correspondientes 21 de ellas a evapotranspiración desde los cauces de río, 10 a extracciones de APR que topológicamente no pueden ser asignadas a acuíferos, y 1 al agua potable de Ovalle. Ninguna de las extracciones tiene retornos hacia la cuenca en esta matriz, porque los retornos del agua potable se representan a través de una descarga puntual.

Cuadro 6-28
Captaciones puntuales

Código	Nombre	Nodo	Capacidad (m3/s)	Información
CP-01	APR Hurtado El Chañar	NO-1102	0,012	APR
CP-02	APR Camarico Chico y Grande	NO-1403	0,020	APR
CP-03	APR Chalinga	NO-1404	0,003	APR
CP-04	APR El Maitén	NO-0301	0,001	APR
CP-05	APR La Capilla	NO-0801	0,004	APR
CP-06	APR Las Breas	NO-1101	0,010	APR
CP-07	APR Las Ramadas de Tulahuén	NO-0101	0,006	APR
CP-08	APR Ramadilla	NO-0801	0,001	APR
CP-09	APR Tulahuén	NO-0103	0,020	APR
CP-10	APR Valle Hermoso	NO-0701	0,012	APR
CP-11	ZR-01	NO-0101	1,000	ET Veg. Nat.
CP-12	ZR-02	NO-0103	1,000	ET Veg. Nat.
CP-13	ZR-03	NO-0301	1,000	ET Veg. Nat.
CP-14	ZR-04	NO-0105	1,000	ET Veg. Nat.
CP-15	ZR-06	NO-0501	1,000	ET Veg. Nat.
CP-16	ZR-07	NO-0502	1,000	ET Veg. Nat.
CP-17	ZR-08	NO-0503	1,000	ET Veg. Nat.
CP-18	ZR-09	NO-0106	1,000	ET Veg. Nat.
CP-19	ZR-10	NO-0107	1,000	ET Veg. Nat.
CP-20	ZR-11	NO-0701	1,000	ET Veg. Nat.
CP-21	ZR-12	NO-0801	1,000	ET Veg. Nat.
CP-22	ZR-13	NO-0901	1,000	ET Veg. Nat.
CP-23	ZR-21	NO-0110	1,000	ET Veg. Nat.
CP-24	ZR-23	NO-1102	1,000	ET Veg. Nat.
CP-25	ZR-24	NO-1103	1,000	ET Veg. Nat.
CP-26	ZR-25	NO-1104	1,000	ET Veg. Nat.

Código	Nombre	Nodo	Capacidad (m3/s)	Información
CP-27	ZR-26	NO-1105	1,000	ET Veg. Nat.
CP-28	ZR-27	NO-1106	1,000	ET Veg. Nat.
CP-29	ZR-28	NO-1201	1,000	ET Veg. Nat.
CP-30	ZR-29	NO-1201	1,000	ET Veg. Nat.
CP-31	ZR-35	NO-1402	1,000	ET Veg. Nat.
CP-32	ZR-38	NO-1203	1,000	ET Veg. Nat.
CP-33	ZR-39	NO-1301	1,000	ET Veg. Nat.
CP-34	ZR-40	NO-1301	1,000	ET Veg. Nat.
CP-35	ZR-41	NO-1204	1,000	ET Veg. Nat.
CP-36	Agua Potable Ovalle	NO-1203	1,000	AP Ovalle

6.2.11 Descargas puntuales

Como descargas puntuales se consideraron los retornos de las aguas servidas urbanas desde las plantas de tratamiento, desde las localidades señaladas en el Cuadro 6-29., las cuales son entregadas a los nodos correspondientes. Estas descargas suman en total 169 l/s en la actualidad.

De las localidades rurales surtidas con agua potable rural, ninguna tiene alcantarillado, sólo fosa séptica y pozo absorbente o simplemente pozos negros individuales, de modo que el caudal de retorno es despreciable.

Cuadro 6-29
Descargas puntuales

Código	Nombre	Población atendida 2003	Caudal l/s	Caudal diseño	Nodo	Tipo planta
DP-01	Chañaral Alto	3636	4.20	8.20	NO-1002	Lodos activados
DP-02	Punitaqui	3504	7.20	11.90	NO-1402	Laguna estabilización
DP-03	Ovalle	81730	138.40	153.00	NO-1205	Laguna estabilización
DP-04	Combarbalá	8077	8.50	15.00	NO-0802	Lagunas aireadas
DP-05	El Palqui	3342	3.70	6.00	NO-1003	Lagunas aireadas
DP-06	Sotaquí	1916	2.40	4.20	NO-0111	Lodos activados
DP-07	Montepatria	5131	4.40	8.10	NO-0108	Lagunas aireadas

6.3 MODELO LIMARÍ: CALIBRACIÓN

El objetivo de la calibración del modelo hidrológico implementado para la cuenca del río Limarí, consiste en poder reproducir el flujo pasante en algunos puntos de control del río y, en un menor grado de importancia, poder reproducir el nivel de las aguas subterráneas.

Los puntos de control para la calibración del modelo corresponden a nodos previamente escogidos y definidos topológicamente de tal manera de poder simular el caudal observado en las estaciones fluviométricas existentes en la cuenca. Estas estaciones fluviométricas deben contar con un registro histórico confiable, preferentemente continuo y con información suficiente para el período escogido para la calibración.

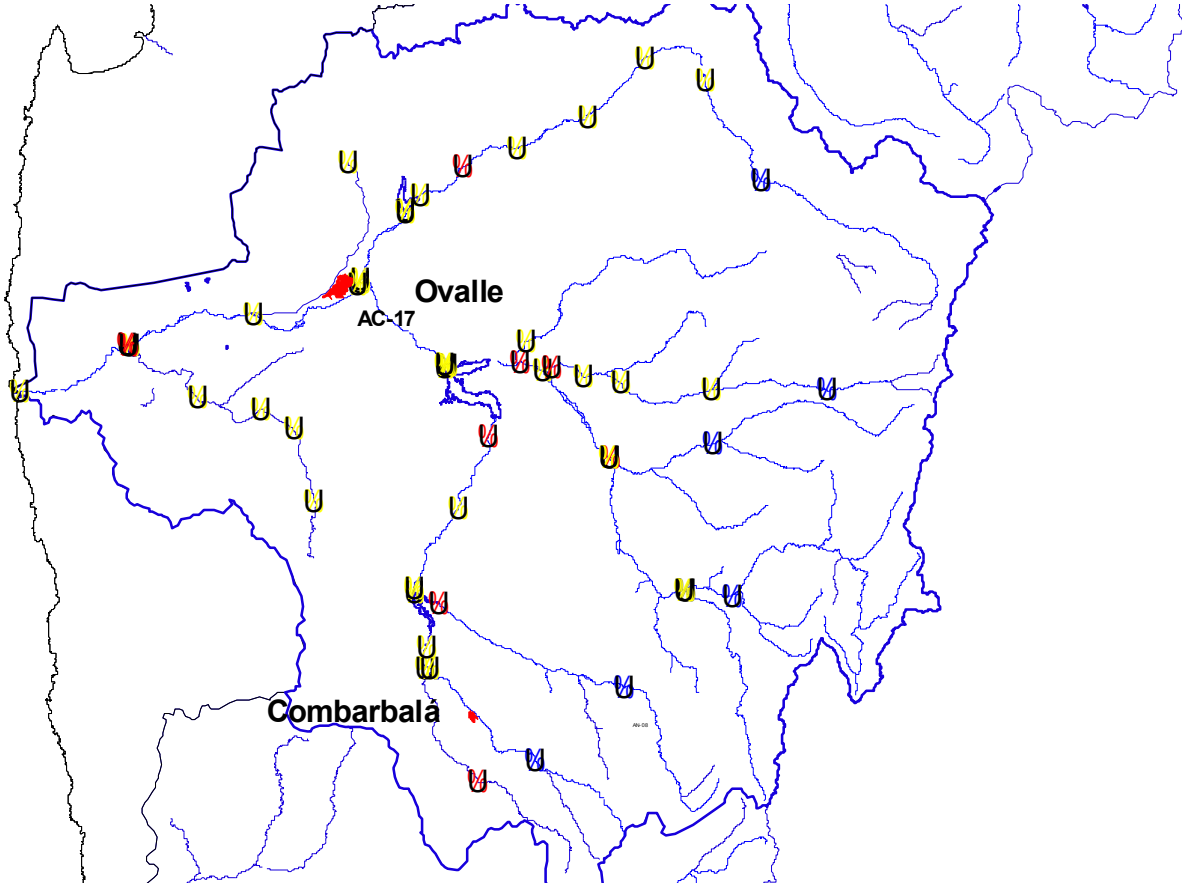
En el Cuadro 6-30 se detallan los nodos y estaciones correspondientes elegidas para la calibración.

Cuadro 6-30
Nodos de calibración y estaciones fluviométricas correspondientes
Modelo Magic-Limarí

NODO	Estación Fluviométrica	Período de Información
NO-0302	Río Mostazal en Carén	1972-2004
NO-0504	Río Rapel en Junta	1968-2004
NO-0107	Río Grande en Puntilla San Juan	1968-2004
NO-0702	Río Pama en Valle Hermoso	1988-2004
NO-0902	Río Cogotí en entrada Emb. Cogotí	1983-2004
NO-1003	Río Huatulame en El Tome	1968-2004
NO-1106	Río Hurtado en Angostura de Pangue	1968-2004
NO-1405	Estero Punitaqui antes junta Limarí	1993-2004
NO-1206	Río Limarí en Panamericana	1968-2003

En la Figura 6-8 se muestra la ubicación de los nodos de calibración, en rojo. Además, se muestran en azul los nodos donde hay estaciones de cabecera, que son las que sirven para generar el régimen hídrico de entrada, y en las subcuencas sin control.

Figura 6-8
Nodos de calibración en la cuenca del río Limarí



6.3.1 Período de Calibración.

El período seleccionado para la calibración es 1990 a 2004. Se seleccionó este período debido a que, por un lado, es posible reconstituir con alguna certeza el área cultivada, y finalmente, el período incluye una sequía y un período húmedo, ambos de importancia, de modo que se presta adecuadamente para una calibración.

Como el modelo es capaz de representar adecuadamente los años secos como los húmedos, se puede considerar aceptable la bondad del ajuste.

6.3.2 Parámetros ajustados en la calibración

Dentro de los parámetros que fueron ajustados en la calibración, se pueden nombrar los siguientes:

a) Tramos de río

Dentro de los parámetros que configuran los tramos de río, tabla RI_TRAMOS, se pueden ajustar los valores de (1)Espesor del estrato permeable (e), y el de (2) Coeficiente de permeabilidad vertical (k). Los valores finales se encuentran en el Capítulo 4.2, datos de entrada al modelo. Estos ajustes influyen básicamente en la cantidad de agua que es percolada a través del lecho de río hacia el acuífero subyacente.

b) Eficiencia de distribución del agua dentro de cada zona de riego

Se asumió que al interior de cada zona de riego, la eficiencia es de 1, es decir que no se producen pérdidas. Lo anterior se realizó en vista de que los canales en su recorrido van alimentando las zonas de riego, de modo que se considera sólo una vez una ineficiencia de conducción, y no doblemente, externa e interna dentro de la zona de riego (lo que constituye una opción que da el modelo).

c) Coeficientes de Derrame y Percolación

Si bien en versiones anteriores del MAGIC era necesario entregar como dato de entrada estos coeficientes, en la última versión el modelo los obtiene internamente con información de entrada sobre método de riego y tipo de suelo. En el Cuadro 6-31 se presenta el resultado que el modelo entrega para estos coeficientes.

Cuadro 6-31
Parámetros: Eficiencia de aplicación, Coef. de derrame y Coef. de percolación
Por zona de riego

Código	efp	p	d
ZR-01	0.307	0.468	0.225
ZR-02	0.386	0.436	0.179
ZR-03	0.393	0.433	0.173
ZR-04	0.613	0.298	0.089
ZR-05	0.424	0.415	0.161
ZR-06	0.446	0.401	0.153
ZR-07	0.449	0.399	0.151
ZR-08	0.427	0.415	0.159
ZR-09	0.449	0.401	0.150
ZR-10	0.639	0.238	0.123
ZR-11	0.320	0.392	0.288
ZR-12	0.337	0.383	0.280
ZR-13	0.450	0.331	0.219
ZR-14	0.839	0.131	0.030
ZR-15	0.820	0.141	0.039
ZR-16	0.761	0.172	0.066
ZR-17	0.775	0.158	0.067
ZR-18	0.652	0.229	0.119
ZR-19	0.498	0.356	0.146

Código	efp	p	d
ZR-20	0.533	0.349	0.118
ZR-21	0.555	0.280	0.166
ZR-22	0.345	0.455	0.200
ZR-23	0.347	0.454	0.199
ZR-24	0.347	0.454	0.199
ZR-25	0.348	0.453	0.199
ZR-26	0.355	0.450	0.195
ZR-27	0.371	0.440	0.188
ZR-28	0.439	0.415	0.146
ZR-29	0.552	0.259	0.189
ZR-30	0.404	0.355	0.241
ZR-31	0.393	0.432	0.175
ZR-32	0.500	0.305	0.195
ZR-33	0.403	0.432	0.165
ZR-34	0.425	0.313	0.263
ZR-35	0.568	0.269	0.163
ZR-36	0.536	0.286	0.179
ZR-37	0.400	0.323	0.276
ZR-38	0.457	0.393	0.150
ZR-39	0.484	0.291	0.224
ZR-40	0.430	0.315	0.256
ZR-41	0.372	0.435	0.193
ZR-42	0.430	0.315	0.255
ZR-43	0.455	0.386	0.160
ZR-44	0.478	0.370	0.153

d) Parámetros de los sectores acuíferos

Para la calibración subterránea, se modificó la tabla AC_PARAM, que contiene los parámetros que definen la geometría y las características de los acuíferos. Los parámetros ajustados para lograr una buena representatividad de los niveles y cotas promedio de cada sector acuífero, corresponden a:

- Coeficiente de almacenamiento
- Anchos de las secciones de entrada y salida de cada sector
- Cotas de las secciones de entrada y salida que dan origen a los espesores del relleno acuífero
- Coeficientes de permeabilidad hidráulica horizontal en las secciones de entrada y salida, y
- Tipo de sección considerada para el acuífero.

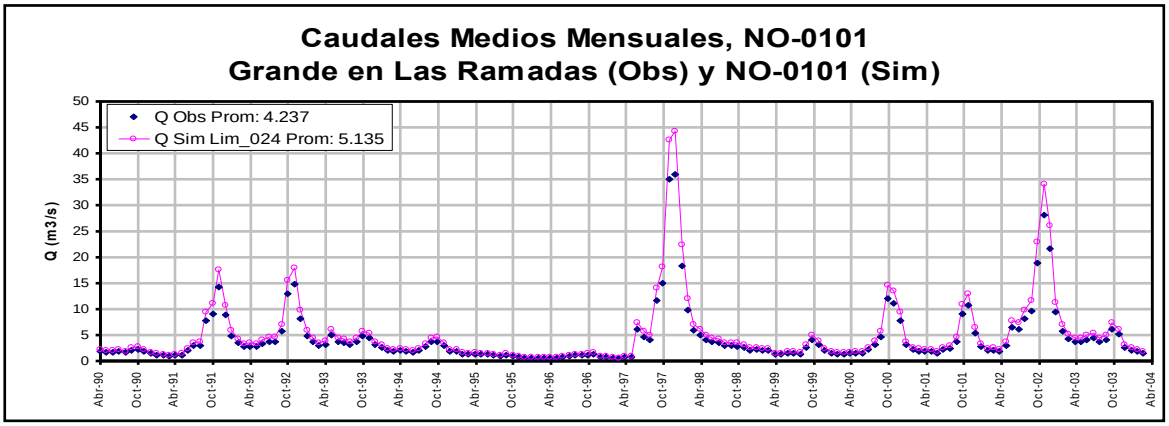
Los valores finales de la calibración se presentan en el Capítulo 6.2, Cuadro 6-9.

6.3.3 Análisis del escenario de calibración

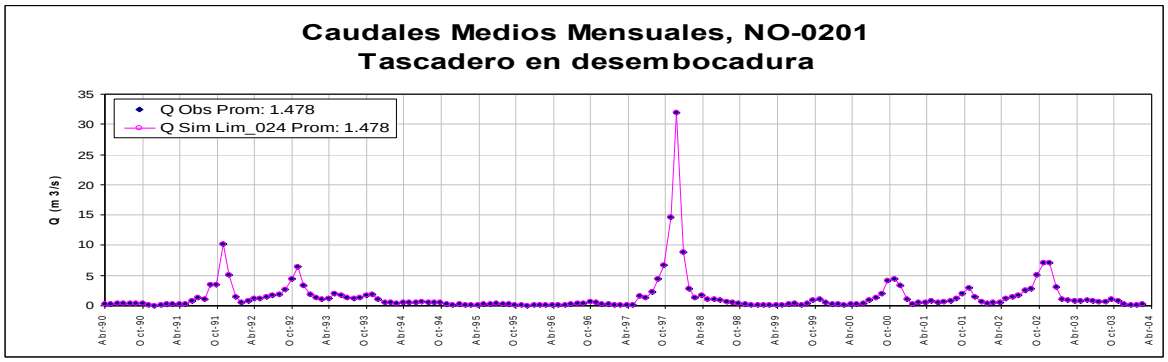
a) Calibración superficial

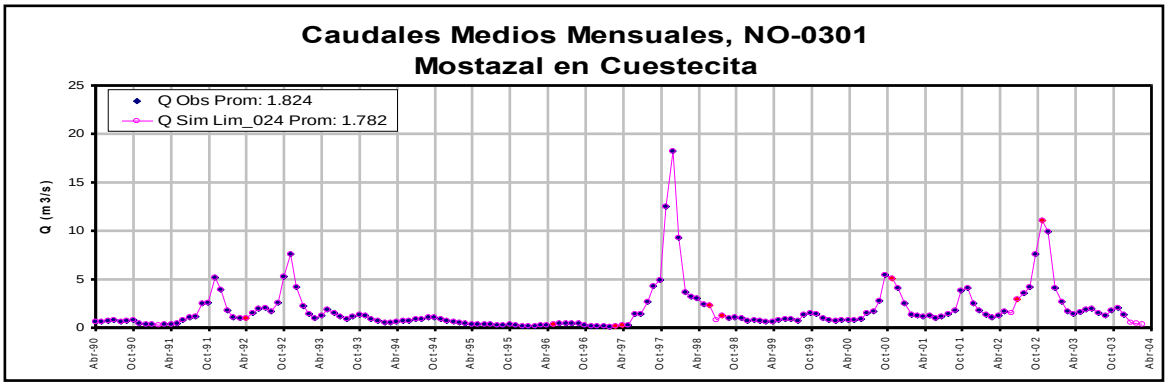
La calibración superficial consistió en ajustar los valores de los caudales obtenidos de la modelación, a los observados en el río en ciertos puntos de control. A continuación, en la Figura 6-9 se presenta de manera gráfica la comparación entre los caudales medidos y los caudales simulados, tanto en los nodos de cabecera, donde los caudales simulados son impuestos, como en los nodos de calibración, donde los caudales simulados son un resultado de los procesos de modelación.

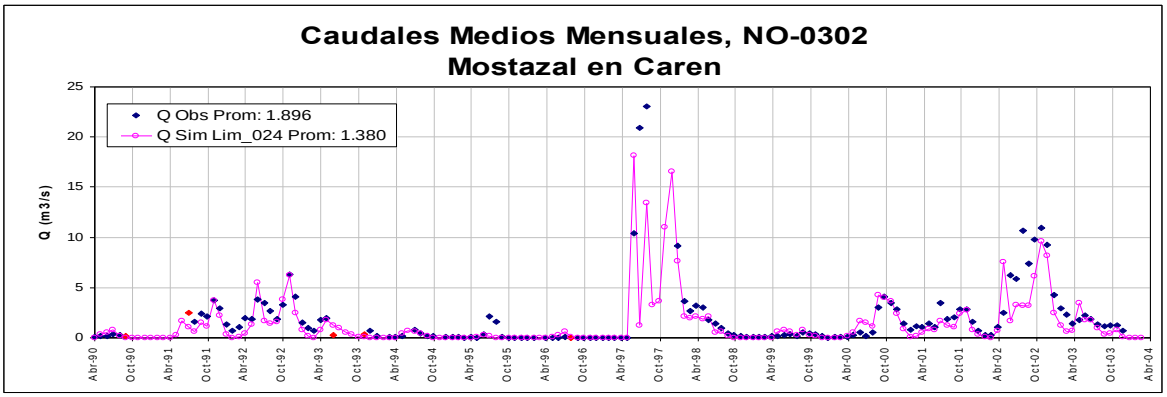
Figura 6-9
Comparación entre caudales medidos y simulados en nodos de cabecera y de calibración

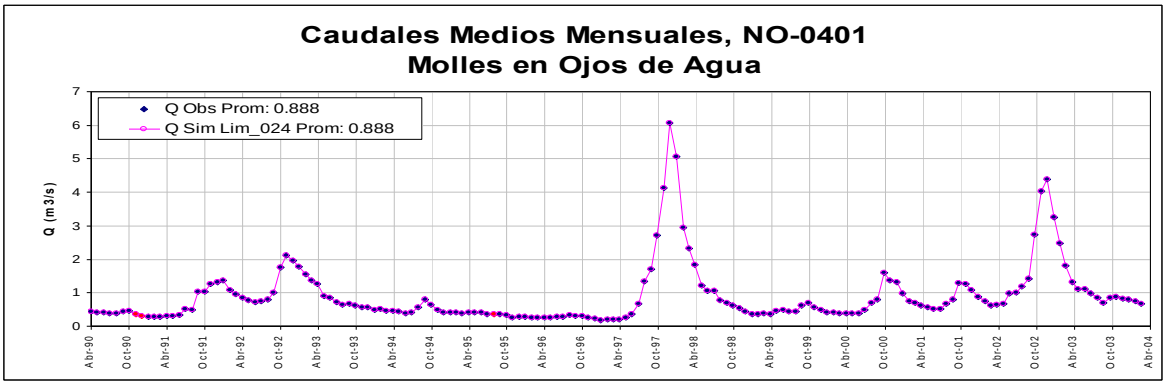


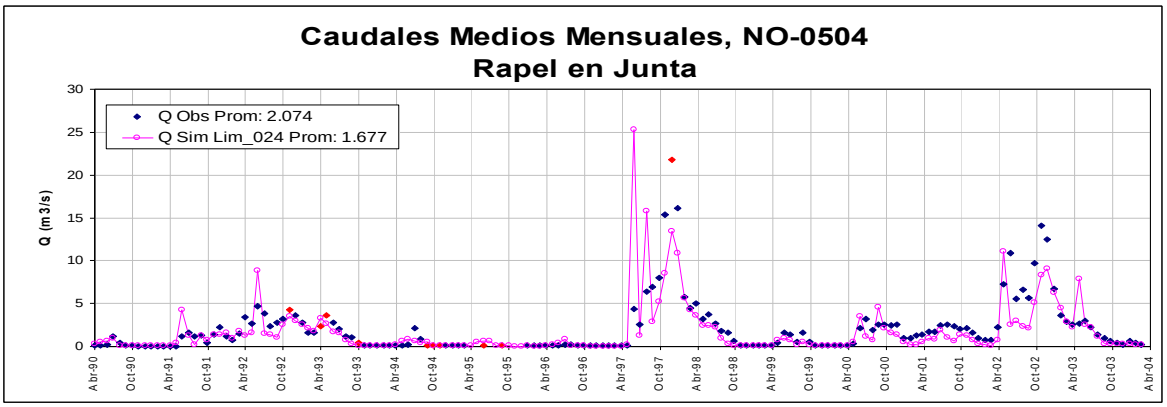
La estación se encuentra un poco aguas arriba del nodo, de ahí la amplificación de la estadística para este nodo.

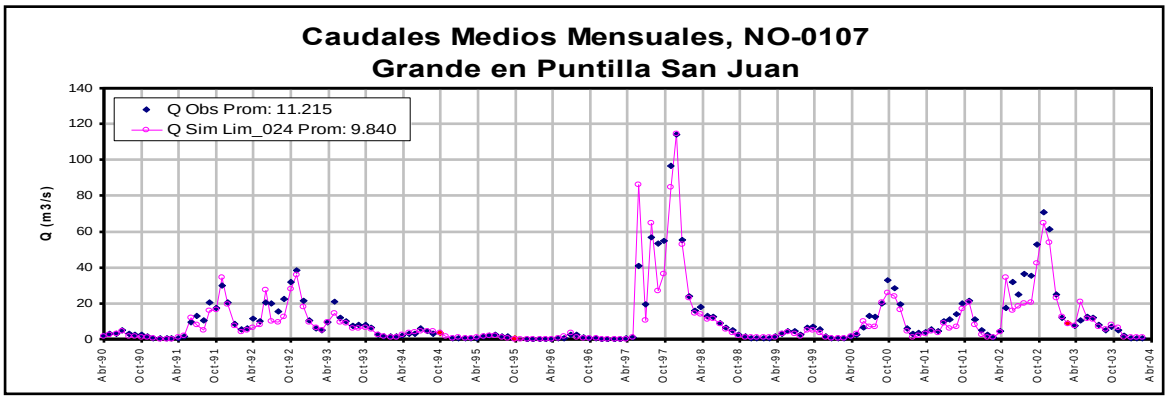


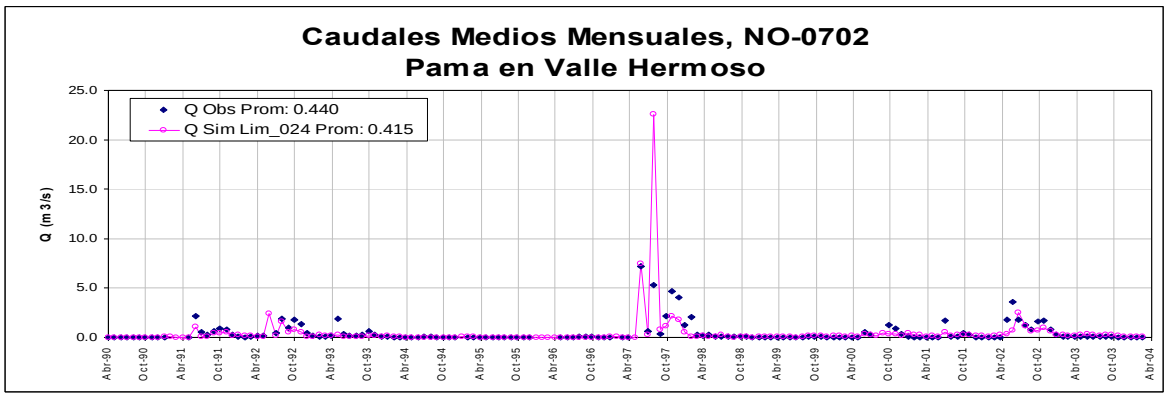

Caudales Medios Mensuales, NO-0301
Mostazal en Cuestecita
Q Obs Prom: 1.824
Q Sim Lim_024 Prom: 1.782
Q (m3/s)

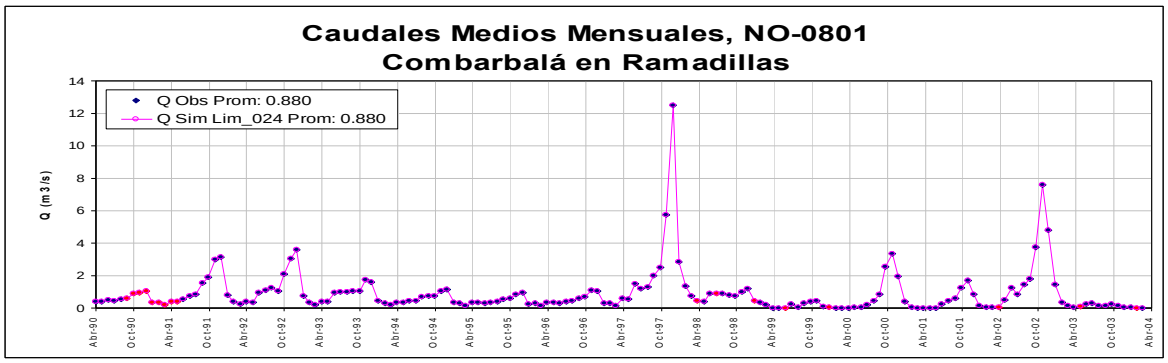

Caudales Medios Mensuales, NO-0302
Mostazal en Caren
Q Obs Prom: 1.896
Q Sim Lim_024 Prom: 1.380
Q (m3/s)

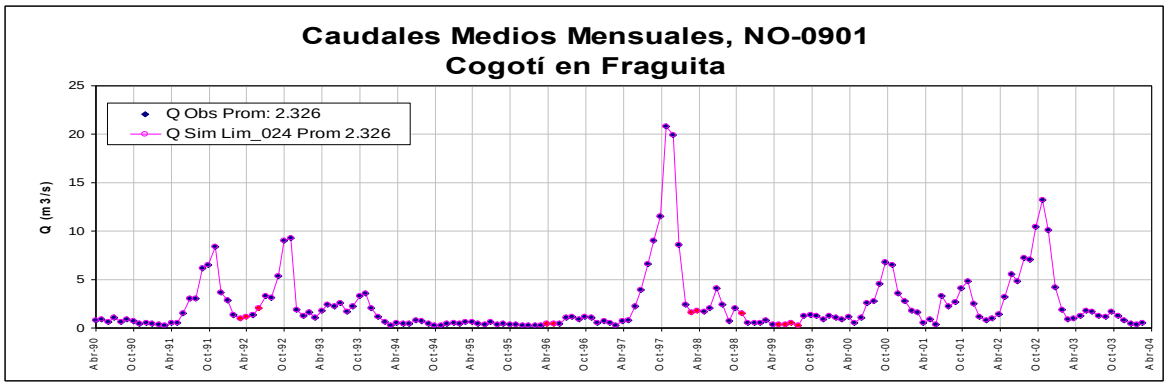

Caudales Medios Mensuales, NO-0401
Molles en Ojos de Agua
Q Obs Prom: 0.888
Q Sim Lim_024 Prom: 0.888
Q (m3/s)

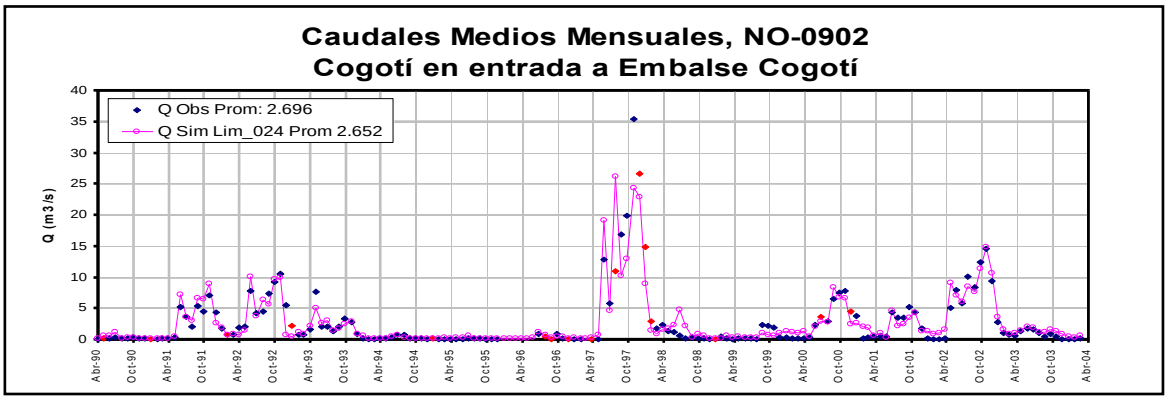

Caudales Medios Mensuales, NO-0504
Rapel en Junta
Q Obs Prom: 2.074
Q Sim Lim_024 Prom: 1.677
Q (m3/s)

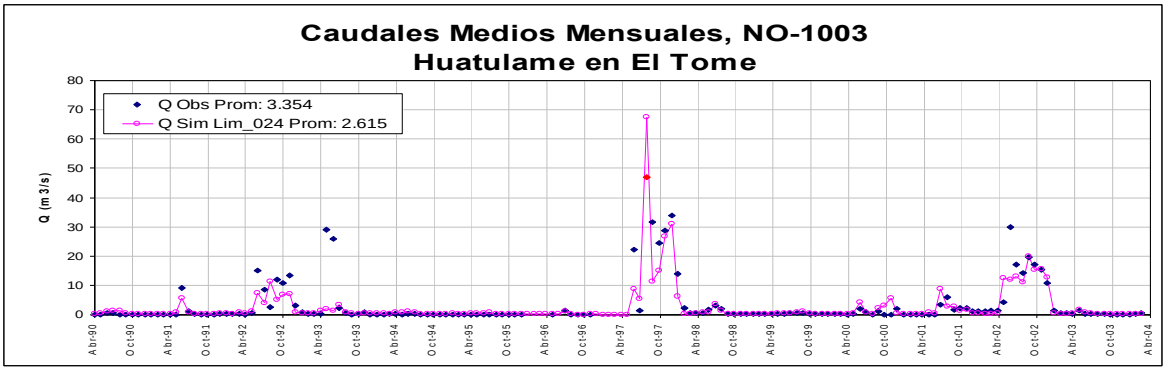

Caudales Medios Mensuales, NO-0107
Grande en Puntilla San Juan
Q Obs Prom: 11.215
Q Sim Lim_024 Prom: 9.840
Q (m3/s)

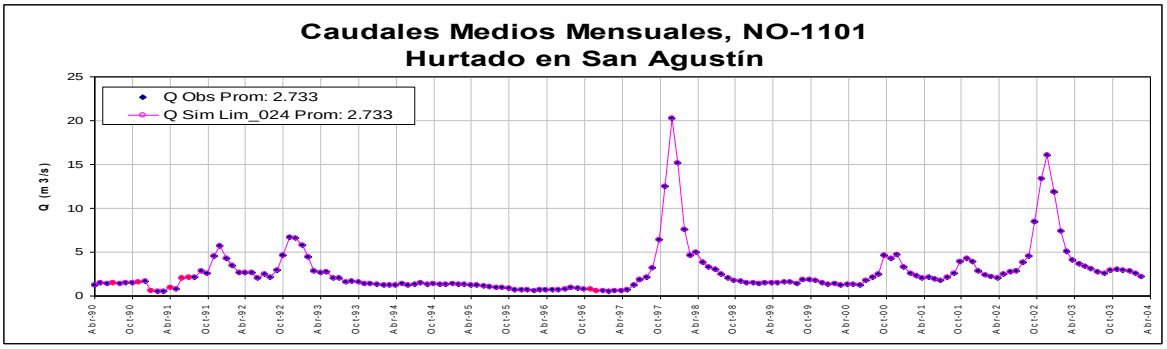

Caudales Medios Mensuales, NO-0702
Pama en Valle Hermoso
Q Obs Prom: 0.440
Q Sim Lim_024 Prom: 0.415
Q (m3/s)

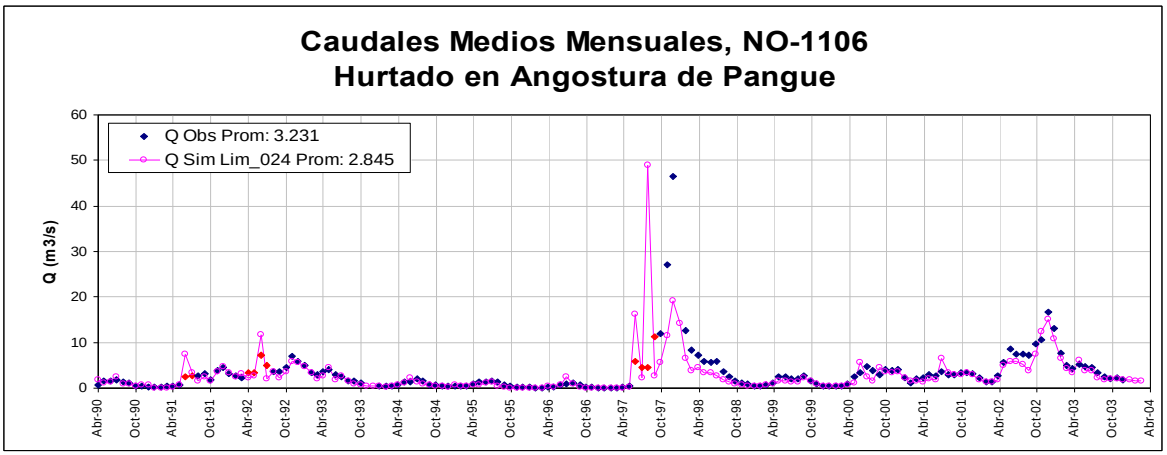

Caudales Medios Mensuales, NO-0801
Combarbalá en Ramadillas
Q Obs Prom: 0.880
Q Sim Lim_024 Prom: 0.880
Q (m3/s)

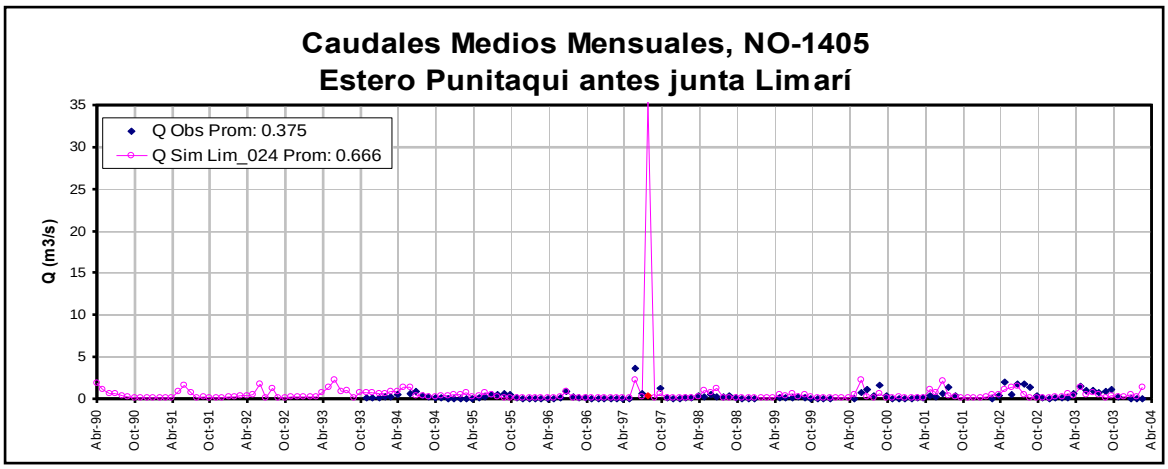

Caudales Medios Mensuales, NO-0901
Cogotí en Fraguita
Q Obs Prom: 2.326
Q Sim Lim_024 Prom 2.326
Q (m3/s)

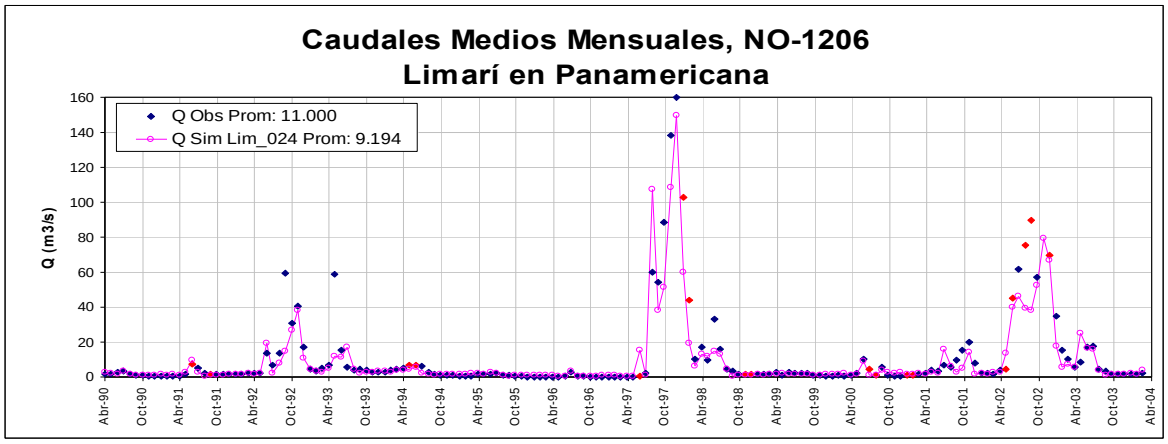

Caudales Medios Mensuales, NO-0902
Cogotí en entrada a Embalse Cogotí
Q Obs Prom: 2.696
Q Sim Lim_024 Prom 2.652
Q (m3/s)


Caudales Medios Mensuales, NO-1003
Huatulame en El Tome
Q Obs Prom: 3.354
Q Sim Lim_024 Prom: 2.615
Q (m3/s)


Caudales Medios Mensuales, NO-1101
Hurtado en San Agustín
Q Obs Prom: 2.733
Q Sim Lim_024 Prom: 2.733
Q (m3/s)


Caudales Medios Mensuales, NO-1106
Hurtado en Angostura de Pangue
Q Obs Prom: 3.231
Q Sim Lim_024 Prom: 2.845
Q (m3/s)





En general, se puede observar que se ha logrado un buen ajuste entre los valores medidos y los simulados en el período de calibración. Para algunos de los años más húmedos, la simulación entrega valores por debajo de los observados, lo que, en todo caso, se puede considerar conservador en términos de disponibilidad del recurso. Lo que se trató de ajustar mejor fueron los períodos de sequía, que son más críticos en cuanto a la disposición de recursos.

b) Calibración subterránea

En la calibración subterránea, el objetivo es tratar de reproducir la variación o señal de la cota piezométrica que el acuífero muestra en la realidad. Es necesario recordar que el modelo Magic es un modelo de balance, donde no hay una representación acuciosa del acuífero, por lo que el comportamiento simulado no pretende reproducir exactamente las variaciones medidas, pro sí debe comportarse dentro de un rango razonable, y reproducir las grandes señales.

Para obtener la cota piezométrica asociada a cada sector acuífero, se utiliza el resultado del estado o volumen final de cada uno de los acuíferos, entregados en los archivos del tipo AC-XX.txt del modelo Magic.

Para todos los acuíferos, salvo dos, se asumió una sección rectangular, por lo que la cota del nivel piezométrico (h) depende directamente del volumen en cada mes, dividido por el ancho superficial, todo lo anterior afectado por el coeficiente de almacenamiento. Sólo en dos tramos, la sección se asumió triangular, y por lo tanto la cota piezométrica se obtiene en función del ancho, dado un cierto volumen, afectado por el largo y por el coeficiente de almacenamiento.

En la Figura 6-10 se muestran en rojo los acuíferos de calibración, para los cuales hay mediciones de nivel en pozos de observación.

A continuación, en las Figuras 6-11 se muestran los gráficos de la calibración subterránea para cada uno de los sectores acuíferos donde hay datos observados. En algunos sectores hay varios pozos de observación, en otros uno solo o ninguno. El comportamiento simulado aparece en azul, mientras que el comportamiento observado se muestra en varios colores.

Figura 6-10
Acuíferos para calibración

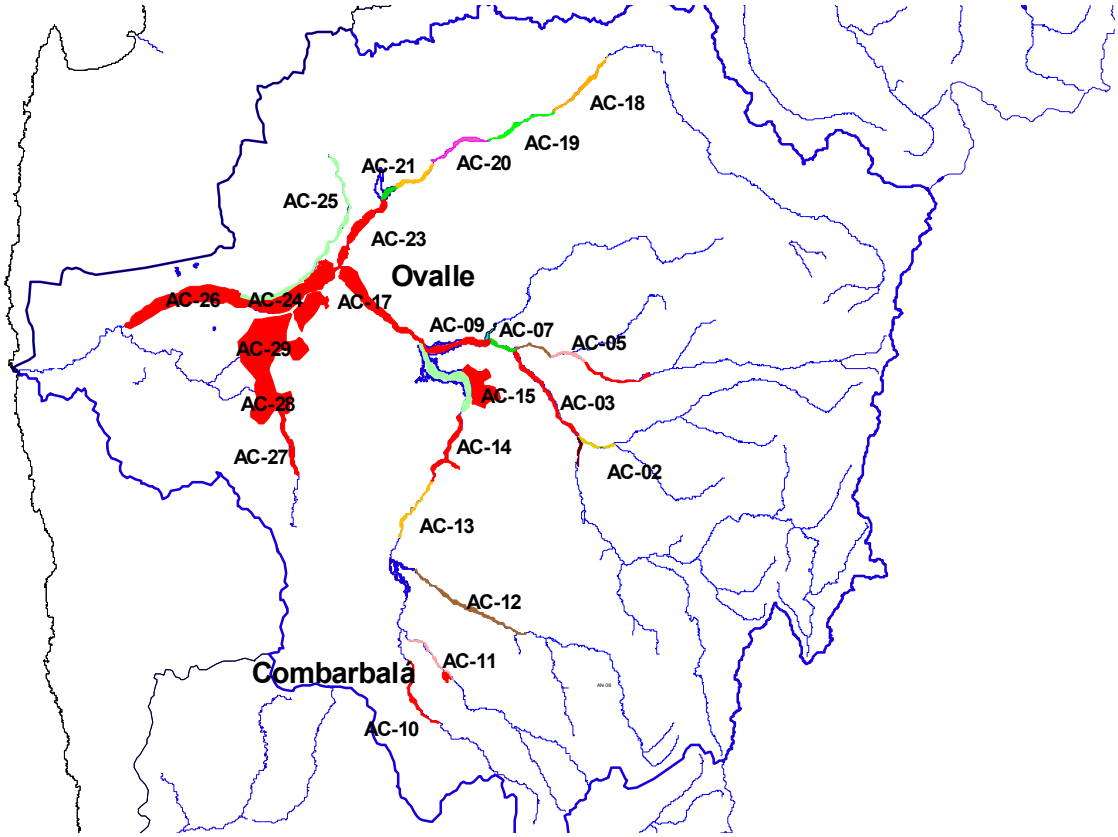
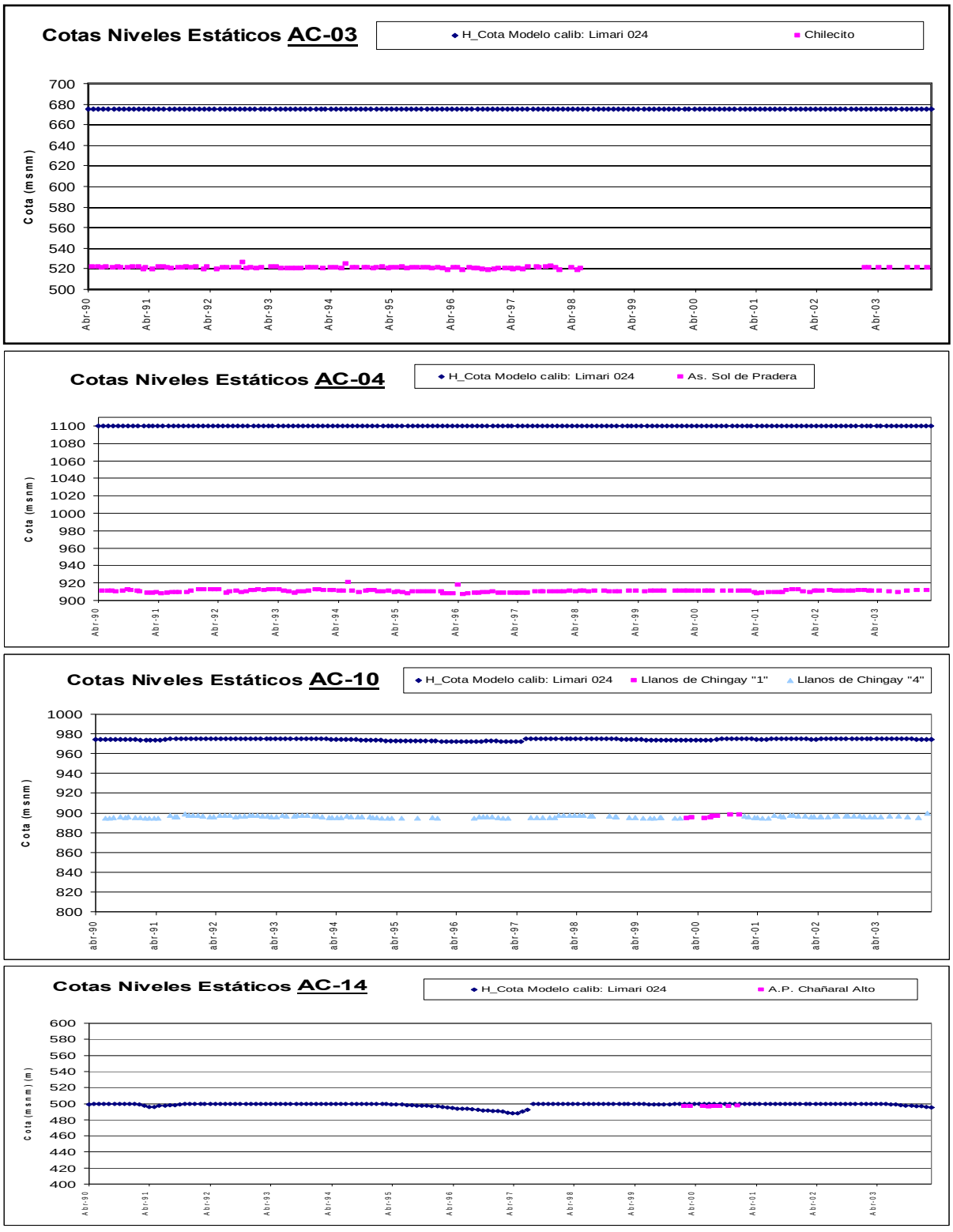
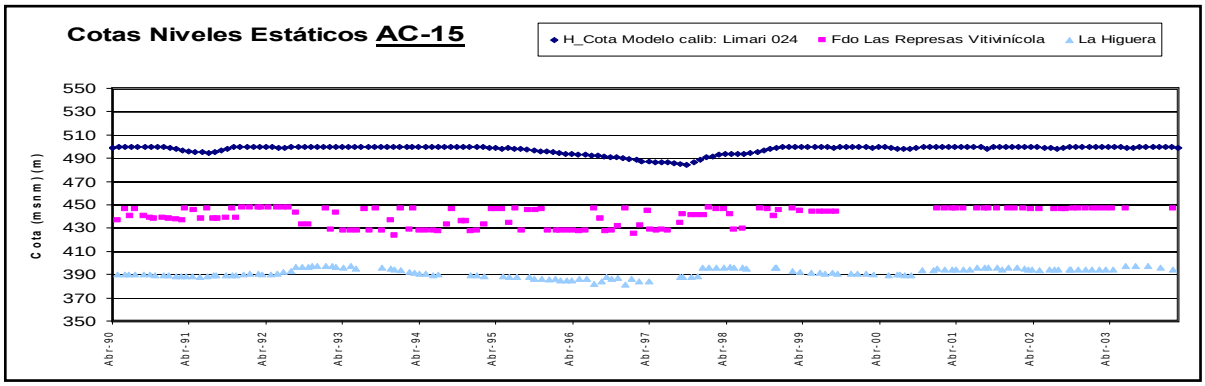
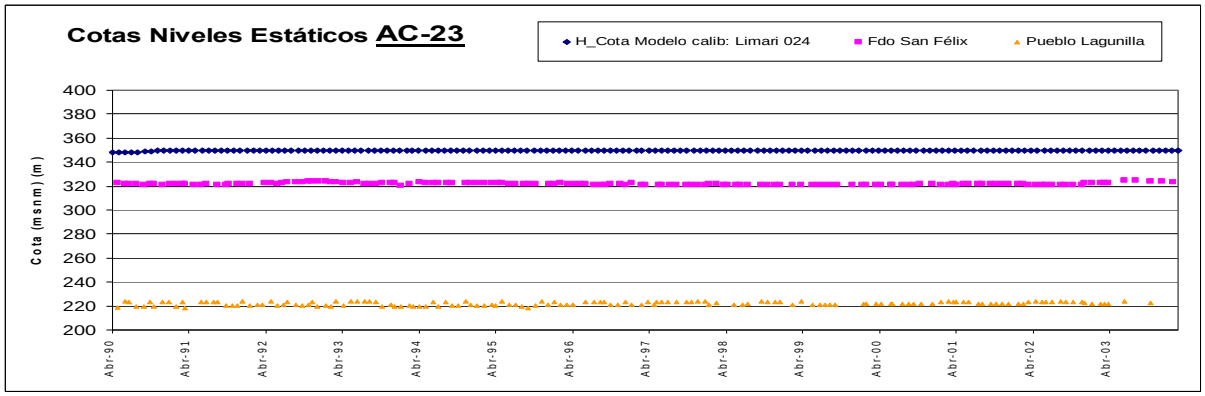
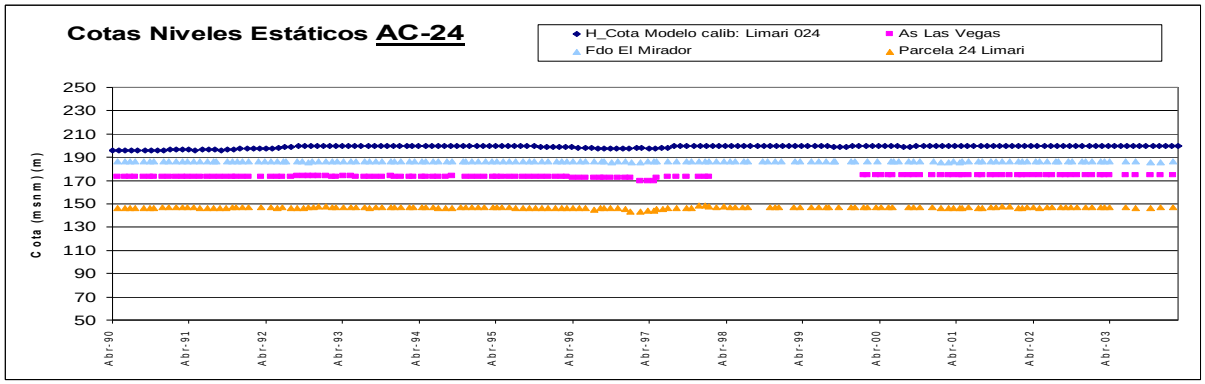


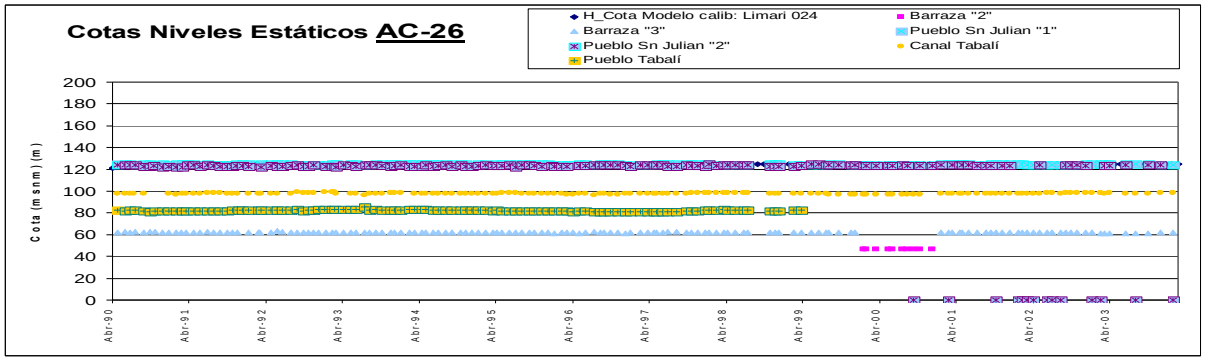
Figura 6-11
Comportamiento observado y simulado en acuíferos de calibración

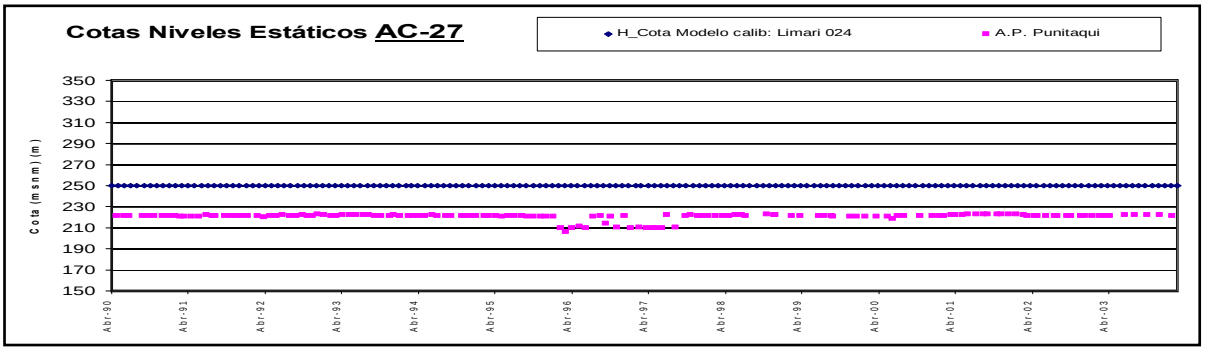


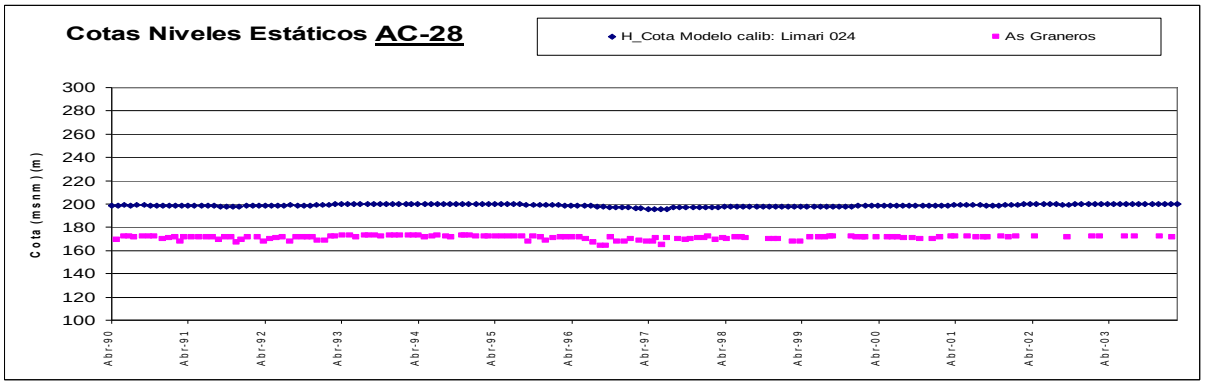

Cotas Niveles Estáticos AC-15
H_Cota Modelo calib: Limari 024
Fdo Las Represas Vitivinícola
La Higuera
Cota (msnm) (m)
550
530
510
490
470
450
430
410
390
370
350
Abr-90
Abr-91
Abr-92
Abr-93
Abr-94
Abr-95
Abr-96
Abr-97
Abr-98
Abr-99
Abr-00
Abr-01
Abr-02
Abr-03

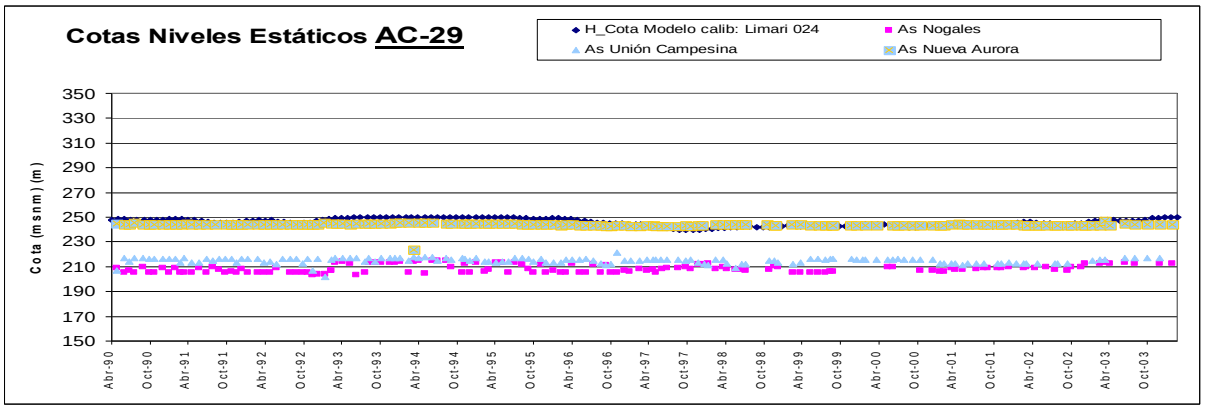

Cotas Niveles Estáticos AC-23
H_Cota Modelo calib: Limari 024
Fdo San Félix
Pueblo Lagunilla
Cota (msnm) (m)
400
380
360
340
320
300
280
260
240
220
200
Abr-90
Abr-91
Abr-92
Abr-93
Abr-94
Abr-95
Abr-96
Abr-97
Abr-98
Abr-99
Abr-00
Abr-01
Abr-02
Abr-03

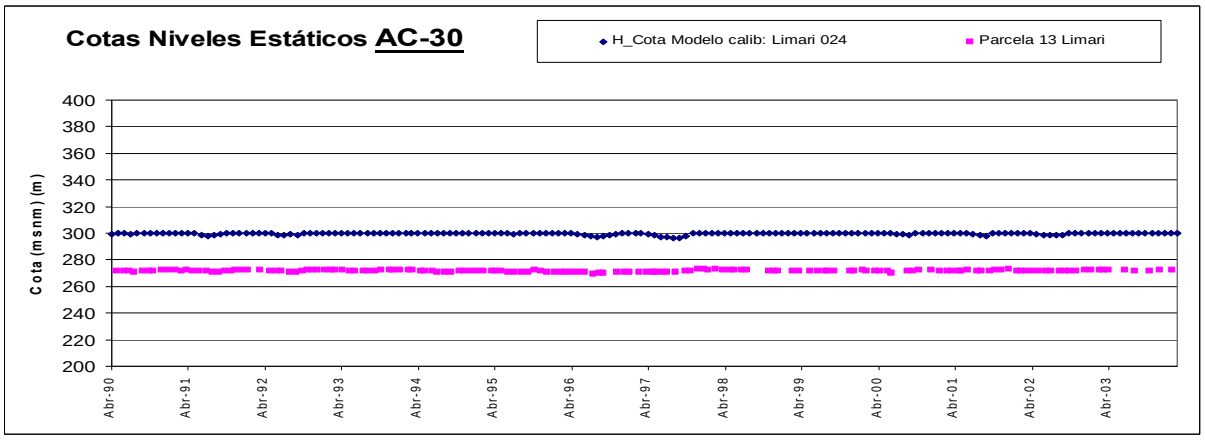

Cotas Niveles Estáticos AC-24
H_Cota Modelo calib: Limari 024
As Las Vegas
Fdo El Mirador
Parcela 24 Limari
Cota (msnm) (m)
250
230
210
190
170
150
130
110
90
70
50
Abr-90
Abr-91
Abr-92
Abr-93
Abr-94
Abr-95
Abr-96
Abr-97
Abr-98
Abr-99
Abr-00
Abr-01
Abr-02
Abr-03


Cotas Niveles Estáticos AC-26
H_Cota Modelo calib: Limari 024
Barraza "2"
Barraza "3"
Pueblo Sn Julian "1"
Pueblo Sn Julian "2"
Canal Tabalí
Pueblo Tabalí
Cota (msnm) (m)
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
Abr-90
Abr-91
Abr-92
Abr-93
Abr-94
Abr-95
Abr-96
Abr-97
Abr-98
Abr-99
Abr-00
Abr-01
Abr-02
Abr-03


Cotas Niveles Estáticos AC-27
H_Cota Modelo calib: Limari 024
A.P. Punitaqui
Cota (msnm) (m)
350
330
310
290
270
250
230
210
190
170
150
Abr-90
Abr-91
Abr-92
Abr-93
Abr-94
Abr-95
Abr-96
Abr-97
Abr-98
Abr-99
Abr-00
Abr-01
Abr-02
Abr-03


Cotas Niveles Estáticos AC-28
H_Cota Modelo calib: Limari 024
As Graneros
Cota (msnm) (m)
300
280
260
240
220
200
180
160
140
120
100
Abr-90
Abr-91
Abr-92
Abr-93
Abr-94
Abr-95
Abr-96
Abr-97
Abr-98
Abr-99
Abr-00
Abr-01
Abr-02
Abr-03


Cotas Niveles Estáticos AC-29
H_Cota Modelo calib: Limari 024
As Nogales
As Unión Campesina
As Nueva Aurora
Cota (msnm) (m)
350
330
310
290
270
250
230
210
190
170
150
Abr-90
Oct-90
Abr-91
Oct-91
Abr-92
Oct-92
Abr-93
Oct-93
Abr-94
Oct-94
Abr-95
Oct-95
Abr-96
Oct-96
Abr-97
Oct-97
Abr-98
Oct-98
Abr-99
Oct-99
Abr-00
Oct-00
Abr-01
Oct-01
Abr-02
Oct-02
Abr-03
Oct-03


Cotas Niveles Estáticos AC-30
H_Cota Modelo calib: Limari 024
Parcela 13 Limari
Cota (msnm) (m)
400
380
360
340
320
300
280
260
240
220
200
Abr-90
Abr-91
Abr-92
Abr-93
Abr-94
Abr-95
Abr-96
Abr-97
Abr-98
Abr-99
Abr-00
Abr-01
Abr-02
Abr-03

En general en esta cuenca se observa que hay acuíferos de río, directamente ligados a los cauces, que presentan pocas variaciones de nivel a lo largo del período de calibración, porque permanecen llenos, mientras que hay otros acuíferos, principalmente los de las terrazas antiguas, que son más sensibles a la explotación, y presentan mayores variaciones de nivel. El modelo, una vez calibrado, reproduce bastante satisfactoriamente estas variaciones de nivel. La definición de los acuíferos para la modelación, ha sido un poco conservadora, de modo que la respuesta también lo es.

Las variaciones un poco exageradas en los acuíferos del río Limarí aguas abajo de Ovalle, pueden deberse a que las zonas cultivadas actuales, consideradas en la modelación para todo el período, sobreestiman un poco las demandas de 15 años atrás.

c) Comportamiento de Embalses

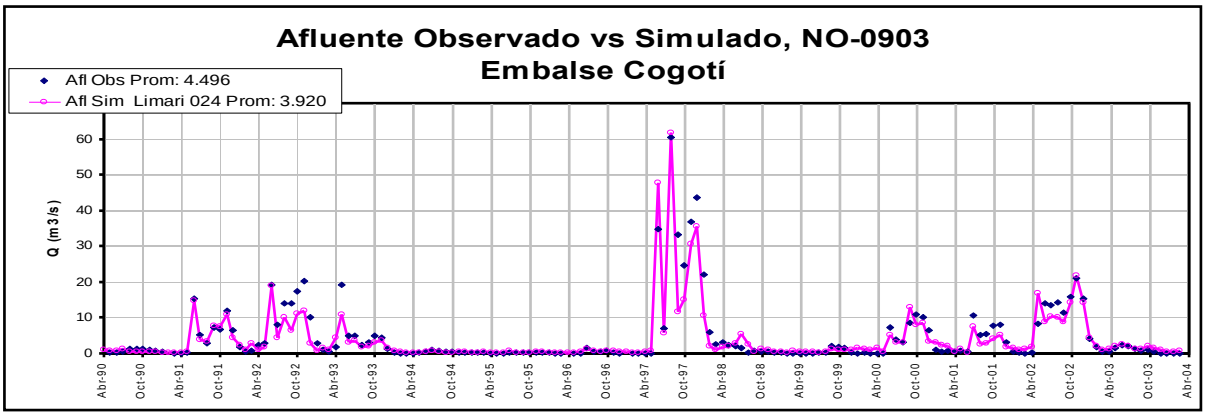
Todo el comportamiento anteriormente calibrado se verifica a través del comportamiento de los embalses. Conocidas las extracciones de ellos, y su estado, es posible contrastarlas con las extracciones que simula el modelo a partir de las demandas impuestas aguas abajo, y los estados de embalse resultantes de las entradas y salidas.

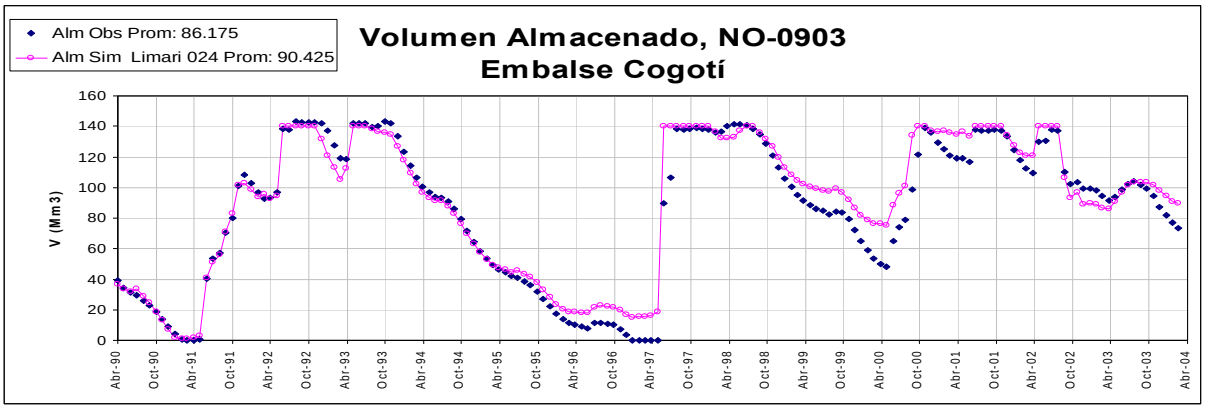
A continuación se presentan, para cada uno de los embalses, sus comportamientos observados y simulados.

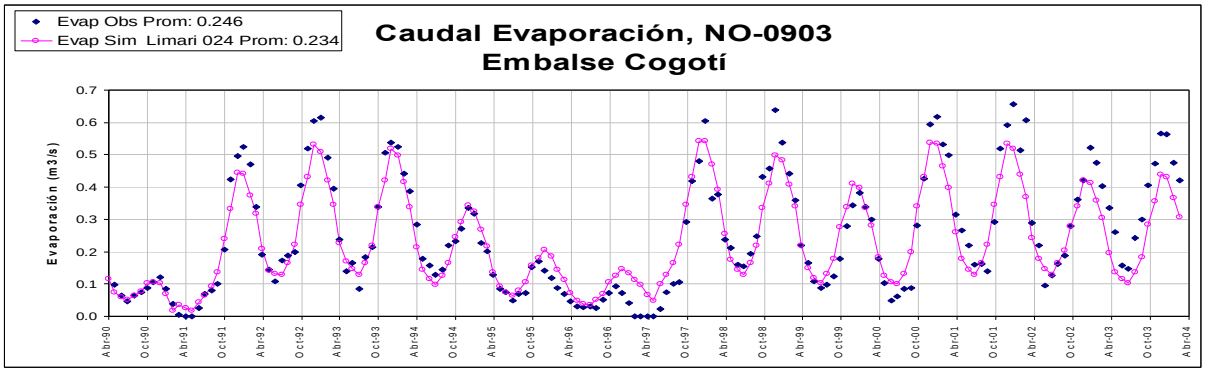
i) Embalse Cogotí

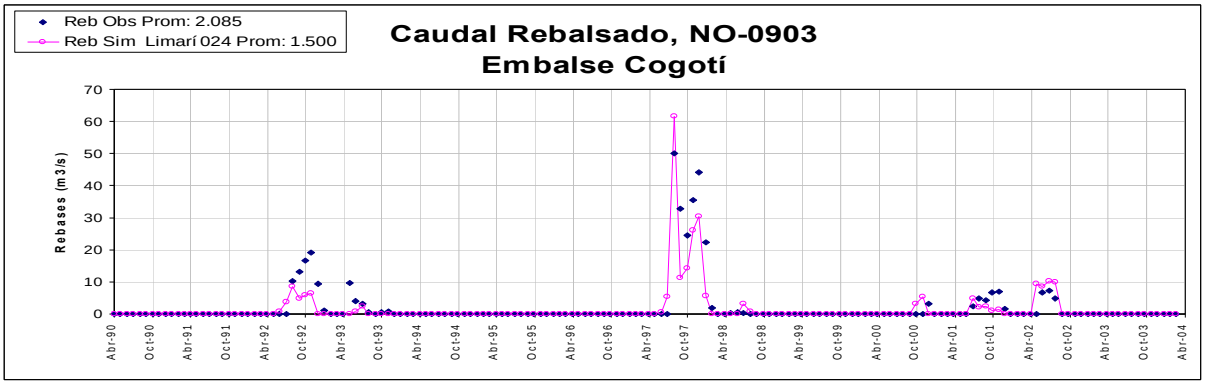
Para el embalse Cogotí se pueden comparar los valores observados y simulados de las siguientes variables: caudales de entrada y salida, rebalses, evaporación desde el embalse y estado del embalse, que se presentan en las Figuras 6-12 adjuntas. Las filtraciones de este embalse están incluidas en las salidas, no se registran por separado. Todas las variables se presentan en forma de volúmenes, porque la información observada se maneja de esta forma, de modo que son más fácilmente interpretables los resultados que si se presentaran como caudales. Las figuras muestran que el modelo, en la forma en que quedó calibrado, representa satisfactoriamente bien la realidad.

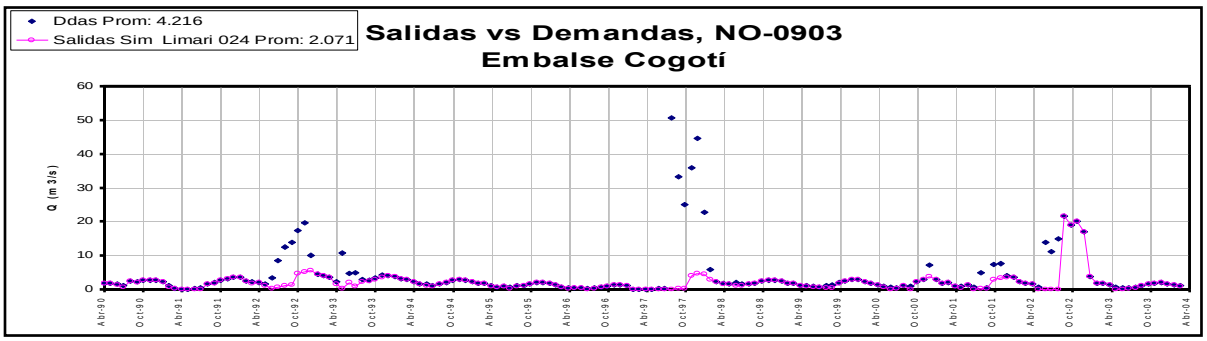
Figura 6-12
Caudales de entrada, de salida y estado del embalse Cogotí









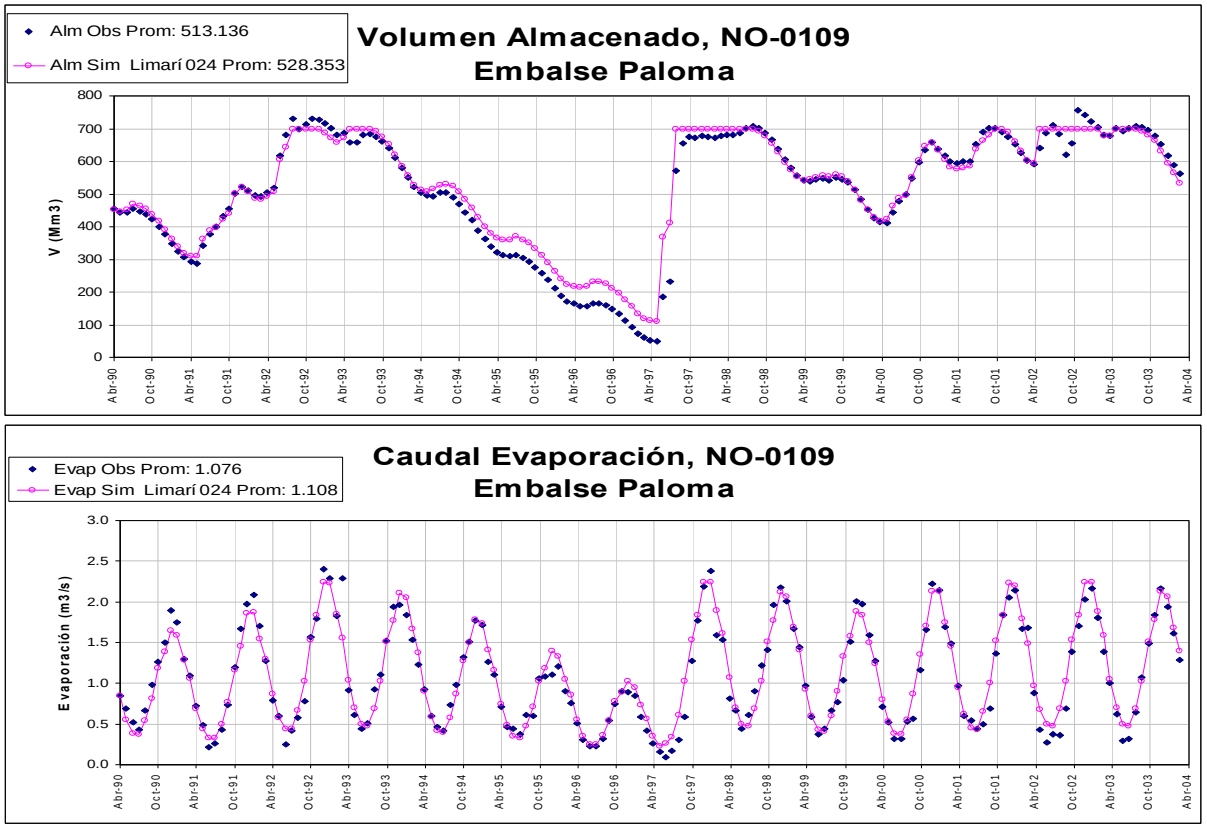


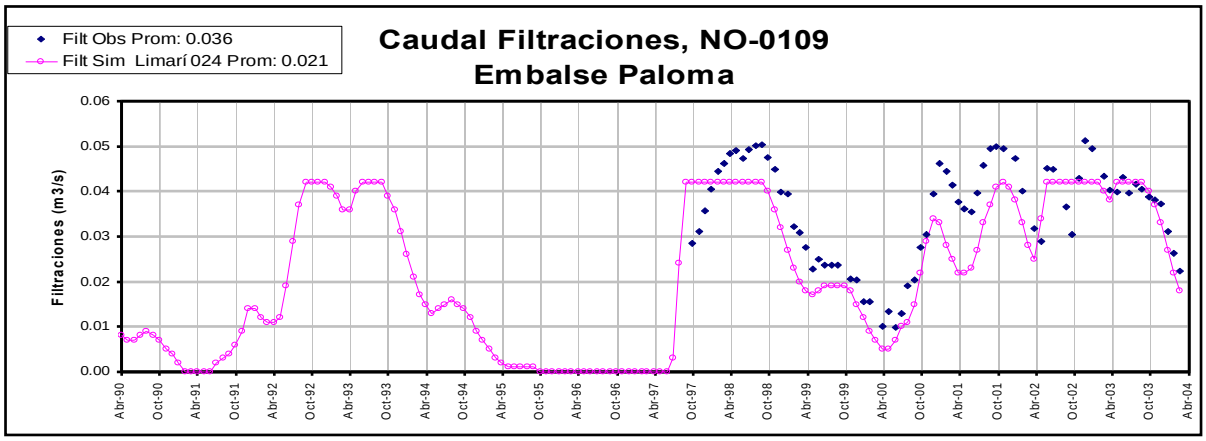
ii) Embalse Paloma

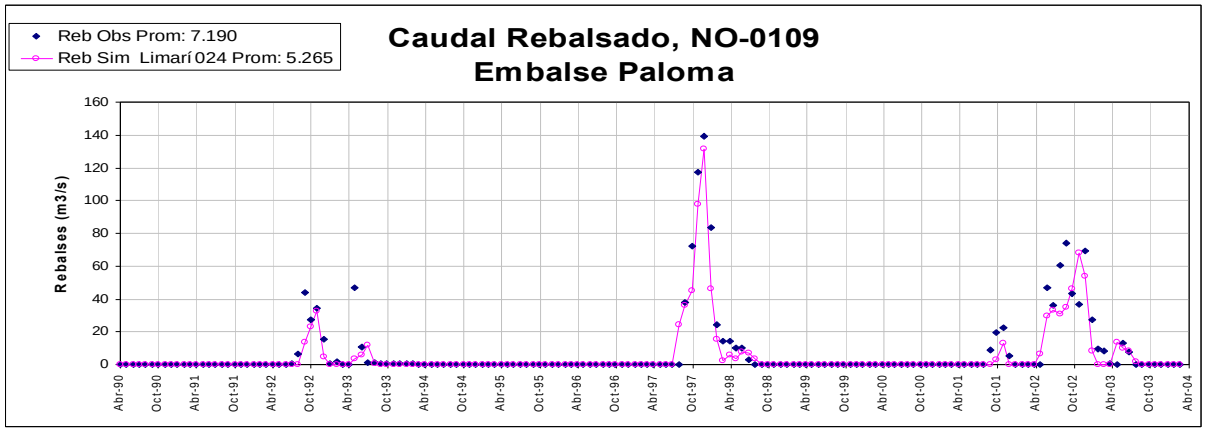
Para el embalse Paloma se pueden comparar los valores observados y simulados de las siguientes variables: estado del embalse, evaporación, filtraciones, rebalses y caudales de salida, los que se presentan en las Figuras 6-13 adjuntas. También en este caso, las variables se presentan en forma de volúmenes, porque la información observada se maneja de esta forma.

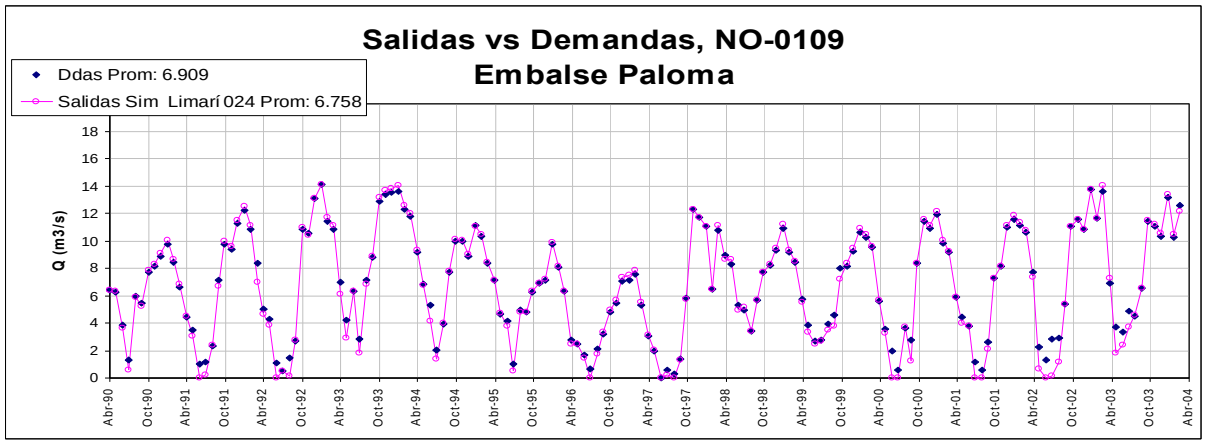
Las figuras muestran que el modelo, en la forma en que quedó calibrado, representa satisfactoriamente bien la realidad.

Figura 6-13
Caudales de entrada, de salida y estado del embalse Paloma





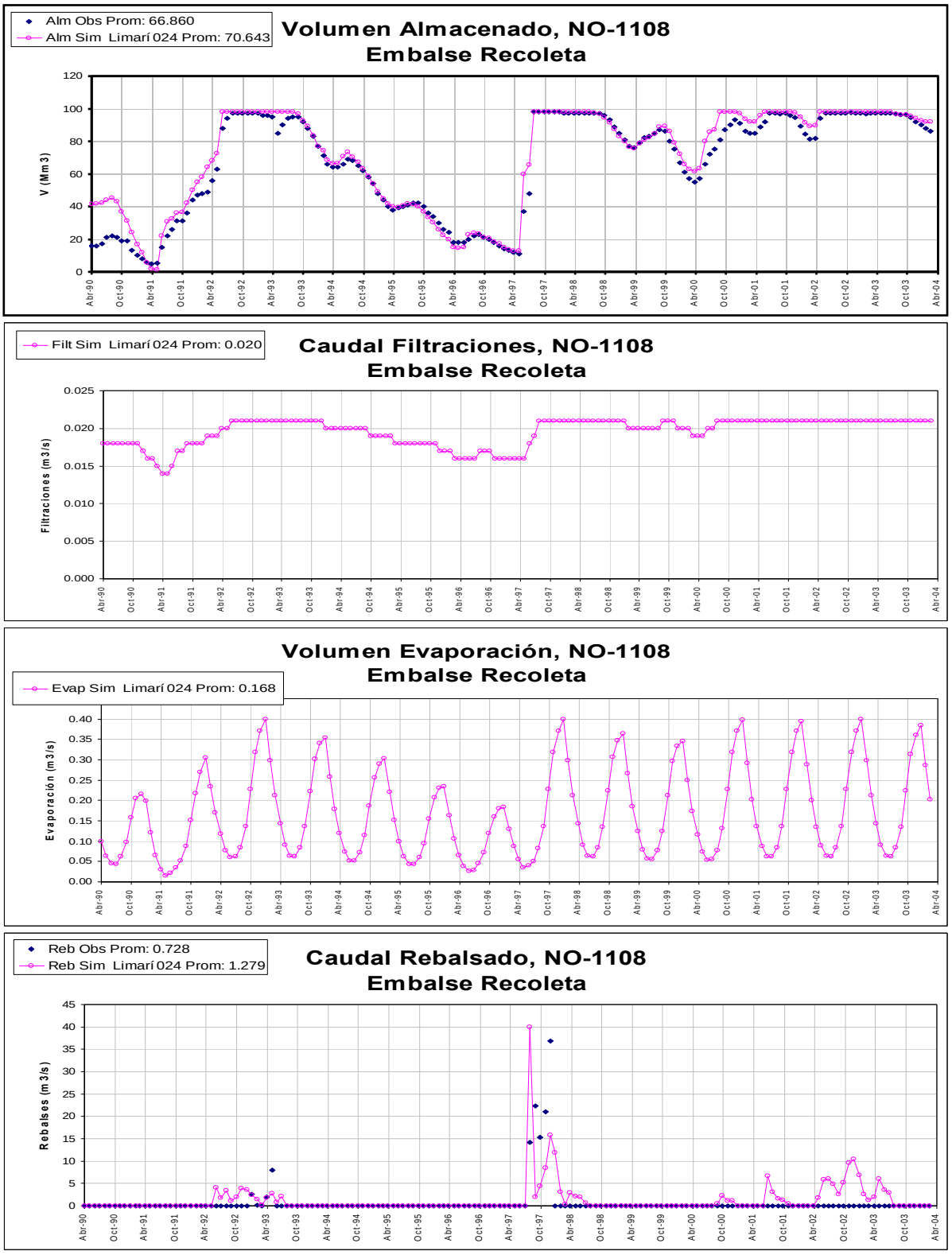




iii) Embalse Recoleta

El comportamiento del embalse Recoleta se presenta en las Figuras 6-14. Para este embalse sólo se contó con información observada para la variable del volumen rebalsado, información que se obtuvo en la DOH. Todas las demás variables que se presentan aquí son el resultado de una modelación, y se basa en información teórica preexistente y en los supuestos asumidos para la modelación.

Figura 6-14
Caudales de entrada, de salida y estado del embalse Recoleta



6.4 MODELO LIMARÍ: RESULTADOS

El modelo se desarrolló para poder dar respuesta a las siguientes interrogantes planteadas en los términos de referencia del presente estudio, y que son de muy difícil análisis en el caso de no contarse con un modelo integrado:

- Grado de utilización del recurso hídrico
- Interacción entre aguas superficiales y subterráneas
- Comportamiento de acuíferos
- Seguridad de riego
- Flujos de retorno
- Se agregó, por considerarse de gran interés, el análisis de las salidas al mar.

A continuación se desarrolla cada uno de estos aspectos, los cuales se apoyan con figuras. En estas figuras se ha tratado de uniformar la escala de las ordenadas, para mostrar visualmente la importancia relativa entre las diferentes zonas de riego. Además, para que se pueda apreciar los valores, se ha agregado en la leyenda el valor promedio de la serie para cada variable analizada.

6.4.1 Grado de utilización del recurso hídrico

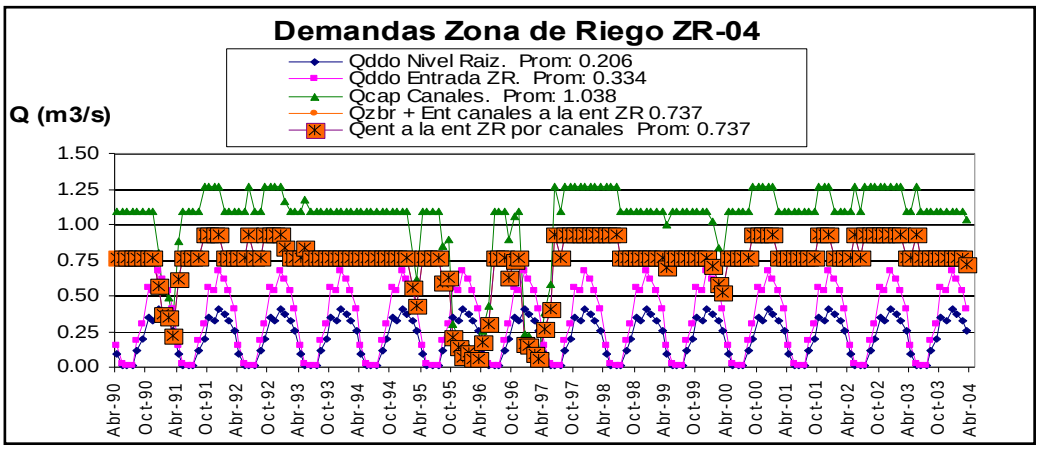
Este tema se analiza a través de la comparación entre las diferentes demandas que se obtienen para cada zona de riego:

- las demandas a nivel raíz de los cultivos
- las demandas en la entrada de cada zona de riego, considerando método de riego (o eficiencia de aplicación) y eficiencia de conducción intrapredial
- el caudal captado por los canales en bocatoma
- el caudal que llega efectivamente a la zona de riego por canales
- la entrega solicitada a los pozos de riego cuando hay déficit.

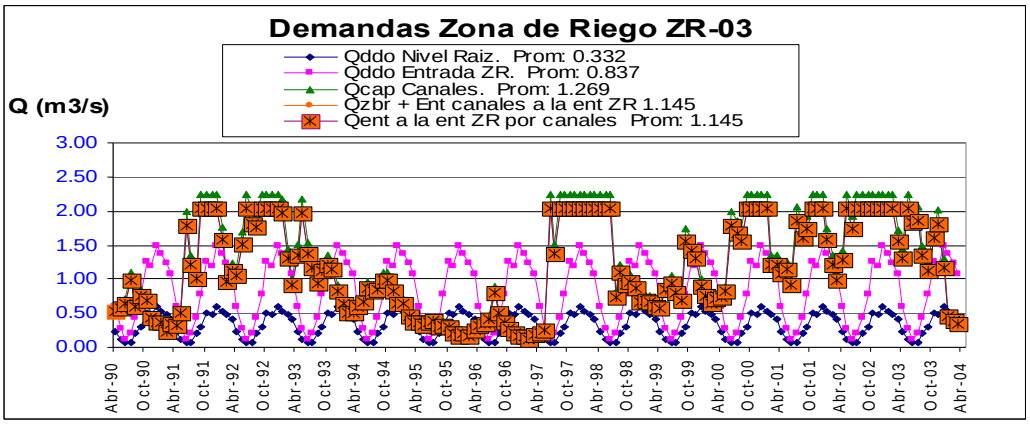
Los cinco tipos de caudales, tanto demandados como recibidos, obtenidos de la modelación, se presentan en la Figura 6-15 adjunta, para cada área o mesozona de riego, de modo que se pueda apreciar la evolución espacial además de la temporal. En cuanto a las escalas, se ha tratado de presentar todo en no más de tres escalas verticales diferentes, para generar la posibilidad de una comparación visual de la importancia relativa de los sectores de riego.

Figura 6-15
Caudales demandados y recibidos a nivel de área o mesozona de riego

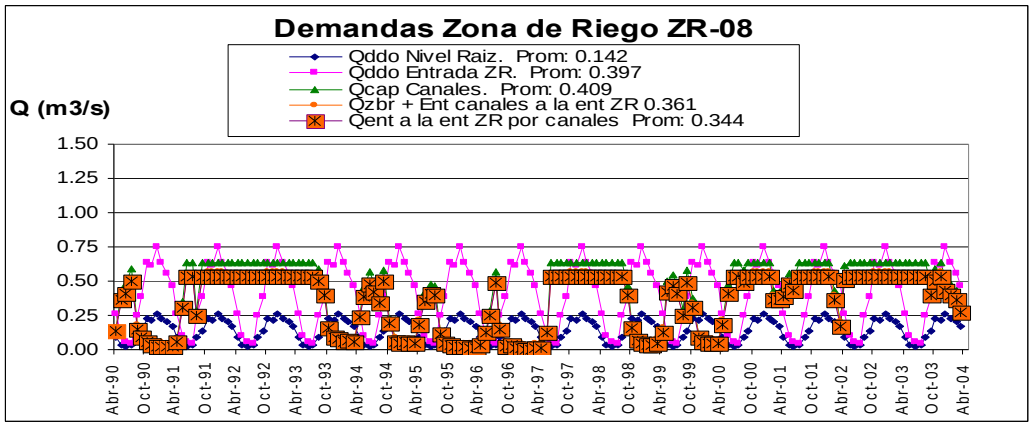
Río Grande desde Las Ramadas hasta embalse Paloma



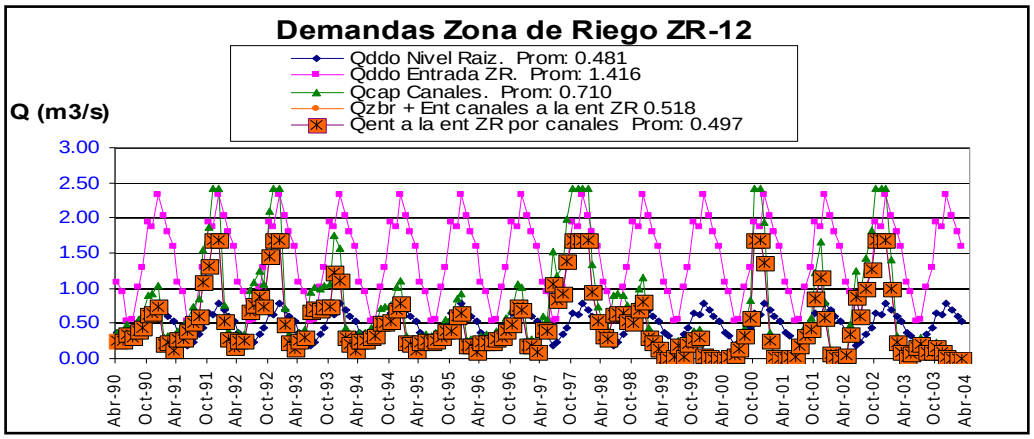
Río Mostazal



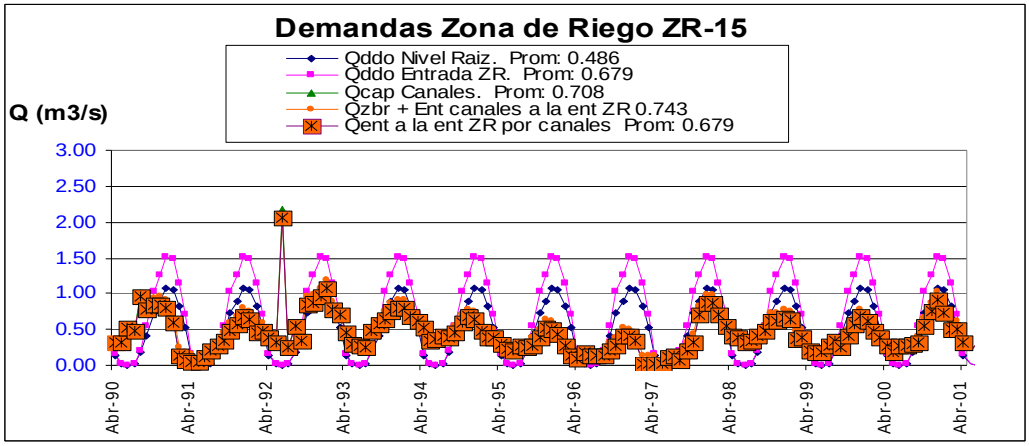
Río Rapel



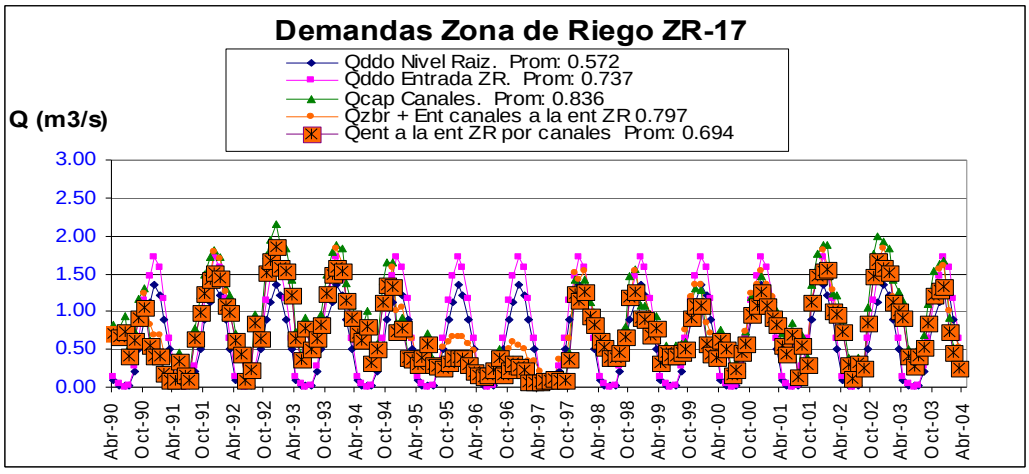
Ríos Pama, Combarbalá, Cogotí



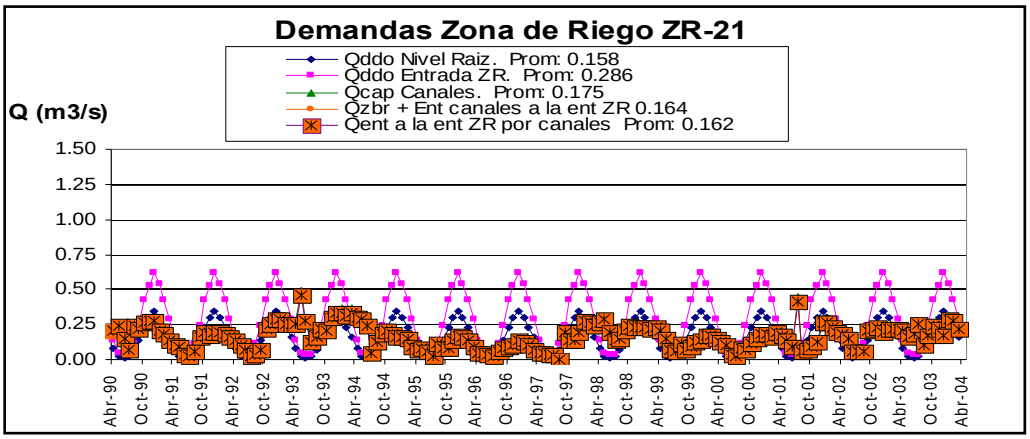
Río Huatulame



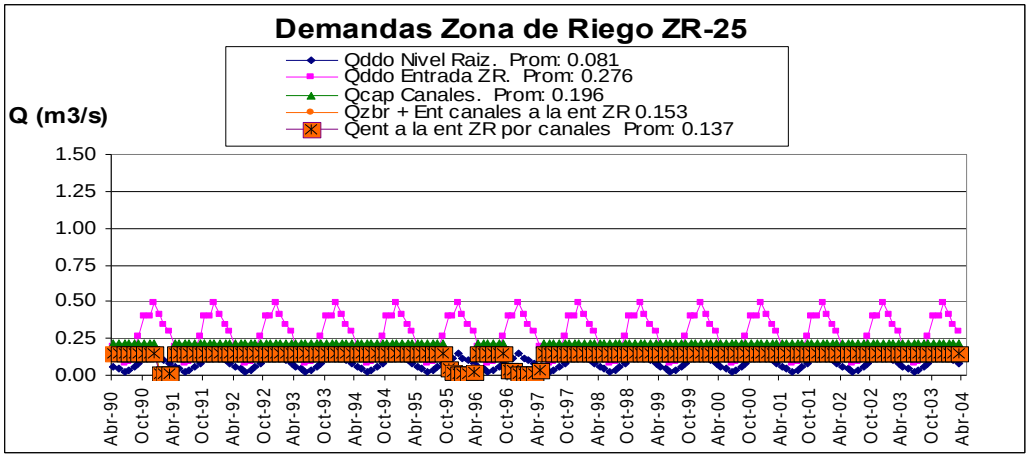
El Palqui



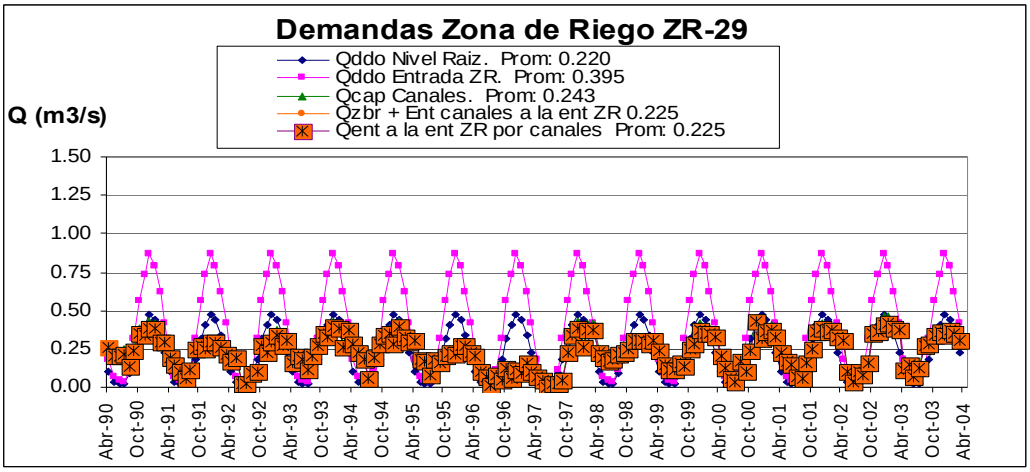
Tamelcura



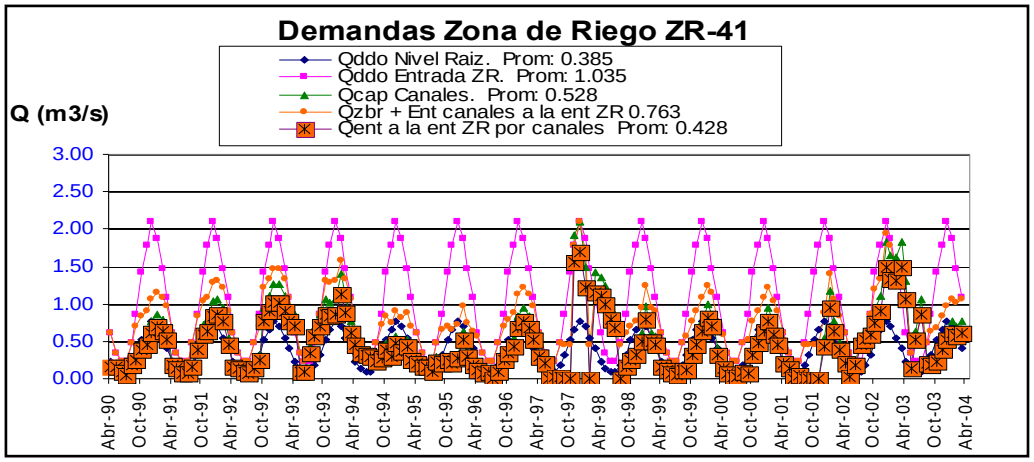
Río Hurtado sobre embalse Recoleta



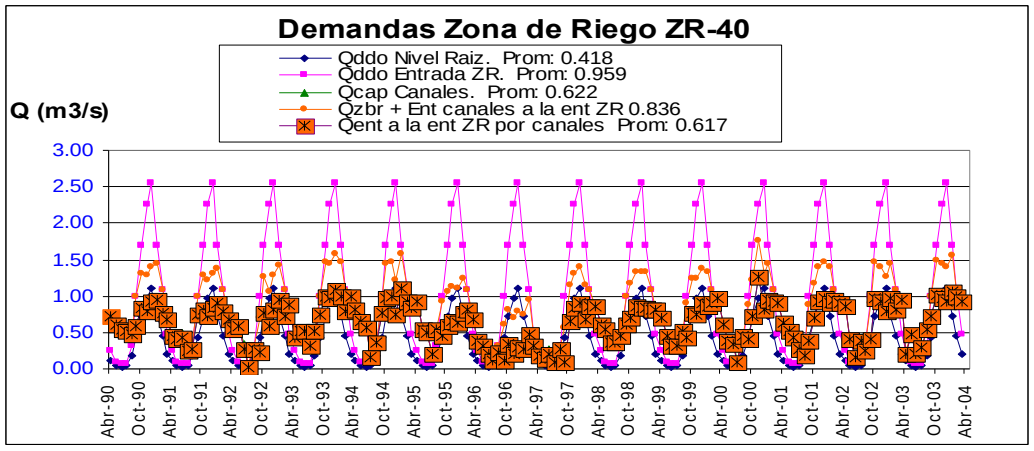
Río Hurtado bajo embalse Recoleta



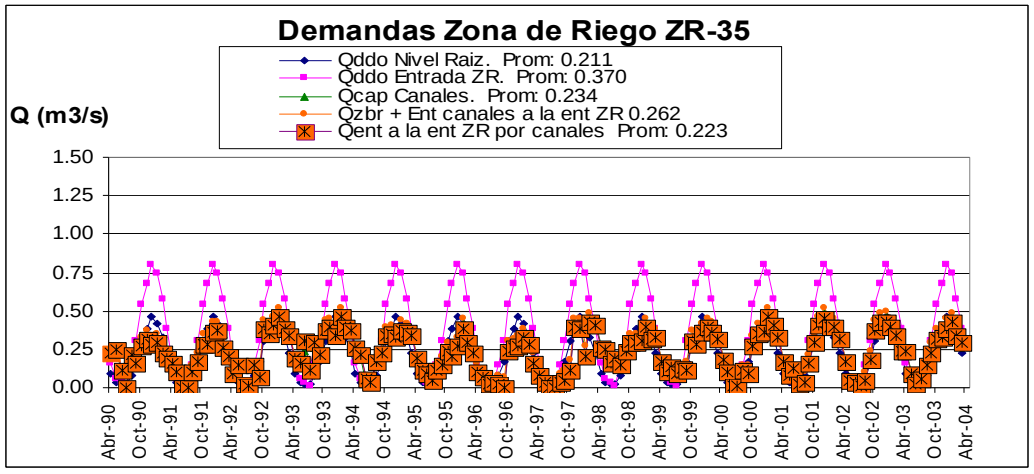
Cauce río Limarí



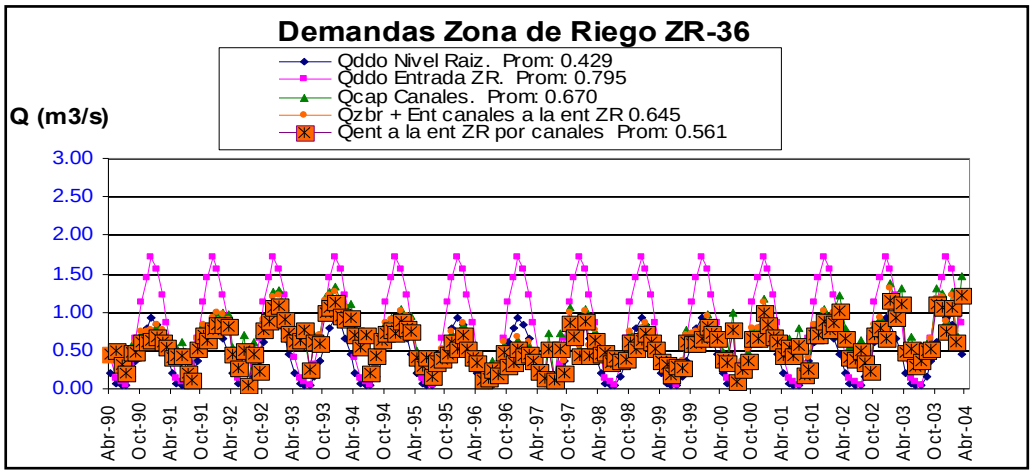
Terrazas Norte Limarí (Riego Recoleta)



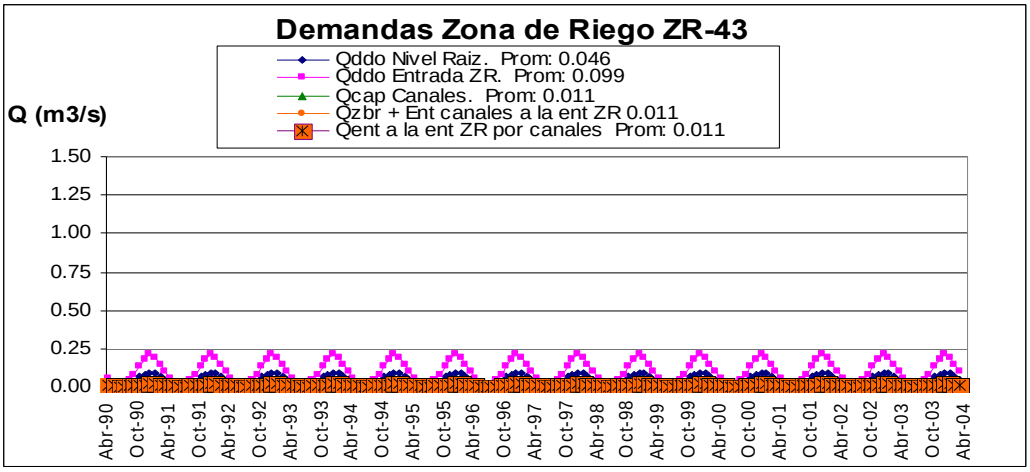
Canal Camarico



Canal Derivado Cogotí

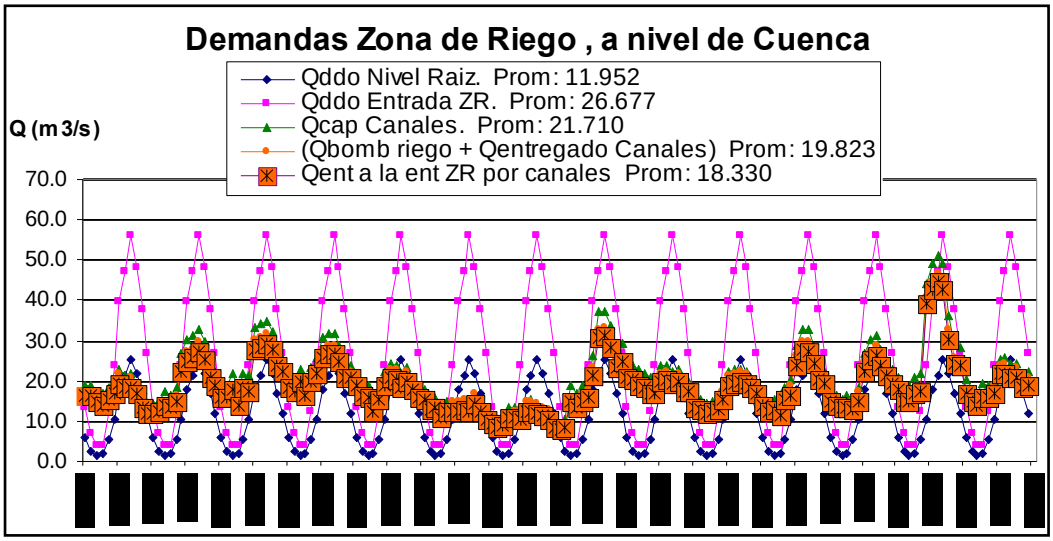


Estero Punitaqui



Como resultado para toda la cuenca, se obtiene la siguiente Figura 6-16

Figura 6-16
Demanda y entrega agregada de todas las zonas de riego, a nivel de la cuenca



En las figuras presentadas se aprecia que el porcentaje de satisfacción de la demanda es en general mucho menor que la demanda, considerando que se desea regar toda el área posible de regar, con las ineficiencias aún existentes. En la Figura 6-16, agregada para toda la cuenca, se observa que el recurso disponible alcanza a cubrir la demanda a nivel raíz con un 85% de seguridad, pero no las ineficiencias. En el Capítulo 6.5 de diagnóstico se presentan los comentarios y observaciones del análisis correspondiente al diagnóstico.

6.4.2 Interacción entre aguas superficiales y subterráneas

A través de la modelación, este tema ha podido ser mostrado como la interacción entre los cauces, zonas de riego y acuíferos. Los flujos de interacción son las percolaciones, que llegan desde cauces, canales y zonas de riego hacia los acuíferos, que conforman la disponibilidad total para la recarga. Sin embargo, dependiendo del estado del acuífero, se producen rechazos de recarga o afloramientos hacia los nodos del cauce superficial, de modo que aparece un nuevo concepto, el de la recarga neta, que es el agua que realmente entra al acuífero.

En las Figuras 6-17 se han presentado los recursos disponibles para percolación que se generan desde cauces, canales y zonas de riego. Estos recursos conforman la recarga disponible. Se observa que la recarga disponible proviene de diferentes fuentes, dependiendo de los sectores de que se trae.

Así, en todas las ramas del río Grande sobre el embalse Paloma, el cauce y los canales tienen una importancia similar en cuanto a los recursos aportados a los acuíferos. Las zonas de riego,

en cambio, no estarían aportando porque se ha considerado que las percolaciones desde las zonas de riego se reúsan en su totalidad.

Sobre el embalse Cogotí, el agua disponible la toman los canales, de modo que ellos son la principal fuente de percolaciones hacia el acuífero, en forma más importante que los cauces, los cuales llevan poca agua.

En el río Huatulame se presentan dos situaciones diversas. En la parte de arriba, donde el lecho del cauce es reducido y el área de cultivos más pequeña, el mayor aporte al acuífero proviene desde el río. En la parte más ancha del valle, el cauce está más seco, y por lo tanto cobran mayor importancia los canales y zonas de riego en cuanto al recurso que vuelve al acuífero.

En la zona del Palqui, donde no hay cauce, el acuífero es alimentado principalmente por los canales que atraviesan la zona, pero también en parte por las percolaciones de riego, que en este sector no tienen posibilidad de reúso directo.

Bajo el embalse Paloma, el río Grande trae poca agua, por lo que el acuífero se alimenta fundamentalmente desde los canales. Las percolaciones desde las zonas de riego se consideran disponibles para el reúso.

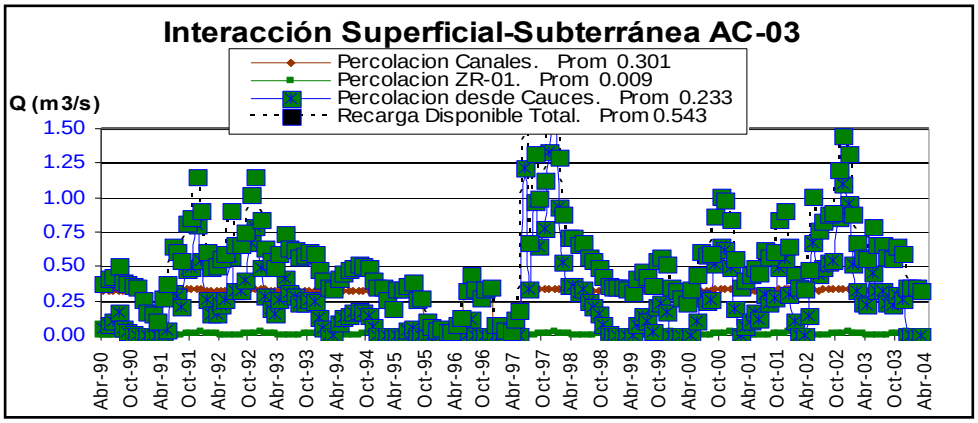
En el río Hurtado, la recarga proviene predominantemente desde el cauce, si se considera que el agua de percolación de las zonas de riego es posible destinarla al reúso.

En el acuífero del río Limarí, también se ha considerado que las percolaciones de riego pueden ser destinadas al reúso, por lo cual el acuífero se alimenta fundamentalmente del agua del cauce.

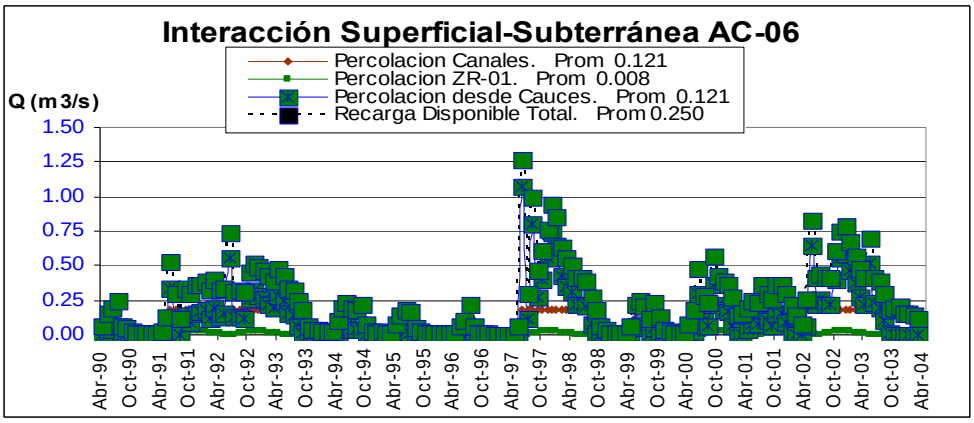
Finalmente, en los acuíferos del Punitaqui, cauce muy seco, y de las terrazas al sur del Limarí, el aporte de agua proviene fundamentalmente de los canales y, en una pequeña medida, de las zonas de riego, aunque se ha considerado que parcialmente en estas zonas se puede reusar las percolaciones.

Figura 6-17
Percolaciones parciales y recarga total disponible

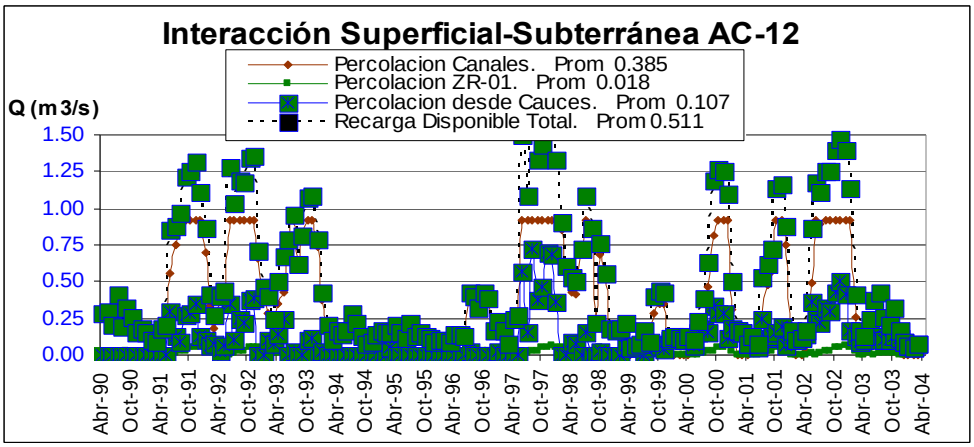
Río Grande sobre Rapel



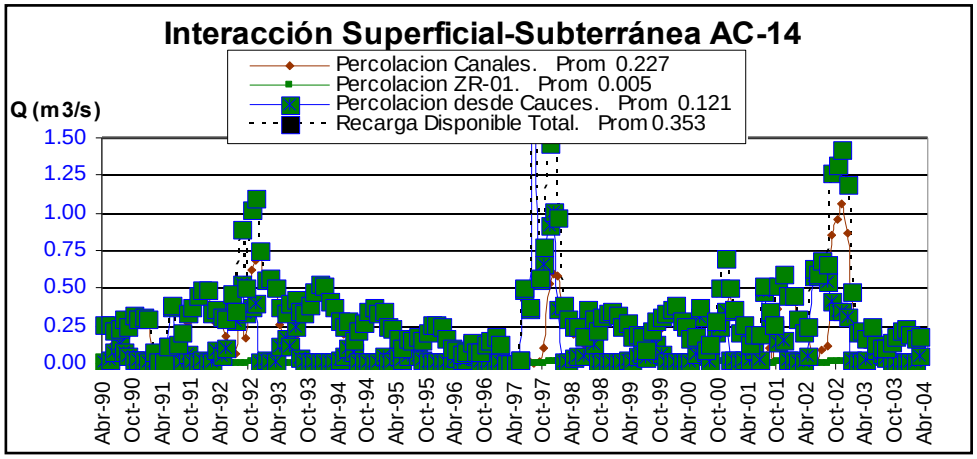
Río Rapel sobre Grande



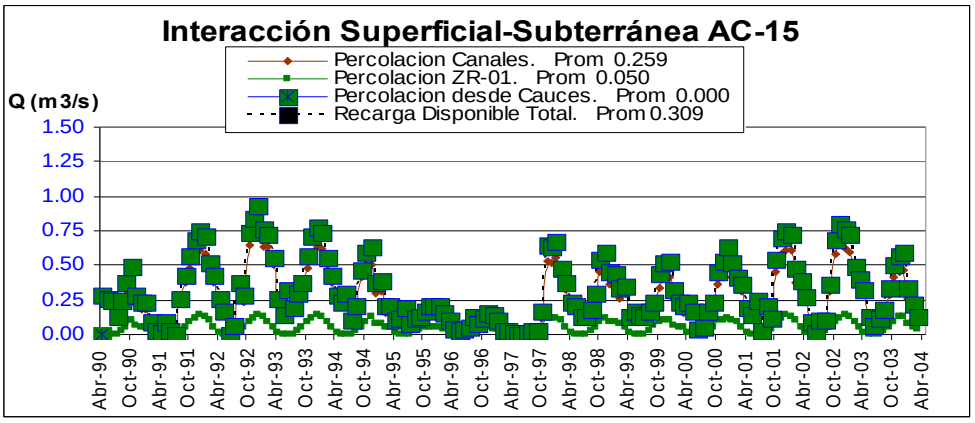
Río Cogotí sobre Embalse



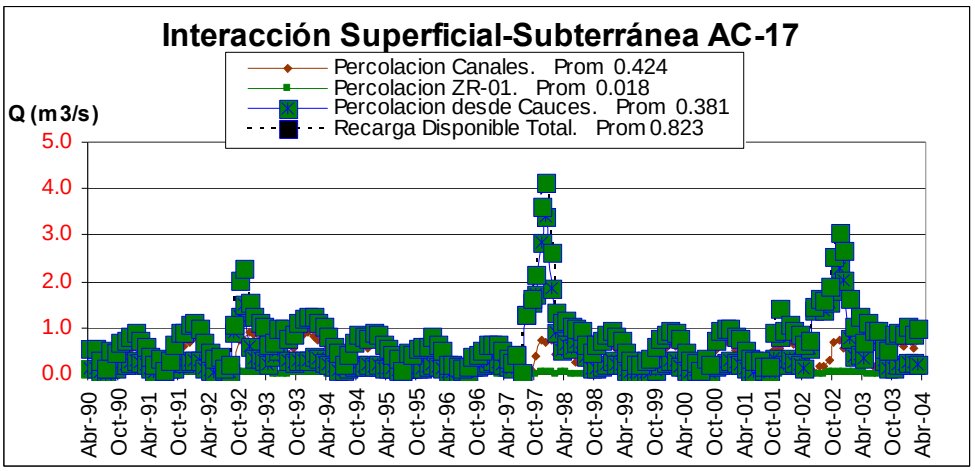
Río Huatulame



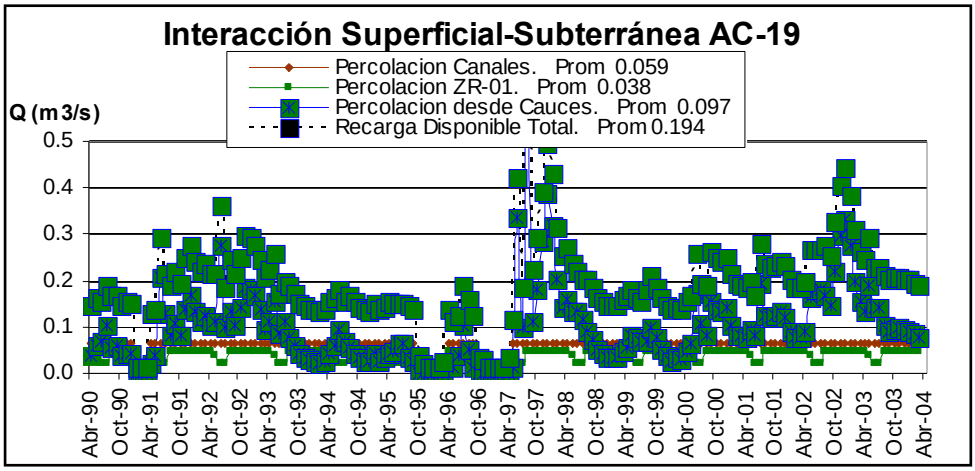
El Palqui



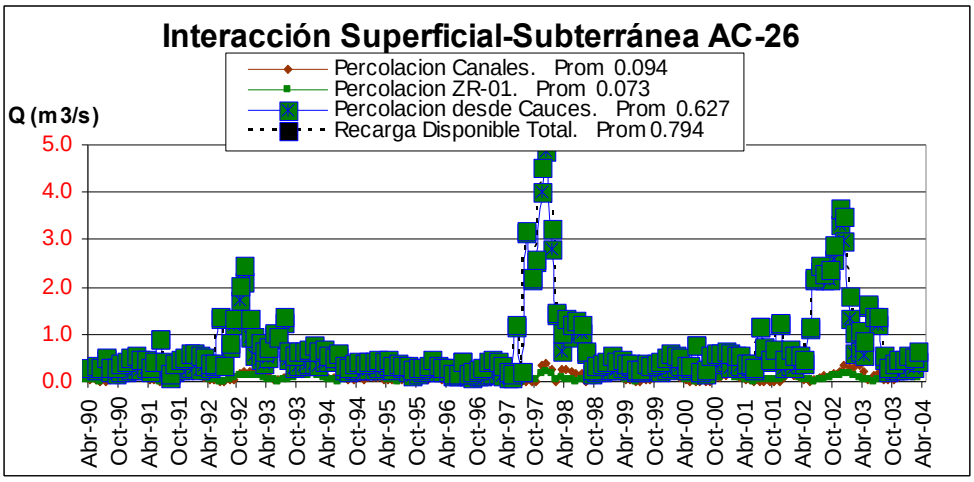
Río Grande bajo embalse Paloma



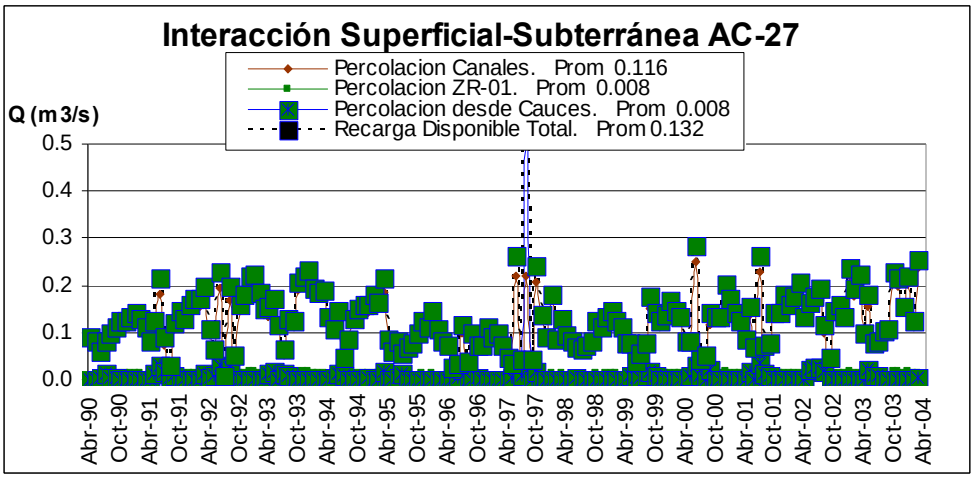
Río Hurtado



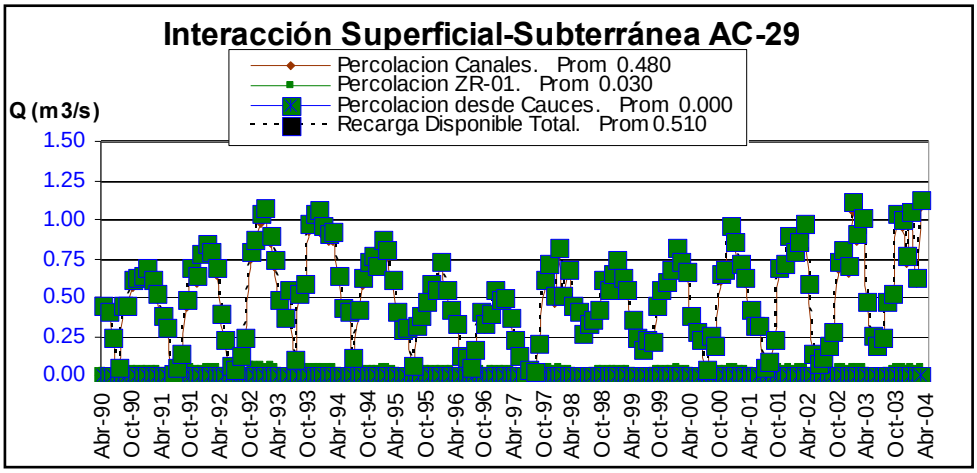
Río Limarí



Estero Punitaqui



Terraza Sur Limarí

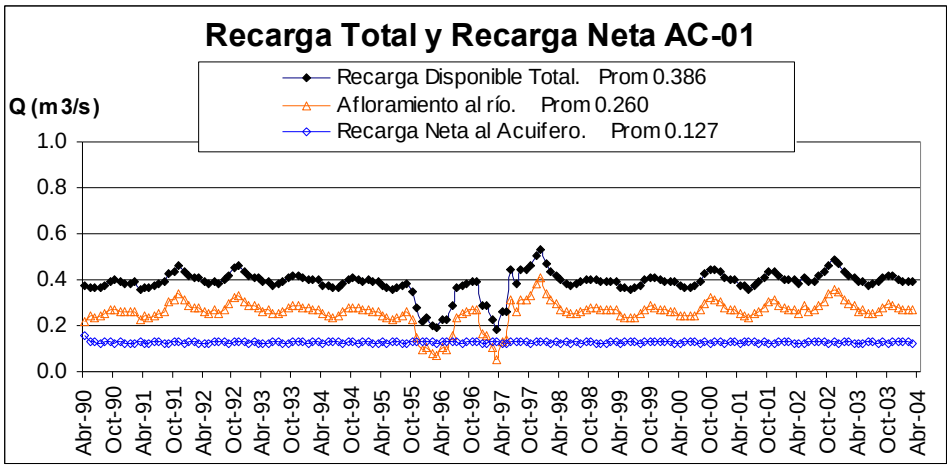


Por otro lado, se puede observar que de las percolaciones totales o recarga disponible, sólo una parte realmente puede ingresar al acuífero como recarga neta. La otra parte es rechazada por encontrarse los acuíferos llenos. Eso depende del estado propio de cada acuífero, especialmente de su explotación, y se presenta en la Figura 6-18 adjunta. En dicha figura se muestran las diferentes situaciones que se presentan en esta cuenca en cuanto a la recarga real.

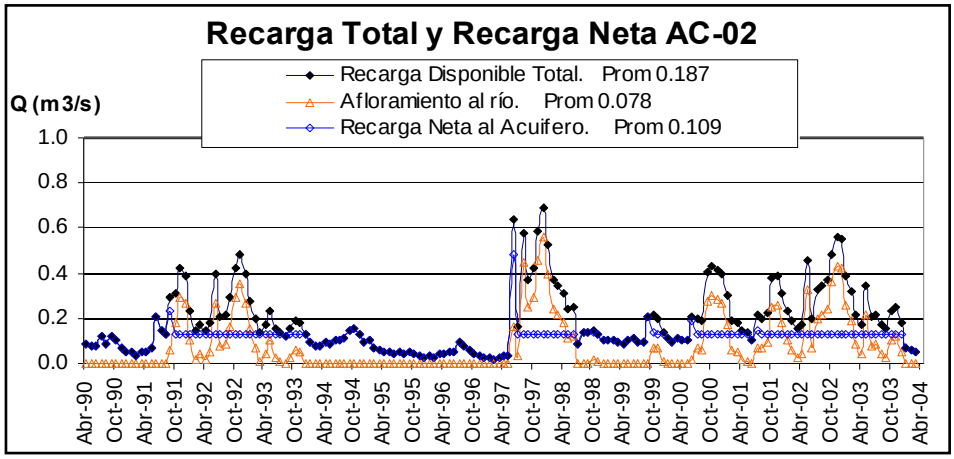
.

Figura 6-18
Recarga total y recarga neta para los acuíferos de cabecera

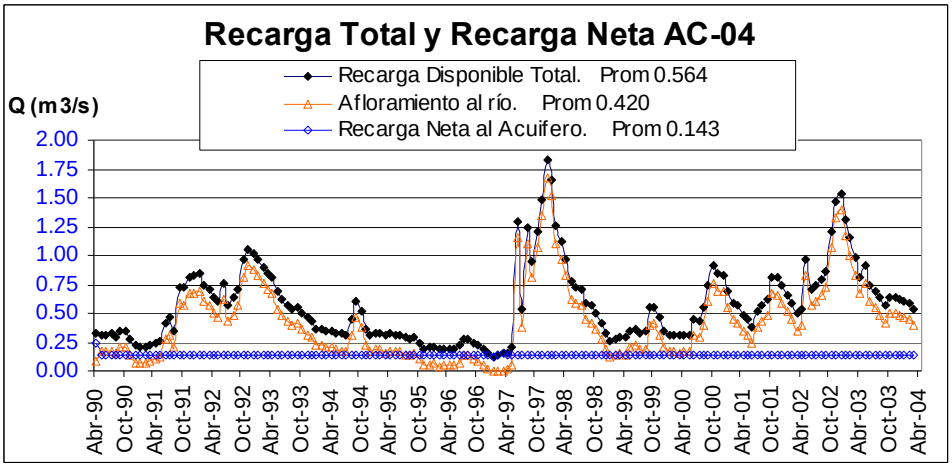
Río Grande antes Mostazal



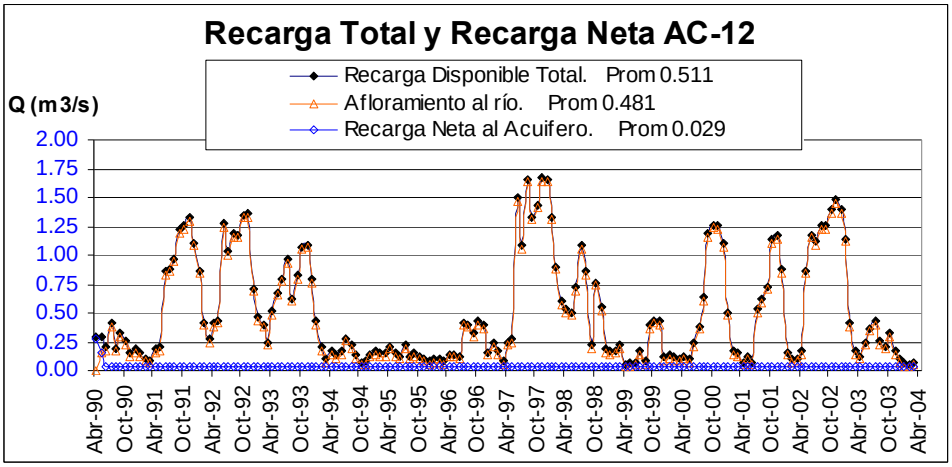
Río Mostazal



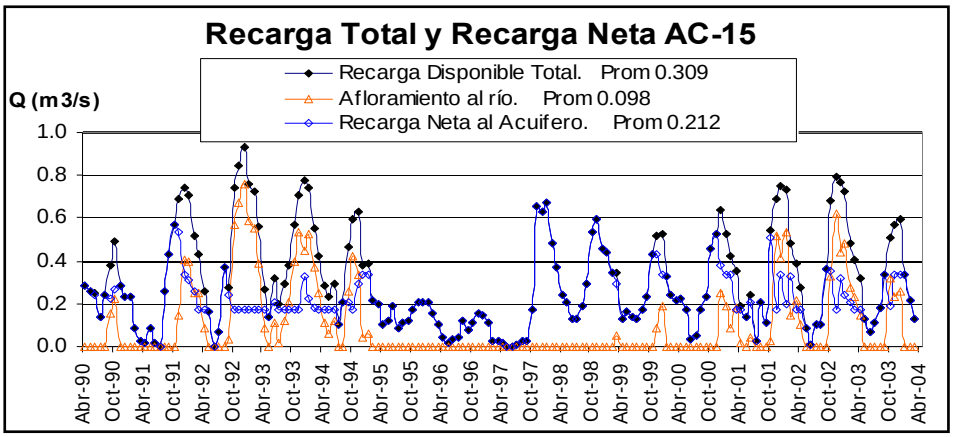
Río Rapel



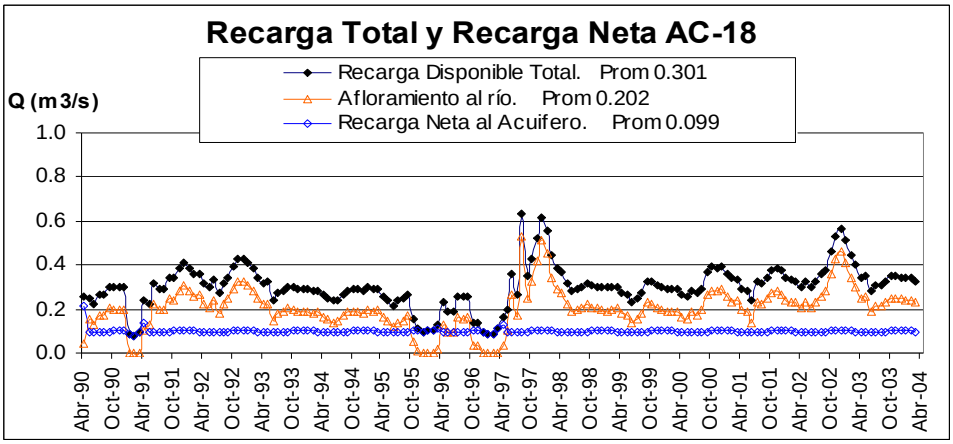
Río Cogotí



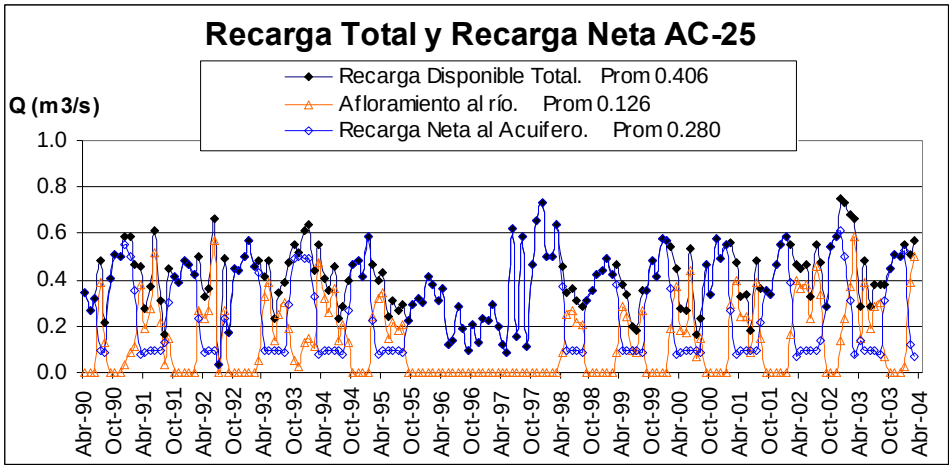
El Palqui



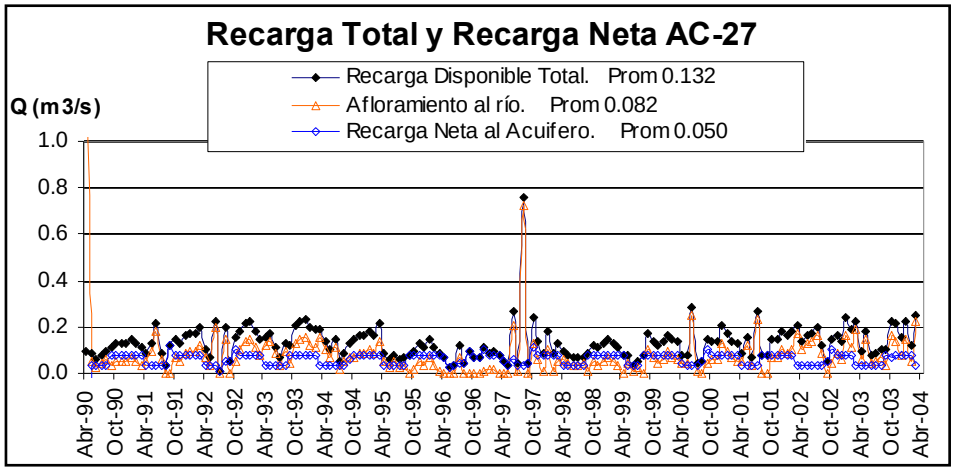
Río Hurtado



Quebrada del Ingenio



Estero Punitaqui

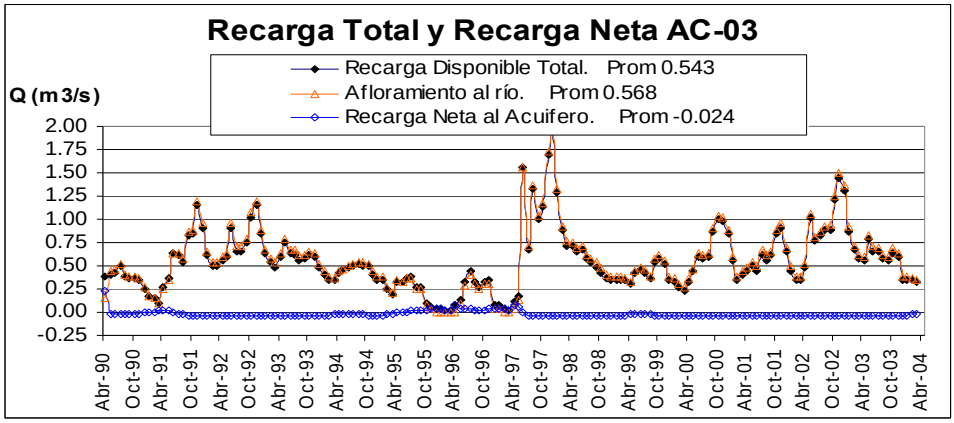


En general y con la sola excepción de los ríos sobre el embalse Cogotí, se observa para todos los acuíferos de cabecera, que ellos tienen una recarga neta positiva. Esta recarga es muy variable, varía en función del tamaño del acuífero, de la magnitud del caudal de salida, y de la explotación propia. Pero estos acuíferos siempre reciben y retienen algo de agua desde las fuentes de percolaciones.

En la Figura 6-19 adjunta se muestra el comportamiento general que presentan los acuíferos pequeños de las cajas de río aguas arriba de los embalses. Para éstos, en general las percolaciones disponibles para recarga superan la capacidad de recepción del acuífero, produciéndose siempre afloramientos (que se computan como recarga neta negativa). Esto significa que estos acuíferos pasan casi todo el tiempo llenos, y rechazan gran parte de la recarga disponible, como lo ejemplifica la Figura 6-19 para la zona del río Grande. . .

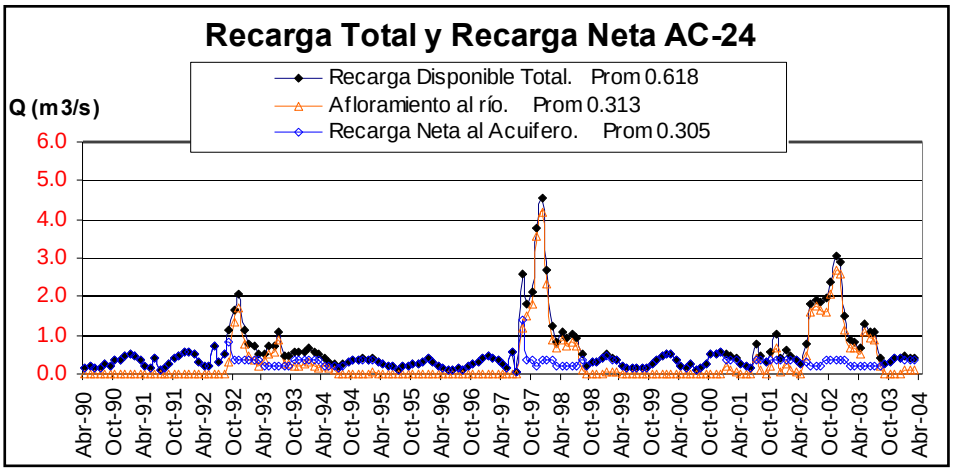
Figura 6-19
Recarga total disponible y recarga neta en acuíferos de río

Río Grande



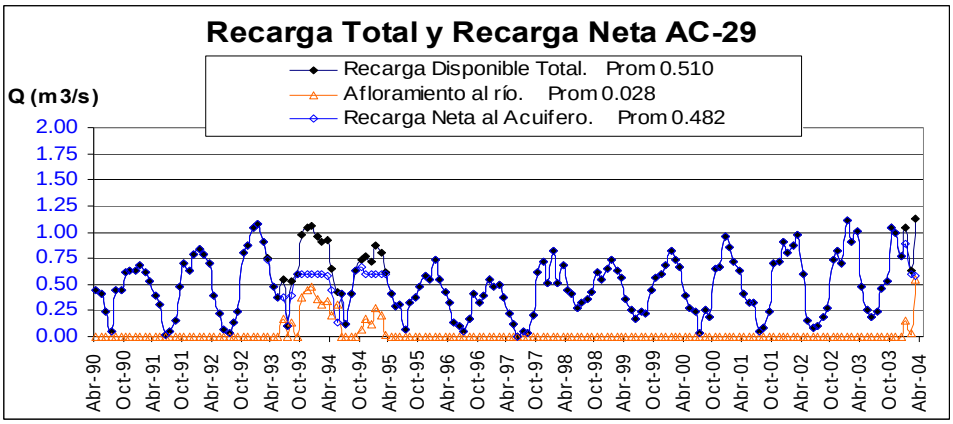
Algo diferente se presenta la situación en la caja del río Limarí, después de Ovalle, que se muestra en la Figura 6-20. Estos acuíferos son muy extensos, y tienen gran capacidad de recibir recargas. Sus afloramientos se producen recién al final del tramo, en Salala o Panamericana, donde el estrechamiento del cauce genera este comportamiento.

Figura 6-20
Recarga total disponible y recarga neta acuíferos río Limarí



Finalmente, en la Figura 6-21, se muestra la situación de los acuíferos de las terrazas antiguas al sur del río Limarí. En estas terrazas, el funcionamiento de los acuíferos depende fuertemente de las recargas disponibles, las cuales en gran medida o en su totalidad pasan a constituir una recarga neta o efectiva.

Figura 6-21
Recarga total disponible y recarga neta en acuíferos de terrazas al sur del Limarí



6.4.3 Comportamiento de los acuíferos

A continuación se muestra en detalle todos los flujos que se producen en los acuíferos en el período de simulación. Es necesario considerar que el período de calibración abarca años secos y húmedos, que el modelo opera asumiendo que toda la superficie identificada como cultivada requiere riego, y que cuando hay déficit de agua superficial, se produce bombeo con un tope en los derechos constituidos. Hay que considerar que esto es coherente con lo recogido en las entrevistas, en que la gran mayoría de los regantes, que son pequeños regantes, no tienen pozos, y en muchas partes de la cuenca, por lo tanto, no se explotan los acuíferos, pero los regantes que tienen pozos, los usan para suplir los déficits del agua superficial.

Como la cuenca del Limarí aún no tiene una limitación formal para la constitución de derechos subterráneos, se ha considerado que todos los derechos actualmente solicitados serán constituidos, de modo que representan una fuente alternativa efectiva de recursos hídricos.

Las variables que se muestran en las figuras adjuntas, son las siguientes:

- bombeos
- variación del volumen almacenado
- flujos de salida de los acuíferos
- afloramientos desde cada uno de los acuíferos
- afloramientos hacia cada uno de los nodos

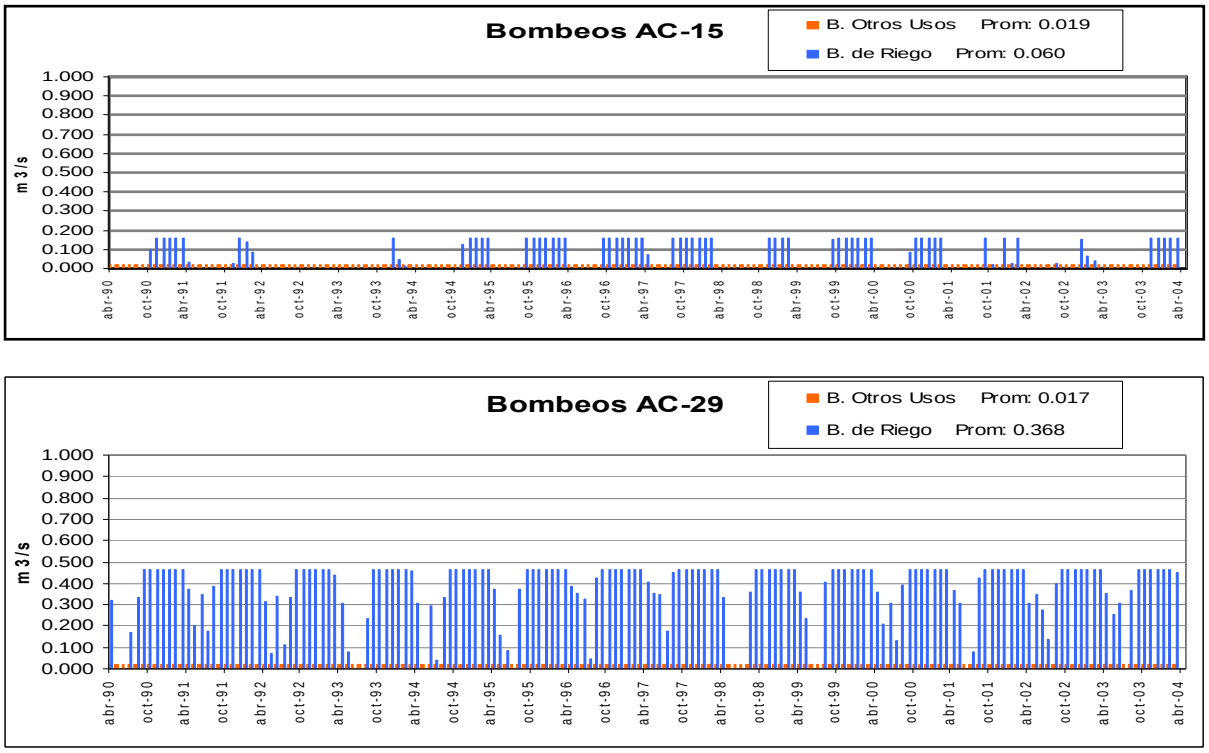
En la Figura 6-22 se presentan los bombeos:

- bombeos de riego (éstos son bombeos resultantes de acuerdo con el déficit que deja la disponibilidad de aguas superficiales)
- bombeos para otros usos (éstos son bombeos impuestos)

En casi todos los acuíferos existen bombeos para el agua potable rural, y en algunos, para el agua potable urbana. Estos bombeos, sin embargo, son muy pequeños, del orden de algunos l/s. Los acuíferos más explotados para agua potable son los acuíferos 15 (El Palqui) y 29 (Punitaqui), con 19 y 17 l/s efectivos respectivamente, los que se muestran en la Figura 6-22.

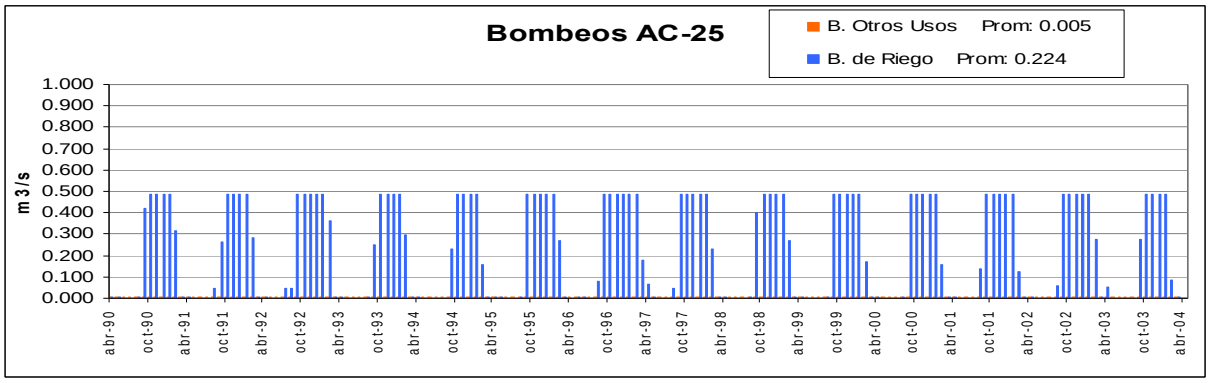
En estas figuras se aprecia, además, que la explotación para riego es mucho más intensiva, de hecho, la explotación para riego utiliza toda la capacidad de bombeo instalada, durante gran parte del año, logrando cubrir las demandas de riego sólo en algunos meses, pero no en los meses peak.

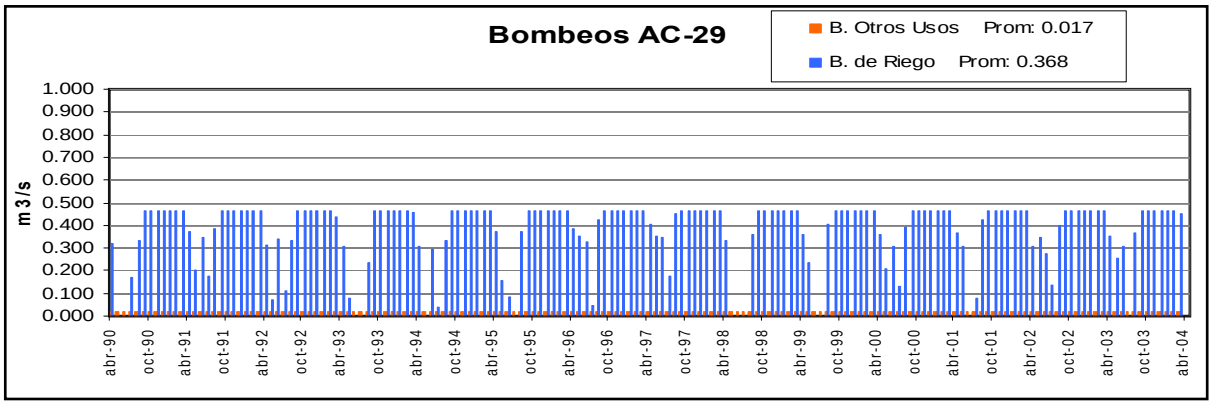
Figura 6-22
Bombeo para riego y otros usos (agua potable) en acuíferos 15 y 29



Esta misma situación se aprecia en todos los acuíferos que tienen pozos de riego. Los derechos, constituidos y solicitados para riego, no son muchos, de hecho son caudales muy pequeños, razón por la cual se usan intensivamente para complementar la oferta de agua superficial. Los acuíferos que tienen pozos de riego, se pueden apreciar en el Cuadro 6-11 del Capítulo 6.2. En la Figura 6-23 se presentan los bombeos en los acuíferos 25 y 29, que son los que más derechos de riego tienen (actuales o potenciales), derechos que de todas maneras resultan insuficientes para suplir las demandas.

Figura 6-23
Bombeo en acuíferos 25 y 29, los más explotados para riego





En el capítulo de diagnóstico se presenta el análisis que permite distinguir los acuíferos que en la situación actual ya están al límite de sus posibilidades de explotación, de aquéllos que podrían tolerar la constitución de más derechos de explotación.

La Figura 6-24 muestra la evolución del volumen mensual almacenado en cada acuífero. Se observa que la gran sequía de 1996/7 se refleja en el sistema, especialmente en los acuíferos más grandes, que además de ser intensamente explotados, no reciben las recargas esperadas por varios años.

La Figura 6-25 muestra los flujos pasantes (desde acuífero de origen), para todos los acuíferos de la cuenca. En la leyenda se muestra el valor promedio de cada serie.

La Figura 6-26 muestra los afloramientos que genera cada uno de los acuíferos hacia el tramo de río correspondiente.

Finalmente, en la Figura 6-27 se muestran los caudales de afloramiento que llegan a cada uno de los nodos de los cauces superficiales.

Figura 6-24
Evolución del volumen almacenado en los acuíferos

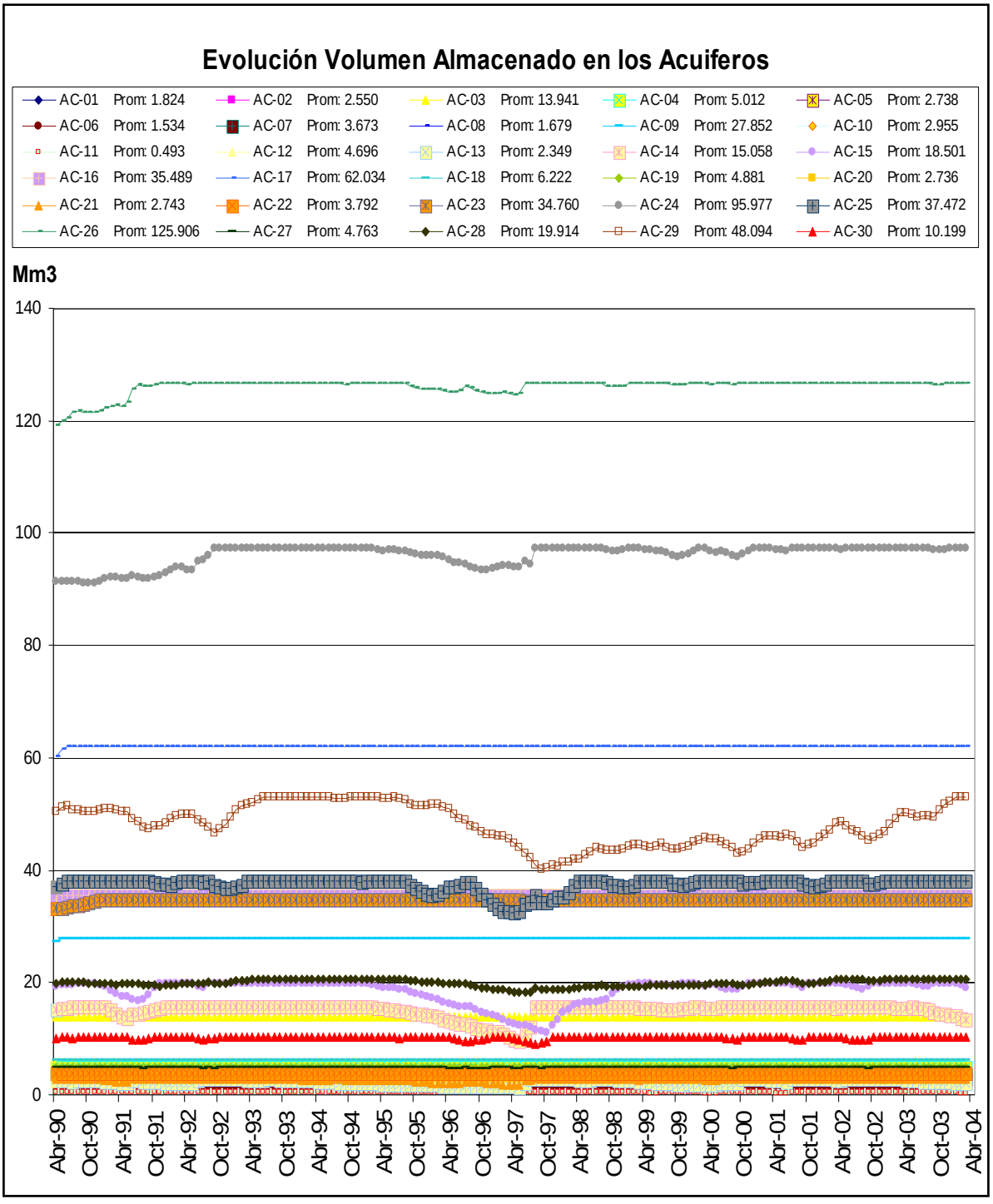


Figura 6-25
Caudales subterráneos pasantes desde acuífero origen

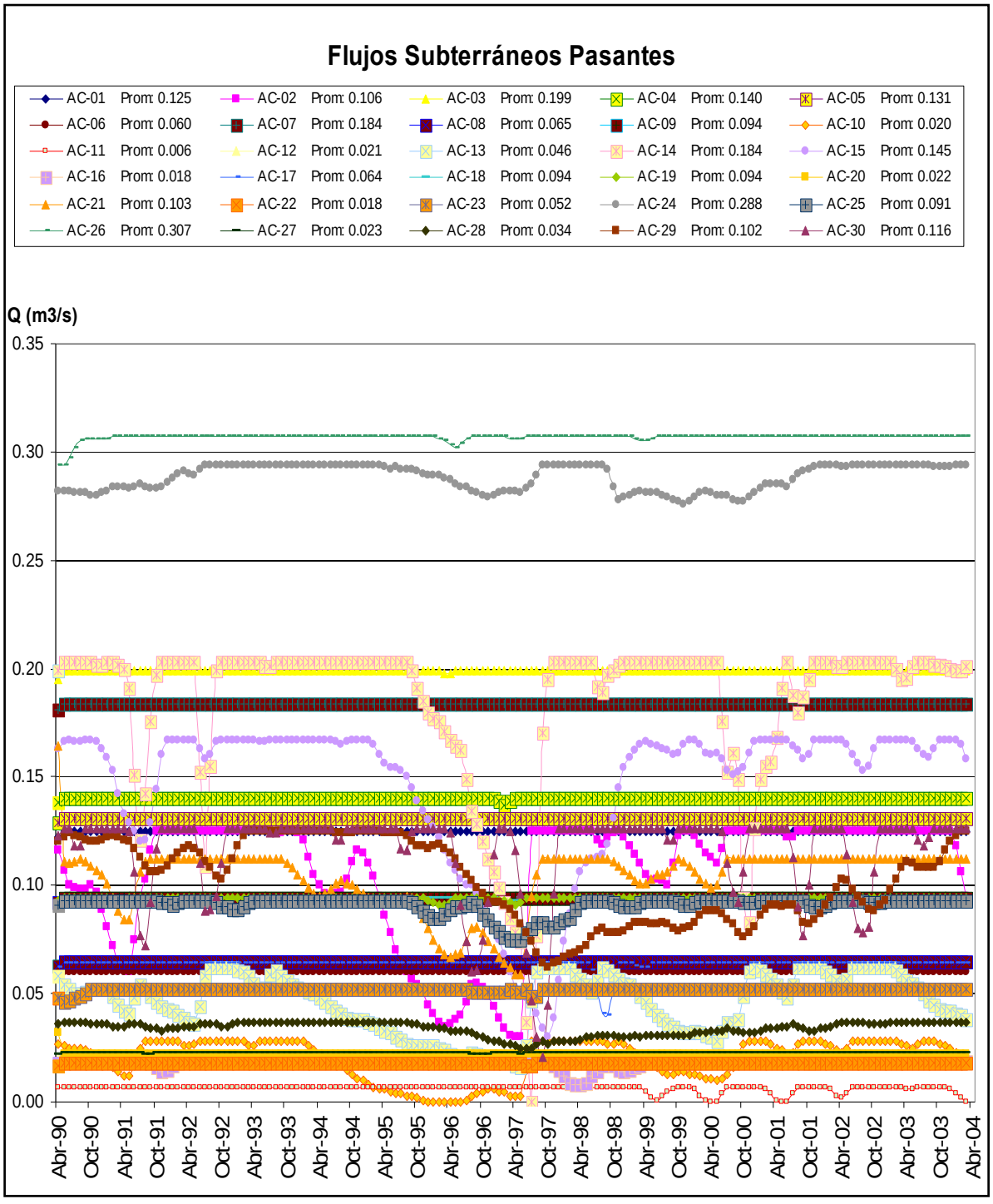
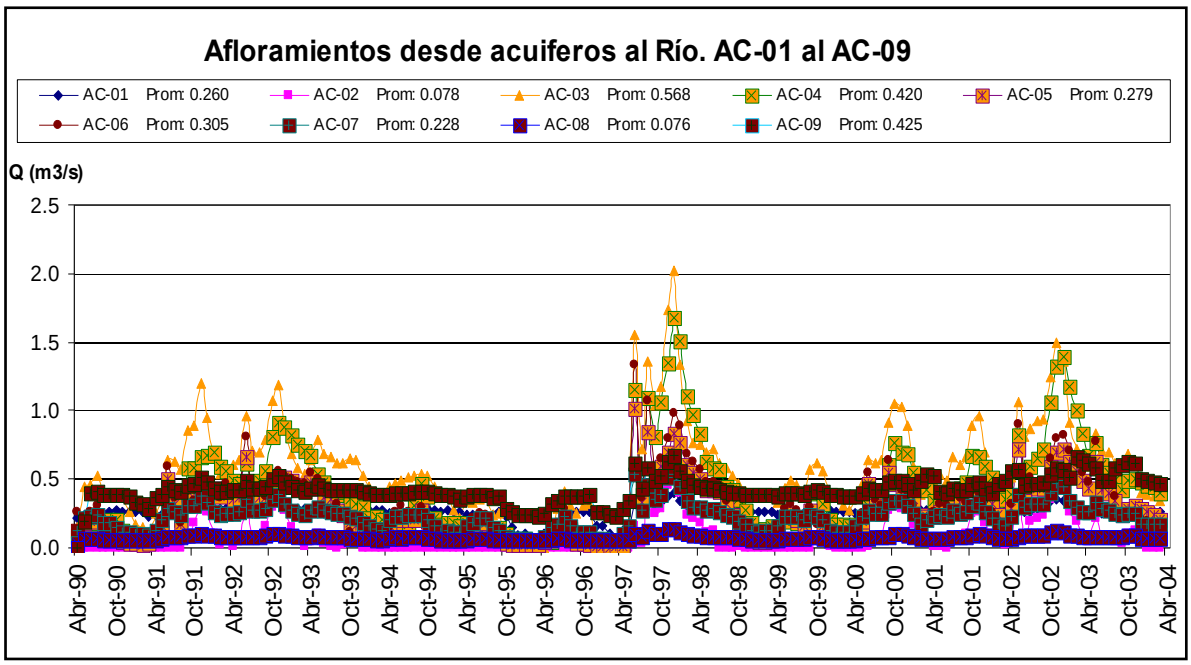
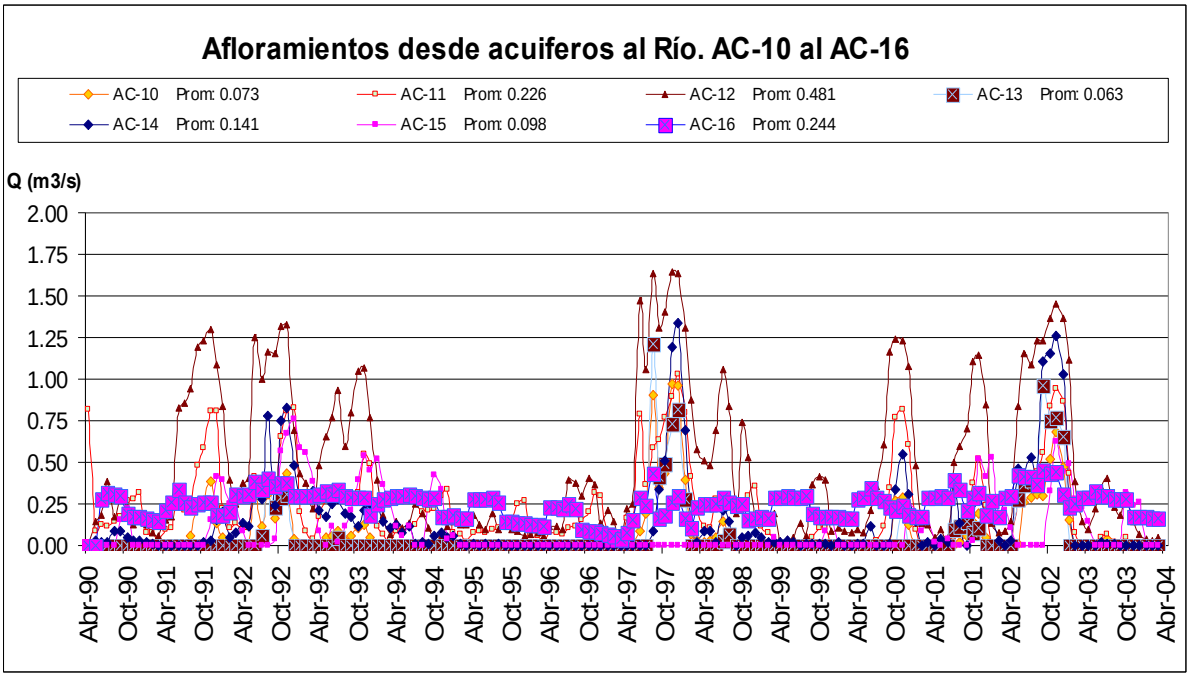
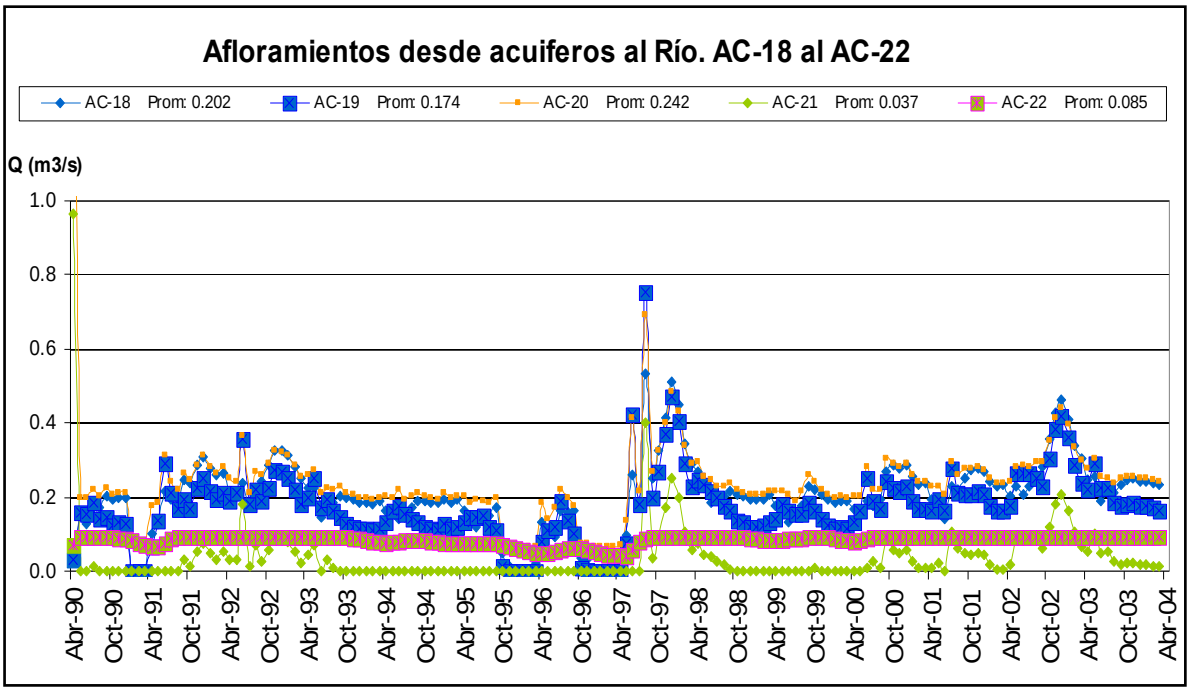


Figura 6-26
Afloramientos que genera cada uno de los acuíferos






Afloramientos desde acuiferos al Río. AC-18 al AC-22
AC-18 Prom: 0.202
AC-19 Prom: 0.174
AC-20 Prom: 0.242
AC-21 Prom: 0.037
AC-22 Prom: 0.085
Q (m3/s)
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
Abr-90
Oct-90
Abr-91
Oct-91
Abr-92
Oct-92
Abr-93
Oct-93
Abr-94
Oct-94
Abr-95
Oct-95
Abr-96
Oct-96
Abr-97
Oct-97
Abr-98
Oct-98
Abr-99
Oct-99
Abr-00
Oct-00
Abr-01
Oct-01
Abr-02
Oct-02
Abr-03
Oct-03
Abr-04

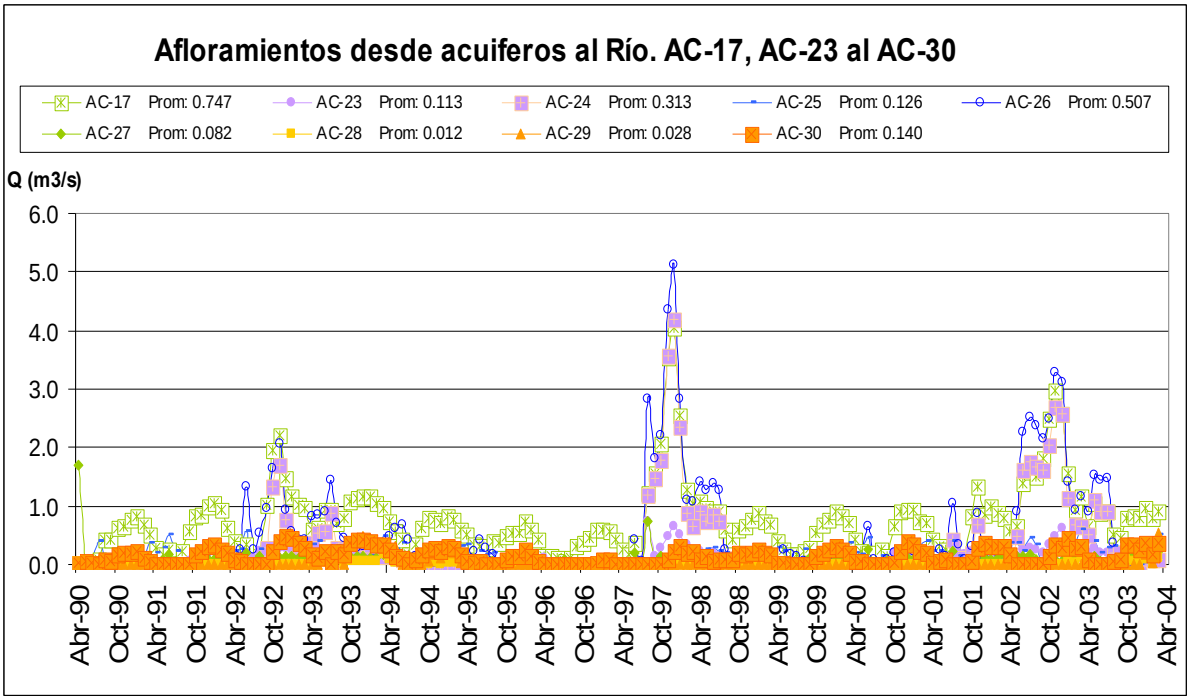
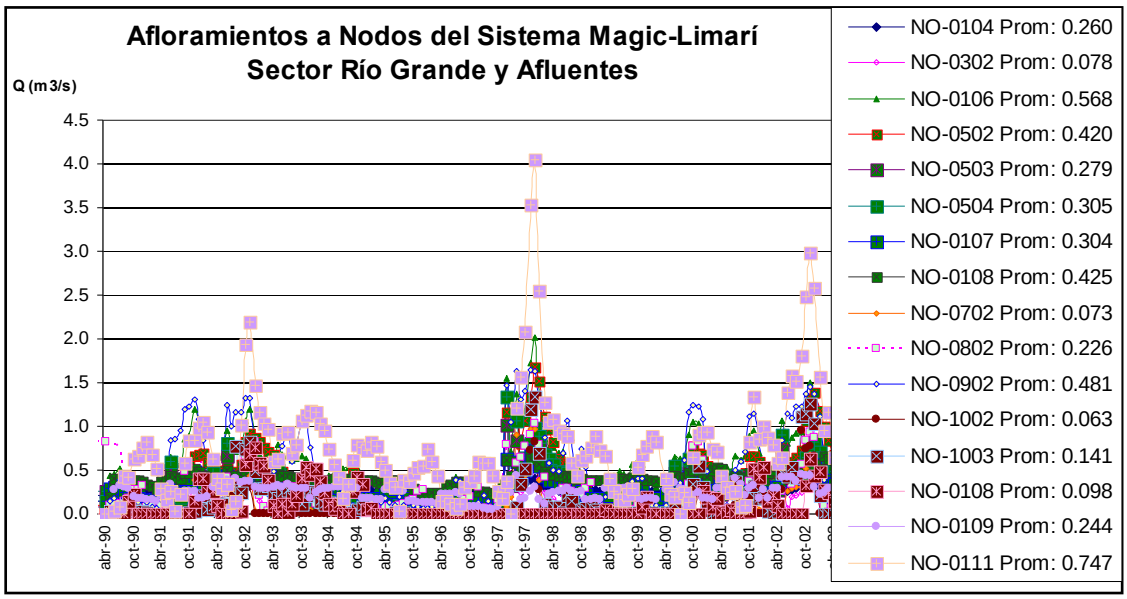
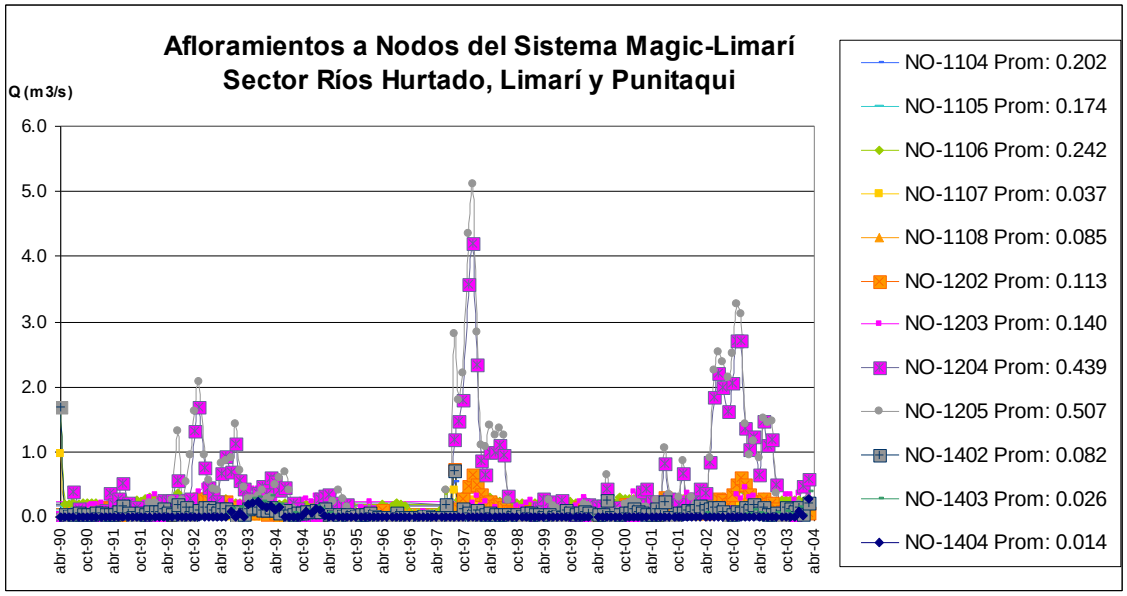

Afloramientos desde acuiferos al Río. AC-17, AC-23 al AC-30
AC-17 Prom: 0.747
AC-23 Prom: 0.113
AC-24 Prom: 0.313
AC-25 Prom: 0.126
AC-26 Prom: 0.507
AC-27 Prom: 0.082
AC-28 Prom: 0.012
AC-29 Prom: 0.028
AC-30 Prom: 0.140
Q (m3/s)
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
Abr-90
Oct-90
Abr-91
Oct-91
Abr-92
Oct-92
Abr-93
Oct-93
Abr-94
Oct-94
Abr-95
Oct-95
Abr-96
Oct-96
Abr-97
Oct-97
Abr-98
Oct-98
Abr-99
Oct-99
Abr-00
Oct-00
Abr-01
Oct-01
Abr-02
Oct-02
Abr-03
Oct-03
Abr-04

Figura 6-27
Afloramientos que llegan a cada uno de los nodos





6.4.4 Seguridad de riego

El modelo MAGIC calcula, para cada mes, el porcentaje de la demanda suplida. En base a esta información es directo obtener una seguridad de riego, entendida como porcentaje de años fallos de un total de años analizados, cuando se dispone de dos cosas:

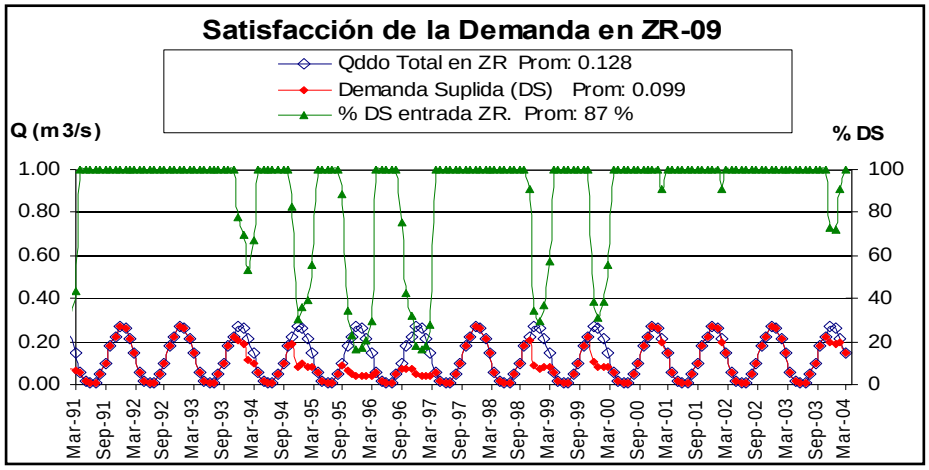
- un criterio que permita discernir qué porcentaje de satisfacción de demanda se exige como mínimo en cada mes, para considerar que no hay falla, y
- una estadística de una longitud tal que permita hablar de un % de años.

En el presente caso, el criterio de falla que podría adoptarse sería el de la CNR, utilizado también por la DOH, pero que admite revisión y adaptación a la realidad local. Este criterio consiste en que se considera año no fallo el que todos los meses, salvo uno, logró porcentajes de satisfacción de la demanda mayores que 90%, y el mes que no logró 90%, logró al menos 80%. Los años que no cumplen con estas condiciones son fallos.

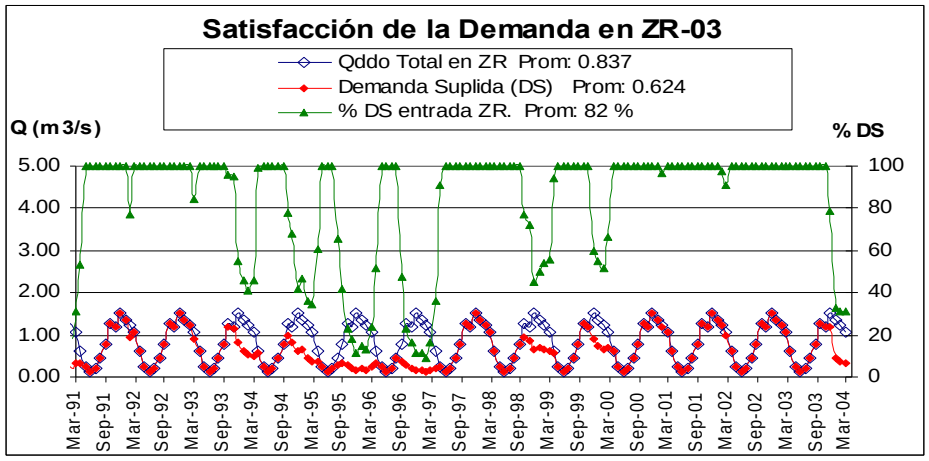
A continuación, en la Figura 6-28 se entrega la serie de porcentajes de satisfacción de la demanda obtenidos para algunas zonas de riego representativas, durante el período de calibración (14 años).

Figura 6-28
Porcentaje de satisfacción de la demanda por zona de riego

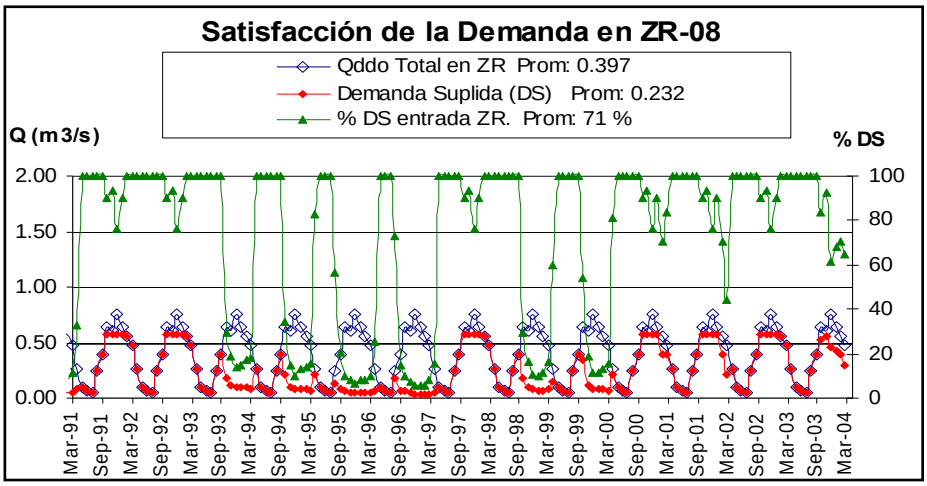
Río Grande sobre Paloma



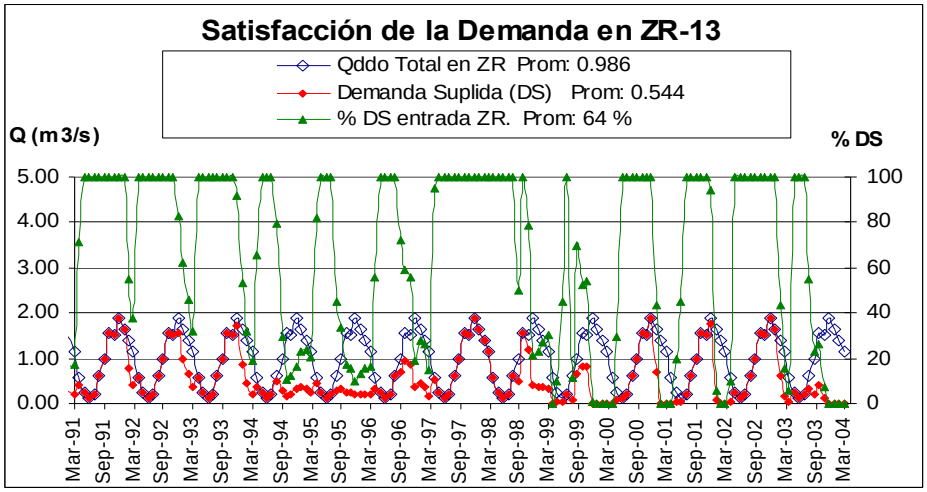
Río Mostazal



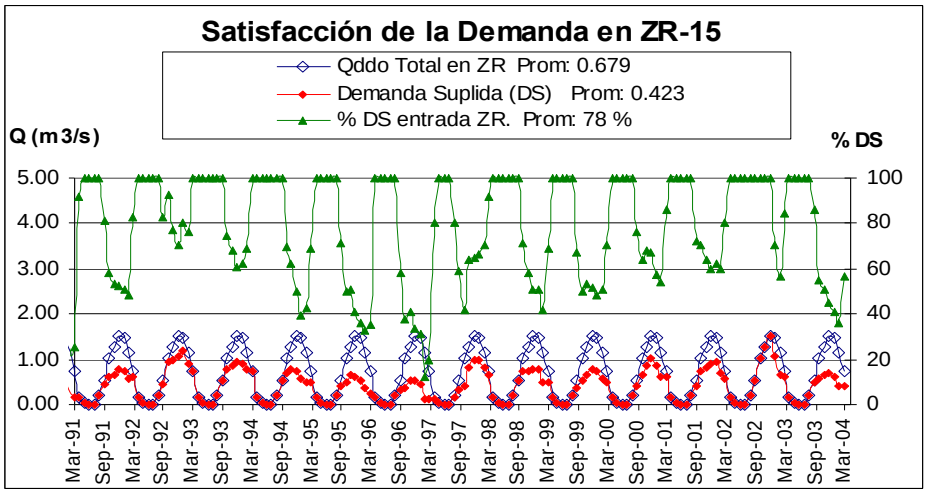
Río Rapel



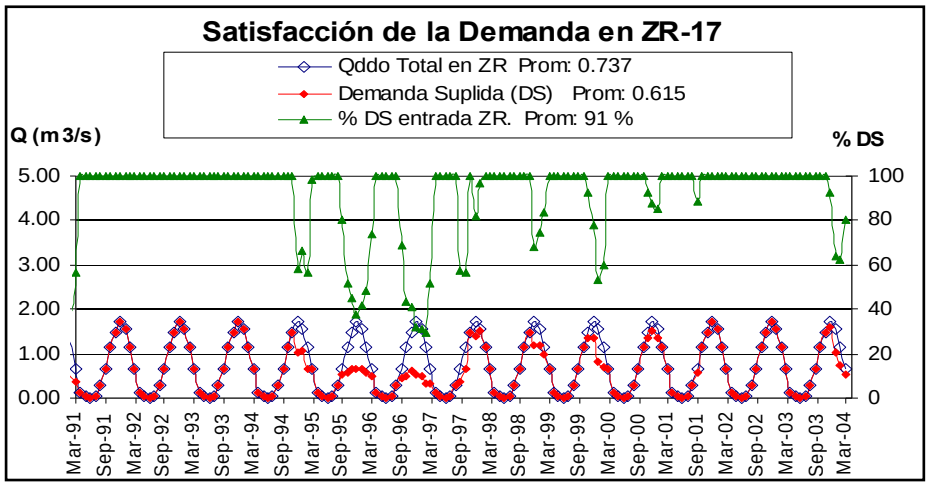
Río Cogotí



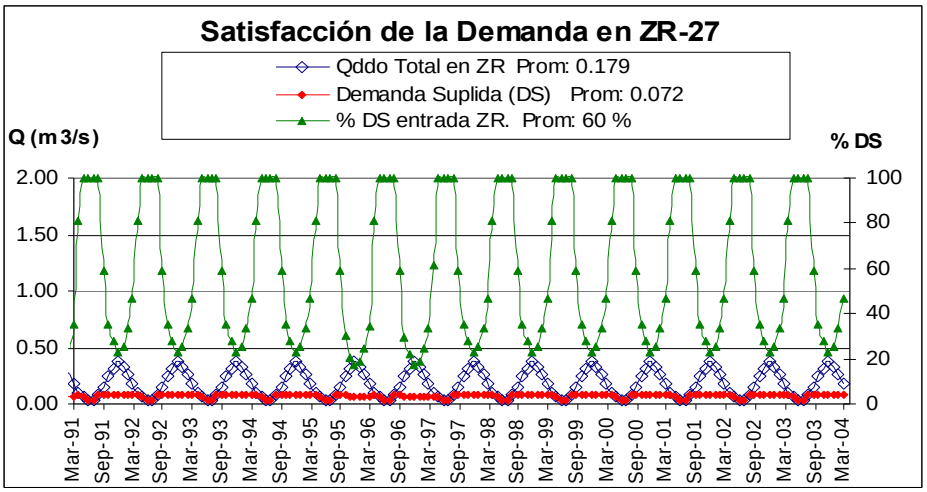
Río Huatulame



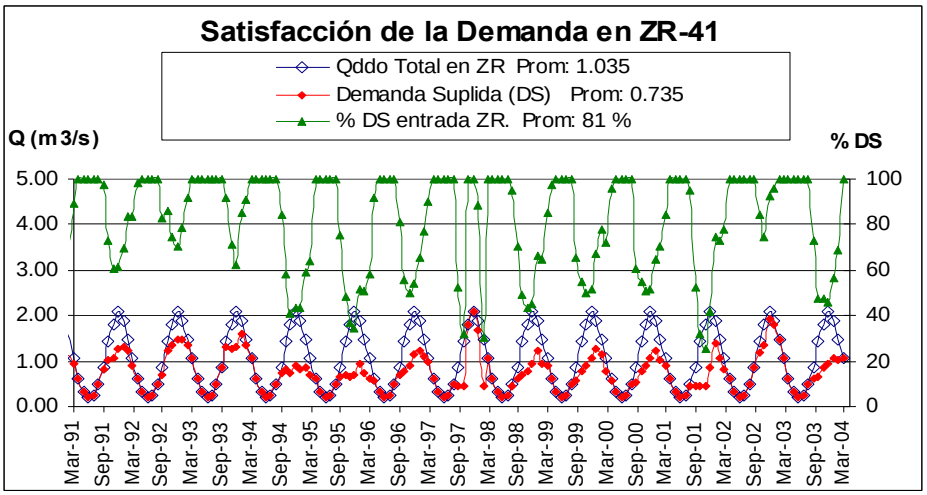
El Palqui



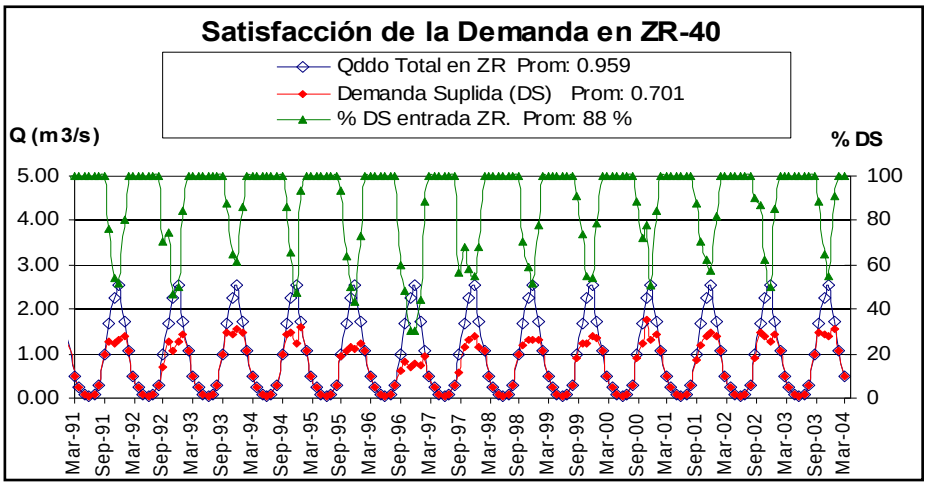
Río Hurtado sobre embalse Recoleta



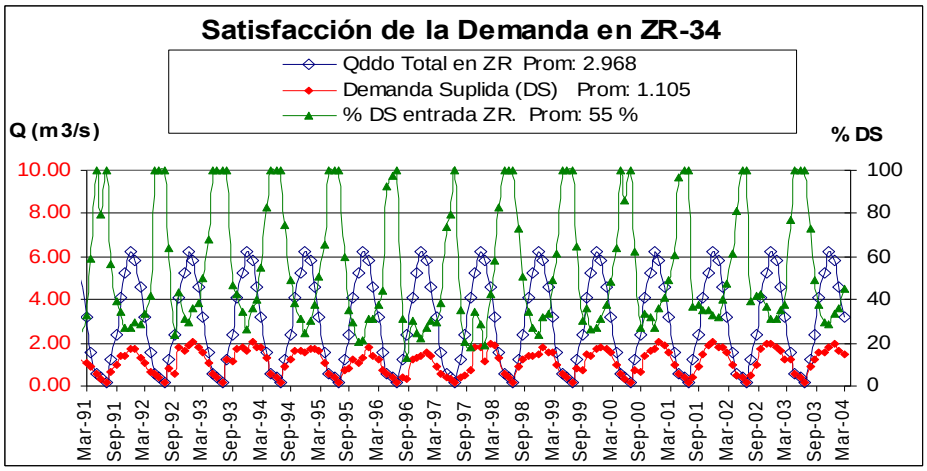
Río Limarí



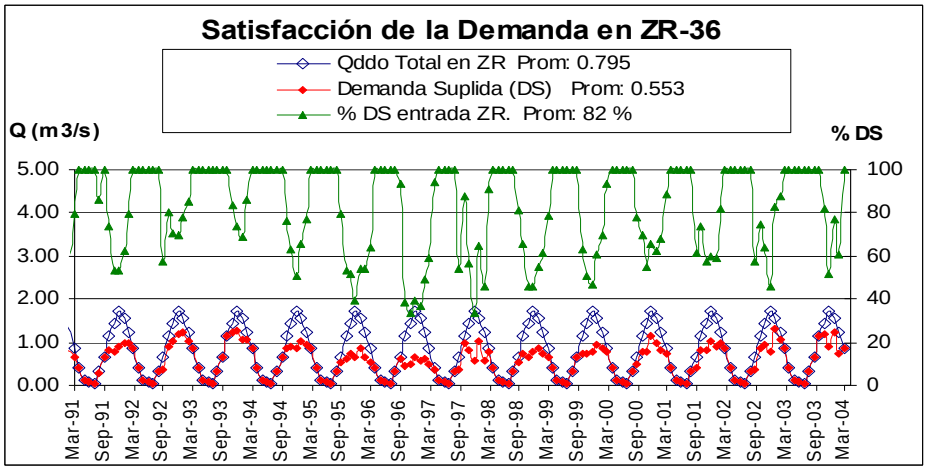
Terrazas Norte Limarí (Riego Recoleta)

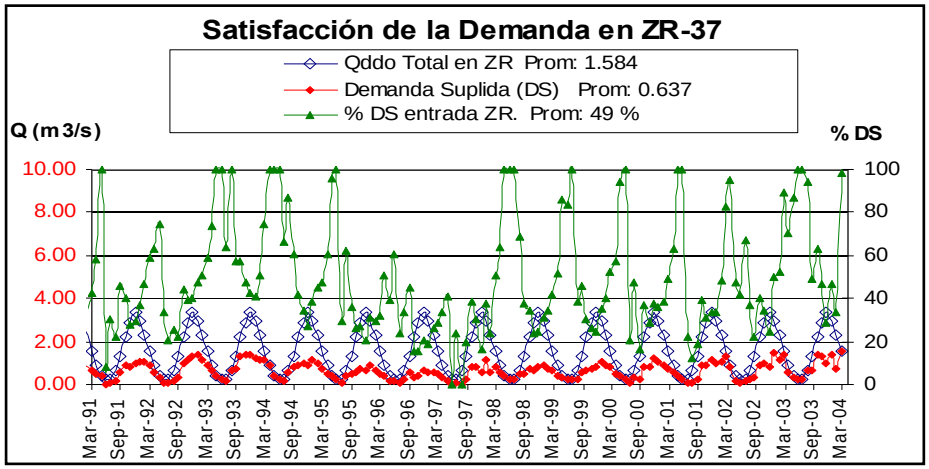


Canal Camarico



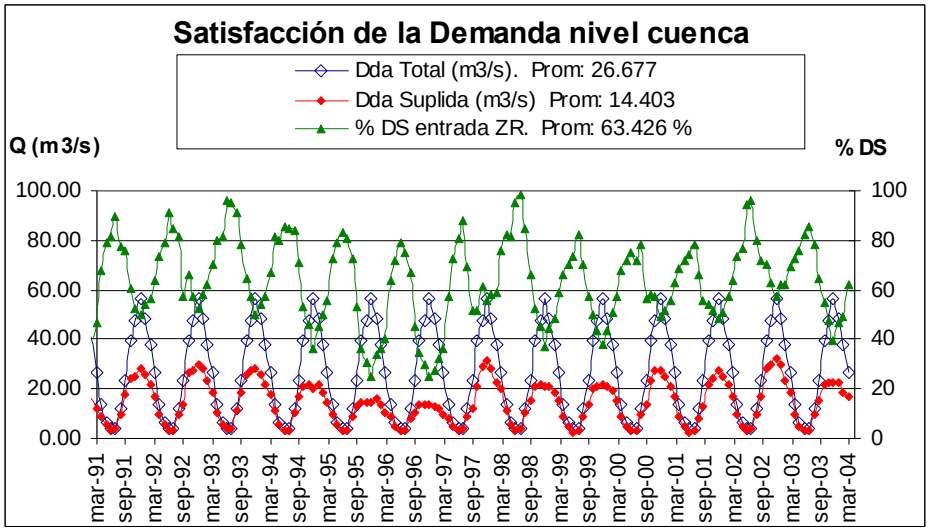
Canal Derivado Cogotí





Para la cuenca completa se obtiene la siguiente situación de satisfacción de la demanda, que se observa en la Figura 6-29.

Figura 6-29
Porcentaje de demanda suplida a nivel de cuenca



Se puede apreciar que para la cuenca completa, el porcentaje de satisfacción de demanda promedio de todo el año es de 63%, pero en los meses de verano se puede suplir aproximadamente un 55% del área con alta seguridad. El resto del área cultivable es de riego eventual.

6.4.5 Flujos de retorno

En el modelo MAGIC, las zonas de riego se alimentan con aguas superficiales desde canales, tranques nocturnos, embalses, y derrames desde otras zonas de riego (si corresponde), pero también se alimentan de lluvias, y finalmente desde pozos con aguas subterráneas cuando todo

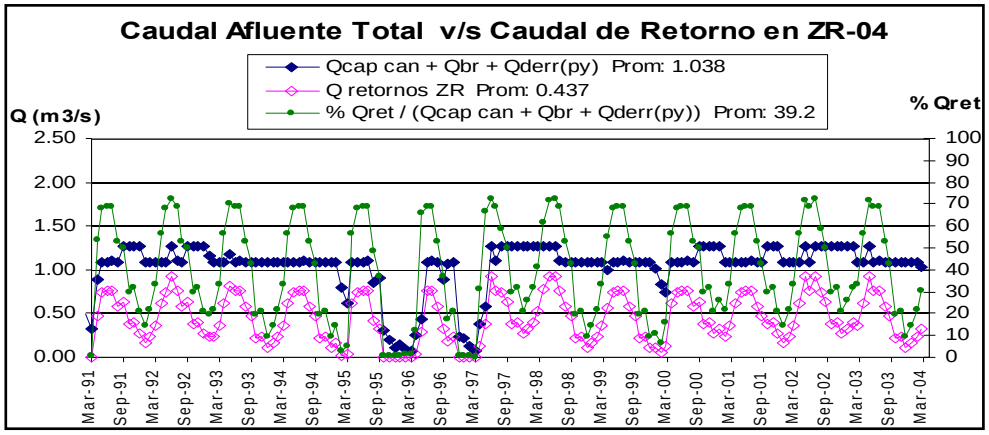
lo anterior no alcanza a cubrir las necesidades. De todos los caudales afluentes, una parte efectivamente es la que cubre la demanda a nivel de raíz de las plantas, pero siempre hay un exceso que se reparte entre derrames superficiales que vuelven al río, y una parte de percolaciones que alimentan los acuíferos.

En la cuenca del Limarí se ha considerado que los derrames desde cada zona de riego son reusados en un 100% dentro de cada zona (a través de volver a sacarlas del río más abajo). De este modo, los retornos desde cada zona de riego no incluyen derrames propios del riego, pero sí los demás ítems. Por eso, en épocas de estiaje son casi siempre nulos, salvo en las zonas de cabecera.

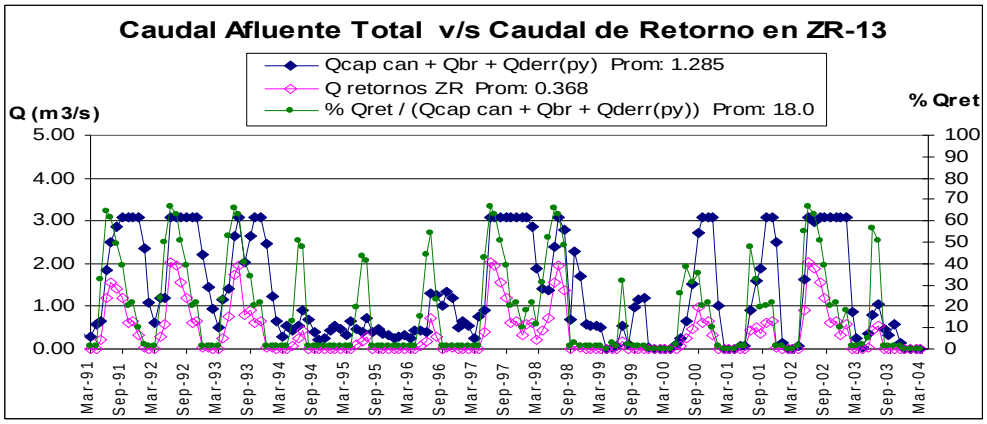
En la Figura 6-30 se muestra una situación general de lo que ocurre con los caudales de retorno en la cuenca. Con la sola excepción del río Grande, los caudales de retorno son muy bajos en todos los sectores, y especialmente bajos en época de estiaje. Por esta razón se puede decir que hay una alta eficiencia de uso del agua, si bien no a nivel local, sí a nivel de zona de riego.

Figura 6-30
Caudal afluente, y caudal de retorno expresado como caudal y como porcentaje

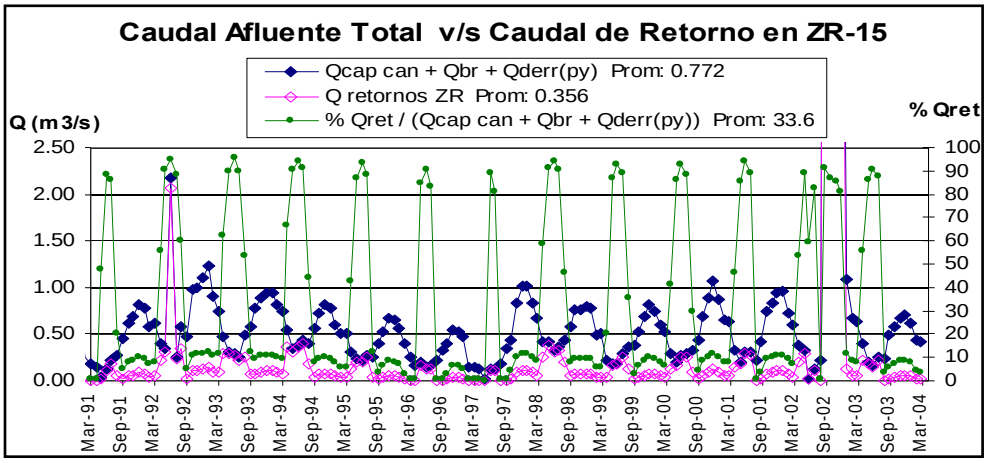
Río Grande bajo Mostazal



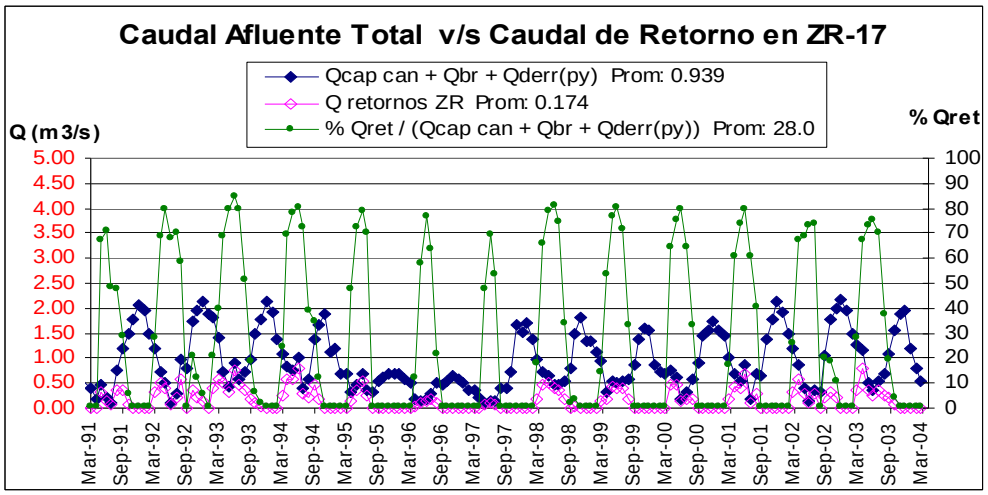
Río Cogotí



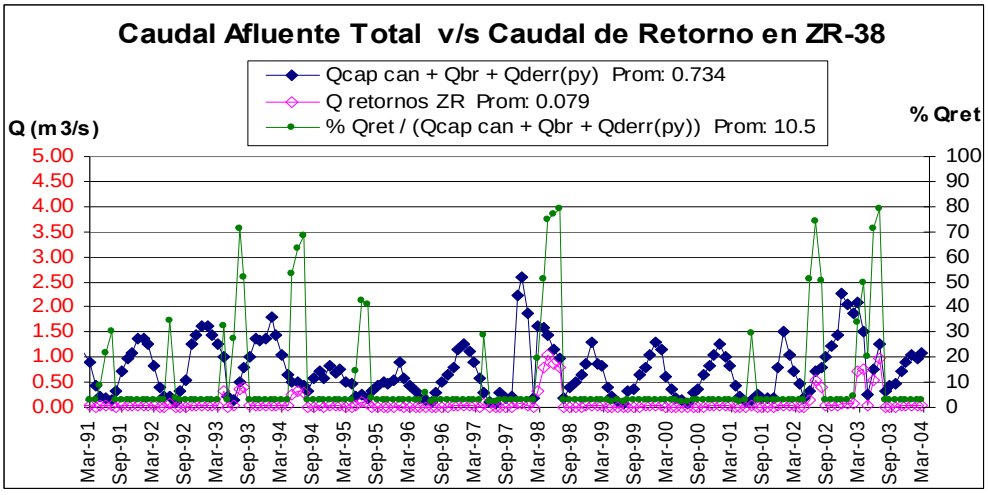
Río Huatulame



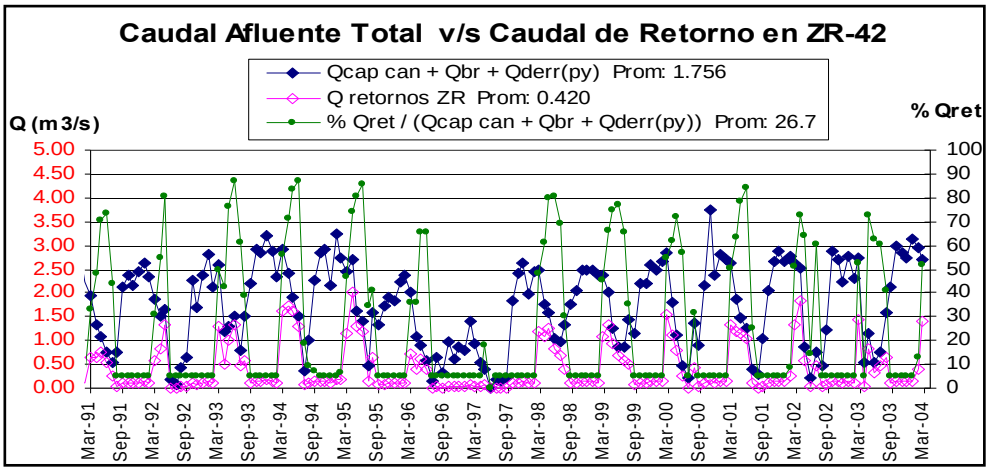
El Palqui



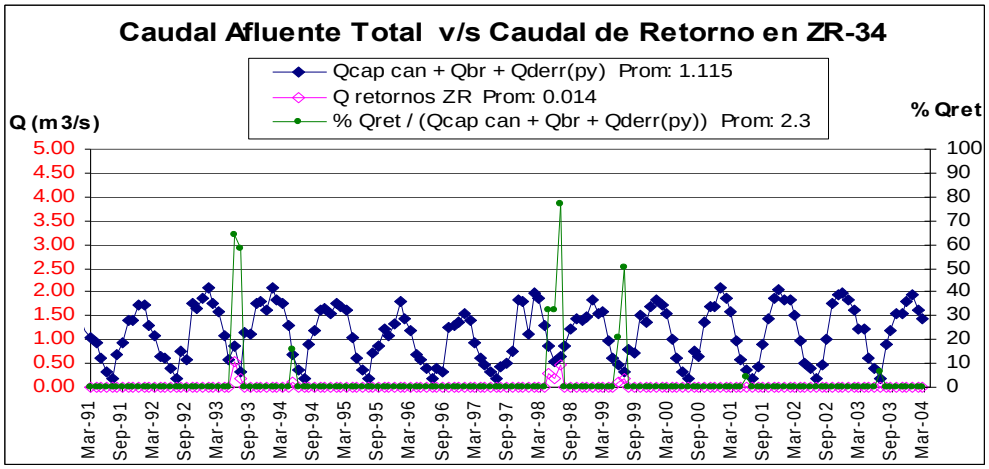
Río Limarí



Terrazas Norte Limarí

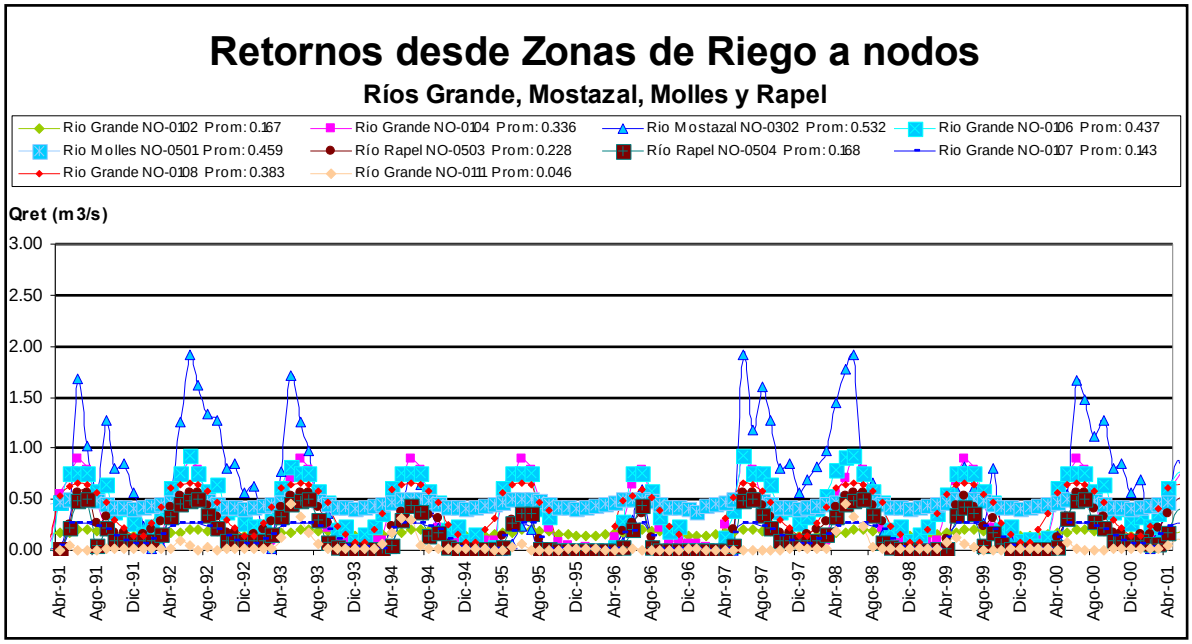


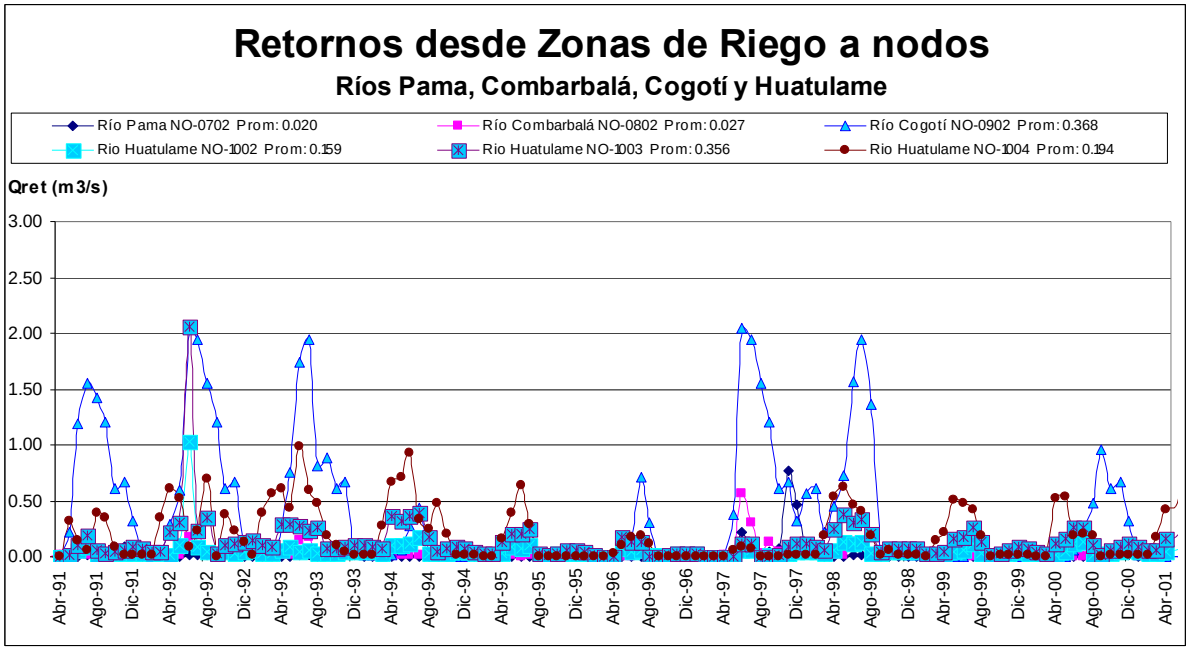
Terrazas Sur Limarí

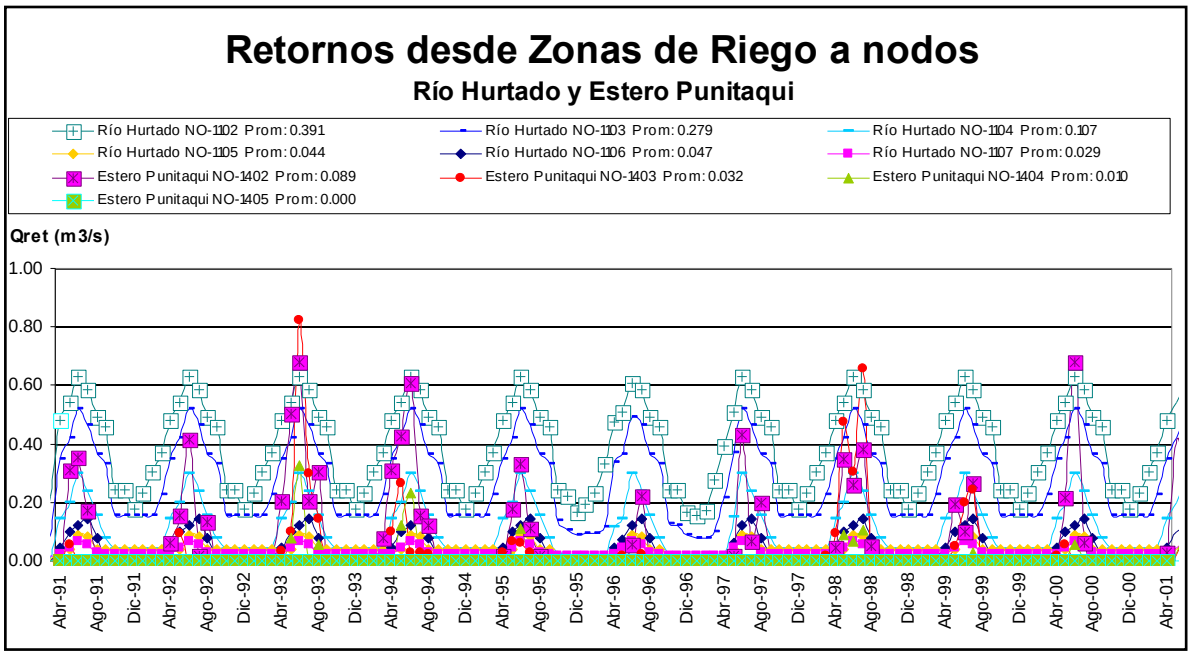


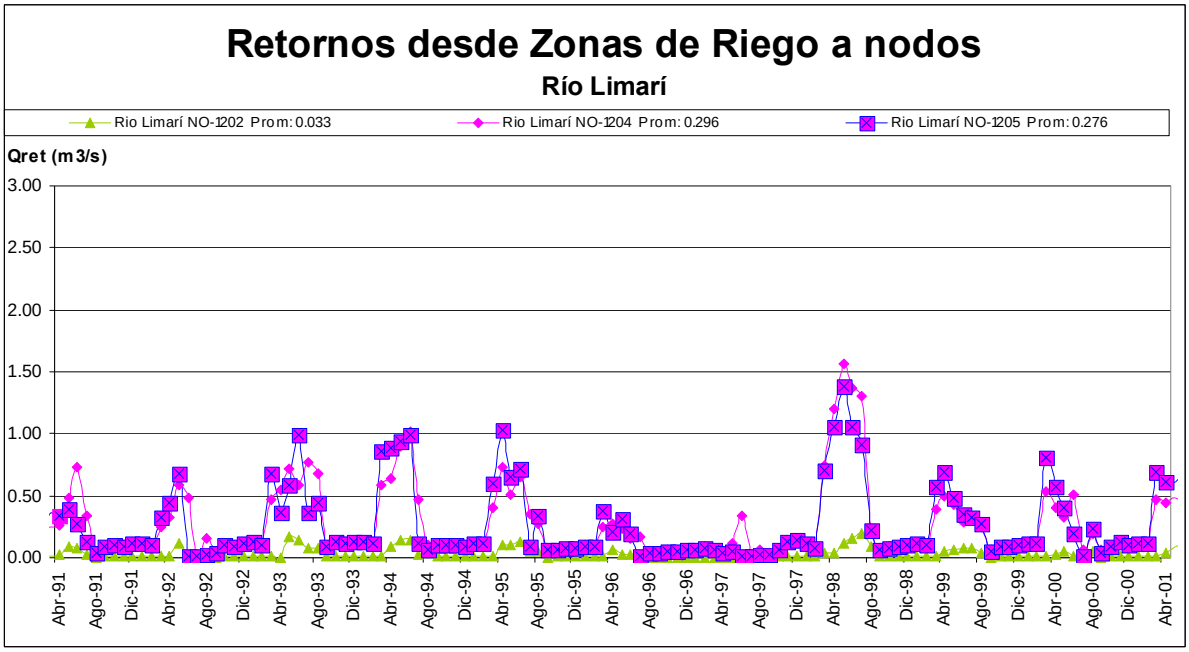
En la Figura 6-31 se presentan los caudales de retorno superficial que llegan a cada uno de los nodos de los ríos respectivos. Se observa claramente una vez más que los retornos son pequeños en esta cuenca, especialmente en estiaje, y especialmente bajo los embalses. Los únicos aportes un poco mayores se producen en el río Grande sobre el embalse Paloma.

Figura 6-31
Caudales de retorno hacia los nodos de los ríos





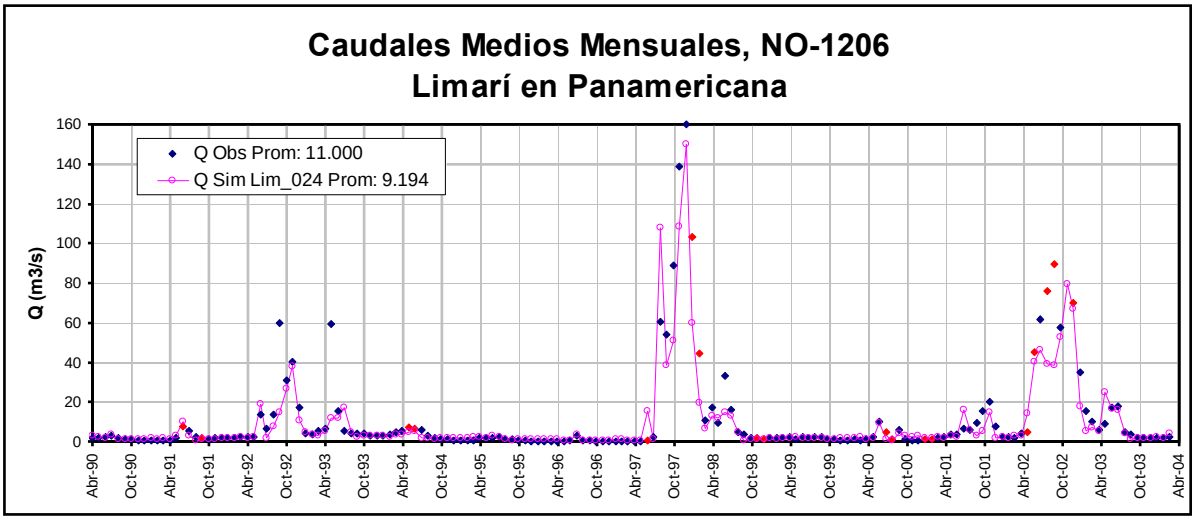

Retornos desde Zonas de Riego a nodos
Río Hurtado y Estero Punitaqui
Río Hurtado NO-1102 Prom: 0.391
Río Hurtado NO-1103 Prom: 0.279
Río Hurtado NO-1104 Prom: 0.107
Río Hurtado NO-1105 Prom: 0.044
Río Hurtado NO-1106 Prom: 0.047
Río Hurtado NO-1107 Prom: 0.029
Estero Punitaqui NO-1402 Prom: 0.089
Estero Punitaqui NO-1403 Prom: 0.032
Estero Punitaqui NO-1404 Prom: 0.010
Estero Punitaqui NO-1405 Prom: 0.000
Qret (m3/s)
1.00
0.80
0.60
0.40
0.20
0.00
Abr-91
Ago-91
Dic-91
Abr-92
Ago-92
Dic-92
Abr-93
Ago-93
Dic-93
Abr-94
Ago-94
Dic-94
Abr-95
Ago-95
Dic-95
Abr-96
Ago-96
Dic-96
Abr-97
Ago-97
Dic-97
Abr-98
Ago-98
Dic-98
Abr-99
Ago-99
Dic-99
Abr-00
Ago-00
Dic-00
Abr-01

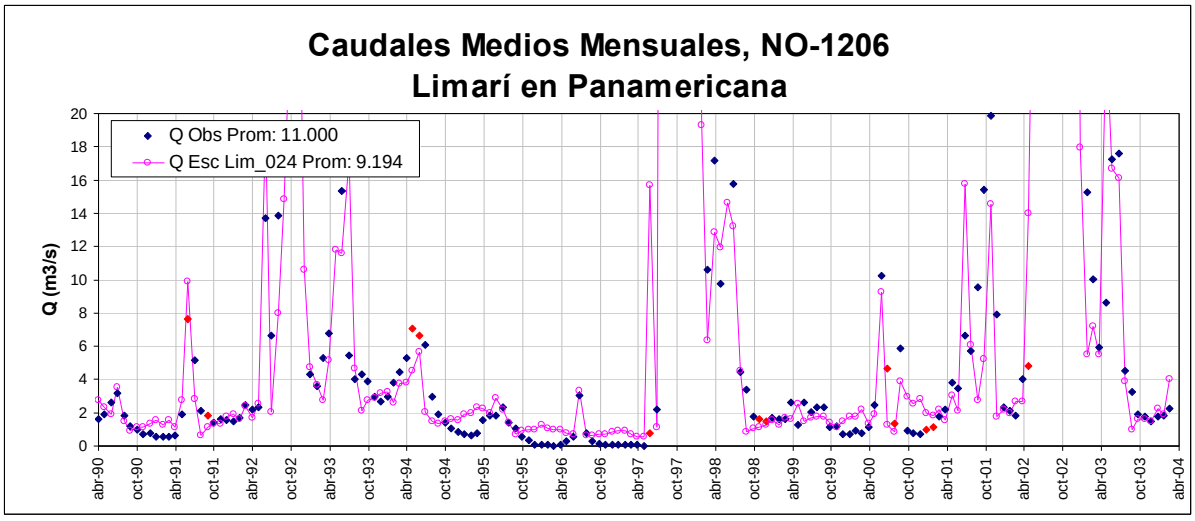

Retornos desde Zonas de Riego a nodos
Río Limarí
Rio Limarí NO-1202 Prom: 0.033
Rio Limarí NO-1204 Prom: 0.296
Rio Limarí NO-1205 Prom: 0.276
Qret (m3/s)
3.00
2.50
2.00
1.50
1.00
0.50
0.00
Abr-91
Ago-91
Dic-91
Abr-92
Ago-92
Dic-92
Abr-93
Ago-93
Dic-93
Abr-94
Ago-94
Dic-94
Abr-95
Ago-95
Dic-95
Abr-96
Ago-96
Dic-96
Abr-97
Ago-97
Dic-97
Abr-98
Ago-98
Dic-98
Abr-99
Ago-99
Dic-99
Abr-00
Ago-00
Dic-00
Abr-01

6.4.6 Salidas al mar

El caudal de salida al mar en esta cuenca corresponde al caudal portado por el tramo 43, efluente del nodo Limarí en Panamericana. Dada la configuración de esta cuenca, el agua subterránea aflora antes de ese nodo, siendo todo el efluente final de la cuenca un caudal superficial. En la Figura 6-32 se puede observar que hay efluentes importantes sólo para los eventos mayores, puesto que la cuenca está fuertemente regulada. En la figura con escala aumentada, se aprecia que los efluentes de base, que son caudales de retornos que no ha sido posible reutilizar en la cuenca, son alrededor de 1 a 2 m3/s en los estiajes de años normales, y cerca de cero en años de sequía.

Figura 6-32
Salidas del mar





6.5 DIAGNÓSTICO EFICIENCIA FÍSICA A NIVEL LOCAL Y GLOBAL: USO AGRÍCOLA

Para el uso agrícola, el análisis se basa muy fundamentalmente en la operación del modelo de simulación, que integra toda la información recopilada en terreno y en gabinete, y entrega resultados de flujos en cualquier punto de la cuenca. Los resultados han sido contrastados y validados con las personas más entendidas en los asuntos del agua en la cuenca.

La visión local del diagnóstico de la eficiencia física se efectúa analizando todas las variables señaladas en los términos de referencia, y agregando además el análisis de varios indicadores adicionales que ha parecido de interés desprender de la información generada.

El diagnóstico de la eficiencia en el uso agrícola se efectúa a través del análisis por zona de riego que permite hacer el modelo, incorporando consideraciones acerca de los paños individuales que han permitido hacer la caracterización por zona, e integrando luego la información para mostrarla a nivel global.

El presente diagnóstico se refiere a la situación actual, por lo que el modelo se estableció para representar esta situación, y se operó también en las condiciones actuales. El período de calibración del modelo, que representa la condición actual, es el período 1990-2004, ambos inclusive. Para describir el comportamiento del sistema hídrico en este período, se han desarrollado los aspectos que se presentan continuación, que también se han representado en el SIG:

6.5.1 Superficie total cultivada

La superficie cultivada se obtuvo en base a la información del catastro de CIREN, en conjunto con la información recogida en terreno y en las fotografías aéreas, las cuales muestran los sectores cultivados y cultivables. Los antecedentes señalados permitieron caracterizar la superficie cultivada como se muestra en el Cuadro 6-32:

Cuadro 6-32
Superficie cultivada total y por zona de riego, en ha

ZR	TOTAL SUPERFICIE ha	ZR	TOTAL SUPERFICIE ha
ZR-01	42,14	ZR-23	389,09
ZR-02	931,87	ZR-24	326,26
ZR-03	917,88	ZR-25	224,82
ZR-04	658,4	ZR-26	253,66
ZR-05	68,13	ZR-27	170,15
ZR-06	840,3	ZR-28	479,44
ZR-07	378,98	ZR-29	761,16
ZR-08	422,99	ZR-30	453,25
ZR-09	155,77	ZR-31	843,32
ZR-10	591,02	ZR-32	794,30
ZR-11	743,18	ZR-33	199,65
ZR-12	1132,52	ZR-34	5172,85
ZR-13	1286,11	ZR-35	920,03
ZR-14	1005,48	ZR-36	1824,27
ZR-15	1640,03	ZR-37	2690,76
ZR-16	859,52	ZR-38	2027,11
ZR-17	2089,02	ZR-39	1690,91
ZR-18	585,82	ZR-40	1695,58
ZR-19	299,97	ZR-41	1505,03
ZR-20	987,36	ZR-42	4679,93
ZR-21	604,86	ZR-43	185,64
ZR-22	349,79	ZR-44	161,39
		TOTAL	**44039,76**

Las 44.040 ha registradas en el presente estudio corresponden al total del área que se ha visto que es o ha sido cultivada hasta el año 2003, en toda la cuenca, distribuida por sectores de riego tal como se señala en el Cuadro 6-32. Estas áreas se identificaron, por paños, tanto en la imagen satelital como en las fotografías aéreas. Las fotografías aéreas existentes cubren toda la parte baja de la cuenca, desde Pichasca hacia abajo en el río Hurtado, desde Rapel en el río Rapel, todo el sector de Huatulame y los afluentes al Cogotí.

Se incorporó a la situación actual una gran cantidad de paños nuevos, los cuales están en proceso de crecimiento desde hace algunos años.

En el estudio de Ingendesa 1992 se estima como área cultivable la cantidad de 51.492 ha en todo el valle. El Censo Nacional Agropecuario del INE 1997 identifica 35.700 ha cultivadas, más 6.500 ha temporalmente sin actividad, lo que suma un total de 42.200 ha. En vista de estos antecedentes, se estima que el área reconocida en el presente estudio es representativa de la realidad, y por lo tanto apta para ser adoptada en la modelación como área demandante.

6.5.2 Distribución de cultivos

De la información recogida y presentada en el SIG, se ha obtenido el cuadro resumen de los tipos de cultivo por zona de riego, que se muestra en el Cuadro 6-33. Del Cuadro 6-33, a su vez, se ha obtenido el porcentaje de cultivos por zona de riego, que se presenta en el Cuadro 6-34.

En los siguientes Cuadros 6-35 y 6-36 se presentan los valores agregados por áreas mayores, para permitir una mejor visión del tema.

Al respecto, se observa que en la cuenca, el cultivo predominante, con un porcentaje de 22%, es la uva de pisco. Le siguen, con un 19% del área, las praderas regadas. Otro porcentaje importante (14%) está dedicado a la uva de mesa, que es prácticamente toda de exportación. Los frutales ocupan un 8%, y las hortalizas como tomate, maíz y porotos, 9, 9 y 6% respectivamente.

Todos los cultivos, esto es, vides, frutales y hortalizas, se observan en todo el valle, con excepción de la alcachofa, que predomina en las terrazas al norte y sur del Limarí. No se observan limitaciones de clima para la implantación de los cultivos. Las razones del predominio de uno u otro cultivo son en general económicas.

En este sentido, el trigo prácticamente ha desaparecido del valle. Casi no hay praderas en los sectores bajo los embalses, salvo en las terrazas de Punitaqui al sur del Limarí, y dentro del cauce del río Limarí.

Entre los frutales, que abarcan el 8% del área cultivable de la cuenca, predomina totalmente la uva de mesa. Rubros importantes y además emergentes son los paltos, los cítricos y los olivos. También son importantes los nogales y los almendros.

Es interesante hacer notar que sólo 49% del área está cubierta con cultivos permanentes. Esta área es la que tiene una alta seguridad de riego. El resto del área se cultiva en forma eventual, cuando hay recurso hídrico disponible.

Cuadro 6-33
Distribución de cultivos por zona de riego, en hectáreas cultivadas

AREA DE RIEGO	CODIGO ZR	Frutales	Vid Mesa	Vid Pisco	Vid Vino	Alcachofa	Tomate	Morron y otros	Poroto	Papa	Maíz	Trigo	Praderas	TOTAL
Río Grande sobre Paloma	ZR-01	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	38	42
	ZR-02	9	92	374	8	0	50	17	25	25	50	0	283	932
	ZR-04	14	234	328	4	0	16	4	12	8	16	0	21	658
	ZR-09	13	54	54	1	0	3	0	2	1	3	0	27	156
	ZR-10	35	390	116	2	0	12	3	10	5	10	0	8	591
	Area	**70**	**770**	**876**	**15**	**0**	**81**	**24**	**49**	**39**	**79**	**0**	**376**	**2379**
Río Mostazal	ZR-03	34	87	478	8	0	24	0	16	8	24	0	239	918
	Area	**34**	**87**	**478**	**8**	**0**	**24**	**0**	**16**	**8**	**24**	**0**	**239**	**918**
Río Rapel	ZR-05	0	0	37	1	0	5	1	4	2	4	0	14	68
	ZR-06	39	85	394	7	0	50	14	43	22	43	0	143	840
	ZR-07	20	36	178	3	0	23	6	19	10	19	0	65	379
	ZR-08	9	17	219	4	0	28	8	24	12	24	0	80	423
	Area	**68**	**137**	**828**	**15**	**0**	**105**	**30**	**90**	**45**	**90**	**0**	**301**	**1710**
Río Pama	ZR-11	0	0	74	0	0	37	15	37	22	37	0	520	743
	Area	**0**	**0**	**74**	**0**	**0**	**37**	**15**	**37**	**22**	**37**	**0**	**520**	**743**
Río Combarbalá	ZR-12	0	125	101	0	0	50	20	50	30	50	0	705	1133
	Area	**0**	**125**	**101**	**0**	**0**	**50**	**20**	**50**	**30**	**50**	**0**	**705**	**1133**
Río Cogotí	ZR-13	23	253	505	0	0	71	30	61	30	61	0	252	1286
	Area	**23**	**253**	**505**	**0**	**0**	**71**	**30**	**61**	**30**	**61**	**0**	**252**	**1286**
Canal Cogotí	ZR-16	38	448	250	4	0	31	12	15	12	31	0	19	860
	ZR-18	57	72	210	70	0	47	19	28	19	42	0	23	586
	ZR-30	27	32	81	41	0	41	20	28	20	41	0	122	453
	Area	**122**	**552**	**541**	**115**	**0**	**118**	**51**	**72**	**51**	**113**	**0**	**165**	**1899**

AREA DE RIEGO	CODIGO ZR	Frutales	Vid Mesa	Vid Pisco	Vid Vino	Alcachofa	Tomate	Morron y otros	Poroto	Papa	Maíz	Trigo	Praderas	TOTAL
Río Huatulame	ZR-14	24	570	330	4	0	41	0	8	4	8	0	16	1005
	ZR-15	68	845	582	7	0	73	0	15	7	15	0	29	1640
	Area	**91**	**1415**	**912**	**11**	**0**	**114**	**0**	**23**	**11**	**23**	**0**	**46**	**2646**
El Palqui	ZR-17	262	1088	272	8	0	155	54	78	54	117	0	0	2089
	Area	**262**	**1088**	**272**	**8**	**0**	**155**	**54**	**78**	**54**	**117**	**0**	**0**	**2089**
Tamelcura	ZR-20	137	124	262	112	0	75	37	52	37	75	0	75	987
	ZR-21	105	46	159	68	0	45	23	45	23	45	0	45	605
	Area	**241**	**169**	**421**	**181**	**0**	**120**	**60**	**98**	**60**	**120**	**0**	**120**	**1592**
Hurtado sobre Recoleta	ZR-22	14	0	63	4	0	24	10	14	17	35	7	161	350
	ZR-23	21	0	69	4	0	27	11	15	19	38	8	176	389
	ZR-24	20	0	57	3	0	22	10	13	16	32	6	147	326
	ZR-25	12	0	40	2	0	16	7	9	11	22	4	102	225
	ZR-26	18	0	44	2	0	17	7	10	12	25	5	113	254
	ZR-27	18	10	27	1	0	10	4	6	7	15	3	68	170
	Area	**103**	**10**	**300**	**17**	**0**	**117**	**50**	**67**	**83**	**167**	**33**	**767**	**1714**
Hurtado bajo Recoleta	ZR-28	34	8	22	22	0	87	22	87	66	87	0	44	479
	ZR-29	218	129	145	62	0	41	21	41	21	41	0	41	761
	Area	**252**	**137**	**167**	**84**	**0**	**129**	**43**	**129**	**86**	**129**	**0**	**85**	**1241**
Riego Recoleta y Qda Ingenio	ZR-39	257	247	100	25	0	250	62	187	187	250	0	125	1691
	ZR-40	102	6	134	33	0	334	84	251	251	334	0	167	1696
	ZR-42	357	2	372	93	465	929	232	604	232	929	0	465	4680
	Area	**716**	**255**	**605**	**151**	**465**	**1513**	**378**	**1042**	**670**	**1513**	**0**	**757**	**8066**
Río Limarí	ZR-38	119	1	763	191	0	153	57	134	76	153	0	381	2027
	ZR-41	45	89	247	27	0	110	41	96	55	110	0	686	1505
	Area	**164**	**90**	**1010**	**218**	**0**	**262**	**98**	**230**	**131**	**262**	**0**	**1067**	**3532**

AREA DE RIEGO	CODIGO ZR	Frutales	Vid Mesa	Vid Pisco	Vid Vino	Alcachofa	Tomate	Morron y otros	Poroto	Papa	Maiz	Trigo	Praderas	TOTAL
Derivado Cogotí	ZR-31	76	5	157	79	0	79	39	55	39	79	0	236	843
	ZR-32	79	281	90	45	0	45	22	31	22	45	0	135	794
	ZR-36	120	156	559	239	0	128	48	64	64	128	0	319	1824
	ZR-37	271	20	490	245	73	245	122	171	73	245	0	734	2691
	Area	**546**	**463**	**1295**	**608**	**73**	**496**	**232**	**322**	**199**	**496**	**0**	**1424**	**6153**
Camarico	ZR-19	69	9	71	22	0	16	7	16	9	16	0	67	300
	ZR-33	24	0	28	9	0	28	13	18	15	28	0	37	200
	ZR-34	463	466	1073	680	129	343	129	86	172	343	0	1288	5173
	ZR-35	59	188	240	103	0	55	21	34	27	55	0	137	920
	Area	**615**	**662**	**1413**	**815**	**129**	**442**	**169**	**154**	**223**	**442**	**0**	**1529**	**6593**
Punitaqui	ZR-43	14	0	44	26	0	14	5	9	7	14	0	53	186
	ZR-44	17	13	34	20	0	11	4	7	5	11	0	40	161
	Area	**30**	**13**	**78**	**47**	**0**	**25**	**9**	**16**	**12**	**25**	**0**	**93**	**347**
AREA TOTAL		**3339**	**6224**	**9876**	**2292**	**667**	**3860**	**1264**	**2532**	**1757**	**3748**	**33**	**8447**	**44040**

Cuadro 6-34
Distribución porcentual de cultivos por zona de riego

AREA DE RIEGO	ZR	Frutales	Vid Mesa	Vid Pisco	Vid Vino	Alcachofa	Tomate	Morron y otros	Poroto	Papa	Maiz	Trigo	Praderas	TOTAL
Río Grande sobre Paloma	ZR-01	0	0	9	1	0	0	0	0	0	0	0	90	100
	ZR-02	1	10	40	1	0	5	2	3	3	5	0	30	100
	ZR-04	2	36	50	1	0	2	1	2	1	2	0	3	100
	ZR-09	8	35	34	1	0	2	0	1	1	2	0	17	100
	ZR-10	6	66	20	0	0	2	1	2	1	2	0	1	100
	% área	**3**	**32**	**37**	**1**	**0**	**3**	**1**	**2**	**2**	**3**	**0**	**16**	**100**
Río Mostazal	ZR-03	4	9	52	1	0	3	0	2	1	3	0	26	100
	% área	**4**	**9**	**52**	**1**	**0**	**3**	**0**	**2**	**1**	**3**	**0**	**26**	**100**
Río Rapel	ZR-05	0	0	55	1	0	7	2	6	3	6	0	20	100
	ZR-06	5	10	47	1	0	6	2	5	3	5	0	17	100
	ZR-07	5	9	47	1	0	6	2	5	3	5	0	17	100
	ZR-08	2	4	52	1	0	7	2	6	3	6	0	19	100
	% área	**4**	**8**	**48**	**1**	**0**	**6**	**2**	**5**	**3**	**5**	**0**	**18**	**100**
Río Pama	ZR-11	0	0	10	0	0	5	2	5	3	5	0	70	100
	% área	**0**	**0**	**10**	**0**	**0**	**5**	**2**	**5**	**3**	**5**	**0**	**70**	**100**
Río Combarbalá	ZR-12	0	11	9	0	0	4	2	4	3	4	0	62	100
	% área	**0**	**11**	**9**	**0**	**0**	**4**	**2**	**4**	**3**	**4**	**0**	**62**	**100**
Río Cogotí	ZR-13	2	20	39	0	0	5	2	5	2	5	0	20	100
	% área	**2**	**20**	**39**	**0**	**0**	**5**	**2**	**5**	**2**	**5**	**0**	**20**	**100**
Canal Cogotí	ZR-16	4	52	29	0	0	4	1	2	1	4	0	2	100
	ZR-18	10	12	36	12	0	8	3	5	3	7	0	4	100
	ZR-30	6	7	18	9	0	9	4	6	4	9	0	27	100
	% área	**6**	**29**	**29**	**6**	**0**	**6**	**3**	**4**	**3**	**6**	**0**	**9**	**100**

AREA DE RIEGO	ZR	Frutales	Vid Mesa	Vid Pisco	Vid Vino	Alcachofa	Tomate	Morron y otros	Poroto	Papa	Maíz	Trigo	Praderas	TOTAL
Río Huatulame	ZR-14	2	57	33	0	0	4	0	1	0	1	0	2	100
	ZR-15	4	52	35	0	0	4	0	1	0	1	0	2	100
	% área	**3**	**53**	**34**	**0**	**0**	**4**	**0**	**1**	**0**	**1**	**0**	**2**	**100**
El Palqui	ZR-17	13	52	13	0	0	7	3	4	3	6	0	0	100
	% área	**13**	**52**	**13**	**0**	**0**	**7**	**3**	**4**	**3**	**6**	**0**	**0**	**100**
Tamelcura	ZR-20	14	13	27	11	0	8	4	5	4	8	0	8	100
	ZR-21	17	8	26	11	0	8	4	8	4	8	0	8	100
	% área	**15**	**11**	**26**	**11**	**0**	**8**	**4**	**6**	**4**	**8**	**0**	**8**	**100**
Hurtado sobre Recoleta	ZR-22	4	0	18	1	0	7	3	4	5	10	2	46	100
	ZR-23	5	0	18	1	0	7	3	4	5	10	2	45	100
	ZR-24	6	0	18	1	0	7	3	4	5	10	2	45	100
	ZR-25	5	0	18	1	0	7	3	4	5	10	2	45	100
	ZR-26	7	0	17	1	0	7	3	4	5	10	2	45	100
	ZR-27	10	6	16	1	0	6	3	3	4	9	2	40	100
	% área	**6**	**1**	**18**	**1**	**0**	**7**	**3**	**4**	**5**	**10**	**2**	**45**	**100**
Hurtado bajo Recoleta	ZR-28	7	2	5	5	0	18	5	18	14	18	0	9	100
	ZR-29	29	17	19	8	0	5	3	5	3	5	0	5	100
	% área	**20**	**11**	**13**	**7**	**0**	**10**	**3**	**10**	**7**	**10**	**0**	**7**	**100**
Riego Recoleta y Qda Ingenio	ZR-39	15	15	6	1	0	15	4	11	11	15	0	7	100
	ZR-40	6	0	8	2	0	20	5	15	15	20	0	10	100
	ZR-42	8	0	8	2	10	20	5	13	5	20	0	10	100
	% área	**9**	**3**	**8**	**2**	**6**	**19**	**5**	**13**	**8**	**19**	**0**	**9**	**100**
Río Limarí	ZR-38	6	0	38	9	0	8	3	7	4	8	0	19	100
	ZR-41	3	6	16	2	0	7	3	6	4	7	0	46	100
	% área	**5**	**3**	**29**	**6**	**0**	**7**	**3**	**6**	**4**	**7**	**0**	**30**	**100**

AREA DE RIEGO	ZR	Frutales	Vid Mesa	Vid Pisco	Vid Vino	Alcachofa	Tomate	Morron y otros	Poroto	Papa	Maiz	Trigo	Praderas	TOTAL
Derivado Cogotí	ZR-31	9	1	19	9	0	9	5	7	5	9	0	28	100
	ZR-32	10	35	11	6	0	6	3	4	3	6	0	17	100
	ZR-36	7	9	31	13	0	7	3	3	3	7	0	17	100
	ZR-37	10	1	18	9	3	9	5	6	3	9	0	27	100
	% área	**9**	**8**	**21**	**10**	**1**	**8**	**4**	**5**	**3**	**8**	**0**	**23**	**100**
Camarico	ZR-19	23	3	24	7	0	5	2	5	3	5	0	22	100
	ZR-33	12	0	14	5	0	14	6	9	7	14	0	19	100
	ZR-34	9	9	21	13	2	7	2	2	3	7	0	25	100
	ZR-35	6	20	26	11	0	6	2	4	3	6	0	15	100
	% área	**9**	**10**	**21**	**12**	**2**	**7**	**3**	**2**	**3**	**7**	**0**	**23**	**100**
Punitaqui	ZR-43	7	0	24	14	0	8	3	5	4	8	0	28	100
	ZR-44	10	8	21	13	0	7	3	4	3	7	0	25	100
	% área	**9**	**4**	**22**	**13**	**0**	**7**	**3**	**4**	**4**	**7**	**0**	**27**	**100**
TOTAL		**8**	**14**	**22**	**5**	**2**	**9**	**3**	**6**	**4**	**9**	**0**	**19**	**100**

Cuadro 6-35
Distribución de cultivos por áreas de riego

AREA DE RIEGO	Frutales	Vid Mesa	Vid Pisco	Vid Vino	Alcachofa	Tomate	Morron y otros	Poroto	Papa	Maiz	Trigo	Praderas	TOTAL
Río Grande sobre Paloma	70	770	876	15	0	81	24	49	39	79	0	376	**2379**
Río Mostazal	34	87	478	8	0	24	0	16	8	24	0	239	**918**
Río Rapel	68	137	828	15	0	105	30	90	45	90	0	301	**1710**
Río Pama	0	0	74	0	0	37	15	37	22	37	0	520	**743**
Río Combarbalá	0	125	101	0	0	50	20	50	30	50	0	705	**1133**
Río Cogotí	23	253	505	0	0	71	30	61	30	61	0	252	**1286**
Canal Cogotí	122	552	541	115	0	118	51	72	51	113	0	165	**1899**
Río Huatulame	91	1415	912	11	0	114	0	23	11	23	0	46	**2646**
El Palqui	262	1088	272	8	0	155	54	78	54	117	0	0	**2089**
Tamelcura	241	169	421	181	0	120	60	98	60	120	0	120	**1592**
Hurtado sobre Recoleta	103	10	300	17	0	117	50	67	83	167	33	767	**1714**
Hurtado bajo Recoleta	252	137	167	84	0	129	43	129	86	129	0	85	**1241**
Riego Recoleta y Qda Ingenio	716	255	605	151	465	1513	378	1042	670	1513	0	757	**8066**
Río Limarí	164	90	1010	218	0	262	98	230	131	262	0	1067	**3532**
Derivado Cogotí	546	463	1295	608	73	496	232	322	199	496	0	1424	**6153**
Camarico	615	662	1413	815	129	442	169	154	223	442	0	1529	**6593**
Punitaqui	30	13	78	47	0	25	9	16	12	25	0	93	**347**
AREA TOTAL	**3339**	**6224**	**9876**	**2292**	**667**	**3860**	**1264**	**2532**	**1757**	**3748**	**33**	**8447**	**44040**

Cuadro 6-36
Distribución de porcentajes de cultivos por áreas de riego

AREA DE RIEGO	Frutales	Vid Mesa	Vid Pisco	Vid Vino	Alcachofa	Tomate	Morron y otros	Poroto	Papa	Maiz	Trigo	Praderas	TOTAL
Río Grande sobre Paloma	3	32	37	1	0	3	1	2	2	3	0	16	**100**
Río Mostazal	4	9	52	1	0	3	0	2	1	3	0	26	**100**
Río Rapel	4	8	48	1	0	6	2	5	3	5	0	18	**100**
Río Pama	0	0	10	0	0	5	2	5	3	5	0	70	**100**
Río Combarbalá	0	11	9	0	0	4	2	4	3	4	0	62	**100**
Río Cogotí	2	20	39	0	0	5	2	5	2	5	0	20	**100**
Canal Cogotí	6	29	29	6	0	6	3	4	3	6	0	9	**100**
Río Huatulame	3	53	34	0	0	4	0	1	0	1	0	2	**100**
El Palqui	13	52	13	0	0	7	3	4	3	6	0	0	**100**
Tamelcura	15	11	26	11	0	8	4	6	4	8	0	8	**100**
Hurtado sobre Recoleta	6	1	18	1	0	7	3	4	5	10	2	45	**100**
Hurtado bajo Recoleta	20	11	13	7	0	10	3	10	7	10	0	7	**100**
Riego Recoleta y Qda Ingenio	9	3	8	2	6	19	5	13	8	19	0	9	**100**
Río Limarí	5	3	29	6	0	7	3	6	4	7	0	30	**100**
Derivado Cogotí	9	8	21	10	1	8	4	5	3	8	0	23	**100**
Camarico	9	10	21	12	2	7	3	2	3	7	0	23	**100**
Punitaqui	9	4	22	13	0	7	3	4	4	7	0	27	**100**
TOTAL	**8**	**14**	**22**	**5**	**2**	**9**	**3**	**6**	**4**	**9**	**0**	**19**	**100**

6.5.3 Superficies según métodos de riego

La agregación de las superficies por método de riego dio por resultado el Cuadro 6-37. En este cuadro se ordenaron al inicio los métodos tradicionales, que son surco, tendido, tazas, bordes y curvas de nivel, y al final, los tecnificados, correspondientes a goteo, cintas, aspersión y microaspersión. El Cuadro 6-38 resume los métodos de riego para las áreas sumadas por sector. El siguiente Cuadro 6-39 clarifica aún más la situación, mostrando la información anterior en % del área.

Cuadro 6-37
Superficies por método de riego

AREA DE RIEGO	CODIGO ZR	Surcos	Tendido	Tazas	Bordes	Curva de nivel	Otro	Goteo	Goteo o Cintas	Aspersión	Micro Aspersión	TOTAL
		Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha
Río Grande sobre Paloma	ZR-01	4	38	0	0	0	0	0	0	0	0	42
	ZR-02	559	283	0	0	0	0	88	0	0	2	932
	ZR-04	237	27	0	3	0	0	387	6	0	0	658
	ZR-09	90	27	0	0	0	0	39	0	0	0	156
	ZR-10	197	14	1	0	4	0	359	0	17	0	591
	Area	**1086**	**388**	**1**	**3**	**4**	**0**	**874**	**6**	**17**	**2**	**2379**
Río Mostazal	ZR-03	587	247	0	0	1	0	83	0	0	0	918
	Area	**587**	**247**	**0**	**0**	**1**	**0**	**83**	**0**	**0**	**0**	**918**
Río Rapel	ZR-05	43	14	0	0	0	0	11	0	0	0	68
	ZR-06	472	151	9	0	0	0	208	0	0	0	840
	ZR-07	217	65	0	0	0	0	95	2	0	0	379
	ZR-08	273	80	0	0	0	0	70	0	0	0	423
	Area	**1006**	**309**	**9**	**0**	**0**	**0**	**385**	**2**	**0**	**0**	**1710**
Río Pama	ZR-11	223	520	0	0	0	0	0	0	0	0	743
	Area	**223**	**520**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**743**
Río Combarb.	ZR-12	302	705	0	0	0	0	125	0	0	0	1133
	Area	**302**	**705**	**0**	**0**	**0**	**0**	**125**	**0**	**0**	**0**	**1133**
Río Cogotí	ZR-13	615	262	0	0	0	0	410	0	0	0	1286
	Area	**615**	**262**	**0**	**0**	**0**	**0**	**410**	**0**	**0**	**0**	**1286**
Canal Cogotí	ZR-16	125	19	0	0	0	0	715	0	0	0	860
	ZR-18	189	23	0	0	0	0	348	0	0	26	586
	ZR-30	265	122	2	0	0	0	64	0	0	0	453
	Area	**579**	**165**	**2**	**0**	**0**	**0**	**1127**	**0**	**0**	**26**	**1899**
Río Huatulame	ZR-14	38	16	2	0	0	0	924	25	0	0	1005
	ZR-15	86	33	5	0	0	0	1472	44	0	0	1640
	Area	**124**	**50**	**7**	**0**	**0**	**0**	**2396**	**68**	**0**	**0**	**2646**
El Palqui	ZR-17	366	0	0	0	0	249	1467	0	8	0	2089
	Area	**366**	**0**	**0**	**0**	**0**	**249**	**1467**	**0**	**8**	**0**	**2089**

AREA DE RIEGO	CODIGO ZR	Surcos	Tendido	Tazas	Bordes	Curva de nivel	Otro	Goteo	Goteo o Cintas	Aspersión	Micro Aspersión	TOTAL
		Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha
Tamelcura	ZR-20	487	75	1	0	0	0	316	90	0	18	987
	ZR-21	264	47	1	0	1	0	213	55	7	18	605
	Area	**751**	**122**	**2**	**0**	**1**	**0**	**530**	**144**	**7**	**36**	**1592**
Hurtado sobre Recoleta	ZR-22	189	161	0	0	0	0	0	0	0	0	350
	ZR-23	211	176	1	0	0	0	1	0	0	0	389
	ZR-24	178	148	0	0	0	0	0	0	0	0	326
	ZR-25	120	102	1	0	0	0	1	0	0	1	225
	ZR-26	133	113	3	0	0	0	5	0	0	0	254
	ZR-27	84	68	2	0	0	0	15	0	0	0	170
	Area	**914**	**769**	**7**	**0**	**0**	**0**	**23**	**0**	**0**	**1**	**1714**
Hurtado bajo Recoleta	ZR-28	393	44	2	0	1	0	36	0	0	2	479
	ZR-29	361	43	0	0	0	0	307	50	0	0	761
	Area	**754**	**87**	**2**	**0**	**1**	**0**	**344**	**50**	**0**	**2**	**1241**
Riego Recoleta y Qda Ingenio	ZR-39	1124	152	2	0	0	0	337	0	0	76	1691
	ZR-40	1427	167	0	0	0	0	102	0	0	0	1696
	ZR-42	3950	465	0	0	0	0	236	0	0	29	4680
	Area	**6500**	**784**	**2**	**0**	**0**	**0**	**675**	**0**	**0**	**105**	**8066**
Río Limarí	ZR-38	964	382	36	0	0	0	458	172	0	16	2027
	ZR-41	533		1	0	0	0	203	82	0	0	1505
	Area	**1497**	**1067**	**37**	**0**	**0**	**0**	**661**	**254**	**0**	**16**	**3532**
Derivado Cogotí	ZR-31	530	237	0	0	0	0	76	0	0	0	843
	ZR-32	288	135	0	0	0	0	364	0	0	7	794
	ZR-36	727	319	10	0	0	0	755	0	0	12	1824
	ZR-37	1567	734	0	0	0	0	389	0	0	0	2691
	Area	**3112**	**1425**	**10**	**0**	**0**	**0**	**1585**	**0**	**0**	**20**	**6153**
Camarico	ZR-19	82	67	0	0	0	0	123	0	0	28	300
	ZR-33	153	38	0	0	0	0	9	0	0	0	200
	ZR-34	2741	1288	0	0	0	0	1143	0	0	0	5173
	ZR-35	309	137	2	0	0	0	470	0	0	1	920
	Area	**3286**	**1530**	**2**	**0**	**0**	**0**	**1745**	**0**	**0**	**29**	**6593**
Punitaqui	ZR-43	57	53	6	0	0	0	70	0	0	0	186
	ZR-44	66	40	0	0	0	0	55	0	0	0	161
	Area	**123**	**93**	**6**	**0**	**0**	**0**	**125**	**0**	**0**	**0**	**347**
TOTAL		**21825**	**8522**	**87**	**3**	**7**	**249**	**12555**	**524**	**32**	**237**	**44040**

Cuadro 6-38
Superficies por método de riego agregadas por áreas

AREA DE RIEGO	Surcos	Tendido	Tazas	Bordes	Curva de nivel	Otro	Goteo	Goteo o Cintas	Aspersión	Micro Aspersión	TOTAL
	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha
Río Grande sobre Paloma	1086	388	1	3	4	0	874	6	17	2	**2379**
Río Mostazal	587	247	0	0	1	0	83	0	0	0	**918**
Río Rapel	1006	309	9	0	0	0	385	2	0	0	**1710**
Río Pama	223	520	0	0	0	0	0	0	0	0	**743**
Río Combarbalá	302	705	0	0	0	0	125	0	0	0	**1133**
Río Cogotí	615	262	0	0	0	0	410	0	0	0	**1286**
Canal Cogotí	579	165	2	0	0	0	1127	0	0	26	**1899**
Río Huatulame	124	50	7	0	0	0	2396	68	0	0	**2646**
El Palqui	366	0	0	0	0	249	1467	0	8	0	**2089**
Tamelcura	751	122	2	0	1	0	530	144	7	36	**1592**
Hurtado sobre Recoleta	914	769	7	0	0	0	23	0	0	1	**1714**
Hurtado bajo Recoleta	754	87	2	0	1	0	344	50	0	2	**1241**
Riego Recoleta y Qda Ingenio	6500	784	2	0	0	0	675	0	0	105	**8066**
Río Limarí	1497	1067	37	0	0	0	661	254	0	16	**3532**
Derivado Cogotí	3112	1425	10	0	0	0	1585	0	0	20	**6153**
Camarico	3286	1530	2	0	0	0	1745	0	0	29	**6593**
Punitaqui	123	93	6	0	0	0	125	0	0	0	**347**
TOTAL	**21825**	**8522**	**87**	**3**	**7**	**249**	**12555**	**524**	**32**	**237**	**44040**

Cuadro 6-39
Porcentaje de métodos de riego por área

AREA DE RIEGO	Surcos	Tendido	Tazas	Bordes	Curva de nivel	Otro	Goteo	Goteo o Cintas	Aspersión	Micro Aspersión	TOTAL
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Río Grande sobre Paloma	46	16	0	0	0	0	37	0	1	0	100
Río Mostazal	64	27	0	0	0	0	9	0	0	0	100
Río Rapel	59	18	1	0	0	0	23	0	0	0	100
Río Pama	30	70	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Río Combarbalá	27	62	0	0	0	0	11	0	0	0	100
Río Cogotí	48	20	0	0	0	0	32	0	0	0	100
Canal Cogotí	30	9	0	0	0	0	59	0	0	1	100
Río Huatulame	5	2	0	0	0	0	91	3	0	0	100
El Palqui	17	0	0	0	0	12	70	0	0	0	100
Tamelcura	47	8	0	0	0	0	33	9	0	2	100
Hurtado sobre Recoleta	53	45	0	0	0	0	1	0	0	0	100
Hurtado bajo Recoleta	61	7	0	0	0	0	28	4	0	0	100
Riego Recoleta y Qda Ingenio	81	10	0	0	0	0	8	0	0	1	100
Río Limarí	42	30	1	0	0	0	19	7	0	0	100
Derivado Cogotí	51	23	0	0	0	0	26	0	0	0	100
Camarico	50	23	0	0	0	0	26	0	0	0	100
Punitaqui	35	27	2	0	0	0	36	0	0	0	100
TOTAL	**50**	**19**	**0**	**0**	**0**	**1**	**29**	**1**	**0**	**1**	**100**

El método de riego más usado en la cuenca (50% del área) es el método de surcos. En esta categoría caen la mayoría de las hortalizas y una gran parte de las vides de pisco. Otra parte de las vides de pisco, prácticamente la totalidad de la uva de mesa y vino, y parte de los frutales, tienen riego por goteo (29% del área). También permanece una gran parte de riego por tendido (19% del área), que corresponde al riego de las praderas.

La tecnificación es notable en la cuenca, llegando en total al 31%. Las áreas más tecnificadas son Huatulame, Palqui y el área regada por el canal Cogotí.

6.5.4 Porcentaje de tecnificación por zona de riego

En el Cuadro 6-40 se han agrupado todas las superficies tecnificadas y no tecnificadas por zona de riego, y se ha obtenido el porcentaje total del área cultivada que está tecnificada en la actualidad. En el Cuadro 6-41 se presentan los valores agregados por área.

Cuadro 6-40
Porcentaje de tecnificación por zona de riego

AREA DE RIEGO	CODIGO ZR	Total Superficie	Total Superficie Tecnificada	Total Superficie No Tecnificada	%Sup.Tecn = Sup.Tecn / Sup.Total
		(Ha)	(Ha)	(Ha)	(º/1)
Río Grande sobre Paloma	ZR-01	42	0	42	0,00
	ZR-02	932	90	842	0,10
	ZR-04	658	393	266	0,60
	ZR-09	156	39	116	0,25
	ZR-10	591	376	215	0,64
	Area	**2379**	**898**	**1481**	**0,38**
Río Mostazal	ZR-03	918	83	835	0,09
	Area	**918**	**83**	**835**	**0,09**
Río Rapel	ZR-05	68	11	57	0,17
	ZR-06	840	208	632	0,25
	ZR-07	379	97	282	0,26
	ZR-08	423	70	353	0,17
	Area	**1710**	**387**	**1323**	**0,23**
Río Pama	ZR-11	743	0	743	0,00
	Area	**743**	**0**	**743**	**0,00**
Río Combarbalá	ZR-12	1133	125	1007	0,11
	Area	**1133**	**125**	**1007**	**0,11**
Río Cogotí	ZR-13	1286	410	876	0,32
	Area	**1286**	**410**	**876**	**0,32**
Canal Cogotí	ZR-16	860	715	144	0,83
	ZR-18	586	374	212	0,64
	ZR-30	453	64	389	0,14
	Area	**1899**	**1153**	**746**	**0,61**
Río Huatulame	ZR-14	1005	949	57	0,94
	ZR-15	1640	1516	124	0,92
	Area	**2646**	**2465**	**181**	**0,93**
El Palqui	ZR-17	2089	1723	366	0,83
	Area	**2089**	**1723**	**366**	**0,83**
Tamelcura	ZR-20	987	424	563	0,43
	ZR-21	605	293	312	0,48
	Area	**1592**	**717**	**875**	**0,45**
Hurtado sobre Recoleta	ZR-22	350	0	350	0,00
	ZR-23	389	1	388	0,00
	ZR-24	326	0	326	0,00
	ZR-25	225	2	222	0,01
	ZR-26	254	5	248	0,02
	ZR-27	170	15	155	0,09
	Area	**1714**	**24**	**1690**	**0,01**
Hurtado bajo Recoleta	ZR-28	479	39	441	0,08
	ZR-29	761	357	404	0,47
	Area	**1241**	**396**	**845**	**0,32**

AREA DE RIEGO	CODIGO ZR	Total Superficie	Total Superficie Tecnificada	Total Superficie No Tecnificada	%Sup.Tecn = Sup.Tecn / Sup.Total
		(Ha)	(Ha)	(Ha)	(º/1)
Riego Recoleta y Qda Ingenio	ZR-39	1691	413	1278	0,24
	ZR-40	1696	102	1594	0,06
	ZR-42	4680	266	4414	0,06
	Area	**8066**	**780**	**7286**	**0,10**
Río Limarí	ZR-38	2027	646	1381	0,32
	ZR-41	1505	285	1220	0,19
	Area	**3532**	**932**	**2600**	**0,26**
Derivado Cogotí	ZR-31	843	76	767	0,09
	ZR-32	794	371	423	0,47
	ZR-36	1824	768	1057	0,42
	ZR-37	2691	389	2301	0,14
	Area	**6153**	**1605**	**4548**	**0,26**
Camarico	ZR-19	300	151	149	0,50
	ZR-33	200	9	191	0,04
	ZR-34	5173	1143	4029	0,22
	ZR-35	920	471	449	0,51
	Area	**6593**	**1774**	**4818**	**0,27**
Punitaqui	ZR-43	186	70	115	0,38
	ZR-44	161	55	107	0,34
	Area	**347**	**125**	**222**	**0,36**
TOTAL		**44040**	**13597**	**30443**	**0,31**

Cuadro 6-41
Porcentajes de tecnificación agregados por área

AREA DE RIEGO	Total Superficie	Total Superficie Tecnificada	Total Superficie No Tecnificada	%Sup.Tecn = Sup.Tecn / Sup.Total
	(Ha)	(Ha)	(Ha)	(º/1)
Río Grande sobre Paloma	2379	898	1481	0,38
Río Mostazal	918	83	835	0,09
Río Rapel	1710	387	1323	0,23
Río Pama	743	0	743	0,00
Río Combarbalá	1133	125	1007	0,11
Río Cogotí	1286	410	876	0,32
Canal Cogotí	1899	1153	746	0,61
Río Huatulame	2646	2465	181	0,93
El Palqui	2089	1723	366	0,83
Tamelcura	1592	717	875	0,45
Hurtado sobre Recoleta	1714	24	1690	0,01
Hurtado bajo Recoleta	1241	396	845	0,32
Riego Rec. y Qda Ingenio	8066	780	7286	0,10

AREA DE RIEGO	Total Superficie	Total Superficie Tecnificada	Total Superficie No Tecnificada	%Sup.Tecn = Sup.Tecn / Sup.Total
	(Ha)	(Ha)	(Ha)	(º/1)
Río Limarí	3532	932	2600	0,26
Derivado Cogotí	6153	1605	4548	0,26
Camarico	6593	1774	4818	0,27
Punitaqui	347	125	222	0,36
TOTAL	**44040**	**13597**	**30443**	**0,31**

Se reconoce claramente que las áreas más altamente tecnificadas, con porcentajes 93 y 83% respectivamente, son el río Huatulame y El Palqui. Con porcentajes de alrededor de 40%, le siguen las áreas del río Grande sobre y bajo Paloma, y las pequeñas áreas en el estero Punitaqui, con porcentajes de tecnificación de entre 36 y 46%, y el río Cogotí sobre Paloma, con 32%. El cauce del Limarí y las terrazas del sur, tienen tecnificación del 26 y 27% del área.

Sectores extraordinariamente poco tecnificados son el río Pama y el Hurtado sobre el embalse Recoleta, con 0 y 1%, respectivamente. El sector al norte del Limarí, regado por el embalse Recoleta y apoyado por Paloma, tiene tecnificado el 10% de su área. Esto puede parecer poco, pero se debe a que la mayoría de los cultivos en esta área son hortalizas, las que en general no se han tecnificado mucho.

6.5.5 Acciones por unidad de superficie

Las acciones de los canales fueron obtenidas de los registros facilitados en las diferentes juntas de vigilancia, y recopilados en estudios anteriores, y se agregaron de acuerdo con los requerimientos de operación del Magic, por zona de riego. Las acciones se presentan en el Cuadro 6-42 agregadas por zona de riego, y en el Cuadro 6-43 agregadas por áreas mayores.

Cuadro 6-42
Acciones por zona de riego

AREA DE RIEGO	CODIGO ZR	Superficie total	Acciones agregadas de canales de la ZR	Acciones / Ha
		(Ha)	(Ha)	
Río Grande sobre Paloma	**ZR-01**	42	199	4,72
	ZR-02	932	1270	1,36
	ZR-04	658	1281	1,95
	ZR-09	156	420	2,70
	ZR-10	591	523	0,89
		2379	**3694**	**1,55**

AREA DE RIEGO	CODIGO ZR	Superficie total (Ha)	Acciones agregadas de canales de la ZR (Ha)	Acciones / Ha
Río Mostazal	**ZR-03**	918	2234	2,43
		918	**2234**	**2,43**
Río Rapel	**ZR-05**	68	513	7,53
	ZR-06	840	1139	1,36
	ZR-07	379	657	1,73
	ZR-08	423	811	1,92
		1710	**3120**	**1,82**
Río Pama	**ZR-11**	743	2511	3,38
		743	**2511**	**3,38**
Río Combarbalá	**ZR-12**	1133	2856	2,52
		1133	**2856**	**2,52**
Río Cogotí	**ZR-13**	1286	1487	1,16
		1286	**1487**	**1,16**
Canal Cogotí	**ZR-15**	389	537	1,38
	ZR-16	860	1186	1,38
	ZR-17	975	1345	1,38
	ZR-18	586	808	1,38
	ZR-30	453	625	1,38
		3262	**4500**	**1,38**
Río Huatulame	**ZR-14**	1005	425	0,42
	ZR-15	1251	528	0,42
		2257	**953**	**0,42**
El Palqui	**ZR-17**	1114	294	0,26
	Total	**1114**	**294**	**0,26**
Tamelcura	**ZR-20**	987	1615	1,64
	ZR-21	605	989	1,64
		1592	**2605**	**1,64**
Hurtado sobre Recoleta	**ZR-22**	350	715	2,04
	ZR-23	389	610	1,57
	ZR-24	326	505	1,55
	ZR-25	225	214	0,95
	ZR-26	254	234	0,92
	ZR-27	170	123	0,73
		1714	**2401**	**1,40**
Hurtado bajo Recoleta	**ZR-28**	479	239	0,50
	ZR-29	715	357	0,50
		1195	**597**	**0,50**
Riego Recoleta y Qda Ingenio	**ZR-39**	1691	844	0,50
	ZR-40	1272	635	0,50
	ZR-42	1451	724	0,50
		4413	**2203**	**0,50**
Río Limarí	**ZR-38**	2027	3316	1,64
	ZR-41	1505	2462	1,64
		3532	**5778**	**1,64**

AREA DE RIEGO	CODIGO ZR	Superficie total (Ha)	Acciones agregadas de canales de la ZR (Ha)	Acciones / Ha
Derivado Recoleta	ZR-29	46	151	3,30
	ZR-40	424	1398	3,30
	ZR-42	3229	10651	3,30
		3699	**12200**	**3,30**
Derivado Cogotí	ZR-31	843	1028	1,22
	ZR-32	794	968	1,22
	ZR-36	1824	2224	1,22
	ZR-37	2691	3280	1,22
		6153	**7500**	**1,22**
Camarico	ZR-19	300	250	0,83
	ZR-33	200	167	0,83
	ZR-34	5173	4316	0,83
	ZR-35	920	768	0,83
		6593	**5500**	**0,83**
Punitaqui	ZR-43	186	S/I	S/I
	ZR-44	161	S/I	S/I
		347	**0**	**0,00**
TOTAL		**44040**	**60433**	**1,38**

Cuadro 6-43
Acciones agregadas por áreas

AREA DE RIEGO	Superficie total (Ha)	Acciones agregadas de canales de la ZR	Acciones / Ha
Río Grande sobre Paloma	2379	3694,17	1,55
Río Mostazal	918	2234,30	2,43
Río Rapel	1710	3120,42	1,82
Río Pama	743	2510,80	3,38
Río Combarbalá	1133	2856,18	2,52
Río Cogotí	1286	1486,50	1,16
Canal Cogotí	3262	4500,00	1,38
Río Huatulame	2257	953,00	0,42
Canal Palqui-Maurat-Semita	1114	293,90	0,26
Tamelcura	1592	2604,73	1,64
Hurtado sobre Recoleta	1714	2400,99	1,40
Hurtado bajo Recoleta	1195	596,58	0,50
Riego Recoleta y Qda Ingenio	4413	2203,42	0,50
Río Limarí	3532	5778,27	1,64
Derivado Recoleta	3699	12200,00	3,30
Derivado Cogotí	6153	7500,00	1,22
Canal Camarico	6593	5500,00	0,83
Punitaqui	347	0,00	0,00
TOTAL	**44040**	**60433,26**	**1,38**

En el Cuadro 6-43 se puede observar que los valores de acciones / ha son muy variables. Considerando que se ha tomado áreas máximas regables en cada sector, y que estas áreas máximas no están desarrolladas en todos los sectores, lo primero que hay que decir es que los valores de acciones / ha son valores conservadores o mínimos. Como en general se cultiva menos área que la señalada, el valor de acciones / ha es un poco mayor que lo señalado.

Pero lo más importante de destacar, es que las acciones no tienen un significado único en el valle. Sólo constituyen una forma de dividir una cantidad total disponible de agua, ya sea caudal o volumen, en partes individuales manejables y gestionables. El número de acciones en que cada subsistema divide sus aguas, depende de la cantidad de agua disponible, de la cantidad de hectáreas que serán regadas, de la cantidad de usuarios que usarán las aguas etc. Por esta razón, el valor de acciones / ha no dice mucho acerca de la cantidad de agua que realmente recibe el terreno. Hay que complementar este dato con una dotación de agua / acción, la que varía de sistema en sistema, y también año a año, pues depende de la hidrología. Esta dotación se obtiene como resultado del modelo de simulación.

6.5.6 Caudales demandados y caudales recibidos por las zonas de riego, en promedio

En base a los resultados del modelo de simulación, operado para el período 1990-2004, se observa las siguientes demandas, a nivel raíz y a nivel de entrada a la zona de riego, las que se comparan con los caudales realmente recibidos. Los caudales recibidos incluyen los aportes de canales y tranques nocturnos, y también de pozos cuando los aportes superficiales son deficitarios. Los caudales se presentan por áreas de riego (agrupación de zonas) en el Cuadro 6-44.

Cuadro 6-44
Caudal demandado versus caudal recibido agregado por áreas

Zona Riego	Area	Qddo Nivel Raíz	Qddo entrada ZR	Q Capt canales	Q entr. por canales y tranques en entrada ZR	Bombeo para riego	Qrecibido entrada ZR
	(Ha)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)
Río Grande sobre Paloma	2379	0,759	1,710	3,688	2,776	0,000	2,776
Río Mostazal	918	0,332	0,837	1,269	1,145	0,000	1,145
Río Rapel	1710	0,572	1,367	2,397	1,948	0,017	1,964
Río Pama	743	0,327	1,099	0,294	0,206	0,034	0,240
Río Combarbalá	1133	0,481	1,416	0,710	0,497	0,021	0,518
Río Cogotí	1286	0,446	0,986	1,285	0,899	0,001	0,900
Canal Cogotí	1899	0,513	0,827	0,515	0,469	0,008	0,477
Río Huatulame	2646	0,783	1,104	0,979	0,950	0,064	1,014
El Palqui	2089	0,572	0,737	0,836	0,694	0,103	0,797
Tamelcura	1592	0,416	0,815	0,314	0,260	0,008	0,268

Zona Riego	Area	Qddo Nivel Raíz	Qddo entrada ZR	Q Capt canales	Q entr. por canales y tranques en entrada ZR	Bombeo para riego	Qrecibido entrada ZR
	(Ha)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)
Hurtado sobre Recoleta	1714	0,597	1,932	2,301	2,004	0,019	2,023
Hurtado bajo Recoleta	1241	0,339	0,663	0,329	0,294	0,000	0,294
Riego Recoleta y Qda Ingenio	8066	1,815	4,084	2,687	2,602	0,224	2,826
Río Limarí	3532	0,862	2,062	1,147	0,956	0,450	1,406
Derivado Cogotí	6153	1,444	3,238	1,814	1,490	0,239	1,729
Camarico	6593	1,610	3,619	1,128	1,120	0,305	1,426
Punitaqui	347	0,084	0,180	0,019	0,019	0,000	0,019
Total	**44040**	**11,952**	**26,677**	**21,710**	**18,330**	**1,493**	**19,823**

El cuadro anterior muestra que en el valle hay una demanda a nivel raíz, de 12 m3/s por parte de las 44.040 ha consideradas bajo riego. Dadas las características de tecnificación, esta demanda significa 27 m3/s a nivel de zona de riego. En promedio, los canales y los pozos pueden captar unos 23 m3/s. Esta cifra incluye reúsos de derrames y sobrantes.

El análisis de los valores promedio enmascara un poco la realidad, puesto que no refleja la ciclicidad de la forma en que se suple la demanda. Revisando los gráficos de la Figura 6-15 del Capítulo 6.4, se observa que las zonas altas sobre embalse, que aparentemente reciben las dotaciones que requieren y más, en realidad tienen fuertes bajas en los períodos de estiaje que limitan el desarrollo, bajas que son especialmente notables en períodos de sequía. Son sectores que están desprotegidos en vista de las sequías, más aún porque no tienen acceso a los acuíferos. Así, por ejemplo, los ríos Mostazal, Rapel, y todos los afluentes al embalse Cogotí, si bien tienen muchos recursos en años húmedos, sufren de una gran variabilidad en su disponibilidad, cuando hay años secos. Hacia aguas abajo en cada río, la situación es cada vez más crítica.

Aguas abajo de los embalses, la situación es diferente. El área considerada para cultivo no alcanza a ser cubierta, sólo una parte de ella. Pero esta área presenta valores mucho más constantes de satisfacción de la demanda. Esto atañe las zonas regadas por los canales Cogotí, Derivado Cogotí, Camarico, el sistema de riego Recoleta, y el río Limarí. Todas estas zonas dependen fuertemente de la tecnificación para poder aumentar el área regada, y aun así tienen un límite, porque el agua que sobra no es mucha.

6.5.7 Tasa de riego

La tasa de riego es la medida del agua total que se aplica a las zonas de riego mediante canales y pozos. Se obtienen, para las zonas de riego, las siguientes tasas de riego promedio, que también se presentan agregadas por áreas, en el Cuadros 6-45.

Cuadro 6-45
Tasa de riego por áreas agregadas

Zona Riego	Area	Qddo Nivel Raíz	Qddo entrada ZR	Qrecibido entrada ZR	Tasa dda Nivel Raíz	Tasa dda entrada ZR	Tasa de riego
	(Ha)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(l/s/ha)	(l/s/ha)	(l/s/ha)
Río Grande sobre Paloma	2379	0,759	1,710	2,776	0,319	0,719	1,167
Río Mostazal	918	0,332	0,837	1,145	0,362	0,912	1,247
Río Rapel	1710	0,572	1,367	1,964	0,335	0,800	1,149
Río Pama	743	0,327	1,099	0,240	0,440	1,479	0,323
Río Combarbalá	1133	0,481	1,416	0,518	0,425	1,250	0,457
Río Cogotí	1286	0,446	0,986	0,900	0,347	0,767	0,700
Canal Cogotí	1899	0,513	0,827	0,477	0,270	0,435	0,251
Río Huatulame	2646	0,783	1,104	1,014	0,296	0,417	0,384
El Palqui	2089	0,572	0,737	0,797	0,274	0,353	0,382
Tamelcura	1592	0,416	0,815	0,268	0,261	0,513	0,168
Hurtado sobre Recoleta	1714	0,597	1,932	2,023	0,349	1,127	1,180
Hurtado bajo Recoleta	1241	0,339	0,663	0,294	0,273	0,535	0,238
Riego Recoleta y Qda Ingenio	8066	1,815	4,084	2,826	0,225	0,506	0,350
Río Limarí	3532	0,862	2,062	1,406	0,244	0,584	0,398
Derivado Cogotí	6153	1,444	3,238	1,729	0,235	0,526	0,281
Camarico	6593	1,610	3,619	1,426	0,244	0,549	0,216
Punitaqui	347	0,084	0,180	0,019	0,242	0,519	0,055
Total	**44040**	**11,952**	**26,677**	**19,823**	**0,271**	**0,606**	**0,450**

Las tasas de riego nuevamente hay que entenderlas sólo como promedios. En el Cuadros 6-45 se observa que las tasas de riego demandadas son bien diversas en la cuenca, variando entre 0,3 y 1,8 l/s/ha, como promedio. Las tasas que se obtienen de la modelación, en muchos sectores no alcanzan a cubrir las demandas, ni siquiera como promedio. Lo anterior significa que en las épocas de estiaje la situación es aún más desfavorable en cuanto a los déficits. En tal situación, en que las aguas no alcanzan para regar las áreas consideradas, se encuentran los sectores de los ríos Pama, Combarbalá, Tamelcura, Hurtado bajo Recoleta, sistema de riego Recoleta, Canales Cogotí, Derivado Cogotí y Camarico y Punitaqui. Los sectores de Huatulame y El Palqui están en una condición límite, en que las aguas que reciben están cerca de cubrir las necesidades a nivel de raíz, de modo que la supresión de todas las ineficiencias, en conjunto con la regulación, permiten el riego de la casi totalidad de estos sectores.

En los demás sectores, en promedio el agua que llega a los sectores alcanza a cubrir las demandas a nivel de zona de riego, pero no lo cubre en las épocas críticas. Puede concluirse que el problema es la falta de regulación, que no alcanza a dar seguridad a toda el área considerada.

6.5.8 Caudales superficiales de retorno

Algunas series de tiempo de los caudales de retorno se presentan en el Capítulo 6.4 En base al conjunto completo de series, es posible observar el porcentaje del agua que retorna en forma superficial desde las zonas de riego hacia los cauces, que se presenta en el Cuadros 6-46.

En el cuadro se puede observar claramente una diferencia de comportamiento de los retornos aguas arriba y aguas abajo de los embalses. Aguas arriba de ellos, son grandes en promedio, llegando a valores de hasta 89% en el río Rapel, porque se capta toda el agua posible, aunque no se use toda. Lo que no se usa, retorna. Aguas abajo, en cambio, se recibe prácticamente sólo el agua que se va a usar, con lo que pierden bastante importancia los retornos. Son de alrededor de un 28% en Palqui, en el sistema Recoleta de 24%, y en los demás sectores son aún más bajos.

De todas formas, las ineficiencias de uso que dan lugar a los retornos, son ineficiencias locales pero no globales, puesto que son aprovechadas más abajo, o retenidas en algunos de los embalses del sistema.

Cuadro 6-46
Importancia de los caudales de retorno a nivel de áreas agregadas

Area de riego	Q total capt+bom+lluvia	Q retorno desde ZR (m3/s)	% Retorno
Río Grande sobre embalse	2,789	1,466	35,9
Río Mostazal	1,150	0,532	32,2
Río Rapel	1,973	1,060	29,6
Río Pama	0,243	0,020	3,1
Río Combarbalá	0,524	0,027	3,2
Río Cogotí	0,908	0,368	18,0
Canal Cogotí	0,480	0,025	16,8
Río Huatulame	1,016	0,515	35,2
El Palqui	0,799	0,174	28,0
Tamelcura	0,268	0,040	8,8
Hurtado sobre Recoleta	2,033	0,896	34,1
Hurtado bajo Recoleta	0,299	0,006	13,7
Riego Recoleta y Qda Ingenio	2,843	0,000	24,3
Río Limarí	1,416	0,000	8,8
Derivado Cogotí	1,740	0,000	11,0
Camarico	1,443	0,000	3,9
Punitaqui	0,019	0,000	0,0
TOTAL	**19,946**	**5,129**	**17,9**

6.5.9 Fuentes de agua por áreas

Basado en los resultados del modelo de simulación, se puede obtener las fuentes de agua de las que se surten principalmente las zonas de riego, que se presentan en el Cuadro 6-47 adjunto.

Se observa que todas las zonas que tienen derechos subterráneos destinados al uso de riego, buscan mejorar su seguridad de riego con pozos, pero la limitante está en la cantidad de derechos constituidos. Las demás zonas, si tuvieran la posibilidad de suplirse con pozos, también lo harían.

6.5.10 Porcentaje de demanda suplida y seguridad de riego

La seguridad de riego se ha definido en base al porcentaje de la demanda suplida, obtenido mes a mes. Se entiende que el riego es seguro, cuando la demanda es suplida al menos en un 90% todos los meses del año, salvo en un mes, en que debe ser suplida al menos en un 80%. Si no se cumplen estas condiciones, el año se considera fallo. El porcentaje de años no fallos de una estadística permite obtener la seguridad de riego.

En el presente caso, se analiza la estadística de un período de 14 años. En el Capítulo 6.4.4 se entregan las series de tiempo del porcentaje de demanda suplida de 14 años para las zonas de riego. De ellas se obtiene que para casi todas las zonas de riego, hay 14 años fallos o una seguridad de riego de 0%. Esto se debe a que las zonas definidas son las máximas posibles de cultivar. En la realidad, el agua no alcanza para regar el máximo, por lo que sólo se cultiva un porcentaje del área definida.

El porcentaje de satisfacción de la demanda es un concepto que se acerca más a la realidad, siendo también bastante optimista, porque representa el promedio de la demanda suplida en el año, incluyendo la estación húmeda en que la demanda suplida es cercana a 100%. El porcentaje de demanda suplida promedio se muestra en el Cuadro 6-47 adjunto.

Se pensó que en algunos sectores, las seguridades de riego pudieran aumentarse haciendo un uso mayor de los acuíferos que tienen aún una capacidad potencial de explotación., y donde su explotación sea sustentable. Esta posibilidad de probó entre los escenarios simulados, y no constituye una solución real. Los únicos acuíferos que se podrían explotar un poco más son los del río Grande bajo el embalse Paloma y del río Limarí.

6.5.11 Eficiencias de riego por áreas

A partir de los datos presentados, se obtienen dos tipos de eficiencia de uso del recurso hídrico:

- de la información por paños ingresada al modelo MAGIC, se obtiene directamente la eficiencia de aplicación del riego, ponderada para cada zona de riego, en función de los métodos de riego aplicados en cada paño. Esta eficiencia, determinada por áreas agregadas, se presenta en el Cuadro 6-47.

- por otro lado, es posible calcular una eficiencia total por zona de riego desde la bocatoma, como el caudal recibido a nivel raíz / caudal extraído en la bocatoma más caudales de bombeo. Esta eficiencia se presenta también, por áreas agregadas, en el Cuadro 6-47.

Al respecto, se observa que las eficiencias de aplicación del riego dentro de la zona de riego, llegan a 83 y 78% en el Huatulame y Palqui, respectivamente, pero en general se ubican entre 30 y 60%, con un valor típico de alrededor de 45%. Como promedio de la cuenca, se obtiene un valor de 49%.

Las eficiencias totales desde la bocatoma reflejan tres cosas:
- la eficiencia de conducción
- la importancia del reúso de derrames y percolaciones dentro de la zona de riego.
- la eficiencia de la regulación, y la medida en que ella es capaz de entregar las aguas en el momento de la demanda

Las eficiencias totales son en general muy bajas, con la excepción de los sectores del Palqui y los sectores regados con el canal Cogotí, donde llegan a más del 50%.

Hay que tener presente que las aguas producto de la falta de eficiencia de riego o de conducción aguas arriba de los embalses, no se pierden, sino que se reutilizan. Así se consideró en el modelo, en que las pérdidas tanto por derrames como por percolaciones que llegan a los ríos, se reutilizan dentro del mismo sector de riego, y los sobrantes, en los sectores de más abajo.

Cuadro 6-47
Fuente de agua, porcentaje de demanda suplida y eficiencias de riego por áreas agregadas

Area de riego	Superficie Ha	Fuente	% DS entrada ZR promedio	Efic aplic. riego (º/1)	Ef total desde BT (º/1)
Río Grande sobre Paloma	2379	canal	91	0.51	0.18
Río Mostazal	918	canal	82	0.39	0.19
Río Rapel	1710	canal/pozo	81	0.44	0.2
Río Pama	743	canal/pozo	25	0.32	0.22
Río Combarbalá	1133	canal/pozo	39	0.34	0.23
Río Cogotí	1286	canal/pozo	64	0.45	0.19
Canal Cogotí	1899	canal/pozo	59	0.64	0.55
Río Huatulame	2646	canal/pozo	69	0.83	0.39
El Palqui	2089	canal/pozo	91	0.78	0.52
Tamelcura	1592	canal/pozo	45	0.54	0.39
Hurtado sobre Recoleta	1714	canal/pozo	82	0.35	0.19

Area de riego	Superficie Ha	Fuente	% DS entrada ZR promedio	Efic aplic. riego (º/1)	Ef total desde BT (º/1)
Hurtado bajo Recoleta	1241	canal	58	0.51	0.41
Riego Recoleta y Qda Ingenio	8066	canal/pozo	73	0.44	0.34
Río Limarí	3532	canal/pozo	75	0.42	0.34
Derivado Cogotí	6153	canal/pozo	64	0.45	0.37
Camarico	6593	canal/pozo	55	0.45	0.44
Punitaqui	347	canal	16	0.47	0.46
Total	**44040**		**63**	**0.49**	**0.35**

6.5.12 Derechos y grado de explotación de los acuíferos

Para analizar el grado de explotación de los acuíferos, se ha hecho el análisis de las recargas disponibles, provenientes de percolaciones de aguas superficiales (canales, cauces y zonas de riego). También se obtienen las recargas netas en función de las recargas disponibles y de los afloramientos. Por último, se muestra la explotación de los acuíferos y los derechos en comparación con su recarga disponible. Todo lo señalado se presenta en los Cuadros 6-48 y 6-49. En el Cuadro 6-48 se agrega como dato el volumen almacenado en cada acuífero.

En el Cuadro 6-49 se agrega además una columna en que se muestra la cantidad de derechos constituidos para riego en cada acuífero. Hay que tener presente que en el modelo se considera que la explotación del acuífero por parte del riego tiene un tope en los derechos constituidos con ese fin.

Lo que se observa en primer lugar es que las percolaciones desde las zonas de riego son pequeñas. Esto se debe a que en el modelo se consideró un importante reúso de las percolaciones antes de que vayan a alimentar los acuíferos. Lo anterior significa que hay una elevada eficiencia de uso del agua a nivel de zona de riego, a pesar de que la eficiencia a nivel de paño no sea tan elevada. Esta suposición se hizo para representar más adecuadamente la realidad observada.

El caudal más importante para recarga proviene de los canales y de los cauces. Desde los canales se puede esperar una percolación de unos 5 m3/s, disponible para recarga, debido a las pérdidas. Desde los cauces, habría una recarga disponible de unos 3 m3/s. Finalmente, desde las zonas de riego, recargarían unos 0,7 m3/s en la forma en que se asumió el comportamiento de las zonas de riego.

Es necesario señalar que ésta es una forma muy conservadora de analizar los acuíferos, de modo de no generar expectativas que superen la realidad.

En el Cuadro 6-49 se pueden observar varias cosas: en primer lugar, se observa que hay sectores donde los acuíferos están siempre llenos, porque siempre reciben más agua de la que pueden contener, por lo que siempre están vertiendo (recargas netas negativas). Estos sectores

son los siguientes: Río Grande medio y bajo, río Rapel, río Ponio, y río Hurtado medio. Los demás sectores son capaces de recibir recargas, desde pequeñas hasta grandes.

En todos los sectores, la explotación de los acuíferos es baja. La explotación para las aguas potables rurales y urbanas es muy reducida, del orden de litros por segundo, y el bombeo para riego está restringido a los derechos constituidos y solicitados, que tampoco son muchos.

Los acuíferos donde hay una capacidad de explotación no despreciable, por la cantidad de derechos constituidos, son los siguientes: Huatulame, El Palqui, Quebrada del Ingenio, Río Limarí, Graneros y Camarico.

Los acuíferos donde en las condiciones modeladas hay un cierto equilibrio entre recargas netas y explotación, son los siguientes: ríos Pama y Combarbalá, un sector del río Hurtado, río Limarí, estero Punitaqui alto y sector de Camarico. La explotación promedio de los acuíferos de Huatulame y Palqui es bastante menor (la mitad y menos) que las recargas disponibles en las condiciones simuladas.

Los únicos acuíferos que se encontrarían en una situación crítica de explotación, de acuerdo con las condiciones modeladas, serían los acuíferos de Graneros y Camarico (terrazas antiguas al sur del Limarí). En estos acuíferos, la explotación se asemeja a la recarga disponible total.

Cuadro 6-48
Volumen, percolaciones y recarga disponible

Ubicación del acuífero	Acuífero	Volumen de almacenam.	Percol. desde canales	Percol. desde ZR	Percol. desde cauces	Recarga disponible total
		(Mm3)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)
Río Grande Alto	AC-01	1,824	0,332	0,029	0,025	0.386
Río Grande Medio	AC-03	13,941	0,301	0,009	0,233	0.543
Río Grande Medio	AC-07	3,673	0,121	0,003	0,070	0.193
Río Grande Medio	AC-09	27,852	0,228	0,005	0,051	0.284
Río Mostazal	AC-02	2,550	0,128	0,027	0,032	0.187
Río Rapel	AC-04	5,012	0,313	0,018	0,232	0.563
Río Rapel	AC-05	2,738	0,188	0,009	0,076	0.272
Río Rapel	AC-06	1,534	0,121	0,008	0,121	0.250
Río Ponio	AC-08	1,679	0,009	0,000	0,013	0.022
Río Pama	AC-10	2,955	0,088	0,009	0,033	0.130
Río Combarbalá	AC-11	0,493	0,213	0,019	0,022	0.254
Río Cogotí	AC-12	4,696	0,385	0,018	0,107	0.511
Río Huatulame Alto	AC-13	2,349	0,045	0,001	0,065	0.111
Río Huatulame Bajo	AC-14	15,058	0,227	0,005	0,121	0.353
Río Huatulame sector Paloma	AC-16	35,489	0,033	0,000	0,038	0.071
El Palqui	AC-15	18,501	0,259	0,050	0,000	0.309

Ubicación del acuífero	Acuífero	Volumen de almacenam.	Percol. desde canales	Percol. desde ZR	Percol. desde cauces	Recarga disponible total
		(Mm3)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)
Río Grande bajo Paloma	AC-17	62,034	0,424	0,018	0,381	0.823
Río Hurtado	AC-18	6,222	0,138	0,082	0,081	0.301
Río Hurtado	AC-19	4,881	0,059	0,038	0,097	0.194
Río Hurtado	AC-20	2,736	0,064	0,036	0,074	0.173
Río Hurtado	AC-21	2,743	0,036	0,018	0,081	0.135
Río Hurtado sector Recoleta	AC-22	3,792	0,000	0,000	0,000	0.000
Río Hurtado bajo Recoleta	AC-23	34,760	0,076	0,014	0,067	0.157
Quebrada del Ingenio	AC-25	37,472	0,327	0,031	0,048	0.406
Río Limarí	AC-24	95,977	0,072	0,032	0,513	0.618
Río Limarí	AC-26	125,906	0,094	0,073	0,627	0.794
Camarico	AC-29	48,094	0,480	0,030	0,000	0.510
La Chimba	AC-30	10,199	0,303	0,000	0,000	0.303
Punitaqui Alto	AC-27	4,763	0,116	0,008	0,008	0.132
Graneros	AC-28	19,914	0,014	0,104	0,014	0.133
Total		**599.838**	**5,194**	**0,696**	**3,230**	**9,119**

Cuadro 6-49
Afloramientos, recarga neta, derechos subterráneos y bombeo desde los acuíferos

Ubicación del acuífero	Acuífero	Recarga disponible total	Afloramiento	Recarga Neta	Derechos totales	Derechos para riego	Bombeo total	Bombeo riego	Bombeo otros usos
		m3/s	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	m3/s	m3/s	m3/s
Río Grande Alto	AC-01	0.386	0.26	0.127	0.02	0	0.002	0.000	0.002
Río Grande Medio	AC-03	0.543	0.568	-0.024	0.034	0	0.005	0.000	0.005
Río Grande Medio	AC-07	0.193	0.228	-0.035	0.008	0	0.001	0.000	0.001
Río Grande Medio	AC-09	0.284	0.425	-0.141	0.027	0	0.011	0.000	0.011
Río Mostazal	AC-02	0.187	0.078	0.109	0.03	0	0.004	0.000	0.004
Río Rapel	AC-04	0.563	0.42	0.143	0.038	0	0.002	0.000	0.002
Río Rapel	AC-05	0.272	0.279	-0.007	0.02	0	0.002	0.000	0.002
Río Rapel	AC-06	0.25	0.305	-0.055	0.041	0.03	0.018	0.017	0.001
Río Ponio	AC-08	0.022	0.076	-0.053	0	0	0.000	0.000	0.000
Río Pama	AC-10	0.13	0.073	0.057	0.051	0.035	0.038	0.034	0.004
Río Combarbalá	AC-11	0.254	0.226	0.028	0.028	0.023	0.026	0.021	0.005
Río Cogotí	AC-12	0.511	0.481	0.029	0.043	0.001	0.007	0.001	0.006
Río Huatulame Alto	AC-13	0.111	0.063	0.048	0.009	0	0.003	0.000	0.003
Río Huatulame Bajo	AC-14	0.353	0.141	0.212	0.148	0.112	0.076	0.064	0.012
Río Huatulame sector Paloma	AC-16	0.071	0.244	-0.173	0.113	0.113	0.044	0.044	0.000
El Palqui	AC-15	0.309	0.098	0.212	0.247	0.161	0.079	0.060	0.019
Río Grande bajo Paloma	AC-17	0.823	0.747	0.076	0.062	0.019	0.024	0.016	0.008
Río Hurtado	AC-18	0.301	0.202	0.099	0.014	0.007	0.005	0.003	0.002
Río Hurtado	AC-19	0.194	0.174	0.02	0.043	0.021	0.020	0.016	0.004
Río Hurtado	AC-20	0.173	0.242	-0.069	0.008	0	0.002	0.000	0.002
Río Hurtado	AC-21	0.135	0.037	0.099	0.006	0	0.001	0.000	0.001
Río Hurtado sector Recoleta	AC-22	0	0.085	-0.085	0	0	0.000	0.000	0.000
Río Hurtado bajo Recoleta	AC-23	0.157	0.113	0.045	0.024	0	0.006	0.000	0.006
Quebrada del Ingenio	AC-25	0.406	0.126	0.28	0.505	0.489	0.229	0.224	0.005
Río Limarí	AC-24	0.618	0.313	0.305	0.17	0.17	0.115	0.115	0.000
Río Limarí	AC-26	0.794	0.507	0.286	0.482	0.45	0.343	0.335	0.008
Camarico	AC-29	0.51	0.028	0.482	0.509	0.464	0.385	0.368	0.017
La Chimba	AC-30	0.303	0.14	0.163	0.091	0.071	0.059	0.054	0.005
Punitaqui Alto	AC-27	0.132	0.082	0.05	0.054	0.044	0.037	0.027	0.010
Graneros	AC-28	0.133	0.012	0.121	0.215	0.16	0.107	0.096	0.011
Total	**Total**	**9.118**	**6.773**	**2.349**	**3.04**	**2.37**	**1.649**	**1.493**	**0.156**

6.5.13 Intensidad de uso de las aguas subterráneas

En esta cuenca, la intensidad de uso del agua subterránea es baja. Tomando en cuenta sólo el uso oficial que permiten los derechos que se consideraron comprometidos, esto es, los derechos constituidos más los solicitados a la fecha del presente estudio, éstos son reducidos, razón por la cual la explotación de los acuífero no alivia la escasez del recurso hídrico superficial.

Para los acuíferos de río, ellos en general están subexplotados, y permanecen siempre llenos. En un escenario posterior se analizan los recursos adicionales que podrían obtenerse del acuífero, en especial sobre los embalses, pero en general esos acuíferos son muy pequeños. Aguas abajo de los embalses, se observa que todo el sistema drena alrededor de 1 m3/s, flujo base que es medido en la estación Limarí en Panamericana, donde todo el recurso sobrante finalmente aflora. Esta agua podría ser extraída del acuífero del lecho del Limarí, con la sola precaución de gestionar adecuadamente las afecciones a los derechos superficiales que pudieran producirse.

No obstante lo anterior, hay algunos acuíferos, específicamente los de las terrazas antiguas al sur del río Limarí, donde la explotación que permiten los derechos es bastante intensiva en relación con la recarga disponible, y los acuíferos están al límite de su capacidad. Es el caso de los acuíferos 28 y 29 (Graneros y Camarico), donde debiera establecerse un límite a la constitución de nuevos derechos.

6.5.14 Acuíferos con posibilidad de incrementar la intensidad de uso

Desde el punto de vista hidrogeológico teórico, todos los acuíferos ligados a los cauces de los ríos podrían ser más explotados que en la situación actual. La recarga rechazada podría ser utilizada en terrenos aguas arriba de los embalses, especialmente para dar mayor seguridad en épocas de sequías. Sin embargo, hay que tener presente que los acuíferos no son grandes en esta cuenca, salvo algunos casos específicos, de modo que una explotación más intensiva de ellos, además de no solucionar el problema de la demanda, tendría efectos inmediatos sobre los recursos superficiales, y sobre los balances de aguas abajo.

Los acuíferos que podrían tener una mayor capacidad de explotación son los acuíferos grandes, que son los de los ríos Grande bajo embalse Paloma y Limarí. El acuífero del río Huatulame está siendo objeto de una interesante gestión integrada, en que los derechos superficiales se están comenzando a captar desde el acuífero, debido a que las aguas del río se infiltran.

En el Capítulo 8 se plantea el análisis de un escenario en que se permite un uso más intensivo de los acuíferos, se observan las consecuencias de este proceder, y se hacen las proposiciones correspondientes.

6.5.15 Estimación de m3 entregados en bocatoma, por acción y por hectárea

En el Cuadro 6-50 a continuación, se presenta, por áreas agregadas, la dotación de m3/acción/año con que cuentan en promedio las acciones de cada sector. También se presenta la dotación de m3/acción/año para un año seco y para un año húmedo.

En el Cuadro 6-51 se muestra la dotación de m3/ha/año, igualmente para el promedio del período, para un año húmedo y para un año seco.

En la Figura 6-33 adjunta se grafica ambas dotaciones para el promedio del período, año húmedo y año seco.

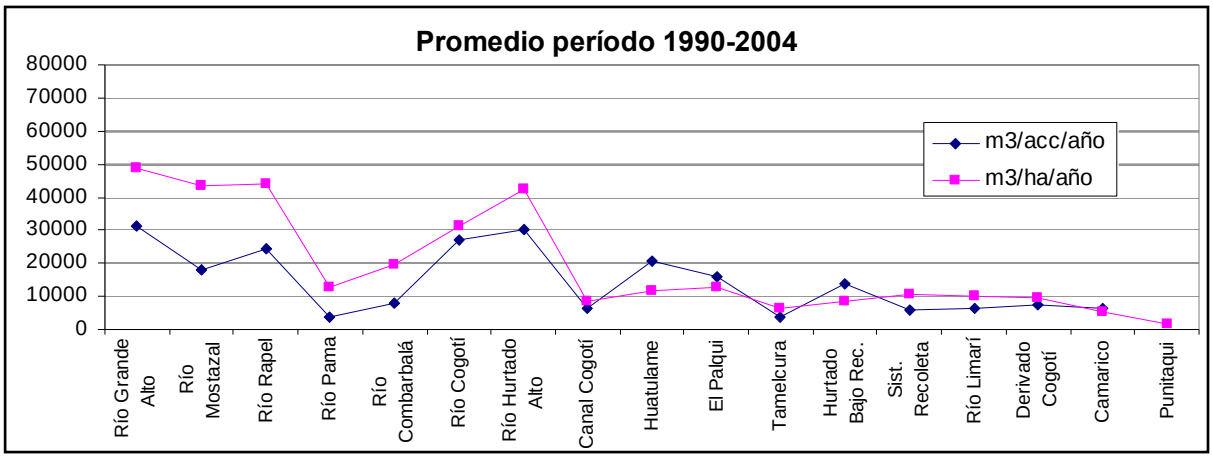
Cuadro 6-50
Dotacíón de m3 por acción, presentado por áreas agregadas

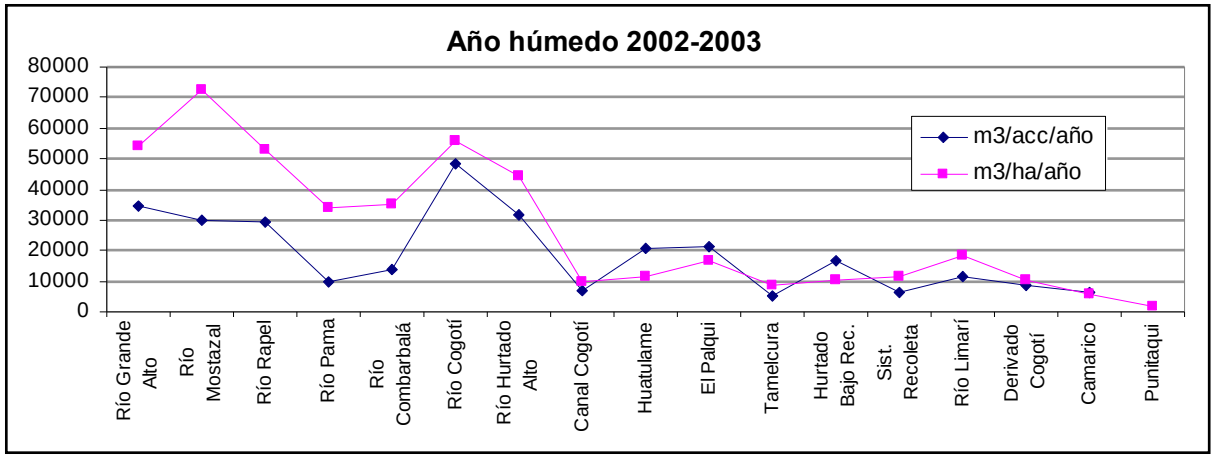
			Promedio			Año húmedo abr.2002-mar.2003			Año seco abr.1996-mar.1997		
Zona de riego	**Acciones**	**Acciones / ha**	**Q canales en BT**	**Q en BT / acc**	**Vol. anual / acc**	**Q canales en BT**	**Q en BT / acc**	**Vol. anual / acc**	**Q canales en BT**	**Q en BT / acc**	**Vol. anual / acc**
			m3/s	**l/s/acc**	**m3/acc /año**	**m3/s**	**l/s/acc**	**m3/acc /año**	**m3/s**	**l/s/acc**	**m3/acc /año**
Río Grande Alto	3693	1.55	3.687	0.998	31485	4.071	1.102	34764	2.705	0.732	23099
Río Mostazal	2234	2.43	1.269	0.568	17914	2.110	0.944	29786	0.353	0.158	4983
Río Rapel	3120	1.82	2.397	0.768	24228	2.882	0.924	29130	1.416	0.454	14312
Río Pama	2511	3.38	0.294	0.117	3692	0.794	0.316	9972	0.105	0.042	1319
Río Combarbalá	2856	2.52	0.710	0.249	7840	1.251	0.438	13814	0.484	0.169	5344
Río Cogotí	1487	1.16	1.285	0.864	27252	2.276	1.531	48269	0.779	0.524	16521
Canal Cogotí	2619	1.38	0.515	0.197	6201	0.586	0.224	7056	0.137	0.052	1650
Huatulame	1490	0.56	0.980	0.658	20742	0.980	0.658	20742	0.290	0.195	6138
El Palqui	1639	0.78	0.836	0.510	16085	1.111	0.678	21377	0.242	0.148	4656
Tamelcura	2604	1.64	0.315	0.121	3815	0.429	0.165	5195	0.193	0.074	2337
Río Hurtado Alto	2401	1.40	2.302	0.959	30236	2.401	1.000	31536	1.866	0.777	24509
Hurtado Bajo Rec.	747	0.60	0.328	0.439	13847	0.402	0.538	16971	0.139	0.186	5868
Sist. Recoleta	14252	1.77	2.688	0.189	5948	2.938	0.206	6501	1.179	0.083	2609
Río Limarí	5778	1.64	1.147	0.199	6260	2.058	0.356	11232	0.896	0.155	4890
Derivado Cogotí	7500	1.22	1.814	0.242	7628	2.060	0.275	8662	1.082	0.144	4550
Camarico	5501	0.83	1.128	0.205	6467	1.147	0.209	6575	0.763	0.139	4374
Punitaqui	s/i	s/i	0.019			0.019			0.018		
Total	**60432**	**1.37**	**21.714**	**0.359**	**11331**	**29904**	**0.495**	**15605**	**12.647**	**0.209**	**6600**

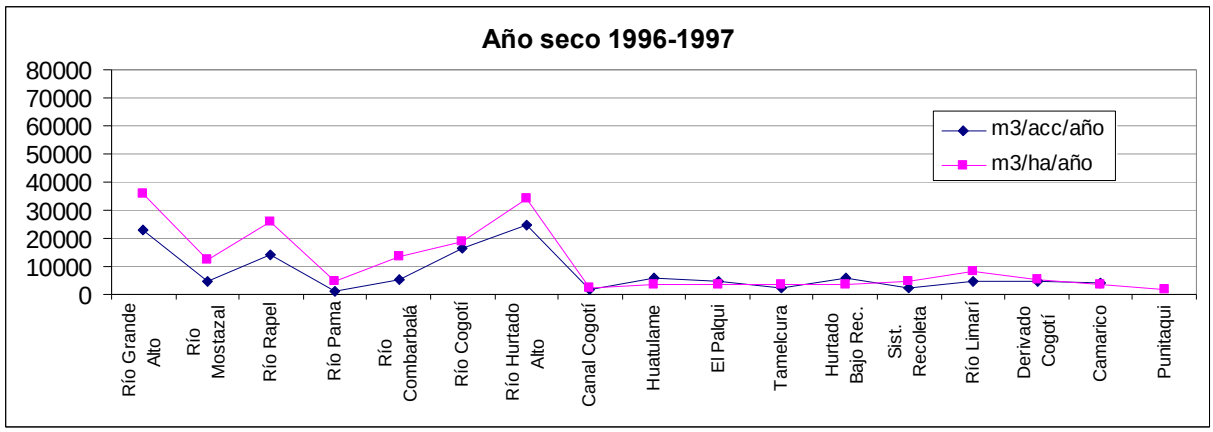
Cuadro 6-51
Dotación de m3 por hectárea, presentado por áreas agregadas

Zona de riego		Promedio			Año húmedo abr.2002-mar2003			Año seco abr.1996-mar1997		
		Q canales en BT	Q en BT / ha	Vol. anual / ha	Q canales en BT	Q en BT / ha	Vol. anual / ha	Q canales en BT	Q en BT / ha	Vol. anual / ha
	Acc/ ha	m3/s	l/s/ha	m3/ha/ año	m3/s	l/s/ha	m3/ha/ año	m3/s	l/s/ha	m3/ha /año
Río Grande Alto	1.55	3.687	1.550	48871	4.071	1.711	53961	2.705	1.137	35854
Río Mostazal	2.43	1.269	1.383	43600	2.110	2.299	72494	0.353	0.385	12128
Río Rapel	1.82	2.397	1.401	44195	2.882	1.685	53138	1.416	0.828	26108
Río Pama	3.38	0.294	0.396	12476	0.794	1.068	33692	0.105	0.141	4456
Río Combarbalá	2.52	0.710	0.627	19771	1.251	1.105	34835	0.484	0.427	13477
RíomCogotí	1.16	1.285	0.999	31509	2.276	1.770	55809	0.779	0.606	19101
Canal Cogotí	1.38	0.515	0.271	8554	0.586	0.309	9734	0.137	0.072	2276
Huatulame	0.56	0.980	0.370	11682	0.980	0.370	11682	0.290	0.110	3457
El Palqui	0.78	0.836	0.400	12620	1.111	0.532	16772	0.242	0.116	3653
Tamelcura	1.64	0.315	0.198	6239	0.429	0.269	8497	0.193	0.121	3823
Río Hurtado Alto	1.40	2.302	1.343	42360	2.401	1.401	44182	1.866	1.089	34337
Hurtado Bajo Rec.	0.60	0.328	0.264	8338	0.402	0.324	10219	0.139	0.112	3533
Sist. Recoleta	1.77	2.688	0.333	10509	2.938	0.364	11486	1.179	0.146	4609
Río Limarí	1.64	1.147	0.325	10241	2.058	0.583	18374	0.896	0.254	8000
Derivado Cogotí	1.22	1.814	0.295	9298	2.060	0.335	10559	1.082	0.176	5546
Camarico	0.83	1.128	0.171	5396	1.147	0.174	5487	0.763	0.116	3650
Punitaqui	0.00	0.019	0.055	1727	0.019	0.055	1727	0.018	0.052	1636
Total	**1.37**	**21.714**	**0.493**	**15549**	**29.904**	**0.679**	**21413**	**12.647**	**0.287**	**9056**

Figura 6-33
Dotaciones de m3/acción/año y m3/ha/año, por áreas agregadas







En estos gráficos se aprecian varias cosas. En primer lugar, se observa que las zonas altas, sobre embalse, reciben una mayor cantidad de agua por acción que las zonas bajas. Además, tienen una mayor cantidad de acciones por ha, por lo que finalmente reciben significativamente más aguas por ha que las zonas bajas. Esto, como se ha visto antes, no significa que esas aguas se consumen, sólo significa que se captan. Hay que recordar que los retornos de las zonas altas son significativos, y que justamente esta ineficiencia es la fuente que alimenta, en parte, los embalses que entregan el agua hacia las zonas bajas.

Por otro lado, se observa en estos gráficos, que las zonas bajo embalse tienen dotaciones más parecidas de m3 por hectárea que de m3 por acción, tanto en promedio como en sequía. Esto muestra que las hectáreas están dotadas por cantidades similares de agua en todas las zonas, aunque no de acciones. La acción es, por lo tanto, una medida de paso, para llegar a una dotación de agua por ha.

Tanto aguas arriba como aguas abajo de los embalses, las acciones de las diferentes asociaciones tienen diferentes dotaciones nominales de agua. Las acciones simplemente son partes alícuotas en que se dividen las aguas para el manejo de porciones discretas. Así, en cada sistema, las acciones tienen valores diferentes en cuanto a dotación de agua, lo que no significa

que haya distorsión, sino que responde a una forma de organización. Lo anterior significa que el regante debe saber qué cantidad de agua le otorga cada acción, en los diferentes sistemas.

Recién se podría hablar de una distorsión al observar la cantidad de agua que reciben por hectárea las zonas regadas, dada su cantidad de acciones. En este sentido, se puede observar que los m3/ha que reciben las zonas altas, es mayor que en las zonas bajas, y muy dispareja, dependiendo de los caudales que trae cada río en relación con sus áreas cultivadas.

Sin embargo, para las zonas bajas, que dependen de los embalses, aunque se mantiene cierta distorsión en la dotación de agua que reciben las acciones, al final, observando el agua que recibe cada hectárea, es bastante más pareja, dentro de un rango de entre 6000 y 11000 m3/ha/año como promedio. En sequías, la dotación por ha se reduce, a valores entre 3600 y 8000 m3/ha/año. La excepción la constituyen los sectores regados por el canal Camarico, y los sectores del estero Punitaqui, que están muy desfavorecidos en relación con las demás áreas.

La diferencia de dotación de agua por hectárea resultante, de acuerdo con la información recabada en la JVRL, se debe a la forma histórica en que estaba asignada el agua, antes de la existencia del embalse Paloma. Se consideraba, en ese momento, no sólo las hectáreas cultivadas, sino que también las características de los cultivos: los tipos de cultivo y los métodos de riego. De este modo, esta distorsión está explicada y asumida en la cuenca.

De todas formas, el consumo de agua depende de las áreas que se cultivan, y no de las aguas que se captan. El hecho de que los sistemas de río tengan dotaciones de agua mayores por hectárea, muestra que hay un potencial de expansión que ellos podrían aprovechar. Sólo en ese caso, al hacer un uso más intensivo de sus aguas, habría una afección hacia aguas abajo.

Localmente hay distorsiones en la distribución de los derechos, porque no se respetan las acciones, pero este tema es muy menor, y en general se observa que los celadores mantienen un buen control sobre las aguas a nivel de río, por medio de compuertas que se manejan con llave.

6.5.16 Áreas con baja eficiencia de uso

Respecto de este tema, hay dos aspectos que deben tenerse en cuenta: la eficiencia local de uso, que en gran medida es una función de los métodos de riego, y la eficiencia global de uso de las acciones o los derechos disponibles, al nivel de la cuenca.

En la cuenca del Limarí se dan todas las situaciones de eficiencias locales de riego. Coexisten métodos y zonas de alta tecnificación, con métodos y zonas que siguen siendo regadas por surco, incluso por tendido, como las praderas.

No obstante ello, y observando lo mismo que se observa en las cuencas de Elqui y Choapa, las ineficiencias locales no generan pérdidas, sino que permiten que los recursos derramados o percolados puedan seguir siendo utilizados aguas abajo. En esta cuenca, la eficiencia global de

uso está garantizada a través de los tres embalses, que recogen todas las ineficiencias físicas de agua que se producen aguas arriba, para dotar los derechos de aguas abajo.

Cuantitativamente, se puede decir que los mayores porcentajes de retorno, denotando ineficiencias locales, se dan en las cabeceras de los ríos afluentes, y en las zonas de riego ubicadas sobre los embalses, coherentemente con una dotación de acciones que en promedio supera las demandas (río Grande y afluentes. No es el caso de los ríos Pama, Combarbalá y Cogotí). Pero en todos los demás sectores, los retornos son muy pequeños, debido a los reúsos internos en los sistemas de río, y debido a las bajas pérdidas en los sectores aguas abajo de los embalses.

6.5.17 Conveniencia de relocalizar derechos y flexibilizar los sistemas de distribución

De acuerdo con el análisis realizado y los antecedentes recabados, esta cuenca es un ejemplo de flexibilidad en lo referente a la movilidad de los derechos de agua, en especial bajo los embalses. El límite para tal movilidad lo constituyen algunas consideraciones prácticas de capacidad de los canales, o los caudales mínimos eficientes de ser transportados. Por ejemplo, el hecho de que las aguas, al buscar su asignación a producciones más rentables, dejan en precarias condiciones de conducción los canales abandonados, perjudica a los usuarios de esos sectores. Este fue el caso del sistema de riego del embalse Recoleta, que hace dos años volvió a rigidizar sus derechos, no permitiendo su uso ni traslado fuera del sistema.

El resto del valle bajo embalses tiene gran movilidad y flexibilidad, lo que favorece las áreas con climas para cultivos de gran valor, como Huatulame y El Palqui. El sistema de asignación de volúmenes anuales a través de cuentas corrientes, además de pionero, es eficiente y apto para la relocalización de los derechos. .

Pero no sólo bajo los embalses hay movilidad, sino que también hay alguna movilidad sobre ellos. Aunque los traslados son más informales, especialmente los temporales, también hay traslados formales cuando hay ventas de derechos. Los traslados permanentes operan sobre derechos, y a veces implican hacer obras de adecuación de canales. Los traslados temporales también existen en los sistemas de los ríos, operan sobre derechos y no sobre volúmenes en estos casos, son más informales, y pueden ser permitidos o prohibidos por las juntas de vigilancia, según las condiciones de conducción.

6.5.18 Existencia de derechos sin uso efectivo

No hay derechos sin uso en la cuenca. Todos los derechos, superficiales y subterráneos, son usados, algunos más intensivamente que otros. La repartición de acciones, aguas abajo de los embalses, está concebida en función de las áreas que se han considerado desarrollables con el riego, según se puede observar en el Cuadro 6-50 antecedente, y en general se dotan en forma muy ajustada.

Aguas arriba de los embalses, se observa que hay mayor dotación de acciones por hectárea que aguas abajo de ellos. Pero, según se ha señalado antes, las acciones tienen significados diferentes, de modo que estos valores no son comparables. Sin embargo es claro que en las cabeceras, las zonas de riego pueden hacer uso efectivo de la totalidad de sus derechos, mientras que hacia aguas abajo los derechos van siendo cada vez más precarios.

Dado lo que se observa en la cuenca, que las aguas superficiales no alcanzan a cubrir las demandas de las zonas cultivables, el uso de los pocos derechos subterráneos es intensivo. Sin embargo, como son muy pocos derechos, no alcanzan a comprometer los acuíferos, salvo en las terrazas señaladas.

Lo expuesto muestra que no hay derechos sin uso en la cuenca.

6.5.19 Disponibilidad física para nuevos derechos y déficit de disponibilidad legal

No hay disponibilidad para nuevos derechos superficiales. Acerca de los derechos subterráneos, se puede decir que, como resultado de la gvestión del recurso hídrico en todo el valle, se pierde 1 m3/s de agua al mar durante los períodos de estiaje. No obstante este hecho, los acuíferos son en general pequeños, con excepción del río Limarí, y está bastante claro que no puedan ser explotados en forma intensiva. Las potencialidades de los acuíferos se analizan y discuten en el Capítulo 8.

6.5.20 Indicador de probabilidad del consumo

Una forma de medir la eficiencia de uso en la cuenca es la de analizar la probabilidad de excedencia del caudal que se consume en ella. El total de caudales generados en promedio en la cuenca del Limarí, durante el período 90-2004, ha sido de 24,3 m3/s, caudal que tiene una probabilidad de excedencia de alrededor de 42%. Otros caudales tienen las probabilidades que se muestran en el Cuadro 6-52.

Cuadro 6-52
Probabilidad de la oferta

Oferta hídrica m3/s	Probabilidad de excedencia
76.859	0.07
45.930	0.13
32.313	0.20
29.325	0.27
28.281	0.33
25.556	0.40
19.841	0.47
16.289	0.53

14.867	0.60
13.007	0.67
12.644	0.73
12.041	0.80
7.802	0.87
5.140	0.93

El caudal medio anual utilizado consuntivamente en la cuenca, y también la identificación de las pérdidas que genera ese uso consuntivo, se muestran en el Cuadro 6-53.

Cuadro 6-53
Caudales demandados consuntivamente

Tipo de demanda	Caudal m3/s	Volumen mill m3	Prob.Exced.
Demanda cons. Agrícola suplida	6.518	205,551,648	
Demanda cons. Minera	0.020	630,720	
Demanda cons. Ind.	0.040	1,261,440	
Demanda cons. APU	0.050	1,576,800	
Demanda consuntiva APR	0.086	2,712,096	
Evapotranspiración natural	1.380	43,519,680	
Total demanda	**8.094**	**255,252,384**	**86%**
Evaporación de embalses	1.510	47,619,360	
Salidas tramo río	2.315	73,005,840	
Total pérdidas	**3.825**	**120,625,200**	
Uso consuntivo total	**11.919**	**375,877,584**	**80%**

El caudal de 8,1 m3/s utilizado consuntivamente tiene una probabilidad de excedencia de unos 86%, es decir, es un caudal pequeño. Sin embargo, para contar con ese caudal hay que sumar pérdidas por 3,8 m3 más, lo que totaliza un caudal de 11,9 m3/s. Este caudal tiene una probabilidad de excedencia de 80%.

Lo señalado muestra dos cosas: en primer lugar, el caudal que realmente se llega a usar de lo que genera la cuenca, es el caudal 86%, que es un caudal relativamente pequeño. En segundo lugar, se observa que ese caudal es usado con una eficiencia bastante alta, debido a que el caudal de que hay que disponer para consumir el caudal 86% es el caudal 80%. Esto se debe al sistema de embalses, el cual permite hacer un uso efectivo de gran parte del caudal captado, debido a las entregas programadas y ajustadas a las demandas.

6.5.21 Indicador de eficiencia global

Del Cuadro 5-53 se puede obtener un factor que podría llamarse de eficiencia global, que relaciona el caudal consumido con el caudal total requerido usado para suplir dicha demanda consuntiva. En este caso, el factor resulta de 67%, de acuerdo con los valores del Cuadro 6-54. La ineficiencia de uso del 33% se debe a las salidas al mar no evitadas desde el río Limarí.

Cuadro 6-54
Eficiencia global

Total demandado para consumir	8.094 m3/s
Total usado	11.919 m3/s
Eficiencia neta	**68%**
Porcentaje no aprovechado	**32%**

Del caudal perdido hay un porcentaje que se podría utilizar transformándolo en demanda consuntiva, el cual se trata de retener en los escenarios que se plantean en el Capítulo 8.

6.5.22 Indicador de reúso global promedio y total

Se puede definir un indicador de reúso global promedio dividiendo el caudal total que ha sido captado para todos los usos, por el caudal total usado (consumido más perdido). Los datos del Cuadro 6-55 muestran que para consumir 12.038 m3/s se captan 25,07 m3/s, lo que indica un factor de reúso de 2,1.

Cuadro 6-55
Factor de reúso global promedio

Tipo de demanda	**Caudal m3/s**	**Q Captado**	**Caudal m3/s**
Demanda cons. Agrícola suplida	6.518	Caudal capt agr	23.207
Demanda cons. Minera	0.020	Caudal capt min	0.040
Demanda cons. Ind.	0.040	Caudal capt ind	0.040
Demanda cons. APU	0.050	Caudal capt APU	0.220
Demanda consuntiva APR	0.086	Caudal capt APR	0.185
Evapotranspiración natural	1.380	Evapotr. Nat	1.380
Total demanda	**8.094**		**25.072**
Total pérdidas	**3.825**		
Uso consuntivo total	**11.919**		
Factor de reúso global año promedio			**2,1**

Si se considera que internamente en el modelo se ha asumido que hay un reúso de derrames y percolaciones de 1,8 veces, en esta cuenca se obtiene un factor de reúso total de 3,8.

6.5.23 Indicador de reúso global en sequía

Este indicador es un factor similar al anterior, pero obtenido para una situación extrema de sequía, como la del año 1996/97. Se observa que para esta cuenca no varía este factor. Esto se debe a que las entregas son ajustadas a las demandas, tanto en una situación de año normal como de sequía.

Cuadro 6-56
Factor de reúso global sequía

Tipo de demanda	Caudal m3/s	Q Captado	Caudal m3/s
Demanda cons. Agrícola suplida	4.257	Q captado riego	14.404
Demanda cons. Minera	0.020	Q captado min	0.040
Demanda cons. Ind.	0.040	Q captado ind	0.040
Demanda cons. APU	0.050	Q captado APU	0.220
Demanda consuntiva APR	0.086	Q captado APR	0.185
Evapotranspiración natural	1.380	Evap. Nat	1.380
Total demanda	**5.833**		**16.269**
Total pérdidas	**1.754**		
Uso consuntivo total	**7.587**		
Factor reúso sequía			**2.1**

El reúso total en sequía resultaría igualmente de 3,8.

6.5.24 Indicador de eficiencia global en sequía

De los datos del Cuadro 6-56 se obtiene directamente un factor de eficiencia global en sequía, de 77%, es decir, de toda el agua consumida y perdida, el 77% fue consumido. Esto muestra que en sequía hay una eficiencia global de uso muy alta, aunque en esta cuenca, un 68% de eficiencia de uso del agua es muy alta ya en la situación normal.

6.6 DIAGNÓSTICO EFICIENCIA FÍSICA A NIVEL GLOBAL: OTROS USOS

El diagnóstico que se presenta a continuación, abarca los usos de agua no agrícolas: agua potable, minería e industria. Para el uso no agrícola, el diagnóstico se basa en los datos que se han podido obtener para caracterizar cada uno de los usos.

El uso de agua potable se ha caracterizado atendiendo dos sistemas: el agua potable urbana y el agua potable rural.

6.6.1 Agua potable urbana

El agua potable urbana en toda la IVª Región está a cargo de la Empresa Aguas del Valle. Dentro de la cuenca del Limarí abastece las localidades de Ovalle, Combarbalá, Monte Patria, Punitaqui, Chañaral Alto, Sotaquí, Huamalata y El Palqui

Ovalle tiene una captación por drenes en el sector de Los Peñones. El Dren Antiguo tiene derechos subterráneos (que no constan en los registros del CIRH de la DGA), el Dren Nuevo con derechos superficiales del Limarí. Desde ambos se sacan 220 l/s. Las aguas servidas de Ovalle son tratadas en una laguna de estabilización y posteriormente vertidas al río, a razón de 86 l/s.

Combarbalá tiene una captación superficial desde el río, tiene acciones y pertenece a la Junta de Vigilancia. Trata el agua a través de una planta de decantación y posterior cloración. Las aguas servidas son tratadas en una planta de lagunas aireadas.

Chañaral Alto se surte de una noria tipo dren, y tiene una planta de aguas servidas del tipo lodos activados.

Monte Patria, El Palqui y Sotaquí se abastecen con pozos. Punitaqui tiene pozo y noria.

Todas las localidades tienen planta de tratamiento. Las normas son más estrictas ahora, las plantas de lodos activados cumplen con la normativa, no así las lagunas aireadas, que deberán hacerlo en Septiembre 2006.

Las características cuantitativas del uso de agua potable urbana, son las que se presentan en los Cuadros 6-57 y 6-58 a continuación.

Cuadro 6-57
Caudal operativo y derechos por fuente

Localidad abastecida	Fuente	Caudal Operativo l/s	Ubicación Fuente	Observa-ciones	Derechos registrados CIRH y SISS l/s y acc
Chañaral Alto	Dren	31.0	Chañaral Alto	en uso	6.5
Chañaral Alto	Captación superficial	18.1	Chañaral Alto	reserva	18,11 acc.
Combarbalá	Captación superficial	40.0	Combarbalá	en uso	100 acc.
Combarbalá	3 pozos	?	Combarbalá	?	4.9
El Palqui	Pozo	15.0	El Palqui	fuera de uso	15
El Palqui	Pozo	6.0	El Palqui	fuera de uso	6
El Palqui	Pozo	10.0	El Palqui	en uso	25
Huamalata	Dren	40.0	Huamalata	en uso	10
Huamalata	Pozo	4.0	Huamalata	fuera de uso	4.5
Montepatria	Pozo	15.0	Montepatria	en uso	
Montepatria	Pozo	15.0	Montepatria	en suo	27
Ovalle	Dren nuevo	200.0	Los Peñones	en uso	300 acc.ev.
Ovalle	Dren antiguo	300.0	Los Peñones	en uso	300
Ovalle	canales	?	Río Limarí	uso eventual	308.87
Punitaqui	Dren	18.0	Punitaqui	en uso	43.6
Punitaqui	Noria	7.0	Punitaqui	uso futuro	
Punitaqui	Noria	5.5	Punitaqui	uso futuro	5.0
Punitaqui	Pozo	1.5	Punitaqui	uso futuro	
Punitaqui	Pozo	1.5	Punitaqui	uso futuro	
Sotaquí	Pozo	6.0	Sotaquí	en uso	8.2
Sotaquí	Pozo	6.0	Sotaquí	en uso	6.0
Sotaquí	Pozo	5.5	Sotaquí	en uso	5.0
Sotaquí	Pozo	0.0	Sotaquí	fuera de uso	5.5

Cuadro 6-58
Porcentaje de uso efectivo de los derechos

Localidad	Producción Promedio 2000-2003	Caudal prom. (l/s)	Derechos (l/s)	% de uso de los derechos	% Pérdida	Pobl. Abast. (hab)	Fuente
Ovalle	5342694	169	300 l/s, 308 acc.perm y 300 acc.ev.	43,0	36	74109	NO-1203
Combarbalá	370755	12	4,9 l/s y 100 acc.	33,0	20	7368	NO-0801 y AC-11
Monte Patria	359764	11	27,0	41,0	20	5838	AC-09
Punitaqui	237826	8	48,6	16,0	30	5821	AC-27
Chañaral Alto	212460	7	6,5 l/s y 18 acc.	74,5	27	3255	AC-14
Sotaquí	115666	4	24,7	16,2	17	2485	AC-17
Huamalata	51905	2	14,5	13,8	19	963	AC-23
El Palqui	278471	9	46,0	19,6	24	4680	AC-15
Total		**222**					
Las acciones de los canales aguas abajo de los embalses valen aprox. 5000 m3/año, o sea, 0,16 l/s.							
Las acciones de río se asumieron a 10.000 m3/año, o sea, 0,32 l/s							

Se observa una preocupación por parte de la empresa, de incorporar nuevos derechos frente al crecimiento de las localidades. En general, el porcentaje de uso de los derechos se mantiene bajo 43%, con la sola excepción de Chañaral Alto, donde es de 74%.

Por otro lado, el porcentaje de pérdidas de las empresas sólo es posible obtenerlo como pérdidas de facturación, que incluyen pérdidas físicas, ineficiencias y robos. No es posible estimar por separado las pérdidas físicas. Las pérdidas totales varían entre 17 y 36%, rango muy amplio, pero representativo dentro del cual se mueven las pérdidas de las aguas potables urbanas en Chile.

6.6.2 Agua potable rural

Las aguas potables rurales de la cuenca del Limarí, todas se abastecen desde pozos o norias, vale decir, con aguas subterráneas, salvo las siguientes excepciones: Ramadillas y La Capilla, de la comuna de Combarbalá, Sonora-Los Acacios, Población Yaconi y Los Leices, en la comuna de Ovalle, se abastecen de una aducción por la cual les llega el agua que compran directamente a Aguas del Valle. El Maitén, en la comuna de Monte Patria, se abastece de una vertiente.

No obstante lo anterior, las APR que se ubican en acuíferos muy pequeños no considerados en el modelo, se modelaron captando sus caudales desde nodos, como se muestra en el Cuadro 6-60.

La situación de derechos en general no está definida, 95% de los derechos de este uso en general no existen, o están en trámite. Son pocos los comités que tienen su situación de derechos al día. En el cuadro 6-61 se muestra la situación de todos los comités de la cuenca del Limarí.

Por lo señalado, no se puede obtener un porcentaje de uso de los derechos. Lo que sí se puede hacer es obtener una dotación efectiva en base a la producción anual y al número de beneficiarios. Esta dotación efectiva se presenta en la última columna del Cuadro 6-61, y llama la atención que siempre sea muy inferior a los 140 l/s nominales con los que se diseña los sistemas de agua potable rural. Un factor de importancia no menor es el precio de este servicio, que es caro.

El valor que finalmente se usa para la modelación, es el valor agregado del uso proyectado según dotación de 140 l/hab/día, que resulta por acuífero, el cual se ingresa como caudal de bombeo con factor de uso igual a uno en el modelo. Los caudales modelados se presentan en los Cuadros 6-59 y 6-60.

Cuadro 6-59
Pozos modelados para APR

Código pozo	Código Acuífero	Capacidad bombeo m3/s	Uso efectivo m3/s
PO-001	AC-01	0.020	0.002
PO-002	AC-02	0.030	0.004
PO-003	AC-03	0.034	0.005
PO-004	AC-04	0.038	0.002
PO-005	AC-05	0.020	0.002
PO-007	AC-06	0.011	0.001
PO-008	AC-07	0.008	0.001
PO-015	AC-12	0.042	0.006
PO-016	AC-13	0.009	0.003
PO-028	AC-18	0.007	0.002
PO-030	AC-19	0.022	0.004
PO-031	AC-20	0.008	0.002
PO-032	AC-21	0.006	0.001
PO-038	AC-25	0.016	0.005
PO-040	AC-26	0.032	0.008
PO-045	AC-28	0.010	0.000
PO-047	AC-29	0.013	0.009
Total		**0.326**	**0.075**

Cuadro 6-60
Captaciones puntuales modeladas para APR

Código Capt. Puntual	Nodo	Capacidad, [m3/s]	Uso efectivo
CP-01	NO-1102	0.012	0.002
CP-02	NO-1403	0.020	0.001
CP-03	NO-1404	0.003	0.001
CP-04	NO-0301	0.001	0.000
CP-05	NO-0801	0.004	0.000
CP-06	NO-1101	0.010	0.001
CP-07	NO-0101	0.006	0.001
CP-08	NO-0801	0.001	0.001
CP-09	NO-0103	0.020	0.004
CP-10	NO-0701	0.012	0.001
TOTAL		**0.089**	**0.011**

Cuadro 6-61
Situación de las APR cuenca Limarí

COMITÉ DE AGUA POTABLE RURAL DE:	COMUNA:	PROVINCIA:	LOCALIDADES QUE COMPONEN COMITÉ:	AÑO INICIO	Nº ARRANQUES:	Nº BENEFICIARIOS:	FUENTE	CONSUMO TOTAL 2003 (m3/año)	Q consumo real (l/s)	Dotación media resultante (l/hab/día)
LA LIGUA DE COGOTI	COMBARBALA	LIMARI	LA LIGUA DE COGOTI	S/I	268	1099	SONDAJE	22822	0,724	56,894
HUATULAME	MONTEPATRIA	LIMARI	SIN LOCALIDAD SE ASIGNO HUATULAME	1975	423	1734	NORIA	41192	1,306	65,084
SONORA LOS ACACIOS	OVALLE	LIMARI	SIN LOCALIDAD SE ASIGNO SONORA LOS ACACIOS	2002	41	168	ADUCCION	3751	0,119	61,171
LIMARI	OVALLE	LIMARI	LIMARI, LAS VEGAS DE LIMARI Y LOS LLANOS DE LIMARI.	1982	459	1	SONDAJE	58328	1,850	
CHALINGA	OVALLE	LIMARI	EL ESPINAL	1983	176	722	SONDAJE	14517	0,460	55,087
BARRAZA	OVALLE	LIMARI	BARRAZA, BARRAZA BAJO, SALALA Y ORURO	1978	430	1763	SONDAJE	31745	1,007	49,332
POBLACION YACONI	OVALLE	LIMARI	POBLACIÓN YACONI, LOS LEICES	1998	120	492	COMPRA A AGV	14671	0,465	81,696
NUEVA AURORA	OVALLE	LIMARI	NUEVA AURORA	1994	150	607	SONDAJE	26956	0,855	121,667
RECOLETA	OVALLE	LIMARI	ESTACION RECOLETA	1972	165	677	SONDAJE	24169	0,766	97,809
LA HIGUERA DE PUNITAQUI	PUNITAQUI	LIMARI	LA HIGUERA DE PUNITAQUI	1999	186	765	NORIA	8699	0,276	31,154
COGOTÍ 18	COMBARBALA	LIMARÍ	COGOTÍ 18 - TINAJA - CUADRA - CALLEJONES - LLANOS	1990	398	1592	NORIA	45037	1,428	77,506

COMITÉ DE AGUA POTABLE RURAL DE:	COMUNA:	PROVINCIA:	LOCALIDADES QUE COMPONEN COMITÉ:	AÑO INICIO	Nº ARRANQUES:	Nº BENEFICIARIOS:	FUENTE	CONSUMO TOTAL 2003 (m3/año)	Q consumo real (l/s)	Dotación media resultante (l/hab/día)
LA ISLA	COMBARBALA	LIMARÍ	LA ISLA	1990	128	512	NORIA	6087	0,193	32,572
LAS BARRANCAS	COMBARBALA	LIMARÍ	LAS BARRANCAS - EL CHINEO	1994	165	660	SONDAJE	20890	0,662	86,716
LA CAPILLA	COMBARBALA	LIMARÍ	LA CAPILLA	1992	30	120	ADUCCIÓN	1670	0,053	38,128
MANQUEHUA	COMBARBALA	LIMARÍ	MANQUEHUA	1994	94	376	NORIA	7511	0,238	54,729
SAN MARCOS	COMBARBALA	LIMARÍ	SAN MARCOS	SIN AÑO	297	1188	NORIA	S/I		
EL HUACHO	COMBARBALA	LIMARÍ	EL HUACHO	1992	113	452	NORIA	7689	0,244	46,606
EL SAUCE	COMBARBALA	LIMARÍ	EL SAUCE	1988	86	344	NORIA	5778	0,183	46,018
QUILITAPIA	COMBARBALA	LIMARÍ	QUILITAPIA	1984	286	1144	NORIA	22591	0,716	54,102
SORUCO	COMBARBALA	LIMARÍ	EL SORUCO	2000	77	308	SONDAJE	S/I		
RAMADILLA	COMBARBALA	LIMARÍ	RAMADILLA	1992	96	384	ADUCCIÓN	5759	0,183	41,089
VALLE HERMOSO	COMBARBALA	LIMARÍ	VALLE HERMOSO	SIN AÑO	78	312	NORIA	S/I	#¡VALOR!	
FLOR DEL VALLE	MONTE PATRIA	LIMARÍ	FLOR DEL VALLE	1996	206	824	SONDAJE	22294	0,707	74,126
LOS MORALES	MONTE PATRIA	LIMARÍ	LOS MORALES	2000	89	356	NORIA	7040	0,223	54,179
LOS TAPIAS	MONTE PATRIA	LIMARÍ	LOS TAPIAS	2001	84	336	NORIA	S/I		
LAS RAMADAS DE TULAHUÉN	MONTE PATRIA	LIMARÍ	LAS RAMADAS - PEJERREYES	1989	143	572	SONDAJE	9533	0,302	45,661
TULAHÉN	MONTE PATRIA	LIMARÍ	TULAHUÉN	1990	615	2460	SONDAJE	72913	2,312	81,204
CHAÑARAL DE CARÉN	MONTE PATRIA	LIMARÍ	CHAÑARAL DE CARÉN - PULPICA	SIN AÑO	158	632	NORIA	13075	0,415	56,680
RAPEL	MONTE PATRIA	LIMARÍ	RAPEL - LOS ANGELES DE RAPEL - HIGUERA RAPEL	1978	171	1488	SONDAJE	45452	1,441	83,687

COMITÉ DE AGUA POTABLE RURAL DE:	COMUNA:	PROVINCIA:	LOCALIDADES QUE COMPONEN COMITÉ:	AÑO INICIO	Nº ARRANQUES:	Nº BENEFICIARIOS:	FUENTE	CONSUMO TOTAL 2003 (m3/año)	Q consumo real (l/s)	Dotación media resultante (l/hab/día)
LAS MOLLACAS	MONTE PATRIA	LIMARÍ	LAS MOLLACAS - EL CRUCE - HACIENDA VALDIVIA	1980	141	564	NORIA	9018	0,286	43,806
CHILECITO	MONTE PATRIA	LIMARÍ	CHILECITO - MIALQUI	1977	386	1544	SONDAJE	21801	0,691	38,684
EL MAITÉN	MONTE PATRIA	LIMARÍ	EL MAITÉN	1993	41	164	VERTIENTE	2319	0,074	38,740
EL MAQUI	MONTE PATRIA	LIMARÍ	EL MAQUI - PAMPA GRANDE - MOSTAZAL	1984	200	800	NORIA	13640	0,433	46,712
PEDREGAL	MONTE PATRIA	LIMARÍ	PEDREGAL - PEDREGAL ORIENTE - LAS CARPAS - QUEBRADA SECA	1998	144	576	SONDAJE	11716	0,372	55,727
COLLIGUAY	MONTE PATRIA	LIMARÍ	COLLIGUAY - CHAGURAL - HACIENDA CAREN	1978	218	872	SONDAJE	15083	0,478	47,389
CERRILLOS DE RAPEL	MONTE PATRIA	LIMARÍ	CERRILLOS DE RAPEL	1982	171	696	SONDAJE	15026	0,476	59,148
SOL DE LAS PRADERAS	MONTE PATRIA	LIMARÍ	SOL DE LAS PRADERAS - ANGOSTURA - BARRANCONES - LAS CONDES -	1998	118	472	NORIA	9710	0,308	56,362
SEMITA	MONTE PATRIA	LIMARÍ	SEMITA - EL PEÑON	1991	92	368	SONDAJE	9910	0,314	73,779
LOS CLONQUIS	MONTE PATRIA	LIMARÍ	LOS CLONQUIS	1984	72	288	NORIA	S/I		
EL COIPO	MONTE PATRIA	LIMARÍ	EL COIPO	1984	119	476	SONDAJE	12920	0,410	74,364

COMITÉ DE AGUA POTABLE RURAL DE:	COMUNA:	PROVINCIA:	LOCALIDADES QUE COMPONEN COMITÉ:	AÑO INICIO	Nº ARRANQUES:	Nº BENEFICIARIOS:	FUENTE	CONSUMO TOTAL 2003 (m3/año)	Q consumo real en l/s	Dotación media resultante l/hab/día
CARÉN	MONTE PATRIA	LIMARÍ	CARÉN	1976	220	880	NORIA	28543	0,905	88,864
JUNTA Y DOS RIOS	MONTE PATRIA	LIMARÍ	JUNTA DOS RIOS	1981	158	632	NORIA	S/I		
EL TOME ALTO	MONTE PATRIA	LIMARÍ	EL TOME ALTO	1982	205	820	SONDAJE	22438	0,712	74,968
EL GUINDO	OVALLE	LIMARÍ	EL GUINDO	SIN AÑO	355	1420	SONDAJE	31.926	1,012	61,598
SANTA CATALINA	OVALLE	LIMARÍ	SANTA CATALINA	SIN AÑO	61	244	SONDAJE	4,764	0,000	0,053
VILLASECA	OVALLE	LIMARÍ	PUNTILLA - BARRANCAS - CANELILLA BAJA Y VILLASECA	1987	243	972	NORIA	21768	0,690	61,356
SAMO BAJO	OVALLE	LIMARÍ	SAMO BAJO	1992	51	204	SONDAJE	4715	0,150	63,323
LA TORRE	OVALLE	LIMARÍ	LA TORRE - LAS SOSSAS	1971	350	1420	NORIA	7164,44	0,227	13,823
CERRILLOS DE TAMAYA	OVALLE	LIMARÍ	CERRILLOS DE TAMAYA - LOS OLIVOS - SANTA CRISTINA - QUEBRADA SEQUITA	1993	764	3056	SONDAJE	73210	2,321	65,633
CAMARICO CHICO Y VIEJO	OVALLE	LIMARÍ	CAMARICO CHICO Y VIEJO	2000	80	320	NORIA	2,982	0,000	0,026
PORVENIR	OVALLE	LIMARÍ	PORVENIR - BATUCO - UNION CAMPESINA	SIN AÑO	155	620	SONDAJE	46,05	0,001	0,203
CARACHILLA	OVALLE	LIMARÍ	CARACHILLA	1998	132	528	SONDAJE	11930	0,378	61,903
EL TRAPICHE	OVALLE	LIMARÍ	EL TRAPICHE	SIN AÑO	136	544	SONDAJE	7326	0,232	36,896
SAN JULIÁN	OVALLE	LIMARÍ	SAN JULIÁN	1980	185	740	SONDAJE	16382	0,519	60,652

COMITÉ DE AGUA POTABLE RURAL DE:	COMUNA:	PROVINCIA:	LOCALIDADES QUE COMPONEN COMITÉ:	AÑO INICIO	Nº ARRANQUES:	Nº BENEFICIARIOS:	FUENTE	CONSUMO TOTAL 2003 (m3/año)	Q consumo real en l/s	Dotación media resultante l/hab/día
LAGUNILLAS	OVALLE	LIMARÍ	LAGUNILLAS	SIN AÑO	119	476	SONDAJE	S/I		
ALGARROBO	OVALLE	LIMARÍ	ALGARROBO	1986	58	232	SONDAJE	S/I		
TABALÍ	OVALLE	LIMARÍ	TABALÍ	SIN AÑO	146	584	SONDAJE	S/I		
LAS RAMADAS DE PUNITAQUI	PUNITAQUI	LIMARÍ	LAS RAMADAS Y EL AGLAR	SIN AÑO	225	900	NORIA	18420	0,584	56,073
GRANEROS	PUNITAQUI	LIMARÍ	GRANEROS	1974	71	284	SONDAJE	S/I		
LAS BREAS	RIO HURTADO	LIMARÍ	LAS BREAS	1977	80	320	SONDAJE	4420	0,140	37,842
HUAMPULLA	RÍO HURTADO	LIMARÍ	HUAMPULLA	1983	82	324	SONDAJE	6996	0,222	59,158
TABAQUEROS	RÍO HURTADO	LIMARÍ	TABAQUEROS - NUEVA ESPERANZA - TAHUINCO	1985	146	584	SONDAJE	15091	0,479	70,797
SAMO ALTO	RÍO HURTADO	LIMARÍ	SAMO ALTO - PARRAL VIEJO	/1995	174	696	SONDAJE	19643	0,623	77,322
HURTADO	RÍO HURTADO	LIMARÍ	HURTADO	SIN AÑO	332	1328	SONDAJE	28550	0,905	58,900
SERÓN	RÍO HURTADO	LIMARÍ	SERÓN	1977	231	924	SONDAJE	31154	0,988	92,374
FUNDINA	RÍO HURTADO	LIMARÍ	FUNDINA	1988	200	800	SONDAJE	10103	0,320	34,599
PICHASCA	RÍO HURTADO	LIMARÍ	PICHASCA - SAN PEDRO - ESPINAL - CARACOLES	1978	402	1608	SONDAJE	73,771	0,002	0,126
LOS NOGALES - CAMPO LINDO	RÍO HURTADO	LIMARÍ	LOS NOGALES - CAMPO LINDO	SIN AÑO	204	816	SONDAJE	19584	0,621	65,753
QUEBRADA SANTANDER	RÍO HURTADO	LIMARÍ	QUEBRADA SANTANDER	CORREGIR AÑO	25	108	NORIA	2396	0,076	60,781

6.6.3 Uso en minería

El uso del agua en minería sólo fue posible obtenerlo directamente para la Compañía Minera Panulcillo. Para dicha empresa, el uso del agua revelado es de 0,7 l/s consuntivos para los procesos de flotación y de 0,25 l/s consuntivos para los procesos de oxidación, lo que se consideró despreciable para la modelación cuantitativa. El problema de contaminación de parte de esta empresa se trata en el capítulo 6.9. La empresa, actualmente operada por ENAMI, se surte de aguas superficiales desde el canal Tulahuén, pero también tiene tres pozos, los que se ubicarían en las cercanías de la minera Delta. Estos 3 pozos figuran con derechos de 95, 45 y 87 l/s respectivamente, es decir, un total de 227 l/s, pero no han tenido uso hasta ahora. Se implementarán cuando comience a funcionar la minera Delta de ENAMI.

Para las demás empresas no fue posible obtener el uso consuntivo de agua en forma directa. Por este motivo, el diagnóstico fue realizado mediante criterio de experto. El informe de experto se adjunta en el Anexo Digital I. El uso de agua fue estimado en función de la producción, y en función de algunos parámetros internos de eficiencia y de recirculación. De esta forma se llegó a que la pequeña y mediana minería, fuera de la minera Panulcillo, usa alrededor de 20 l/s en forma consuntiva en toda la cuenca. Estos usos, sin embargo, no se ven respaldados por derechos en los registros de la DGA. Por estas razones, también se despreció este valor para los fines del análisis cuantitativo.

6.6.4 Uso industrial

Para identificar el uso industrial de aguas no potables, se recurrió a los catastros de aguas superficiales y subterráneas de la DGA. Al respecto, se identificaron como de uso industrial, en el catastro subterráneo, los derechos de CAPEL; de las sociedades comerciales, de las empresas inmobiliarias y de la Empresa de Transporte Ferroviario. En ausencia de antecedentes más fidedignos, se asumió, con fines de modelación, que éstos se usan en un 25%.

Los derechos subterráneos considerados como de uso industrial son los que se muestran en el Cuadro 6-62 adjunto.

Cuadro 6-62
Derechos subterráneos de uso industrial

Código Pozo	Código Acuífero	Uso	Derechos
PO-011	AC-10	US-04	0,016
PO-021	AC-15	US-04	0,040
PO-034	AC-23	US-04	0,009
PO-046	AC-28	US-04	0,045
PO-050	AC-29	US-04	0,032
PO-052	AC-30	US-04	0,020
Total			**0,162**

El uso efectivo de estos derechos en esta cuenca se estima en un 25% de los derechos, es decir, en 40 l/s.

En cuanto al uso de agua superficial, a través de las entrevistas de terreno se pudo averiguar sobre dos industrias importantes, para las cuales se estableció que se surten de agua potable, agua de canal y, en uno de los casos, también de agua de pozos. Estos derechos estarían debidamente inscritos. Las industrias entrevistadas declaran no tener pérdidas, tener resolución ambiental para los vertidos al río y usar aguas de enfriamiento sólo para refrigerar maquinaria. Los consumos no son despreciables, especialmente en el caso de la Viña Francisco de Aguirre, la cual usa 6,3 l/s de agua de canal y 1,5 l/s de agua potable. La empresa Capel usa 0,6 l/s de agua, fundamentalmente de canal.

Las aguas superficiales utilizadas por canal se asumen contabilizadas a través de las Juntas de Vigilancia, y se entienden incorporados en los caudales de entrega de los canales.

En cuanto a los vertidos o devoluciones, en toda la IVª Región hay una sola industria registrada en la SISS, que es la planta de jugos concentrados La Chimba, propiedad de CAPEL, que descarga al río Limarí. Esta empresa cuenta con una resolución de calificación ambiental favorable que aprobó su sistema de tratamiento de riles, el cual se encuentra en proceso de puesta en marcha. Otras empresas, agroindustrias o industrias faenadoras de alimentos, oficialmente no vierten descargas a cursos superficiales.

6.7 DIAGNÓSTICO EFICIENCIA ECONÓMICA DEL USO DEL AGUA

Este diagnóstico se presenta para el uso agrícola y para el uso minero. Para el uso industrial no fue posible desarrollar un diagnóstico, por falta de antecedentes sobre los procesos y sus requerimientos de agua, que, por lo demás, son altamente diversos.

Para el uso de agua potable, en el Capítulo 5.7 se señala los principios en base a los cuales la eficiencia de uso del agua potable está garantizada por el cuerpo legal vigente.

En cambio, para la agricultura se presenta un diagnóstico basado en la concepción de algunos indicadores que se presentan en el Capítulo 3, que permiten mostrar la eficiencia económica con que se usa el agua y hacer comparaciones entre cuencas.

También se presenta un ejercicio sobre la eficiencia económica de uso del agua en la minería, basado en algunos parámetros propios de los procesos mineros, conociendo las cantidades producidas y asumiendo diversos precios para la producción.

6.7.1 Eficiencia de uso del agua en agricultura a nivel de cultivos o individual

Sobre la base de la información disponible para la cuenca del Limarí, se realizó un procesamiento de la información que permitió caracterizar la eficiencia económica de uso del agua para las principales especies presentes en la zona en forma similar a lo realizado en las otras cuencas. A continuación, se presenta la información que describe la situación de la cuenca.

Cuadro 6-63
Estándares medios de rendimientos, precios y costos por hectárea, y eficiencia observada del suelo

Especie	Rendimiento factor suelo unidades/ha/ cosecha	Unidades	Precio Medio $/Unidad	Costo Total $/cosecha	Efic. Obs. Suelo o MNAE $/ha/cosecha
Vid de Mesa	**2,380**	Cajas/ha	2,425	1,457,165	**2,048,264**
Tomates	**55,481**	Kg/ha	145	5,543,558	**1,818,942**
Limonero	**60,000**	Kg/ha	145	1,033,494	**1,246,709**
Palto	**20,000**	Kg/ha	500	1,043,611	**937,151**
Otras Hortalizas	**---**	---	---	---	**889,412**
Otros Frutales	**---**	---	---	---	**643,253**
Papas	**24,839**	Kg/ha	72	1,144,617	**623,593**
Vid pisco	**20,000**	Kg./ha	110	676,558	**543,080**
Alcachofa	**80,000**	u./ha	25	1,469,963	**500,302**
Porotos	**2,006**	Kg/ha	475	531,044	**421,806**
Pimiento	**30,000**	u./ha	36	733,471	**348,992**

Especie	Rendimiento factor suelo unidades/ha/ cosecha	Unidades	Precio Medio $/Unidad	Costo Total $/cosecha	Efic. Obs. Suelo o MNAE $/ha/cosecha
Vid vino	**18,000**	Kg/ha	150	1,069,947	**288,282**
Mandarino	**35**	ton/ha	150	2,776,312	**270,645**
Maiz	**120**	qq/ha	8,000	713,419	**246,581**
Trigo	**51**	qq/ha	7,750	320,242	**106,098**
Praderas	**12,532**	Kg/ha	22	245,210	**32,995**

Fuente: elaboración propia en base a datos CIREN, INE, INIA y ODEPA.

Cuadro 6-64
Indicadores de eficiencia observada del suelo y del agua

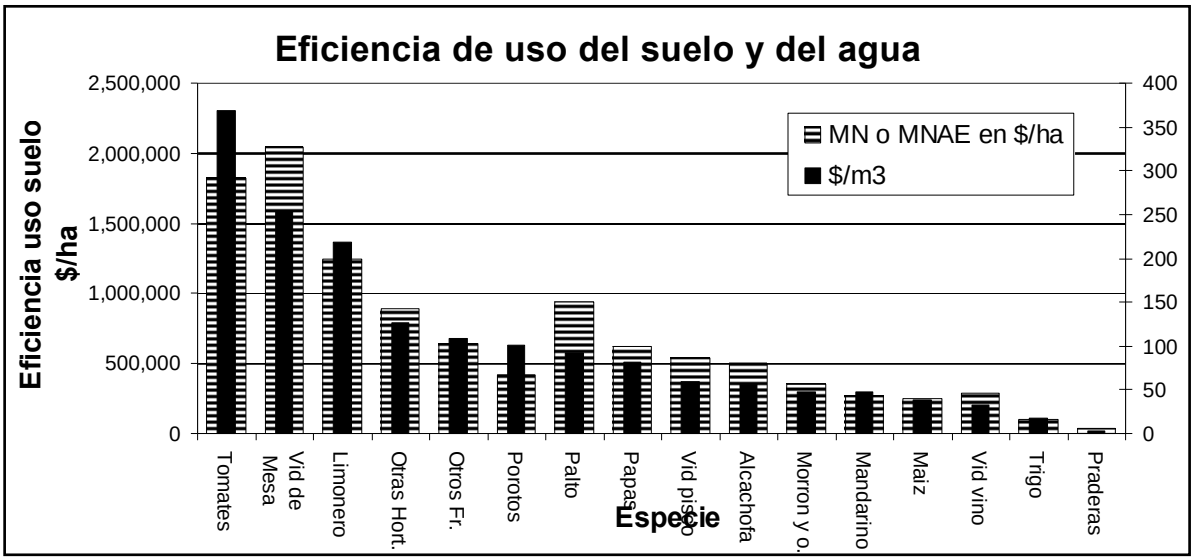
Especie	Superficie (Ha)	Efic. Obs. Suelo o MNAE $/ha/cosecha	Uso de Agua N Raíz m3/ha/cos.	Total agua usada m3/cosecha	Efic. Obs. Agua $/m3/cosecha
Tomates	3.860	**1.818.942**	4.940	19.068.283	**368**
Vid de Mesa	6.224	**2.048.264**	8.052	50.120.758	**254**
Limonero	236	**1.246.709**	5.708	1.348.174	**218**
Otras Hortalizas	881	**889.412**	7.035	6.200.514	**126**
Porotos	2.532	**421.806**	4.167	10.552.937	**101**
Palto	850	**937.151**	10.159	8.632.602	**92**
Otros Frutales	957	**643.253**	7.407	7.088.750	**87**
Papas	1.757	**623.593**	7.584	13.325.543	**82**
Vid pisco	9.876	**543.080**	9.087	89.738.459	**60**
Alcachofa	667	**500.302**	8.894	5.931.586	**56**
Morron y otros	1.264	**348.992**	7.271	9.192.741	**48**
Mandarino	415	**270.645**	5.708	2.366.869	**47**
Maiz	3.748	**246.581**	6.355	23.820.764	**39**
Vid vino	2.292	**288.282**	8.885	20.363.336	**32**
Trigo	33	**106.098**	6.076	202.710	**17**
Praderas	8.447	**32.995**	13.025	110.015.086	**3**

Fuente: elaboración propia en base a datos de terreno y de CIREN, INE, INIA y ODEPA

Tal como en el caso de las otras cuencas en la cuenca del Limarí la eficiencia de uso del agua es muy variable, fluctuando entre $368 y 3 por m3.

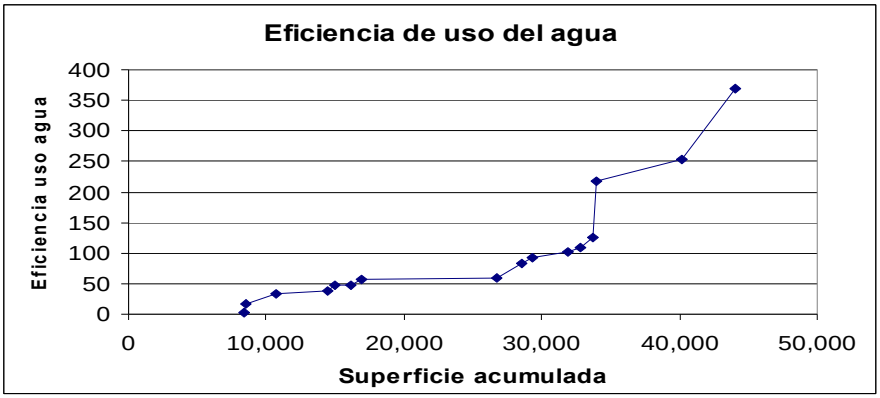
Las eficiencias obtenidas, tanto de uso del agua como del suelo, se presentan en la Figura 6-34.

Figura 6-34
Eficiencia de uso del suelo y del agua cuenca Limarí



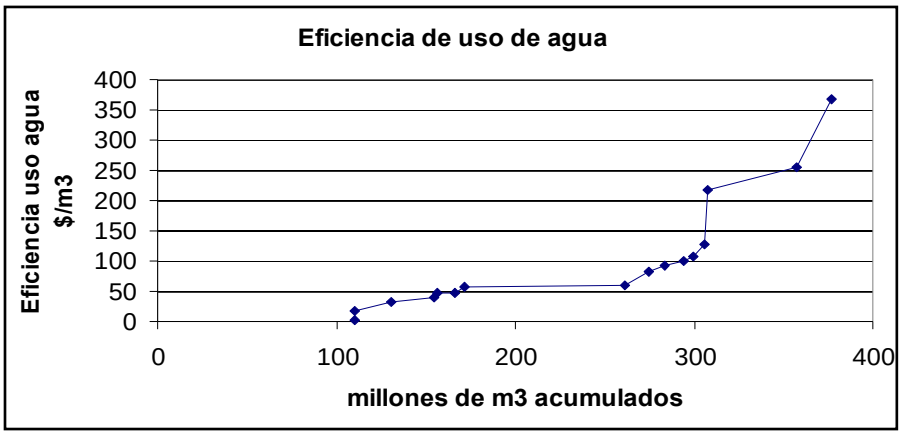
En la Figura 6-35 se presenta la superficie acumulada que genera eficiencias bajo o hasta un determinado valor. En esta, se puede apreciar como la gran mayoría de la superficie, aproximadamente 33.719 de las 44.000 totales, tienen una eficiencia observada del uso del agua que no supera los $200 / m3. Es decir, aproximadamente un 76% de la superficie del valle tiene una eficiencia media a baja. Sólo hay unas 10.320 hectáreas que obtienen entre 218 y 368 $ por cada m3 aplicado. Existe una superficie relativamente importante dedicada a cultivos de eficiencia media (6.978 ha. entre 82 y 126 $/m3). Sin embargo, una superficie bastante significativa está dedicada a especies de muy baja eficiencia (8.447 ha. de pastos y praderas que solo generan 3 $/m3). Ello, revela un gran potencial de aumento de eficiencia que puede ser logrado por medio del cambio de cultivo hacia especies más rentables.

Figura 6-35
Eficiencia observada de uso del agua en función de la superficie acumulada



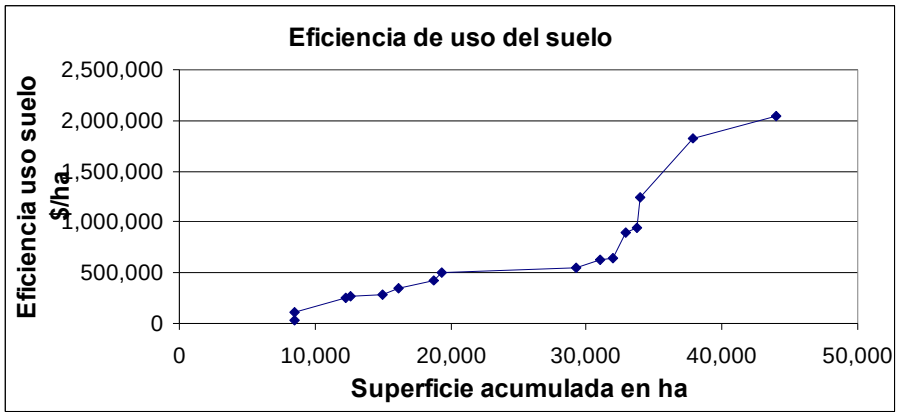
En la Figura 6-36, en la que se acumula el total del agua utilizada en función de la eficiencia observada, se observa que unos 260 millones de los 376 millones de m3 de demanda potencial total son destinados a cultivos de eficiencia observada menor o igual que 60 $/m3.

Figura 6-36
Eficiencia observada de uso del agua en función del agua total utilizada



Por último, en la Figura 6-37, se muestra gráficamente cuánta superficie tiene eficiencias de uso del suelo por debajo de cierto valor. Una proporción importante de los suelos tiene eficiencia mayor 600.000 $/cosecha, esto es, 14.766 de las 44.040 ha potenciales totales. (más del 33%).

Figura 6-37
Eficiencia observada del suelo en función de la superficie acumulada



6.7.2 Eficiencia de uso del agua en agricultura a nivel medio

Tal como en las otras cuencas, se definen mesozonas para realizar un análisis a un nivel de agregación medio. A continuación, se presenta la sectorización en función de las zonas de riego del estudio:

Cuadro 6-65
Definición de mesozonas

Meso Zona	Zona de Riego	Nombre
MZ 1	ZR 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	Grande sobre Embalse Paloma
MZ 2	ZR 11, 12, 13	Cogotí sobre embalse Cogotí
MZ 3	ZR 14, 15, 16, 17	Huatulame
MZ 4	ZR 22, 23, 24, 25, 26, 27	Hurtado sobre embalse
MZ 5	ZR 18, 19, 20, 21, 38 y 41	Limarí bajo embalse
MZ 6	ZR 28, 29, 39, 40 y 42	Sistema de riego Recoleta
MZ 7	ZR 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 43, 44	Sistema Cogotí, Derivado Cogotí, Camarico y Punitaqui

En el Cuadro 6-66 se presenta el resultado de los cálculos de los indicadores a nivel de mesozonas.

Cuadro 6-66
Indicadores de eficiencia económica de uso del agua según mesozona (MZ)

Indicadores de eficiencia económica	MZ 1	MZ 2	MZ 3	MZ 4	MZ 5	MZ 6	MZ 7
Eficiencia económica observada promedio ($/m3)	101,6	73,5	178,9	57,8	83,7	124,4	88,5
Porcentaje de eficiencia en relación al potencial máximo	24%	14%	47%	11%	18%	28%	19%
Desviación estándar de la eficiencia ($/m3)	101,7	104,7	104,9	92,9	98,3	123,3	105,2
Coef. de variación de la eficiencia observada	100,1%	142,5%	58,6%	160,7%	117,4%	99,1%	118,9%

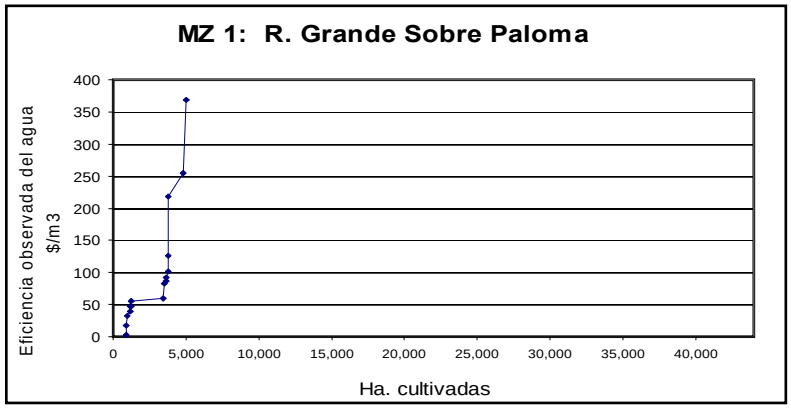
En el Cuadro 6-66 se pueden apreciar los estándares de cada zona. En general, se observa que la eficiencia observada en las diferentes mesozonas es relativamente homogénea en comparación a otras cuencas. Las dos mesozonas que se destacan por su eficiencia son Huatulame y el Sistema de riego Recoleta. Asimismo, estas zonas son las que más cerca se encuentran de su potencial máximo.

La información de terreno, en general, confirma la situación observada en los indicadores, en el sentido de que el valle tanto en sus partes altas como bajas se encuentra bastante desarrollado.

A continuación, se presentan los gráficos que ilustran la situación de cada una de las mesozonas definidas.

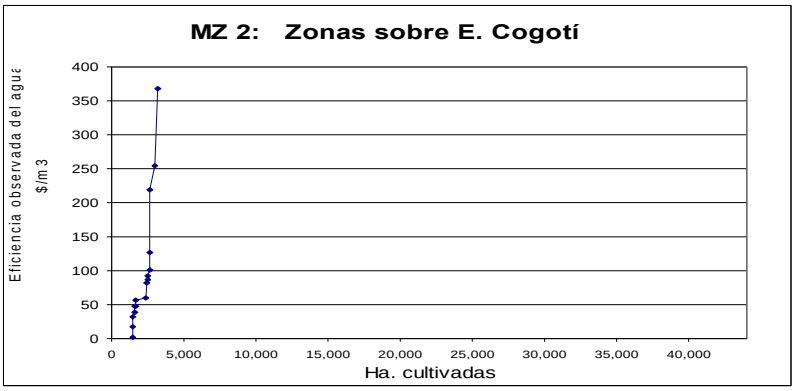
En la Figura 6-38 se puede apreciar que en la mesozona 1 existe una proporción importante de superficie con especies de mayor eficiencia, que son hortalizas y especies perennes. Sin embargo, la combinación de todas las especies genera una eficiencia observada bastante similar al promedio.

Figura 6-38
Eficiencia observada de uso del agua en función de la superficie acumulada MZ 1



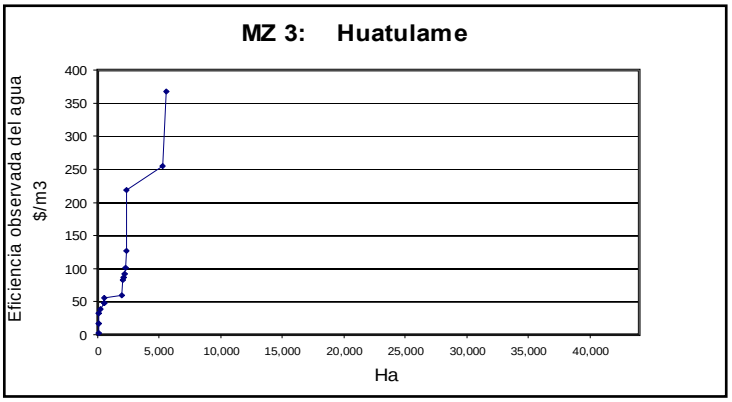
En la Figura 6-39 se puede apreciar que en la mesozona 2 existe una curva característica similar a la de la MZ 1, pero que la proporción de especies de baja eficiencia es mayor, puesto que por ejemplo, existen casi 1500 hectáreas de especies de bajo valor.

Figura 6-39
Eficiencia de uso del agua en función de la superficie acumulada MZ 2



En la Figura 6-40 (MZ 3) se puede apreciar por qué se trata de la zona con mayor eficiencia media. Ello se debe a que casi no presenta superficie de especies de baja eficiencia y tiene una alta proporción de especies de alta eficiencia.

Figura 6-40
Eficiencia de uso del agua en función de la superficie acumulada MZ 3



En la Figura 6-41 presenta los datos de la MZ 4. Este es el sector de mínima eficiencia media, la cual se deriva de una alta proporción de especies de bajo valor (casi la mitad de la superficie) y una baja proporción de las especies de mayor eficiencia.

Figura 6-41
Eficiencia de uso del agua en función de la superficie acumulada MZ 4

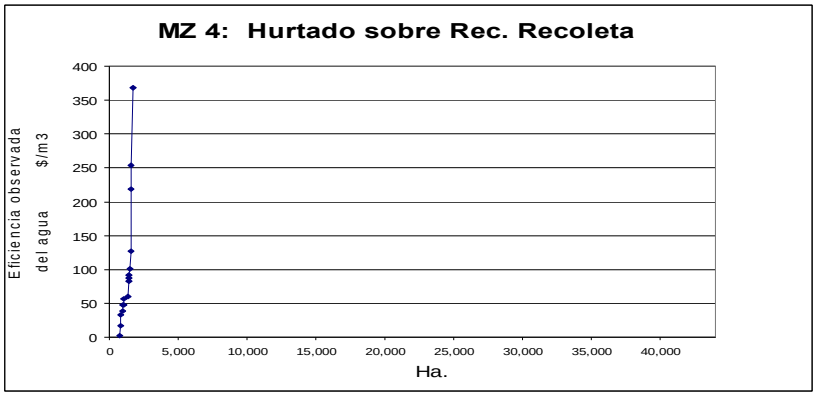
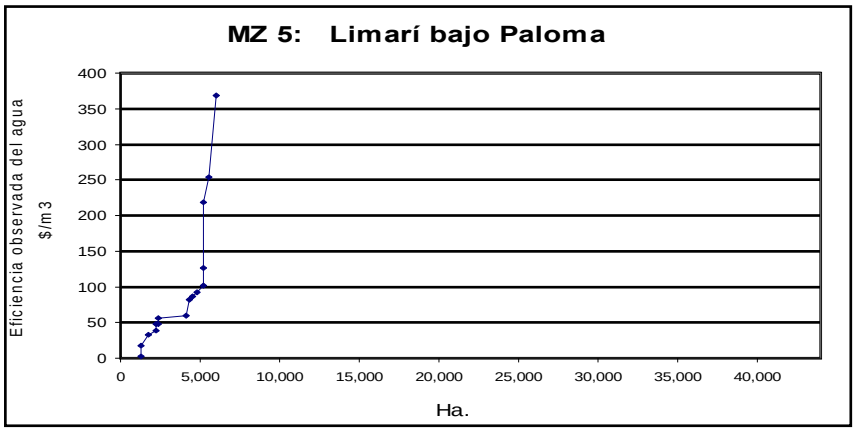
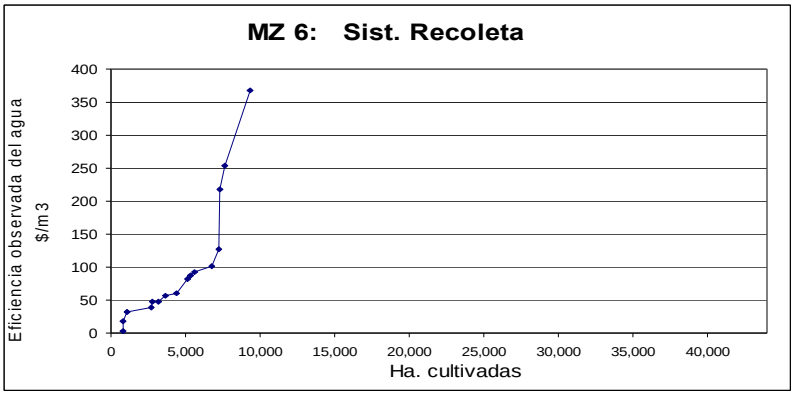


Figura 6-42
Eficiencia de uso del agua en función de la superficie acumulada MZ 5



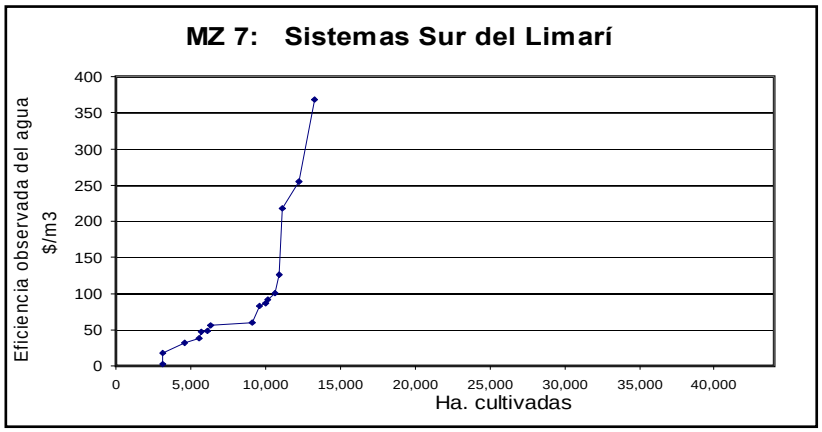
Finalmente, en la Figura 6-43 se presentan los datos de la mesozona 6, los cuales son muy similares en orden de magnitud a los de la mesozona 3. Ambas son zonas de alta eficiencia media dada en gran medida por que la proporción de especies de baja eficiencia es menor.

Figura 6-43
Eficiencia de uso del agua en función de la superficie acumulada MZ 6



Finalmente, en la Figura 6-44 se presentan los datos de la mesozona 7, la cual tiene un comportamiento medio.

Figura 6-44
Eficiencia de uso del agua en función de la superficie acumulada MZ 7



6.7.3 Eficiencia de uso del agua en agricultura a nivel global

A continuación, se presentan los indicadores de eficiencia económica del valle del río Limarí como un todo:

Cuadro 6-67
Indicadores de eficiencia económica nivel global

Eficiencia económica observada promedio ($/m3)	106,6
% de eficiencia en relación al potencial máximo	23%
Desviación estándar de la eficiencia ($/m3)	112,2
Coeficiente de variación (%)	105,3%

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presentan cálculos de eficiencia económica según un promedio ponderado para las diferentes categorías de cultivo.

Cuadro 6-68
Superficie y eficiencia observada por categoría de cultivo para el valle del río Limarí
Año 2005

Categoría	Superficie (Ha.)	Superficie Acumulada (Ha.)	Eficiencia económica media ($/m3)
Praderas	8.447	8.447	3
Cultivos anuales	3.782	12.228	39
Vides Viníferas	12.167	24.396	55
Chacras	4.289	28.685	91
Frutales	8.682	37.367	209
Hortalizas	6.672	44.040	212

Fuente: elaboración propia en base a datos CIREN, INE, INIA y ODEPA.

En definitiva, la cuenca del Limarí se caracteriza por un nivel de eficiencia mayor que la cuenca del Choapa y menor que la cuenca del Elqui. En general, es sabido que se trata de una zona de alto dinamismo y acelerado desarrollo en los últimos años. Sin embargo, no presenta el mismo estándar de eficiencia de uso del recurso hídrico que la cuenca del Elqui debido a que, a diferencia de esta última, no está especializada en la producción de hortalizas. Tal como se ha señalado previamente, la producción de hortalizas implica la generación de un alto valor por metro cúbico debido a que las hortalizas ocupan una menor cantidad de agua por cosecha, con lo cual, con el agua de riego de un año agrícola se pueden obtener varias cosechas en un mismo terreno. Evidentemente, todo lo anterior bajo el supuesto de que cada cosecha tiene un alto valor, lo cual en el caso de las hortalizas tiene una estrecha relación con la posibilidad de ofrecer primores en los mercados, esto es, productos ofrecidos antes de la llegada del grueso de la oferta.

A diferencia de lo anterior, los frutales y vides, en los cuales se especializa el valle del Limarí utilizan agua sin generar cosechas para los primeros años de desarrollo de las plantas y luego sólo producen una cosecha al año. Sin perjuicio de ello, los frutales y vides determinan altos estándares de eficiencia económica cuando su producción es destinada a mercados de exportación. No obstante, si en general se trata de valores inferiores que los que implica la producción de hortalizas, en el caso del Valle del Limarí, la eficiencia de la categoría frutales es similar a la de las hortalizas, lo cual se debe a la preponderancia de hortalizas de menor valor por metro cúbico como la alcachofa.

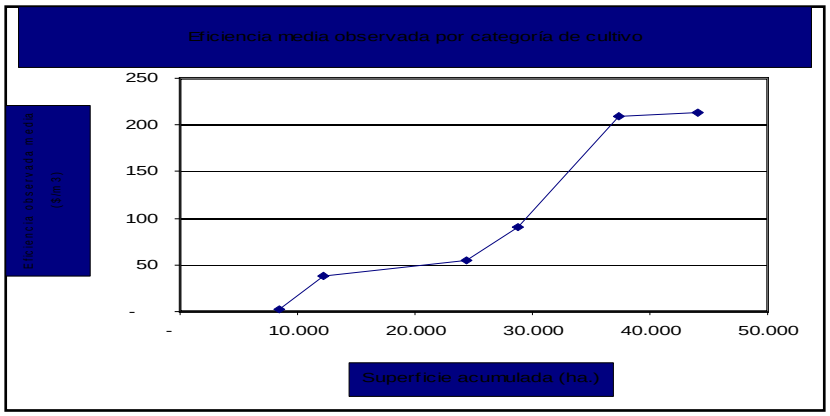
Si bien se podría sacar como lectura de lo anterior que una forma de optimizar el uso de los recursos hídricos en el valle del Limarí sería aumentar la proporción de suelos destinados al cultivo de especies de hortalizas como las que se observan en el valle del Elqui, se debe tener presente lo siguiente: los mercados nacionales de hortalizas están acotados y no existe un espacio ilimitado para aumentar la superficie de estos cultivos, además, el valle del Elqui tiene una mayor proporción de suelos con clima de influencia marítima, y se encuentra más al norte, por lo que es competencia directa para el valle del Limarí. Por ello, es probable que un cambio

como el descrito simplemente no sea posible debido a la competencia. Esto, sobretodo por que también se ha aumentado la seguridad de riego del valle del Huasco, el cual también tiene importantes ventajas para abastecer a la zona central con hortalizas en condición de primores.

Por lo tanto, es probable que la forma de aumentar la eficiencia de uso de los recursos en el valle del Limarí vaya por otro lado, esto es, más que por aumentar la proporción de hortalizas, por disminuir aún más la proporción de especies de bajo valor como las praderas, puesto que aún quedan más de 8.000 hectáreas de esta especie sustituyéndolas por ejemplo por frutales.

Tal como se puede apreciar en el Cuadro 6-68 y la Figura 6-45, si se calcula la eficiencia observada media de las diferentes categorías de cultivos, las hortalizas y los frutales aparecen como las categorías de mayor eficiencia. En general, las categorías de mayor eficiencia son importantes en superficie, en forma similar a lo que se observa en la cuenca del Elqui y a diferencia de la cuenca de Choapa.

Figura 6-45
Eficiencia observada media por categoría de cultivos
Año 2005



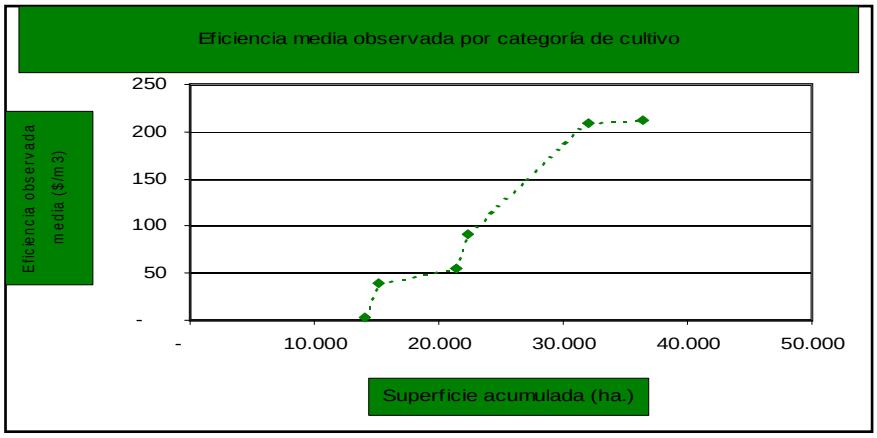
A continuación, se presenta un análisis de los indicadores para dos momentos en el tiempo con el fin de poder visualizar la tendencia de reasignación de recursos hídricos hacia opciones de mayor valor. Primero, en el Cuadro 6-69 y Figura 6-46 se presenta la misma información que en el Cuadro 6-64 y Figura 6-44, pero con las superficies del año 1997.

Cuadro 6-69
Superficie y eficiencia observada por categoría de cultivo para el valle del río Limarí
Año 1997

Categoría	Superficie (Ha.)	Superficie Acumulada (Ha.)	Eficiencia económica media ($/m3)
Praderas	14.032	14.032	3
Cultivos anuales	1.102	15.134	39
Vides Viníferas	6.344	21.478	55
Chacras	790	22.268	91
Frutales	9.690	31.958	209
Hortalizas	4.464	36.422	212

Fuente: elaboración propia en base a datos INE 1997.

Figura 6-46
Eficiencia observada media del agua
Año 1997



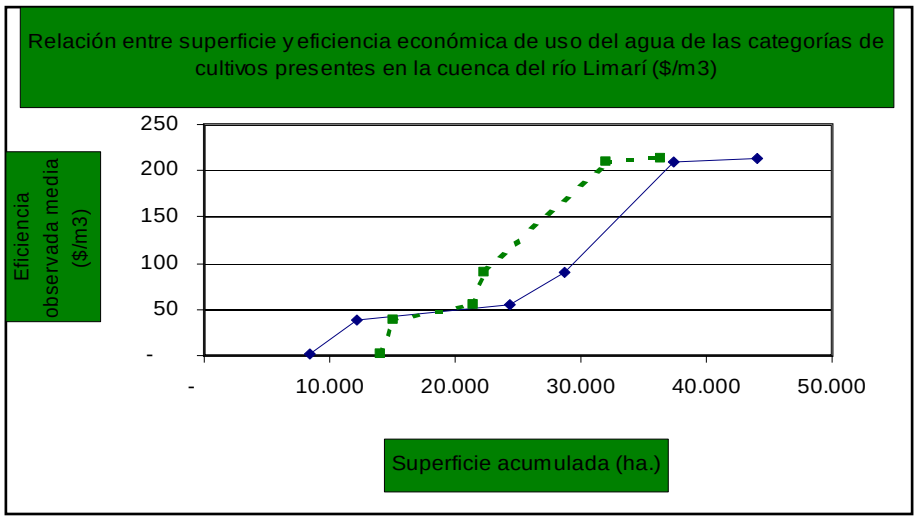
Al efectuar la comparación 2005 versus 1997, se pueden observar dos efectos. Por un lado, a diferencia de las otras dos cuencas, no sólo se observan cambios en la composición de cultivos, sino que en esta cuenca también ha habido un importante aumento de superficie (7.618 hectáreas).

Por otro lado, si bien hay una tendencia a aumentar la eficiencia por el crecimiento de las hortalizas y la disminución de las praderas, en realidad tiene una tendencia mixta, puesto que no todas las categorías de alto valor crecen (hay una disminución de frutales) y no todas las categorías de bajo valor decrecen (hay aumento de los cultivos anuales).

El cambio en eficiencia entre las gráficas de las Figuras 6-45 y 6-46 se puede apreciar comparativamente en la Figura 6-47, donde la línea punteada representa la eficiencia con los

datos 1996/97 (asumiendo márgenes netos constantes en ambos cortes temporales) y la línea continua representa la eficiencia con los datos actuales.

Figura 6-47
Eficiencia comparada entre 1997 y 2005 Cuenca Limarí



Al calcular el valor total producido, esto es, multiplicando la superficie de cada categoría por el valor producido por hectárea en cada categoría, el cambio presentado en la Figura 6-47 representa un incremento total de 28% de eficiencia económica a nivel del valle producto del cambio de cultivos junto con el aumento de superficie. Sin embargo, dado que la superficie ha aumentado 21%, se puede ver que gran parte del aumento de valor es atribuible más bien a este último efecto.

6.7.4 Eficiencia económica del uso del agua en la minería

En la cuenca del Limarí no hay gran minería. Las empresas mineras más importantes actualmente activas son las plantas San Miguel y El Pingo en el río San Miguel afluente al Mostazal, y la Planta Panulcillo, que es una planta procesadora que recoge la producción bruta de todos los trapiches del sector.

En construcción se encuentran actualmente las plantas Los Pingos de GEMIN, sobre el rïo Grande, mucho más arriba de su junta con el Tascadero, y la Planta Delta de ENAMI, vecina a Panulcillo.

Producción

La producción que alcanzan actualmente las plantas activas de la pequeña y mediana minería en la cuenca, sería de unas 400 a 500 toneladas de mena seca al día. Expresado como

concentrados, dadas las razones de concentración para esta cuenca, se llega unas 30 ton de concentrado al día.

Ingresos

Hay una fórmula para estimar el ingreso, en función del precio internacional del cobre, la maquila de refinación, la ley del producto concentrado, las pérdidas metalúrgicas y la maquila de fusión conversión, que es la siguiente:

$$VC = 22{,}046 (p – MR) (Lp – Pm) – MFC$$

Los valores que ENAMI aplica para caracterizar los parámetros de esta ecuación, son los siguientes:

MR = 10% de p
Pm = 4 % de la Ley del producto concentrado
MFC = 100 US$ / ton concentrado.

La ley del producto concentrado se encuentra entre alrededor de 30 en esta cuenca.

Con esto se obtiene los siguientes ingresos por tonelada de concentrado, dependiendo del precio internacional del cobre:

Cuadro 6-70
Ingresos por tonelada de concentrado en función del precio internacional del cobre

P inter. US$/libra	g US$	lp %	pm %	MPC US$/ton	Valor Conc. US$/ton c
0.5	0.05	28	1.12	100	166.67
0.6	0.06	28	1.12	100	220.00
0.7	0.07	28	1.12	100	273.34
0.8	0.08	28	1.12	100	326.67
1	0.1	28	1.12	100	433.34
2	0.2	28	1.12	100	966.67
3	0.3	28	1.12	100	1,500.01

Costos

Se acepta que el costo de producción varía entre 5 y 12 US$/tonelada de mena seca, lo que para una razón de concentración de 20, equivale a 100 - 240 US$/tonelada de concentrado. Esto significa que dependiendo del costo de producción, ésta recién se justifica a partir de un determinado precio del cobre, que en general resulta mayor que 0,7 US$/libra en el mercado internacional.

Uso de agua

Se asume que cada tonelada de mena seca requiere aproximadamente 2,5 a 3,0 m3 para su beneficio, pero se recircula al menos un 50% del agua requerida. Esto redunda en que se requiere 1,5 m3 de agua fresca por tms, lo que con 500 tms al día significa un caudal de 9 l/s.

Eficiencia económica de uso del agua

En el siguiente Cuadro 6-71 se muestra la eficiencia de uso del agua en la minería, expresada como US$/m3, para una eficiencia física asumida de 50% de recirculación, esto es, un consumo de 1,5 m3/tms producida.

Se observa que a partir de un precio internacional de 0,6 US$ la libra, cada m3 de agua renta a partir de 0,6 US$ por m3, lo que en este momento (agosto 2006) son 320 $/m3, correspondiente a productos agrícolas de alto valor.

Sin embargo, para precios del cobre más altos, cercanos a los 3 US$/libra, donde se encuentran en la actualidad, la rentabilidad de cada m3 de agua alcanza valores de hasta 43 US$, equivalentes a unos $ 23.000. Este rendimiento económico del agua es incomparable con el de la agricultura, superando el rendimiento de los cultivos más rentables en unas 70 veces.

Cuadro 6-71
Eficiencia de uso del agua en la minería del cobre

P inter.	Valor Conc.	Costo	Beneficio	Uso de agua	Beneficio
US$/libra	US$/ton c	US$/ton c	US$/ton c	m3/tms	US$/m3
0.5	166.67	200	-33.33	1.5	-1.11
0.6	220.00	200	20.00	1.5	0.67
0.7	273.34	200	73.34	1.5	2.44
0.8	326.67	200	126.67	1.5	4.22
1	433.34	200	233.34	1.5	7.78
2	966.67	200	766.67	1.5	25.56
3	1,500.01	200	1,300.01	1.5	43.33

Lo anterior muestra el poder comprador de agua que tienen las empresas mineras, especialmente en la actualidad con el alto precio del cobre, y muestra también que no hay criterios económicos que puedan impedir el traspaso del agua desde la agricultura hacia la minería, si hay una demanda por parte de ese uso. Sólo podrían aducirse criterios geoestratégicos o geopolíticos para impedir este traspaso, si se justificaran.

En todo caso, es bueno que el agricultor que va a entrar en un negocio con alguna empresa minera, conozca la rentabilidad que la minería obtiene con el agua, de modo que participe en la ganancia a través de la transacción, y el negocio sea, como debe ser, una ganancia para ambas partes.

6.8 DIAGNÓSTICO EFICIENCIA ADMINISTRATIVA

Este diagnóstico se desarrolla a nivel medio y global.

6.8.1 Eficiencia administrativa a nivel medio

El diagnóstico a nivel medio se refiere fundamentalmente al tema administrativo, en los siguientes aspectos:

- flexibilidad del sistema de distribución
- eficiencia en la distribución
- eficiencia en la administración

Sobre estos temas se indagó en profundidad a través de las entrevistas, de modo que después del análisis cuantitativo presentado a nivel local en base a la modelación, y tomando en cuenta todo lo que se vio en terreno, se puede afirmar lo siguiente:

a) Flexibilidad del sistema de distribución

En esta cuenca, en la actualidad, y como resultado del sistema Paloma, hay ocho Juntas de Vigilancia, que son las del río Pama, Combarbalá, Cogotí, Huatulame, Mostazal, Rapel, Grande-Limarí y Hurtado, todos con sus respectivos afluentes. Sobre el sistema de embalses funcionan seis de las juntas de vigilancia, que son las de los ríos Pama, Combarbalá, Cogotí, Mostazal, Rapel y Hurtado. En forma mixta funciona la Junta del río Grande y Limarí, que tiene una porción sobre el sistema de embalses, y el resto bajo el sistema. Completamente bajo embalse funciona en la actualidad, como única junta de vigilancia, la del Huatulame, que originalmente pertenecía al río Cogotí. Con la instalación del embalse Cogotí, el año 1939, ambos ríos originalmente siguieron funcionando en conjunto, pero con el paso del tiempo, el Huatulame pasó a administrarse con el embalse, a través de la Asociación de Canalistas del Embalse Cogotí.

También como resultado del sistema de embalses, hay cuatro asociaciones de canalistas de gran importancia en la cuenca, que son las siguientes: la Asociación de Canalistas del Embalse Recoleta (ACER), la Asociación de Canalistas del Embalse Cogotí (ACEC), la Asociación de Canalistas del Canal Camarico (ACCC), y la Asociación de Canalistas del Derivado Punitaqui (ACDP) todas ellas funcionando bajo los embalses. Además, está la Asociación de Canalistas del Canal Palqui-Maurat-Semita, la cual obtiene sus derechos desde el río Grande cerca de la localidad de Semita, entre las afluencias de los ríos Mostazal y Rapel.

En la cuenca del Limarí se observan dos mundos diferentes en lo relativo a la flexibilidad de los sistemas de distribución. Por un lado, están los ríos sobre el sistema de embalses, los cuales tienen sistemas de distribución en la forma de turnos, con un potencial de 10.000 ha cultivables. Por el otro lado, están los sectores que tienen derechos sobre las aguas embalsadas, 34.000 ha en total, que se manejan de modo diferente.

Si bien es cierto que los ríos afluentes a los embalses (Pama, Combarbalá y Cogotí al embalse Cogotí, Mostazal y Rapel al Río Grande y Embalse Paloma, y Hurtado al Embalse Recoleta) se han visto beneficiados por esos embalses en el sentido de que dejaron de tener la obligación de tributar aguas hacia ellos, no tienen la posibilidad de beneficiarse de los almacenamientos, razón por la cual deben mantener una distribución en la forma de turnos.

Los ríos tienen en general canales con compuertas metálicas, que son controladas por los celadores. Los celadores también controlan perfectamente los canales que no tienen compuertas, que son una minoría. Los celadores son un elemento fundamental en la distribución de las aguas, y es en la experiencia y capacidad de observación de ellos que se basan los repartos.

Se observa en los ríos, que hay tres sistemas de repartos: uno es río libre cuando hay agua suficiente para cubrir las demandas de todas las acciones del río a través de sus canales, el segundo es dividirse el río entre grupos de canales, cuando el agua escasea, y el otro es el turno redondo, que consiste en entregar toda el agua del río, por tiempos proporcionales a las acciones, a cada uno de los canales, una vez cada 8 días, o menos, dependiendo de la disponibilidad. Se observa que se busca siempre la manera de hacer las reparticiones más justas del agua en función de las acciones que tienen los regantes.

En general, se trata de evitar que los últimos usuarios de cada canal queden sin agua, sin embargo, dadas las grandes pérdidas de los sistemas de canales, el suministro hasta el último usuario no siempre está garantizado. En el río Mostazal, hay algunos canales, como el Colliguay Alto, donde los coleros (últimos en la cola de los canales), no pagan cuota a su respectiva asociación, porque reciben muy poca agua en tiempos críticos.

Para evitar exacerbar este problema, es que no se permite intercambio de acciones entre canales, porque pueden quedar algunos canales con muy poca agua. Los intercambios se permiten cuando hay turno redondo, previo aviso, y sólo temporalmente. Para el traslado de acciones en forma permanente, se tiene que contar con el permiso de los canales respectivos, o el comprador debe hacer las reparaciones y adaptaciones necesarias.

En el río Rapel, directamente no se permiten los traslados temporales de un canal a otro, ni se fomenta la movilidad de los derechos de un canal a otro, sólo se permiten traslados temporales dentro de los canales. Sin embargo, hay ventas de acciones, las cuales en general requieren adaptaciones de los canales.

Aguas abajo de los embalses, el sistema de repartición es volumétrico. Las acciones de cada regante se dotan de una cantidad de m3 para la temporada completa, volúmenes que están embalsados y disponibles para cuando el usuario los requiera. Estos volúmenes quedan registrados en una cuenta corriente de cada usuario, de la cual se va descontando los pedidos y sumando los abonos por eventuales compras. Los pedidos deben hacerse con dos días de anticipación, para que la entrega se pueda programar en función de las capacidades de los canales. Existe incluso la posibilidad de guardar agua de un año para otro, en cuyo caso se

reduce el ahorro en 8%, en virtud de las pérdidas evaporativas que sufre el agua en el embalse. Si en el invierno el embalse se llena y vierte, los ahorros se anulan.

Existe una regla de operación que data desde el origen de funcionamiento del Sistema Paloma, 1967, que señala que si hay más de 500 millones de m3 almacenados en los tres embalses, caso que se considera favorable, se pueden repartir 320 millones como máximo. De estos 320 millones, 240 salen del Embalse Paloma, 40 del Embalse Cogotí y 40 del Embalse Recoleta. Si, por el contrario, hay menos que 500 millones en el sistema, se puede repartir como máximo la mitad de los que hay. Si hay más de 1000 millones almacenados entre los tres embalses, se declara dotación libre para todas las asociaciones.

Esta forma de administrar las aguas permite percibir que aguas abajo del sistema de embalses, hay una gran flexibilidad espacial y temporal para el uso y asignación de las aguas, pues se pueden usar en el momento requerido, y también en el lugar requerido. Hasta hace dos años, los traslados de volúmenes se hacían con gran flexibilidad entre todos los sistemas correspondientes a todos los embalses. Hace dos años, el sistema de riego del Embalse Recoleta, que se ubica fundamentalmente al norte del río Limarí, se excluyó de esta flexibilidad, porque les afectaba el hecho de que muchos de sus regantes vendieran el agua a muy buen precio a regantes del Cogotí y del Río Grande y Limarí, con lo que los canales empezaron a quedar desprovistos de agua, aumentando por ello porcentualmente las pérdidas. Hoy día las aguas correspondientes al sistema Recoleta, sólo pueden regar áreas del Recoleta.

Además del mercado volumétrico, que está constituido por transferencias temporales, hay también un mercado de acciones, en la forma de transferencias permanentes. De este modo, aguas abajo de los embalses hay una gran flexibilidad conceptual para el intercambio. La única limitante a la flexibilidad la constituyen las capacidades de los canales, que deben portear las aguas transadas, y que a veces se ven superados por los requerimientos.

b) Eficiencia de distribución

Aguas arriba de los embalses, la distribución de los recursos en los ríos se efectúa en forma de turnos, en que uno o varios canales toman el agua durante proporción del tiempo que les corresponde de acuerdo con sus derechos. Los turnos se repiten generalmente cada 8 días.

La eficiencia física de conducción de los canales, en general se describe como baja, asumiéndose que hay grandes pérdidas, entre 20 y 30%, y también hasta 60% o más en algunos casos. De hecho, en terreno es posible observar con gran claridad, las pérdidas de agua que se producen en el cruce de los canales con las quebradas, y a lo largo de sus recorridos (río Mostazal), donde bajo los canales hay grandes extensiones de vegetación natural favorecida.

Las pérdidas se reparten proporcionalmente entre los usuarios de cada canal. Esto los hace tomar conciencia de la situación, y acuden a la Ley de Riego para obtener subsidios para los mejoramientos necesarios. En algunos casos (por ejemplo río Rapel) se ha dado en dos oportunidades, que un usuario se adjudica un subsidio, pero lo pierde, porque no es capaz de aportar la parte correspondiente propia.

Canales importantes como el canal Palqui-Maurat-Semita, reportan pérdidas muy variables, que varían fundamentalmente en función del caudal. Actualmente, con bastante agua, se registran pérdidas de conducción en el tramo inicial hasta antes de la primera entrega, del 18,4%, pero también hay épocas en que se registra 45% de pérdidas. Este canal es un ejemplo en cuanto al control de este parámetro, que muestra justamente que este parámetro es muy variable.

Para los canales completamente revestidos, como el canal Matriz Paloma, antes de su bifurcación en Derivado Recoleta y Derivado Cogotí, se registra de todas formas un 10% de pérdidas, que son cargadas a las cuentas de los usuarios.

Ejemplar es el sistema de canales del embalse Recoleta, donde está revestido aproximadamente el 70% de los canales secundarios, y un 30% de los canales matrices (Villalón). En este sistema de canales, con la Ley de Riego se han invertido alrededor de 1600 millones de pesos en mejoramientos.

No obstante lo señalado, hay una creciente preocupación por aumentar la eficiencia física de los canales, pues las pérdidas por conducción deben ser asumidas por los regantes en sus cuentas corrientes de agua, lo que no es conveniente dado el alto valor del agua en la zona, especialmente en sequías.

Al respecto, se escucha con alguna insistencia la posibilidad de hacer entubamientos de los canales, y entregar el agua con presión en la llave de cada usuario. Esta experiencia se hizo en el valle de Llui-Llui, y también hay un canal entubado en el sector de Punitaqui, Canal La Chimba, que es un ejemplo pionero en la cuenca. Otras iniciativas se están produciendo en la cuenca del Elqui.

c) Eficiencia en la administración

Como en todos los demás aspectos, la administración difiere entre el llamado sistema Paloma, aguas abajo de los embalses, en relación con lo que se observa aguas arriba de los embalses.

En los ríos sobre embalses, en general se observa una administración más bien sencilla, basada en la experiencia de los celadores y en la confianza de los usuarios. La administración se observa en general bastante eficiente, con un alto grado de aceptación, un bajo grado de conflictividad, y una buena disposición de las autoridades de las juntas de vigilancia, de resolver los conflictos que se pueden generar. Incluso se observa en todas ellas, y también en los usuarios, de adaptar los turnos a las disponibilidades de tranques de noche, que no son lo abundantes que los usuarios quisieran. De este modo, las JV se manejan de modo de entregar de noche agua a los canales que tienen tranques, y de día a los que no tienen, para evitar el riego nocturno.

Los problemas crecen o aparecen cuando hay sequías. En tales casos, cobran aún mayor importancia los celadores, y se contratan más celadores, de modo de poder mantener en funcionamiento los sistemas.

Si bien en general se pudo percibir que la administración de los ríos es eficiente, la administración al interior de cada uno de los canales es muy variable. Hay comunidades que se encuentran muy bien administradas, mientras que las hay que señalan la existencia de algunos problemas. Un ejemplo de comunidad con problemas es la del Canal Puntilla San Juan, donde las aguas recibidas se reparten por turnos iguales para todos, con plena independencia de las acciones de cada uno. Los usuarios reclaman, pero no han podido revertir este problema, que constituye una ilegalidad.

El problema mayor para la administración interna de los canales es la ineficiencia de conducción, como por ejemplo en el río Mostazal, donde hay canales que sencillamente no logran portear sus aguas hasta el final del canal, por la gran ineficiencia de conducción. Los usuarios se quejan de esto, y postulan a la ley de riego, pero incluso así hay casos (en el río Rapel), donde no han podido hacer uso de los subsidios, por no tener dinero para los aportes propios.

Aguas abajo del sistema de embalses, el sistema Paloma es administrado por las siguientes organizaciones: la Junta de Vigilancia del Río Grande y Limarí y sus afluentes (JVRL), la Junta de Vigilancia del Río Huatulame (JVRH); la Asociación de Canalistas del Canal Camarico (ACCC), la Asociación de Canalistas del Canal Derivado Punitaqui (ACDP), la Asociación de Canalistas del Embalse Recoleta (ACER); y la Asociación de Canalistas del Embalse Cogotí (ACEC). Las aguas se distribuyen a los regantes desde los embalses a través de los grandes canales, y esto ocurre a pedido. Para cada temporada, las acciones de los usuarios se dotan de una cantidad de m3 que depende del total almacenado en el sistema de embalses, según se ha detallado más arriba. De este modo se maneja un concepto de derecho volumétrico, que es altamente flexible para su asignación en el espacio y en el tiempo. Esta forma de manejarse es también un gran estímulo para el mercado del agua, el cual opera no sólo en cuanto a las acciones o derechos, sino también en cuanto a las dotaciones volumétricas que se establecen año a año.

En el Cuadro 6-72 se muestra la distribución de acciones entre las diferentes organizaciones de regantes, y la dotación nominal y media (período 1980-2000) de las acciones en cada organización. Este cuadro fue obtenido del. estudio sobre mercado del agua efectuado por Oscar Cristi en 2001. Es interesante observar que tanto la ACEC como la ACER, abastecen una parte de sus requerimientos con acciones desde su propio embalse, pero son fuertemente reforzados con las acciones del embalse Paloma.

La distribución nominal, sin embargo, es adaptada a la demanda real, sin mayores restricciones que la de las capacidades de los canales.

El Sistema Paloma es administrado por la DOH, en codaministración con las Juntas de Vigilancia arriba señaladas, de las cuales la del río Grande y Limarí lleva la administración del embalse Paloma. Se administra en la forma señalada desde el año 1980, en que la empresa BF entregó un sistema de operación basado en un modelo se simulación del sistema de embalses. Según se percibe en las entrevistas, hay una necesidad de revisar el modelo de operación, pues en estos 25 años todo ha cambiado. Los cultivos, métodos de riego y eficiencias son otros, de

modo que hay algunos problemas con las capacidades de .los canales para transportar las aguas solicitadas. Esto es una aspiración, más que independizarse de la DOH en cuanto a la administración.

Se prevé, además, que con el traspaso de esta obra se generará alguna complicación en la nueva composición de los derechos, porque cada regante tendrá sus derechos originales de río, en l/s, y además, unos derechos adicionales de embalse, que son volumétricos y se dotan de una cantidad de m3 dependiendo de la hidrología del año.

Cuadro 6-72
Acciones, dotación nominal y dotación media por organización

Organización	Acciones Embalse Paloma	Acciones Embalse Recoleta	Acciones Embalse Cogotí	Total Acciones	Total Volumen	Dotación nominal m3/acción	Dotación media m3/acción	Dispersión temporal de la acción	% de agua recibido por cada asoc, en promedio
JVRL	8383			8383	62.816.000	7.493	6450	1172	28,0
ACCC	5500			5500	25.280.000	4.596	4000	941	11,4
ACEC	7500		4500	12000	99.488.000	8.291	4000	1182	24,9
ACER	12200	2800		15000	114.400.000	7.627	3955	1168	30,7
JVRH			953	953	9.472.000	9.939	5000		2,5
ACDP	1000			1000	8.544.000	8.544	4900		2,5
TOTAL	34583	2800	5453	42836	320.000.000	7.470	4507		100,0

6.8.2 Eficiencia administrativa a nivel global

El diagnóstico de la eficiencia administrativa a nivel global incluye los siguientes aspectos:

- capacidad de control para el cumplimiento de las reglas
- forma en que se asigna y reasigna el recurso hídrico en la cuenca (mercado del agua)

los cuales se presentan a continuación.

a) Capacidad de control para el cumplimiento de las reglas

Las reglas en relación con el agua que interesa analizar en este estudio, son las que se refieren a su gestión cuantitativa, cualitativa y de administración. Dichas reglas son las siguientes

i) las disposiciones del Código de Aguas, en materia de constitución de derechos de agua, de modo que haya respeto por los derechos de terceros y también por el medio ambiente. En esta materia, la institución rectora es la DGA.

ii) las disposiciones del Código de Aguas en materias de distribución y administración de los derechos de agua por parte de las instituciones previstas por el código para ese fin, que son las Juntas de Vigilancia, Asociaciones de Usuarios y Comunidades de Agua

iii) las disposiciones de calidad de aguas, provenientes de:
- la norma de calidad para el agua potable NCH 409 / 1984
- la norma de calidad para el agua de riego y otros usos NCH 1333 / 1978
- la norma de emisión para descargas de riles a sistemas de alcantarillado (revisión del DS MOP Nº 609 / 1998)
- la norma de emisión para descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales DS Nº 90 / 2000 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia
- la norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas DS Nº 46 / 2002 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia

En las materias de calidad y emisión, las instituciones rectoras son varias: la Superintendencia de Servicios Sanitarios, el Servicio de Salud, y también el SAG, todos encargados de la fiscalización, según corresponda.

A continuación se comenta la capacidad de control de cada una de las instituciones involucradas, dentro de la cuenca.

Dirección General de Aguas

En materia de derechos de agua, la institución rectora es la Dirección General de Aguas. De acuerdo con la información recabada en terreno, y también en el nivel central, las aguas superficiales están agotadas, y su administración está en manos de los usuarios. En cuanto a las

aguas subterráneas, efectivamente existen muchos pozos, pero no se pueden considerar clandestinos, porque casi todos son regularizables. Muchos de estos pozos existen, por ejemplo en el sector de Huatulame, debido a que la Junta permitió extraer los derechos superficiales correspondientes al río, desde el acuífero. Esto significa que hay muchos pozos con ½ acción, que ahora con las modificaciones a la ley de aguas, se atendrán a la ley del mono (la regularización automática de 2 l/s), con lo cual muchos de ellos se verán beneficiados. No hay preocupación por el tema de los pozos clandestinos, salvo excepciones.

Entre los usuarios hay mayor preocupación por el tema del agua subterránea que en la DGA. Existe claridad acerca de que sacar agua de acuíferos en el lecho del río, es lo mismo que quitársela al río, y por eso hay inquietud acerca de lo que la DGA pueda hacer en materia de nuevas constituciones. En principio, los usuarios se oponen a la constitución de nuevos derechos subterráneos. Les queda la inquietud acerca de pozos en sectores altos, en las serranías, fuera de los cauces pero dentro de las cuencas aportantes. No quieren oponerse siempre, pero también creen que les pueden afectar las constituciones de derechos subterráneos en las rocas de los cerros circundantes.

En cuanto a la constitución de los derechos, están las atribuciones del SAG, que tiene facultades para distribuir agua en los proyectos de parcelación, que son las mismas aguas que la DGA ha constituido de otra forma, y a veces se producen incoherencias.

Organizaciones de usuarios

En la cuenca hay ocho Juntas de Vigilancia, que son las de los ríos Pama, Combarbalá, Cogotí, Huatulame, Grande y Limarí, Mostazal, Rapel, y Hurtado. Además hay 5 Asociaciones de Canalistas en los canales más importantes del sistema, que son: Canal Palqui-Maurat-Semita, Canal Camarico, Canal Derivado Punitaqui, Canales del Embalse Cogotí y Canales del Embalse Recoleta. En materia de distribución de aguas, ellas tienen reglas muy claras, que son en general aceptadas por sus integrantes.

De acuerdo con lo observado y consultado en dos campañas de en total casi 4 semanas en terreno, se pudo apreciar que la conflictividad es muy baja, tanto a nivel de Juntas de Vigilancia como de Asociaciones y Comunidades de Aguas. La gente recuerda sólo el año 1996, que fue de extrema sequía, en que fue necesario cuidar las bocatomas con escopeta. En general, lo que se observa es que en períodos secos, se contratan más celadores, para mantener el control de las bocatomas y de las compuestas interiores de los canales, y con eso declaran que no tienen mayores problemas.

En las Juntas de Vigilancia de los ríos sobre el Sistema Paloma, las aguas se administran a sus usuarios por medio de turnos, que se diseñan de acuerdo con la disponibildad. Al respecto, es necesario señalar que hay usuarios a los que no les llega el agua, en general al final de algunos canales que tienen grandes pérdidas, y en épocas más secas.

Por ejemplo, en el río Hurtado se apreció que el control de las extracciones por parte de la Junta de Vigilancia debiera ser mayor, porque hay problemas para que el agua llegue a la última sección, especialmente en épocas secas.

Una forma coyuntural de abordar este problema es a través de la contratación de más celadores, tanto para los ríos como dentro del canal, y una forma más definitiva es buscando apoyo en la CNR para la aplicación del subsidio de la ley de Riego, que les permite mejorar sus tomas y reducir las pérdidas de los canales.

Aguas debajo de los embalses del Sistema Paloma, la administración aparece como bastante eficiente, y efectivamente lo debe ser, dado que los usuarios así la califican. A la gran mayoría de los usuarios les llega su agua sin problemas, en función de la dotación de las acciones que se determina al inicio de temporada, y se ajusta una vez a mitad de temporada. Además, la administración a través de cuentas corrientes de agua, administración que es posible debido al hecho de tener toda el agua embalsada, es una fuente no sólo de control y de eficiencia, sino que también una fuente de posibilidades de intercambio. Estos intercambios permiten una gran flexibilidad del sistema en épocas de mayor escasez, adquiriendo el agua el valor que efectivamente tiene en dichos períodos.

Al respecto, llama la atención el manejo que las asociaciones hacen con las pérdidas. Tanto arriba como abajo del sistema del embalses, para todos los ríos, y también para los canales, e incluso también para los tranques comunitarios, se estiman las pérdidas, y se distribuyen entre todos los usuarios. A este respecto, hay algunos usuarios que no están de acuerdo con que se les resten las pérdidas.

Se detectó un solo caso, la comunidad Canal Puntilla san Juan, en que el agua no se administra en función de los derechos, sino que se aplica igual tiempo de agua a todos los usuarios en cada uno de los turnos. Fuera de este caso, los usuarios están tranquilos con su respectiva administración.

Superintendencia de Servicios Sanitarios

En relación con su rol fiscalizador de calidad y emisiones, consultada la SISS al respecto de las fiscalizaciones que lleva adelante en la cuenca del Limarí, se obtuvo la siguiente información:

i) Plantas de tratamiento de aguas servidas autorizadas:

Todas las localidades que cuentan con agua potable urbana, tienen plantas de tratamiento autorizadas por la SISS. Ellas son:

- Ovalle
- Combarbalá
- Montepatria
- Sotaquí
- Chañaral Alto
- Punitaqui

- El Palqui

La SISS lleva un control sistemático de las emisiones de estas plantas de tratamiento. Al respecto, se presentan algunos resultados correspondientes al año 2003/2004 en el Capítulo 6.9. Todas las plantas más nuevas, que son de lodos activados (Chañaral Altio y Sotaquí), cumplen con la normativa del DS 90. Las demás plantas, que son de lagunas aireadas y las agunas de estabilización, cumplen con la normativa anterior NCh 1333. En todo caso, en Septiembre de 2006, todas las entregas de aguas servidas deberán estar cumpliendo la norma DS 90.

ii) Establecimientos industriales que descargan al alcantarillado

La norma que rige la calidad de las descargas de riles al alcantarillado público, es el DS 609 de 1998, modificado mediante el DS 3592 del 2000.

De acuerdo con esta norma, la entidad fiscalizadora es la empresa sanitaria, sin perjuicio de que también la SISS queda facultada para hacer los controles directos que estime necesario.

Para el presente trabajo, se contó con el listado de los establecimientos industriales sujetos al DS MOP Nº 609 / 98, que en la cuenca del Limarí son sometidos a control directo por parte de la SISS. Son en total 15 establecimientos, públicos y privados, de los cuales 8 no cumplen con la normativa. Debido a que ingresan sus aguas al alcantarillado público, es la Empresa de Agua Potable la que debe multarlos, incluso cuando son establecimientos públicos.

iii) Establecimientos industriales que descargan a aguas subterráneas

No se tiene conocimiento, ni en la SISS ni en la DGA, sobre establecimientos en la cuenca del Limarí, que descarguen riles a aguas subterráneas.

Todo lo anteriormente señalado muestra que hay un control bastante efectivo por parte de la SISS sobre las fuentes puntuales potencialmente contaminantes en la cuenca. Lo que falta es más voluntad de aplicar multas a establecimientos que no cumplen las normativas de emisión, aunque sean públicos.

Servicio de Salud

En el marco de su misión de velar por la salud de la población, el Servicio de Salud de Coquimbo lleva una estadística de calidad de aguas en diversos puntos de los ríos principales que constituyen las cuencas de la IVª Región.

Para el desarrollo del presente estudio se tuvo acceso a las estadísticas que ha llevado dicho servicio en el período 2000-2003, en algunos puntos de la cuenca del Limarí, específicamente en la Quebrada del Ingenio frente a la Compañía Minera Panulcillo, en el río Mostazal frente a la Quebrada Las Mollacas (minera El Pingo) y en el sector de Punitaqui, donde se muestrea aguas crudas y potables en diversas localidades que presentan conductividades altas (sulfatos)

y también ocasionalmente altos contenidos de hierro. Los resultados de estas estadísticas se comentan en el Capítulo 6.9.

Servicio Agrícola y Ganadero SAG

En relación con el presente trabajo, las labores de las que está encargado el SAG son las siguientes:
- llevar el catastro de vides
- reglamentar y controlar el uso de plaguicidas.

El SAG también administra, en forma conjunta con el INDAP, y paralela a la CNR, fondos para invertir en programas de rehabilitación de suelos degradados.

Para la cuenca del Limarí, el SAG no ha realizado estudios específicos, pero en agosto 2006 licitó un estudio de tres años de duración, para determinar diversos aspectos sobre la calidad de las aguas de la cuenca. .

b) Forma en que se reasigna el recurso hídrico en la cuenca (mercado del agua)

i) Mercado del agua en la percepción lograda a través de las entrevistas

De acuerdo con las entrevistas a autoridades, organizaciones y usuarios, se ha observado que en la cuenca del Limarí se producen dos situaciones distintas en relación con el mercado del agua.

Aguas arriba del sistema de embalses, donde no se cuenta con almacenamiento de aguas, existe el mercado formal y legal de acciones, como es usual en todo el resto del país. Estas transacciones se producen dentro de los canales, y también entre canales de cada río. Dentro de un mismo canal, los traslados son más fáciles, tanto desde el punto de vista de aprobación por parte de los usuarios del canal, como por el hecho de que no tienen que ser informados a la autoridad, porque no hay cambio de punto de captación.

Las transacciones entre canales de un mismo río son un poco más difíciles, porque deben contar con la aprobación de la autoridad, y además con la aprobación de los usuarios de cada uno de los canales involucrados, el cedente y el receptor. Las juntas de vigilancia en general no fomentan este tipo de transacciones, pero de todas formas éstas se producen. En todos los casos, es el comprador el que debe hacer los cambios y adaptaciones en las bocatomas de los canales involucrados, y también muchas veces las reparaciones o modificaciones en el canal receptor.

Pero también hay traslados más informales o temporales, tanto dentro de los canales como entre canales, en que se traspasan acciones por riegos o por la temporada, sin que haya transacciones permanentes de por medio. Estas transacciones ocurren con más frecuencia, y las juntas de vigilancia las aceptan siempre que la infraestructura lo permita y no se vea ningún usuario afectado.

Es decir, se observa flexibilidad en el sistema de distribución, flexibilidad que es producto del buen criterio de asignar las aguas hacia el punto donde son más requeridas porque producen mayor valor. .

El mercado del agua ofreció la posibilidad de traspasar aguas, en el sentido de reconocer que el agua tiene valor, y que debe ser asignada al uso más rentable. De esta forma, la reasignación del agua es un proceso en el que todos ganan.

Aguas abajo del sistema Paloma, las reasignaciones funcionan un poco diferente, debido a que el agua está embalsada. Las transacciones permanentes de acciones o derechos existen igual que aguas arriba de los embalses, debiendo respetar los transantes solamente el hecho de que los derechos sean posibles de entregar al nuevo usuario a través de la red de canales existentes. La excepción a esto la constituye la Asociación del Embalse Recoleta, que ahora último, desde hace dos años, ha prohibido que sus derechos y también sus volúmenes sean vendidos hacia sectores de riego que no sean los que abastece este embalse, para evitar que quede muy poca agua en los canales propios. Pero en general los derechos pueden ser vendidos con flexibilidad dentro del sistema.

Por otro lado, el mercado temporal no es de flujos, como aguas arriba de los embalses, sino que es de volúmenes, y abarca solamente una temporada. Este tipo de mercado lo permite el embalsamiento total de las aguas que se usan durante una temporada. El mercado de volúmenes es completamente formal, porque cada usuario tiene, al inicio de la temporada, un volumen asignado en una cuenta corriente, correspondiente al agua con que han quedado dotadas sus acciones. De acuerdo con las reglas del mercado, él dispone de ese volumen para usarlo o transarlo, de igual manera que puede comprar volúmenes adicionales a regantes que deciden prescindir de sus aguas por una temporada. Esta forma de administración, en conjunto con un sistema de canales con origen en los embalses y destino en diversas zonas de riego, dan gran flexibilidad al sistema de asignación, y permiten una fluida reasignación del recurso hídrico.

Los precios del agua en el mercado temporal tienen una gran relación con la sequía. El precio normal de unos $ 10 o 20/m3, puede llegar a $ 80 y 100/m3 en épocas de sequía.

Por otro lado, el aumento de valor de las tierras regadas, debido a la cotización internacional de productos como la uva de mesa de exportación, paltos y cítricos, ha hecho también que haya un aumento de valor de las acciones de agua (mercado permanente). Por ejemplo, en el río Limarí, una acción el año pasado costaba $ 1.200.000, y hoy vale el doble. En Recoleta, el año pasado una acción valía $700.000, y hoy vale $1.800.000.

La gran flexibilidad para la asignación del agua, y por ende la gran actividad del mercado del agua, en especial de volúmenes, pero también de acciones, es lo que ha convertido a la cuenca del Limarí en una rareza a nivel internacional, y en objeto de diversos estudios, en los cuales se ha podido observar los beneficios de un sistema flexible de asignación del agua y de los derechos de agua entre los diferentes usuarios.

ii) Estudio de Oscar Cristi sobre el mercado del agua en la cuenca del Limarí

Para esta cuenca, con fondos del Banco Mundial se ha realizado un interesante estudio sobre el mercado del agua, llamado "Mercado de agua para irrigación. Una aplicación al Sistema Paloma de la Cuenca del Limari, Chile", 2001. Los autores son Oscar Cristi y Sebastián Vicuña. El estudio de refiere sólo al sector aguas abajo del sistema de embalses.

Al inicio de dicho estudio se comenta que hay muy pocos países que han instituido el mercado libre del agua, por lo cual hay un retraso en esta materia a nivel mundial. Las causas para tal retraso en estas materias serían fundamentalmente las siguientes:

- la dificultad que enfrentan los gobiernos para establecer una asignación inicial de los derechos de aprovechamiento, y
- el escepticismo de los políticos frente a las posibilidades reales del mercado del agua para crear bienestar. Aunque reconocen su valor teórico, piensan que tiene muchas restricciones prácticas que limitan el número de participantes.

Chile sería un país de excepción, con uno de los mercados de agua más liberales a nivel mundial, por lo que ofrece muy buenas posibilidades de investigación, más aún teniendo una historia y una actividad del mercado del agua de ya casi 25 años.

En el Sistema Paloma coexisten dos tipos de merado: el mercado de acciones, de transacciones permanentes, y el mercado de volúmenes (o mercado spot), de transacciones temporales. Para la actividad de estos mercados, que se considera importante, se identifican las siguientes causas:

- asignaciones históricas de los derechos que no se ajustan necesariamente a la ubicación actual de las demandas
- existencia de agricultores con cultivos no permanentes, cultivos cuya rentabilidad puede quedar por debajo del precio del agua en años de sequía
- facilidad para la reasignación (o bajos costos de transacción), debido a la existencia de una buena infraestructura y de un buena gestión por parte de las asociaciones
- diferencia en el retorno marginal del agua entre los diferentes agricultores

A continuación se caracterizan los dos tipos de mercado: de volúmenes, también llamado spot, y de acciones.

Mercado spot

Para el mercado spot, se señala que se debe a que las demandas de cada asociación, no coinciden con la distribución de agua que se hace según las acciones. Por eso hay importantes traspasos entre asociaciones, identificándose algunas como demandantes netos, mientras otras son oferentes netos. Las demandantes netas serían las del Canal Camarico y Embalse Cogotí, mientras que la oferente neta sería la del Río Grande y Limarí. La Asociación del Recoleta no es ni demandante ni oferente neta, porque entrega tanto como recibe. .

Para ejemplificar lo anterior, en una temporada normal como la del año 1999-2000, hubo traspasos en total por 24.200.000 m3, lo que equivale a un 7,5% del total del agua distribuida (320.000.000 m3). Ese año, la ACCC recibió desde otras asociaciones más del 35% del agua consumida, y la ACEC más del 7%, mientras que la JVRL entregó el 20% de su dotación. .

En el año de la gran sequía, las mismas asociaciones recibieron más del 35 y 12% respectivamente, mientras que la JVRL ese año entregó un 40% de su dotación.

Por otro lado, el año 97/98, después de la sequía, el mercado de volúmenes alcanzó un mínimo desarrollo, debido a dos factores: la casi total falta de agua al inicio, y la disponibilidad excesiva al final de ese período, debido a las fuertes lluvias de invierno, que llevaron a régimen de río libre.

Las Figuras 6-48, 6-49 y 6-50 ilustran esta situación. Los datos del estudio provienen de la DOH, Administración Sistema Paloma.

Figura 6-48
% de volumen de agua recibido por cada asociación durante la sequía

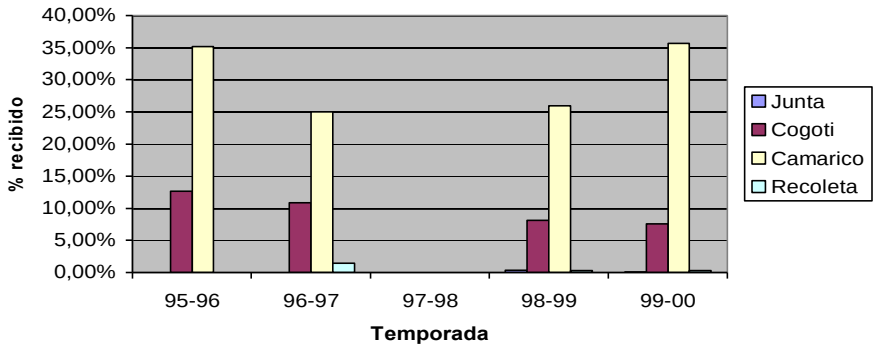


Figura 6-49
% de volumen de agua entregado por cada asociación durante la sequía

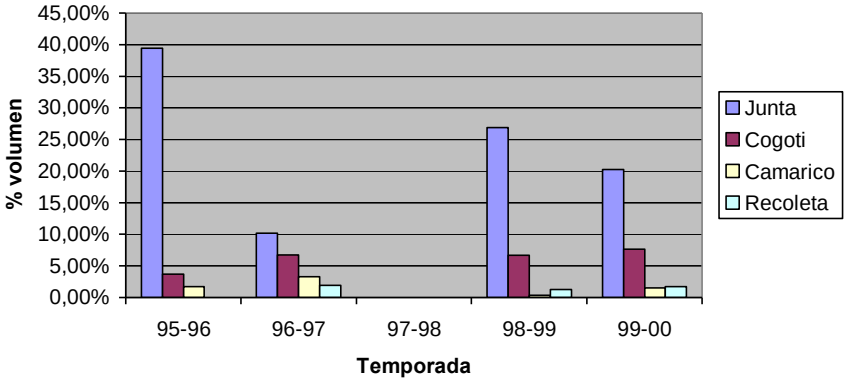
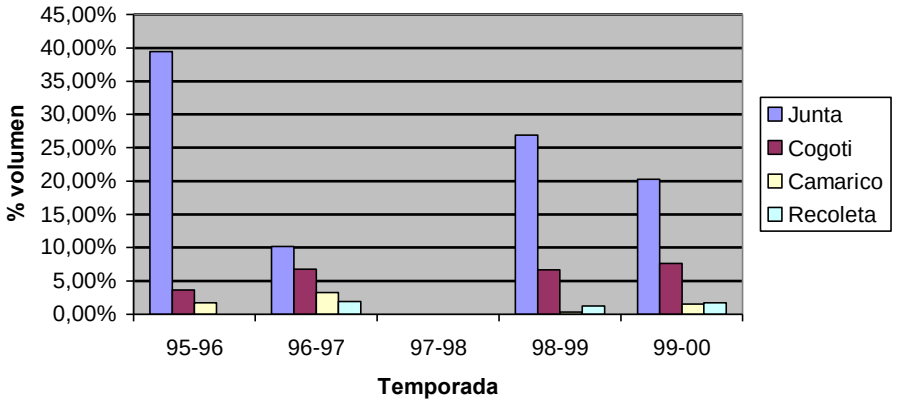


Figura 6-50
Porcentaje entregado del volumen asignado a cada asociación

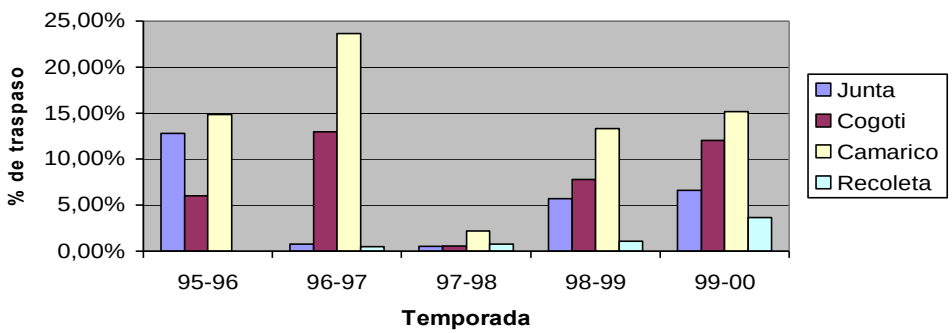


El hecho de que algunas asociaciones sean demandantes netas y otras oferentes netas, se explica porque las demandantes concentran gran parte de los cultivos permanentes de alta rentabilidad, especialmente uva. Además, gran parte de los regantes de la ACEC tienen sus tierras en el río Huatulame, que tiene un excelente clima, el cual eleva aún más el rendimiento de cada m3 de agua aplicada.

Por otra parte, también hay traspasos de volúmenes al interior de cada asociación, debido a que también al interior de ellas hay regantes con distintos tipos de cultivos de distinta rentabilidad o retorno marginal para el agua. La cantidad de traspasos internos significó, en la temporada 1999-2000, un volumen de 26.600.000 m3, vale decir, un 8% del agua asignada. La mayor actividad en cuanto a traspasos internos se registra en ACCC y ACEC, con valores máximos de 24% y 13% del total del agua asignada, justamente durante la temporada de sequía. La evolución para las diferentes temporadas se ilustra en la Figura 6-51.

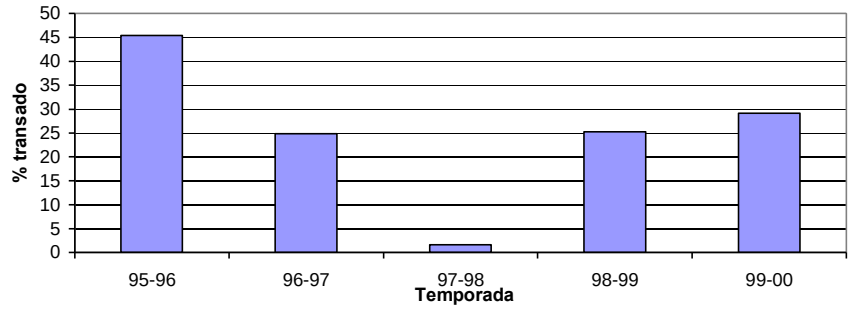
De los traspasos internos, todos corresponderían efectivamente a un mercado de aguas. De los traspasos entre asociaciones, se estima que sólo un 75% correspondería al mercado del agua, porque el resto serían traspasos solicitados por propietarios de agua entre tierras de su propiedad, ubicadas bajo diversas asociaciones, es decir, serían traspasos sin una transacción de por medio.

Figura 6-51
Porcentaje de traspasos internos por asociación



Sumando los traspasos internos y externos de las asociaciones, y asumiendo que sólo un 75% de los traspasos externos corresponde a un mercado del agua, una estimación de los traspasos que constituyen mercado spot del agua sería la siguiente, que se muestra en la Figura 6-52.

Figura 6-52
Porcentaje transado del volumen total



En relación con la temporalidad del mercado spot, en la mayor parte de las temporadas, se observó que este mercado se activa después del invierno, una vez conocido el volumen de agua caída por efecto de lluvias, y cuando el verano más seco comienza a apremiar. No se producen compras anticipadas de agua.

Mercado permanente

Por otro lado, en esta cuenca también está bastante desarrollado el mercado de derechos de agua, o mercado permanente, que busca optimizar la asignación inicial de los derechos de aprovechamiento. La actividad o profundidad de este mercado se ilustra en el Cuadro 6-73 donde se observa que, sobre el total de los derechos existentes por asociación, en el período 1980-2000 se han reasignado entre 20 y 50% por asociación. Tomando todas las acciones en conjunto, entre 1981 y 2000 se han reasignado más de un 27%.

Cuadro 6-73
Actividad del mercado permanente

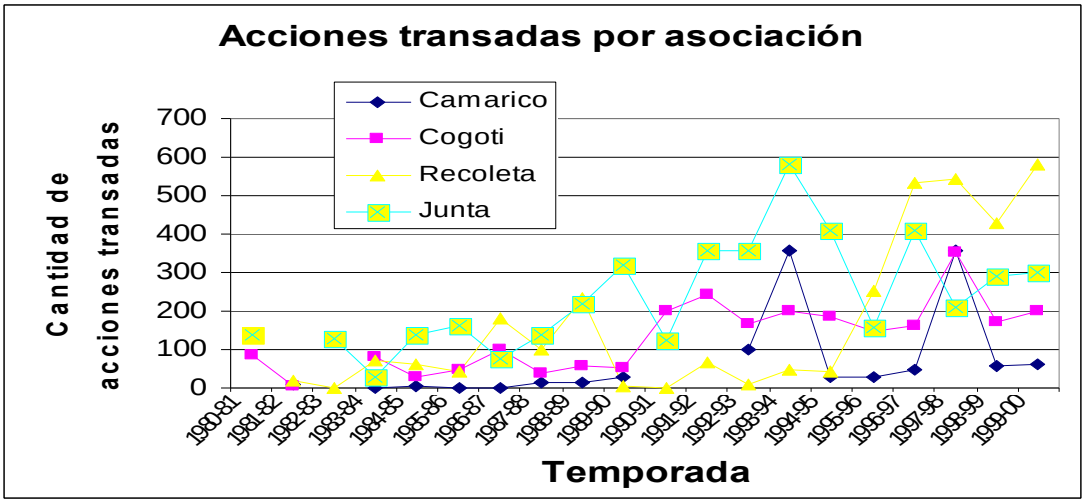
AR	Total Acciones Internas de cada Asociación	Periodo 80-00		Periodo 80-91		Periodo 91-00	
		Acciones Transadas	Profundidad de Mercado	Acciones Transadas	Profundidad de Mercado	Acciones Transadas	Profundidad de Mercado
ACCC	5,500	1,122	20.40%	82	1.50%	1,040	18.90%
ACEC	12,000	2,529	21.10%	699	5.80%	1,830	15.30%
ACER	15,000	3,226	21.50%	723	4.80%	2,503	16.70%
JVRL	8,383	4,523	54.0%	1,453	17.3%	3,070	36.6%
Total	40,883	11,401	27.9%	2,956	7.2%	8,444	20.7%

Nota: La profundidad de mercado se obtiene dividiendo el número de acciones transadas en cada periodo por el número total de acciones.

El Cuadro 6-73 también muestra un claro aumento de la actividad de este mercado entre la primera y la segunda década de funcionamiento, lo que se atribuye a la necesidad de

maduración del concepto del mercado. La Figura 6-53 muestra la evolución temporal de este mercado.

Figura 6-53
Evolución temporal del mercado del agua por asociación



De acuerdo con algunas estimaciones de volumen asociado a acciones según la dotación del año de la venta, los autores establecieron una comparación entre los mercados spot y de acciones, llegando a la conclusión de que el mercado spot era entre 4 y 7 veces mayor que el de acciones, en términos de volúmenes transados.

Motivos para participar en cada uno de los mercados

Un análisis de los motivos para participar en cada uno de los mercados, muestra que en el mercado spot, lo que se busca principalmente es estabilizar las cantidades disponibles cuando las dotaciones están bajo la media. En el mercado de acciones, lo que se busca fundamentalmente es contar permanentemente con más agua, en especial para asegurar la disponibilidad en épocas de sequía (motivo estructural). Pero se observa que en realidad, ambos motivos están presentes en ambos mercados.

El objetivo es minimizar las pérdidas económicas asociadas a la merma de agua en cultivos permanentes de alto valor. El agua suplementaria que requieren estos cultivos, proviene de los agricultores con cultivos no permanentes, para los cuales puede ser más rentable entregar sus aguas, que regar con poca agua.

Precios en el mercado spot

En el mercado spot, lógicamente los precios reflejarían la escasez relativa del recurso. En el Cuadro 6-74, que presenta valores de precios para un año normal y dos años consecutivos de sequía, se observa que el máximo precio real se produce en la temporada de plena sequía de 1996/7.

Cuadro 6-74
Resumen del promedio de precios reales por m^3 de agua

AR	Temporada 95-96		Temporada 96-97		Temporada 99-00	
	Precio promedio (UF/m^3)	N° de obs	Precio promedio (UF/m^3)	N° de obs	Precio promedio (UF/m^3)	N° de obs
HACER	0.0022	6	0.0035	18	0.0003	3
JVRL	0.0017	8	0.0022	8	0.0007	1
ACCC	0.0019	9	0.0034	13	0.0011	5
ACEC	0.0021	8	0.0037	14	0.0008	8
TOTAL		31		53		17

Fuente: Cristi, Oscar, 2001

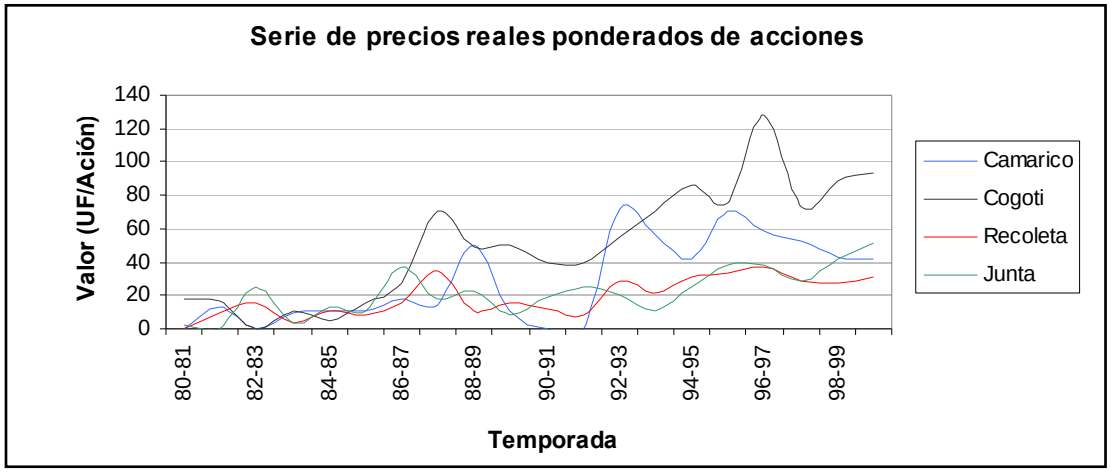
Precios en el mercado permanente

En los precios del mercado permanente se ven reflejadas varias realidades de la cuenca. En primer lugar, hay un alza sistemática de los precios reales, que refleja la intensificación de esta demanda en el tiempo.

En segundo lugar, hay cierta heterogeneidad en los precios de los derechos entre las diferentes asociaciones. Las diferencias, aunque tienden a disminuir en el tiempo, se mantienen especialmente para los regantes de la ACEC sobre el embalse Paloma. Este hecho no se correlaciona ni con la dotación de las acciones, ni con la variabilidad de la dotación, sino que se atribuye a la escasez relativa de opciones para adquirir derechos permanentes. La dificultad relativa de obtener recursos permanentes en el tramo bajo Cogotí y sobre Paloma, es mayor que bajo Paloma.

En la Figura 6-54 se muestra la evolución de los precios ponderados de las acciones de las diferentes asociaciones.

Figura 6-54
Evolución de los precios ponderados de las acciones



También se observa que hay una heterogeneidad de precios en las transacciones que se realizan al interior de las asociaciones. Al mismo tiempo que aumenta el valor promedio de las acciones, aumenta también la dispersión de los valores en torno al promedio. Esto se puede apreciar en el Cuadro 6-75 que se refiere a la JVRL.

Cuadro 6-75
Dispersión de precios (UF / acción) en la JVRL

TEMPORADA 80-91		TEMPORADA 91-00	
Media	22.16	Media	38.27
Desviación estándar	23.86	Desviación estándar	35.27
Rango	160.01	Rango	348.96
Mínimo	0.24	Mínimo	1.04
Máximo	160.25	Máximo	350

Fuente: Cristi, Oscar, 2001

De acuerdo con un test estadístico aplicado por los autores, la variabilidad de los precios aumenta en las asociaciones JVRL y ACEC, se mantiene constante para la ACER y disminuye para la ACCC.

En un mercado que se hace más activo, y en el que aumenta el número de participantes, se esperaría que disminuyera la variabilidad de precios. El hecho de que la variabilidad de precios no disminuya al interior de todas las asociaciones, se explica a través de una formación de precios no colectiva sino que bilateral, es decir, un acuerdo entre dos partes. Este tipo de formación de precios se observa, efectivamente, cuando la búsqueda de los mejores acuerdos comerciales es costosa, porque no hay intermediarios, lo que se constató en las entrevistas. Además, este tipo de formación de precios tiene una componente subjetiva, que es el valor de reserva que cada parte le reconoce al agua, y que puede ser muy variable en función de la aversión al riesgo.

Los precios del mercado permanente no parecen estar influenciados por la variación de la dotación de ellos entre temporadas. Sin embargo, la baja disponibilidad durante la larga sequía de 1995 a 1997 parece haber influido en la elevación de los precios de los derechos.

Beneficios del mercado del agua

En el estudio se identifican tres tipos de beneficios muy claros que genera el hecho de tener derechos de agua, bien definidos, exigibles y transables en el mercado:

- aumento del producto bruto de la zona debido a la reasignación del agua hacia las actividades de mayor valor
- estabilización de los ingresos de pequeños y medianos agricultores, que pueden optar entre.producir o vender su agua, dependiendo lo que más les convenga
- para los agricultores que no tienen libre acceso al crédito, el agua es una fuente de liquidez que requieren para explotar sus tierras.

El primero sería la razón fundamental para establecer mercados del agua. Los dos siguientes serían externalidades positivas de tal mercado.

Conclusiones del estudio

- El Código de Aguas chileno (antes de sus modificaciones de 2005), ya era suficientemente flexible como para haber permitido un gran desarrollo del mercado en la cuenca del Limarí. El mercado permite la reasignación del agua hacia el uso que produce el mayor valor.
- Un rol preponderante en el desarrollo de este mercado lo juegan las Asociaciones. La buena y ordenada forma de llevar los registros, posibilita los traspasos.
- La condición necesaria para el mercado spot es el embalsamiento.
- Las cifras confirman la importancia y la profundidad del mercado en la cuenca.
- La correlación negativa entre disponibilidad y precio muestra que este mercado opera correctamente
- Habría externalidades negativas, que aunque no se analizan en este estudio, se refieren a los efectos sobre terceros al aumentar las pérdidas porcentuales de conducción.

Desafíos pendientes:

Se identifican dos campos de acción para mejorar la eficiencia de este mercado:

- Orientar cada uno de los motivos de demanda hacia un determinado tipo de mercado, que llevaría a la asignación óptima según un análisis de Howitt (1996). Así, con el objetivo de estabilización de temporada, debería acudirse al mercado spot, y con el motivo estructural, al mercado permanente.

  En la cuenca del Limarí hay una mezcla de ambos motivos para acudir a ambos tipos de mercado. El hecho de que se acuda al mercado spot por motivos estructurales, se atribuye a la incapacidad de muchos agricultores de financiar derechos permanentes. Por otro lado, acudir al mercado permanente por motivos de estabilización de temporada, se atribuye a la aversión al riesgo que tienen muchos agricultores, y que ven en esta forma de proceder la manera de asegurarse el agua para las épocas de sequía. Sin embargo, ambas formas cruzadas de proceder, atentarían contra la eficiencia del mercado, porque se quedarían aguas sin relocalizar

  Para lograr este tipo de reorientación, lo que se propone, por un lado, es formalizar un mercado de opciones de compra de agua. Este mercado fundamentalmente reduce las incertidumbres, y con ello reduce el acceso de agricultores con motivos de estabilización al mercado permanente. Se quedarían en el mercado temporal si éste fuera más seguro.

Por otro lado, para evitar que los agricultores con motivos estructurales acudan al mercado spot, se propone la solución clásica de facilitarles el acceso al crédito.

- Mejorar el mecanismo de formación de precios en el mercado permanente, para evitar que por trabas subjetivas o falta de información haya transacciones potencialmente necesarias que no se produzcan.

  Para ello, el mercado de opciones sería una forma de reducir el problema. Adicionalmente se propone fortalecer aún más las organizaciones de regantes, homogeneizar sus sistemas computacionales. En definitiva, se propone lograr que actúen como grandes bases de datos, como grandes informantes de sus usuarios y como intermediarios para las transacciones.

6.9 DIAGNÓSTICO DE LA EFICIENCIA AMBIENTAL

El diagnóstico de la eficiencia ambiental de los usos del agua se efectúa desde dos miradas. En primer lugar, se hace una presentación de la calidad de las aguas de la cuenca, con bastante detalle. Posteriormente, se efectúa la identificación de los usos que imprimen esta calidad a las aguas, y se obtiene por conclusión cuáles de los usos son ambientalmente eficientes y cuáles no. Este último punto se presenta en el Capítulo 10.2.4.

6.9.1 Antecedentes para el análisis

Para el desarrollo de este tema se contó con dos tipos de información: información base constituida por resultados de monitoreos de calidad, e información elaborada en algunos estudios.

a) Información base

La información base que fue posible recopilar para el desarrollo de este análisis fue la siguiente:

- La información de calidad que genera la DGA en sus estaciones de monitoreo de calidad de aguas. Este monitoreo se realiza desde 1991 en la mayoría de las estaciones, y consiste en mediciones trimestrales de 32 parámetros, de los cuales los primeros 4 se miden en terreno y los restantes en laboratorio:
  - Conductividad específica
  - Temperatura
  - Oxígeno Disuelto
  - pH
  - Bicarbonatos HCO_3
  - Boro B
  - Carbonatos CO3
  - Cianuro CN
  - Cloruros Cl
  - Nitratos NO3
  - Nitritos NO2
  - Aluminio total Al
  - Arsénico total As
  - Cadmio total Cd
  - Calcio disuelto Ca
  - Cobre total Cu
  - Cromo hexavalente total Cr VI
  - Hierro total Fe
  - Litio disuelto Li
  - Magnesio disuelto Mg
  - Manganeso total Mn

- Mercurio total Hg
- Molibdeno disuelto Mo
- Níquel total Ni
- Plata total Ag
- Plomo total Pb
- Potasio disuelto K
- Selenio disuelto Se
- Sodio disuelto Na
- Zinc total Zn
- Cobalto total Co
- RAS Razón de adsorción de sodio

Las estaciones de monitoreo de calidad de la DGA, de aguas superficiales y subterráneas, en la cuenca del Limarí, son las siguientes:

- Río Grande en Las Ramadas
- Río Mostazal en Huestecita
- Río Rapel en Palomo
- Río Grande en Puntilla San Juan
- Pozo en Monte Patria
- Río Combarbalá en Ramadillas
- Río Cogotí en Fragüita
- Río Cogotí en entrada embalse Cogotí
- Río ulame en El Tome
- Río Hurtado en San Agustín
- Río Hurtado en Angostura de Pangue
- Pozo Mina Panulcillo
- Estero Punitaqui en Punitaqui
- Estero Punitaqui antes junta Limarí
- Río Limarí en Panamericana

- La información de calidad obtenida en el Servicio de Salud de Coquimbo, que consiste en un conjunto de datos obtenidos de muestreos realizados desde enero 2003 hasta 2005. Estos muestreos están específicamente enfocados a dilucidar si hay problemas con las mineras, y la calidad de las aguas crudas y potables en el sector de Punitaqui.

  Los parámetros que ha muestreado el Servicio de Salud, son los siguientes:
  - Cianuro
  - Cobre
  - Hierro
  - Manganeso
  - Total Sólidos Disueltos
  - Sulfatos
  - Conductividad
  - pH

Las estaciones de muestreo son las siguientes:

- Quebrada del Ingenio
- Río San Miguel después de quebrada Las Mollacas
- Pueblo Nuevo
- Punitaqui

- La información sobre calidad de riles y aguas servidas de la IVª Región obtenida de la SISS. Esta información es la siguiente:

  - listado de todas las plantas de tratamiento de aguas servidas que operan en la cuenca del Limarí, con información sobre el tipo de planta, fecha de autorización, población saneada a dic 2002 y 2003, caudal promedio tratado en 2004, y normativa a que está afecta cada una de las plantas.

  - listado de las industrias que entregan sus riles al alcantarillado de las diferentes plantas de tratamiento de la empresa Aguas del Valle, y si cumplen o no cumplen con el DS 609 / 98. La SISS fiscaliza esos riles y traspasa la información de las industrias que no cumplen con el DS. 609, a la empresa, para que pueda proceder a aplicar las multas correspondientes.

  - listado de las industrias que entregan sus riles al mar. No hay ninguna de estas industrias en la cuenca del Limarí.

  En la cuenca del Limarí, oficialmente hay una sola industria que descarga sus efluentes al río, específicamente al río Limarí, que es la planta de jugos concentrados La Chimba, propiedad de CAPEL. Esta empresa cuenta con una Resolución de Calificación Ambiental favorable, que aprobó su sistema de tratamiento de riles, el cual se encuentra en proceso de puesta en marcha., por lo que la SISS, a la fecha de este estudio, no dispone aún de datos de calidad de sus efluentes.

  Tampoco habría efluentes directos desde las empresas mineras hacia los ríos, porque teóricamente las aguas se recirculan. No obstante ello, la minera Panulcillo ha generado por mucho tiempo contaminación por filtraciones hacia la Quebrada El Ingenio, las cuales están en proceso de controlarse con nuevas obras. Por otro lado, también hay efectos de difusión de contaminantes desde las tortas de relaves presentes en diversos lugares, hacia las aguas, a través de los procesos de lixiviación de metales. El conjunto de todos estos efectos es lo que se trata de pesquisar a través de los muestreos. .

  No hay información en la SISS ni en la DGA sobre empresas que estén descargando riles hacia aguas subterráneas.

b) Información elaborada

Además, se contó con la información elaborada en dos estudios, relacionados con la calidad del agua y con temas medioambientales, para los cuales se presenta una reseña de contenido en el Anexo Digital X.

- **Levantamiento catastral de los tranques de relaves en Chile. Etapa B: Regiones IV, VI y VII. Catastro resumido de los tranques de relaves de la IVª Región, Coquimbo, Ingeniería y Geotecnia Ltda, para Sernageomin, Marzo 1990**

- **Diagnóstico y Clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del río Limarí. Cade-Idepe para Dirección General de Aguas. Diciembre 2004**

El Cuadro 6-76 adjunto muestra los parámetros que se decidió analizar en este segundo estudio, por ser obligatorios para las normas secundarias, o por exceder los límites de la clase de excepción.

Cuadro 6-76
Parámetros seleccionados para análisis en estudio CADE-IDEPE

PARÁMETROS	UNIDAD	FUENTE	MINIMO	MAXIMO	CLASE 0	SELECCIÓN
FISICO-QUÍMICOS						
Conductividad Eléctrica	µS/cm	DGA	32	2670	<600	Obligatorio
DBO5	mg/L	-	s/i	s/i	<2	Obligatorio
Color Aparente	Pt-Co	-	s/i	s/i	<16	No
Oxígeno Disuelto	mg/L	DGA	4.4	14.9	>7.5	Obligatorio
pH	unidad	DGA	6.1	9.7	6.5 - 8.5	Obligatorio
RAS	-	DGA	0.3	25.2	<2.4	Si
Sólidos disueltos	mg/L	SAG	678	1750	<400	Si
Sólidos suspendidos	mg/L	-	s/I	s/i	<24	Obligatorio
ΔTemperatura	ºC		-	-	<0.5	No
INORGÁNICOS						
Amonio	mg/L	-	s/I	s/i	<0.5	No
Cianuro	µg/L	-	s/I	s/i	<4	No
Cloruro	mg/L	DGA	0.4	550.3	<80	Si
Fluoruro	mg/L	-	s/I	s/i	<0.8	No
Nitrito	mg/L	-	s/i	s/i	<0.05	No
Sulfato	mg/L	DGA	0.1	300.0	<120	Si
Sulfuro	mg/L	-	s/i	s/i	<0.04	No
ORGANICOS		-	s/i	s/i		No
ORGANICOS PLAGUICIDAS		-	s/i	s/i		No
METALES ESENCIALES						
Boro	mg/l	DGA	<0.01	2.35	<0.4	Si
Cobre	µg/L	DGA	1	160	<7.2	Si
Cromo total	µg/L	DGA	<10	<10	<8	No
Hierro	mg/L	DGA	0.01	5.4	<0.8	Si
Manganeso	mg/L	DGA	0.001	0.54	<0.04	Si
Molibdeno	mg/L	DGA	<0.01	<0.01	<0.008	No
Níquel	µg/L	DGA	<10	20	<42	No
Selenio	µg/L	DGA	<1	80	<4	Si
Zinc	mg/L	DGA	0.001	0.08	<0.096	No

PARÁMETROS	UNIDAD	FUENTE	MINIMO	MAXIMO	CLASE 0	SELECCIÓN
METALES NO ESENCIALES						
Aluminio	mg/L	DGA	0.01	4.40	<0.07	Si
Arsénico	mg/L	DGA	<0.001	0.034	<0.04	No
Cadmio	µg/L	DGA	1	<10	<1.8	No
Estaño	µg/L	-	s/i	s/i	<4	No
Mercurio	µg/L	DGA	<1	<1	<0.04	No
Plomo	mg/L	DGA	<0.01	<0.01	<0.002	No
MiCROBIOLOGICOS						
Coliformes Fecales (NMP)	gérmenes/100 ml	SAG	12	512	<10	Obligatorio
Coliformes Totales (NMP)	gérmenes/100 ml	-	s/i	s/i	<200	No

6.9.2 Presentación espacio-temporal de la información disponible

En este subcapítulo se presenta la información de calidad de aguas, sistematizada. Se presenta información sobre parámetros de calidad físico-química general y específica, y bacteriológica.

Este análisis se hace a la luz de las normas de calidad de agua potable y de riego, que son las que más interesan en la región, y son las más fáciles de comprender por el lector. El análisis de efluentes de plantas de tratamiento de aguas servidas se hace a la luz de las normas de emisión, que son relativamente recientes.

La información que se analiza es la información disponible, que proviene de la DGA y del Servicio de Salud de Coquimbo y SAG. También se presentan algunos antecedentes recogidos en el estudio de calidad de CADE-IDEPE.

Se comenta la evolución espacio-temporal de los parámetros, desde aguas arriba hacia aguas abajo. En el Informe del Etapa V se presentan los gráficos que muestran la evolución de la calidad en la cuenca.

NCh 409 / 84:

Entre los 32 parámetros que mide la DGA, no se encuentran los parámetros físicos de turbiedad, color, olor y sabor, normados para su entrega después de los tratamientos y cloración, ni los parámetros microbiológicos de coniformes y cloro residual libre. Tampoco se miden el amoníaco, los detergentes, fluoruro, herbicidas organoclorados ni pesticidas organoclorados, de los cuales la norma regula una gran cantidad (14). Lo que sí se mide son los macroiones, y algunos elementos traza o microiones, no todos regulados por las normas, los cuales se comentan a continuación.

Por otro lado, el Servicio de Salud de Coquimbo sólo mide sólidos totales disueltos, algunos metales (cobre, hierro y manganeso), algunos microelementos (arsénico y cianuro, y ocasionalmente plomo y mercurio), y sulfatos, todos regulados por la norma de agua potable.

El SAG, por su parte, está comenzando un estudio muy grande de monitoreo de calidad de aguas en esta cuenca, con el objetivo de recoger recomendaciones. De todas formas, las agroindustrias han contraído compromisos de producción limpia con la COREMA, por lo cual actualmente se informa que ya no descargarían vertidos al río.

NCh 1333 of.78

La DGA no mide los parámetros Bario, Berilio, Fluoruros, Sólidos disueltos totales, Vanadio ni Coniformes fecales, que se encuentran en la norma de agua para riego y otros usos.

Los parámetros que mide el Servicio de Salud están todos incluidos en las normas de riego y otros usos, pero hay muchos parámetros más, que están limitados por dicha norma, que este servicio no mide.

La norma de agua para riego y otros usos no es la que regula los límites para los agentes activos de herbicidas y pesticidas, sino que esto lo hace la norma de agua potable.

a) Parámetros generales

A continuación se presenta el comportamiento de los parámetros generales de calidad dentro de la cuenca. Los parámetros generales medidos son: la Conductividad, pH, Temperatura y Oxígeno Disuelto.

pH

La norma limita el pH a valores entre 6 y 8,5 para agua potable, y entre 5,5 y 9 para agua de riego.

Se observa que no hay grandes variaciones de pH a lo largo de la cuenca. Los valores característicos están entre 7 y 8, generalmente alrededor de 8, y no superan el valor de 8,5, límite de la norma de agua potable. En el estero Punitaqui se observan un poco más altos, de 8,5 como valor característico.

En general, los afluentes en sus cabeceras tienen valores de pH dentro de ambas normas. Hacia aguas abajo los valores suben levemente, superando algunos valores la norma de agua potable, y sólo muy rara vez la norma de riego.

Las aguas subterráneas se muestrean en dos puntos, Montepatria y minera Panulcillo. En ambos puntos presentan las mismas características, no superando ninguna norma.

Conductividad eléctrica

En esta cuenca, la conductividad eléctrica de los ríos principales, en sus cabeceras, se mantiene para todos ellos bajo 500 umhos. El agua más pura es la del río Combarbalá, con valores características de conductividad bajo 200 umhos.

Hacia aguas abajo, las conductividades aumentan, pero no significativamente. De hecho, ningún afluente salvo el estero Punitaqui, aporta conductividades mayores que 500 umhos. Este estero, ya desde su cabecera, tiene valores de 800 a 900 umhos, los que aumentan a valores variables entre 1000 y 2000 umhos antes de su junta con el Limarí.

El Limarí en Panamericana presenta una conductividad muy variable, entre 500 y 3500 umhos, dependiendo de si el año es húmedo o seco.

Las aguas subterráneas difieren fuertemente en este parámetro. Las de Montepatria tienen valores característicos de 750 umhos, mientras que las del pozo de Panulcillo presentan 1500 umhos. Estos pozos están en un acuífero lateral, fuera de la cuenca principal.

Los análisis del Servicio de Salud muestran lo siguiente:

La influencia de las mineras ubicadas en la quebrada Las Mollacas, afluente al río San Miguel, afluente, a su vez, del río Mostazal, no es perceptible en el.parámetro de la conductividad. Valores naturales de entre 90 y 320 umhos antes de la influencia de las mineras, pasan a valores entre 100 y 350 umhos después de la confluencia, lo que muestra que no hay un aporte importante de iones mayores.

Diferente es la situación frente a la minera Panulcillo. Valores naturales del estero El Ingenio, de entre 800 y 1200 umhos, se ven fuertemente alterados llegando valores de entre 1500 y 4900 umhos, dependiendo de los caudales. Estos valores se ven sólo levemente mitigados hacia aguas abajo, manteniéndose las altas conductividades por lo menos hasta el baden del camino a Limarí, unos 5 km más abajo.

El Servicio de Salud también muestrea las aguas potables de Punitaqui y Pueblo Nuevo. Se registran conductividades entre 700 y 1300 umhos para Punitaqui en la red de Aguas del Valle, y entre 1300 y 1900 umhos para Pueblo Nuevo, en el agua que proviene de un pozo profundo de APR.

Temperatura

En todos los ríos de cabecera de esta cuenca, las temperaturas varían entre 5 y 25 ºC. En todos, igualmente, las temperaturas hacia aguas abajo crecen, llegando a medirse entre 10 y 30ºC. La excepción la constituye el estero Punitaqui, donde las temperaturas arriba (Punitaqui) son de entre 10 y 30 grados, pero hacia aguas abajo, se miden entre 10 y 25 grados, igual que finalmente en el río Limari en Panamericana.

En los pozos, la temperatura es más estable, de alrededor de 20ºC en Montepatria, y entre 15 y 20ºC en el pozo de Panulcillo.

Oxígeno Disuelto

En toda la cuenca, el oxígeno disuelto varía en forma natural entre 6 y 15 mg/l, en general incorporando oxígeno hacia aguas abajo. Los valores más característicos están entre 7 y 11

mg/l. La excepción es el agua de pozos, que en Montepatria tiene entre 0 y 5 mg/l, y en el pozo de Panulcillo, entre 1 y 6 mg/l.

b) Macroiones negativos

Bicarbonatos

Los bicarbonatos no tienen límites normados.

En forma natural, en la cabecera, los ríos afluentes tienen valores bajos, entre 40 y 120 mg/l. Hacia aguas abajo, los valores se van incrementando, hasta un rango usual entre 120 y 200 mg/l. Excepciones son el estero Punitaqui, con valores entre 120 y 320 mg/l, con lo cual el Limarí en Panamericana presenta valores entre 100 y 320 mg/l.

También el agua subterránea presenta altos contenidos de bicarbonatos, entre 120 y 380 mg/l en el pozo de Montepatria, y entre 250 y 420 mg/l en el pozo de la minera Panulcillo.

Carbonatos

Los carbonatos no están normados.

Los carbonatos, salvo en ocasiones excepcionales, no se registran en las aguas superficiales ni subterráneas de la cuenca. La única excepción a este comportamiento la constituye el estero Punitaqui en Punitaqui, donde suele presentar valores distintos de cero, entre 0 y 27 mg/l. Hacia aguas abajo, estos valores van disminuyendo, pero ocasionalmente todavía se miden en Limarí en Panamericana, con valores entre 0 y 20 mg/l.

Cloruros

Estos están normados para agua potable y para riego. Los límites son de 250 y 200 mg/l, respectivamente.

Ninguno de los ríos afluentes aporta concentraciones importantes de cloruro. Todos presentan concentraciones bajo 10 mg/l en sus recorridos altos, el río Huatulame tiene bajo 20 mg/l, y el agua subterránea del pozo Montepatria, bajo 30 mg/l.

Diferente es el comportamiento donde comienzan a influir las terrazas antiguas, que parecen tener contenidos no despreciables de cloruros, los que se manifiestan tanto en el agua subterránea (pozo de Panulcillo) como en las aguas superficiales del estero Punitaqui y también en el recorrido final del río Limarí, según se aprecia en la secuencia gráfica adjunta.

Sulfatos

Los sulfatos están limitados en ambas normas, a 250 mg/l, salvo excepciones.

En cuanto a los sulfatos, hay aportes naturales desde las cabeceras de los ríos Grande, Mostazal, Rapel y Hurtado. Estos aportes no son despreciables, varían entre 50 y 100 mg/l. No se percibe ningún aporte especial de sulfatos desde las mineras del río Mostazal.

Los ríos del sur, Pama, Cogotí y Combarbalá, casi no aportan sulfatos al sistema, pero ya en el río Huatulame, se han incorporado sulfatos hasta concentraciones de 100 mg/l. Las aguas subterráneas de Montepatria también presentan sulfatos alrededor de 100 mg/l.

Hacia aguas abajo, las concentraciones de sulfatos aumentan, probablemente a raíz de aportes naturales desde las terrazas más antiguas. Esto se observa en el estero Punitaqui, que en su recorrido llega alcanzar los 250 mg/l de concentración, y en el agua subterránea de la minera Panulcillo, donde los valores llegan hasta 200 mg/l.

El agua potable de Punitaqui presenta valores entre 100 y 200 mg/l, dentro de la norma. En el pozo de Pueblo Nuevo, en cambio, los sulfatos son muy altos, observándose valores entre 400 y 800 mg/l, fuera de norma.

Los valores más altos que se observan, y totalmente fuera de norma, son los de lña Quebrada del Ingenio, debido a los aportes de la minera Panulcillo. En un entorno natural de una concentración de 100 a 200 mg/l, frente a la minera se miden concentraciones que van en aumento desde el año 2003 al 2005: entre 400 y 1000, luego entre 600 y 2500, para llegar en 2005 a valores entre 2200 y 2700 mg/l. Hacia aguas abajo, en el baden camino a Limarí, los valores se han mitigado: son muy variables, pero en general no superan los 700 mg/l.

Probablemente debido a esta influencia, en el río Limarí en Panamericana con mucha frecuencia se miden valores de hasta 300 mg/l y más.

c) Macroiones positivos

Sodio

El sodio está normado para las aguas de riego, con un límite porcentual para la razón de adsorción de sodio de 35%, no así para el agua potable, donde el límite está dado por el sabor.

Se observa que en forma natural, en la zona alta de la cuenca, sobre embalses, no hay contenidos importantes de sodio en el agua. Las concentraciones se mantienen en general bajo 40 mg/l, incluso en las aguas subterráneas de Montepatria no superan los 40 mg/l. Esto, sin embargo, se modifica hacia aguas abajo, donde las terrazas fluviales antiguas sí parecen aportar sodio al agua, lo que se observa primero en el pozo de Panulcillo, pero también en el estero Punitaqui, y finalmente en Limarí en Panamericana, donde el sodio llega a superar los 250 mg/l.

.

De todas formas, el indicador que más interesa respecto del sodio es la razón de adsorción de sodio, que no debe superar el 35% para agua de riego. Esta razón se mantiene muy baja, bajo 1% en todos los ríos afluentes, bajo 2 y 3% en los pozos subterráneos muestreados, bajo 5% en

las aguas del Punitaqui, y bajo 5% en Limarí en Panamericana, punto que muestra los valores más altos de la cuenca.

Potasio

El potasio no está restringido en las normas de calidad.

El potasio prácticamente no tiene presencia en la cuenca. Los ríos afluentes a los embalses aportan concentraciones en general bajo1 mg/l, subiendo hasta pocos mg/l a medida que avanzan hasta aguas abajo. Tampoco las aguas subterráneas presentan concentraciones mayores que unos 5 mg/l. La mayores concentraciones de potasio se miden en el estero Punitaqui, de hasta 10 mg/l. En el Limarí en Panamericana, éstos se diluyen a valores bajo 7 mg/l.

Calcio

El contenido de calcio no está limitado por la norma.

Las aguas de esta cuenca no están desprovistas de calcio. Si bien en las cabeceras los ríos tienen concentraciones muy bajas, que no superan los 50 mg/l, hacia aguas abajo hay una clara incorporación de calcio a las aguas, que lleva a concentraciones de casi 200 mg/l en Limarí en Panamericana.

Magnesio

El contenido de magnesio está limitado a 125 mg/l en la norma para agua potable.

En toda la cuenca, el contenido de Mg no supera la norma, sin embargo se observan concentraciones diferentes en la cuenca. Las concentraciones en los ríos de cabecera, afluentes a los embalses, es muy reducida, no mayor que 25 mg/l. En las aguas subterráneas de los pozos de Panulcillo, los valores son algo superiores, llegando hasta 50 mg/l.

Más altos son los valores del estero Punitaqui, que llegan hasta 75 mg/l, igual que el río Limarí medido en Panamericana.

No hay información acerca de este parámetro en los registros del Servicio de Salud.

d) Microelementos

Se presenta a continuación el comportamiento de los microelementos normados, para los que hay mediciones disponibles en las fuentes antes señaladas.

Nitratos

Los nitratos están limitados a 10 mg/l en la norma para agua potable.

Los nitratos no son un tema de preocupación en esta cuenca. En forma natural, no sobrepasan los 2,5 mg/l, en general están muy por debajo de ese valor (0,5 mg/l), y no muestran ninguna tendencia de aumento en el tiempo. Lo mismo vale para el estero Punitaqui y Limarí en Panamericana. Los valores más altos se presentan en las aguas subterráneas, donde a veces llegan a superar los 5 mg/l.

Cianuro

El cianuro está limitado por ambas normas a un valor de 0,2 mg/l.

La DGA no mide cianuro en esta cuenca. Sólo lo mide el Servicio de Salud, en su programa de monitoreo de puntos específicos. Los resultados de estas mediciones muestran que el cianuro está bajo el límite de detección en todos los puntos muestreados, esto es, bajo los 0,005 mg/l.

Boro

El boro es un elemento que está regulado en la norma para riego, por su efecto fitotóxico. El límite es de 0,75 mg/l.

El boro, si bien no está ausente en esta cuenca, se encuentra la gran mayoría de las veces bajo el límite de detección de 1 mg/l. El gráfico presentado es representativo del comportamiento del boro en todos los puntos de muestreo.

Aluminio

La norma para riego limita el Aluminio a 5 mg/l.

Las mediciones de la DGA muestran que, si bien el aluminio está presente en las aguas de la cuenca, las concentraciones en general no superan la norma, y no presentan tendencias espaciotemporales de ningún tipo, según se aprecia en la serie de datos. Lo que sí se aprecia, son ocasionalmente algunos valores muy grandes, fuera de norma. Estos aumentos puntuales tendrían su origen en el derretimiento de nieves ácidas, capaces de incorporar al agua el aluminio presente en los aluminosilicatos (arcillas).

Arsénico

La norma de agua potable limita el contenido de arsénico a 0,05 mg/l, y la norma para riego, a 0,10 mg/l.

En la cuenca del Limarí la presencia de arsénico natural es muy baja. De hecho, en todas las estaciones se miden valores cercanos a 0.01 mg/l, con la única excepción del río Grande en cabecera, donde los valores llegan a 0,02 mg/l. Sin embargo, ninguna estación registra la presencia de este elemento en concentraciones superiores a los límites de las normas.

Cadmio

El cadmio es un elemento tóxico, por lo que está restringido por la norma de agua potable y de riego, a concentraciones de 0,01 mg/l.

En la cuenca del Limarí no se registra la presencia de cadmio en concentraciones por sobre la norma.

Cobre

El cobre es un elemento que está más restringido en la norma de riego (0,2 mg/l) que en la norma de agua potable (1 mg/l), pues es un microelemento esencial para el hombre.

No se registra presencia de cobre por sobre los límites de la norma de riego (0,2 mg/l) en ninguno de los puntos de muestreo de la DGA.

El Servicio de Salud de Coquimbo, que analiza el contenido de cobre en puntos específicos de la cuenca, no ha encontrado concentraciones de cobre significativas (0,2 mg/l, y sólo muy ocasionalmente de 0,3 mg/l), en la quebrada Las Mollacas (río Mostazal arriba).

Pero sí ha encontrado aportes muy grandes de cobre por parte de la minera Panulcillo. En un entorno natural donde el valor máximo es 0,2 mg/l, se han medido se han medido el año 2003 entre 2 y 8 mg/l, el año 2004 entre 5 y 43 mg/l, y el año 2005 entre 26 y 61 mg/l. Estas altas concentraciones, sin embargo, no se manifiestan en el estero El Ingenio, en el baden camino a Limarí, donde las concentraciones corresponden nuevamente a las del entorno natural.

El agua potable de Punitaqui presenta concentraciones de cobre entre 0,01 y 0,83 mg/l, valores que si bien sobrepasan la norma de riego, no sobrepasan la norma de agua potable. En el pozo de Pueblo Nuevo, no se registran concentraciones de cobre sobre los 0,1 mg/l.

Hierro

El hierro tiene límites de 0,3 mg/l para el agua potable, y de 5 mg/l para el agua de riego.

El hierro tiene presencia en la cuenca, especialmente en las zonas de cabecera de los ríos afluentes, en concentraciones que frecuentemente superan la norma de agua potable, pero no la de riego. Hacia aguas abajo, el contenido de hierro va disminuyendo. El hierro se mantiene dentro de los límites de la norma de agua potable, en las aguas subterráneas (salvo excepciones), y en toda la zona de Punitaqui y Limarí en Panamericana (salvo excepciones)

Las mediciones específicas del Servicio de Salud muestran que para Punitqui y Pueblo Nuevo, el agua potable tiene concentraciones en general bajo 0,3 mg/l, y sólo ocasionalmente mayores, llegando a un máximo absoluto de 0,51 mg/l en Punitaqui y 0,42 mg/l en Pueblo Nuevo.

Para la minera Panulcillo, el entorno natural presenta concentraciones de hierro no superiores a 0,81 mg/l. Sin embargo, en la Quebrada del Ingenio, frente a la minera, se miden

concentraciones cada vez mayores entre 2003 y 2005, entre 51 y 186 mg/l en 2003, entre 70 y 480 mg/l en 2004, y entre 215 y 588 mg/l en 2005. No obstante ello, en el baden camino a Limarí, sólo ocasionalmente se observan valores mayores que 0,3 mg/l. Esto se debería a la capacidad de la totora de absorber el hierro y otros metales pesados desde el agua que pasa a través de ella.

Para la planta minera ubicada en Las Mollacas, sólo ocasionalmente se miden valores sobre 0,3 mg/l, llegando a un máximo de 1,00 mg/l. En forma natural, también en el río San Miguel aguas arriba de las plantas ocasionalmente se miden valores sobre la norma de agua potable, de hasta 1,8 mg/l.

Litio

El litio está restringido por la norma de riego por su toxicidad para los cítricos, a una concentración de 0,075 lmg/l.

No hay muchas mediciones de litio en la cuenca por parte de la DGA. Las pocas mediciones que hay, muestran que prácticamente no se detecta litio en la cuenca salvo ocasionalmente, y en concentraciones muy inferiores al límite de la norma, por lo que el litio se dejó de medir. .

Manganeso

Los límites de las normas son de 0,1 mg/l para el agua potable y 0,2 mg/l para riego.

La presencia del manganeso se asocia a dos causas: el aporte desde la litología de alta cordillera, y las actividades mineras antrópicas. Se observa que los contenidos de manganeso son mayores en las cabeceras de las cuencas. Si bien no superan la norma de agua potable la mayoría de las veces, sí la superan en muchas oportunidades. Sin embargo, rara vez superan la norma de riego.

Hacia aguas abajo, los contenidos de manganeso se van reduciendo, de modo que en Limarí en Panamericana ya casi no se excede la norma de agua potable. No hay exceso de manganeso en las aguas de Punitaqui, ni en las aguas subterráneas, razón probable por la cual el Servicio de Salud no controla este parámetro en las aguas de esta localidad ni en las aguas de Pueblo Nuevo.

En las aguas de la quebrada Las Mollacas, después de la planta minera El Pingo, los muestreos del Servicio de Salud presentan concentraciones de manganeso muy bajas, cerca del límite de detección.

Nuevamente el único punto donde se miden altísimas concentraciones, es bajo la minera Panulcillo. Siendo la concentración natural de manganeso del entorno, no mayor que la norma de riego, (0,2 mg/l), frente a la planta Panulcillo se miden conjcentraciones de 7 y 17 mg/l en 2003, concentraciones que han subido sustancialmente a valores entre 30 y 62 mg/l en 2005. Sin embargo, nuevamente aguas abajo, en el baden del camino a Limarí, los valores están normalizados, y no superan la norma de riego.

Molibdeno

Está limitado a 0,01 mg/l en el agua de riego.

En concentraciones sobre la norma, el molibdeno aparece ocasionalmente en todos los cursos de esta cuenca, pero sólo muy ocasionalmente. Su presencia se asocia a los filones metalogénicos, pues es un mineral asociado al cobre, pero también a la actividad minera antrópica.

Mercurio

El mercurio es tóxico y está limitado por la norma de agua potable a un valor de 0,001 mg/l. Valores sobre la norma de Hg se han registrado, pero sólo muy ocasionalmente, en todos los cauces, en la forma que se ejemplifica en la figura.

El Servicio de Salud analiza mercurio solamente en la quebrada Las Mollacas, afluente al río San Miguel que su vez afluye al Mostazal, pero no ha medido contenidos sobre los límites de detección.

Otros microelementos

Otros microelementos limitados por las normas, como plata, plomo, níquel, cromo, zinc y cobalto, no presentan valores superiores a los límites. El selenio sólo superó los valores de las normas en algunas estaciones, en los meses de estiaje de 1995.

Durante el estudio de CADE-IDEPE, Diciembre 2004, se llevó a efecto un muestreo en 4 puntos de la cuenca, para análisis de algunos parámetros no medidos por la DGA ni el Servicio de Salud. En los puntos Hurtado antes junta Limarí, Huatulame en El Tome, Limarí en Panamericana y Estero Punitaqui en Punitaqui, se midió DBO_5, color aparente, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, Amonio, Cianuro, Fluoruro, Nitrito, Sulfuro y Estaño.

Para todos los parámetros, en todos los puntos de muestreo, el agua quedó clasificada en clase de excepción (clase 0 o muy buena), salvo en los SDT (clase 1 con 405 mg/l en Punitqui, y clase 2 con 864 mg/l en Limarí en Panamericana, y en el parámetro Estaño. En cuanto al estaño, el límite de detección es de 10 ug/l, lo que sólo garantiza clase 2. Pero en dos puntos (Hurtado y Limarí) se midió 130 y 180 ug/l respectivamente, lo que coloca el agua en clase 4 para este parámetro. Es sorprendente que ni la norma chilena de agua potable ni la de diferentes usos regulen el límite del estaño.

e) Parámetros microbiológicos

La SISS lleva un control sistemático de las emisiones de las plantas de tratamiento. Las emisiones de aguas servidas se rigen por diversas normativas. Así, por ejemplo, a las lagunas aireadas de Combarbalá, El Palqui y Montepatria, como también a las plantas de lodos activados de Chañaral Alto y a las lagunas de estabilización de Ovalle y Punitaqui, se aplica la

NCh 1333, que regula la calidad del agua para diferentes usos. Por otro lado, para la planta de lodos activados de Sotaquí, se aplica el DS Nº 90 / 2000, Tabla Nº 2, que establece límites máximos permitidos en descargas de residuos líquidos a cuerpos de aguas fluviales considerando la capacidad de dilución del receptor.

Para todas las empresas que no tienen planes de desarrollo aprobados a la entrada de vigencia de la norma, el plazo de cumplimiento de esta normativa es septiembre de 2006. La empresa Aguas del Valle tiene plena conciencia de esta situación, que la obliga a cumplir con la normativa del DS 90 a más tardar, en todos los puntos de descarga, en Septiembre de 2006.

Lo anteriormente señalado tiene importancia en el sentido de que en Septiembre de 2006, todas las entregas de aguas servidas deberán estar cumpliendo la norma DS 90.

Al respecto, se presentan aquí algunos resultados de coliformes fecales en las emisiones correspondientes al año 2003/2004. Las mediciones se realizan sobre los afluentes y efluentes de la planta de tratamiento, y 20 m aguas arriba y 100 m aguas abajo de la entrega al cauce. En la cuenca del Limarí se ha observado lo siguiente:

Los efluentes de la planta de Combarbalá presentan siempre valores entre 2 y 900 coliformes fecales como NMP/100 ml. Esto muestra que el efluente tiene calidad de riego. Los controles de aguas arriba y aguas abajo de la planta muestran que el río a veces trae más de 1000 NNM/100 ml aguas arriba del efluente, lo que se mantiene hacia aguas abajo de él. En estos casos se ha llegado a medir 1000, 2000 y una vez hasta 9000 NMP/.100 ml, lo que significa que ocasionalmente el río viene bien contaminado.

La planta de Chañaral Alto no ha tenido ningún problema. Esta planta tiene efluentes muy controlados, con NMP/100 ml bajo 100, y aguas abajo de ella solamente en una ocasión se llegó a medir 900, lo cual está dentro de la noram de riego.

Con la planta de El Palqui ocurre algo parecido, nunca se ha medido más de 900 NMP/100 ml, ni aguas arriba ni en los efluentes ni aguas abajo de ella.

Con la planta de Ovalle ocurre algo similar, no se miden coliformes fecales en concentraciones superiores a 500 NMP/100 ml, salvo en una ocasión que aguas abajo se midieron 5000, sin haber altos valores aguas arriba ni en los efluentes.

La planta de Sotaquí no ha presentado nunca problemas de exceso de coliformes, las aguas de efluentes, río arriba y río abajo siempre se mantienen dentro de los límites de la norma de riego.

La planta de Punitaqui tampoco presenta problemas con sus efluentes. Sin embargo, ahí se observa que ocasionalmente el estero Punitaqui viene contaminado, y la contaminación se mantiene hacia aguas debajo de los efluentes de la planta, con valores de hasta 2000 NMP/100 ml.

En Montepatria, tampoco se observa ningún problema con la planta, cuyos efluentes están siempre dentro de la norma de riego. En general, también el río se observa con calidad de riego, salvo en una ocasión, en que se pesquisó una contaminación en el río aguas abajo del efluente, que no provenía ni del efluente ni de aguas arriba, de 2400 NMP/100 ml.

El SAG realizó análisis de coniformes fecales en 1999, aguas debajo de las plantas de El Palqui, Montepatria y Punitaqui. Sólo se conocen los valores promedio de tales mediciones, que siempre están bajo los límites de la norma de riego.

f) Plaguicidas y fertilizantes

De acuerdo con lo anteriormente señalado, las mediciones de nitratos que lleva la DGA en forma sistemática, muestran que no hay contaminación de nitratos provenientes de ninguna fuente, ni tendencia de aumento en las aguas muestreadas, ni subterráneas ni superficiales.

Con ocasión del estudio de Diagnóstico y clasificación de cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad, cuenca del Limarí, Cade-Idepe, Diciembre 2004, se efectuó un muestreo en Huatulame en El Tome, con los resultados que se muestran en el Cuadro 6-77. Para todos los plaguicidas analizados, las concentraciones están bajo los límites de detección, y con ello sitúan el agua en clase 0.

Consultada la empresa Aguas del Valle acerca de los resultados de aguas crudas, se informó que no se detectaba la presencia de plaguicidas ni fertilizantes en esta agua. Se solicitó los resultados de los análisis, pero no fue posible obtenerlos.

Cuadro 6-77
Muestro de CADE-IDEPE, Dic. 2004, en Huatulame en El Tome

Parámetro	Río Guatulame en El Tomé	
	Valor	Clase
2,4 D (µg/L)	<1	0
Aldicarb (µg/L)	<0.8	0
Atrazina + N-dealkyl metabolitos (µg/L)	<0.5	0
Captan (µg/L)	<1	0
Carbofurano (µg/L)	<1	0
Clorothalonil (µg/L)	<0.1	0
Cyanazina (µg/L)	<0.2	0
Demetón (µg/L)	<0.08	0
Diclofop-metil (µg/L)	<0.1	0
Dimetoato (µg/L)	<1	0
Paration (µg/L)	<1	0
Pentaclorofenol (µg/L)	<0.2	0
Simazina (mg/L)	<0.001	0
Trifularina (µg/L)	<0.08	0

El resultado de la eficiencia ambiental de los usos de agua de esta cuenca se presenta en el Capítulo 10.

CAPITULO 7 DIAGNÓSTICO CUENCA CHOAPA

El presente Capítulo 7 contiene el diagnóstico acerca del uso del agua en la cuenca del Choapa. Este capítulo tuvo por objetivo integrar los antecedentes y conocimiento adquiridos acerca del funcionamiento de la cuenca, desarrollar un modelo de simulación hidrológica, y formular un diagnóstico sobre lo que está ocurriendo con el agua en la cuenca en la actualidad.

7.1 TRABAJO DE TERRENO: ENTREVISTAS Y RECONOCIMIENTOS

7.1.1 Campañas de terreno

El trabajo de terreno se efectuó en diversas campañas, que fueron las siguientes:

Campaña 1: 30 de Mayo el 10 de Junio de 2005
En este período se realizaron todas las entrevistas al nivel medio y local, vale decir, a usuarios agrícolas, industrias y agroindustrias, comunidades de agua, juntas de vigilancia y sistemas de agua potable rural. Además, durante este período se conversó con gente de la zona acerca de los cultivos y métodos de riego predominantes en las áreas no catastradas por CIREN.

Campaña 2: 20 al 26 de Junio de 2005
Durante este período se realizaron todas las entrevistas a las autoridades provinciales, es decir, al Gobernador, Delegados Provinciales de la DGA y DOH, y al Jefe del Departamento de Riego Provincial del INIA de Illapel. Además, se recorrió la cuenca para conocerla, se conocieron canales y bocatomas, y se obtuvo una visión global de la situación.

Campaña 3: 2 y 3 de Abril de 2006.
Esta campaña tuvo por objetivo recorrer los valles del Choapa e Illapel, con el objetivo específico de diseñar el trabajo de geofísica que se solicita en los Términos de Referencia presentados en el Capítulo 11.2.

Además de la realización de estas campañas, se efectuaron viajes a terreno para impartir 3 talleres, informativos y de capacitación, ante los interesados, autoridades y usuarios, uno en Illapel y dos en Salamanca. El contenido de estos talleres se detalla en el Capítulo 12, Difusión.

En cada uno de los viajes se efectuaron grabaciones y fotografías que forman parte del video didáctico que se entrega junto con el presente informe.

7.1.2 Entrevistas

El trabajo de entrevistas se desarrolló de acuerdo con los tres niveles de análisis de este estudio: global, medio y local. En cada nivel se trataron los temas que se señalan en la metodología, con los personajes que se indican a continuación. A todos los encuestados se les solicitó nombre, cargo (si procede), y algún dato de contacto. Todas las entrevistas se presentan en detalle en el Anexo Digital II.

a) Nivel global

Para el nivel global, los objetivos fueron los de gestión global a nivel de instituciones públicas y juntas de vigilancia, y empresa de agua potable. En este nivel se entrevistó a las siguientes autoridades, para las cuales se señala la institución y el cargo correspondiente en el Cuadro 7-1. Se incluyen aquí solamente las autoridades adicionales entrevistadas especialmente para la provincia del Choapa. Cabe señalar que las entrevistas a autoridades regionales, que abarcan materias de las tres cuencas, se presentaron en el diagnóstico de la cuenca del Elqui.

Cuadro 7-1
Entrevistas nivel global a autoridades de la cuenca del Choapa

Institución	Nombre	Cargo
Gobernación Provincial	Luis Figueroa	Gobernador Provincial Choapa
Dirección General de Aguas Illapel	Ananías Castillo	Director Provincial
Dirección de Obras Hidráulicas Illapel	Ulises Vergara	Delegado Provincial, Encargado Emb. Corrales
INIA Choapa	Francisco Meza	Jefe de Área Departamento Riego
Junta de Vigilancia Río Illapel	Jaime Tapia	Presidente
Junta de Vigilancia Río Choapa	Luis Edo. Lohse	Presidente
Junta Vigilancia Río Chalinga	María Castillo	María Castillo, hija del presidente, en representación de Melquisedec Castillo, Presidente de la Junta

b) Nivel medio

El nivel medio se entendió representado por las Asociaciones de Canalistas, Comunidades de Aguas y Comités de Agua Potable Rural. Para el nivel medio, los objetivos de las entrevistas fueron efectuar consultas sobre la gestión, la flexibilidad de las obras, y las características del uso del agua en riego y en agua potable rural.

Los representantes entrevistados en este nivel, con las instituciones que representan y su cargo correspondiente, se muestran en el Cuadro 7-2 a continuación.

Cuadro 7-2
Representantes entrevistados nivel medio

Institución	Nombre	Cargo
Comunidad de Aguas Canal Bellavista Bajo, Illapel	José Esquivel	Presidente
Comunidad de Aguas Canal San Juan de Dios, Illapel	Delinda Tapia	Postula a Presidenta
Comunidad de Aguas Canal Malaladera, Santa Virginia, Illapel (Asoc. Canalistas 1ª Sección Río Choapa en formación)	Héctor Soto Tapia	
Comunidad de Aguas Canal Caracha, El Tambo, Salamanca.	Mario Pizarro	Presidente
Comunidad de Aguas El Tambo, Canal Buseta	Rigoberto Vargas	Presidente
Comunidad de Agua Canal Panguesillo, Salamanca	Humberto Barraza	Presidente
Comunidad de Aguas Canal Brea, Llimpo, Salamanca	Miguel Cortez	
Comunidad de Aguas Canal Cunlagua, Salamanca	Lorenzo Guerra	Presidente
Asociación de Canalistas Río Illapel IIª Sección	Líster Orrego	Presidente
APR El Tambo	Sandra Palacios	Secretaria Administ
APR Cárcamo	Ana Cortés	Secretaria Administ
APR Huintil	María Cortés	Secretaria Administ
Asociación Gremial de Servicios APR Provincia Choapa	Gilberto Pastén	Presidente

c) Nivel local

El objetivo de las entrevistas en el nivel local, fue el de conocer los antecedentes sobre el uso del agua y también sobre los rendimientos económicos, en los sectores agrícola, industria y minería. Las entrevistas a este nivel, en la cuenca del Choapa, se realizaron a usuarios agrícolas y agroindustrias. La empresa minera Los Pelambres, a pesar de haber sido contactada, no respondió a la solicitud de entregar información para el presente estudio.

No siempre fue posible recabar toda la información solicitada, pues hay personas que perciben como confidencial cierto tipo de información, especialmente la relacionada con la parte económica. Además, también hay mucho desconocimiento acerca de las materias cuantitativas relacionadas con el agua, por lo que no siempre fue posible obtener todas las respuestas.

Las industrias y agroindustrias entrevistadas se listan en el Cuadro 7-3, y fueron las siguientes:

Cuadro 7-3
Representantes entrevistados nivel local

Empresa	Representante	Cargo
Agroindustria Choapa	Silvana Homberger	Jefa de Planta
Compañía Pisquera de Chile	José Caniguante	Jefe de Planta

Además se entrevistó a 20 usuarios, que se listan en el Cuadro 7-4 a continuación.

Cuadro 7-4
Usuarios agrícolas entrevistados nivel local

Nombre	Ubicación
Jacinto Martínez	Quebrada de Cárcamo, Illapel
Takeshi Kato	Agrícola Sakura, Cárcamo, Illapel
José Antonio Mollet	La Colonia, Illapel
Manuel Ibacache	Asiento Viejo, Illapel
José Esquivel	El Maitén, Illapel
Héctor Soto Tapia	Santa Virginia, Illapel
Jorge Frez Reyes	El Tambo, Salamanca
Mario Pizarro Alamos	El Tambo, Salamanca
Luis Jonquera Pastén	El Tambo, Salamanca
Sergio García Barraza	Higuerilla, Salamanca
Jorge Chahuan Aguad	Panguesillo, Salamanca
Humberto Barraza	Panguesillo, Salamanca
Heriberto González Tapia	Coirón, Salamanca
Tito Villalobos	Cuncumén, Salamanca
Julio García S.	Cancha Brava, Salamanca
Norma Tapia	El Tebal, Salamanca
Heraldo Salinas	El Tebal, Salamanca
Lorenzo Guerra	Cunlagua, Salamanca
Fernando Aguilera	Huanque, Salamanca
Benjamín Pallacán	San Agustín, Salamanca

7.1.3 Resultados del trabajo de terreno para el nivel global

En el nivel global, los temas tratados fueron fundamentalmente, los objetivos que las diversas instituciones manejan para la cuenca, las restricciones o condicionantes a considerar o respetar, los proyectos futuros relacionados con el aumento de eficiencia, la actividad del mercado del agua y derechos de aprovechamiento, la capacidad técnica para la administración de las entidades correspondientes, y los problemas de contaminación.

También se persiguió, con las preguntas, clarificar algunos aspectos operativos y cuantitativos que se requieren para operar el modelo de simulación.

De acuerdo con la especialidad de cada entrevistado, y con el tiempo disponible, no siempre fue posible aplicar todas las preguntas a cada una de las autoridades, sino que sólo las que les eran más afines. No obstante ello, se pudo obtener respuestas interesantes para cada uno de los temas, las que se reseñan a continuación.

a) Objetivos generales con respecto al agua en la cuenca

Los objetivos generales respecto del agua en la cuenca, expresados por los diversos personeros entrevistados, fueron los siguientes:

GOBERNACIÓN
- apoyo a pequeños agricultores a través de Plan Choapa
- tecnificación del riego a través de subsidios CNR
- fomentar el turismo a través de una ruta provincial turística.

DGA
- organizar JV Pupío incluyendo Pelambres
- concluir la formación de organizaciones de regantes en Illapel.
- solucionar problema en la II sección: Asociación de Canalistas del Illapel.
- hacer un estudio hidrogeológico de la cuenca del Choapa.
- Quilimarí, proyecto de reparación del tranque Culimo.

INIA
- investigación y transferencia tecnológica para la agricultura

DOH
- fortalecimiento para operación embalse Corrales

SEREMIA
- aumentar las exportaciones
- aumentar la seguridad de riego
- considerar las demandas del sector de secano
- aumentar la producción en zonas servidas por Puclaro y Corrales
- aumentar eficiencia de riego
- aumentar cantidad de canales revestidos
- ver formas de incentivar la inversión privada
- buscar productos de mayor rentabilidad (paltos)
- minimizar impactos de las sequías para disminuir la pobreza
- flexibilidad y eficiencia con que operan los sistemas de distribución y las entidades de administración y reparto en el nivel medio, la forma en que se asigna y reasigna el recurso a nivel global y la capacidad de control para el cumplimiento de las reglas que se observa a nivel global.
- aprovechar bien los suelos y las tecnologías de riego disponibles

CONAMA
- fiscalizar cumplimiento ley de bases del Medio Ambiente
- fiscalizar cumplimiento de la norma de descarga DS90
- fiscalizar cumplimiento de la norma secundaria para aguas superficiales, que saldrá a fines de 2005

- incentivar el manejo responsable del recurso hídrico por parte de todos los empresarios: mineros, agrícolas, turísticos
- establecer acuerdos de producción limpia con las industrias
- no frenar iniciativas

SAG
- llevar el catastro de vides
- emitir certificados fitosanitarios a los productores
- fiscalizar la aplicación de plaguicidas agrícolas

CNR
- asegurar el riego, más que aumentar la superficie regada
- focalizar la inversión para apoyar obras menores de conducción y distribución en torno a las grandes obras
- hacer capacitaciones a los regantes
- hacer capacitaciones en gestión a las comunidades

INDAP
- apoyar el desarrollo de la agricultura familiar campesina (AFC)
- mejorar la base productiva del pequeño productor, dando apoyo técnico y entregando información de mercado actualizada y oportuna
- dar orientación empresarial, productiva y comercial a los pequeños productores
- incorporar a los agricultores a la cadena agrocomercial
- otorgar créditos de enlace para permitirles acceder a bonificaciones y subsidios
- apoyar la ejecución de obras de riego a través del servicio de riego campesino

EMPRESA DE AGUA POTABLE AGUAS DEL VALLE
- entregar agua potable a la población
- hacer el adecuado tratamiento de las aguas servidas

b) Restricciones a superar o condiciones a respetar en el futuro

GOBERNACIÓN
- escasez de agua en Illapel y Canela
- restricción económica de los agricultores, en su gran mayoría pequeños
- retiro geográfico

DGA
- falta estudio hidrogeológico
- mejorar aprovechamiento de agua existente
- mejorar las condiciones de los canales
- evitar contaminación desde Pelambres

INIA
- Estudiar el acuífero.

- Estudiar ciclos de las sequías
- Estudiar efecto de la presencia de tortas de relave de mineras.

DOH
- la falta del mismo recurso hídrico
- la falta de profesionalismo en las organizaciones
- la condición cultural de los pequeños regantes.

CONAMA
- respetar la normativa vigente
- compatibilizar usos con biodiversidad
- respetar acuerdos de producción limpia

AGUAS DEL VALLE
- respetar normas de riles, normas de efluentes y normas secundarias

c) Proyectos futuros, y proyectos en relación con el aumento de eficiencia

GOBERNACIÓN
- embalses
- mejoramiento de canales
- riego tecnificado

DGA
- embalses
- mejoramiento de canales
- riego tecnificado
- capacitación de los regantes
- fortalecimiento de organizaciones

INIA
- investigación en sistemas de manejo de riego
- adiestramiento y capacitación de agricultores en nogales, damascos
- seguimiento del efecto clima, con CORFO, en paltos, mandarinas, olivos
- con INDAP establecimiento de pequeños huertos con los agricultores

DOH
- tranques de noche
- mejoramiento de canales
- riego tecnificado

SEREMIA
- apoyar a los pequeños agricultores. Deben ser fortalecidos en cuanto a tecnología, escala, asociatividad y cadena de comercialización

CNR
- fortalecimiento de las organizaciones
- capacitaciones

INDAP
- programa de recuperación de suelos degradados
- desarrollo de capacidades productivas y empresariales
- mejoramiento y desarrollo de inversiones
- programa de fomento para segmentos especiales
- inversión financiera (CP y LP)

JV ILLAPEL
- embalse
- revestimiento de canales
- tecnificación del riego

JV CHOAPA
- revestimiento de canales
- riego tecnificado
- compuertas
- embalse

JV Chalinga
- revestimiento de canales
- tranques acumuladores
- tecnificación del riego
- capacitación para la valoración del recurso hídrico

d) Mercado del agua y derechos de aprovechamiento

DGA
- incipiente, especialmente dentro del canal Buzeta
- se espera que haya más con el embalse

INIA
- el mercado es informal
- existe especialmente cuando hay sequía

DOH
- el precio de las acciones está subiendo
- falta de profesionalismo en las JV inhibe transacciones temporales por falta de confianza

JV ILLAPEL
- el mercado opera como en todo Chile
- llevan registros de transacciones
- no fomentan la movilidad de los derechos, ni el mercado
- posibilidades de traslados hay sólo donde las comunidades están organizadas
- hay flexibilidad de criterio para aceptarlo

JV CHOAPA
- no es común trasladar derechos y hacer modificaciones en la infraestructura
- la posibilidad de hacer traslados sí existe
- la administración no fomenta el mercado del agua
- cuando se entregue Corrales, el mercado va a operar más

JV CHALINGA
- no opera mucho mercado del agua, porque los usuarios tienen un bajo nivel económico
- existe la posibilidad de traslados, pero es difícil porque los caudales son muy pequeños
- la administración no fomenta el mercado del agua ni el traslado de derechos

e) Capacidad técnica para la administración

GOBERNACIÓN
- hay buena capacidad técnica para la administración de las aguas por parte de las JV

DGA
- muy buena capacidad de organización la JV Choapa
- no hay pozos clandestinos.

INIA
- buena capacidad de control por parte de las JV
- buen apoyo de parte de la DGA, que recibe denuncias y las verifica
- también hay control por parte del servicio de salud, de la calidad

DOH
- programas de fortalecimiento de organizaciones entre 1998 y 2002
- la organización más fuerte es la del Choapa
- se está fortaleciendo la de Illapel, a través de un estudio.
- la más débil es la de Quilimarí.
- mantiene programas de administración de embalses en conjunto con los administradores locales, pero está en vías de hacer entrega de estas obras

JV ILLAPEL
- buena capacidad técnica

- directiva completa, 2 jueces de río o celadores, oficina con PC, base de datos, SIG, vehículos
- infraestructura de canales con bocatomas de patas de cabra, marcos aforadores en cada canal, compuertas o marcos partidores dentro de los canales

JV CHOAPA
- directiva completa, oficina, vehículo, pc.
- un celador que aplica los % de desmarque en los marcos
- canales tienen celador interno

JV CHALINGA
- buena capacidad técnica
- faltan elementos de logística, como vehículos
- dependen de los programas de fomento de la CNR o DOH
- no se autofinancian pero se considera bien administrado

f) Problemas de contaminación y salinidad u otros

GOBERNACIÓN
- no hay problemas de contaminación
- no hay problemas de calidad del agua
- la sal de los caminos no afecta ambientalmente
- Pelambres está muy controlado

DGA
- en estero Aucó hay 20 trapiches en el cauce, con lluvia contaminan el río Illapel.
- el río Illapel tiene problemas de calidad
- en Chalinga hay contaminación menor por tranques de relave abandonados, en San Agustín y Zapallar.
- en Choapa, Pelambres contamina el estero Cuncumén con sedimentos.
- el año 2002, se cortó el mineroducto de 8" que va de Chacay a los Vilos, y contaminó el río Choapa.
- en Illapel hay problemas de extracción de áridos ya que no está delimitado el cauce natural
- los canales se consideran basurales y también receptáculos de fecas. Presentan alta contaminación fecal.

INIA
- no hay estudios en relación con el efecto de las mineras
- no hay salinización de suelos, porque hay suficiente lluvia anual (sobre 70 mm)

DOH
- se hacen estudios para evitar efectos ambientales de los embalses
- minera Los Pelambres no tiene medidas de mitigación y compensación hasta ahora

- en sector de estero Camisas hay campamentos que consumen agua del caudal ecológico
- empresas constructoras sacan áridos del río, no hay estudios de deslindes de cauces

JV ILLAPEL
- contaminación minera de ríos
- contaminación doméstica de canales
- muchas veces no se cumplen las exigencias mundiales de las BPA

JV CHOAPA
- minera Los Pelambres no contamina
- contaminación de canales con fecas de ganado en zonas de pastoreo

JV CHALINGA
- tortas de relave abandonadas en quebradas
- canales no son abovedados, y se usan como basurales en las zonas pobladas
- la calidad del agua afecta la comercialización de los productos

AGUAS DEL VALLE
- todas las localidades abastecidas con agua potable tienen plantas de tratamiento de aguas servidas.
- en 2006 entra en vigencia el DS90, más estricto. Las plantas de lodo activado cumplen, pero las de aireación aún no. Sin embargo, cumplen con la norma 1333 que se les aplicaba originalmente.

7.1.4 Resultados del trabajo de terreno para el nivel medio

A nivel medio, el objetivo fue recoger la información que pudieran aportar al estudio las asociaciones de canalistas, comunidades de agua y comités de agua potable rural. A continuación se presenta una reseña del contenido de tal información.

a) Asociaciones de canalistas y comunidades de agua

Según se estableció en la metodología, en la cuenca del Choapa se entrevistó a la Asociación de Canalistas del Illapel, IIª sección, y, además, a 8 comunidades de agua repartidas entre los ríos Illapel, Choapa y Chalinga.

i) Tipos de derechos

Al respecto, lo primero que se puede señalar es que todos los canales entrevistados, y, en realidad, la gran mayoría de los canales de la cuenca salvo algunas excepciones muy menores, tienen acciones permanentes sobre el río. No obstante esto, sólo alrededor de un 35% a 45% del agua está disponible en forma permanente, el resto sólo en forma eventual, de modo que el riego con acciones permanentes es, en realidad, un riego eventual.

ii) Área tecnificada

En todos los canales entrevistados, los presidentes estiman que el área regada con riego tecnificado se encuentra entre el 5 y el 10% del área total regada. Sólo en la IIª Sección del Illapel el área tecnificada se estima en 20%. El área no tecnificada se riega por surco o, si son praderas o alfalfa, por tendido.

iii) Distribución del agua

La distribución del agua al interior de los canales se realiza por métodos muy diversos. La mayoría de los regantes tiene compuerta metálica, (en el canal Buzeta, todas las compuertas son metálicas, son 560 aprox.), otros muchos tienen compuertas de madera. También hay canales (los más pequeños), donde el agua se distribuye con tacos, o simplemente con mangueras (Canal San Juan de Dios). Respecto del estado de estas obras de distribución, en general las compuertas metálicas están en buen estado, mientras que lo peor son los tacos, por donde el agua se filtra, o se tapan, y no funcionan bien. Los usuarios tienen claro que todos debieran funcionar con compuertas, pero faltan muchas compuertas todavía.

En cuanto a la distribución de las acciones en relación con las tierras regadas, se observa que la relación es siempre muy cercana a 1/1. Esto proviene de la asignación de aguas que se hizo en la época de la reforma agraria, que se correspondió con la asignación de tierras, con una dotación de 1 acción/ha.

Los canales funcionan según desmarques, los cuales son establecidos por las JV en función de los caudales que mide la DGA en las cabeceras de los ríos. Dentro de cada canal, el número de acciones es repartido en las horas de 8 días, de modo que cada regante obtiene el canal completo, durante la proporción en tiempo de sus acciones sobre el canal. En el canal Buzeta, hay 4 comunidades de agua, con diferente cantidad de acciones del canal. La comunidad El Tambo tiene todas sus compuertas estandarizadas, de 30 cm de ancho para cada uno de los parceleros. Sólo en el canal San Juan de Dios (estero Aucó), se manifiesta que se reparten el canal sin ningún orden.

iv) Capacidad de administración

Todos los canales señalan que tienen buena capacidad de administración. Tienen directiva completa, celadores y secretaria, cobran las cuotas para la JV y juntan el dinero para las limpias y el pago de la secretaria y el celador. También tienen un lugar donde sesionan, que es una sede comunitaria.

En cuanto a la efectividad de la distribución al interior de cada canal, la situación es diversa, Hay uno, dos o tresceladores, permanentes o sólo en sequías, o ningún celador (canal San Juan de Dios). Los celadores enllavan las compuertas, cuando hay. De todas formas, los celadores controlan las extracciones, y en general la percepción es de que el sistema funciona bien.

v) Participación de usuarios

En relación con la participación de los usuarios, a nivel de juntas de vigilancia se manifiesta que es buena, y que es baja la morosidad. Al interior de los canales, la participación en las reuniones y asambleas está directamente relacionada con la capacidad de pago. Los morosos no asisten a las reuniones. En los canales de la Junta de Vigilancia del Choapa hay poca morosidad, y buena participación, como por ejemplo, el canal Brea. En el río Chalinga, la participación es más reducida.

vi) Nivel de conformidad de los usuarios

En cuanto al nivel de conformidad de los usuarios, dentro de las JV se expresa que no hay problemas con los usuarios, y que si hay, siempre se pueden resolver. Al interior de los canales, tampoco hay muchos conflictos. Solamente cuando el agua es muy escasa, se pueden presentar. Los dirigentes encuentran que el hecho de estar muchos años en el cargo, muestra que hay conformidad por parte de los regantes, o porque nadie se interesa en estos cargos que no son remunerados. Un conflicto que sí se presenta es el de la Asociación de Canalistas del Illapel IIª Sección, no reconocida por la JV ni por la DGA.

vii) Aguas subterráneas

En cuanto al agua subterránea, se señala que hay muy pocos pozos para riego funcionando. Los pozos que hay son para APR, de la minera, y de algunos particulares. Los pozos de la minera Pelambres para riego en el valle del Choapa Alto no se han usado nunca. No hay ningún tipo de organización de aguas subterráneas.

viii) Mercado del agua

El mercado del agua es un tema que no tiene casi representación en esta cuenca. Como la distribución desde el río es bastante rígida, no es fácil hacer traslados. Aunque teóricamente existe la posibilidad, en la práctica hay bastantes escollos que impiden hacer los cambios. Las directivas no fomentan el mercado del agua. Los traslados que se hacen, son en general al interior de los canales, y son informales. Además, tampoco hay traslados porque las cantidades de agua de cada parcelero son muy pequeñas, y por otro lado, los mismos parceleros no tienen plata para realizar compras y modificaciones de infraestructura. No hay registro de transacciones en las comunidades de agua, pero cuando se produce una venta, sí se sabe.

Un gran traslado se efectuó a través de la compra de derechos que hizo la minera Los Pelambres, que se llevó hacia arriba de la cuenca todas las acciones superficiales de los canales del río Cuncumén (aprox. 400 l/s), aguas arriba del Canal Aletón Chico.

Un obstáculo para el mercado del agua es la indefinición que genera la toma a través de tacos, y la gran cantidad de pérdidas que existen en los canales, que generan merma a los derechos, y tampoco está muy claro cuánto es lo que se pierde.

No obstante todo lo señalado, se espera que con el embalse, comience a crecer el interés por comprar y trasladar derechos entre canales.

ix) Eficiencia de conducción

El tema de la ineficiencia de conducción, las personas entrevistadas tienen muy claro que los canales pierden una gran cantidad de agua, que se estima entre 40 y 50%, incluso hasta 60%, en la mayoría de los canales entrevistados. Las causas serían la falta de revestimientos, el cruce de quebradas, la vegetación aledaña y la falta de limpias. Algunas excepciones son el canal Buzeta, que ha sido revestido en un 20% de su trayecto, el canal Panguesillo, Caracha y los canales de Illapel IIª sección, donde los entrevistados estiman las pérdidas bajo un 30%. El gran porcentaje de pérdidas ha podido ser observado en terreno, a través de grandes extensiones de vegetación que se desarrolla justamente por debajo de la línea de los canales, cuando ellos van por las laderas. Al respecto, se señalan algunos estudios en los cuales se habrían hecho aforos, al igual que la DGA, que hace algunas corridas de aforos.

x) Tranques de acumulación nocturna

Las obras de acumulación que hay son muy pocas. En el Illapel, hay tres tranques comunitarios, y algunos tranques privados. En el Choapa, la mayoría de los canales tiene tranques nocturnos, pero faltan muchos tranques a nivel predial. En el Chalinga, se estima que un 30% de los agricultores tiene tranque intrapredial, y también hay algunos tranques comunitarios. De todas formas, siempre faltan más tranques, es lo que expresan todos. En la percepción de los entrevistados, las pérdidas más importantes son las de evaporación, y no tanto las de derrame o de filtración, porque los tranques se sellan con los depósitos de las partículas arcillosas que trae el agua.

xi) Obras para aumentar la eficiencia de uso del agua

El aumento de la eficiencia en el uso del agua, los entrevistados lo asocian directamente con el embalse, el revestimiento de canales, el mejoramiento del sistema de compuertas haciendo compuertas metálicas, la construcción de tranques acumuladores nocturnos, y la tecnificación del riego. En la Junta de Vigilancia del Chalinga, se habla también de capacitación y valoración del recurso hídrico, como base de lo anterior.

xii) Proyectos de expansión

En el Illapel aún no hay grandes proyectos, debido a que no está aún el embalse, pero hay algunos grandes proyectos a la espera. Actualmente sólo hay programas de optimización del INIA, que se están llevando a efecto con pecaneros y nogaleros. En el Choapa, la situación es diferente, pues hay algunos grandes proyectos de paltas, en el sector Panguesillo-Llimpo, en la ladera de los cerros. En el Chalinga no hay grandes proyectos nuevos. En general, los proyectos nuevos importantes se asocian con la entrada en operación de los embalses.

xiii) Comercialización de los productos

La uva pisquera se vende a Capel o Control. Los grandes productores de paltas entregan a Propal, y los pequeños, en general a intermediarios. El ají, pimentón y las nueces se entregan directamente a PROFO o a las agroindustrias, como Faro, o a intermediarios que vienen a comprar a potrero, para llevar a la vega de Santiago, Los Andes, La Calera, etc. También hay venta en feria de Salamanca. Casi toda la producción va al mercado nacional. Los grandes exportadores aún no llegan a esta cuenca. La pecana, producto de probable exportación, está en sus inicios y aún no hay cosechas a nivel comercial.

xiv) Subsidios

Los subsidios más utilizados son los de la ley de riego, y los de INDAP para suelos degradados, y de ayuda para pequeños productores. También se utilizan subsidios de CONAF para la forestación. El detalle y los datos de estos subsidios se entregan más adelante.

En cuanto a los problemas ambientales, se señalan fundamentalmente las tortas de relave abandonadas por doquier dentro de las quebradas, que aportan material en los eventos de fuertes precipitaciones. También aparece como un tema de gran importancia, la contaminación por basura y fecas de animal que afectan los canales, porque no están abovedados donde pasan por zonas pobladas. La contaminación de los canales atenta contra las BPA, y contra la comercialización de los productos. Y finalmente, se señala que la sal de los caminos daña los vehículos, pero también escurre hacia los canales cuando llueve, y saliniza los suelos. La minera Los Pelambres no estaría aportando contaminación a esta cuenca.

b) Comités de Agua Potable Rural

En la cuenca del Choapa, se hicieron cuatro entrevistas, tres a comités de APR y una a la Asociación Gremial de Servicios de Agua Potable Rural de la provincia del Choapa. De las entrevistas se desprende fundamentalmente lo siguiente:

i) Fuentes

Las fuentes de agua son todas de agua subterránea, tanto norias como sondajes, con una sola excepción, que es Batuco, en la comuna de Salamanca. Esta localidad se abastece de una vertiente.

ii) Derechos

La mayoría de las APR no tiene inscritos derechos de aprovechamiento. En general, tampoco está saneado legalmente el terreno en el que se ubican, ni tampoco las servidumbres de paso.

iii) Pérdidas

Los comités entrevistados declaran no tener pérdidas económicas. Pérdidas físicas sólo se producen cuando eventualmente se rompen las cañerías. No manejan información sobre la calidad del agua cruda, pero Aguas del Valle ocasionalmente hace análisis del agua potable que se distribuye.

iv) Aguas servidas

Ninguna localidad tiene alcantarillado público, se manejan con fosa séptica y pozo absorbente, y algunas sólo con pozos negros.

v) Administración

Se administran con una directiva completa, pero sólo tienen sueldo la secretaria y el operador. La opinión es que a las directivas les falta capacitación. Funcionan con la ley 19418, la ley de Juntas de Vecinos. A partir del 2003 perdieron los beneficios que recibían del gobierno a través de la DOH, que consistía en asesorías técnicas, contables y administrativas. Hoy cuentan con dos subsidios: al consumo y a la inversión.

Habrían quedado sin capacidad de gestión después de que la DOH los dejó. Por esta razón, ahora hay problemas de: saneamiento de los derechos de agua, tierra y servidumbre, problemas de gestión, falta de autofinanciamiento, bajos sueldos, mal estado y poca mantención de los equipos. En este aspecto, el presidente de la asociación gremial opina que debiera haber una ley específica para las APR, un marco tarifario uniforme, una contabilidad única, y apoyo estatal. Otros opinan que debiera haber apoyo por parte de Aguas del Valle.

7.1.5 Resultados del trabajo de terreno para el nivel local

El trabajo a nivel local incluyó usuarios agrícolas individuales, como industrias y agroindustrias. Si bien también se contactó la Minera Los Pelambres, a través de su encargada de aspectos ambientales Sara Cortés, desde junio 2005 en que se formularon por escrito las consultas, hasta el final del estudio (noviembre 2006), no hubo respuesta.

a) Usuarios agrícolas

Se entrevistó a 20 dueños de predios entre 1,5 y 170 hectáreas, con derechos en los canales Cocinera, Población, Inquilinos, Mala Ladera, Santa Margot, La Montaña, Caracha, Chalinga, Chilca, Tebal, Cunlagua, Huanque, Palquial, Tahuinco, Panguesillo, Silvano, El Pavo, y Tira Larga. La información recabada se reseña a continuación.

i) Cultivos

Los cultivos son bastante similares desde aguas arriba hasta aguas abajo en los valles de Illapel, Choapa y Chalinga, y están integrados por: frutales (nogales y damascos fundamentalmente, pero también hay durazneros, naranjos, paltos y pecana entre los agricultores más innovadores), viñas (en general parrón pisquero), cultivos de chacra (fundamentalmente ají y pimentón, pero también maíz, porotos, tomate, arvejas y habas), algo de trigo y alfalfa, muchos pastos naturales, y bosques de eucaliptos. Casi todos los usuarios entrevistados existen desde hace más de 20 años, muchos de ellos desde hace más de 60 años, pero también los hay que llegaron al valle recién hace 3 años, para plantar paltas.

Todos los agricultores más antiguos son parceleros de la reforma agraria, que recibieron sus títulos en los años 74-76, y se mantienen con sus pequeñas parcelas de pocas hectáreas donde cultivan de todo, en forma fuertemente atomizada, como lo muestran las cifras que ellos mismos dan de la extensión de sus cultivos. Estos parceleros son los que le dan su aspecto completamente atomizado al valle.

Sólo en algunas laderas, donde agricultores externos o nuevos han instalado cultivos netamente comerciales, hay extensiones mayores, las cuales se riegan por goteo.

Hacia aguas abajo de la confluencia del Illapel con el Choapa, donde el clima es costero y más nuboso, los cultivos ya no incluyen viñas, pero sí chacras, y frutales como papayos y chirimoyas.

ii) Fuente de agua

Todos los parceleros pequeños riegan sólo con agua del canal, los más grandes (Agrícola Sakura), que han juntado más terreno (sobre 20 ha), cuentan también con pozos, para asegurar el riego.

iii) Métodos de riego

Los parceleros pequeños riegan por tendido (los pastos, alfalfa y cereales) o surco (frutales, viñas y chacras). Sólo los más grandes riegan los cultivos nuevos por goteo. Hace 10 años no existía el riego tecnificado en la zona, y hoy alcanza alrededor del 5% de la superficie total.

iv) Pérdidas físicas

En cuanto a las pérdidas físicas de agua, tienen conciencia de que son muy altas, debido a que los canales no tienen revestimiento, y también debido a los métodos de riego, que son muy básicos, en general casi todo por tendido o surco. Las pérdidas se estiman entre 20 y 60 %, desde el canal hasta las parcelas individuales, dependiendo dónde se ubica la parcela dentro del canal, y cómo riega.

v) Sistema de riego

El sistema de riego es por turnos, en que la duración del turno es proporcional a la cantidad de acciones que posee cada usuario, el turno se repite en general cada 7 a 9 días cuando no hay sequía, y cada 11 a 13 días en sequía. Algunos tienen tranques de acumulación semanales, que dan o no abasto para almacenar todo el turno. La mayoría riega directamente durante el turno. Cuando el año es seco, la menor frecuencia del riego afecta el rendimiento de los cultivos. Los paños que tienen riego por goteo, se riegan 4 a 5 horas cada dos días. Los paños con riego por tendido reciben agua aprox. una vez al mes.

vi) Costo de la energía

Prácticamente no fue posible obtener datos de costo mensual de la energía eléctrica, ese dato no lo manejan. Hay una excepción, un usuario que bombea cuando falta el agua superficial, que pagaría $25.000 mensuales en energía eléctrica.

vii) Cantidad de agua aplicada

En cuanto al agua aplicada, tienen una idea bastante clara los que riegan por goteo, y las cifras son las siguientes:

- paltos: 30 l/árbol/día, lo que equivale a 4320 m3/ha/año,
- naranjos: 5760 m3/ha/año
- nogal: 240 l/día/árbol
- damasco. 140 l/día/árbol
- duraznero: 155 l/día/árbol

Los agricultores pequeños, con riego por surco, en gran parte no saben cuánta agua aplican. Algunos responden que aplican entre 8.000 y 12.000 m3/ha/año a los cultivos frutales, y alrededor de 7.000 m3/ha/año a los parrones pisqueros.

viii) Mercado del agua

En cuanto al mercado del agua, dentro de cada canal se observa que es una posibilidad real, que algunos aprovechan. Siempre hay algunos problemas, como que el agua que se compró no llega, o no llega toda, pero es una opción. No se da en todos los canales, sólo en algunos, pero se espera que este mercado se active ahora que entrará en operación el embalse Corrales. Dentro de los entrevistados, la mayoría no ha participado del mercado del agua, pero algunos sí, han arrendado aguas por temporadas, han vendido acciones a otros agricultores o incluso a la minera. Los usuarios del Choapa alto y Cuncumén, buscan hacer negocios con la minera Los Pelambres, que necesita agua.

En todo caso, las organizaciones de usuarios no fomentan el mercado del agua, y tampoco lo favorece la infraestructura, que es muy rígida. Además, el mercado se ve dificultado por la falta de una medición adecuada de las aguas. Las compuertas a veces no existen, son simples tacos, y no permiten saber cuánta agua se está sacando. Los usuarios pequeños no participan

del mercado del agua, porque no les falta el agua, o porque no tienen dinero para comprar más agua. Pero la mayoría de ellos expresa que le gustaría participar del mercado, arrendando derechos propios, o comprando para regar más área de la que riegan hoy, o para aumentar su seguridad de riego.

ix) Rendimientos de los cultivos

Para los rendimientos anuales de los cultivos se obtuvieron los siguientes datos:

Trigo 50 qq / ha
Alfalfa 200 fardos / ha
Porotos 35 sacos (80 kg) / ha (también 1000 kg/ha)
Maíz 30 sacos (80 kg) / ha
Chícharo y lenteja, 20 sacos (80 kg) / ha
Paltos, 12,5 Ton / ha.
Paltos nuevos, 6 Ton / ha
Vid de pisco 20 a 25, también 30 a 50 Ton / ha
Vid rosada 25 a 30 Ton / ha
Nueces 3 a 4 Ton / ha
Damascos 20 Ton / ha, 30 a 35 Ton / ha
Durazno 25 Ton / ha
Pecana: año 1 800 kg / ha, año 2 1000 kg / ha, potencial 4000 a 8000 kg / ha
Ají 3 a 4 Ton / ha
Tomate de invernadero: 5000 kg en 1000 m2 de invernadero

En años secos, los rendimientos de cultivos permanentes sin riego tecnificado bajan entre 20 y 60%. Los cultivos con riego tecnificado bajan un 15% a 20% en años secos. En años secos, se pone cultivos de invierno, como arvejas y habas, Se prioriza los cultivos más rentables, y se acepta la baja de rendimiento de los cultivos permanentes.

x) Mercados a que se destina la producción

Los productores pequeños destinan toda su producción al mercado nacional. Una excepción es el ají, que en gran parte se exporta a México, y algunos productores de nueces, que las exportan.

Los productores más grandes, de paltos y cítricos fundamentalmente, los entregan a Propal, que los destina a la exportación, a EEUU y México.

xi) Precios

Los precios en el mercado nacional son los siguientes:

Ferias de Illapel:
Trigo, 150 $ / kg
Alfalfa
Porotos 450 a 500 $ / kg

Maiz 130 $ / kg u $ 80 la unidad de choclo
Chícharo, 300 $ / kg
Lenteja 700 $ / kg
Capel compra la uva pisquera entre 70 y 120 $ / ka
Pecano para industria chocolatera, se espera $ 2000 / ka
Ají entre $ 900 y $ 1200 por kilo seco, en la agroindustria
Damascos, entre $ 80 y $ 100 por kilo
Durazno a $ 190 / kg
Nueces a $ 1000 / kg en parcela
Nueces enteras a Profo de CORFO, a $ 1600 7 kg

Los precios varían en función de varios aspectos: la oferta propia y la calidad del producto en la temporada, las pestes que dañan la calidad (polillas), la demanda a través de la llegada de los intermediarios, la competencia, como la llegada de hortalizas de otras zonas, como La Calera, Quillota, Ovalle. En el mercado internacional, el precio varía según la oferta nacional de los países de destino, el marketing de los productos en los mercados externos (para pisco hay poco marketing). La Cooperativa Capel está altamente endeudada, y mal administrada, paga mal. Los precios de la uva subieron cuando llegó a comprar Concha y Toro.

xii) Fichas técnicas

En general, una gran parte de los productores han sido asesorados por INDAP o por Capel, por lo que esas entidades manejan sus fichas técnicas. Los productores grandes manejan fichas técnicas propias, pero no las ponen a disposición del presente estudio.

xiii) Retornos o utilidad de los productos

La mayoría de los entrevistados no entrega esta información, por considerarla privada. Sin embargo, algunos pocos sí entregaron datos, que son los siguientes:

Uva pisquera: $ 2.500.000 a 3.000.000 / ha
Naranja $ 800.000 / ha
Damasco 2.000.000 / ha
Ají $ 800.000 / ha
Nogal 2.000.000 / ha

xiv) Proyectos de expansión

No son importantes los proyectos de expansión de los propios parceleros del valle. Ellos aspiran a contar con más agua cuando opere el embalse, pero sólo para algunas pocas hectáreas más dentro de sus predios. Los grandes proyectos de expansión son los que vienen de afuera.

xv) Subsidios

Casi todos los usuarios entrevistados han utilizado alguna vez algún tipo de subsidio. Los subsidios más utilizados son los de la CNR e INDAP (riego campesino y suelos degradados).

xvi) Administración de los canales

Sobre la administración de los canales, las opiniones son bien diversas, incluso sobre el mismo canal y sobre la misma Junta de Vigilancia. Hay usuarios que opinan que el canal Cocinera está bien administrado, otros opinan que está mal administrado, lo mismo que la JV Illapel. La opinión generalizada es que los usuarios agricultores no pagan, y los grandes tienen que pagar por ellos para que las cosas funcionen. Se dice también que las organizaciones no funcionan, porque los usuarios están poco interesados en participar, no le dan importancia a las organizaciones, por lo que los fortalecimientos no han dado resultado, y se ha gastado mucha plata en vano.

En los canales del Choapa, las opiniones son más coherentes y más favorables, en el sentido de que la JV funciona bien. A nivel de canales, tampoco hay mucho interés por parte de los usuarios en participar, y también hay morosidad en el pago de cuotas.

En el Chalinga, todos opinan bastante favorablemente sobre la organización del río, pero también la organización interna de los canales podría ser mejor. Sin embargo, hay algunos canales que no presentan problemas, como Cunlagua y Palquial.
Todo lo anterior permite observar que en lo referente a la parte administrativa y participativa, en general, los conflictos son administrativos, y hay bastante morosidad en el pago, especialmente por parte de los pequeños. La gente morosa no llega a las reuniones. Hay bajo nivel de interés y participación, tanto en las reuniones como en las limpias. No se habla de irregularidades en las entregas, pero sí de la mala calidad de la infraestructura, que no permite a las directivas hacer las cosas mejor. En general se observa también que no hay robos de agua, cosa que expresamente declaran algunos usuarios.

xvii) Problemas de contaminación

Consultados acerca de problemas de contaminación, se registran los siguientes:
- contaminación minera desde tortas de relave ubicadas en quebradas (Aucó)
- contaminación desde basurales y escombros. No les gusta la ubicación del vertedero de basuras
- aguas servidas domésticas y basuras que se echarían a los canales
- aplicación de sal a los caminos llegaría a los suelos de cultivo
- vinaza que Control arroja al río
- contaminación por polvillo desde tranque Quillayes

No obstante todo lo anterior, al ser consultados sobre los problemas por los que hoy día se ven afectados directamente, lo más importante es la contaminación de los canales.

b) Industrias y agroindustrias

En la cuenca del Choapa se entrevistó a la Agroindustria Choapa, que produce ají deshidratado y páprika (pimentón molido), y a la Compañía Pisquera de Chile S.A., que fabrica alcohol para pisco. Ambas se surten de agua de pozo, total o parcialmente, y la Compañía Pisquera, además,

de agua potable. Ambas tienen todos sus derechos inscritos, según informan. Se entrevistó a los jefes de planta, sobre las características de uso del agua.

La información que se pudo obtener fue acerca de los procesos en que usan agua (lavado de materia prima la primera, y lavado de cubas la segunda). En el caso de la Agroindustria Choapa, el uso es de 25 m3 al día, en el otro caso no hay información. Ambos declaran no tener pérdidas, no recircular aguas, y no usar aguas para enfriamiento.

En cuanto a las aguas servidas, la primera no tiene, y la segunda la vierte a piscinas de evaporación. Tienen acceso al alcantarillado, pero no vierten las aguas servidas industriales ni al alcantarillado ni al río.

En cuanto a eventuales impactos ambientales, la primera no tiene ninguno. La segunda, que genera materia orgánica (orujo y escobajo), la usa para mejorar los suelos de cultivo.

No han participado en el mercado del agua, y opinan que no requieren más medidas ambientales para la protección de sus aguas.

7.2 MODELO CHOAPA: GENERACIÓN DE INFORMACIÓN DE ENTRADA

A continuación se presenta el trabajo realizado con el modelo MAGIC para la cuenca del río Choapa.

La información de entrada para el modelo de simulación se presenta en 47 matrices. Estas matrices contienen toda la información que caracteriza la cuenca, en forma temáticamente ordenada, y estructurada de la manera en que el modelo la requiere para leerla. Las 47 matrices se anexan en medios magnéticos, en el Anexo Digital III, en la versión final de la calibración (Escenario Choapa 41).

Toda la información posible de ser representada en el SIG, ha sido presentada, según se señala en el Capítulo 4, y en las bases de datos respectiva está contenida toda la información básica y de conectividad que requiere la modelación.

A continuación se expone la información de base, y la forma en que ha sido recabada para llenar las matrices del modelo Magic.

7.2.1 Esquema topológico de modelación

Analizando el funcionamiento del sistema hídrico Choapa y los distintos elementos que lo conforman, en conjunto con todos los requerimientos específicos del modelo Magic, se representó la cuenca que se muestra en la Figura 7-1, de acuerdo con las interconexiones que se muestran en las Figura 7-2 La Figura 7-2 corresponde a lo que se denomina el esquema topológico de la cuenca.

En dicho esquema se representa toda la topología de la hidrología de la cuenca, esto es:

- la ubicación de los ríos principales con sus diferentes tramos, definidos por la ubicación de los nodos
- la ubicación de los embalses mayores existentes o proyectados en la cuenca
- la ubicación de las subcuencas aportantes, definidas igualmente por la ubicación de los nodos, y los nodos de llegada de los recursos aportados
- la ubicación de los sectores de riego que se definieron en la cuenca
- origen y destino de los canales matrices y derivados (como sistemas por sector de riego) que riegan los diferentes sectores de riego

Para evita hacer más engorroso el dibujo, se han omitido los siguientes flujos:

- la ubicación de los sistemas acuíferos que se definieron en la cuenca
- origen y destino de las percolaciones desde ríos y sectores de riego hacia los acuíferos
- origen y destino de los derrames de riego, desde sectores de riego hacia los nodos
- origen y destino de los afloramientos desde los acuíferos hacia los nodos
- las captaciones puntuales

- las descargas puntuales.

En base a la información topológica que configura la cuenca, se generan los balances internos que permiten finalmente conocer los flujos de interacción como series de tiempo.

Figura 7-1: Cuenca del Choapa para modelación.

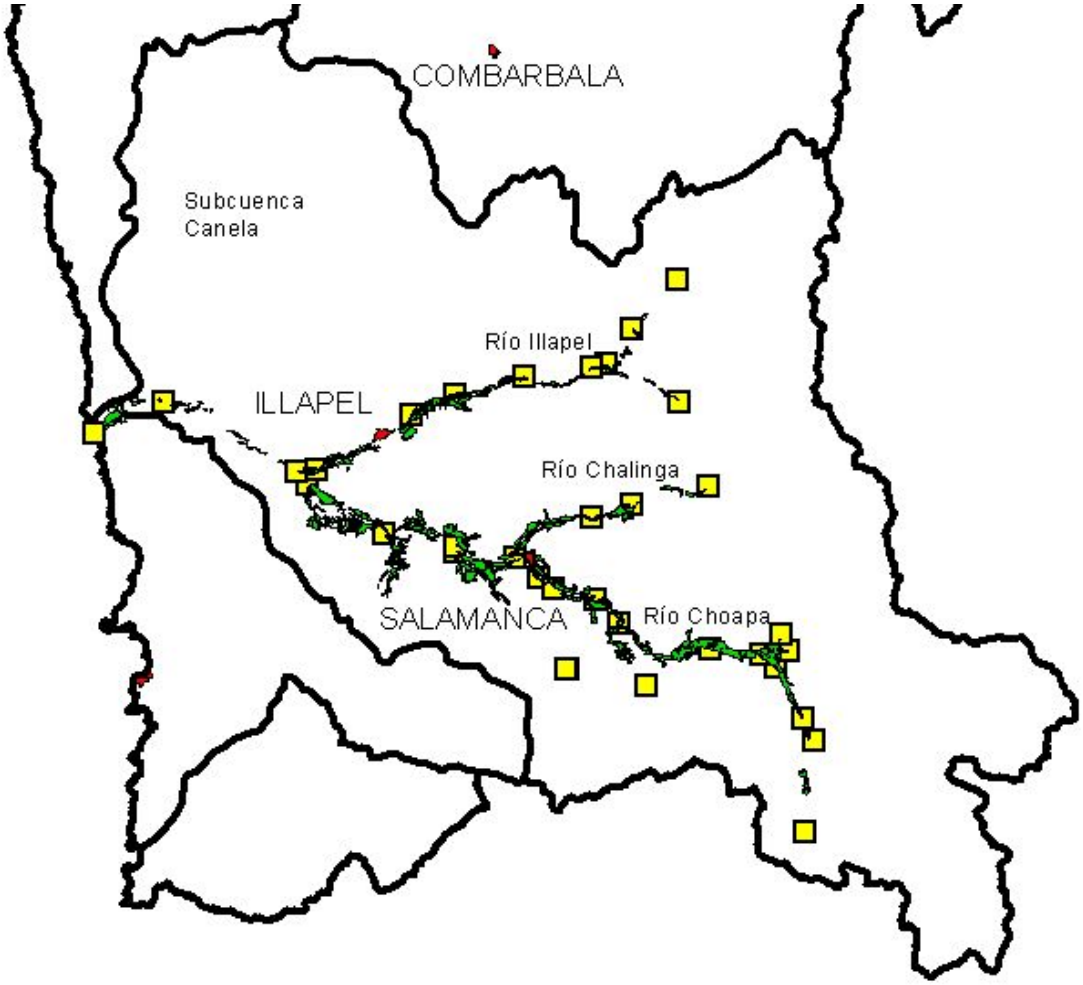
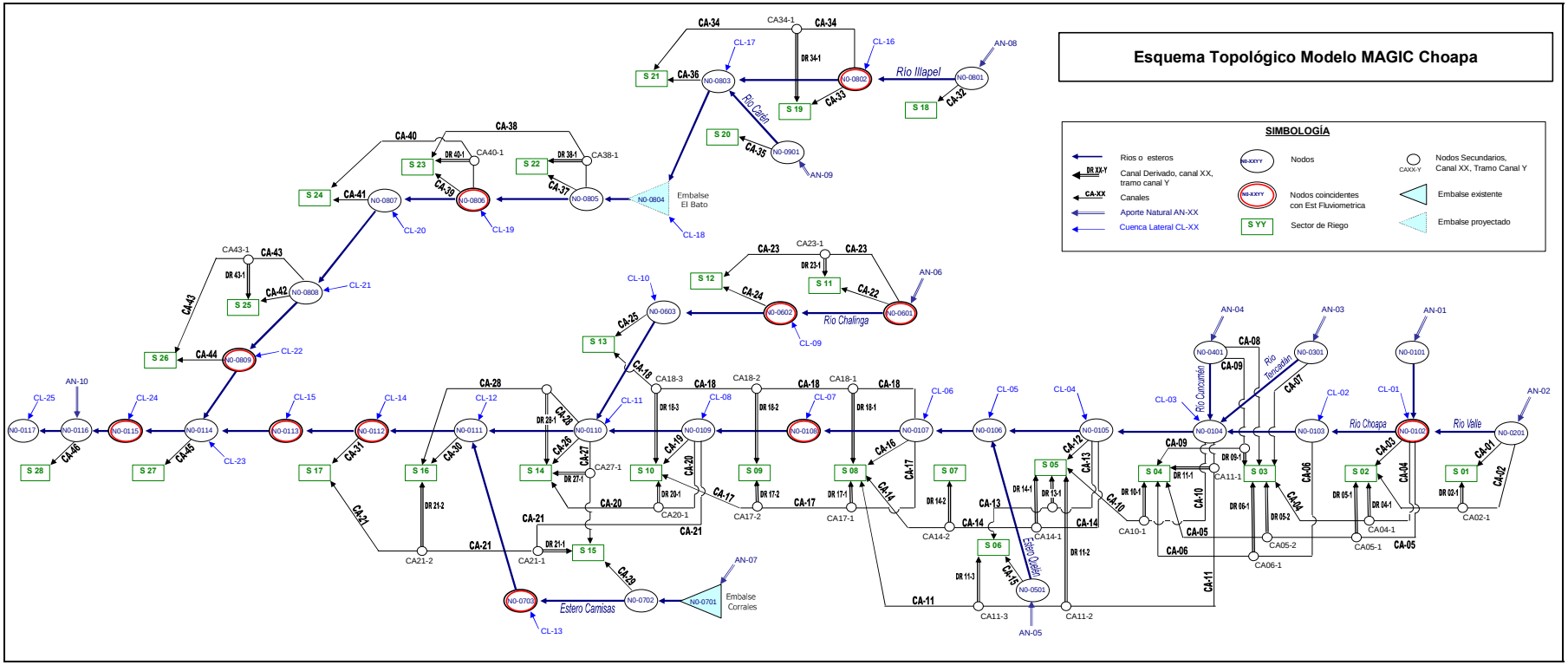


Figura 7-2
Esquema topológico de la cuenca del Choapa para modelación con MAGIC



7.2.2 Estadísticas de precipitaciones

Es importante contar con buenas estadísticas de precipitaciones en la cuenca, debido a que son la fuente para la generación de caudales en cuencas no controladas, por un lado, y por otro lado, también se usan para determinar la precipitación efectiva agronómica sobre las zonas de riego. Por lo anterior, se hizo un análisis exhaustivo de las estadísticas de precipitaciones en la cuenca.

Se obtuvo las estadísticas de precipitaciones en 10 estaciones para el período 1950/51 a 2004/05, de acuerdo con la siguiente metodología: el registro correspondiente al período 1950/51-1989/90 fue obtenido del Estudio Integral de Riego Proyecto Choapa (CNR, 1995). En dicho estudio, fueron rellenadas, corregidas y extendidas las estadísticas de 10 estaciones (Cuadro Nº 5)

Para el período 1990/91-2004/05 se utilizó los registros disponibles en estaciones DGA que contenían suficiente información. En los casos en que los registros se hallaban incompletos, se procedió a rellenar las precipitaciones anuales o mensuales mediante correlaciones con estaciones vecinas con información en el período que interesa rellenar. La consistencia de los registros obtenidos fue verificada mediante el método de la Curva Doble Acumulada (CDA), siendo innecesaria corrección alguna.

Dos estaciones de las 10 utilizadas en el EIR Choapa (estaciones Santa Virginia y Mal Paso) no registraban información en el período 1990/91-2004/05. Para esos casos, primero se procedió a extender las precipitaciones anuales para este período utilizando el método de la CDA, fabricando un patrón de precipitaciones con las 5 estaciones consideradas para tal efecto en el EIR Choapa, para el período completo 1950/51-2004/05. Las precipitaciones mensuales se obtuvieron de acuerdo con la relación entre ellas y las precipitaciones anuales en estaciones del patrón vecinas a las mismas.

Finalmente se verificó la consistencia de la serie total obtenida mediante CDA siendo satisfactorios y aceptados los resultados obtenidos.

Las estadísticas procesadas y usadas en el modelo se presentan en el Cuadro 7-5. En el Anexo Digital IV se presentan las estadísticas completas de precipitaciones.

Cuadro 7-5
Estaciones de precipitación para el análisis con el modelo

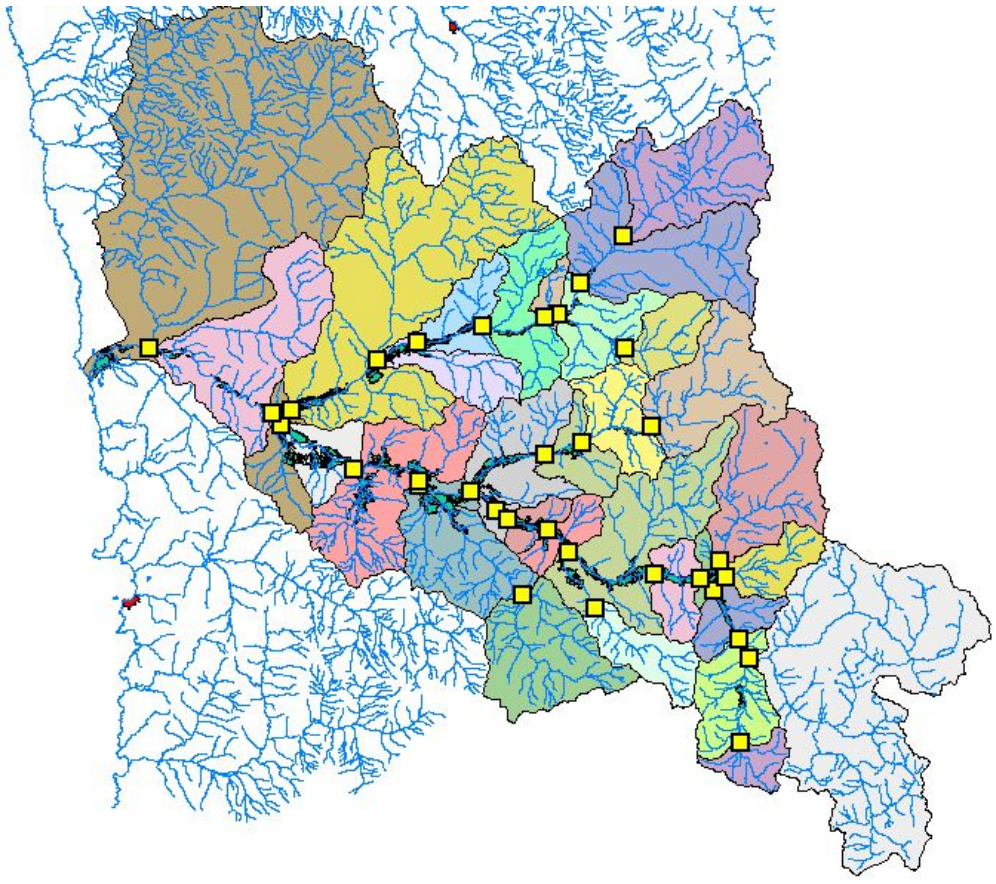
Nombre Estación	Registro	Este(m)	Norte(m)	Altitud (msnm)
Mincha Norte	1974-2005	267,501	6,503,090	50
Hda. San Agustín	1930-2005	326,280	6,489,455	1280
Salamanca	1971-2005	313,744	6,483,691	510
Coirón	1974-2005	332,929	6,469,234	840
Illapel DGA	1974-2005	292,924	6,498,083	290

Nombre Estación	Registro	Este(m)	Norte(m)	Altitud (msnm)
Sta. Virginia	1969-1989	325,970	6,507,932	980
Mal Paso	1960-1989	301,078	6,485,302	375
LaTranquilla	1966-2005	342,387	6,469,383	975
Cuncumén	1958-2005	347,116	6,469,455	1080
Limáhuida	1964-2005	294,762	6,485,179	295

7.2.3 Subcuencas aportantes

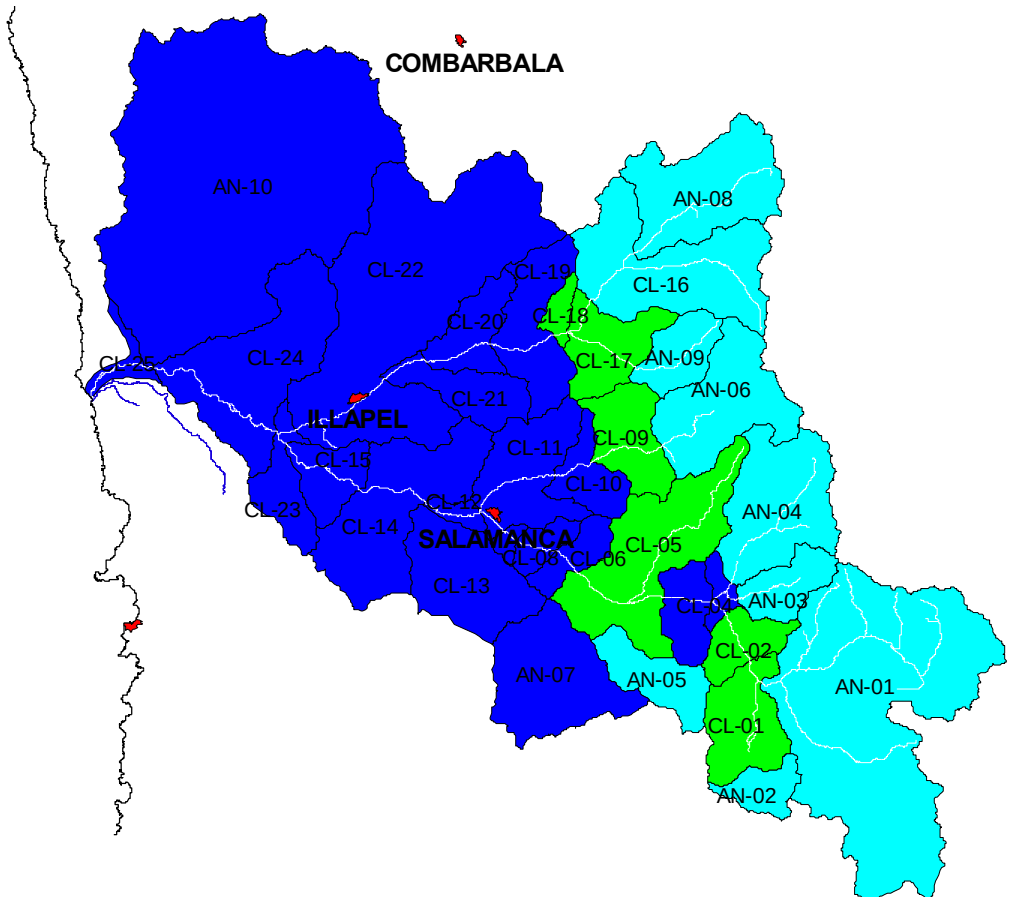
La definición de los nodos para la modelación determina cada una de las subcuencas aportantes del sistema. En base a la escorrentía que se mide en las subcuencas controladas, ya sean nivales o pluviales, se hace una estimación de los aportes de todas las demás subcuencas. Es importante señalar que los caudales de las cuencas que generan los aportes más importantes están todos controlados En la Figura 7-3 adjunta se muestra la configuración de las subcuencas resultantes para la cuenca del Choapa, distinguiendo subcuencas de tipo pluvial, nival y mixto.

Figura 7-3
Definición de subcuencas aportantes dentro de la cuenca del Choapa



En la Figura 7-4 se distingue entre cuencas nivales, mixtas y pluviales, pues los procesos de generación de caudales en las distintas cuencas difieren según su naturaleza.

Figura 7-4
Distinción de subcuencas nivales, mixtas y pluviales



a) Subcuencas pluviales

Se generaron caudales medios mensuales en las subcuencas pluviales no controladas con el modelo MPL. En la zona de estudio no existen controles fluviométricos en cuencas no intervenidas pluviales, que permitan ajustar los parámetros del MPL. Por ello, para calibrar el MPL se utilizó la cuenca del estero Pupío, y dentro de ella específicamente la subcuenca controlada por la estación Pupío en Las Ramadas.

Los parámetros obtenidos para el estero Pupío fueron los parámetros iniciales que se usaron en la calibración del modelo MAGIC del Choapa. No obstante, hubo que recalibrar el MPL para cada una de las subcuencas pluviales aportantes, modificando los parámetros de calibración Pmin (porcentaje de la lluvia que se manifiesta como escorrentía superficial inmediata), Hmax (lámina de agua correspondiente al estado de saturación en mm), k (constante de tiempo del

embalse subterráneo), FC (tasa de infiltración en suelo saturado en mm/día) y alfa (tasa de variación del coeficiente de infiltración con el grado de saturación en mm/día), de modo de lograr que representaran lo que ocurre en la cuenca del Choapa..
Los parámetros finales de calibración de cada subcuenca, con los que el modelo MAGIC pudo ser calibrado, son los que se presentan en el Cuadro 7-6 a continuación.

Cuadro 7-6
Parámetros del modelo MPL
para generación de caudales en subcuencas pluviales no controladas

Subc	NA	AREA	Si	Ezi	A	B	Pmin	Hmax	K	FC	ALFA	Smin	Scrit	Scc
AN-07	10	255.842	0.01	0.01	1.178	1.364	0.03	600	120	8	10	0.230	0.805	0.974
AN-10	10	1371.423	0.01	0.01	1.067	1.148	0.03	600	120	8	62	0.230	0.805	0.974
CL-03	10	29.607	0.01	0.01	1.058	1.355	0.03	600	120	8	10	0.230	0.805	0.974
CL-04	10	85.182	0.01	0.01	1.204	1.366	0.03	600	120	8	10	0.230	0.805	0.974
CL-06	10	59.968	0.01	0.01	0.839	1.286	0.03	600	120	8	10	0.230	0.805	0.974
CL-07	10	43.719	0.01	0.01	0.766	1.212	0.03	600	120	8	10	0.230	0.805	0.974
CL-08	10	14.615	0.01	0.01	0.912	1.172	0.03	600	120	8	10	0.230	0.805	0.974
CL-10	10	84.448	0.01	0.01	1.036	1.376	0.03	600	120	8	10	0.230	0.805	0.974
CL-11	10	190.545	0.01	0.01	0.841	1.290	0.03	600	120	8	62	0.230	0.805	0.974
CL-12	10	22.995	0.01	0.01	0.792	1.032	0.03	600	120	8	10	0.230	0.805	0.974
CL-13	10	216.125	0.01	0.01	0.942	1.206	0.03	600	120	8	10	0.230	0.805	0.974
CL-14	10	309.831	0.01	0.01	1.059	1.122	0.03	600	120	8	10	0.230	0.805	0.974
CL-15	10	89.894	0.01	0.01	1.041	0.992	0.03	600	120	8	10	0.230	0.805	0.974
CL-19	10	170.684	0.01	0.01	1.259	1.359	0.03	600	120	8	10	0.230	0.805	0.974
CL-20	10	101.534	0.01	0.01	1.404	1.264	0.03	600	120	8	62	0.230	0.805	0.974
CL-21	10	107.277	0.01	0.01	1.103	1.275	0.03	600	120	8	62	0.230	0.805	0.974
CL-22	10	794.778	0.01	0.01	1.555	1.225	0.03	600	120	8	62	0.230	0.805	0.974
CL-23	10	93.083	0.01	0.01	1.041	1.029	0.03	600	120	8	62	0.230	0.805	0.974
CL-24	10	350.912	0.01	0.01	1.083	1.036	0.03	600	120	8	62	0.230	0.805	0.974

donde:

NA : Número de años de la estadística de precipitaciones
AREA : Área de la cuenca, en km².
Si : Grado de Saturación Inicial en [º/1]
Ezi : Flujo Subterráneo Inicial en [m3/s]
A : Coeficiente que multiplica el dato de lluvia para obtener la lluvia media sobre la cuenca.
B : Coeficiente que multiplica el dato de evaporación de bandeja con el fin de obtener la evapotranspiración potencial media sobre la cuenca.
Pmin Porcentaje de la lluvia que se manifiesta como escorrentía superficial inmediata.
Hmax : Máxima lámina de agua contenida en el suelo saturado, en (mm).
K : Constante de tiempo del embalse subterráneo, en (días).
FC : Tasa de infiltración correspondiente a suelo saturado (S=1), en (mm/día).
ALFA Variación de la tasa de infiltración por unidad de variación del grado de humedad: ALFA = -df/ds.
Smin Grado de humedad correspondiente al punto de marchitez permanente.

Scrit Grado de humedad crítico bajo el cual la tasa de evapotranspiración real decrece linealmente
Scc Grado de humedad correspondiente a capacidad de campo.

b) Subcuencas nivales

El procedimiento para la generación de caudales en las cuencas nivales consistió, primeramente, en el relleno de las estadísticas fluviométricas nivales

a) Choapa en Cuncumén
b) Cuncumén antes bocatoma canales
c) Chalinga en La Palmilla
d) Illapel en Las Burras

Posteriormente, se usaron las estadísticas así completadas, para la estimación de los caudales asociados a las cuencas nivales sin control. El cálculo se realizó con transposiciones por unidad de área y elevación. Es decir:

$$Qk\ (\text{cuenca nival j}) = \frac{Qk\ (\text{estación}) \cdot A\ (\text{cuenca nivel j}) \cdot Z\ (\text{cuenca nival j})}{(A\ (\text{estación i}) \cdot Z\ (\text{estación i})}$$

donde:

Qk (cuenca nival j): Caudal en cuenca nival j en el mes k (k entre abril de 1963 a marzo de 2004).

Qk estación: Caudal en el mes k de la estación fluviométrica rellenada.

A (cuenca nival j): Área de la cuenca nival j.

A (estación i): Área de la cuenca asociada al punto donde se ubica la estación fluviométrica rellenada i.

Z (estación i): Elevación media de la cuenca asociada al punto donde se ubica la estación fluviométrica rellenada i.

Z (cuenca nivel j): Elevación media de la cuenca nival j.
Se calculó como promedio ponderado de rangos de elevación:

$$Z\ (\text{cuenca nival j}) = \sum_m Ajm \cdot zjm \ / \ \sum_m Ajm$$

donde:
Ajm = área del rango de elevación m en cuenca j
zjm = elevación media del rango de elevación m en la cuenca j

Las cuencas para las cuales se generó el caudal con el procedimiento descrito son las que se presentan en el Cuadro 7-7.

Cuadro 7-7
Cuencas con generación de caudal en base a modelo nival

Código	Identificación subcuenca	Estación fluviométrica asociada
AN-01	Río Choapa sobre Río Valle	Río Choapa sobre Río Valle
AN-02	Río Valle en cabecera	Río Cuncumén antes bocatoma canales
AN-03	Estero Tencadán arriba canales	Río Cuncumén antes bocatoma canales
AN-04	Río Cuncumén en cabecera	Río Cuncumén antes bocatoma canales
AN-05	Estero Quelén en cabecera	Río Cuncumén antes bocatoma canales
AN-06	Río Chalinga en cabecera	Río Cuncumén antes bocatoma canales
AN-08	Illapel sobre comienzo canales	Río Illapel en Las Burras
AN-09	Estero Carén en cabecera	Río Illapel en Las Burras
CL-16	Río Illapel entre Las Burras y comienzo canales	Río Illapel en Las Burras

c) Subcuencas nivo-pluviales o mixtas

Para estas cuencas se obtuvo un caudal medio anual en base a la aplicación del método CICA, que permite la estimación de este valor de la escorrentía en cuencas sin control fluviométrico, en función de la precipitación media anual. Con la estimación del caudal medio anual en la cuenca sin control, se procede a obtener un factor de transposición en relación con una cuenca controlada. Con este factor de transposición se genera la estadística de caudales medios mensuales en la subcuenca sin control, a partir de la cuenca controlada. Las subcuencas mixtas se aprecian en la Figura 7-4, más arriba.

En el Cuadro 7-8 adjunto se presenta la estación base usada para la generación de caudales medios mensuales en cada una de las subcuencas mixtas.

Cuadro 7-8
Obtención de caudales en subcuencas mixtas

Código	Identificación subcuenca	Estación fluviométrica asociada
CL-01	Río Valle parte baja y Choapa hasta EF Choapa en Cuncumén	Río Choapa en Cuncumén
CL-02	Río Choapa entre EF Choapa en Cuncumén y pueblo Cuncumén	Río Choapa en Cuncumén
CL-05	Río Choapa entre Bocatoma Corrales y sector confluencia Quelén-Choapa	Río Choapa en Cuncumén
CL-09	Río Chalinga entre La Palmilla y San Agustín	Río Chalinga en Palmilla
CL-17	Confluencia Ríos Illapel y Carén	Río Illapel en Las Burras
CL-18	Río Illapel entre confluencia con Río Carén y Embalse El Bato	Río Illapel en Las Burras

7.2.4 Aguas subterráneas

a) Acuíferos

Los límites de los acuíferos se trazaron definiendo el contacto roca-relleno en función del contacto identificado en la imagen satelital de alta resolución. Se suavizaron los contornos para asegurar que los rellenos definidos correspondieran a estratos acuíferos relevantes. En el Cuadro 7-9 se incluye un listado de los acuíferos definidos, los que se muestran en la Figura 7-5.

Los parámetros que permiten caracterizar los acuíferos del sistema se obtuvieron del estudio de la referencia (Ref: Estudio Integral de Riego Valle de Choapa, Ingendesa, 1995), encargado por la Comisión Nacional de Riego.

Los parámetros de espesor saturado, conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento, con los que se logró calibrar el modelo MAGIC, son los que se presentan en el Cuadro 7-9.

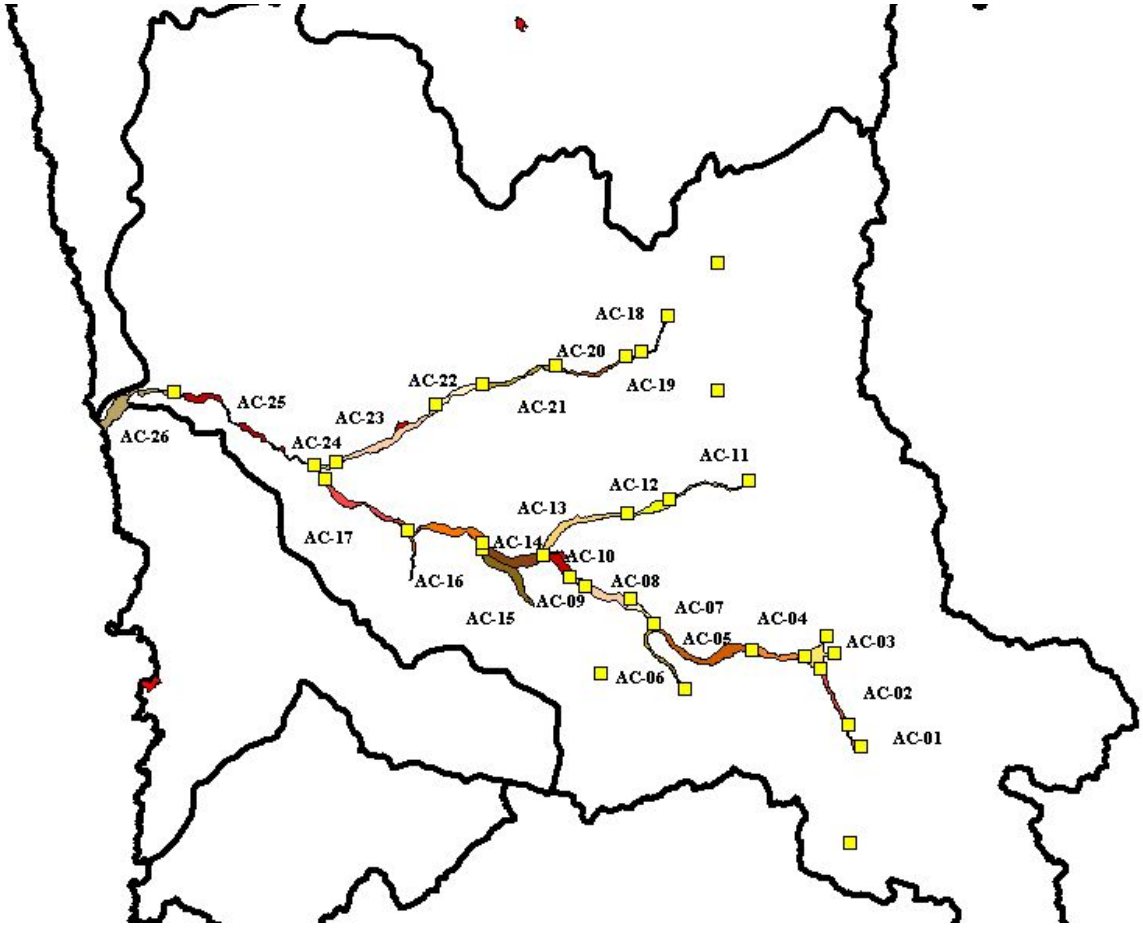
Las elevaciones de los niveles piezométricos se obtuvieron de los datos registrados en los pozos incluidos en la red de monitoreo de aguas subterráneas de la DGA. La historia de niveles de esos pozos se muestra en el Capítulo 7.3, de calibración. Los gradientes hidráulicos se calcularon en función de esos valores, y se presentan también en el Cuadro 7-9.

Cuadro 7-9
Caracterización acuíferos Choapa

Código	Nombre	Volumen Inicial [m3]	S (º/1)	Espesor de entrada (m)	Espesor de salida (m)	Coef perm entrada [m/mes]	Coef perm salida [m/mes]	Gradiente entrada [º/1]	Gradiente salida [º/1]	Caudal inicial entrada m3/s]	Caudal inicial salida [m3/s]
AC-01	Río Valle	800000	0,080	20,00	35,00	825,00	825,00	0,039	0,022	0,000	0,020
AC-02	Batuco	8000000	0,080	35,00	100,00	825,00	825,00	0,022	0,021	0,020	0,121
AC-03	Cuncumén	22527730	0,080	100,00	100,00	825,00	825,00	0,021	0,019	0,121	0,210
AC-04	Tranquilla	18895778	0,080	100,00	100,00	825,00	825,00	0,019	0,017	0,210	0,195
AC-05	Coirón	45655626	0,080	100,00	100,00	825,00	825,00	0,017	0,016	0,195	0,068
AC-06	Estero Quelén	6834738	0,080	50,00	100,00	825,00	825,00	0,052	0,016	0,000	0,019
AC-07	Llimpo	10211555	0,080	100,00	100,00	825,00	825,00	0,016	0,013	0,087	0,201
AC-08	Higuerilla Panguecillo	22733999	0,080	100,00	125,00	825,00	825,00	0,013	0,013	0,201	0,170
AC-09	El Queñe	8892134	0,080	125,00	125,00	825,00	825,00	0,013	0,013	0,170	0,213
AC-10	Salamanca	23526222	0,080	125,00	200,00	825,00	645,00	0,013	0,009	0,213	0,096
AC-11	Zapallar	8000000	0,080	30,00	80,00	645,00	645,00	0,041	0,038	0,000	0,341
AC-12	Río Chalinga bajo San Agustín	33993521	0,080	80,00	150,00	645,00	645,00	0,038	0,023	0,341	0,123
AC-13	Río Chalinga sobre Choapa	67006484	0,080	150,00	200,00	645,00	645,00	0,023	0,009	0,123	0,111
AC-14	El Tambo	65000000	0,080	200,00	150,00	645,00	240,00	0,009	0,009	0,207	0,015
AC-15	Estero Camisas	51373730	0,080	150,00	150,00	240,00	240,00	0,012	0,009	0,000	0,011

Código	Nombre	Volumen Inicial [m3]	S (º/1)	Espesor de entrada (m)	Espesor de salida (m)	Coef perm entrada [m/mes]	Coef perm salida [m/mes]	Gradiente entrada [º/1]	Gradiente salida [º/1]	Caudal inicial entrada m3/s]	Caudal inicial salida [m3/s]
AC-16	Choapa Limáhuida	60685572	0,080	150,00	100,00	240,00	240,00	0,009	0,007	0,026	0,011
AC-17	Choapa antes Río Illapel	29669983	0,080	100,00	100,00	240,00	240,00	0,007	0,006	0,011	0,002
AC-19	Illapel sobre Carén	768312	0,080	20,00	30,00	150,00	150,00	0,061	0,027	0,000	0,004
AC-21	Illapel sobre Bato	861315	0,080	30,00	30,00	150,00	150,00	0,027	0,019	0,004	0,004
AC-22	Illapel sobre Huintil	3395390	0,080	30,00	45,00	150,00	150,00	0,019	0,017	0,004	0,004
AC-23	Illapel sobre Cárcamo	25000000	0,080	45,00	200,00	150,00	150,00	0,017	0,015	0,004	0,041
AC-24	Illapel sobre Aucó	23000000	0,080	200,00	100,00	150,00	150,00	0,015	0,013	0,041	0,021
AC-25	Ciudad Illapel	28000000	0,080	100,00	50,00	150,00	150,00	0,013	0,012	0,021	0,005
AC-26	El Maitén	2021119	0,080	50,00	75,00	150,00	150,00	0,012	0,007	0,005	0,001
AC-27	Choapa sobre Canela	23680657	0,080	75,00	75,00	150,00	410,96	0,007	0,003	0,001	0,002
AC-28	Huentelauquén	10175811	0,030	75,00	75,00	410,96	410,96	0,003	0,003	0,002	0,022

Figura 7-5
Acuíferos definidos para la modelación



b) Pozos

La información relacionada con los pozos del sistema, se obtuvo de los registros de derechos otorgados y en trámite de la DGA Regional y de la DGA Central. Esos antecedentes fueron procesados y comparados entre sí para evitar la repetición de datos. Los pozos considerados en la modelación fueron todos aquellos que tienen derechos comprometidos. Para el Choapa, se consideró que todas las solicitudes aprobadas y en trámite son derechos comprometidos, porque aún no hay ninguna política de cierre definida por la DGA.

La Tabla con el listado completo de derechos comprometidos en el Choapa se muestra en el Anexo Digital V. De esta tabla se obtiene la información que permite completar las matrices correspondientes del MAGIC.
En el Cuadro 7-10 se presenta el resumen de los derechos, asociados a cada tipo de uso, por sector de análisis del modelo MAGIC.

Cuadro 7-10
Pozos agregados por tipo de uso y por acuífero, para modelación con MAGIC

Código	Acuífero	Objeto Destino	Uso	Qb max, [m3/s] o Derechos	Info
PO-001	AC-02	N/A	US-02	0,002	APR
PO-002	AC-03	N/A	US-03	0,133	Los Pelambres
PO-003	AC-03	N/A	US-02	0,002	APR
PO-004	AC-04	N/A	US-02	0,0035	APR
PO-005	AC-05	ZR-05	US-01	0,069	Riego
PO-006	AC-05	N/A	US-02	0,0191	APR
PO-007	AC-05	NO-0105	US-02	0,245	Los Pelambres al río
PO-008	AC-05	NO-0106	US-02	0,075	Los Pelambres al río
PO-009	AC-06	N/A	US-02	0,0031	APR
PO-010	AC-07	N/A	US-02	0,0077	APR
PO-011	AC-08	NO-0107	US-02	0,040	Los Pelambres al río
PO-012	AC-08	NO-0108	US-02	0,140	Los Pelambres al río
PO-013	AC-08	N/A	US-02	0,0441	AP Salamanca
PO-014	AC-09	NO-0109	US-02	0,060	Los Pelambres al río
PO-015	AC-09	N/A	US-02	0,0011	APR
PO-016	AC-12	N/A	US-02	0,0025	APR
PO-017	AC-13	ZR-13	US-01	0,005	Riego
PO-018	AC-13	N/A	US-02	0,002	APR
PO-019	AC-14	N/A	US-02	0,012	APR
PO-020	AC-15	ZR-15	US-01	0,020	Riego
PO-021	AC-15	N/A	US-02	0,0081	APR
PO-022	AC-16	ZR-16	US-01	0,147	Riego
PO-023	AC-16	N/A	US-02	0,0147	APR
PO-024	AC-16	N/A	US-04	0,012	APR
PO-025	AC-17	ZR-17	US-01	0,090	Riego
PO-026	AC-17	N/A	US-02	0,0073	APR
PO-027	AC-22	N/A	US-02	0,004	APR
PO-028	AC-23	ZR-23	US-01	0,016	Riego
PO-029	AC-24	ZR-24	US-01	0,039	Riego

Código	Acuífero	Objeto Destino	Uso	Qb max, [m3/s] o Derechos	Info
PO-030	AC-24	N/A	US-02	0,107	AP Illapel
PO-031	AC-25	ZR-25	US-01	0,2052	Riego
PO-032	AC-25	N/A	US-02	0,017	AP Illapel
PO-033	AC-26	ZR-26	US-01	0,066	Riego
PO-034	AC-27	N/A	US-02	0,0108	APR
PO-035	AC-28	ZR-28	US-01	0,140	Riego
PO-036	AC-28	N/A	US-02	0,004	APR
PO-037	AC-28	N/A	US-04	0,046	Inmobiliaria

Para los diferentes usos se definen factores de uso, los cuales se muestran en el Cuadro 7-11.

Cuadro 7-11
Factores de uso

Código	Nombre	Factor de Uso, [º/1]	Observaciones
US-01	Riego	1	Este factor no se usa cuando se bombea el déficit
US-02	Potable	1	Se ingresa en MAGIC la estadística de uso efectivo
US-03	Minero	0,25	
US-04	Industrial	0,25	

El factor de uso para el uso de riego no se usa, pues en general se trabaja con la opción de bombear sólo el déficit que queda después de usar las aguas superficiales disponibles.

Para el agua potable, tanto rural como urbana, se ingresa en la tabla de caudales los caudales efectivamente usados, de modo que el factor de uso es igual a uno.

Para el uso minero, a pesar de las múltiples averiguaciones y solicitudes de información, no se ha podido obtener datos en las propias empresas, de modo que se ha asumido un factor de uso en función de la cantidad de agua que requieren los procesos y la cantidad de producto que obtienen las empresas mineras, con lo cual se obtiene un factor de uso de los derechos, de alrededor de 0,25.

Para las industrias, no se pudo obtener información acerca del factor real de uso, de modo que, dado el monto de los derechos, se usó el valor total de ellos en la modelación.

7.2.5 Canales

La cobertura usada de base para la representación de los canales en este estudio, fue la de la CNR, que se encuentra entre las coberturas básicas, y se llama canales.shp. En base a esta cobertura se originó otra, que se llama red_canales_choapa, que fue corregida, actualizada y

completada con información proporcionada por las Juntas de Vigilancia de los ríos Illapel, Chalinga y Choapa, y que además, fue depurada de todos los canales que no tienen acciones inscritas, o que tienen acciones eventuales. Finalmente, esta cobertura fue nuevamente depurada, originando la cobertura llamada red_canales_choapa_magic, sacando los canales de quebradas laterales y de zonas que quedan sobre los nodos más altos, que no tienen una representación directa en el MAGIC, e incluyendo algunos canales que no tienen una representación gráfica pero sí tienen derechos permanentes.

Un resumen de los canales matrices modelados se incluye en el Cuadro 7-12, y un resumen de los canales derivados modelados se muestra en el Cuadro 7-13.

Cuadro 7-12
Canales matrices modelados

Código	Topología	Nombre	Acciones
CA-01	ZR-01 desde NO-0201	Los Morros, Cabecita de León, Eusebio, Huinganal, Los Blancos, El Valle	365.02
CA-02	ZR-01 y ZR-02 desde NO-0201	Piedrino	104.00
CA-03	ZR-02 desde NO-0102	Batuco, Manzano Derecho, Manzano Izquierdo	210.62
CA-04	ZR-02 y ZR-03 desde NO-0102	Rodadero o Manzano	350.00
CA-05	ZR-02, ZR-03 y ZR-04 desde NO-0102	Pangue o Inquilinos	300.00
CA-06	ZR-03 y ZR-04 desde NO-0103	Molino de Tranquilla	300.00
CA-07	ZR-03 desde NO-0301	Molino de Tencadán, Tencadán Derecho, Tencadán Izquierdo, Codicia o Las Pampitas, Tencadán Cortadera Derecho, Tencadán Aletón Izquierdo	230.00
CA-08	ZR-03 desde NO-0401	Buitrón, El Bosque, Los Loros o Los Arriendos	25.30
CA-09	ZR-03 y ZR-04 desde NO-0401	Tiralarga	90.00
CA-10	ZR-04 y ZR-05 desde NO-0104	Araya, Barraco Grande, Los Ranchos Choapa	1100.00
CA-11	ZR-04, ZR-05, ZR-06 y ZR-08 desde NO-0104	Silvano	1574.00
CA-12	ZR-05 desde NO-0105	Barraco Chico, Aguas Claras de Chillepín, Del Sauco, El Pavo	660.00
CA-13	ZR-05 y ZR-06 desde NO-0105	El Molino de Quelén	124.00
CA-14	ZR-05, ZR-07 y ZR-08 desde NO-0105	Breas o Molino de Llimpo	1000.00
CA-15	ZR-06 desde NO-0501	De La Higuera, Potrero El Buey, Maitén	100.00 Ev
CA-16	ZR-08 desde NO-0107	Panguecillo Uno o Del Medio, Panguecillo Dos	600.00
CA-17	ZR-08, ZR-09 y ZR-10 desde NO-0107	Higueral	500.00
CA-18	ZR-08, ZR-09, ZR-10 y ZR-13 desde NO-0107	Pardo	530.00
CA-19	ZR-10 desde NO-0109	El Queñe, Aguas Claras	125.00
CA-20	ZR-10 y ZR-14 desde NO-0109	Población	397.00
CA-21	ZR-15, ZR-16 y ZR-17 desde NO-0109	Buzeta	3000.00

Código	Topología	Nombre	Acciones
CA-22	ZR-11 desde NO-0601	Molino de Zapallar	59.00
CA-23	ZR-11 y ZR-12 desde NO-0601	Batuco de Chalinga	300.00
CA-24	ZR-12 desde NO-0602	Alameda, Maravillal o La Viña, Palquial o Molino de San Agustín, Valentino y Canelo	362.50
CA-25	ZR-13 desde NO-0603	Vert. Los Guindos, Vert. San Francisco, Vert. Las Casas, Chañar Chalinga, Cunlagua, Huanque, Arboleda Grande, Chalinga o Cancha Brava, Chilcas, Tebal	1052.00
CA-26	ZR-14 desde NO-0110	Tahuincano, Las Viudas	570.00
CA-27	ZR-14 y ZR-15 desde NO-0110	Caracha	500.00
CA-28	ZR-14 y ZR-16 desde NO-0110	El Boldo o Chuchiñí	800.00
CA-29	ZR-15 desde NO-0702	Jote, Camisas o Batito	140.00
CA-30	ZR-16 desde NO-0111	El Molino de Peralillo, Las Chacras, Los Loros o Del Medio	460.00
CA-31	ZR-17 desde NO-0112	Pintacura Norte, Pintacura Sur o Alto	650.00
CA-32	ZR-18 desde NO-0801	Los Gonzalez, Salinas, Las Burras Bajas, El Durazno Illapel, Los Perales Illapel, Las Burras Altas	96.45
CA-33	ZR-19 desde NO-0802	Llano Alto, Llano Bajo, Covachas, Los Manque, Alcantarilla, Pichicaven, Calderón, Mala Ladera, El Agüita, Los Sauces, La Montaña, Rodado, El Bajo, El Macal Illapel	200.54
CA-34	ZR-19 y ZR-21 desde NO-0802	Santa Margot	39.03
CA-35	ZR-20 desde NO-0901	Molino de Carén Illapel, Santa Ana, San Arturo, Carrizo Carén, San Isidro Carén, El Buitre Carén, Tizón	221.65
CA-36	ZR-21 desde NO-0803	Santa Margarita, El Palqui Illapel	65.66
CA-37	ZR-22 desde NO-0805	El Peumo, San Jorge, Santa Isabel, San Javier	113.23
CA-38	ZR-22 y ZR-23 desde NO-0805	La Turbina	283.09
CA-39	ZR-23 desde NO-0806	Santa Olga, Los Pelados, San Isidro, El Silo, San Patricio, Camarote, Escorial Illapel, Plantación	374.50
CA-40	ZR-23 y ZR-24 desde NO-0806	La Higuera, Cocinera	940-39
CA-41	ZR-24 desde NO-0807	Vert. Luna, Hospital, Molino de Cárcamo, Potrero Nuevo	815.30
CA-42	ZR-25 desde NO-0808	Zepedino, Cuz Cuz, Población Los Guindos, San Juan de Dios	588.90
CA-43	ZR-25 y ZR-26 desde NO-0808	Inquilinos o Del Bajo, Molino El Peral, Bellavista o Del Alto, Del Medio o Bellavista Bajo	542.90
CA-44	ZR-26 desde NO-0809	Junta El Maitén	7.50
CA-45	ZR-27 desde NO-0114	Coyuntagua Norte, Coyuntagua Sur Uno, Coyuntagua Sur Dos, San Francisco, San Pedro, Doña Juana, Mincha Norte, Mincha Sur Arriba, Mincha Sur Abajo, Matriz de Mincha, Tunga Norte Bajo	439.00
CA-46	ZR-28 desde NO-0115	Salinero, Millahue Uno o Lílenes, Millahue Dos o Los Patos, Los Rulos, San Antonio, Molino de Choapa	1246.00

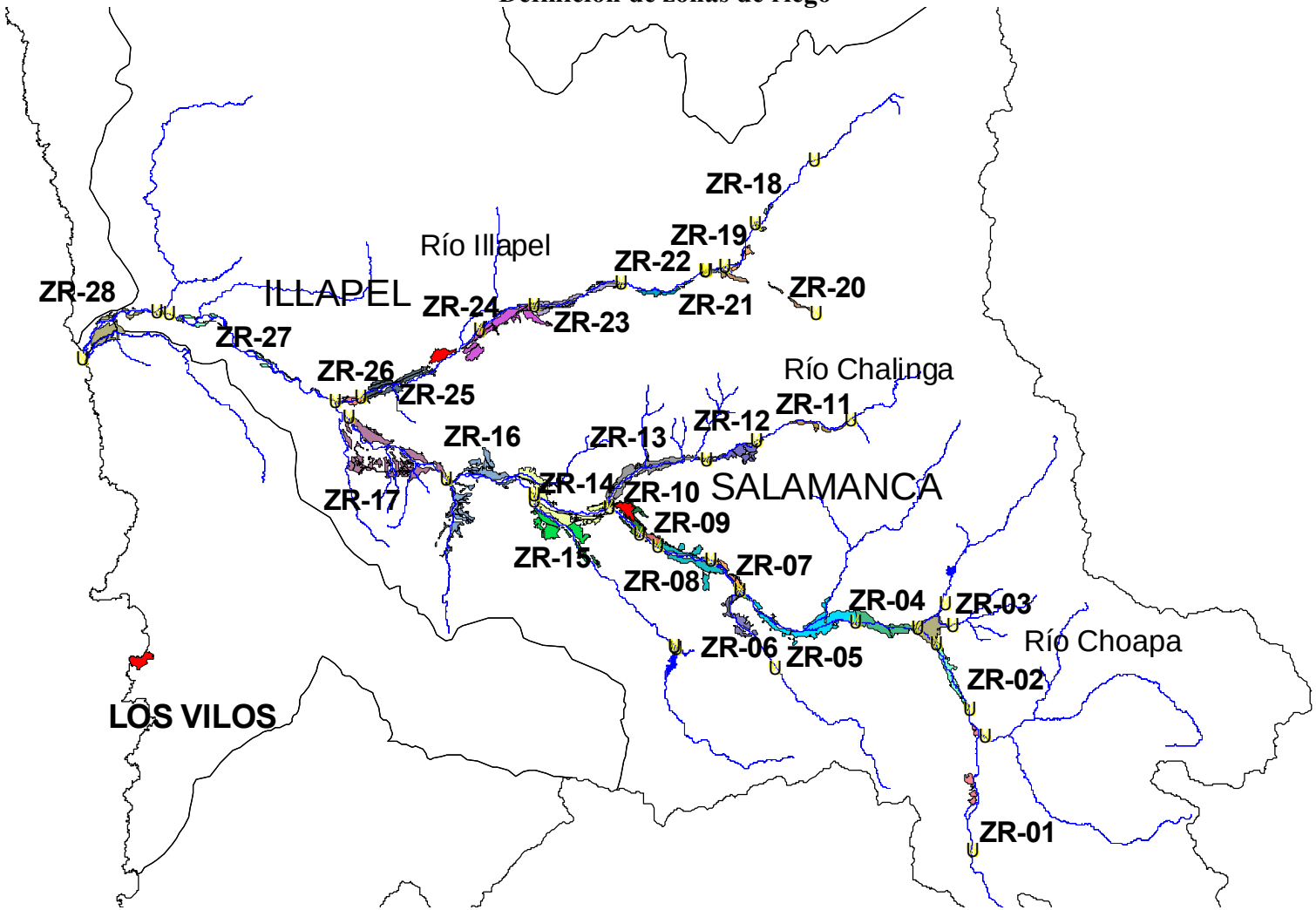
Cuadro 7-13
Canales derivados modelados

Cód Canal Derivado	Nodo Inicio Canal Matriz	Topología Nodo Secundario	Canal Matriz Asociado
DR 02-1	NO-0201	ZR-01 desde CA02-1	Piedrino
DR 04-1	NO-0102	ZR-02 desde CA04-1	Rodadero o Manzano
DR 05-1	NO-0102	ZR-02 desde CA05-1	Pangue o Inquilinos
DR 05-2	NO-0102	ZR-03 desde CA05-2	Pangue o Inquilinos
DR 06-1	NO-0103	ZR-03 desde CA06-1	Molino de Tranquilla
DR 09-1	NO-0401	ZR-03 desde CA09-1	Tiralarga
DR 10-1	NO-0104	ZR-04 desde CA10-1	Araya, Barraco Grande, Los Ranchos Choapa
DR 11-1	NO-0104	ZR-04 desde CA11-1	Silvano
DR 11-2	NO-0104	ZR-05 desde CA11-2	Silvano
DR 11-3	NO-0104	ZR-06 desde CA11-3	Silvano
DR 13-1	NO-0105	ZR-05 desde CA13-1	El Molino de Quelén
DR 14-1	NO-0105	ZR-05 desde CA14-1	Breas o Molino de Llimpo
DR 14-2	NO-0105	ZR-07 desde CA14-2	Breas o Molino de Llimpo
DR 17-1	NO-0107	ZR-08 desde CA17-1	Higueral
DR 17-2	NO-0107	ZR-09 desde CA17-2	Higueral
DR 18-1	NO-0107	ZR-08 desde CA18-1	Pardo
DR 18-2	NO-0107	ZR-09 desde CA18-2	Pardo
DR 18-3	NO-0107	ZR-10 desde CA18-3	Pardo
DR 20-1	NO-0109	ZR-10 desde CA20-1	Población
DR 21-1	NO-0109	ZR-15 desde CA21-1	Buzeta
DR 21-2	NO-0109	ZR-16 desde CA21-2	Buzeta
DR 23-1	NO-0601	ZR-11 desde CA23-1	Batuco de Chalinga
DR 27-1	NO-0110	ZR-14 desde CA27-1	Caracha
DR 28-1	NO-0110	ZR-14 desde CA28-1	El Boldo o Chuchiñí
DR 34-1	NO-0802	ZR-19 desde CA34-1	Santa Margot
DR 38-1	NO-0805	ZR-22 desde CA38-1	La Turbina
DR 40-1	NO-0806	ZR-23 desde CA40-1	La Higuera, Cocinera
DR 43-1	NO-0808	ZR-25 desde CA43-1	Inquilinos o Del Bajo, Molino El Peral, Bellavista o Del Alto, Del Medio o Bellavista Bajo

7.2.6 Zonas de riego

Las zonas de riego (ver Figura 7-6) se definieron identificando áreas cultivadas en fotografías aéreas, luego asociando tipos de cultivos y métodos de riego con información recogida en terreno durante las campañas, y finalmente haciendo un encuadre de la información así obtenida, con el Censo Agrícola INE 1996/7 y con los Catastros de Vides del SAG (Catastro de Vides 2003 y Catastro Comunal 2005). En el Anexo Digital VII presentan los cuadros comparativos entre tales catastros y la información finalmente asumida para el presente estudio.

Figura 7-6
Definición de zonas de riego



a) Tipos de cultivos y coeficientes kc

Los coeficientes kc se obtuvieron en una primera instancia de estudios anteriores, como el estudio "Análisis del impacto económico de sequías hidrológicas", realizado por la PUC para la DGA en 1998. Sin embargo, dichos valores no reflejan el desfase hacia la anticipación que tienen en general todos los cultivos de la IVª Región en relación con los cultivos en la zona central y sur del país. Es por esto que los valores de kc obtenidos en base a estudios anteriores y publicaciones FAO, se afinaron tanto en cuanto a monto como en cuanto al momento en que ocurren en la IVª Región, en base a las siguientes fuentes:

- Manual de Producción de Hortalizas. Prodecop IVª Región, FIDA, INIA, INDAP, 1998

- Fichas técnicas y de costos de establecimiento de frutales en el valle del Choapa, CNR y Gobierno Regional de Coquimbo, PROVALTT Choapa, IVª Región, Oficina técnica INIA Illapel, Abril 2003

- Manual de fichas agroeconómicas de cultivos de hortalizas para el área del proyecto PROMM canal Buseta. Francisco Meza, Oscar Campusano, Alfonso Osorio, OPEPA, INIA Intihuasi. Noviembre 1999

- Fichas técnicas y económicas de cultivos establecidos en el valle del Choapa, PROVALTT Choapa, IVª Región, Abril 2003

- Conversación personal con Ing. Agrónomo Francisco Meza, INIA Illapel

- Conversación personal con Ing. Agrónomo Leoncio Martínez, INIA La Serena

- Conversación personal con Ing. Agrónomo Katrin Stehr, de Walmaster, productor de Fertipellets

En el Cuadro 7-14, adjunto, se muestran las especies identificadas y los coeficientes de cultivo kc adoptados.

Cuadro 7-14
Coeficientes de cultivo para especies presentes en la cuenca Choapa

Cultivo	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar
Ají Pimentón	0	0	0	0	0	0,45	0,75	1,2	1,2	1,2	0,8	0,4
Alfalfa	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Almendro	0,5	0	0	0	0,6	0,75	1	1	1	1	1	0,9
Chirimoyo	0,7	0,65	0,65	0,7	0,7	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,7
Damasco	0,5	0	0	0	0,4	0,6	0,8	1,1	1,1	1,1	1,1	0,8
Duraznero C	0,5	0	0	0	0,4	0,6	0,8	1,1	1,1	1,1	1,1	0,8
Eucaliptus	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Feijoa	0,7	0,65	0,65	0,7	0,7	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,7
Frambuesa	0,55	0,55	0,5	0,5	0,5	0,55	0,55	0,55	0,6	0,6	0,6	0,55

Cultivo	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar
Higuera	0,5	0	0	0	0,6	0,75	1	1	1	1	1	0,9
Limonero	0,55	0,55	0,5	0,5	0,5	0,55	0,55	0,55	0,6	0,6	0,6	0,55
Maíz	0	0	0	0	0,4	0,75	0,9	1,15	1,15	0,85	0,5	0
Mandarino	0,55	0,55	0,5	0,5	0,5	0,55	0,55	0,55	0,6	0,6	0,6	0,55
Melón-Sandía	0	0	0	0	0	0,45	0,75	1	0,95	0,7	0	0
Membrillo	0	0	0	0	0,5	0,8	1	1,1	1,1	1	1	0,5
Naranjo	0,55	0,55	0,5	0,5	0,5	0,55	0,55	0,55	0,6	0,6	0,6	0,55
Nectarino	0,5	0	0	0	0,4	0,6	0,8	1,1	1,1	1,1	1,1	0,8
Nogal	0,5	0	0	0	0,6	0,75	1	1	1	1	1	0,9
Nuez de Mac	0,5	0	0	0	0,6	0,75	1	1	1	1	1	0,9
Olivo	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,6	0,6	0,6	0,55
Otras chacras	0,5	0,8	1,1	0,9	0,45	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Otras Hortalizas	0,5	0,8	1,1	0,9	0,45	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Otras Praderas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Otros cereales	0	0	0,3	0,4	0,6	0,8	0,9	1,1	0,8	0,3	0	0
Palto	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
Papayo	0,55	0,55	0,5	0,5	0,5	0,55	0,55	0,55	0,6	0,6	0,6	0,55
Pasto Natural	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pecana	0,5	0	0	0	0,6	0,75	1	1	1	1	1	0,9
Pistacho	0,5	0	0	0	0,6	0,75	1	1	1	1	1	0,9
Pomelo	0,55	0,55	0,5	0,5	0,5	0,55	0,55	0,55	0,6	0,6	0,6	0,55
Porotos	0	0	0	0	0,35	0,7	1	0,8	0,6	0	0	0
Tomate	0	0	0	0,45	0,75	1,2	0,85	0,8	0,6	0	0	0
Trigo	0	0	0,3	0,4	0,6	0,8	0,9	1,1	0,8	0,3	0	0
Tuna	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5
Vid de mesa	0	0	0	0	0,45	0,75	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,5
Viña Pisquera	0,5	0	0	0	0,45	0,75	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8

b) Métodos de riego

Las eficiencias de aplicación de los métodos de riego se obtuvieron de la Ref. INIA Intihuasi, Proyecto PROMM-IV Región, Cartilla Divulgativa Nº 10, 1997. Los valores son los que se muestran en el Cuadro 7-15.

Cuadro 7-15
Eficiencia de aplicación de los métodos de riego presentes en la cuenca Choapa

Código	Nombre	Efp, [º/1]
MR-01	Surcos	0,45
MR-02	Tendido	0,30
MR-03	Surco-hortalizas	0,55
MR-04	Tazas	0,65
MR-05	Goteo, aspersión	0,90

c) Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración potencial en cada sector de riego se obtuvo del estudio "Atlas Agroclimático de Chile, Regiones IV a IX", CIREN, Marzo 1990. En dicho estudio, se presentan valores agregados por cuenca, para la temporada diciembre-febrero. Estos valores se distribuyeron en forma proporcional a las mediciones de evaporación de bandeja, y se completaron para todo el año de la misma forma. En el Cuadro 7-16 se presentan los valores resultantes.

Cuadro 7-16
Evapotrnaspiración potencial por zona de riego (mm)

Zona de riego	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar
ZR-01	76	59	44	44	48	71	102	123	162	167	141	129
ZR-02	76	59	44	44	48	71	102	123	162	167	141	129
ZR-03	76	59	44	44	48	71	102	123	162	167	141	129
ZR-04	76	59	44	44	48	71	102	123	162	167	141	129
ZR-05	76	59	44	44	48	71	102	123	162	167	141	129
ZR-06	76	59	44	44	48	71	102	123	162	167	141	129
ZR-07	76	59	44	44	48	71	102	123	162	167	141	129
ZR-08	76	59	44	44	48	71	102	123	162	167	141	129
ZR-09	76	59	44	44	48	71	102	123	162	167	141	129
ZR-10	76	59	44	44	48	71	102	123	162	167	141	129
ZR-11	76	59	44	44	48	71	102	123	162	167	141	129
ZR-12	76	59	44	44	48	71	102	123	162	167	141	129
ZR-13	76	59	44	44	48	71	102	123	162	167	141	129
ZR-14	66	51	39	39	42	62	89	107	141	146	123	112
ZR-15	66	51	39	39	42	62	89	107	141	146	123	112
ZR-16	66	51	39	39	42	62	89	107	141	146	123	112
ZR-17	66	51	39	39	42	62	89	107	141	146	123	112
ZR-18	76	59	44	44	48	71	102	123	162	167	141	129
ZR-19	76	59	44	44	48	71	102	123	162	167	141	129
ZR-20	76	59	44	44	48	71	102	123	162	167	141	129
ZR-21	66	51	39	39	42	62	89	107	141	146	123	112
ZR-22	66	51	39	39	42	62	89	107	141	146	123	112
ZR-23	66	51	39	39	42	62	89	107	141	146	123	112
ZR-24	66	51	39	39	42	62	89	107	141	146	123	112
ZR-25	66	51	39	39	42	62	89	107	141	146	123	112
ZR-26	66	51	39	39	42	62	89	107	141	146	123	112
ZR-27	66	51	39	39	42	62	89	107	141	146	123	112
ZR-28	55	43	32	32	35	51	74	89	117	121	102	93

d) Precipitaciones agronómicas efectivas

Las precipitaciones efectivas mensuales desde el punto de vista agronómico, Pef, son las que reducen las necesidades de riego y las transforman en necesidades netas. Para la determinación de las precipitaciones efectivas se trabajó con las precipitaciones asociadas al año 85 % de probabilidad de excedencia, de la estadística de la estación representativa de la zona de riego. Aquellas menores que 12 mm/mes se consideraron nulas. Las mayores se redujeron a un 60%. Las estaciones asociadas a cada zona de riego, son las que se muestran en el Cuadro 7-17.

Cuadro 7-17
Estaciones pluviométricas asociadas a cada zona de riego

Zona de riego	Estación
ZR-01	Cuncumén
ZR-02	Cuncumén
ZR-03	Cuncumén
ZR-04	La Tranquilla
ZR-05	Coirón
ZR-06	Coirón
ZR-07	Coirón
ZR-08	Salamanca
ZR-09	Salamanca
ZR-10	Salamanca
ZR-11	San Agustín
ZR-12	San Agustín
ZR-13	Salamanca
ZR-14	Salamanca
ZR-15	Salamanca
ZR-16	Limáhuida
ZR-17	Limáhuida
ZR-18	Sta Virginia
ZR-19	Sta Virginia
ZR-20	Sta Virginia
ZR-21	Sta Virginia
ZR-22	Sta Virginia
ZR-23	Illapel
ZR-24	Illapel
ZR-25	Illapel
ZR-26	Illapel
ZR-27	Mincha Norte
ZR-28	Mincha Norte

En el Cuadro 7-18 se muestran las precipitaciones efectivas calculadas para cada sector de riego.

Cuadro 7-18
Precipitaciones efectivas (mm)

Código ZR	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar
ZR-01	0	12,7	10,3	8,7	14,3	8,2	0	0	0	0	0	0
ZR-02	0	12,7	10,3	8,7	14,3	8,2	0	0	0	0	0	0
ZR-03	0	12,7	10,3	8,7	14,3	8,2	0	0	0	0	0	0
ZR-04	0	7,7	17	11,7	13,2	0	8,3	0	0	0	0	0
ZR-05	0	0	39	12,1	16,9	11,5	0	0	0	0	0	0
ZR-06	0	0	39	12,1	16,9	11,5	0	0	0	0	0	0
ZR-07	0	0	39	12,1	16,9	11,5	0	0	0	0	0	0
ZR-08	0	0	8,9	25,4	12,6	13,6	0	0	0	0	0	0
ZR-09	0	0	8,9	25,4	12,6	13,6	0	0	0	0	0	0
ZR-10	0	0	8,9	25,4	12,6	13,6	0	0	0	0	0	0
ZR-11	0	8,6	10,5	25,3	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-12	0	8,6	10,5	25,3	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-13	0	0	8,9	25,4	12,6	13,6	0	0	0	0	0	0
ZR-14	0	0	8,9	25,4	12,6	13,6	0	0	0	0	0	0
ZR-15	0	0	8,9	25,4	12,6	13,6	0	0	0	0	0	0
ZR-16	0	0	0	20,8	0	8,6	0	0	0	0	0	0
ZR-17	0	0	0	20,8	0	8,6	0	0	0	0	0	0
ZR-18	0	0	16,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-19	0	0	16,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-20	0	0	16,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-21	0	0	16,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-22	0	0	16,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR-23	0	8	0	12,5	0	0	10	0	0	0	0	0
ZR-24	0	8	0	12,5	0	0	10	0	0	0	0	0
ZR-25	0	8	0	12,5	0	0	10	0	0	0	0	0
ZR-26	0	8	0	12,5	0	0	10	0	0	0	0	0
ZR-27	0	0	0	14,5	0	9	0	0	0	0	0	0
ZR-28	0	0	0	14,5	0	9	0	0	0	0	0	0

Con la adaptación realizada al MAGIC especialmente para el presente estudio, el modelo internamente calcula las necesidades netas mensuales ponderadas por zona de riego, a partir de los datos de área, cultivos, métodos de riego y coeficiente de cultivo de cada uno de los paños caracterizados, y con la evapotranspiración y precipitación efectiva que se ingresa por zona de riego.

7.2.7 Capacidad de regulación nocturna y horas de riego

La capacidad de regulación nocturna se obtuvo de la cobertura temática de embalses menores (hasta 50.000 m3) de la CNR. Para cada zona de riego se asumió que la capacidad de regulación nocturna es igual a la suma de los volúmenes de los embalses menores que se ubican dentro de la zona.

En cuanto a las horas de riego, se asumió como dato, que se riega durante 20 horas al día. Este dato está basado en los resultados de las entrevistas, en que los regantes señalaron que el

sistema de turnos funciona rotando entre los diferentes usuarios sin interrupción, pero que algunos de ellos reciben sus aguas en tranques nocturnos, para luego regar desde ahí durante varias horas al día, y no de noche.

7.2.8 Embalses

En la zona de estudio, y para el período de calibración, que abarca 10 años hidrológicos desde 1991 hasta 2000, no existían embalses. Por esta razón, el diagnóstico se refiere a la situación del valle del Choapa sin embalses. Como escenarios futuros, se presenta el análisis con el embalse Corrales, para analizar qué diferencias ocurren en cuanto a seguridades de riego, zonas potenciales para cultivar, y otras.

7.2.9 Ríos

Los ríos considerados en la modelación son los del Cuadro 7-19 siguiente.

Cuadro 7-19
Ríos modelados

Código	Río
RI-01	Río Choapa
RI-02	Río Valle
RI-03	Estero Tencadán
RI-04	Río Cuncumén
RI-05	Estero Quelén
RI-06	Río Chalinga
RI-07	Estero Camisas
RI-08	Río Illapel
RI-09	Estero Carén

Los ríos fueron divididos en 36 tramos, de acuerdo con la cantidad de nodos. En el Cuadro 7-20 se presenta la topología de los tramos de río, y en el Cuadro 7-21 se han incluido las principales características de los tramos, resultantes de la calibración.

Cuadro 7-20
Topología tramos de río

Código del tramo	Río	Nodo Inicial	Nodo final	Acuífero
TR-01	RI-01	NO-0101	NO-0102	AC-01
TR-02	RI-01	NO-0102	NO-0103	AC-02
TR-03	RI-01	NO-0103	NO-0104	AC-03

Código del tramo	Río	Nodo Inicial	Nodo final	Acuífero
TR-04	RI-01	NO-0104	NO-0105	AC-04
TR-05	RI-01	NO-0105	NO-0106	AC-05
TR-06	RI-01	NO-0106	NO-0107	AC-07
TR-07	RI-01	NO-0107	NO-0108	AC-08
TR-08	RI-01	NO-0108	NO-0109	AC-09
TR-09	RI-01	NO-0109	NO-0110	AC-10
TR-10	RI-01	NO-0110	NO-0111	AC-14
TR-11	RI-01	NO-0111	NO-0112	AC-16
TR-12	RI-01	NO-0112	NO-0113	AC-17
TR-13	RI-01	NO-0113	NO-0114	N/A
TR-14	RI-01	NO-0114	NO-0115	AC-27
TR-15	RI-01	NO-0115	NO-0116	AC-28
TR-16	RI-01	NO-0116	NO-0117	AC-28
TR-17	RI-02	NO-0201	NO-0102	AC-01
TR-18	RI-03	NO-0301	NO-0104	AC-03
TR-19	RI-04	NO-0401	NO-0104	AC-03
TR-20	RI-05	NO-0501	NO-0106	AC-06
TR-21	RI-06	NO-0601	NO-0602	AC-11
TR-22	RI-06	NO-0602	NO-0603	AC-12
TR-23	RI-06	NO-0603	NO-0110	AC-13
TR-24	RI-07	NO-0701	NO-0702	AC-15
TR-25	RI-07	NO-0702	NO-0703	AC-15
TR-26	RI-07	NO-0703	NO-0111	AC-15
TR-27	RI-08	NO-0801	NO-0802	N/A
TR-28	RI-08	NO-0802	NO-0803	AC-19
TR-29	RI-08	NO-0803	NO-0804	AC-21
TR-30	RI-08	NO-0804	NO-0805	N/A
TR-31	RI-08	NO-0805	NO-0806	AC-22
TR-32	RI-08	NO-0806	NO-0807	AC-23
TR-33	RI-08	NO-0807	NO-0808	AC-24
TR-34	RI-08	NO-0808	NO-0809	AC-25
TR-35	RI-08	NO-0809	NO-0114	AC-26
TR-36	RI-09	NO-0901	NO-0803	N/A

Cuadro 7-21
Características calibradas de los tramos de río

Código del tramo	Largo (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	k Permeabilidad vertical (m/s)	n Coef Manning (º/1)	i Pendiente longit del cauce
TR-01	3500	30	1,5	0,000174	0,035	0,023
TR-02	8100	35	1,5	0,000174	0,035	0,021
TR-03	2750	35	1,5	0,000174	0,035	0,019
TR-04	6780	35	1,5	0,000174	0,035	0,016

Código del tramo	Largo (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	k Permeabilidad vertical (m/s)	n Coef Manning (º/1)	i Pendiente longit del cauce
TR-05	14450	50	1,5	0,00007	0,035	0,013
TR-06	4720	75	1,5	0,00007	0,035	0,013
TR-07	6175	40	1,5	0,00007	0,035	0,011
TR-08	2350	75	1,5	0,00007	0,035	0,014
TR-09	4460	45	1,5	0,00007	0,035	0,011
TR-10	8600	40	1,5	0,00007	0,035	0,01
TR-11	11390	75	1,5	0,000007	0,035	0,009
TR-12	13950	75	1,5	0,000007	0,035	0,007
TR-13	2475	40	1,5	0,000007	0,035	0,007
TR-14	24655	50	1,5	0,000007	0,035	0,005
TR-15	1440	75	1,5	0,000007	0,035	0,002
TR-16	11000	75	1,5	0,000007	0,035	0,002
TR-17	13570	20	1,5	0,000007	0,035	0,053
TR-18	3080	20	1,5	0,000007	0,035	0,059
TR-19	3900	20	1,5	0,000007	0,035	0,041
TR-20	11030	20	1,5	0,000007	0,035	0,033
TR-21	11470	20	1,5	0,000007	0,035	0,04
TR-22	6345	30	1,5	0,000007	0,035	0,029
TR-23	12740	75	1,5	0,000007	0,035	0,028
TR-24	100	30	1,5	0,000007	0,035	0,028
TR-25	23065	30	1,5	0,000007	0,035	0,013
TR-26	660	40	1,5	0,000007	0,035	0,013
TR-27	9935	20	1,5	0,000007	0,035	0,05
TR-28	6490	20	1,5	0,000007	0,035	0,039
TR-29	2150	30	1,5	0,000007	0,035	0,022
TR-30	20	30	1,5	0,000007	0,035	0,021
TR-31	9905	30	1,5	0,000007	0,035	0,021
TR-32	9960	40	1,5	0,000007	0,035	0,02
TR-33	6970	40	1,5	0,000007	0,035	0,014
TR-34	15660	40	1,5	0,000007	0,035	0,011
TR-35	3180	40	1,5	0,000007	0,035	0,009
TR-36	10975	20	1,5	0,000007	0,035	0,059

7.2.10 Captaciones puntuales

Se refiere a las tomas que se producen en los nodos con fines diferentes a los de riego, como agua potable, industrial o minera, o pérdidas por evapotranspiración. Estas captaciones puntuales pueden o no tener retornos hacia el sistema. En el caso de la cuenca del Choapa, se definieron 21 captaciones puntuales, correspondientes todas ellas a evapotranspiración desde los cauces de río. Ninguna de ellas tiene retornos hacia la cuenca. Se presentan en el Cuadro 7-22 a continuación.

Cuadro 7-22
Captaciones puntuales

Código CP	Nodo	Info	Caudal medio anual (m3/s)
CP-01	NO-0501	ET	0,030
CP-02	NO-0106	ET	0,019
CP-03	NO-0107	ET	0,026
CP-04	NO-0108	ET	0,079
CP-05	NO-0109	ET	0,025
CP-06	NO-0601	ET	0,058
CP-07	NO-0602	ET	0,023
CP-08	NO-0603	ET	0,065
CP-09	NO-0110	ET	0,057
CP-10	NO-0702	ET	0,041
CP-11	NO-0111	ET	0,069
CP-12	NO-0112	ET	0,013
CP-13	NO-0801	ET	0,057
CP-14	NO-0802	ET	0,024
CP-15	NO-0805	ET	0,011
CP-16	NO-0806	ET	0,042
CP-17	NO-0807	ET	0,025
CP-18	NO-0808	ET	0,075
CP-19	NO-0809	ET	0,044
CP-20	NO-0114	ET	0,072
CP-21	NO-0116	ET	0,018
Total			**0.873**

7.2.11 Descargas puntuales

Como descargas puntuales se consideraron los retornos de las aguas servidas urbanas desde las plantas de tratamiento, desde las localidades de Canela Alta, Canela Baja, Illapel y Salamanca, entregadas a los nodos correspondientes. Estas descargas suman en total 60 l/s en la actualidad, y se presentan en el Cuadro 7-23. La fuente para estas aguas potables son los diferentes acuíferos, desde los cuales se efectúan las extracciones a través de los pozos o drenes.

De las localidades rurales surtidas con agua potable rural, ninguna tiene alcantarillado, sólo fosa séptica y pozo absorbente o simplemente pozos negros individuales, de modo que el caudal de retorno es despreciable.

Cuadro 7-23
Descargas puntuales

Código	Nodo	Info	Caudal medio anual (m3/s)
DP-001	NO-0809	Illapel	0,032
DP-002	NO-0116	Canela Alta, Baja	0,002
DP-003	NO-0110	Salamanca	0,026
Total			**0.060**

7.3 MODELO CHOAPA: CALIBRACIÓN

El objetivo de la calibración del modelo hidrológico implementado para la cuenca del río Choapa, consistió en poder reproducir el flujo pasante en algunos puntos de control del río y, en un menor grado de importancia, poder reproducir el nivel de las aguas subterráneas.

Los puntos de control para la calibración del modelo corresponden a nodos previamente escogidos y definidos topológicamente de tal manera de poder simular el caudal observado en las estaciones fluviométricas existentes en la cuenca. Estas estaciones fluviométricas deben contar con un registro histórico confiable, preferentemente continuo y con información suficiente para el período escogido para la calibración.

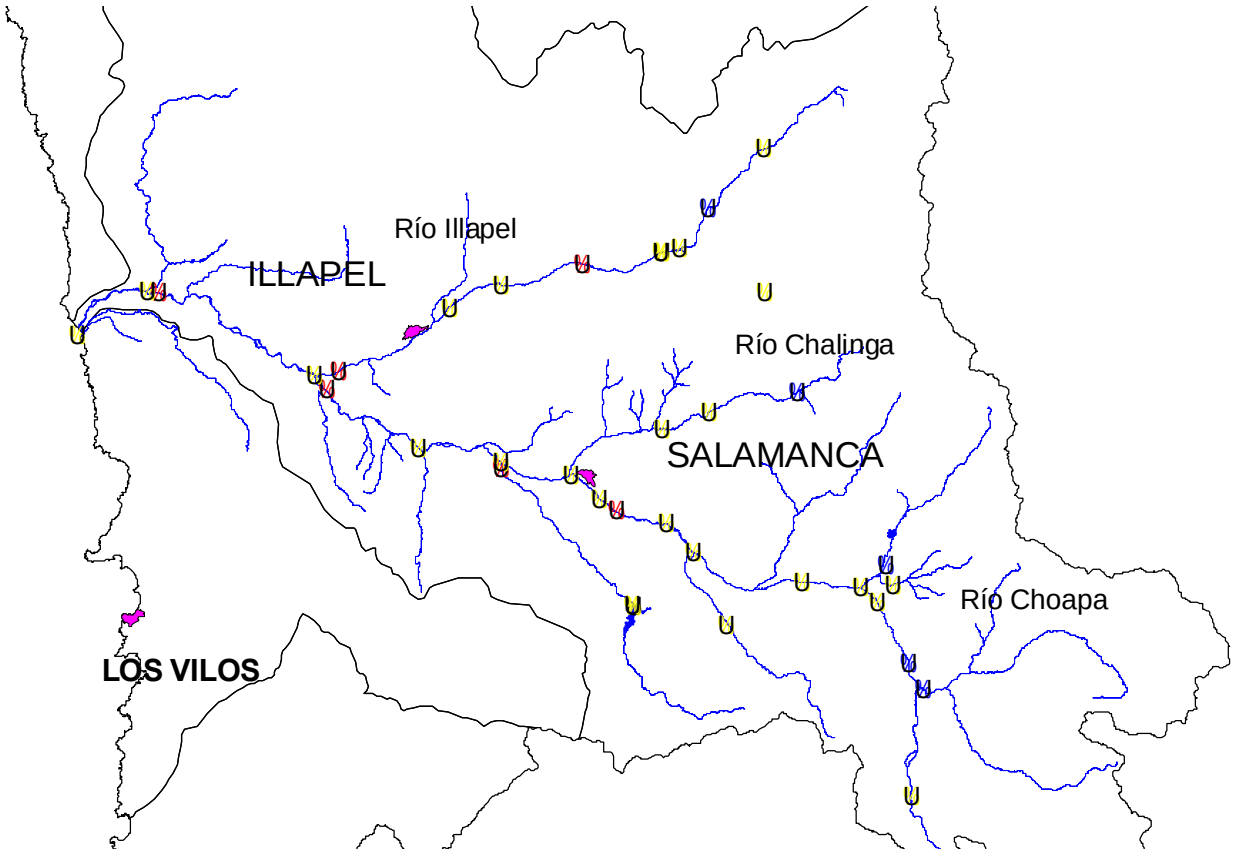
En el Cuadro 7-24 se detallan los nodos y estaciones correspondientes elegidas para la calibración.

Cuadro 7-24
Nodos de calibración y estaciones fluviométricas correspondientes
Modelo Magic-Choapa

Nodo	Estación Fluviométrica	Período de Información
NO-0108	Río Choapa en Salamanca	1968-2004
NO-0703	Estero Camisas en Desembocadura	1968-2004
NO-0113	Río Choapa en Puente Negro	1968-2004
NO-0806	Río Illapel en Huintil	1968-2004
NO-0809	Río Illapel en El Peral	1983-2004
NO-0115	Río Choapa aguas arriba Canela	1968-2004

En la Figura 7-7 se muestra la ubicación de los nodos de calibración, en rojo. Además, se muestran en azul los nodos donde hay estaciones de cabecera, que son las que sirven para generar el régimen hídrico en las subcuencas sin control.

Figura 7-7
Nodos de calibración en la cuenca del río Choapa



7.3.1 Período de Calibración.

El período seleccionado para la calibración es 1992 a 2000. Se seleccionó este período debido a que, por un lado, no ha habido influencia del recién construido embalse Corrales, por otro, es posible reconstituir con alguna certeza el área cultivada, y finalmente, el período incluye una sequía y un período húmedo de importancia, de modo que se presta adecuadamente para una calibración.

Como el modelo es capaz de representar adecuadamente los años secos como los húmedos, se puede considerar aceptable la bondad del ajuste.

7.3.2 Parámetros ajustados en la calibración

Dentro de los parámetros que fueron ajustados en la calibración, se pueden nombrar los siguientes:

a) Tramos de río.

Dentro de los parámetros que configuran los tramos de río, tabla RI_TRAMOS, fueron modificados los valores de espesor del estrato permeable y el de coeficiente de permeabilidad vertical. Los valores finales se encuentran en el Capítulo 7.2, datos de entrada al modelo. Estos ajustes influyen básicamente en la cantidad de agua que es percolada a través del lecho de río hacia el acuífero subyacente.

b) Eficiencia de distribución del agua dentro de cada zona de riego

Esta eficiencia se refiere a la conducción al interior de cada zona de riego, y se asumió como 1, debido a que las ineficiencias al interior de la zona de riego se incluyeron dentro del concepto de eficiencia de aplicación del riego predial. De todas formas, el modelo da la opción de diferenciar una ineficiencia de conducción al interior de cada zona de riego.

c) Coeficientes de Derrame y Percolación.

Los valores de los coeficientes de derrame y percolación de la tabla ZR_SR, se ingresaron por paño, y el valor por zona de riego fue obtenido en función de la eficiencia ponderada de aplicación (EFP) de todos los métodos de riego presentes en una zona, en conjunto con la naturaleza del suelo de dicha zona. En el Cuadro 7-25 se presentan los valores finales obtenidos para cada uno de estos coeficientes aplicados en las diferentes Zonas de Riego.

Cuadro 7-25
Parámetros: Eficiencia de aplicación, Coef. de derrame y Coef. de percolación por zona de riego

Zona de Riego	Eficiencia de riego ponderada º/1	Coeficiente de derrame º/1	Coeficiente de percolación º/1
ZR-01	0,348	0,238	0,414
ZR-02	0,352	0,237	0,411
ZR-03	0,352	0,236	0,412
ZR-04	0,351	0,237	0,412
ZR-05	0,354	0,235	0,411
ZR-06	0,349	0,237	0,414
ZR-07	0,361	0,229	0,410
ZR-08	0,349	0,238	0,413
ZR-09	0,351	0,237	0,412
ZR-10	0,352	0,236	0,412
ZR-11	0,325	0,250	0,425
ZR-12	0,322	0,255	0,423
ZR-13	0,322	0,255	0,423
ZR-14	0,329	0,251	0,420
ZR-15	0,329	0,250	0,421

Zona de Riego	Eficiencia de riego ponderada º/1	Coeficiente de derrame º/1	Coeficiente de percolación º/1
ZR-16	0,329	0,250	0,421
ZR-17	0,330	0,249	0,421
ZR-18	0,313	0,261	0,426
ZR-19	0,327	0,247	0,426
ZR-20	0,314	0,260	0,426
ZR-21	0,325	0,252	0,423
ZR-22	0,345	0,238	0,417
ZR-23	0,353	0,231	0,416
ZR-24	0,353	0,231	0,416
ZR-25	0,370	0,212	0,418
ZR-26	0,346	0,236	0,418
ZR-27	0,306	0,265	0,429
ZR-28	0,312	0,261	0,427

d) Parámetros de los sectores acuíferos

Para la calibración subterránea, se modificó la tabla AC_PARAM, que contiene los parámetros que definen la geometría y las características de los acuíferos. Los parámetros ajustados para lograr una buena representatividad de los niveles y cotas promedio de cada sector acuífero, corresponden a:

- Coeficiente de almacenamiento
- Anchos de las secciones de entrada y salida de cada sector
- Cotas de las secciones de entrada y salida que dan origen a los espesores del relleno acuífero
- Coeficientes de permeabilidad hidráulica horizontal en las secciones de entrada y salida, y
- Tipo de sección considerada para el acuífero.

Los valores finales de la calibración se presentan en el capitulo 7.2, datos de entrada, Cuadro 7-9.

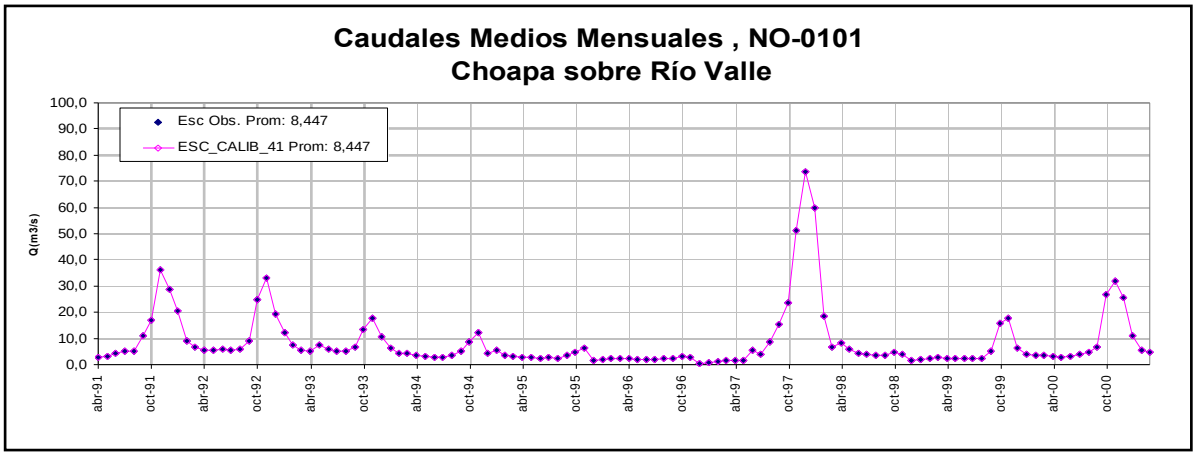
7.3.3 Análisis del escenario de calibración

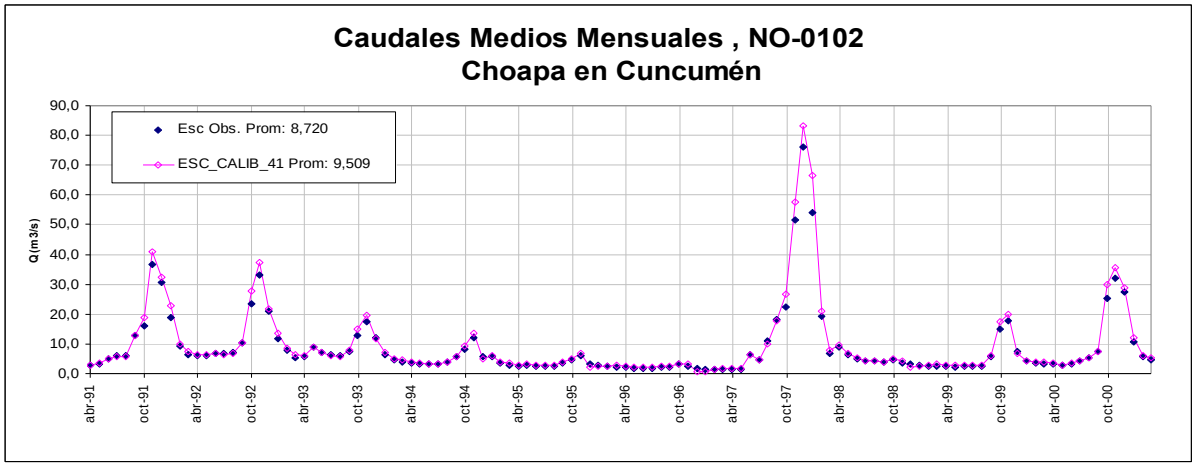
a) Calibración superficial

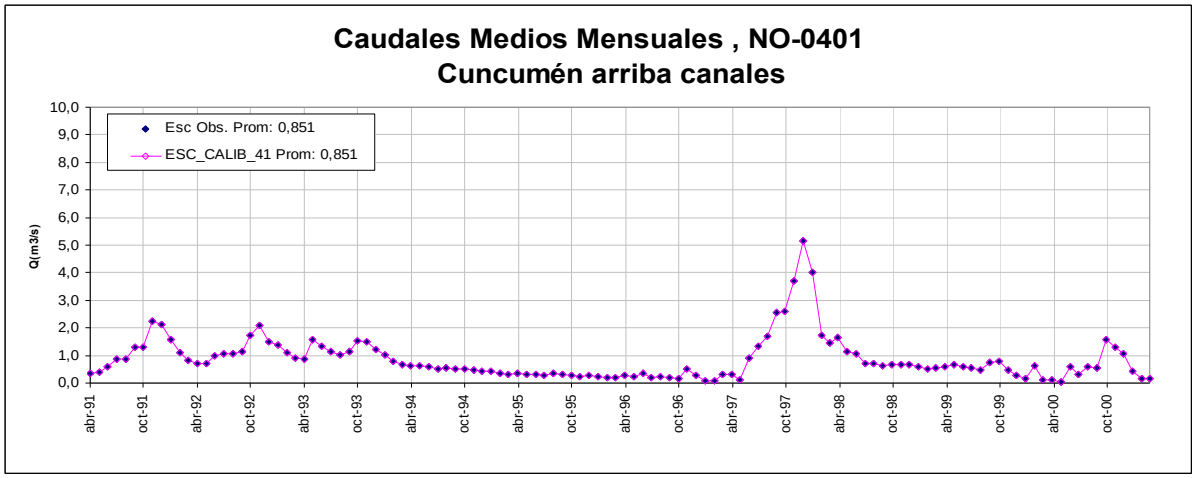
La calibración superficial consistió en ajustar el modelo de tal manera que los valores de los caudales simulados representen los caudales observados en el río en ciertos puntos de control. A continuación, en la Figura 7-8 se presenta de manera gráfica la comparación entre los caudales medidos y los caudales simulados, tanto en los nodos de cabecera, donde los caudales simulados son impuestos y corresponden a estaciones fluviométricas de cabecera (EFC), como

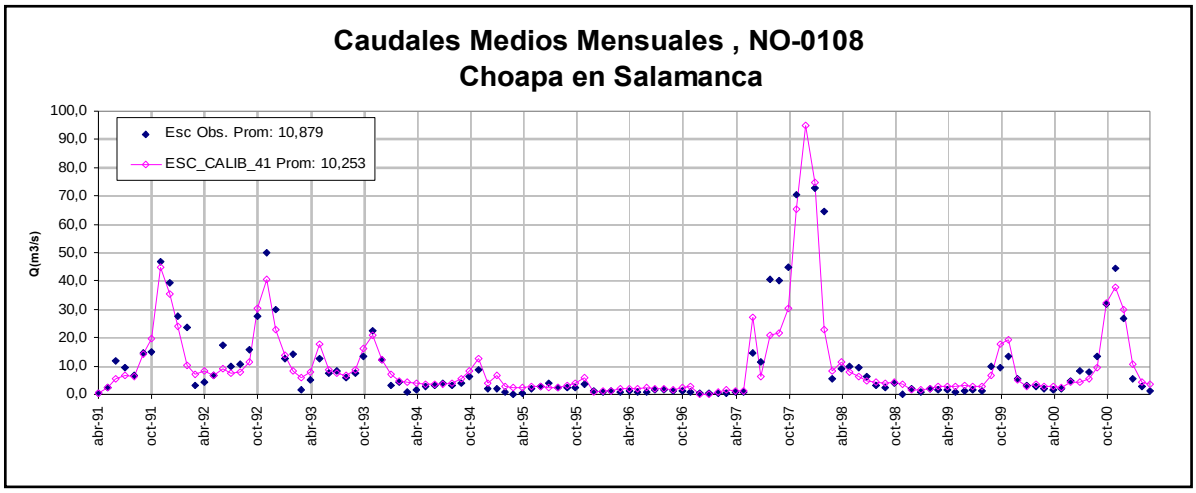
en los nodos de calibración, donde los caudales simulados son un resultado de los procesos de modelación.

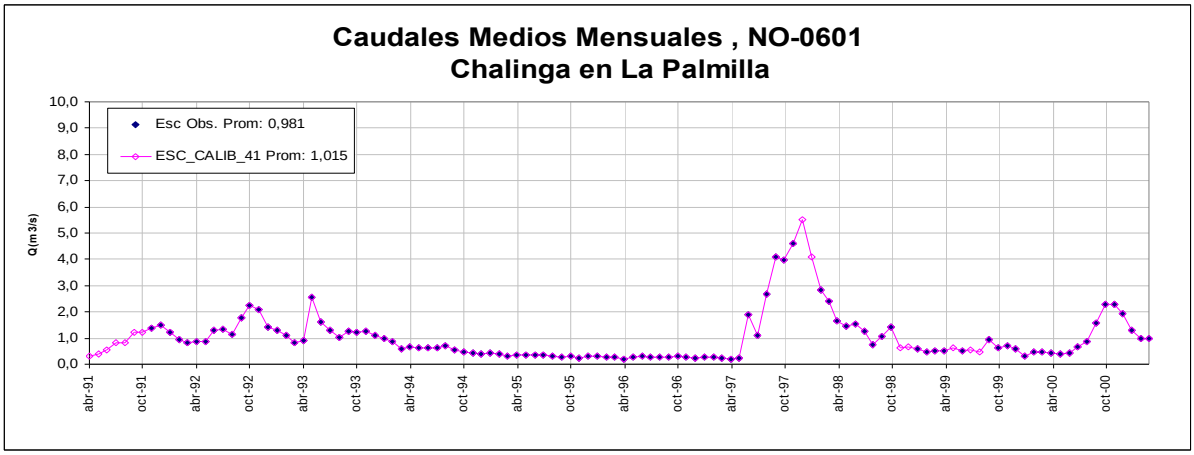
Figura 7-8
Comparación entre caudales medidos y simulados en nodos de calibración

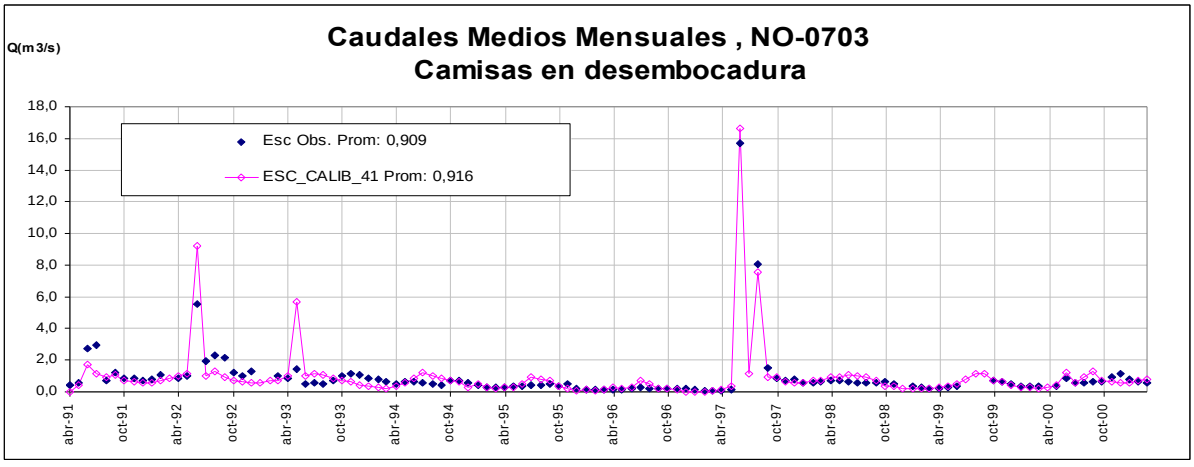


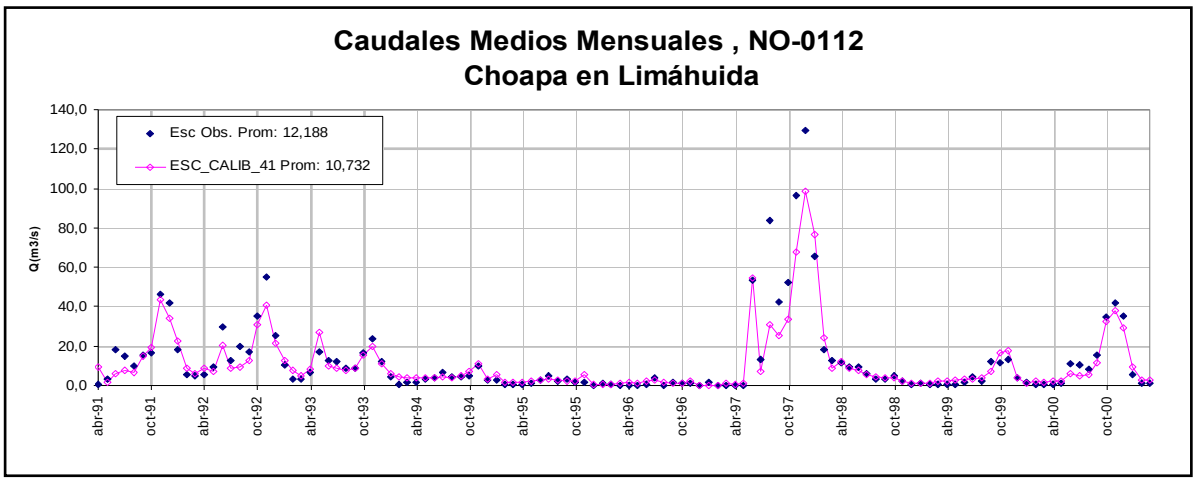


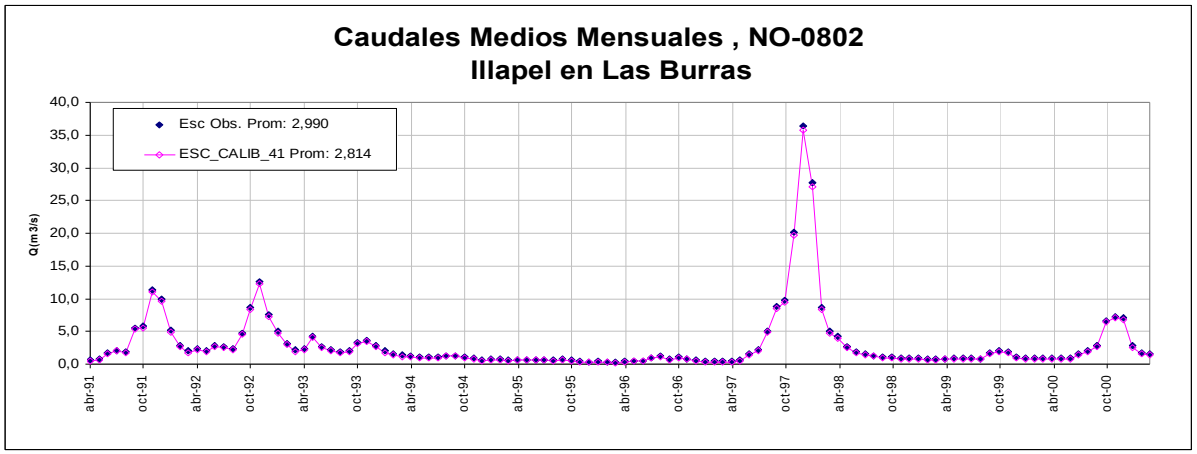


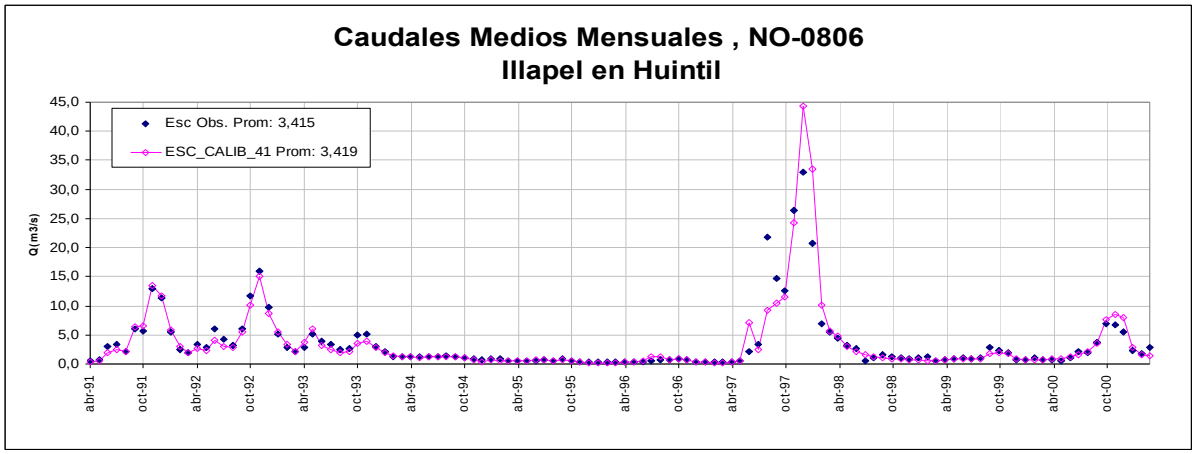

Caudales Medios Mensuales , NO-0108
Choapa en Salamanca
Esc Obs. Prom: 10,879
ESC_CALIB_41 Prom: 10,253
Q(m3/s)
100,0
90,0
80,0
70,0
60,0
50,0
40,0
30,0
20,0
10,0
0,0
abr-91
oct-91
abr-92
oct-92
abr-93
oct-93
abr-94
oct-94
abr-95
oct-95
abr-96
oct-96
abr-97
oct-97
abr-98
oct-98
abr-99
oct-99
abr-00
oct-00

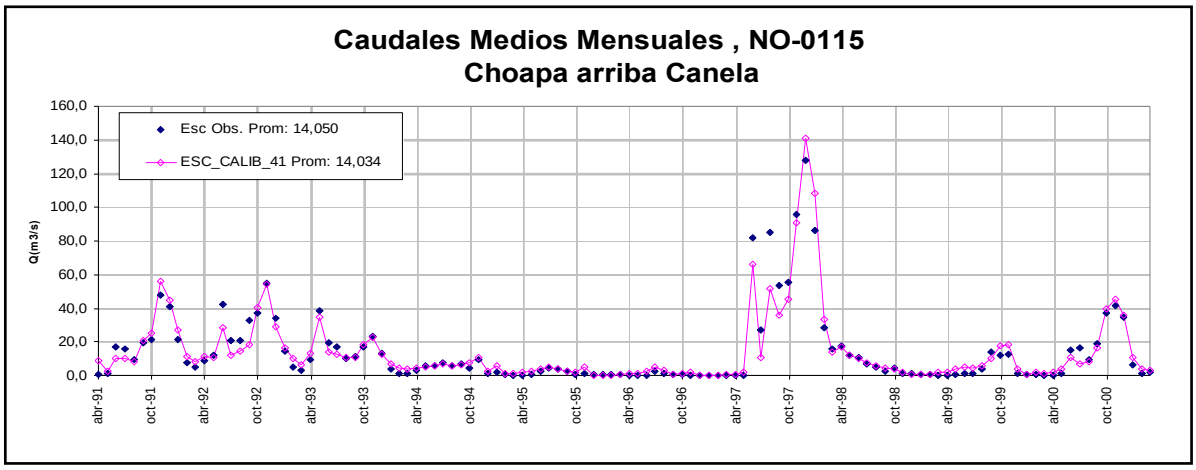

Caudales Medios Mensuales , NO-0601
Chalinga en La Palmilla
Esc Obs. Prom: 0,981
ESC_CALIB_41 Prom: 1,015
Q(m3/s)
10,0
9,0
8,0
7,0
6,0
5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
abr-91
oct-91
abr-92
oct-92
abr-93
oct-93
abr-94
oct-94
abr-95
oct-95
abr-96
oct-96
abr-97
oct-97
abr-98
oct-98
abr-99
oct-99
abr-00
oct-00


Caudales Medios Mensuales , NO-0703
Camisas en desembocadura
Q(m3/s)
Esc Obs. Prom: 0,909
ESC_CALIB_41 Prom: 0,916
18,0
16,0
14,0
12,0
10,0
8,0
6,0
4,0
2,0
0,0
abr-91
oct-91
abr-92
oct-92
abr-93
oct-93
abr-94
oct-94
abr-95
oct-95
abr-96
oct-96
abr-97
oct-97
abr-98
oct-98
abr-99
oct-99
abr-00
oct-00


Caudales Medios Mensuales , NO-0112
Choapa en Limáhuida
Esc Obs. Prom: 12,188
ESC_CALIB_41 Prom: 10,732
Q(m3/s)
140,0
120,0
100,0
80,0
60,0
40,0
20,0
0,0
abr-91
oct-91
abr-92
oct-92
abr-93
oct-93
abr-94
oct-94
abr-95
oct-95
abr-96
oct-96
abr-97
oct-97
abr-98
oct-98
abr-99
oct-99
abr-00
oct-00


Caudales Medios Mensuales , NO-0802
Illapel en Las Burras
Esc Obs. Prom: 2,990
ESC_CALIB_41 Prom: 2,814
Q(m3/s)
40,0
35,0
30,0
25,0
20,0
15,0
10,0
5,0
0,0
abr-91
oct-91
abr-92
oct-92
abr-93
oct-93
abr-94
oct-94
abr-95
oct-95
abr-96
oct-96
abr-97
oct-97
abr-98
oct-98
abr-99
oct-99
abr-00
oct-00


Caudales Medios Mensuales , NO-0806
Illapel en Huintil
Esc Obs. Prom: 3,415
ESC_CALIB_41 Prom: 3,419
Q(m3/s)
45,0
40,0
35,0
30,0
25,0
20,0
15,0
10,0
5,0
0,0
abr-91
oct-91
abr-92
oct-92
abr-93
oct-93
abr-94
oct-94
abr-95
oct-95
abr-96
oct-96
abr-97
oct-97
abr-98
oct-98
abr-99
oct-99
abr-00
oct-00



En general, se puede observar un ajuste bastante notable entre los valores medidos y los simulados en el período de calibración. Para algunos de los años más húmedos, la simulación entrega valores por debajo de los observados, lo que, en todo caso, se puede considerar conservador en términos de disponibilidad del recurso.

b) Calibración subterránea

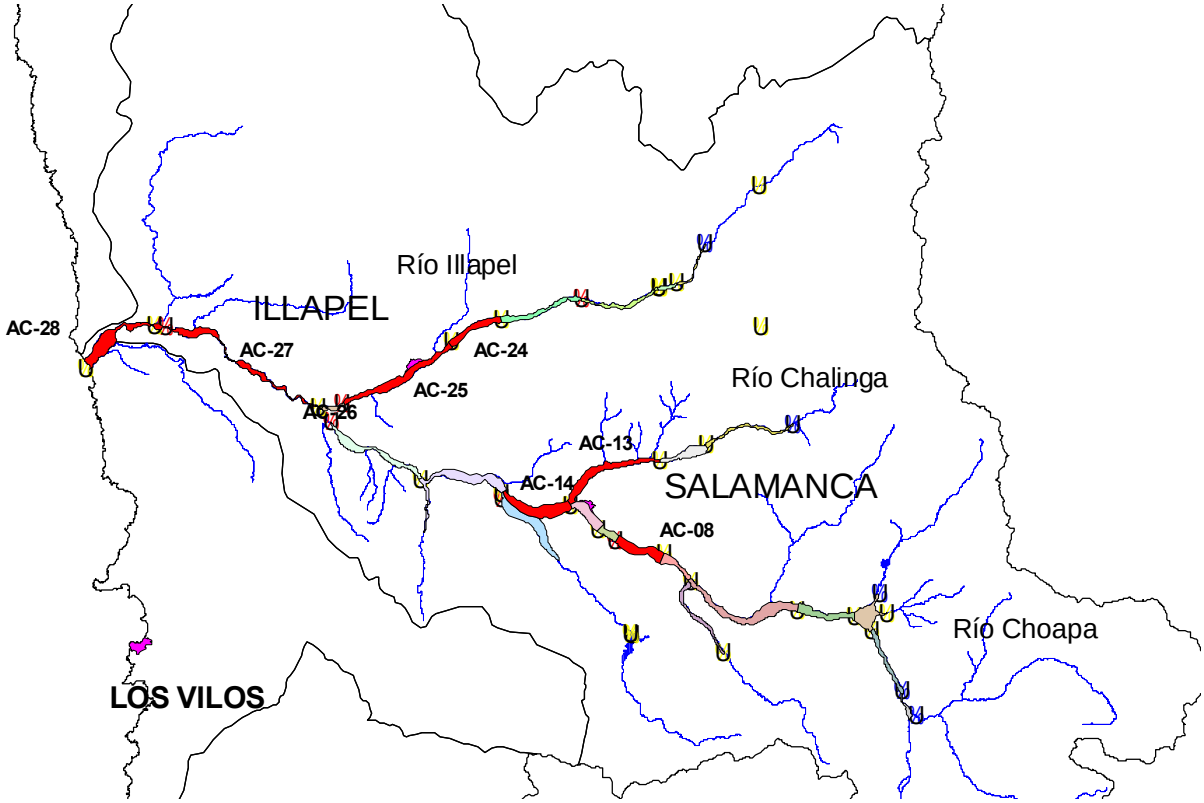
En la calibración subterránea, el objetivo es tratar de reproducir la variación o señal de la cota piezométrica que el acuífero muestra en la realidad. Es necesario recordar que el modelo Magic es un modelo de balance, donde no hay una representación acuciosa del acuífero, por lo que el comportamiento simulado no pretende reproducir exactamente las variaciones medidas, pro sí debe comportarse dentro de un rango razonable, y reproducir las grandes señales.

Para obtener la cota piezométrica asociada a cada sector acuífero, a nivel mensual, se utilizan los resultados del estado del volumen final de cada uno de los acuíferos, entregados para cada mes en los archivos del tipo AC-XX.txt del modelo Magic.

Para todos los acuíferos se asumió una sección triangular, por lo que el cálculo de la cota del nivel piezométrico (h) depende del ancho estimado en función del volumen en cada mes, todo lo anterior afectado por el coeficiente de almacenamiento y por el largo del tramo acuífero.

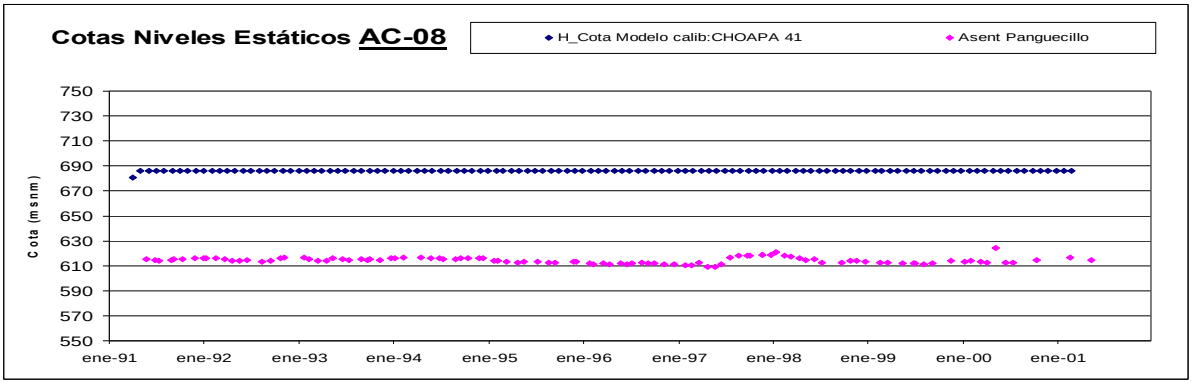
En la Figura 7-9 se muestran en rojo los acuíferos de calibración, para los cuales hay mediciones de nivel en pozos de observación.

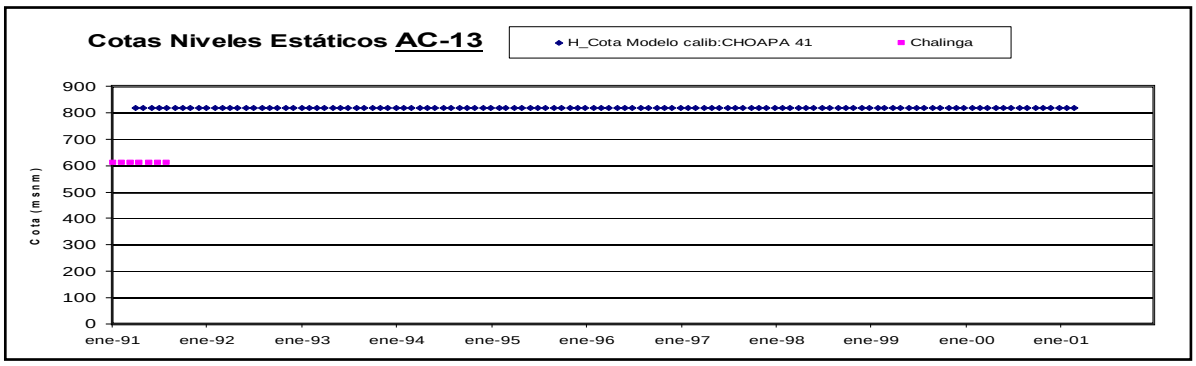
Figura 7-9
Acuíferos para calibración

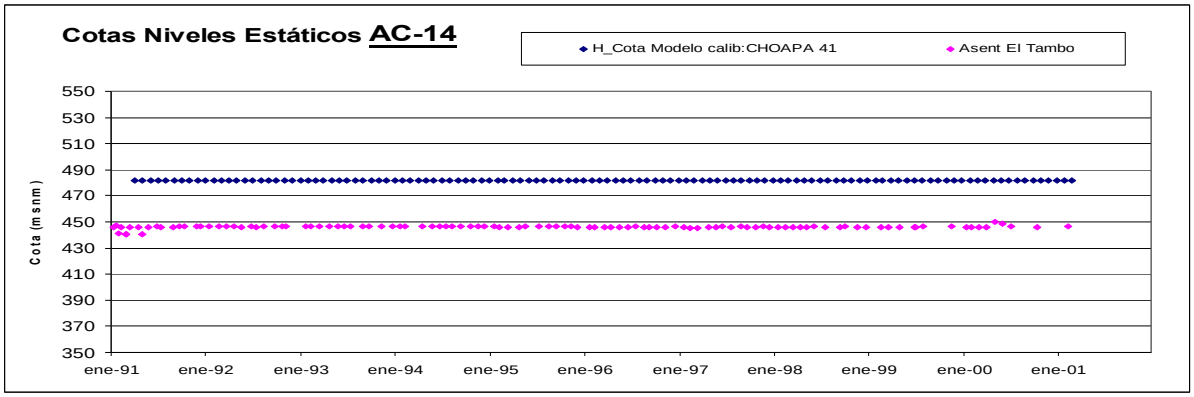


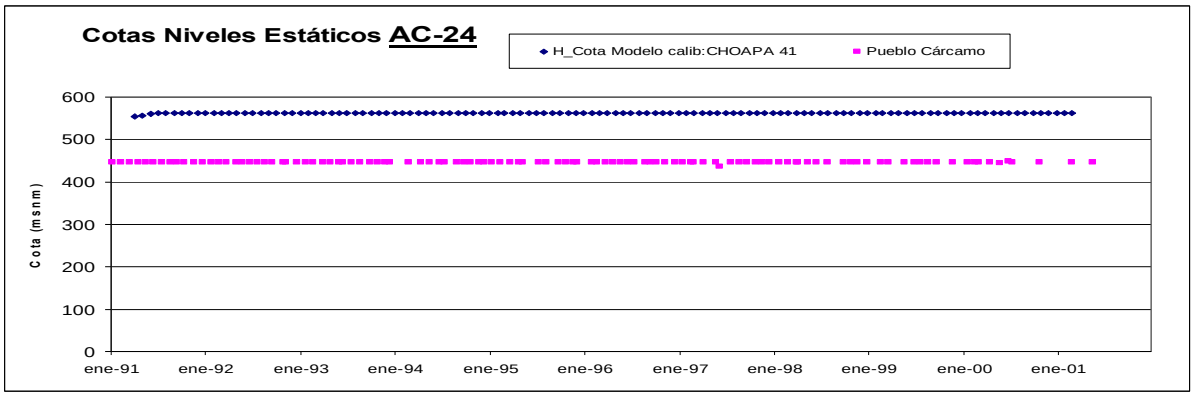
A continuación, en la Figura 7-10 se muestran los gráficos de la calibración subterránea para cada uno de los sectores acuíferos donde hay datos observados. En algunos sectores hay varios pozos de observación, en otros uno solo o ninguno. El comportamiento simulado aparece en rojo, mientras que el comportamiento observado se muestra en varios colores.

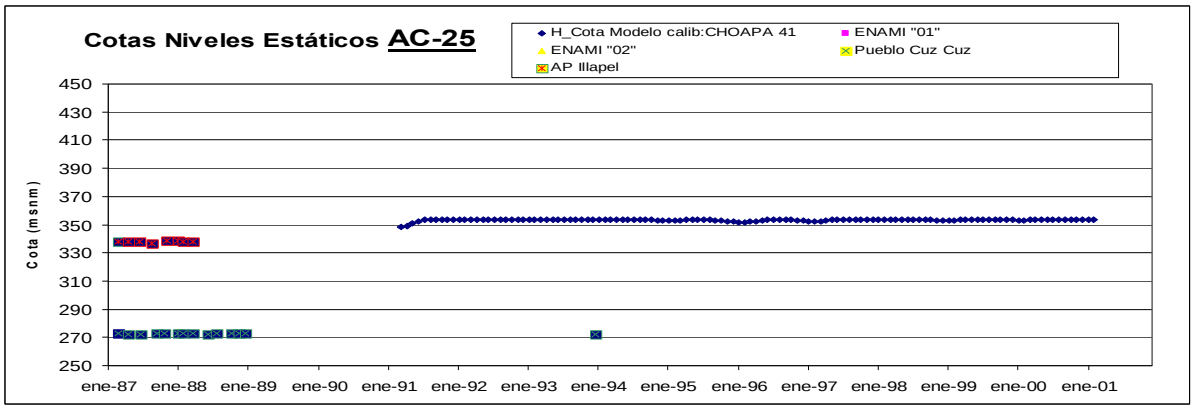
Figura 7-10
Comportamiento observado y simulado en acuíferos con control

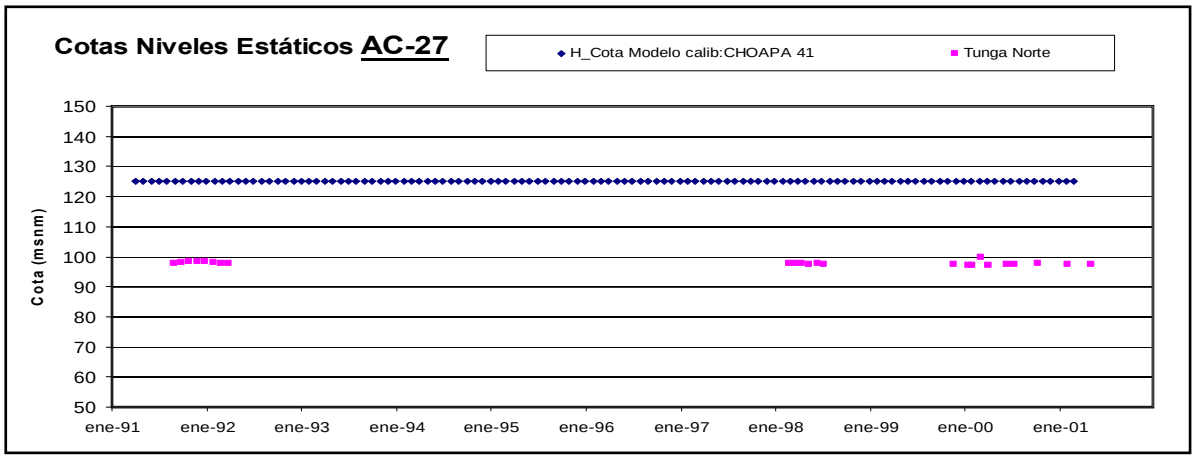


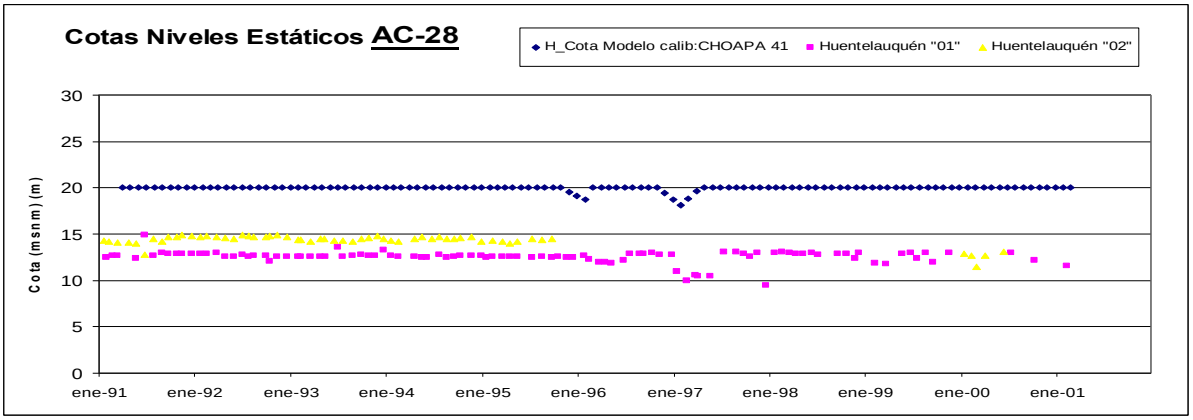

Cotas Niveles Estáticos AC-13
H_Cota Modelo calib:CHOAPA 41
Chalinga
Cota (msnm)
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
ene-91
ene-92
ene-93
ene-94
ene-95
ene-96
ene-97
ene-98
ene-99
ene-00
ene-01


Cotas Niveles Estáticos AC-14
H_Cota Modelo calib:CHOAPA 41
Asent El Tambo
Cota (msnm)
550
530
510
490
470
450
430
410
390
370
350
ene-91
ene-92
ene-93
ene-94
ene-95
ene-96
ene-97
ene-98
ene-99
ene-00
ene-01


Cotas Niveles Estáticos AC-24
H_Cota Modelo calib:CHOAPA 41
Pueblo Cárcamo
Cota (msnm)
600
500
400
300
200
100
0
ene-91
ene-92
ene-93
ene-94
ene-95
ene-96
ene-97
ene-98
ene-99
ene-00
ene-01


Cotas Niveles Estáticos AC-25
H_Cota Modelo calib:CHOAPA 41
ENAMI "01"
ENAMI "02"
Pueblo Cuz Cuz
AP Illapel
Cota (msnm)
450
430
410
390
370
350
330
310
290
270
250
ene-87
ene-88
ene-89
ene-90
ene-91
ene-92
ene-93
ene-94
ene-95
ene-96
ene-97
ene-98
ene-99
ene-00
ene-01





En general se observa que en ninguna parte de esta cuenca hay variaciones de nivel importantes de los acuíferos. Variaciones de algunos metros sólo se observan en el acuífero 28 (desembocadura del Choapa, sector de Huentelauquén), las que el modelo MAGIC reproduce razonablemente bien. Se observa que los acuíferos, en general, están llenos, lo que era de esperarse, debido a que están en contacto directo con el río, y son recargados desde el cauce.

En general, para todos los sectores acuíferos, la variación de los niveles de observación es casi nula y responde al bajo uso de las aguas subterráneas. Los niveles simulados, se ajustan bien y se consideran, por lo tanto, aceptables.

7.4 MODELO CHOAPA: RESULTADOS

El modelo se desarrolló para poder dar respuesta a las siguientes interrogantes planteadas en los términos de referencia del presente estudio, y que son de muy difícil análisis en el caso de no contarse con un modelo integrado:

- Grado de utilización del recurso hídrico
- Interacción entre aguas superficiales y subterráneas
- Comportamiento de acuíferos
- Seguridad de riego
- Flujos de retorno
- Se agregó, por considerarse importante, el análisis de las salidas al mar

A continuación se desarrolla cada uno de estos aspectos, los cuales se apoyan con figuras. En estas figuras se ha tratado de mantener una sola escala vertical, o dos, para mostrar visualmente la importancia relativa entre las diferentes zonas de riego. Además, para que se pueda apreciar los valores, se ha agregado en la leyenda el valor promedio de la serie para cada variable analizada.

7.4.1 Grado de utilización del recurso hídrico

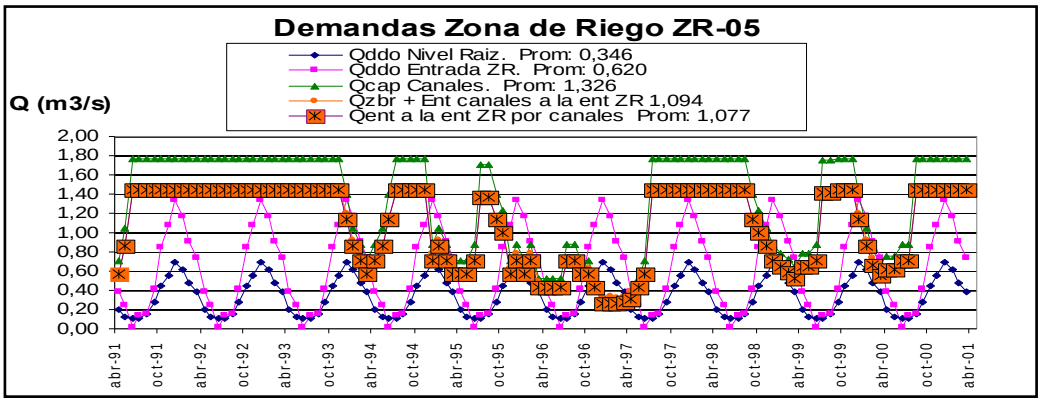
Este tema se analiza a través de la comparación entre las diferentes demandas que se obtienen para cada zona de riego:

- las demandas a nivel raíz de los cultivos
- las demandas en la entrada de cada zona de riego, considerando método de riego (o eficiencia de aplicación) y eficiencia de conducción intrapredial
- el caudal captado por los canales en bocatoma
- el caudal que llega efectivamente a la zona de riego por canales
- la entrega solicitada a los pozos de riego cuando hay déficit.

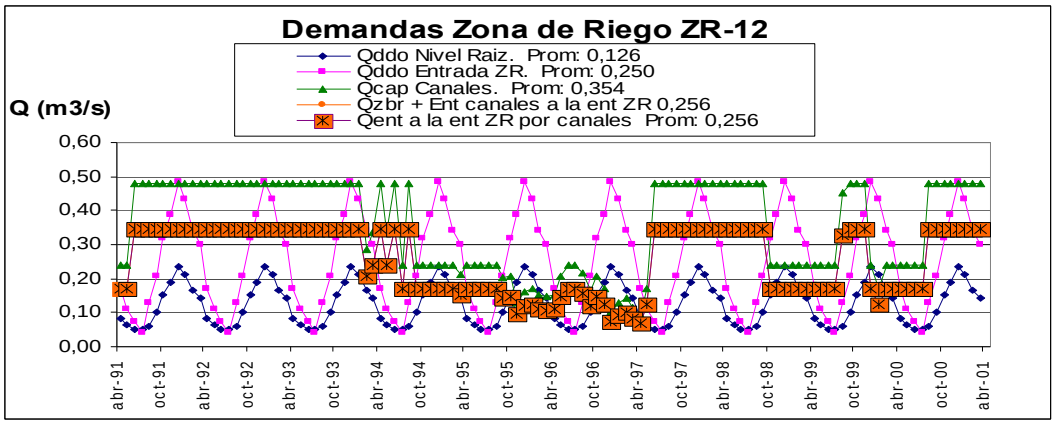
Los cinco tipos de caudales, tanto demandados como recibidos, obtenidos de la modelación, se presentan en la Figura 7-11 adjunta, para cada una de las zonas de riego.

Figura 7-11
Caudales demandados y recibidos a nivel de zona de riego

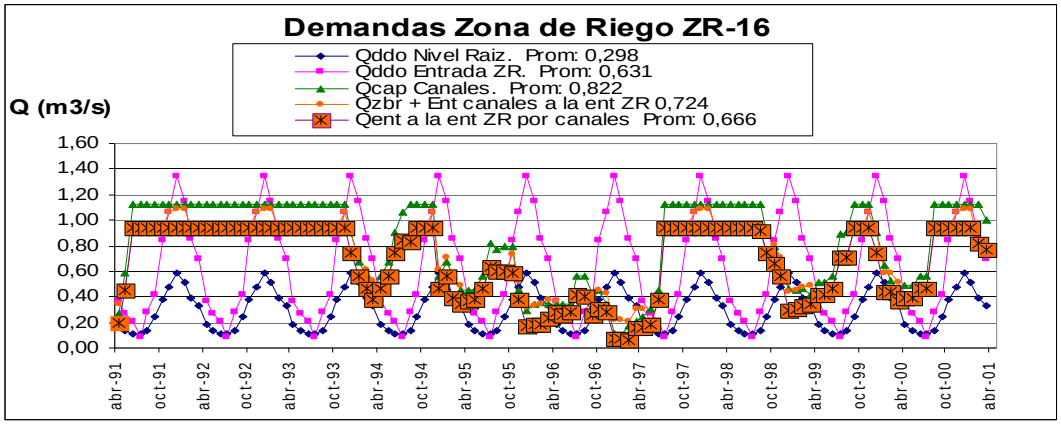
Choapa Alto



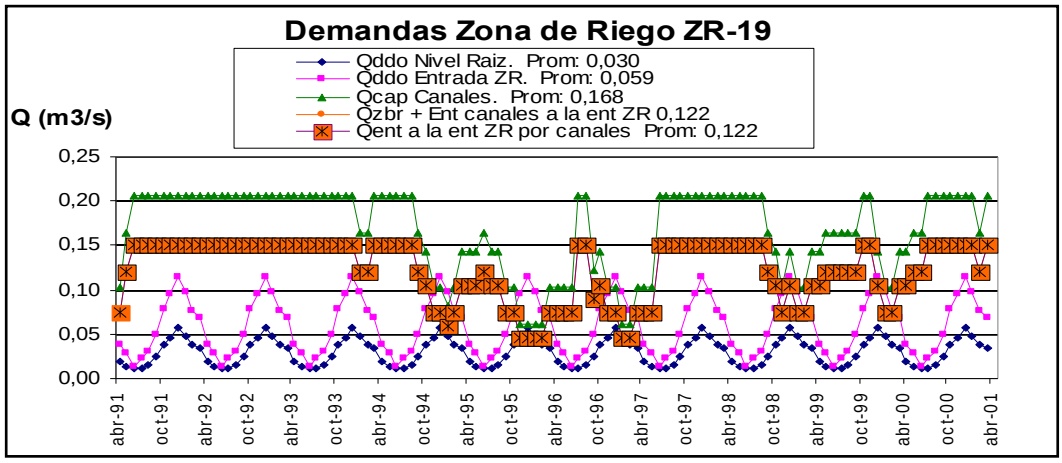
Chalinga



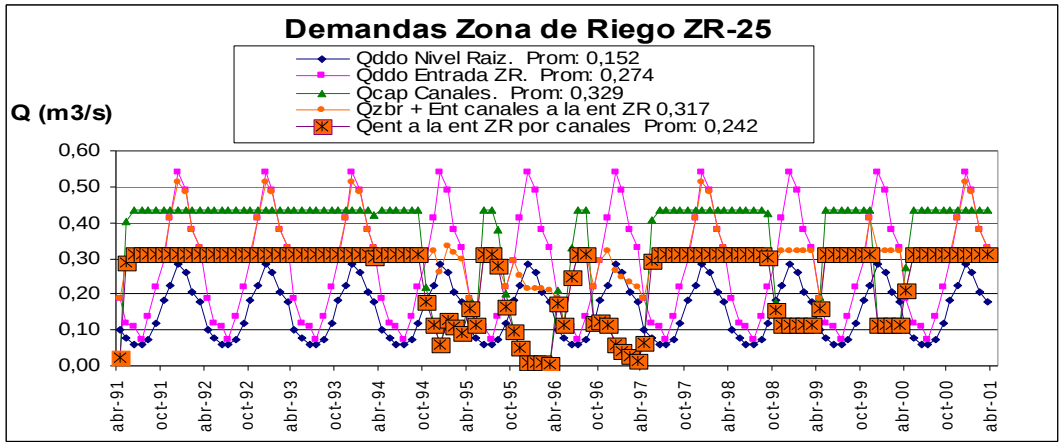
Choapa Medio



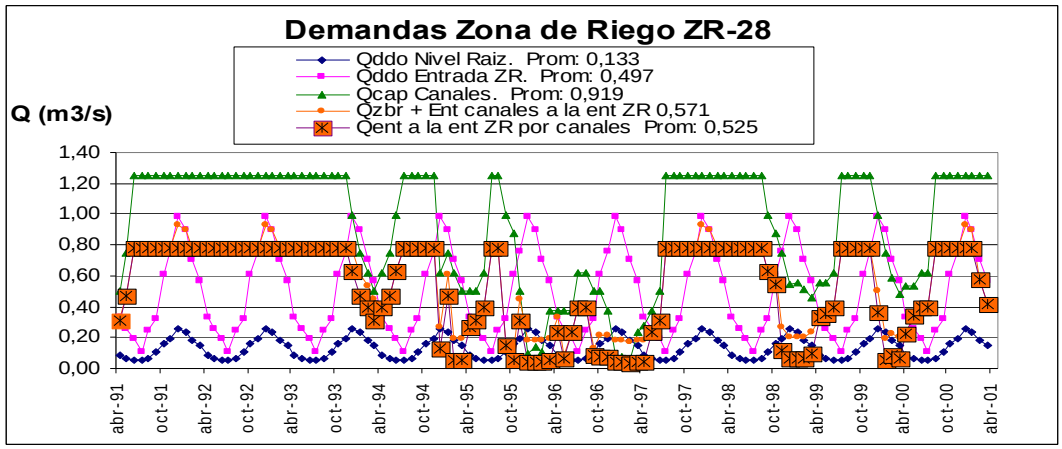
Illapel Alto



Illapel Bajo



Choapa Bajo



En las Figuras se observa, en primer lugar, comportamientos muy diferentes entre años normales y sequías. Aproximadamente 5 de los 10 años simulados son relativamente secos hasta muy secos.

En años normales, hay una gran cantidad de sectores que ven suplidas todas sus demandas, incluidas las grandes ineficiencias en la aplicación del riego. Debido a que en las tres subcuencas, Choapa, Chalinga e Illapel, los sistemas de riego son lineales en relación con los cauces, las ineficiencias locales permiten el reuso de los recursos hídricos aguas abajo. De esta forma, quedan pocos sectores que no reciben la totalidad de sus demandas en años normales. Ellos son: el Choapa alto, el estero Quelén, el Chalinga alto, el Choapa entorno a Limáhuida, el estero Carén, el Illapel en el Peral, y el Choapa antes de la desembocadura.

No obstante lo anterior, todas estas zonas reciben más agua que su demanda a nivel raíz, de modo que es la ineficiencia de riego la que impide el mejor aprovechamiento de los recursos en los años normales.

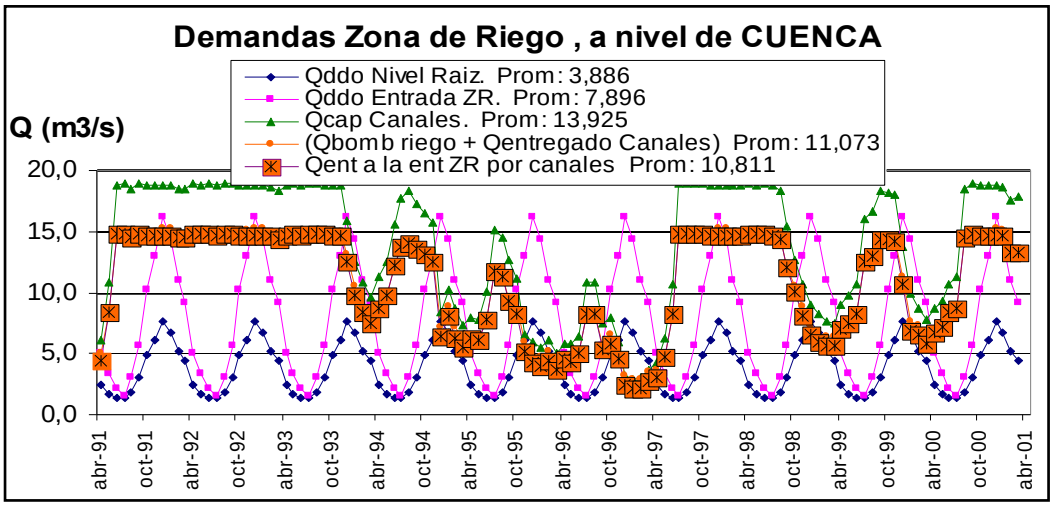
En años secos, la situación cambia bastante, notándose por un lado, la falta de regulación, y por otro lado, la falta de acceso al almacenamiento natural provisto por los acuíferos. Casi todas las zonas presentan un año fallo de 10, a nivel de demanda de raíz, lo que está dentro de lo razonable para el riego. Sin embargo, hay varias zonas que presentan hasta 2 años fallos a nivel de la demanda de raíz, que son: estero Quelén, el estero Chalinga salvo la cabecera, Choapa y Camisas bajo junta con Chalinga, el estero Carén, y el río Illapel entre Huintil e Illapel.

Las únicas zonas que salvan la escasez en períodos de sequía, son los sectores del río Illapel bajo la ciudad de Illapel, donde hay pozos para riego, los que se usan para suplir los déficits.

Lo señalado es una clara señal de que el valle requiere el acceso a una regulación. Recientemente se incorporó el embalse Corrales, pero también es necesario analizar la posibilidad de acudir en mayor medida a los acuíferos.

Como resultado para toda la cuenca, se obtiene la siguiente Figura 7-12. Esta figura muestra la misma situación, en que las demandas a nivel de zona de riego, con todas sus ineficiencias, se ven suplidas en años normales en la gran mayoría de los sectores del valle. Pero se observa también que durante las sequías hay una afección severa, recibiéndose durante el estiaje un caudal que sólo cubre las demandas a nivel de raíz, y en 1 de 10 años, ni siquiera se puede cubrir esa demanda. Se observa que a nivel general del valle, prácticamente no hay acceso a las aguas subterráneas.

Figura 7-12
Demanda y entrega agregada de todas las zonas de riego, a nivel de la cuenca



7.4.2 Interacción entre aguas superficiales y subterráneas

A través de la modelación, este tema ha podido ser mostrado como la interacción entre los cauces, zonas de riego y acuíferos. Los flujos de interacción son las percolaciones, que llegan desde cauces, canales y zonas de riego hacia los acuíferos, que conforman la disponibilidad total para la recarga. Sin embargo, dependiendo del estado del acuífero, se producen rechazos de recarga o afloramientos hacia los nodos del cauce superficial, de modo que aparece un nuevo concepto, el de la recarga neta, que es el agua que realmente entra al acuífero.

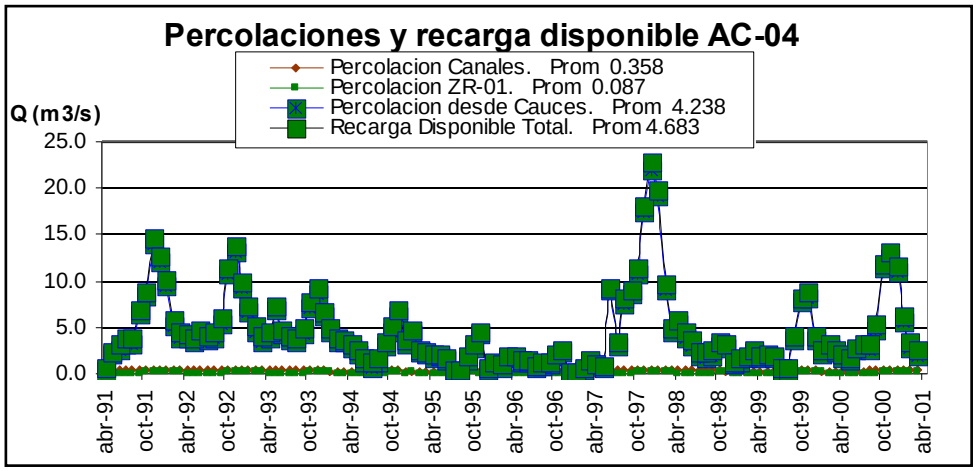
En las Figuras 7-13 a) y b), se observan por un lado, los recursos disponibles para percolación que se generan en cauces, canales y zonas de riego. Estos recursos conforman la recarga disponible. Por otro lado, se grafica esta recarga disponible, en conjunto con los afloramientos, de modo que se obtiene la recarga neta que alimenta los acuíferos.

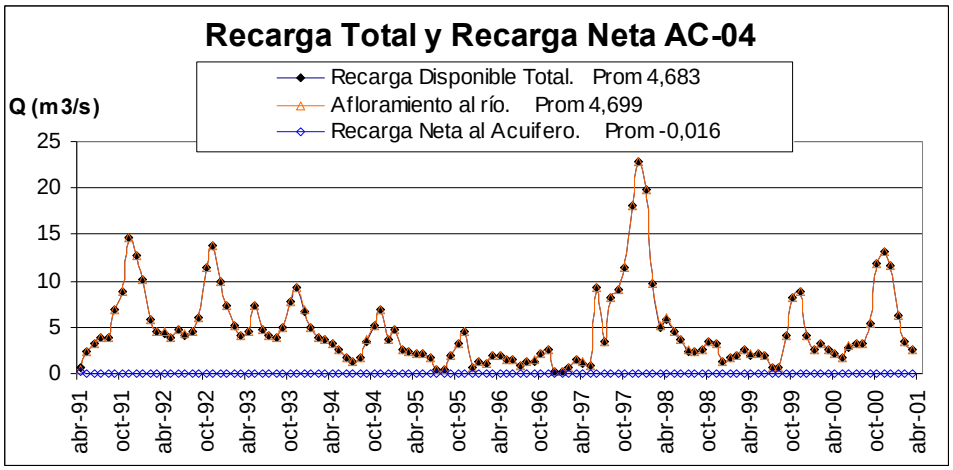
Los acuíferos de todo el río Choapa, vale decir, acuíferos 1 a 5 y 7 a 10 (río Choapa hasta Chalinga), 14, 16 y 17 (Choapa entre Chalinga y junta con Illapel) y 27 y 28 (Choapa entre junta Illapel y desembocadura), se comportan todos de manera muy similar. Todos presentan la misma forma de las curvas de percolación que se muestra para el acuífero 4 (Choapa bajo Cuncumén) en las Figuras 7-13 a) y b). Para todos, la percolación más importante es la que proviene desde el río, siendo la percolación desde canales y zonas de riego despreciable frente a la primera.

También para todos estos acuíferos ocurre que, por estar muy ligados al río, están siempre llenos, por lo que prácticamente no aceptan recarga, siendo la recarga neta (o recarga efectiva no rechazada) en promedio, muy pequeña o casi cero.

Figuras 7-13 a) y b)
Interacción Superficial – Subterránea

Río Choapa

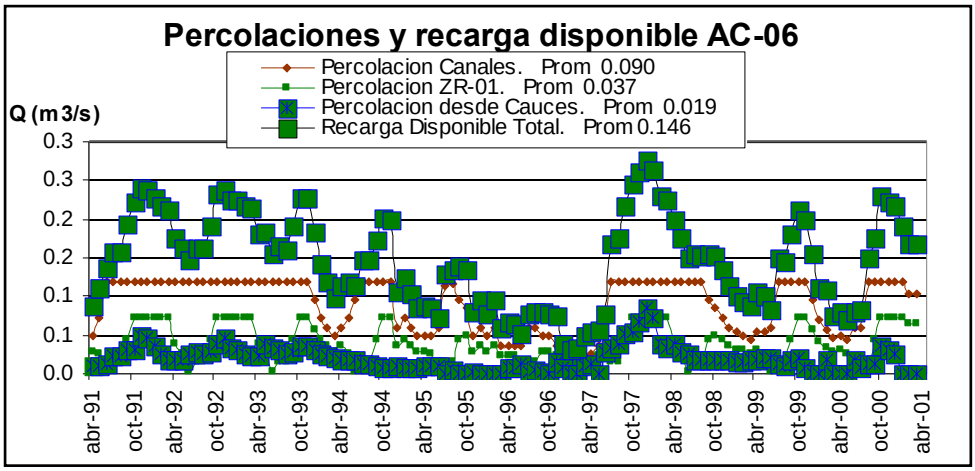


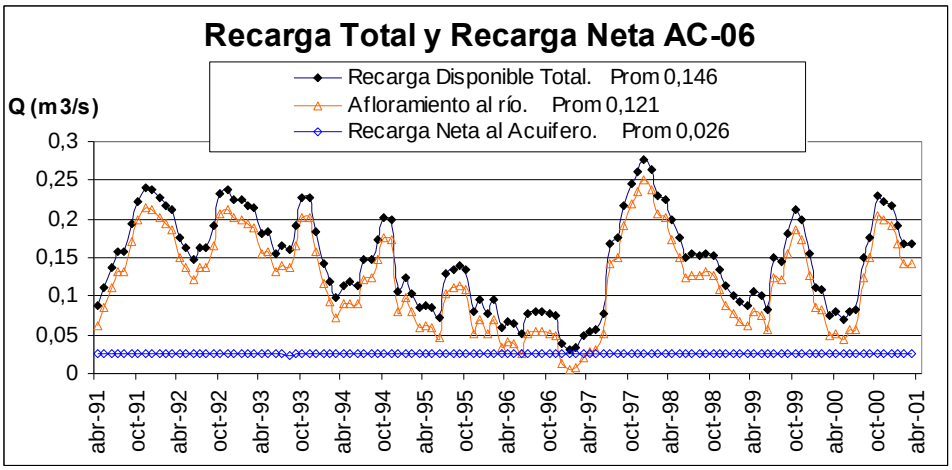


El acuífero 6 corresponde a la quebrada de Quelén, que es colateral al río Choapa y afluente a él desde el sur. En este acuífero, donde no hay un cauce importante, la situación es un poco diferente. En las Figuras 7-14 a) y b) se puede observar que la percolación proveniente del cauce es menor en relación con la que proviene desde las zonas de riego y desde los canales, siendo la más importante ésta última. También se observa que este acuífero es un acuífero que sí recibe recargas netas, pues sus salidas hacia el río Choapa son mayores que sus entradas.

Figuras 7-14 a) y b)
Interacción Superficial – Subterránea

Estero Quelén





En una situación similar se encuentran los acuíferos del río Chalinga. En los acuíferos 11, 12 y 13, (Figuras 7-15 a) y b)), la situación que se observa es la siguiente: Para el acuífero de cabecera (11, sobre la estación San Agustín), la recarga disponible proviene de las tres fuentes, cauce, canales y zonas de riego, siendo las tres de similar orden de magnitud, y muy pequeñas. El acuífero en ese sector es receptor de recargas, de hecho, acepta toda el agua disponible, porque tiene una salida importante hacia aguas abajo.

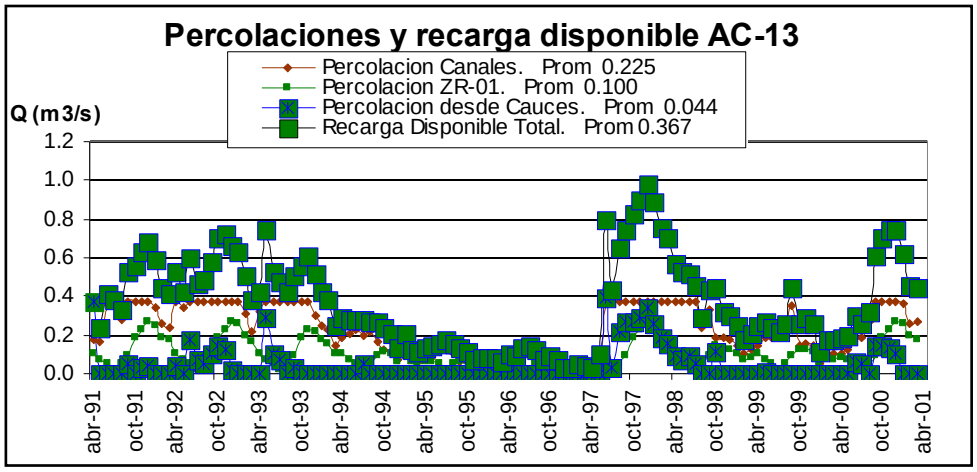
Después de la estación fluviométrica San Agustín hacia agua abajo (acuífero 12), el cauce presenta un gran ensanchamiento, donde se intensifica el riego. Para el acuífero subyacente, la percolación desde cauces pierde importancia frente a la que se genera desde canales y zonas de riego. Además, este sector, debido al angostamiento al final de este sector, casi siempre

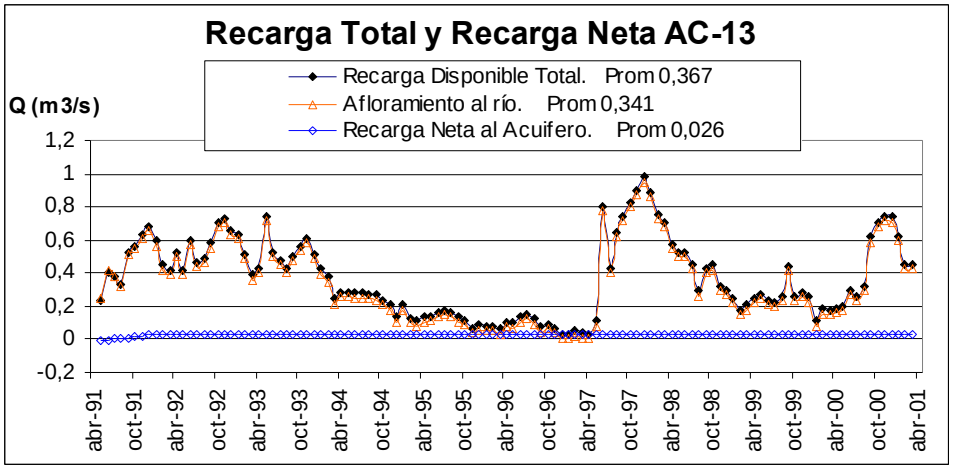
presenta afloramientos hacia el río. Esta situación se invierte en épocas de sequía, en que se acaban los afloramientos y el acuífero se convierte en receptor de recargas disponibles.

Finalmente, en el último sector antes de desembocar en el río Choapa (13), el cauce pierde su importancia como aporte para recarga, porque lleva poca agua, pero mantienen su importancia las percolaciones desde los canales y las zonas de riego. El acuífero en este sector también presenta una recarga neta igual o muy similar a cero, lo que significa que está permanentemente lleno.

Figuras 7-15 a) y b)
Interacción Superficial – Subterránea

Río Chalinga



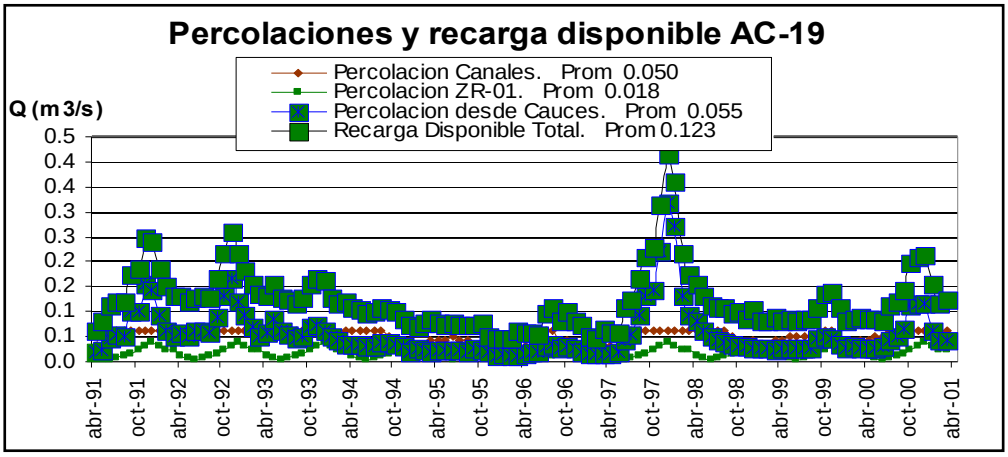


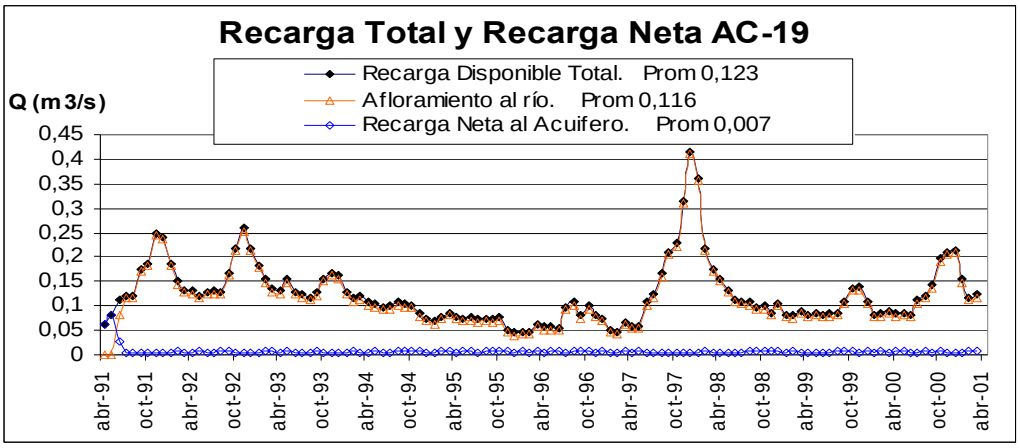
A lo largo del río Illapel, acuíferos 19 a 26 (Figuras 7-16 a) y b)), la situación queda ejemplificada por los acuíferos 19 y 24. El primero es representativo de sectores con poca explotación, donde la recarga al acuífero proviene del cauce, de los canales y de las zonas de

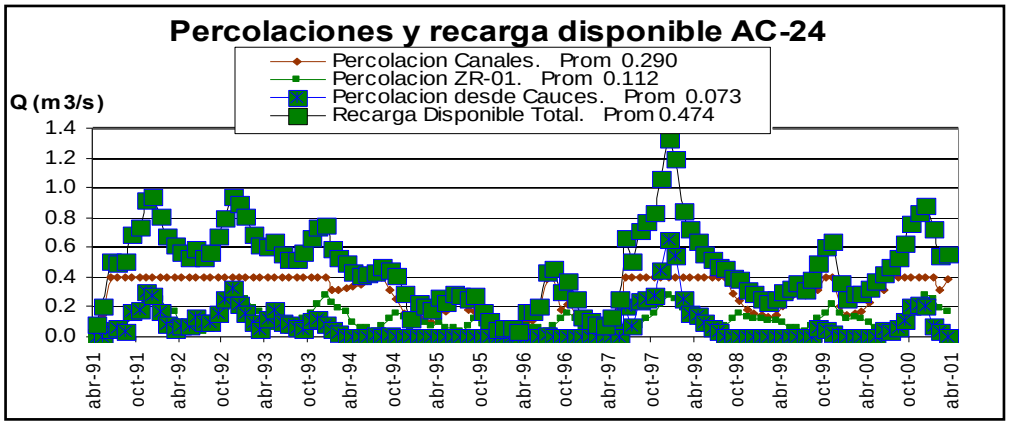
riego, en similar magnitud, superando el riego las percolaciones desde el cauce en épocas de sequía. En estos sectores, el acuífero está siempre casi lleno, y prácticamente no acepta recarga neta.

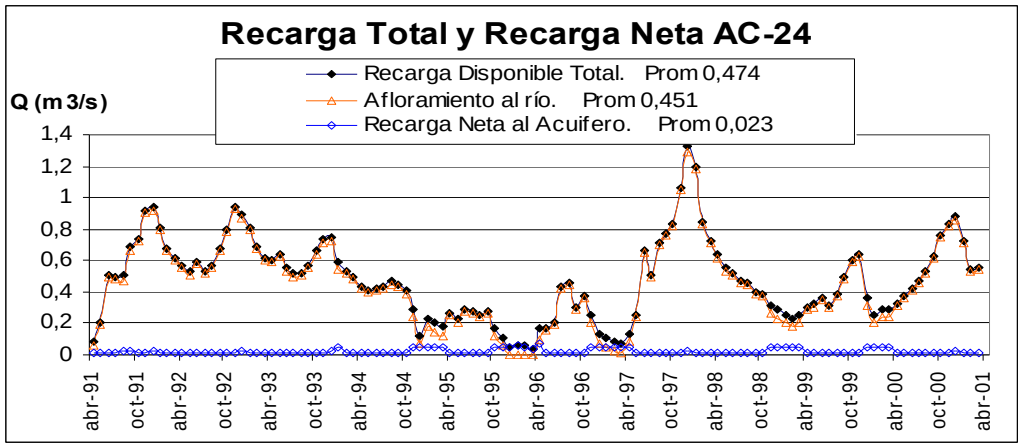
El acuífero 24 es representativo de los sectores con más actividad, y con alguna explotación a través de bombeos. En estos sectores, las percolaciones provienen principalmente desde el sistema de riego (canales y zonas de riego), y los cauces son secundarios. Por otro lado, no todas la percolaciones afloran, sino que hay una pequeña cantidad de agua que es aceptada por el acuífero como recarga neta, especialmente en años de sequía, para volver a su estado lleno.

Figuras 7-16 a) y b)
Interacción Superficial – Subterránea
Río Illapel









7.4.3 Comportamiento de los acuíferos

A continuación se muestra en detalle todos los flujos que se producen en los acuíferos en el período de simulación. Es necesario considerar que el período de calibración abarca años secos y húmedos, que el modelo opera asumiendo que toda la superficie identificada como cultivada requiere riego, y que cuando hay déficit de agua superficial, se produce bombeo con un tope en los derechos constituidos. Hay que considerar que esto es coherente con lo recogido en las entrevistas, en que la gran mayoría de los regantes, que son pequeños productores, no tienen pozos, pero los que tienen, los usan para suplir los déficits del agua superficial.

Las variables que se muestran en las figuras adjuntas, son las siguientes:

- bombeos
- variación del volumen almacenado
- flujos de salida de los acuíferos
- afloramientos desde cada unjo de los acuíferos
- afloramientos hacia cada uno de los nodos

Se observa que hay algunos acuíferos que no tienen pozos (inscritos con derechos). Estos son los acuíferos 1 (Río Valle), 10 (Choapa antes junta Chalinga), 11 (Chalinga sobre San Agustín), y todo el Illapel alto, incluido Carén, hasta la ubicación del embalse El Bato.

De los demás sectores, hay algunos que sólo tienen pozos para agua potable urbana o rural, y ellos son los acuíferos 2,4,7,8 y 9 del Choapa alto, 14 del Choapa bajo la confluencia Chalinga, 22 del Illapel (sector sobre Huintil) y 27 del Choapa después de la confluencia con el Illapel. Todos estos sectores están utilizando agua subterránea en forma muy marginal (entre 2 y 100 l/s por acuífero).

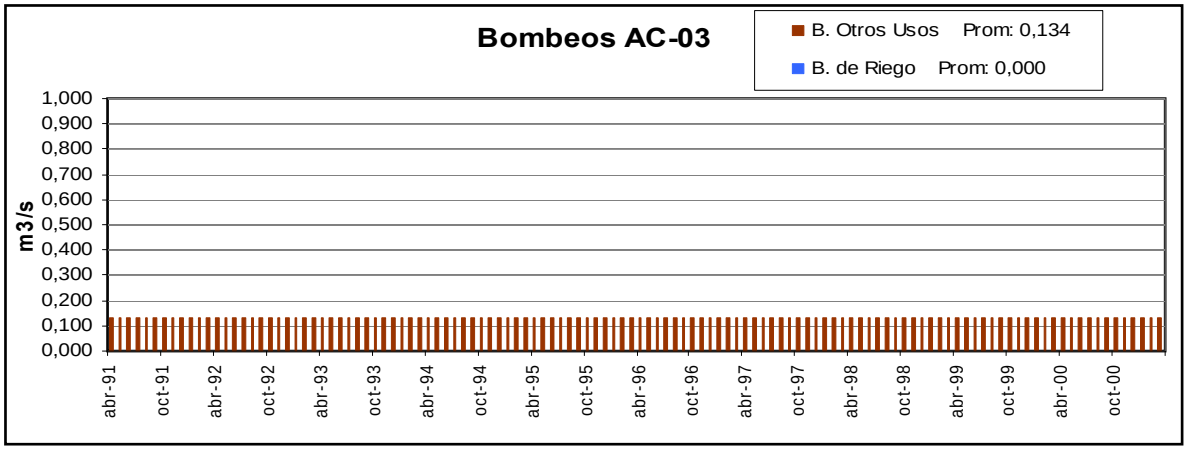
Los únicos acuíferos que tienen explotaciones dignas de mencionarse, son: derechos por 120 l/s para uso minero en el sector 3 (Cuncumén), explotación de 41 l/s para agua potable frente a Illapel (sector 24), y derechos para riego, todos con un tope bajo los 205 l/s, en los sectores 16 y 17 (Choapa entre estero Camisas y Puente Negro), 25 (Illapel en el Peral) y 28 (Huentelauquén).

Los pozos que tienen mayor cantidad de derechos en toda la cuenca del Choapa, son los pozos de restitución al riego que posee la minera Los Pelambres. Estos pozos tienen en total derechos por 560 l/s, y se ubican sobre el valle del Choapa entre Chillepín y El Queñe, en los acuíferos 5, 7, 8 y 9. Estos pozos, sin embargo, no han sido nunca utilizados, salvo este verano por primera vez, según se ha informado en la Región.

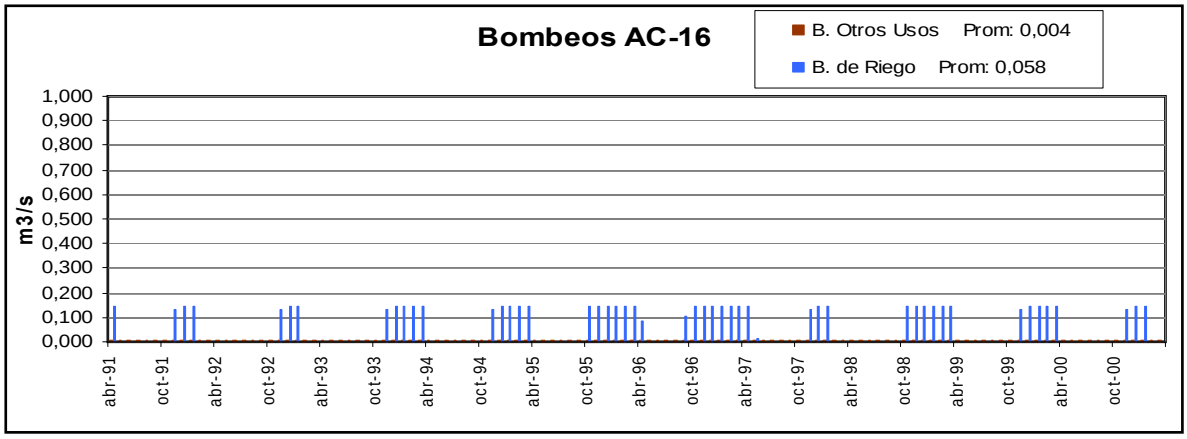
En la Figura 7-17 adjunta se muestran los bombeos en los sectores de la cuenca que presentan bombeos relevantes. Se observa que los derechos para riego son muy pocos, y que la explotación claramente topa en los derechos. Los acuíferos serían más intensivamente bombeados en épocas de estiaje si hubiera más derechos.

Figura 7-17
Bombeos relevantes en la cuenca del Choapa

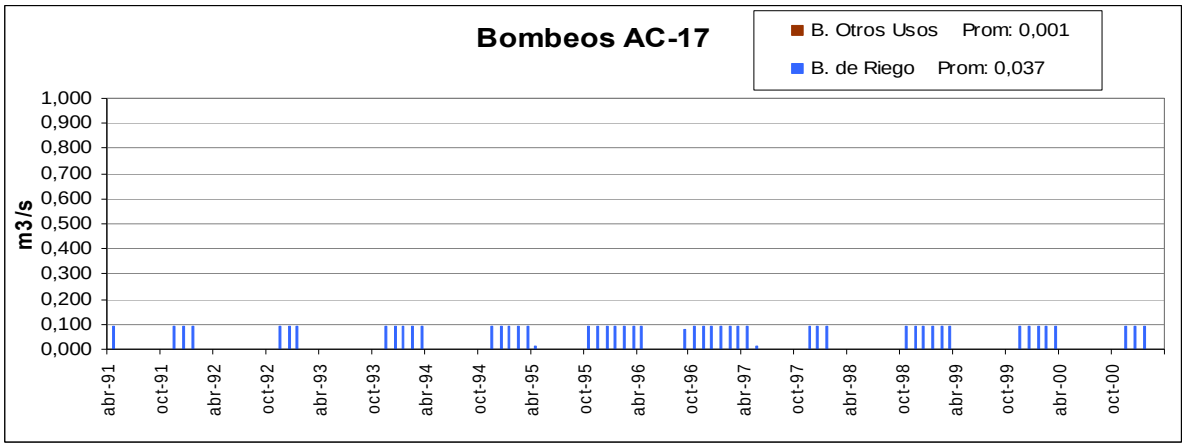
Cuncumén



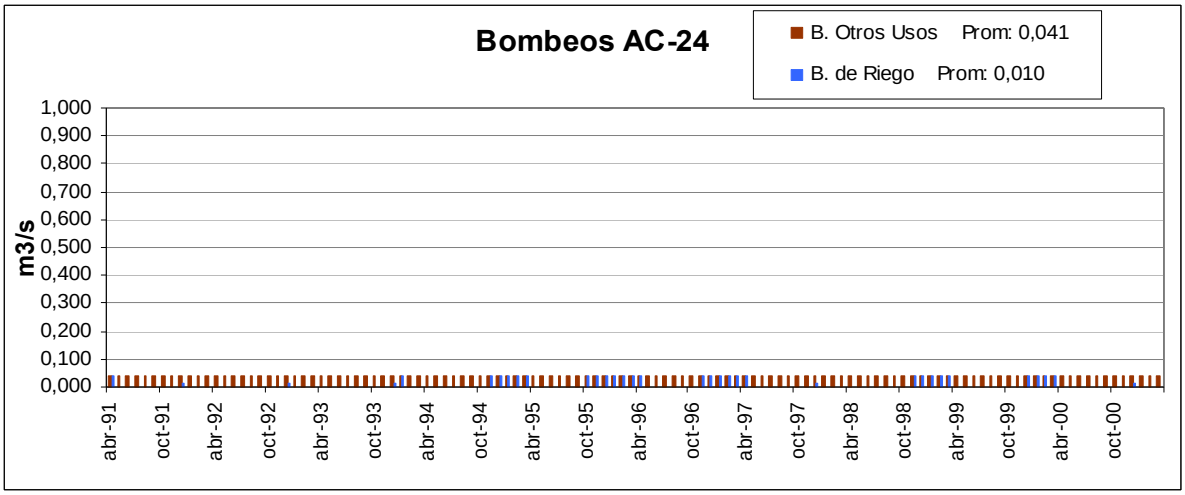
Limáhuida



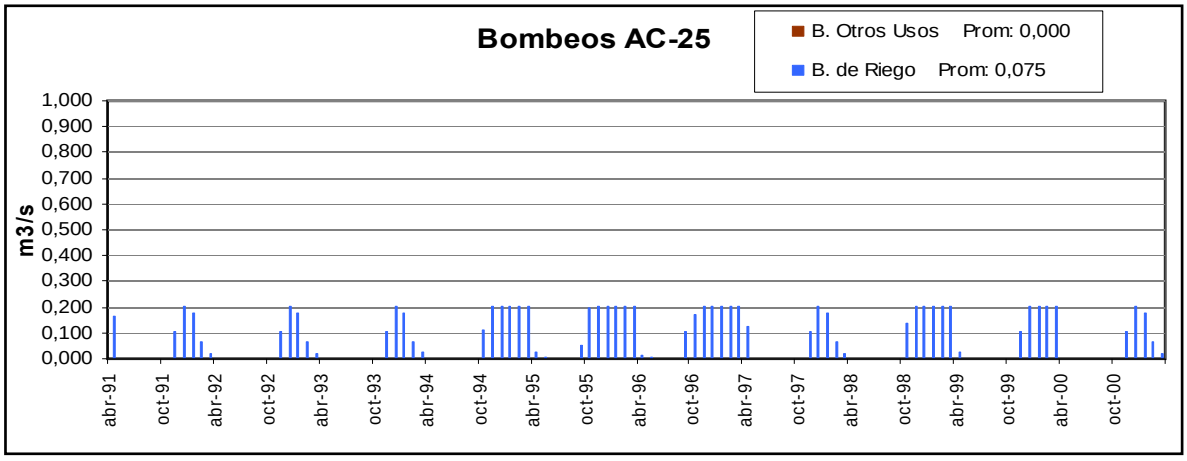
Choapa



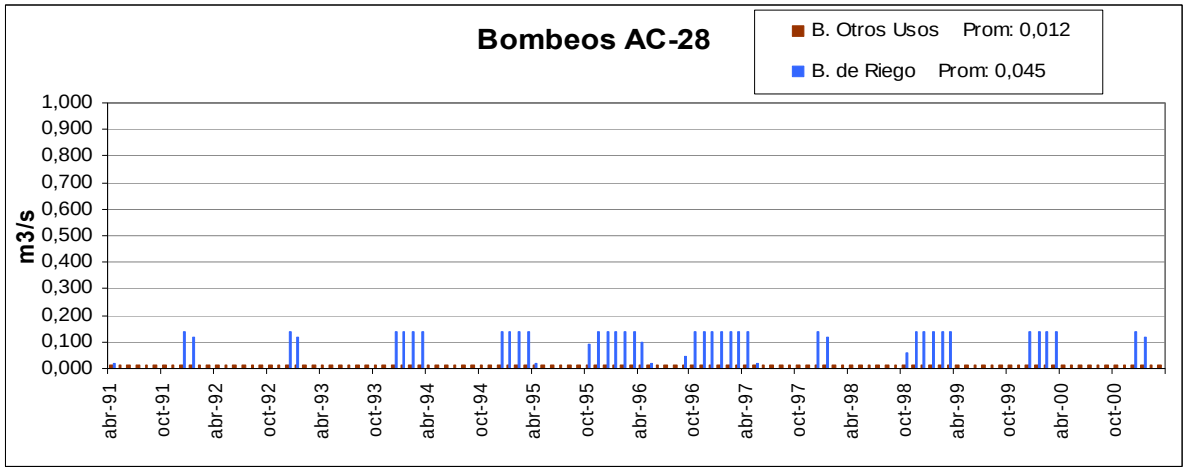
Illapel



El Peral



Huentelauquén



La Figura 7-18 muestra la evolución del volumen mensual almacenado en cada acuífero. La Figura 7-19 muestra los flujos pasantes (desde acuífero de origen), para todos los acuíferos de la cuenca. En la leyenda se muestra el valor promedio de cada serie.

Se observa que los únicos acuíferos que denotan alguna variación son el acuífero 11 (cabecera Chalinga), y el acuífero 25 (Illapel aguas abajo de la ciudad de Illapel). En el primer caso, se debe a la variación de caudales de entrada que se producen en la cabecera del Chalinga, pues no hay pozos de explotación en este acuífero. En el segundo caso, las variaciones se deben a la intensificación del bombeo en los estiajes del período de sequía.

Figura 7-18
Evolución del volumen almacenado en los acuíferos

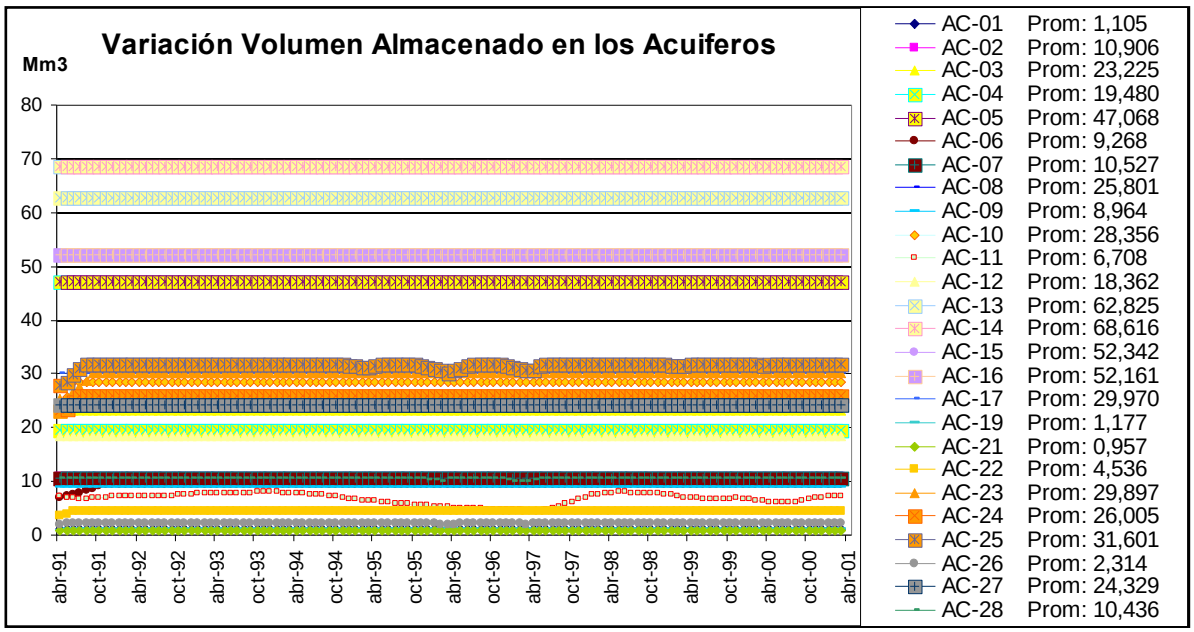
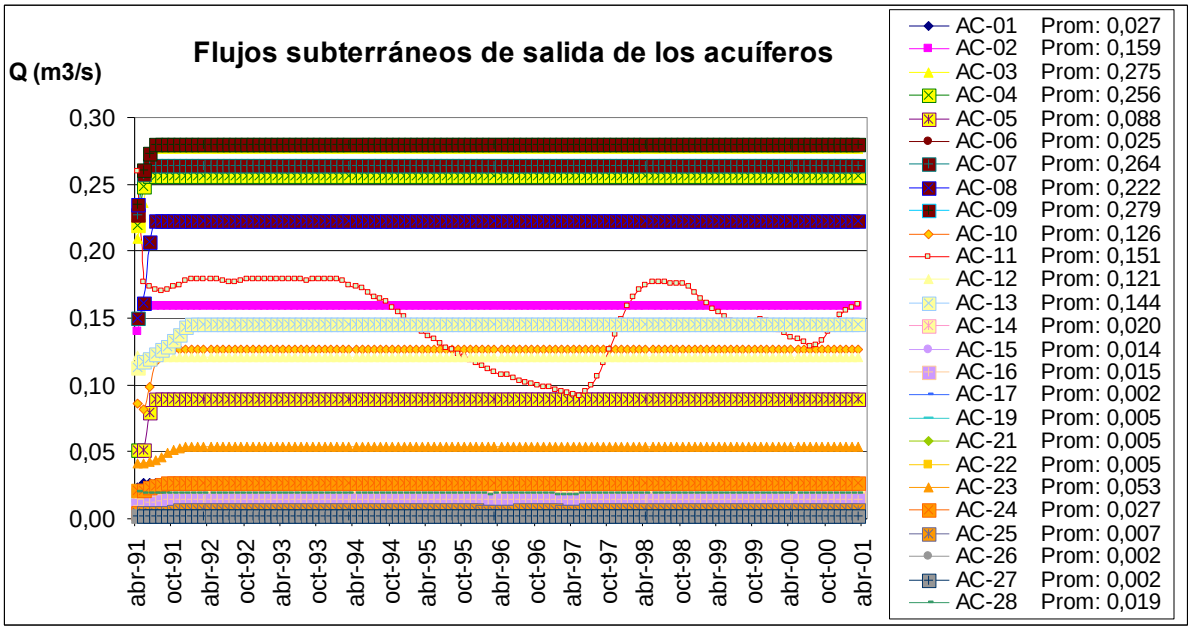


Figura 7-19
Flujos subterráneos pasantes entre acuíferos

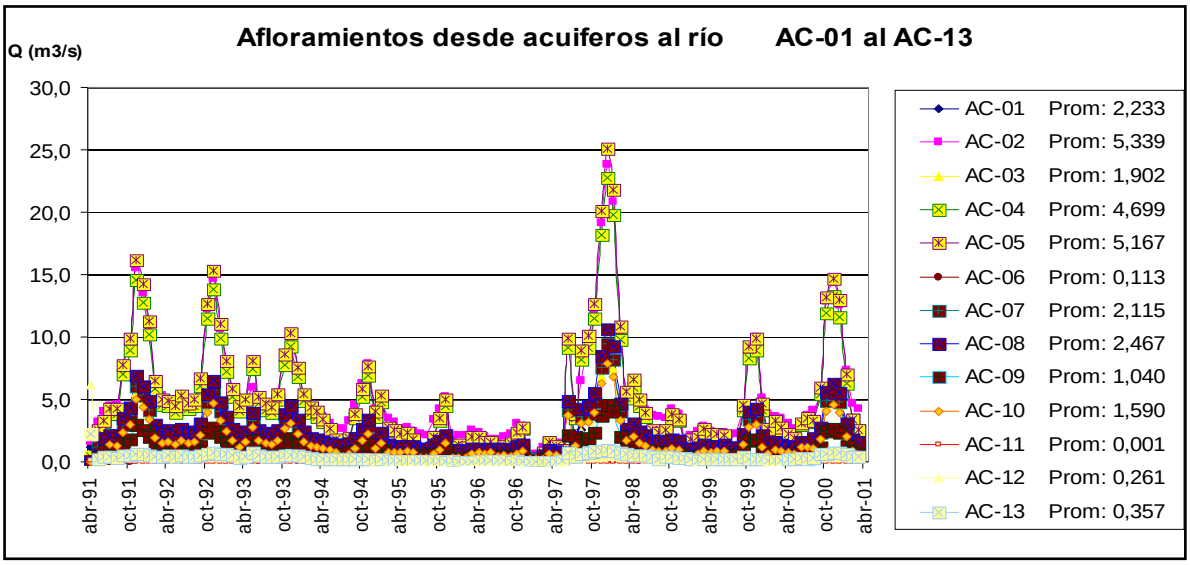


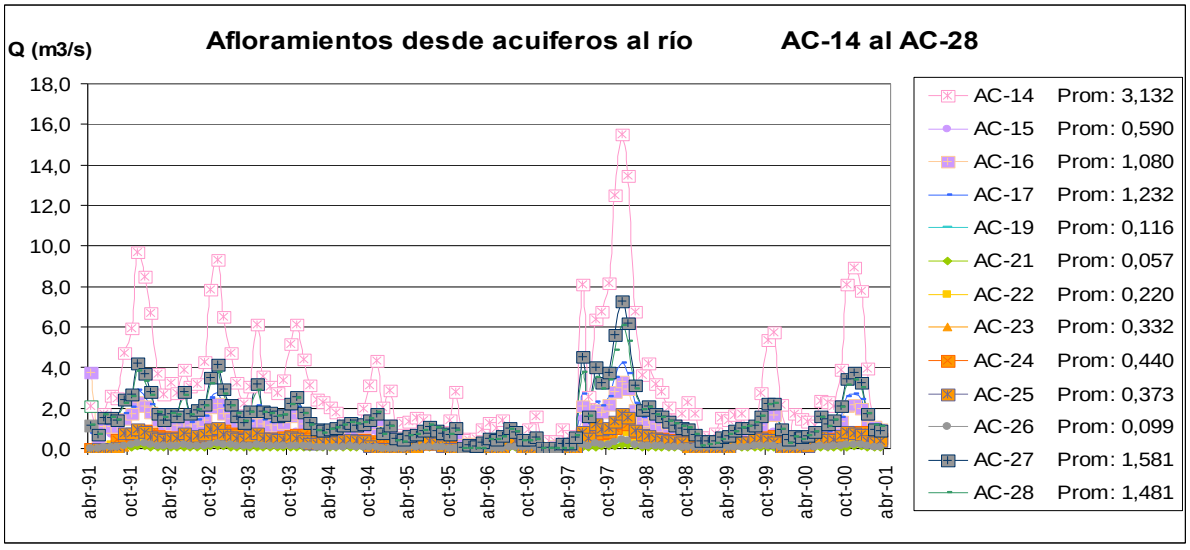
En los flujos de salida se observa también que el único flujo variable es el correspondiente a las salidas del acuífero 11 (cabecera Chalinga), debido a la variabilidad de su alimentación.

Se observa también que la salida subterránea al mar corresponde al caudal efluente desde el acuífero 28, que alcanza aproximadamente 19 l/s como promedio del período.

La Figura 7-20 muestra los afloramientos desde cada uno de los acuíferos.

Figura 7-20
Afloramientos que genera cada uno de los acuíferos





Las mayores recargas disponibles y por lo tanto los mayores afloramientos, se registran en el Choapa Alto y Medio, desde Cuncumén hasta el estero Camisas,

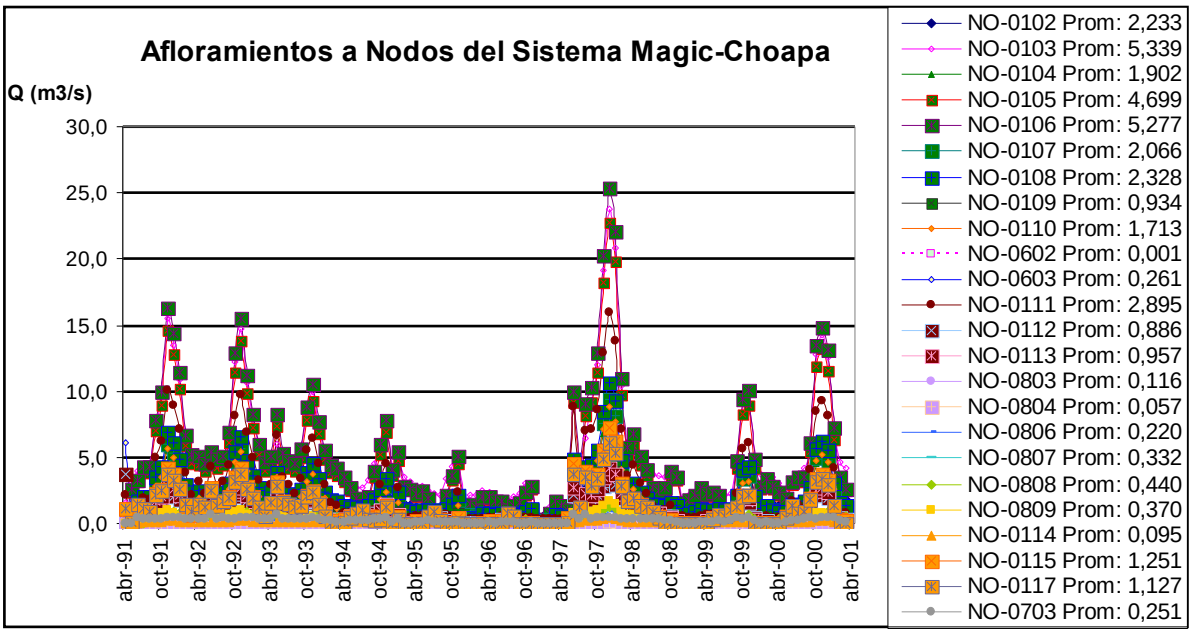
.

Los afloramientos que generan los acuíferos de los ríos Illapel y Chalinga siempre son pequeños (la cabecera del Chalinga no genera afloramientos, sino que recibe toda la recarga

como recarga neta). No obstante ellos, en estos casos, como en todos los demás, aflora toda la recarga disponible. Lo que ocurre entonces es que los afloramientos son pequeños porque la recarga disponible es pequeña.

Finalmente, en la Figura 7-21 se muestran los caudales de afloramiento que llegan a cada uno de los nodos de los cauces superficiales.

Figura 7-21
Afloramientos que llegan a cada uno de los nodos de ríos



Se observa que los afloramientos son muy variables, y varían desde grandes valores de caudal en épocas húmedas a valores muy pequeños durante los períodos secos. Sin embargo, se observa también que en épocas normales, siempre hay afloramientos, o rechazos de recarga, en todos los acuíferos, coherente con su bajo grado de explotación, que hace que siempre haya rechazo de la mayor parte de la recarga disponible.

7.4.4 Seguridad de riego

El modelo MAGIC calcula, para cada mes, el porcentaje de la demanda suplida. En base a esta información es directo obtener una seguridad de riego, entendida como porcentaje de años fallos de un total de años analizados, cuando de dispone de dos cosas:

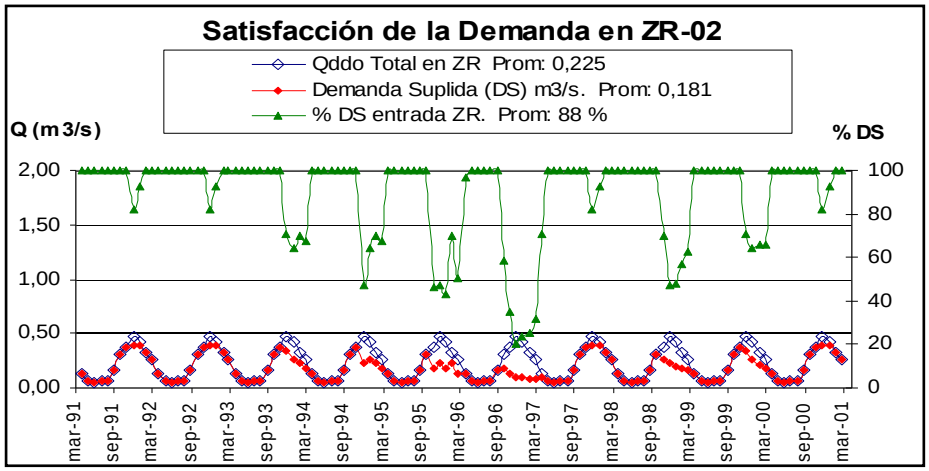
- un criterio que permita discernir qué porcentaje de satisfacción de demanda se exige como mínimo en cada mes, para considerar que no hay falla, y
- una estadística de una longitud tal que permita hablar de un % de años.

En el presente caso, el criterio de falla que podría adoptarse sería el de la CNR, utilizado también por la DOH, pero que admite revisión y adaptación a la realidad local. Este criterio consiste en que se considera año no fallo el que todos los meses, salvo uno, logró porcentajes de satisfacción de la demanda mayores que 90%, y el mes que no logró 90%, logró al menos 80%. Los años que no cumplen con estas condiciones son fallos.

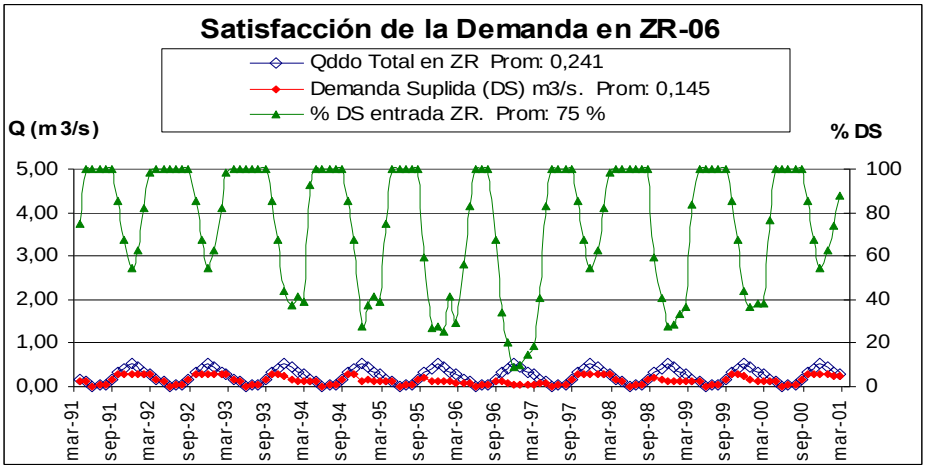
A continuación, en la Figura 7-22 se entrega la serie de porcentajes de satisfacción de la demanda obtenidos para cada una de las zonas de riego, durante el período de calibración (10 años). Se grafica la ZR 02 y 08 en representación del comportamiento observado en el Choapa Alto, la ZR 06 de Quelén, la ZR 12 en representación de lo que ocurre en el río Chalinga, la zona 16 en representación del Choapa medio, la ZR 19 y 24 en representación del río Illapel, y la ZR 27 y 28 correspondientes al Choapa bajo.

Figura 7-22
Porcentaje de satisfacción de la demanda por zona de riego

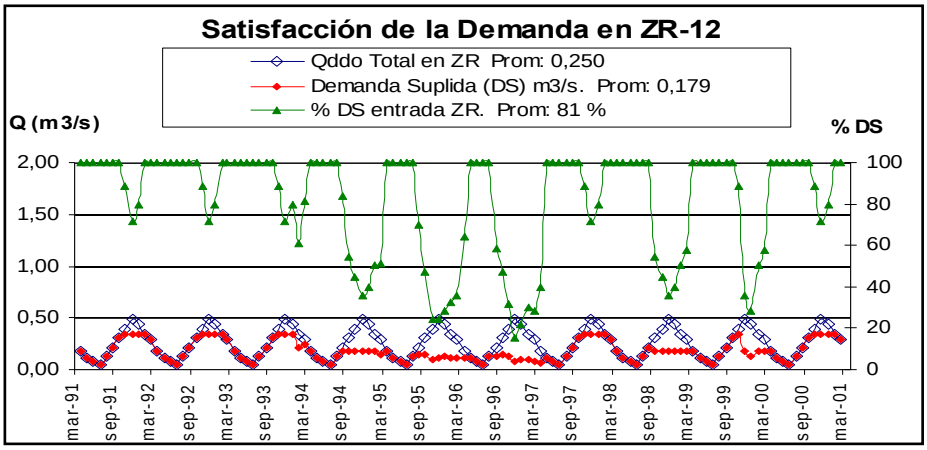
Choapa Alto



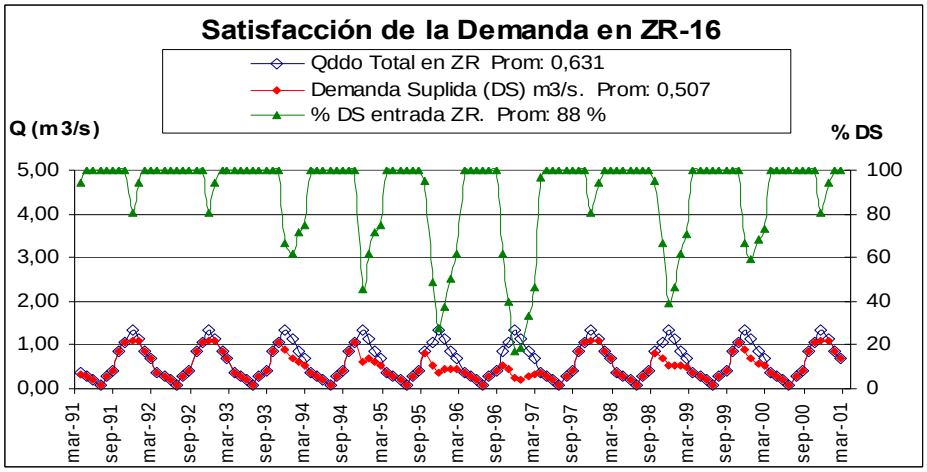
Estero Quelén



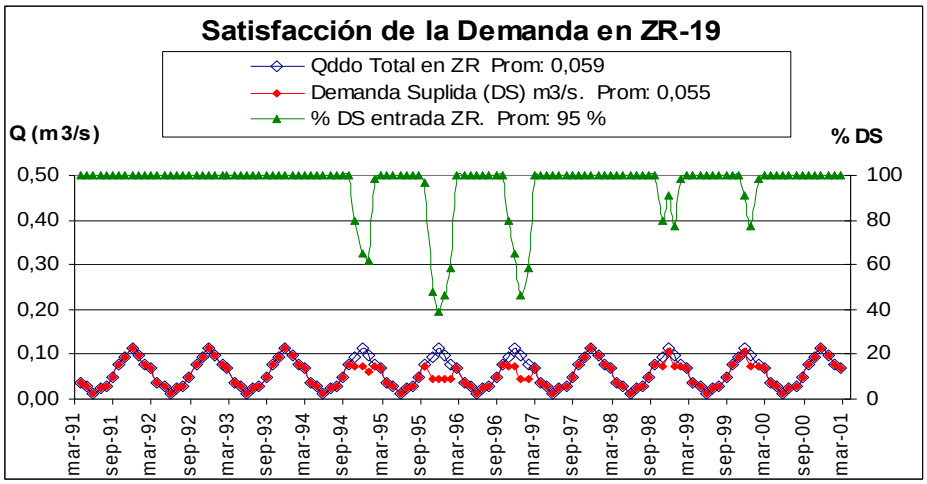
Chalinga



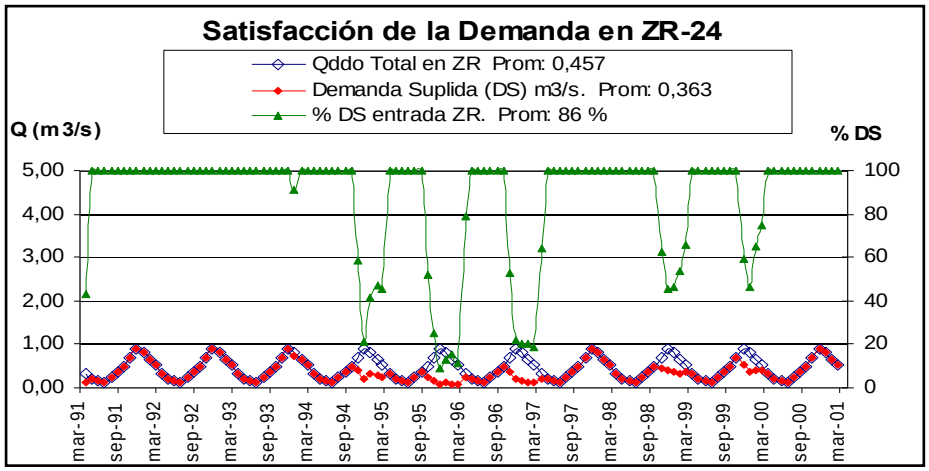
Choapa Medio



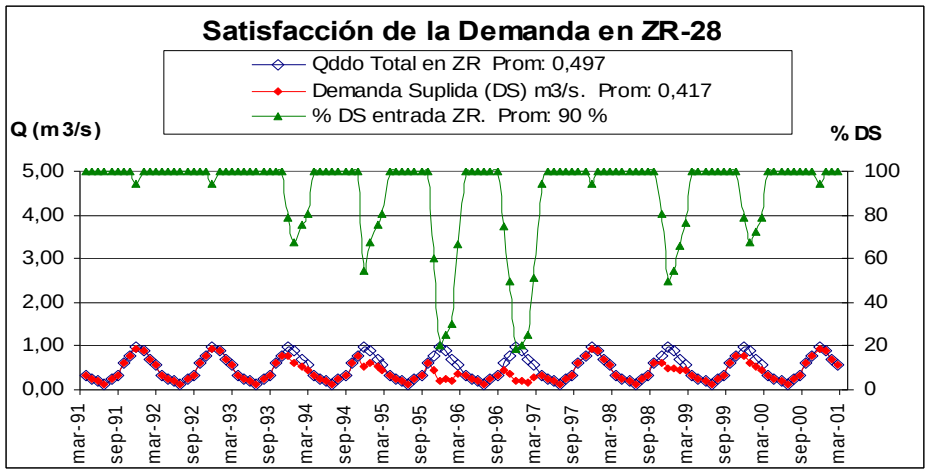
Illapel Alto



Illapel Bajo



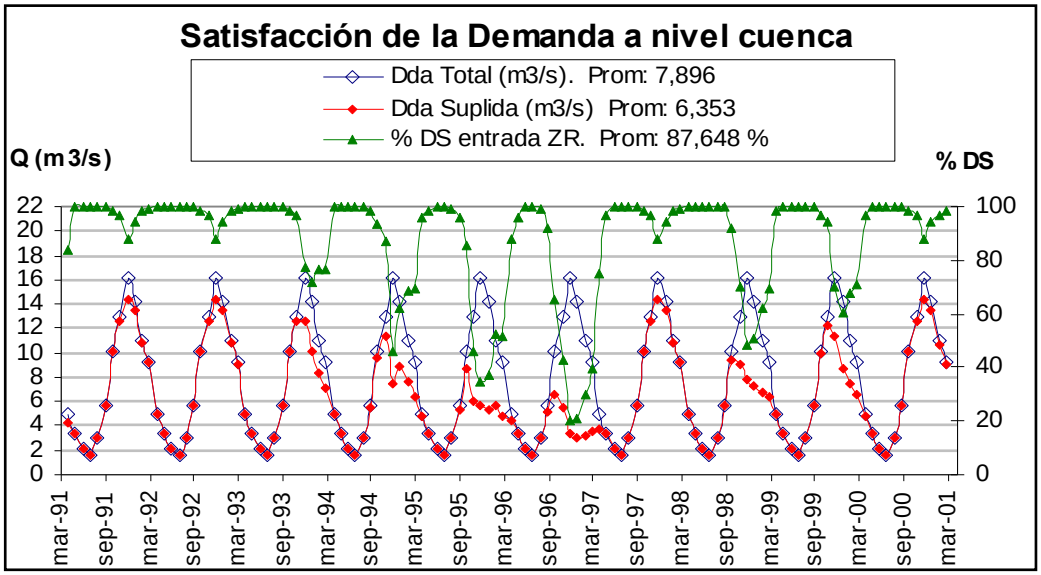
Choapa Bajo



En estas figuras se puede ver que todas las zonas se han visto afectadas por los dos años de sequía, y que casi todas las zonas presentan falencias en años normales a secos. De hecho, en esta serie de 10 años, en casi todos los sectores hay 5 o más años fallos, lo que muestra la total ausencia de acceso al almacenamiento o regulación.

Para toda la cuenca en conjunto, se presenta la Figura 7-23, donde se aprecia muy claramente que de los 10 años analizados, hay 6 fallos, lo que significa una seguridad de riego de alrededor de un 40% para el área total de la cuenca. De esta misma figura, se puede deducir que sólo el 60% del área tiene una seguridad de riego razonable, del 85%.

Figura 7-23
Demanda suplida a nivel de la cuenca completa



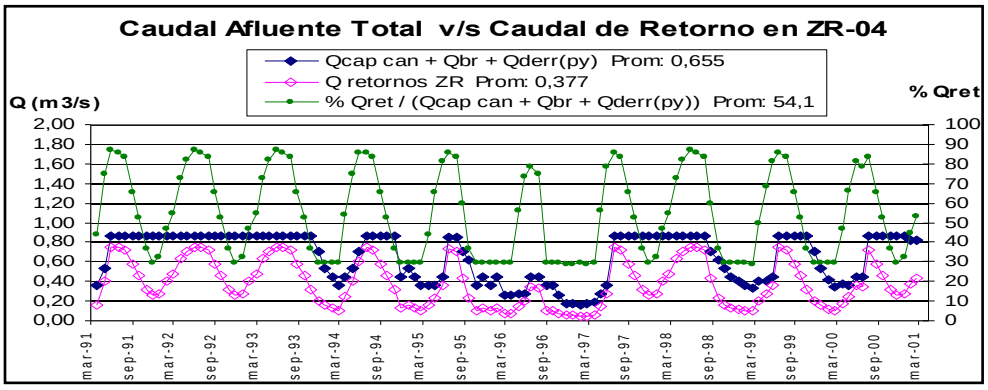
7.4.5 Flujos de retorno

En el modelo MAGIC, las zonas de riego se alimentan con aguas superficiales desde canales, tranques nocturnos, embalses, y derrames desde otras zonas de riego (si corresponde), pero también se alimentan de lluvias, y desde pozos con aguas subterráneas cuando todo lo anterior no alcanza a cubrir las necesidades. De todos los caudales afluentes, una parte efectivamente es la que cubre la demanda a nivel de raíz de las plantas, pero siempre hay un exceso que se reparte entre derrames superficiales que vuelven al río, y una parte de percolaciones que alimentan los acuíferos.

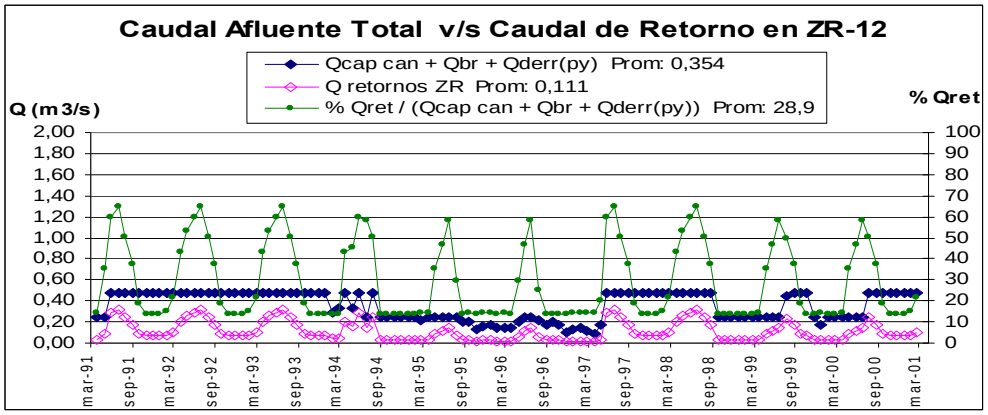
En la Figura 7-24 se muestran los caudales totales afluentes a las zonas de riego, los retornos al río que ellos generan desde cada zona, en valor absoluto, y también como porcentaje del caudal afluente, en la escala derecha. Se muestra un gráfico representativo de cada sector de la cuenca. La ZR 04 es representativa del Choapa alto, la ZR 12 lo es del Chalinga, la ZR 16 del Choapa medio, ZR 19 y 25 del Illapel, y ZR 27 del Choapa bajo.

Figura 7-24
Caudal afluente a zona de riego, caudal de retorno expresado como Q y %

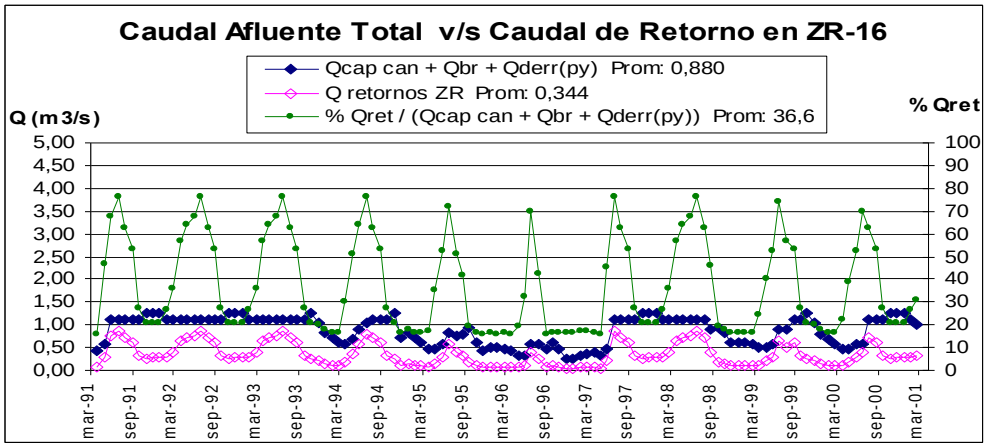
Choapa Alto



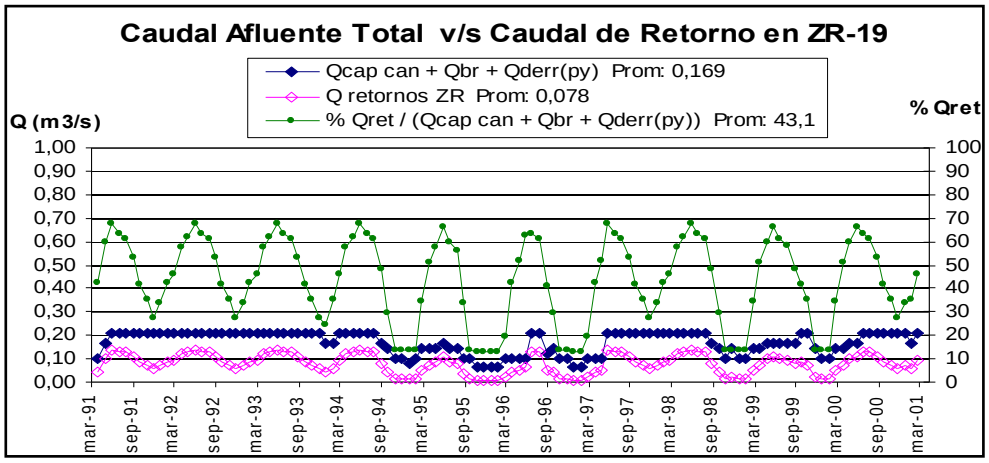
Chalinga



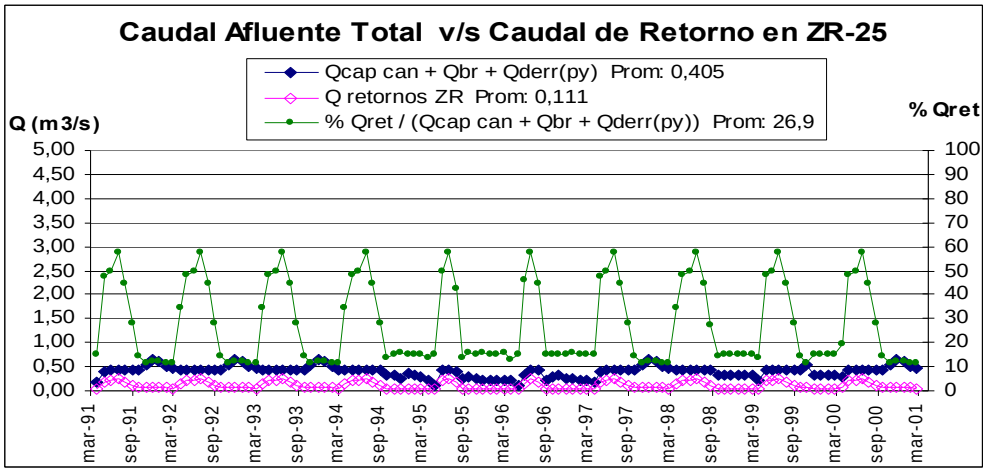
Choapa Medio



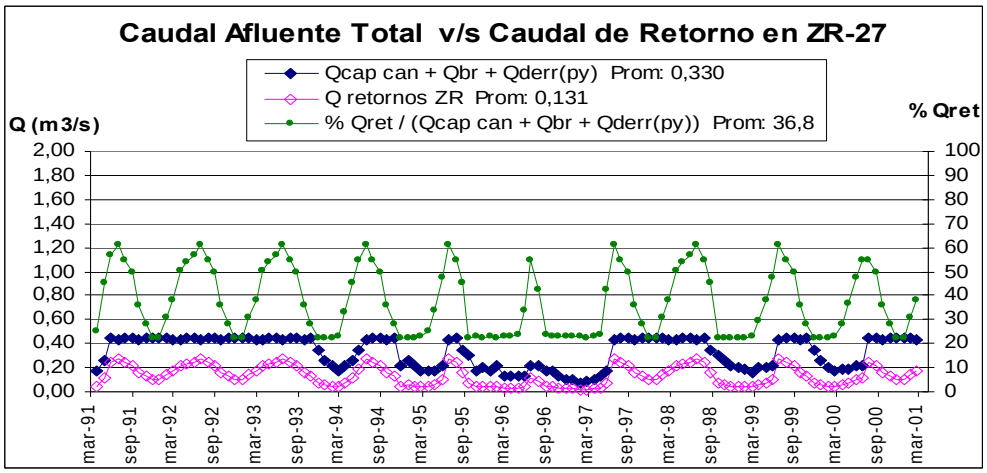
Illapel Alto



Illapel Bajo



Choapa Bajo



En las Figuras se observa que los retornos son más importantes en la zona alta del Choapa, y en la zona alta del Illapel, donde los recursos son más abundantes. Hacia aguas abajo, los retornos se van reduciendo. Los retornos son relativamente menores en el valle de Chalinga, y altos en el valle del Chalinga, en Illapel bajo y en Choapa medio y bajo.

En la Figura 7-25 se presentan los caudales de retorno superficial que se producen desde cada una de las zonas de riego, y en la Figura 7-26, los caudales de retorno que llegan a cada uno de los nodos del sistema.

Se observa que los flujos de retorno a los diferentes nodos son muy variables en su valor absoluto, dependiendo fundamentalmente del tamaño de la zona de riego que representan, pero en general el comportamiento es similar, con retornos altos en invierno y retornos bajos en verano. Lo señalado muestra que los canales se usan también en invierno, cuando las necesidades de agua son mucho menores, pero como el agua retorna al sistema, esta práctica no presenta problemas.

Figura 7-25
Caudales de retorno desde zonas de riego

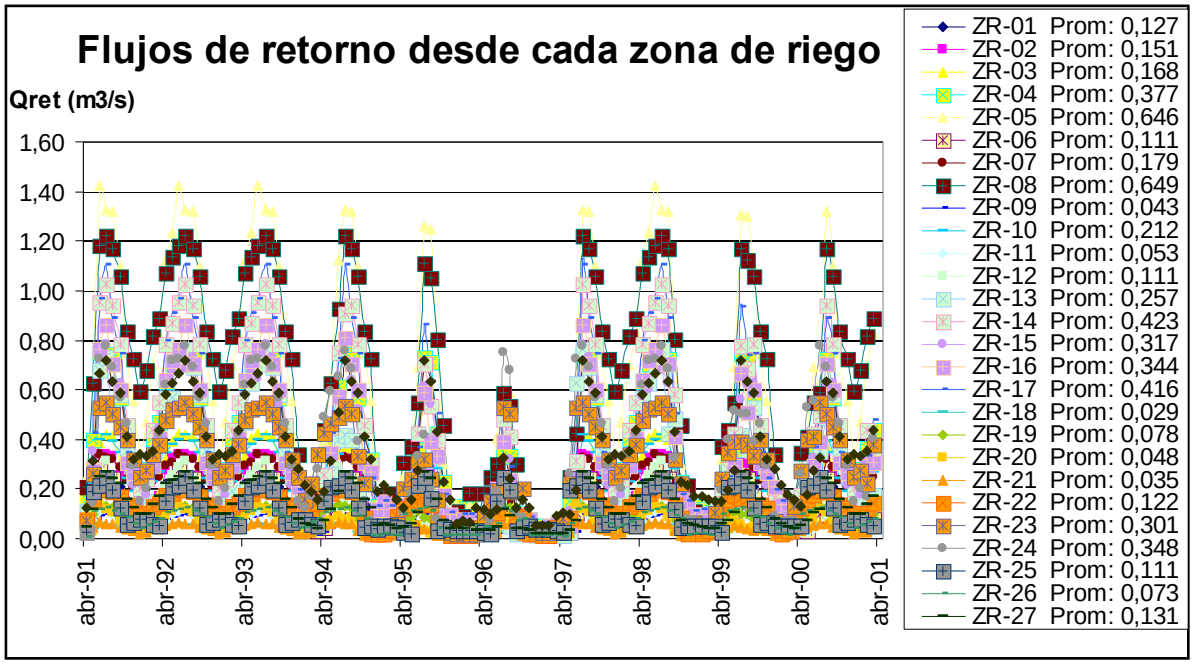
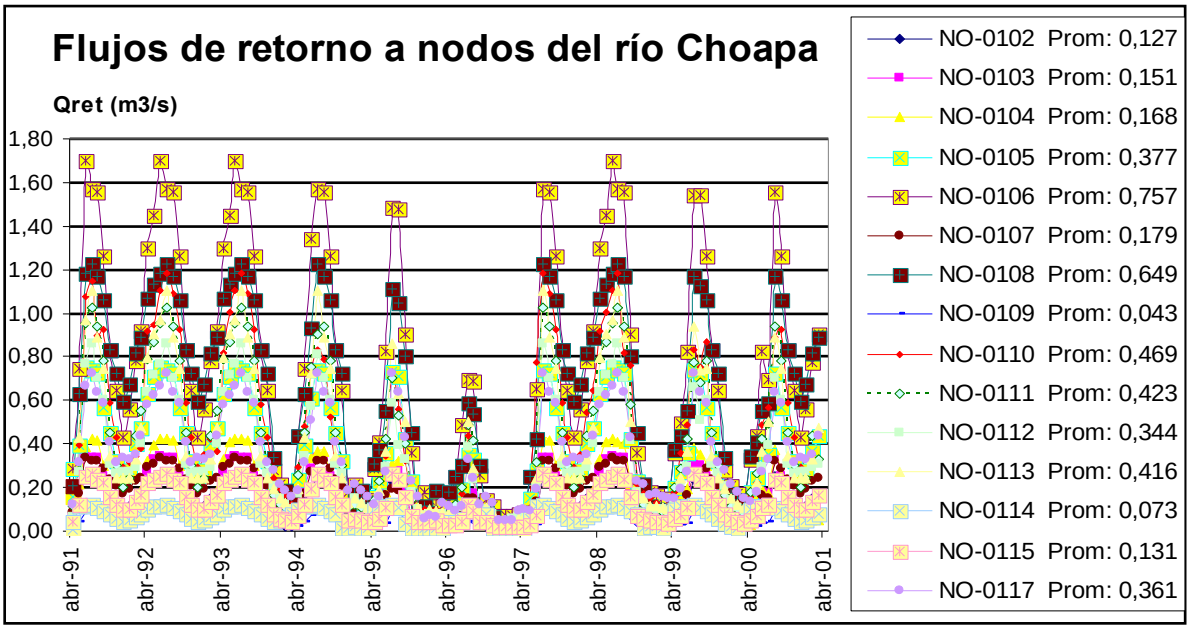
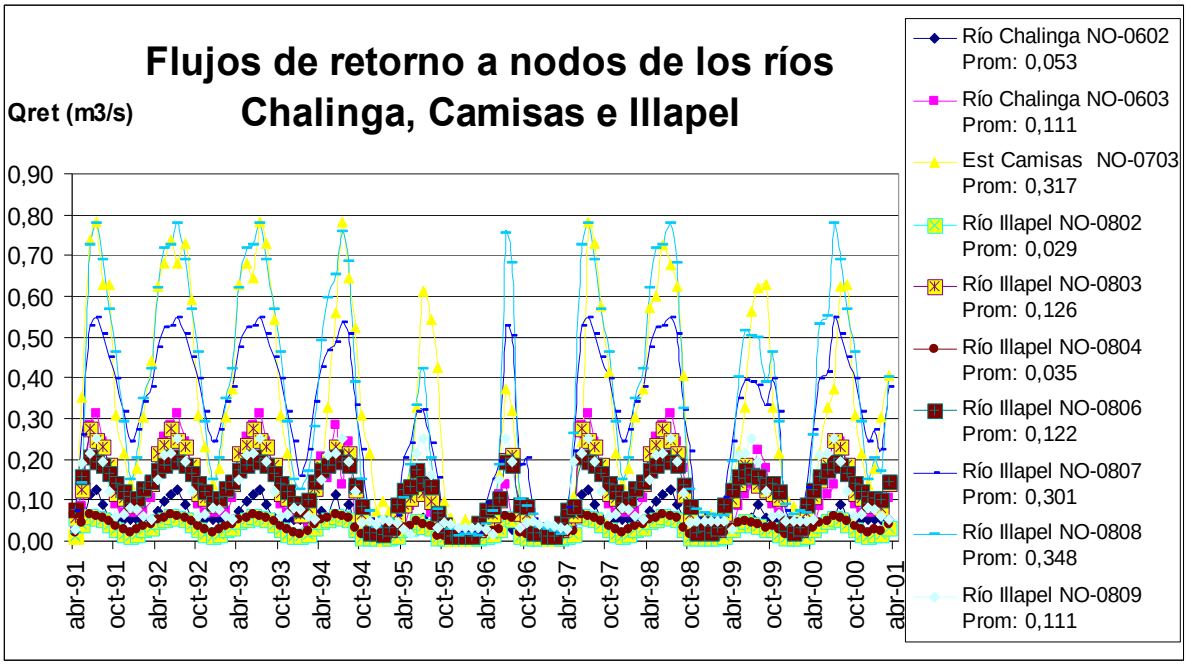


Figura 7-26
Caudales de retorno hacia nodos río Choapa, Illapel, Chalinga y Camisas

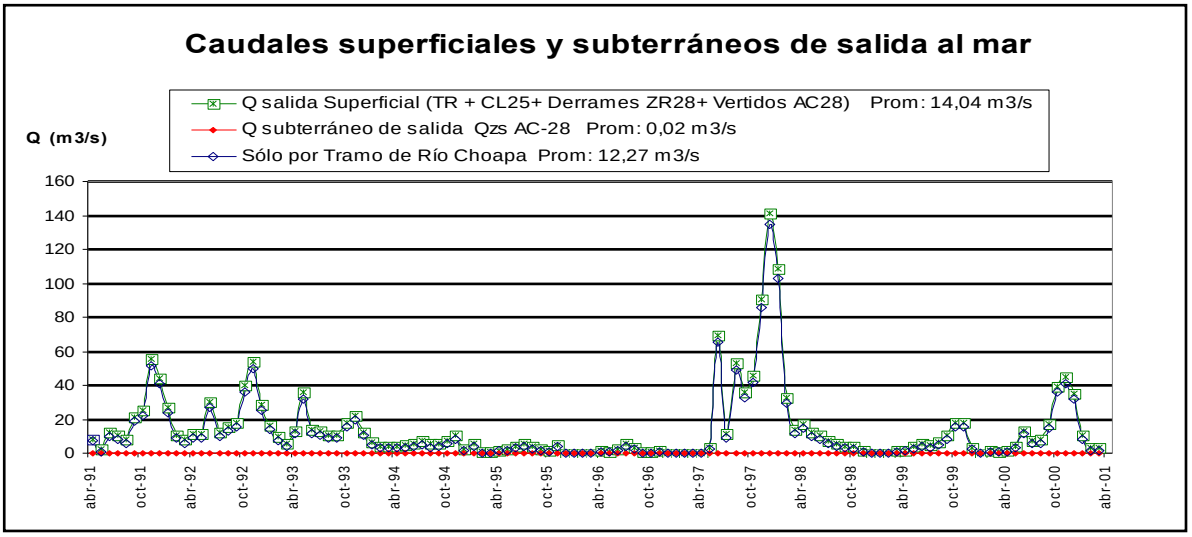


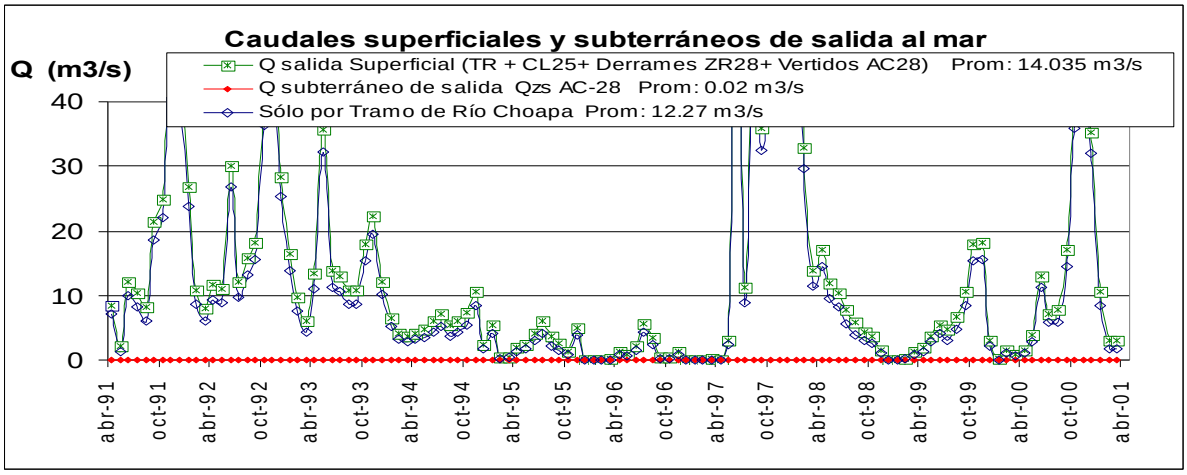


7.4.6 Salidas al mar

El flujo de salida al mar en esta cuenca tiene dos componentes: el flujo superficial desde el río Choapa, que es el más importante, y el flujo subterráneo desde el acuífero 28 (costa), que aporta una componente casi constante, pero muy pequeña (estimada en 20 l/s). La salida más importante, pero muy variable, es la salida superficial, según se puede observar en la Figura 7-27. Esta salida está fundamentalmente determinada por el régimen de derretimiento, en años normales y húmedos, y denota claramente la falta de regulación de esta cuenca. En años secos se reduce el efecto del derretimiento, y sólo se percibe un leve aumento de caudal en invierno. De todas formas, se puede apreciar que las salidas al mar llegan a anularse en los estiajes de los años muy secos, lo que muestra que sólo en períodos secos se consume toda el agua que la cuenca es capaz de generar.

Figura 7-27
Salidas del mar





7.5 DIAGNÓSTICO EFICIENCIA FÍSICA A NIVEL LOCAL Y GLOBAL: USO AGRÍCOLA

Para el uso agrícola, el diagnóstico se basa muy fundamentalmente en la operación del modelo de simulación, que integra toda la información recopilada en terreno y en gabinete, y entrega resultados de flujos en cualquier punto de la cuenca. Los resultados han sido contrastados y validados con las personas más entendidas en los asuntos del agua en la cuenca.

La visión local del diagnóstico de la eficiencia física se efectúa analizando todas las variables señaladas en los Términos de Referencia, y agregando además el análisis de varios indicadores adicionales que ha parecido de interés desprender de la información generada.

El análisis de la eficiencia del uso del agua en la agricultura se efectúa a través del análisis por zona de riego que permite hacer el modelo, incorporando consideraciones acerca de los paños individuales que han permitido hacer la caracterización por zona, e integrando luego la información para mostrarla a nivel global.

El presente diagnóstico se refiere a la situación actual, el modelo se estableció para representar esta situación, y se operó también en las condiciones actuales. El período de calibración del modelo, que representa la condición actual, es el período 1991-2000, ambos inclusive. Para describir el comportamiento del sistema hídrico en este período, se han desarrollado los aspectos que se presentan continuación, muchos de los cuales también se han representado en el SIG.

7.5.1 Superficie total cultivada

Hay diferentes versiones de la superficie total cultivada, dependiendo de los estudios que se revisen, como también de la época en que ellos fueron desarrollados. Los antecedentes recopilados, contrastados con los antecedentes generados en el presente estudio, son los siguientes:

Cuadro 7-26
Superficie cultivada total, por zona de riego y por mesozona, en ha

Zona de Riego	Meso Zona	Sup CAZALAC ha	Sup CAZALAC ha	SUP CNR ha	SUP IRH ha	SUP EIR ha	SUP ULS ha
ZR-01	Choapa Alto	4805	198	814	255	0	0
ZR-02			425	150	366	251	253
ZR-03			576	273	526	167	350
ZR-04			660	168	748	608	753
ZR-05			1202	429	1535	1278	1582
ZR-06			386	64	601	269	467
ZR-07			184	4	229	229	229
ZR-08			734	252	881	383	947
ZR-09			99	291	113	82	113
ZR-10			340	587	470	368	468

Zona de Riego	Meso Zona	Sup CAZALAC ha	Sup CAZALAC ha	SUP CNR ha	SUP IRH ha	SUP EIR ha	SUP ULS ha
ZR-11	Chalinga	1319	158	177	177	177	177
ZR-12			407	399	425	425	425
ZR-13			754	777	837	855	855
ZR-14	Choapa Medio	4730	1175	104	1323	1339	1339
ZR-15			756	17	701	652	652
ZR-16			1183	209	1101	1160	1142
ZR-17			1616	205	1143	1471	1577
ZR-18	Illapel Alto	412	64	103	72	42	42
ZR-19			99	918	141	116	116
ZR-20			192	313	222	0	0
ZR-21			56	126	75	75	75
ZR-22	Illapel Madio-Bajo	2244	156	202	216	216	216
ZR-23			442	575	549	353	549
ZR-24			942	499	1102	778	1095
ZR-25			584	256	661	652	652
ZR-26			121	100	155	155	155
ZR-27	Choapa Bajo	818	241	489	235	261	258
ZR-28			577	598	549	647	601
TOTAL		**14328**	**14328**	**9099**	**15409**	**13010**	**15089**

Las 14.328 ha registradas en el presente estudio corresponden al total del área que se ha visto que es o ha sido cultivada hasta el año 2001, en toda la cuenca, distribuida por sectores de riego tal como se señala en el Cuadro 7-26. Estas áreas se identificaron, por paños, tanto en la imagen satelital como en las fotografías aéreas. Las fotografías aéreas existentes cubren toda la parte baja de la cuenca, hasta unos 15 km aguas arriba de Salamanca.

Las 9099 ha de la CNR se refieren solamente a cultivos de frutales, los cuales excluyen las uvas de pisco.

Los demás estudios (Estudio Integral de Riego y Estudio de IRH) presentan área bastante coherentes con las áreas definidas en el presente estudio.

Cabe señalar que en la cuenca hay paños nuevos, recientemente incorporados a la producción, con una extensión de aprox. 465 ha más, las que son consideradas en los escenarios futuros dentro de la expansión de áreas cultivadas.

Dado todo lo anterior, el valor generado en el presente estudio, de 14.328 ha, se considera aceptable como base de análisis.

7.5.2 Distribución de cultivos

De la información recogida y presentada en el SIG, se ha obtenido el cuadro resumen de los tipos de cultivo por zona de riego, que se muestra en el Cuadro 7-27. Del Cuadro 7-27, a su vez, se ha obtenido el porcentaje de cultivos por zona de riego, que se presenta en el Cuadro 7-28.

Cuadro 7-27
Distribución de cultivos por zona de riego, en ha cultivadas

Zona Riego	Pasto Natur	Alfalfa y prad.	Trigo y cereales	Viña Pisco	Vid de Mesa	Maíz	Ají Pimento	Porotos	Melón-Sandía	Tomate	Otras chacras y hortalizas	Frutales	Eucaliptus	TOTAL
ZR-01	81	18	21	25	0	9	8	25	3	1	3	3	2	198
ZR-02	162	36	43	51	0	18	16	50	7	1	7	31	4	425
ZR-03	217	48	57	68	0	24	21	67	9	2	9	50	5	576
ZR-04	254	56	67	80	0	28	25	78	10	2	10	43	6	660
ZR-05	450	99	119	141	0	49	44	139	19	3	19	109	11	1202
ZR-06	152	34	40	48	0	17	15	47	6	1	6	17	4	386
ZR-07	67	15	18	21	0	7	6	21	3	0	3	22	2	184
ZR-08	286	63	76	90	0	31	28	88	12	2	12	39	7	734
ZR-09	39	9	10	12	5	4	4	12	2	0	2	0	1	99
ZR-10	132	29	35	41	0	14	13	41	5	1	5	21	3	340
ZR-11	93	11	16	5	0	8	0	15	1	1	3	5	0	158
ZR-12	240	30	41	14	0	20	0	39	2	4	9	9	1	407
ZR-13	446	55	75	25	0	37	0	72	3	7	16	17	1	754
ZR-14	492	120	94	87	0	95	26	150	14	14	31	41	11	1175
ZR-15	323	79	62	57	0	62	17	98	9	9	20	13	7	756
ZR-16	502	123	96	89	0	97	27	153	14	14	31	27	12	1183
ZR-17	684	167	131	121	0	132	36	208	19	19	43	40	16	1616
ZR-18	31	10	11	0	0	1	0	9	0	0	0	0	1	64
ZR-19	44	15	15	0	0	2	0	13	0	0	0	8	1	99
ZR-20	90	30	31	1	0	3	0	27	0	0	0	7	3	192
ZR-21	24	8	8	0	0	1	0	7	0	0	0	7	1	56
ZR-22	41	47	9	5	0	9	3	11	2	5	7	5	11	156
ZR-23	102	118	22	12	0	24	8	28	6	12	19	62	28	442
ZR-24	233	270	49	28	0	54	19	65	13	28	42	75	65	942
ZR-25	136	158	29	16	0	31	11	38	8	16	25	78	38	584
ZR-26	32	37	7	4	0	7	3	9	2	4	6	2	9	121
ZR-27	114	54	0	0	0	47	0	22	0	0	0	4	0	241
ZR-28	257	122	0	0	0	107	0	49	0	0	0	40	0	577
TOTAL	**5723**	**1862**	**1183**	**1041**	**5**	**939**	**329**	**1582**	**167**	**145**	**328**	**772**	**251**	**14328**

Cuadro 7-28
Distribución porcentual de cultivos por zona de riego

Zona Riego	Pasto Natur	Alfalfa y prad.	Trigo y cereales	Viña Pisque	VID DE MESA	Maíz	Ají Pimento	Porotos	Melón-Sandía	Tomate	Otras chacras y hortalizas	Frutales	Eucaliptus	TOTAL
ZR-01	41	9	11	13	0	4	4	13	2	0	2	1	1	100
ZR-02	38	8	10	12	0	4	4	12	2	0	2	7	1	100
ZR-03	38	8	10	12	0	4	4	12	2	0	2	9	1	100
ZR-04	39	9	10	12	0	4	4	12	2	0	2	6	1	100
ZR-05	37	8	10	12	0	4	4	12	2	0	2	9	1	100
ZR-06	39	9	10	12	0	4	4	12	2	0	2	4	1	100
ZR-07	36	8	10	11	0	4	4	11	2	0	2	12	1	100
ZR-08	39	9	10	12	0	4	4	12	2	0	2	5	1	100
ZR-09	39	9	10	12	5	4	4	12	2	0	2	0	1	100
ZR-10	39	9	10	12	0	4	4	12	2	0	2	6	1	100
ZR-11	59	7	10	3	0	5	0	10	0	1	2	3	0	100
ZR-12	59	7	10	3	0	5	0	10	0	1	2	2	0	100
ZR-13	59	7	10	3	0	5	0	10	0	1	2	2	0	100
ZR-14	42	10	8	7	0	8	2	13	1	1	3	4	1	100
ZR-15	43	10	8	8	0	8	2	13	1	1	3	2	1	100
ZR-16	42	10	8	8	0	8	2	13	1	1	3	2	1	100
ZR-17	42	10	8	8	0	8	2	13	1	1	3	2	1	100
ZR-18	48	16	17	0	0	2	0	15	0	0	0	0	2	100
ZR-19	44	15	16	0	0	2	0	13	0	0	0	8	1	100
ZR-20	47	16	16	0	0	2	0	14	0	0	0	4	2	100
ZR-21	43	14	15	0	0	2	0	13	0	0	0	12	1	100
ZR-22	26	30	6	3	0	6	2	7	1	3	5	3	7	100
ZR-23	23	27	5	3	0	5	2	6	1	3	4	14	6	100
ZR-24	25	29	5	3	0	6	2	7	1	3	5	8	7	100
ZR-25	23	27	5	3	0	5	2	6	1	3	4	13	6	100
ZR-26	26	31	6	3	0	6	2	7	1	3	5	2	7	100
ZR-27	47	22	0	0	0	20	0	9	0	0	0	2	0	100
ZR-28	45	21	0	0	0	19	0	9	0	0	0	7	0	100
TOTAL	**40**	**13**	**8**	**7**	**0**	**7**	**2**	**11**	**1**	**1**	**2**	**5**	**2**	**100**

Al respecto, se observa que en la cuenca, la mayor parte del terreno cultivable (40%) está cubierta con pastos que se riegan. Otro porcentaje importante (13%) está dedicado a los cultivos de alfalfa y pradera. Un 24% del terreno se ocupa en cultivos anuales de chacra y hortalizas, mientras que un 8% se usa para cultivos anuales, fundamentalmente trigo. Un 5% se usa para viña, muy preponderantemente pisquera, otro 5% para frutales, y hay un 2% del área cubierta con bosques, preponderantemente de eucaliptos. Todos los cultivos se observan en todo el valle, con excepción de las vides y hortalizas como tomate, melón y sandía, que no se encuentran en el Choapa bajo, debido a las características del clima.

Entre los frutales, que abarcan el 5% del área cultivable de la cuenca, predominan totalmente los damascos, los nogales y los paltos, con áreas similares. Según se pudo apreciar en terreno, aumentan las áreas de paltos y cítricos, como en las demás cuencas de la región, y también los nogales. Los frutales están distribuidos por toda la cuenca.

7.5.3 Superficies según métodos de riego

La agregación de las superficies por método de riego dio por resultado el Cuadro 7-29. En este cuadro se ordenaron al inicio los métodos tradicionales, que son surco, tendido, surco hortalicero y taza, y al final, los tecnificados, correspondientes a goteo. En forma correlacionada con los tipos de cultivo, el método más usado en la cuenca (70% del área) es el método de tendido, seguido por los surcos (23%) En el período de análisis, (1990 a 2000), La tecnificación es mínima en la cuenca, abarcando sólo un 1% del área cultivada. El siguiente Cuadro 7-30 clarifica un poco más la situación.

Cuadro 7-29
Superficies por método de riego

Z_RIEGO	SURCO	TENDIDO	SURCO HORTALICERO	TAZA	GOTEO	TOTAL
ZR-01	55	123	20	0	0	198
ZR-02	132	252	41	0	0	425
ZR-03	177	341	55	0	3	576
ZR-04	198	398	64	0	0	660
ZR-05	386	696	114	0	6	1202
ZR-06	106	240	38	0	2	386
ZR-07	58	103	17	0	6	184
ZR-08	213	449	72	0	0	734
ZR-09	30	59	10	0	0	99
ZR-10	105	202	33	0	1	340
ZR-11	23	126	5	5	0	158
ZR-12	67	327	12	0	0	407
ZR-13	127	606	22	0	0	754
ZR-14	265	875	35	1	0	1175
ZR-15	162	568	23	0	3	756
ZR-16	261	884	36	0	2	1183
ZR-17	333	1213	49	3	18	1616
ZR-18	8	56	0	0	0	64
ZR-19	15	79	0	0	5	99
ZR-20	25	167	0	0	0	192
ZR-21	13	43	0	0	0	56
ZR-22	27	104	24	1	0	156
ZR-23	93	273	60	12	3	442
ZR-24	184	595	137	2	24	942
ZR-25	89	348	80	1	67	584
ZR-26	18	81	19	0	2	121
ZR-27	11	228	0	0	2	241
ZR-28	57	516	0	1	3	577
TOTAL	**3240**	**9953**	**966**	**26**	**144**	**14328**

7.5.4 Porcentaje de tecnificación por zona de riego

En el Cuadro 7-30 se han agrupado todas las superficies tecnificadas y no tecnificadas por zona de riego, y se ha obtenido el porcentaje del área total cultivada que está tecnificada en la actualidad.

Cuadro 7-30
Porcentaje de tecnificación

ZR	Total Superficie	Total Superficie No Tecnificada	Total Superficie Tecnificada	%Sup.Tecnif
ZR-01	198,37	198,37	0,00	0,0
ZR-02	425,28	425,28	0,00	0,0
ZR-03	575,77	573,21	2,56	0,4
ZR-04	659,81	659,81	0,00	0,0
ZR-05	1201,68	1195,67	6,01	0,5
ZR-06	386,06	384,08	1,98	0,5
ZR-07	183,74	178,17	5,57	3,0
ZR-08	734,47	734,47	0,00	0,0
ZR-09	99,25	99,25	0,00	0,0
ZR-10	340,48	339,48	1,00	0,3
ZR-11	157,81	157,81	0,00	0,0
ZR-12	406,76	406,76	0,00	0,0
ZR-13	754,42	754,42	0,00	0,0
ZR-14	1175,44	1175,44	0,00	0,0
ZR-15	756,08	753,52	2,56	0,3
ZR-16	1183,01	1181,01	2,00	0,2
ZR-17	1615,79	1598,07	17,72	1,1
ZR-18	64,26	64,26	0,00	0,0
ZR-19	99,34	94,72	4,62	4,7
ZR-20	192,10	192,10	0,00	0,0
ZR-21	56,44	56,44	0,00	0,0
ZR-22	156,00	156,00	0,00	0,0
ZR-23	441,56	438,85	2,71	0,6
ZR-24	941,59	917,47	24,12	2,6
ZR-25	584,43	517,52	66,91	11,4
ZR-26	120,56	118,67	1,89	1,6
ZR-27	241,13	239,51	1,62	0,7
ZR-28	576,51	574,01	2,50	0,4
TOTAL	**14328,14**	**14184,37**	**143,77**	**1,0**

Se observa que en el período de análisis, las áreas tecnificadas son incipientes y muy menores dentro de la cuenca. Las grandes áreas nuevas de ampliación de cultivos, unas 465 ha que se

han instalado después de 2001, son casi todas tecnificadas, con lo que el porcentaje de áreas tecnificadas en la cuenca aumenta a un 4%.

7.5.5 Acciones por unidad de superficie

Las acciones de los canales fueron obtenidas de los registros de las Juntas de Vigilancia, y agregadas de acuerdo con los requerimientos de operación del Magic, por zona de riego. Se presentan en el Cuadro 7-31

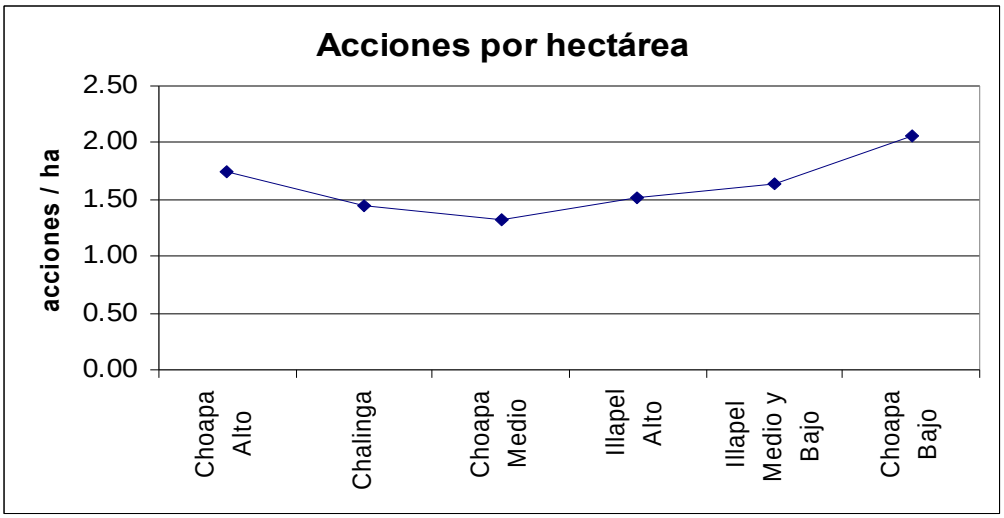
Cuadro 7-31
Acciones por zona de riego

ZR	Superficie	Acciones totales (suma de todos los canales)	Acciones/ha
ZR-01	198	386,65	1,95
ZR-02	425	595,49	1,40
ZR-03	576	573,55	1,00
ZR-04	660	1088,75	1,65
ZR-05	1202	2133,47	1,78
ZR-06	386	662,39	1,72
ZR-07	184	538,00	2,93
ZR-08	734	1527,93	2,08
ZR-09	99	185,50	1,87
ZR-10	340	705,10	2,07
ZR-11	158	196,10	1,24
ZR-12	407	525,40	1,29
ZR-13	754	1176,55	1,56
ZR-14	1175	1526,16	1,30
ZR-15	756	1084,00	1,43
ZR-16	1183	1658,40	1,40
ZR-17	1616	2015,00	1,25
ZR-18	64	96,45	1,50
ZR-19	99	207,18	2,09
ZR-20	192	221,65	1,15
ZR-21	56	98,05	1,74
ZR-22	156	319,04	2,05
ZR-23	442	812,41	1,84
ZR-24	942	1395,06	1,48
ZR-25	584	949,75	1,63
ZR-26	121	189,55	1,57
ZR-27	241	439,00	1,82
ZR-28	577	1246,00	2,16
TOTAL	**14328**	**22552,58**	**1,57**

Se observa que, en general, la dotación de acciones por hectárea es muy pareja en toda la cuenca. En toda la cuenca hay una dotación cercana a 1,5 acciones por hectárea, salvo una excepción, que es el sector 7 del río Choapa alto, bajo Quelén, que cuenta con más acciones (2,93 acc/ha).

En la Figura 7-28 se presenta en forma gráfica la distribución de acciones por ha, por mesozonas dentro de la cuenca. Las mesozonas son las mismas que se usaron para el diagnóstico de la eficiencia económica. La mesozona más favorecida es la de la salida de la cuenca, Choapa Bajo.

Figura 7-28
Distribución de acciones / ha, por mesozonas



7.5.6 Caudales demandados y caudales recibidos por las zonas de riego

En base a los resultados del modelo de simulación, operado para el período 1991-2000, se observa las demandas a nivel raíz y a nivel de entrada a la zona de riego que se presentan en los cuadros a continuación. Los Cuadros 7-32, 7-33 y 7-34 contienen la oferta de agua, las demandas suplidas tanto por canal como por zona de riego, y la distribución del agua de riego dentro de la zona de riego.

Cuadro 7-32
Caudal demandado en las zonas de riego

Zona de riego	Area total de riego	Q ddo nivel Raíz	Tasa dda nivel raíz promedio	Q recib x lluvia	Q ddo neto raíz	Qddo entrada ZR	Tasa dda entrada ZR promedio
	Ha	m3/s	l/s/ha	m3/s	m3/s	m3/s	l/s/ha
ZR-01	198,37	0,057	0,283	0,003	0,053	0,105	0,530
ZR-02	425,3	0,122	0,284	0,006	0,115	0,225	0,528
ZR-03	575,77	0,165	0,284	0,008	0,155	0,304	0,527
ZR-04	659,82	0,189	0,284	0,010	0,177	0,418	0,633
ZR-05	1201,68	0,346	0,284	0,020	0,321	0,620	0,516
ZR-06	386,06	0,111	0,283	0,007	0,103	0,241	0,623
ZR-07	183,75	0,053	0,284	0,003	0,049	0,093	0,508
ZR-08	734,47	0,211	0,283	0,011	0,197	0,386	0,526
ZR-09	99,25	0,028	0,280	0,002	0,026	0,062	0,622
ZR-10	340,48	0,098	0,283	0,005	0,091	0,213	0,627
ZR-11	157,81	0,049	0,309	0,002	0,047	0,174	1,104
ZR-12	406,76	0,126	0,309	0,005	0,120	0,250	0,614
ZR-13	754,19	0,233	0,308	0,014	0,219	0,452	0,600
ZR-14	1175,44	0,297	0,250	0,020	0,275	0,563	0,479
ZR-15	756,08	0,191	0,250	0,013	0,176	0,362	0,479
ZR-16	1183	0,298	0,250	0,009	0,287	0,631	0,533
ZR-17	1615,79	0,407	0,250	0,012	0,392	0,797	0,493
ZR-18	64,26	0,019	0,297	0,000	0,019	0,040	0,615
ZR-19	99,34	0,030	0,297	0,001	0,029	0,059	0,596
ZR-20	192,1	0,057	0,297	0,001	0,056	0,118	0,614
ZR-21	56,44	0,015	0,259	0,000	0,014	0,035	0,625
ZR-22	156	0,041	0,261	0,001	0,040	0,078	0,501
ZR-23	441,56	0,115	0,261	0,004	0,111	0,214	0,485
ZR-24	941,59	0,246	0,260	0,009	0,236	0,457	0,485
ZR-25	584,45	0,152	0,260	0,005	0,146	0,274	0,469
ZR-26	120,57	0,032	0,261	0,001	0,030	0,060	0,494
ZR-27	241,13	0,068	0,280	0,002	0,066	0,169	0,701
ZR-28	576,5	0,133	0,230	0,004	0,128	0,497	0,862
Total	**14327,96**	**3,886**	**0,269**	**0,178**	**3,680**	**7,896**	**0,551**

Cuadro 7-33
Oferta de agua, caudales recibidos y demanda suplida

Zona de riego	Q captado canales en BT	Q entregado superf. a ZR	Q entrega do bombeo	Q producido para riego	Q recibido para riego en ZR	Q recibido total ZR	Tasa riego recibida promedio	Demanda Suplida	% DS
	m3/s	m3/s	m3/s		M3/s	m3/s	l/s/Ha	m3/s	%
ZR-01	0,287	0,205	0,000	0,287	0,205	0,207	1,031	0,094	93,6
ZR-02	0,359	0,300	0,000	0,359	0,300	0,306	0,706	0,181	88,2
ZR-03	0,443	0,351	0,000	0,443	0,351	0,359	0,609	0,222	83,4
ZR-04	0,655	0,612	0,000	0,655	0,612	0,622	0,927	0,342	89,0
ZR-05	1,326	1,077	0,017	1,343	1,094	1,114	0,910	0,542	92,7
ZR-06	0,245	0,211	0,000	0,245	0,211	0,217	0,546	0,145	74,8
ZR-07	0,252	0,252	0,000	0,252	0,252	0,255	1,374	0,088	96,7
ZR-08	1,188	0,946	0,000	1,188	0,946	0,957	1,288	0,360	96,2
ZR-09	0,075	0,075	0,000	0,075	0,075	0,076	0,751	0,046	83,9
ZR-10	0,382	0,335	0,000	0,382	0,335	0,340	0,983	0,179	90,1
ZR-11	0,127	0,111	0,000	0,127	0,111	0,114	0,706	0,093	67,7
ZR-12	0,354	0,256	0,000	0,354	0,256	0,261	0,628	0,179	81,3
ZR-13	0,733	0,508	0,002	0,735	0,510	0,524	0,677	0,313	78,5
ZR-14	0,954	0,788	0,000	0,954	0,788	0,807	0,670	0,450	87,8
ZR-15	0,579	0,552	0,006	0,585	0,558	0,571	0,738	0,296	88,7
ZR-16	0,822	0,682	0,058	0,880	0,740	0,749	0,625	0,507	88,4
ZR-17	1,229	0,885	0,037	1,265	0,922	0,934	0,571	0,623	86,1
ZR-18	0,078	0,056	0,000	0,078	0,056	0,056	0,865	0,034	90,7
ZR-19	0,168	0,122	0,000	0,168	0,122	0,123	1,231	0,055	95,5
ZR-20	0,168	0,117	0,000	0,168	0,117	0,118	0,611	0,086	82,0
ZR-21	0,077	0,055	0,000	0,077	0,055	0,056	0,980	0,031	92,0
ZR-22	0,213	0,184	0,000	0,213	0,184	0,184	1,178	0,074	97,1
ZR-23	0,559	0,461	0,003	0,562	0,463	0,467	1,049	0,195	94,7
ZR-24	0,928	0,639	0,010	0,938	0,649	0,658	0,689	0,363	86,4
ZR-25	0,329	0,242	0,075	0,405	0,317	0,323	0,543	0,244	93,4
ZR-26	0,145	0,113	0,008	0,153	0,121	0,122	1,006	0,058	98,6
ZR-27	0,330	0,221	0,000	0,330	0,221	0,223	0,916	0,136	87,4
ZR-28	0,919	0,579	0,045	0,964	0,624	0,628	1,082	0,417	90,2
Total	**13,925**	**10,933**	**0,260**	**14,186**	**11,194**	**11,372**	**0,781**	**6,353**	**87,6**

Cuadro 7-34
Distribución del recurso

Zona de riego	Q producido para riego	Q recibido para riego en ZR	Q aplic. Raíz	Q derr	Q perc	Q retornos	% retornos
	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	M3/s	m3/s	%
ZR-01	0,287	0,205	0,049	0,017	0,029	0,127	40,5
ZR-02	0,359	0,300	0,094	0,032	0,055	0,151	39,6
ZR-03	0,443	0,351	0,116	0,039	0,068	0,168	34,6
ZR-04	0,655	0,612	0,148	0,050	0,087	0,377	54,1
ZR-05	1,343	1,094	0,284	0,094	0,164	0,646	44,4
ZR-06	0,245	0,211	0,063	0,021	0,037	0,111	42,8
ZR-07	0,252	0,252	0,047	0,015	0,027	0,179	65,5
ZR-08	1,188	0,946	0,187	0,064	0,110	0,649	49,9
ZR-09	0,075	0,075	0,020	0,007	0,012	0,043	53,6
ZR-10	0,382	0,335	0,078	0,026	0,046	0,212	52,0
ZR-11	0,127	0,111	0,025	0,019	0,033	0,053	40,7
ZR-12	0,354	0,256	0,087	0,035	0,057	0,111	28,9
ZR-13	0,735	0,510	0,153	0,060	0,100	0,257	29,8
ZR-14	0,954	0,788	0,223	0,085	0,142	0,423	40,2
ZR-15	0,585	0,558	0,146	0,056	0,094	0,317	49,2
ZR-16	0,880	0,740	0,241	0,092	0,154	0,344	36,6
ZR-17	1,265	0,922	0,309	0,117	0,197	0,416	30,2
ZR-18	0,078	0,056	0,016	0,007	0,011	0,029	34,5
ZR-19	0,168	0,122	0,027	0,010	0,018	0,078	43,1
ZR-20	0,168	0,117	0,041	0,017	0,028	0,048	26,7
ZR-21	0,077	0,055	0,012	0,005	0,008	0,035	43,0
ZR-22	0,213	0,184	0,038	0,013	0,023	0,122	54,1
ZR-23	0,562	0,463	0,102	0,033	0,060	0,301	48.9
ZR-24	0,938	0,649	0,189	0,062	0,112	0,348	32.7
ZR-25	0,405	0,317	0,132	0,038	0,074	0,111	26.9
ZR-26	0,153	0,121	0,030	0,010	0,018	0,073	44.8
ZR-27	0,330	0,221	0,053	0,023	0,037	0,131	36.8
ZR-28	0,964	0,624	0,111	0,093	0,152	0,361	35.6
Total	**14,186**	**11,194**	**3,020**	**1,137**	**1,952**	**6,223**	**39.4**

El análisis de los cuadros muestra que los caudales solicitados a nivel raíz de las diferentes zonas de riego, es de 3,89 m3/s. No obstante ello, la ineficiencia de riego hace que la demanda a la entrada de las zonas de riego suba a 7,9 m3/s, lo que es el doble que lo anterior. Los caudales superficiales captados en bocatoma, según desmarques, son aún mucho mayores, llegando a un promedio de 13,9 m3/s, de los cuales llegan a las zonas de riego, después de las pérdidas de conducción, sólo 10,9 m3/s. Además, llegan a las zonas de riego aprox. 0,2 m3/s de aguas subterráneas. Así y todo, la demanda no es suplida adecuadamente, solamente 6,35 m3/s de los 7,8 m3/s requeridos, porque el agua no es entregada en el momento de la demanda.

A nivel de raíz, sólo 3,0 de los 3,9 m3/s requeridos son entregados. Hay mucha agua entregada en invierno, que no cubre ninguna demanda.

En promedio, se observa que las cantidades de agua que requieren las zonas de riego, son suplidas en porcentajes que varían entre 67,4 y 98,6 %, siendo las zonas más desfavorecidas las zonas 6 (Quelén), 11 a 13 (río Chalinga), Cuncumén, el río Choapa bajo Chalinga hasta junta con Illapel, el estero Carén y el río Choapa bajo junta con Illapel, con muy bajas seguridades de riego.

Los resultados muestran que lo que hace falta es la regulación estacional, que permita guardar recursos de invierno para el estiaje.

7.5.7 Tasas de riego

La tasa de riego es la medida del agua total que se aplica a las zonas de riego mediante canales y pozos. Se obtienen, para las zonas de riego, las siguientes tasas de riego, en promedio:

Cuadro 7-35
Tasas de riego

Zona de riego	Q ddo nivel Raíz	Tasa dda nivel raíz promedio	Qddo entrada ZR	Tasa dda entrada ZR promedio	Demanda Suplida	Tasa riego recibida promedio	% DS
	m3/s	l/s/ha	m3/s	l/s/ha	m3/s	l/s/Ha	%
ZR-01	0,057	0,283	0,105	0,530	0,094	1,031	93,6
ZR-02	0,122	0,284	0,225	0,528	0,181	0,706	88,2
ZR-03	0,165	0,284	0,304	0,527	0,222	0,609	83,4
ZR-04	0,189	0,284	0,418	0,633	0,342	0,927	89,0
ZR-05	0,346	0,284	0,620	0,516	0,542	0,910	92,7
ZR-06	0,111	0,283	0,241	0,623	0,145	0,546	74,8
ZR-07	**0,053**	**0,284**	**0,093**	**0,508**	**0,088**	**1,374**	**96,7**
ZR-08	0,211	0,283	0,386	0,526	0,360	1,288	96,2
ZR-09	0,028	0,280	0,062	0,622	0,046	0,751	83,9
ZR-10	0,098	0,283	0,213	0,627	0,179	0,983	90,1
ZR-11	0,049	0,309	0,174	1,104	0,093	0,706	67,7
ZR-12	0,126	0,309	0,250	0,614	0,179	0,628	81,3
ZR-13	0,233	0,308	0,452	0,600	0,313	0,677	78,5
ZR-14	0,297	0,250	0,563	0,479	0,450	0,670	87,8
ZR-15	0,191	0,250	0,362	0,479	0,296	0,738	88,7
ZR-16	0,298	0,250	0,631	0,533	0,507	0,625	88,4
ZR-17	0,407	0,250	0,797	0,493	0,623	0,571	86,1
ZR-18	0,019	0,297	0,040	0,615	0,034	0,865	90,7
ZR-19	**0,030**	**0,297**	**0,059**	**0,596**	**0,055**	**1,231**	**95,5**
ZR-20	0,057	0,297	0,118	0,614	0,086	0,611	82,0
ZR-21	0,015	0,259	0,035	0,625	0,031	0,980	92,0
ZR-22	**0,041**	**0,261**	**0,078**	**0,501**	**0,074**	**1,178**	**97,1**

Zona de riego	Q ddo nivel Raíz	Tasa dda nivel raíz promedio	Qddo entrada ZR	Tasa dda entrada ZR promedio	Demanda Suplida	Tasa riego recibida promedio	% DS
	m3/s	l/s/ha	m3/s	l/s/ha	m3/s	l/s/Ha	%
ZR-23	**0,115**	**0,261**	**0,214**	**0,485**	**0,195**	**1,049**	**94,7**
ZR-24	0,246	0,260	0,457	0,485	0,363	0,689	86,4
ZR-25	0,152	0,260	0,274	0,469	0,244	0,543	93,4
ZR-26	**0,032**	**0,261**	**0,060**	**0,494**	**0,058**	**1,006**	**98,6**
ZR-27	0,068	0,280	0,169	0,701	0,136	0,916	87,4
ZR-28	0,133	0,230	0,497	0,862	0,417	1,082	90,2
Total	**3,886**	**0,269**	**7,896**	**0,551**	**6,353**	**0,781**	**88,0**

Se observa que las dotaciones de agua son bien diversas, alcanzando valores entre 0,5 y 1,2 l/s/ha. Hay que tener presente que estos valores son valores promedio, que ocultan las dotaciones del período más crítico. Así, sólo los sectores que se han marcado con negrillas, alcanzan tasas adecuadas a sus demandas, que son los sectores 07 (Choapa bajo Quelén), 19, 22, 23 (Illapel Alto y Medio Alto) y 26 (Illapel bajo el Peral). Todos los demás sectores presentan falencias, como se puede comprobar en el acápite seguridad de riego.

7.5.8 Flujos de retorno

Las series de tiempo de los flujos de retorno se presentan en el Capítulo 7.4 En base a ellos, es posible observar el porcentaje del agua producida para riego (captada en bocatomas y bombeada del acuífero), que retorna en forma superficial hacia el cauce, que se presenta en el Cuadro 7-36.

Cuadro 7-36
Importancia de flujos de retorno superficial

Zona de riego	Area total de riego	Q producido para riego	Q recibido para riego en ZR	Q retornos	% retornos
	Ha		m3/s	m3/s	%
ZR-01	198,37	0,287	0,205	0,127	40,5
ZR-02	425,3	0,359	0,300	0,151	39,6
ZR-03	575,77	0,443	0,351	0,168	34,6
ZR-04	659,82	0,655	0,612	0,377	54,1
ZR-05	1201,68	1,343	1,094	0,646	44,4
ZR-06	386,06	0,245	0,211	0,111	42,8
ZR-07	183,75	0,252	0,252	0,179	65,5
ZR-08	734,47	1,188	0,946	0,649	49,9
ZR-09	99,25	0,075	0,075	0,043	53,6
ZR-10	340,48	0,382	0,335	0,212	52,0

Zona de riego	Area total de riego	Q producido para riego	Q recibido para riego en ZR	Q retornos	% retornos
	Ha		m3/s	m3/s	%
ZR-11	157,81	0,127	0,111	0,053	40,7
ZR-12	406,76	0,354	0,256	0,111	28,9
ZR-13	754,19	0,735	0,510	0,257	29,8
ZR-14	1175,44	0,954	0,788	0,423	40,2
ZR-15	756,08	0,585	0,558	0,317	49,2
ZR-16	1183	0,880	0,740	0,344	36,6
ZR-17	1615,79	1,265	0,922	0,416	30,2
ZR-18	64,26	0,078	0,056	0,029	34,5
ZR-19	99,34	0,168	0,122	0,078	43,1
ZR-20	192,1	0,168	0,117	0,048	26,7
ZR-21	56,44	0,077	0,055	0,035	43,0
ZR-22	156	0,213	0,184	0,122	54,1
ZR-23	441,56	0,562	0,463	0,301	48,9
ZR-24	941,59	0,938	0,649	0,348	32,7
ZR-25	584,45	0,405	0,317	0,111	26,9
ZR-26	120,57	0,153	0,121	0,073	44,8
ZR-27	241,13	0,330	0,221	0,131	36,8
ZR-28	576,5	0,964	0,624	0,361	35,6
Total	**14327,96**	**14,186**	**11,194**	**6,223**	**39,4**

Se observa que los retornos superficiales se encuentran entre 26,7 y 65,5%, muy variable a lo largo de la cuenca. El hecho de que haya retornos tan importantes, por un lado, muestra la gran ineficiencia de uso que hay a nivel local, pero por otro lado, también permite que se produzca el reúso por parte de los derechos de aguas abajo, los que son precarios, y no podrían ser suplidos si no existiera esta ineficiencia.

7.5.9 Porcentaje de demanda suplida y seguridad de riego

La seguridad de riego se define en base al porcentaje de la demanda suplida, obtenido mes a mes. Se entiende que el riego es seguro, cuando la demanda es suplida al menos en un 90% todos los meses del año, salvo en un mes, en que debe ser suplida al menos en un 80%. Si no se cumplen estas condiciones, el año se considera fallo. El porcentaje de años no fallos de una estadística permite obtener la seguridad de riego.

En el presente caso, se analiza la estadística de un período de 10 años. En el Capítulo 7.4 se entregan todas las series de tiempo de 10 años para cada una de las zonas de riego. De ellas se obtiene lo siguiente:

Cuadro 7-37
Porcentaje de demanda suplida y seguridad de riego

Zona de riego	Area total de riego	Años fallos	Seguridad de riego	% DS
	Ha	de 10	%	%
ZR-01	198,37	4	60	93,6
ZR-02	425,3	7	30	88,2
ZR-03	575,77	10	0	83,4
ZR-04	659,82	7	30	89,0
ZR-05	1201,68	6	40	92,7
ZR-06	386,06	10	0	74,8
ZR-07	183,75	**2**	**80**	**96,7**
ZR-08	734,47	4	60	96,2
ZR-09	99,25	10	0	83,9
ZR-10	340,48	8	20	90,1
ZR-11	157,81	10	0	67,7
ZR-12	406,76	10	0	81,3
ZR-13	754,19	7	30	78,5
ZR-14	1175,44	7	30	87,8
ZR-15	756,08	8	20	88,7
ZR-16	1183	6	40	88,4
ZR-17	1615,79	10	0	86,1
ZR-18	64,26	5	50	90,7
ZR-19	99,34	**3**	**70**	**95,5**
ZR-20	192,1	10	0	82,0
ZR-21	56,44	5	50	92,0
ZR-22	156	**3**	**70**	**97,1**
ZR-23	441,56	**3**	**70**	**94,7**
ZR-24	941,59	7	30	86,4
ZR-25	584,45	5	50	93,4
ZR-26	120,57	**2**	**80**	**98,6**
ZR-27	241,13	7	30	87,4
ZR-28	576,5	6	40	90,2
Total	**14327,96**	**6,0**	**40**	**87,6**

Es de hacer notar que estos valores son representativos de un período hidrológico que incluye sequías y años buenos. Para la gran mayoría de los sectores, salvo los señalados con negrillas, no hay seguridad de riego para gran parte del área cultivada, o, dicho de otra forma, sólo una parte del área cultivada tiene una adecuada seguridad de riego.

Se observa que solamente los sectores 7 del Choapa medio, y los sectores del Illapel medio y bajo tienen pocos años fallos (los de la sequía). Para los demás sectores, hay una gran cantidad de años fallos, de hecho, los años secos y normales son fallos, sólo no son fallos los años húmedos. Esto significa que en la realidad se riega sólo una parte de ellos.

Es posible que las seguridades de riego pudieran aumentarse haciendo un mayor uso del acuífero, pero éste está restringido por la cantidad de derechos disponible. El uso intensificado de los acuíferos, más allá de los derechos, se prueba en algunos escenarios de operación que se presentan en el Capítulo 8.

7.5.10 Fuentes de agua por zona de riego

Basado en los resultados del modelo de simulación, se puede obtener las fuentes de agua de las que se surten principalmente las zonas de riego, que son las siguientes:

Cuadro 7-38
Fuente de agua por sector

Zona de riego	Fuente
ZR-01	canal
ZR-02	canal
ZR-03	canal
ZR-04	canal
ZR-05	canal/pozo
ZR-06	canal
ZR-07	canal
ZR-08	canal
ZR-09	canal
ZR-10	canal
ZR-11	canal
ZR-12	canal
ZR-13	canal/pozo
ZR-14	canal
ZR-15	canal/pozo
ZR-16	canal/pozo
ZR-17	canal/pozo
ZR-18	canal
ZR-19	canal
ZR-20	canal
ZR-21	canal
ZR-22	canal
ZR-23	canal/pozo
ZR-24	canal/pozo
ZR-25	canal/pozo
ZR-26	canal/pozo
ZR-27	canal
ZR-28	canal/pozo

Al respecto hay que señalar que sólo se pueden usar pozos donde hay derechos de agua subterránea. En las zonas donde no figuran pozos como fuente, es porque no hay derechos de agua subterránea. Todas las zonas que tienen pozos de riego, buscan mejorar su seguridad con aguas subterráneas. Pero los derechos hasta este momento son muy pocos, o cero, constituyendo una limitante al desarrollo. Todas las zonas recurrirían al agua subterránea si tuvieran más derechos.

En un escenario posterior de operación se prueba la posibilidad de intensificar el uso del agua subterránea para mejorar las seguridades de riego.

7.5.11 Eficiencia de aplicación del riego y eficiencia total desde bocatoma

De la información presentada, se obtiene directamente las siguientes eficiencias de uso del recurso:

- eficiencia de aplicación del riego, por zona de riego (caudal demandado nivel raíz / caudal demandado a la entrada de la zona de riego)
- eficiencia total desde bocatoma, por zona de riego (caudal recibido nivel raíz / caudal captado en BT más bombeado)

Ambas eficiencias se presentan, por zona de riego, en el Cuadro 7-39.

Cuadro 7-39
Eficiencia de uso del agua

Zona de riego	Area total de riego	Eficiencia de aplicación	Eficiencia total desde BT
	Ha	%	%
ZR-01	198,37	35	17
ZR-02	425,3	35	26
ZR-03	575,77	35	26
ZR-04	659,82	35	23
ZR-05	1201,68	35	21
ZR-06	386,06	35	26
ZR-07	183,75	36	19
ZR-08	734,47	35	16
ZR-09	99,25	35	26
ZR-10	340,48	35	20
ZR-11	157,81	33	20
ZR-12	406,76	32	25
ZR-13	754,19	32	21
ZR-14	1175,44	33	23
ZR-15	756,08	33	25
ZR-16	1183	33	27

Zona de riego	Area total de riego	Eficiencia de aplicación	Eficiencia total desde BT
	Ha	%	%
ZR-17	1615,79	33	24
ZR-18	64,26	31	20
ZR-19	99,34	33	16
ZR-20	192,1	31	25
ZR-21	56,44	33	16
ZR-22	156	35	18
ZR-23	441,56	35	18
ZR-24	941,59	35	20
ZR-25	584,45	37	33
ZR-26	120,57	35	19
ZR-27	241,13	31	16
ZR-28	576,5	31	11
Total	**14327,96**	**34**	**22**

La eficiencia de riego ponderada refleja muy claramente el hecho de que una gran parte del área cultivada de esta cuenca se riega por tendido. Por otra parte, la eficiencia total desde la bocatoma, refleja la gran ineficiencia de conducción que se suma a la anterior.

7.5.12 Derechos subterráneos para riego y totales

Los derechos subterráneos, para riego y totales, comprometidos en la cuenca, están distribuidos como se muestra en el Cuadro 7-40. Los derechos que no son para riego, son para agua potable, industria y minería, según se precisa en los acápites correspondientes.

Cuadro 7-40
Derechos subterráneos para riego y totales

Acuífero	Acuífero	Derechos Totales	Derechos riego sin Pelambres	Derechos riego Pelambres	Derechos riego totales
	por MZ	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s
AC-01	Choapa Alto	0.000	0.000		0.629
AC-02		0.002	0.000		
AC-03		0.135	0.000		
AC-04		0.004	0.000		
AC-05		0.408	0.069	0.320	
AC-06		0.003	0.000		
AC-07		0.008	0.000		
AC-08		0.224	0.000	0.180	
AC-09		0.061	0.000	0.060	
AC-10		0.000	0.000		

Acuífero	Acuífero	Derechos Totales	Derechos riego sin Pelambres	Derechos riego Pelambres	Derechos riego totales
	por MZ	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s
AC-11	Chalinga	0.000	0.000		0.005
AC-12		0.003	0.000		
AC-13		0.007	0.005		
AC-14	Choapa Medio	0.012	0.000		0.257
AC-15		0.028	0.020		
AC-16		0.174	0.147		
AC-17		0.097	0.090		
AC-19	Illapel Alto	0.000	0.000		0.000
AC-21		0.000	0.000		
AC-22	Illapel Medio y Bajo	0.004	0.000		0.326
AC-23		0.016	0.016		
AC-24		0.146	0.039		
AC-25		0.222	0.205		
AC-26		0.066	0.066		
AC-27	Choapa Bajo	0.011	0.000		0.140
AC-28		0.190	0.140		
Total		**1.821**	**0.797**	**0.560**	**1.357**

Se observa que los derechos subterráneos que se pudo registrar como constituidos para riego en la cuenca hasta abril 2005, son muy pocos, 1,357 l/s en total. De éstos, en los acuíferos 5, 8 y 9 del Choapa Alto, hay 560 l/s constituidos a nombre de la minera Los Pelambres, que debieran ser destinados a riego cuando el río Choapa en Cuncumén baja de 1260 l/s, lo que no ha ocurrido nunca hasta este verano de 2005/6. De este modo, los derechos constituidos para particulares, destinados a riego, a esa fecha, serían solamente 797 l/s en toda la cuenca.

7.5.13 Características físicas de los acuíferos

En el Cuadro 7-41 se muestra el volumen y los flujos de entrada y salida promedio, con los que se modeló cada uno de los acuíferos definidos. El volumen total de agua almacenada en los acuíferos es de 607 millones de m3. De este volumen, 185 millones (30%) se encuentran en el río Choapa sobre Chalinga (incluido el estero Quelén), 88 millones (14%) en el río Chalinga, 203 millones (33%) en el río Choapa entre Chalinga y confluencia con Illapel (incluido el estero Camisas), 96 millones (16%) en todo el río Illapel, y 35 millones (el restante 7%), en el Choapa bajo la confluencia con el Illapel.

En resumen, 70% del volumen acuífero se encontraría en el río Choapa, mientras que sólo el 16% en el río Illapel, y 14% en el Chalinga.

Cuadro 7-41
Características físicas de los acuíferos

Acuífero	Acuífero	Volumen agua	Volumen agua	Flujo entrante	Flujo saliente
	por MZ	Mm3	Mm3	m3/s	m3/s
AC-01	Choapa Alto	184.7	1.105	0.000	0.027
AC-02			10.906	0.027	0.159
AC-03			23.225	0.159	0.275
AC-04			19.480	0.275	0.256
AC-05			47.068	0.256	0.088
AC-06			9.268	0.000	0.025
AC-07			10.527	0.114	0.264
AC-08			25.801	0.264	0.222
AC-09			8.964	0.222	0.279
AC-10			28.356	0.279	0.126
AC-11	Chalinga	87.9	6.708	0.000	0.151
AC-12			18.362	0.150	0.121
AC-13			62.825	0.121	0.144
AC-14	Choapa Medio	203.1	68.616	0.270	0.020
AC-15			52.342	0.000	0.014
AC-16			52.161	0.035	0.015
AC-17			29.970	0.015	0.002
AC-19	Illapel Alto	2.1	1.177	0.000	0.005
AC-21			0.957	0.005	0.005
AC-22	Illapel Medio y Bajo	94.4	4.536	0.005	0.005
AC-23			29.897	0.005	0.053
AC-24			26.005	0.053	0.027
AC-25			31.601	0.027	0.007
AC-26			2.314	0.007	0.002
AC-27	Choapa Bajo	34.8	24.329	0.002	0.002
AC-28			10.436	0.002	0.019
Total	**Total**	**606.9**	**606.938**	**0.000**	**0.019**

7.5.14 Percolaciones, afloramientos y recarga neta

Para analizar el comportamiento de los acuíferos, se ha hecho el análisis de las recargas disponibles, provenientes de percolaciones desde las aguas superficiales (canales, cauces y zonas de riego), los afloramientos y las recargas netas, que se muestran en el Cuadro 7-42.

Cuadro 7-42
Percolaciones, afloramientos y recargas

Acuífero	Percol. Desde CA	Percol. Desde ZR	Percol. Desde cauce	Recarga disponible	Afloramiento	Recarga neta	% Recarga neta
	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	%
AC-01	0,098	0,029	2,135	2,261	2,233	0,028	1,2
AC-02	0,133	0,055	5,293	5,480	5,339	0,141	2,6
AC-03	0,166	0,068	1,922	2,155	1,902	0,253	11,7
AC-04	0,358	0,087	4,238	4,683	4,699	-0,016	-0,3
AC-05	0,484	0,164	4,375	5,023	5,167	-0,144	-2,9
AC-06	0,090	0,037	0,019	0,146	0,113	0,033	22,9
AC-07	0,117	0,027	2,123	2,266	2,115	0,152	6,7
AC-08	0,312	0,110	2,053	2,476	2,467	0,009	0,3
AC-09	0,055	0,012	1,031	1,099	1,040	0,058	5,3
AC-10	0,119	0,046	1,288	1,452	1,590	-0,138	-9,5
AC-11	0,066	0,033	0,051	0,150	0,001	0,149	99,0
AC-12	0,099	0,057	0,028	0,183	0,261	-0,078	-42,4
AC-13	0,225	0,100	0,044	0,369	0,357	0,013	3,4
AC-14	0,370	0,141	2,385	2,896	3,132	-0,236	-8,2
AC-15	0,476	0,093	0,045	0,614	0,590	0,024	3,9
AC-16	0,407	0,154	0,535	1,096	1,080	0,016	1,4
AC-17	0,343	0,197	0,718	1,258	1,232	0,026	2,1
AC-19	0,050	0,018	0,055	0,123	0,116	0,007	5,5
AC-21	0,021	0,008	0,028	0,058	0,057	0,000	0,7
AC-22	0,076	0,023	0,124	0,223	0,220	0,003	1,5
AC-23	0,244	0,060	0,096	0,399	0,332	0,067	16,8
AC-24	0,290	0,112	0,073	0,474	0,440	0,034	7,1
AC-25	0,156	0,074	0,210	0,441	0,373	0,068	15,3
AC-26	0,032	0,018	0,053	0,104	0,099	0,005	4,7
AC-27	0,109	0,037	1,438	1,584	1,581	0,004	0,2
AC-28	0,340	0,147	1,069	1,555	1,481	0,074	4,8
Total	**5,236**	**1,905**	**31,429**	**38,570**	**38,019**	**0,551**	**1,4**

En este cuadro se observa que la fuente más importante para alimentar los acuíferos la constituye el agua del cauce. Analizando la realidad por sectores, se observa que esto es lo que sucede en el río Choapa, donde se alcanzan caudales importantes. Ahí el río es la fuente más importante de recarga para los acuíferos. Esto no es el caso para los ríos Chalinga e Illapel, donde la fuente de recarga más importante la constituye el riego.

Por otro lado, se observa también en este cuadro, que casi la totalidad de las recargas disponibles son rechazadas por los acuíferos, al transformarse en afloramientos. La recarga neta que entra a recargar los acuíferos, finalmente es una parte muy pequeña de la recarga total disponible.

Los acuíferos que mayor recarga aceptan son los de cabecera, especialmente el del río Chalinga, también el estero Quelén, y los acuíferos del Illapel aguas arriba y aguas abajo de la ciudad de Illapel.

El bajo grado de aceptación de recarga neta se debe al bajo grado de explotación de todos estos acuíferos.

7.5.15 Grado de explotación de los acuíferos

En el Cuadro 7-43 se compara la recarga disponible con la recarga neta, los derechos de bombeo totales y de riego, y el bombeo efectivo que se realiza para riego y otros usos, en valores absolutos y expresados como porcentaje de los derechos. También se muestra el bombeo total como porcentaje de las recargas netas.

Cuadro 7-43
Grado de explotación de los acuíferos

Acuífero	Recarga disponible	Recarga neta	Derechos Bombeo Total	Derechos Bombeo Riego	Bomb. total	Bomb. riego	Bomb. otros usos	% bombeo tot sobre derechos totales	% bombeo riego sobre der riego	% bombeo sobre recargas netas
	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	%	%	%
AC-01	2,261	0,028	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0
AC-02	5,480	0,141	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0
AC-03	2,155	0,253	0,135	0,000	0,134	0,000	0,134	99,3	0,0	53,0
AC-04	4,683	-0,016	0,004	0,000	0,001	0,000	0,001	25,0	0,0	0,0
AC-05	5,023	-0,144	0,408	0,069	0,020	0,017	0,003	4,8	24,2	0,0
AC-06	0,146	0,033	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0
AC-07	2,266	0,152	0,008	0,000	0,001	0,000	0,001	12,5	0,0	0,7
AC-08	2,476	0,009	0,224	0,000	0,041	0,000	0,041	18,3	0,0	473,5
AC-09	1,099	0,058	0,061	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0
AC-10	1,452	-0,138	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0
AC-11	0,150	0,149	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0
AC-12	0,183	-0,078	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0
AC-13	0,369	0,013	0,007	0,005	0,003	0,002	0,001	44,6	42,5	24,8
AC-14	2,896	-0,236	0,012	0,000	0,002	0,000	0,002	16,7	0,0	0,0
AC-15	0,614	0,024	0,028	0,020	0,007	0,006	0,001	23,8	28,3	27,9
AC-16	1,096	0,016	0,174	0,147	0,062	0,058	0,004	35,8	39,6	399,6
AC-17	1,258	0,026	0,097	0,090	0,038	0,037	0,001	39,1	41,0	145,8
AC-19	0,123	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0
AC-21	0,058	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0
AC-22	0,223	0,003	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0
AC-23	0,399	0,067	0,016	0,016	0,003	0,003	0,000	16,2	16,2	3,9
AC-24	**0,474**	**0,034**	**0,146**	**0,039**	**0,051**	**0,010**	**0,041**	**34,9**	**25,7**	**151,8**

Acuífero	Recarga disponible	Recarga neta	Derechos Bombeo Total	Derechos Bombeo Riego	Bomb. total	Bomb. riego	Bomb. otros usos	% bombeo tot sobre derechos totales	% bombeo riego sobre der riego	% bombeo sobre recargas netas
	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	%	%	%
AC-25	**0,441**	**0,068**	**0,222**	**0,205**	**0,075**	**0,075**	**0,000**	**33,9**	**36,7**	**111,5**
AC-26	**0,104**	**0,005**	**0,066**	**0,066**	**0,008**	**0,008**	**0,000**	**12,8**	**12,8**	**175,3**
AC-27	1,584	0,004	0,011	0,000	0,001	0,000	0,001	9,1	0,0	27,2
AC-28	1,555	0,074	0,190	0,140	0,057	0,045	0,012	30,3	32,5	77,2
Total	**38,570**	**0,551**	**1,821**	**0,797**	**0,504**	**0,262**	**0,243**	**27,7**	**32,8**	**91,541**

En el Cuadro 7-43 se observa que la cantidad de derechos subterráneos constituidos (capacidad de bombeo, 1,8 m3/s) es muy inferior a la disponibilidad de recarga, y esto ocurre en todos los acuíferos. Una señal clara de que los acuíferos están subexplotados, es la cantidad de agua que se pierde al mar. Los únicos acuíferos en los que las derechos se asemejan a las recargas son los acuíferos 24, 25 y 26 (Illapel Bajo), donde se bombea en promedio el 30% de los derechos, y el 15% de la recarga potencial.

Para riego hay derechos por 1,36 m3/s, de los cuales 0,56 m3/s no se usan, y 0,8 m3/s se usan intensivamente durante la mitad del año, por lo que en promedio se observa que se usa menos de la mitad de los derechos. Pero esto muestra también que, de ser posible, se usaría más agua subterránea para el riego.

Los demás usos subterráneos en la cuenca son los 133 l/s de la minera Los Pelambres en Cuncumén, y el uso de agua potable urbana y rural a lo largo de toda la cuenca, uso que, con 179 l/s efectivos, y 66 l/s consuntivos, puede considerarse mínimo.

En resumen, se observa que la intensidad de uso de las aguas subterráneas es extremadamente baja. Tomando en cuenta sólo el uso oficial que permiten los derechos que se consideraron comprometidos, esto es, los derechos constituidos más los solicitados a la fecha del presente estudio, éstos son muy reducidos, razón por la cual la explotación del acuífero no alivia la escasez del recurso hídrico superficial.

Debido a lo señalado, no hay ningún acuífero que esté siendo utilizado intensivamente. Los únicos acuíferos que tienen más derechos son los que se encuentran entre Chillepín y Salamanca, donde hay derechos de restitución de la minera Los Pelambres. Pero esos derechos sólo se pueden usar si los caudales del río Choapa en Cuncumén son extremadamente bajos, menores que 1260 l/s, lo que, según información de terreno, no ha ocurrido nunca, de modo que esos pozos no han sido operados. Fuera de esos pozos, no hay una cantidad importante de derechos en ninguna parte de la cuenca. El acuífero, por otro lado, tiene un altísimo potencial de recarga, pues desde el cauce podría percolar una gran cantidad de agua, como también desde los canales y zonas de riego. Pero como los acuíferos en la generalidad permanecen siempre llenos y en contacto con el río, esa alimentación no se produce.

Interesa aclarar qué efecto tendría sobre el río una explotación más intensiva de los acuíferos. Este escenario se analiza en el Capítulo 8.

7.5.16 Acuíferos con posibilidad de incrementar la intensidad de uso

Desde el punto de vista hidrogeológico, no hay ningún acuífero en la cuenca que no sea posible explotarlo más intensivamente. Todos los acuíferos están muy subexplotados. Los acuíferos que no debieran explotarse permanentemente son los acuíferos muy pequeños, como los del Illapel sobre el embalse El Bato, el acuífero de Quelén y la cabecera del río Chalinga.

Para los demás acuíferos, hay que analizar el efecto de la explotación sobre los niveles y, por lo tanto, el efecto sobre las aguas superficiales, porque existe la posibilidad de que disminuyan los caudales superficiales.

No obstante lo señalado, esto no debiera constituir un impedimento para hacer un uso mucho más intensivo de los acuíferos, que son embalses naturales, pues si falta agua en puntos superficiales, ésta podría rebombearse para alimentar los canales afectados. Una buena gestión del recurso hídrico, en forma conjunta superficial y subterránea, debiera encontrar la forma de tener acceso al almacenamiento subterráneo, supliendo los déficits superficiales, de modo de recircular una mayor cantidad de agua, pues la capacidad de recarga de estos acuíferos es muy grande en relación con los usos.

Es por esto que se consideró necesario operar escenarios en que se planteara un uso más intensivo de los acuíferos y se observaran las consecuencias de este proceder, para proponer finalmente cuál podría ser la forma de un uso más intensivo de los acuíferos.

7.5.17 Estimación de m3 entregados en bocatoma, por acción y por hectárea

En el Cuadros 7-44 siguiente, se presenta, para cada zona de riego, la dotación de m3/acción/año con que cuentan en promedio las acciones de cada sector, en bocatoma. También se presenta la dotación de m3/acción/año para un año seco y para un año húmedo.

Cuadro 7-44
Estimación de m3 por acción al año, por zona de riego

Zona de riego	Areas	Acciones	Acciones / ha	Promedio	Año húmedo 1997/98	Año seco 19967/97
				m3/acc/año	m3/acc/año	m3/acc/año
ZR-01	198	387	1.95	23408	25774	9869
ZR-02	425	595	1.40	19012	20601	8791
ZR-03	576	574	1.00	24358	27767	10282
ZR-04	660	1089	1.65	18972	20797	8081
ZR-05	1202	2133	1.78	19600	21655	8086

Zona de riego	Areas	Acciones	Acciones / ha	Promedio	Año húmedo 1997/98	Año seco 19967/97
				m3/acc/año	m3/acc/año	m3/acc/año
ZR-06	386	662	1.72	11664	12902	4809
ZR-07	184	538	2.93	14772	16530	6038
ZR-08	734	1528	2.08	24520	27100	10134
ZR-09	99	186	1.87	12750	14110	4930
ZR-10	340	705	2.07	17085	18606	7424
ZR-11	158	196	1.24	20424	24444	13348
ZR-12	407	525	1.29	21248	25330	10444
ZR-13	754	1177	1.56	19647	27206	4503
ZR-14	1175	1526	1.30	19713	22131	8183
ZR-15	756	1084	1.43	16844	19230	6313
ZR-16	1183	1658	1.40	15631	17647	6237
ZR-17	1616	2015	1.25	19235	21535	7638
ZR-18	64	96	1.50	25503	28773	17983
ZR-19	99	207	2.09	25572	28921	18114
ZR-20	192	222	1.15	23903	28171	14655
ZR-21	56	98	1.74	24766	27660	17368
ZR-22	156	319	2.05	21054	23229	15222
ZR-23	442	812	1.84	21699	25038	14130
ZR-24	942	1395	1.48	20978	25589	11416
ZR-25	584	950	1.63	10924	13381	5678
ZR-26	121	190	1.57	24124	25954	15473
ZR-27	241	439	1.82	23706	26076	10057
ZR-28	577	1246	2.16	23260	26069	8808
Total	**14328**	**22553**	**1.57**	**19470**	**22246**	**8600**

En el Cuadro 7-45 se presenta la dotación de m3 por hectárea por año que resulta de las entregas señaladas anteriormente.

Cuadro 7-45
Estimación de m3 por hectárea al año, por zona de riego

Zona de riego	Areas	Acciones	Acciones / ha	Promedio	Año húmedo 1997/98	Año seco 1996/97
				m3/ha/año	m3/ha/año	m3/ha/año
ZR-01	198	387	1.95	45626	50236	19236
ZR-02	425	595	1.40	26620	28844	12309
ZR-03	576	574	1.00	24264	27660	10242
ZR-04	660	1089	1.65	31306	34317	13335
ZR-05	1202	2133	1.78	34799	38446	14355
ZR-06	386	662	1.72	20013	22137	8250
ZR-07	184	538	2.93	43249	48398	17677
ZR-08	734	1528	2.08	51009	56376	21082
ZR-09	99	186	1.87	23831	26373	9215
ZR-10	340	705	2.07	35382	38531	15375

ZR-11	158	196	1.24	25379	30375	16586
ZR-12	407	525	1.29	27446	32718	13490
ZR-13	754	1177	1.56	30650	42442	7025
ZR-14	1175	1526	1.30	25595	28734	10624
ZR-15	756	1084	1.43	24150	27570	9051
ZR-16	1183	1658	1.40	21913	24738	8744
ZR-17	1616	2015	1.25	23987	26856	9524
ZR-18	64	96	1.50	38279	43187	26992
ZR-19	99	207	2.09	53332	60316	37777
ZR-20	192	222	1.15	27580	32505	16909
ZR-21	56	98	1.74	43024	48053	30173
ZR-22	156	319	2.05	43059	47506	31132
ZR-23	442	812	1.84	39924	46066	25997
ZR-24	942	1395	1.48	31081	37913	16914
ZR-25	584	950	1.63	17752	21745	9227
ZR-26	121	190	1.57	37926	40803	24325
ZR-27	241	439	1.82	43159	47475	18310
ZR-28	577	1246	2.16	50272	56344	19036
Total	**14328**	**22553**	**1.57**	**30647**	**35016**	**13536**

Se puede apreciar que las dotaciones resultantes de m3 por hectárea al año son muy variables entre años húmedos y secos, pero no son demasiado bajas en años secos. De hecho, las menores se observan en las zonas de Chalinga bajo, Quelén y Choapa Medio, todas sobre 7000 m3/ha/año.

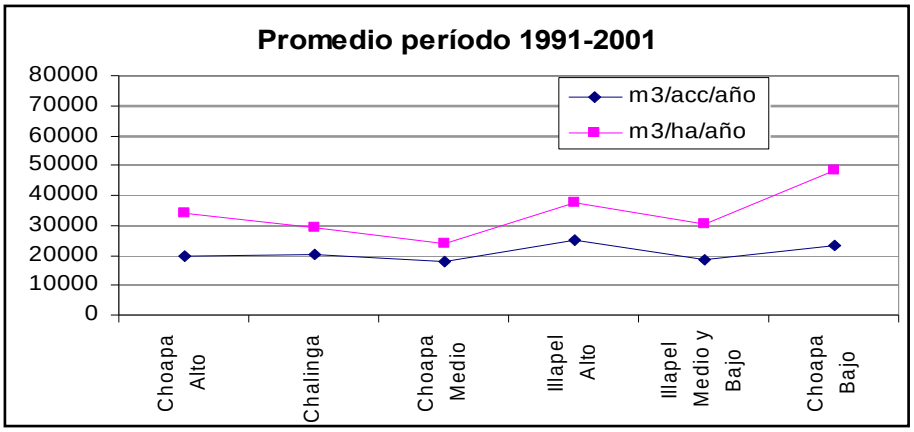
En el Cuadro 7-46 se presenta un resumen de las dotaciones por mesozonas. Las mesozonas son las mismas en base a las cuales se realizó el análisis de la eficiencia económica.

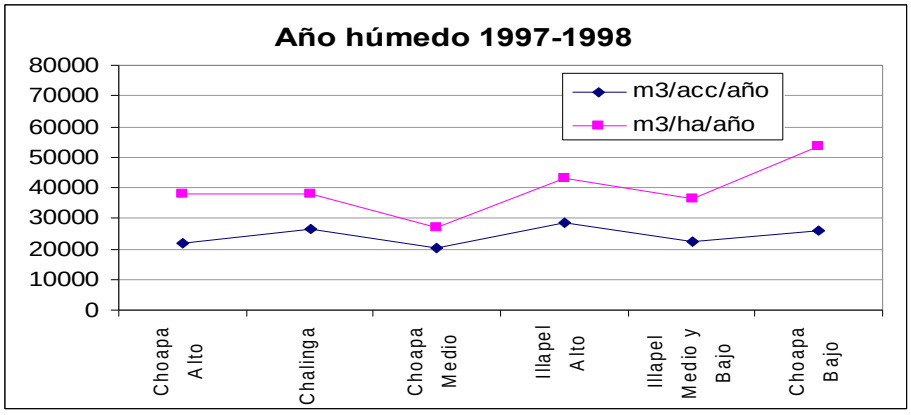
Cuadro 7-46
Resumen de dotaciones por acción y por ha, en cada mesozona

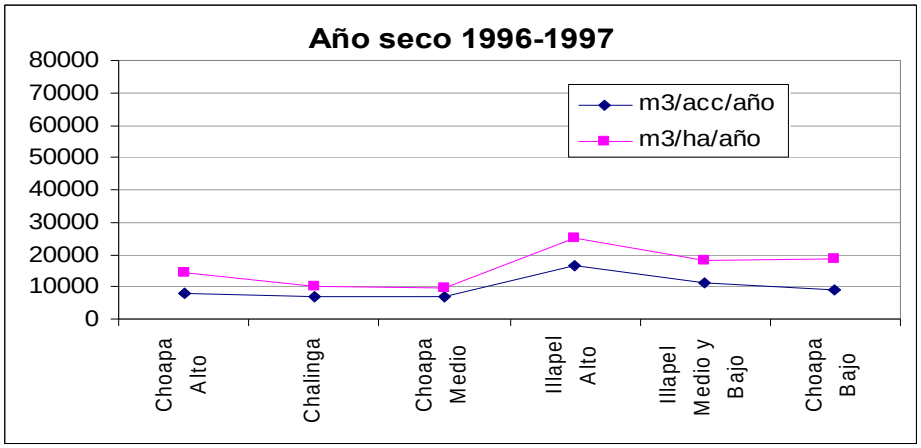
Zona de riego	Áreas	Acciones	Acc / ha	Prom.	Año húm. 1997/98	Año seco 19967/97	Prom.	Año húm. 1997/98	Año seco 1996/97
				m3/acc/año	m3/acc/año	m3/acc/año	m3/ha/año	m3/ha/año	m3/ha/año
Choapa Alto	4805	8397	1.75	19575	21625	8225	34208	37791	14373
Chalinga	1319	1898	1.44	20171	26401	7061	29031	37998	10163
Choapa Medio	4730	6284	1.33	17987	20256	7172	23894	26907	9527
Illapel Alto	412	623	1.51	24841	28433	16746	37570	43003	25327
Illapel M y Bajo	2244	3666	1.63	18702	22118	11072	30550	36129	18085
Choapa Bajo	818	1685	2.06	23376	26071	9133	48174	53728	18822
Total	**14328**	**22553**	**1.57**	**19470**	**22246**	**8600**	**30647**	**35016**	**13536**

En la Figura 7-29 se presenta gráficamente las dotaciones de agua que tienen las acciones y las hectáreas de este valle por mesozona, y se observa que sólo son pequeñas en sequías. Las dotaciones de m3/ha no bajan de 7000 m3/ha, en ningún sector, en ningún año.

Figura 7-29
Dotaciones de m3/acción/año y m3/ha/año por mesozona de riego







Una distorsión en la asignación de los derechos superficiales, que pudiera diagnosticarse en base a las acciones por hectárea que tienen los regantes a lo largo del valle, en base a los m3 que reciben por acción o en base a los m3 que reciben por hectárea, en el valle del Choapa prácticamente no existe. En este valle es bastante pareja toda la asignación del agua, justamente debido a la directa asociación con la tierra que se mantuvo al parcelar las haciendas con ocasión de la reforma agraria.

7.5.18 Conveniencia de relocalizar derechos y flexibilizar los sistemas de distribución

De acuerdo con el análisis realizado y los antecedentes recabados, la cuenca del Choapa tiene sus derechos muy claramente asociados a sus terrenos cultivables, lo que hace descartar cualquier necesidad de relocalización de derechos per se. Sin embargo, siempre existe la posibilidad (que es una realidad) de personas o empresas que compran terrenos para los cuales necesitan agua, y buscan relocalizar los derechos existentes de modo de suplir sus necesidades. En esta forma se relocalizan las aguas hacia actividades más rentables. Por esta razón, es conveniente que haya una flexibilidad para efectuar tales relocalizaciones.

En la cuenca se observa que no es usual hacer traslados de derechos, salvo dentro de canales y de manera más bien informal. Los traslados entre canales tienen las limitantes físicas de capacidad de porteo. De todas formas, se observa que cuando el agua se ha requerido en otra parte, ha sido posible trasladar los derechos correspondientes.

No obstante ello, en las juntas de vigilancia se prevé que con la entrada en operación de los embalses, será necesario estar en condiciones de trasladar más ágilmente los derechos, que se entregarán en forma de volúmenes. Por esto, hay conciencia de que es necesario mejorar los sistemas de medición.

7.5.19 Zonas de riego con déficit de abastecimiento

En las condiciones señaladas, sin regulación y sin acceso importante a los acuíferos, se observa que una gran parte de la cuenca puede abastecer sólo alrededor de un 35 a 40% de sus áreas de cultivo bajo canal, con una seguridad de riego del 85%. Con algunas zonas que constituyen una excepción, ésta es la tónica dentro de la cuenca. El resto del área sólo puede cultivarse en años más húmedos, y por lo tanto es de riego eventual. Las excepciones a este comportamiento generalizado se observan en las zonas 7 y 8 del Choapa alto, sobre Salamanca, donde el área cultivable con 85% de seguridad alcanzaría cerca del 60% del área total. Otras excepciones, de comportamiento similar a las anteriores, serían el Illapel arriba de Carén, la zona de Illapel arriba de Cárcamo, y la zona arriba de la confluencia con el Choapa (El Peral). El resto de la cuenca se encuentra en la misma condición precaria de recurso hídrico, debido a la falta de regulación, regulación que en este escenario aún no está activa.

7.5.20 Existencia de derechos sin uso efectivo

No hay derechos sin uso en la cuenca. Todos los derechos son usados, algunos más intensivamente que otros. Tampoco se observa que haya sobredotación de acciones en ningún sector. En realidad, como la repartición de acciones proviene del tiempo de la reforma agraria, el reparto de tierras y aguas se hizo manteniendo una dotación teórica pareja cercana al l/s/ha en toda la cuenca, con lo que todos los derechos son similares.

Dado lo que se observa en la cuenca, que los derechos, en la forma en que se usan, no alcanzan a cubrir las zonas cultivables bajo canal, el uso de los derechos subterráneos se observa que es intensivo. Sin embargo, como los derechos subterráneos son tan pocos, no tienen ningún efecto sobre el acuífero.

Los únicos derechos sin uso son los derechos subterráneos de sustitución que la minera Los Pelambres posee en la cuenca del Choapa.

7.5.21 Disponibilidad física de aguas para nuevos derechos y déficit de disponibilidad legal

En esta situación se encuentran, en general, todos los acuíferos de la cuenca del Choapa. Si bien no todos los acuíferos son grandes, y en los muy pequeños no sería recomendable dar derechos, sí hay algunos de volumen notable, que perfectamente se recuperan de un año a otro, que podrían ser fuente de nuevos derechos. Estos son fundamentalmente los acuíferos del río Choapa alto y medio, AC-05, 08, 10, 14, 16 y 17. También son grandes los acuíferos del Chalinga bajo y del Illapel bajo, pero son menos productivos.

Para confirmar si la medida propuesta de entregar derechos en todos los acuíferos en que haya demanda, es acertada, se operó el modelo para un período hidrológico más largo, en un escenario en que la explotación no estuvo restringida, y se observó los efectos de tal acción, que se comentan en el Capítulo 8. .

7.5.22 Indicador de probabilidad del consumo

Se puede asociar una probabilidad de excedencia al caudal promedio consumido a nivel de cuenca, y también al caudal total usado, esto es, el consumo más las pérdidas.

Para ello se establece primero la probabilidad de la oferta. Para el período de operación de 15 años, se obtuvo los siguientes valores de probabilidad de retorno de la oferta:

Cuadro 7-47
Probabilidad de la oferta

Probabilidad de excedencia	Caudal m3/s
0.063	55.491
0.125	44.230
0.188	26.149
0.250	24.677
0.313	20.716
0.375	20.528
0.438	18.263
0.500	15.644
0.563	14.525
0.625	10.737
0.688	9.540
0.750	9.248
0.813	7.689
0.875	5.779
0.938	4.480
0.95	3.880

El caudal medio anual utilizado consuntivamente en la cuenca, y también la identificación de las pérdidas que genera ese uso consuntivo, se muestran en el Cuadro 7-48.

Cuadro 7-48
Caudales demandados consuntivamente promedio años normales y secos

Tipo de demanda	Caudal m3/s	Volumen mill m3	Prob.Exced.
Demanda cons. Agrícola suplida	3.020	95,238,720	
Demanda cons. Minera	0.600	18,921,600	
Demanda cons. Ind.	0.058	1,829,088	
Demanda cons. APU	0.020	630,720	
Demanda consuntiva APR	0.012	378,432	
Evapotranspiración natural	0.900	28,382,400	
Total demanda	**4.610**	**145,380,960**	**91%**
Salidas tramo río	8.952	282,310,272	
Otras salidas (derr ZR-28, afl. AC-28)	1.625	51,246,000	
Salidas subt. AC-28	0.019	599,184	
Total pérdidas	**10.596**	**334,155,456**	
Uso consuntivo total	**15.206**	**479,536,416**	**52%**

El caudal de 4,6 m3/s utilizado consuntivamente tiene una probabilidad de excedencia de unos 91%, es decir, es un caudal muy pequeño. Sin embargo, para contar con ese caudal hay que sumar pérdidas por 10,6 m3/s más, lo que totaliza un caudal de 15,2 m3/s. Este caudal tiene una probabilidad de excedencia de 52%.

Lo señalado muestra dos cosas. Por un lado, la falta de regulación se percibe en el hecho de que el caudal que se consume en la cuenca es muy pequeño, y tiene por tanto una alta probabilidad de excedencia. Por otro lado, también se percibe la falta de regulación en el hecho de que el caudal de que hay que disponer para usar el caudal 91%, es un caudal 52%, significativamente más grande, lo que muestra el grado de ineficiencia en el uso del agua.

En el Capítulo 8 se prueban escenarios en que se busca ser más eficiente en el uso global del agua.

Si se observa la situación solamente del mes de marzo en años normales a secos, la situación se presenta más eficiente, según se ve en el cuadro 7-49. Esta es la situación más eficiente que se presenta durante todo el año. El caudal usado es el caudal 57%, y el caudal consumido es el caudal 80%.

Cuadro 7-49
Caudales demandados consuntivamente promedio mes de marzo

Tipo de demanda	Caudal m3/s	Volumen mill m3	Prob.Exced.
Demanda cons. Agrícola suplida	3.424	107,979,264	
Demanda cons. Minera	0.600	18,921,600	
Demanda cons. Ind.	0.058	1,829,088	
Demanda cons. APU	0.020	630,720	
Demanda consuntiva APR	0.012	378,432	
Evapotranspiración natural	1.160	36,581,760	
Total demanda	**5.274**	**166,320,864**	**80%**
Salidas tramo río	2.001	63,103,536	
Otras salidas (derr ZR-28, afl. AC-28)	0.779	24,566,544	
Salidas subt. AC-28	0.019	599,184	
Total pérdidas	**2.799**	**88,269,264**	
Uso consuntivo total	**8.073**	**254,590,128**	**57%**

7.5.23 Indicador de eficiencia global

Del Cuadro 7-50 se puede obtener un factor que podría llamarse de eficiencia global, que relaciona el caudal consumido con el caudal total requerido usado para suplir dicha demanda consuntiva. En este caso, el factor resulta de 30%, de acuerdo con los valores siguientes:

Cuadro 7-50
Eficiencia global año promedio normal a seco

Total demandado para consumir	4,610 m3/s	145,380,960 m3/año
Total usado	15,206 m3/s	479,536,416 m3/año
Eficiencia global	**30%**	
Porcentaje no aprovechado	**70%**	

La ineficiencia de uso del 70% se explica fundamentalmente por las salidas al mar desde el río Choapa, y se observa que ella es muy alta en esta cuenca.

En los escenarios que se describen en el Capítulo 8, se implementan medidas tendientes a lograr reducir las pérdidas hacia el mar, aumentando la eficiencia de uso.

7.5.24 Indicador de reúso global promedio y total

Se puede definir un indicador de reúso global promedio dividiendo el caudal total que ha sido captado para todos los usos, por el caudal total usado (consumido más perdido). Los datos del Cuadro 7-51 muestran que para consumir 15,206 m3/s se captaron 16,021 m3/s, lo que indica un factor de reúso de 1,05.

Cuadro 7-51
Factor de reúso global promedio y eficiencia global promedio

Tipo de demanda	**Caudal m3/s**		**Caudal m3/s**
Demanda cons. Agrícola suplida	3.020	Q capt agrícola	14.184
Demanda cons. Minera	0.600	Q capt minería	0.700
Demanda cons. Ind.	0.058	Q capt ind	0.058
Demanda cons. APU	0.020	Q capt APU	0.075
Demanda consuntiva APR	0.012	Q capt APR	0.104
Evapotranspiración natural	0.900	Q capt ET nat	0.900
Total demanda	**4.610**		**16.021**
Total pérdidas	**10.596**		
Uso consuntivo total	**15.206**		
Factor reúso global año promedio			**1,05**

Si se considera que internamente en el modelo se aplicó un factor de reúso de derrames y percolaciones, de 1,5, entonces hay un factor de reúso total de 1,6.

Comparando el factor de reúso total obtenido para esta cuenca, con los factores de Elqui (2,4) y Limarí (3,8), se observa que el reúso, aunque refleja de alguna manera la ineficiencia local y media, favorece la eficiencia global. Reusar muchas veces el agua es una forma de hacer un uso mayor del agua disponible, a nivel de cuenca. A mayor reúso, más posibilidad hay de usar efectivamente el agua, de modo de reducir la fracción que finalmente se pierde al mar. En esta cuenca, el reúso no es importante, en concordancia con el factor de eficiencia global antes presentado, que es bajo. Ambos denotan una baja eficiencia de uso global del agua.

7.5.25 Indicador de reúso global en sequía

Este indicador es un factor similar al anterior, pero obtenido para una situación extrema de sequía. El año de sequía representado en las cifras es el año 1996/97.

Cuadro 7-52
Factor de reúso global en sequía

Tipo de demanda	Caudal m3/s		Caudal m3/s
Demanda cons. Agrícola suplida	1.796	Q capt agrícola	6.583
Demanda cons. Minera	0.600	Q capt minería	0.700
Demanda cons. Ind.	0.058	Q capt ind	0.058
Demanda cons. APU	0.020	Q capt APU	0.075
Demanda consuntiva APR	0.012	Q capt APR	0.104
Evapotranspiración natural	0.900	Q capt ET nat	0.900
Total demanda	**3.386**		**8.420**
Salidas tramo río	0.936		
Otras salidas (derr ZR-28, afl. AC-28)	0.379		
Salidas subt. AC-28	0.019		
Total pérdidas	**1.334**		
Uso consuntivo total	**4.720**		
Factor reúso global sequía			**1,8**

El factor global de reúso resulta de 1,8, con lo que se obtiene un factor de reúso total de 2,7.

Se observa en esta situación, que el factor de reúso resulta bastante superior, es decir, aumenta el reúso. Concordante con lo anterior, se observa que en esta situación hay un uso más intensivo del recurso, y por lo tanto, más eficiente.

7.5.26 Indicador de eficiencia global en sequía

De los datos del Cuadro 7-52 se obtiene directamente un factor de eficiencia global en sequía, de 72%, es decir, de toda el agua consumida y perdida (4,720 m3/s), el 72% fue consumido (3,386 m3/s). Este valor, en conjunto con un factor de reúso más alto, de 1,8 global y 2,7 total, muestra que en sequía, la eficiencia de uso es más alta que en años normales.

7.6 DIAGNÓSTICO EFICIENCIA FÍSICA A NIVEL GLOBAL: OTROS USOS

El diagnóstico que se presenta a continuación, abarca los usos no agrícolas: agua potable, minería e industria. El diagnóstico se basa en los datos que se han podido obtener para caracterizar cada uno de los usos. El uso de agua potable se ha caracterizado atendiendo dos sistemas: el agua potable urbana y el agua potable rural.

7.6.1 Uso en agua potable urbana

El agua potable urbana en toda la IVª Región está a cargo de la Empresa Aguas del Valle, que dentro de la cuenca del Choapa abastece las localidades de Illapel, Salamanca, Canela Alta y Canela Baja.

Canela Alta y Baja se surten de sendos drenes desde el estero Canela. La ciudad de Illapel se surte desde el acuífero de Illapel, a través de un dren frente a la quebrada de Cárcamo y una noria frente a Illapel. La ciudad de Salamanca se surte desde una vertiente ubicada en Las Rosas, aprox. 4 km aguas arriba de la ciudad.

En cuanto a las aguas servidas, todas las localidades urbanas tienen su planta de tratamiento. Para Canela Alta y Baja, las plantas son de lodos activados, y para las ciudades de Illapel y Salamanca, son lagunas aireadas. Para Illapel hay dos lagunas, una frente a Illapel y la otra frente a Cuz Cuz.

Las características cuantitativas del uso de agua potable, son las que se presentan en los Cuadros 7-53 y 7-54 a continuación.

Cuadro 7-53
Derechos por fuente

Fuente	Derechos l/s	Localidad	Abastece a
Vertiente	40	Las Rosas	Salamanca
Subterránea	17	Illapel	Illapel
Subterránea	100	Cárcamo	Illapel
Dren	11	Canela Baja	Canela Baja
Dren	4	Canela Alta	Canela Alta
Total derechos	**172**		

Cuadro 7-54
Porcentaje de uso efectivo de los derechos

Localidad abastecida	Promedio 4 años	Caudal promedio	% de los Derechos	% pérdida	Nº Aranques	Pobl. Abast.	Tipo PTAS
	Mill. m3	m3/s	%	%		hab	
Canela Alta	70693,75	0,002	50	31	424	1484	Lo.Activ
Canela Baja	116261,75	0,004	33	28	673	2356	Lo.Activ
Illapel	1354634,75	0,043	37	26	6860	24010	Lag.Airea
Salamanca	814398,5	0,026	65	22	3962	13867	Lag.Airea
Total		**0,075**	**44%**				

Se observan en esta cuenca porcentajes de uso bastante altos en relación con lo que es usual para agua potable. Porcentajes de uso de 50 y 65% muestran que las fuentes son muy estables, pues las empresas deben tener ese rango de seguridad de derechos para surtirse en épocas de sequía.

Por otro lado, el porcentaje de pérdidas de las empresas sólo es posible obtenerlo como pérdidas de facturación, que incluyen pérdidas físicas, ineficiencias y robos. No es posible estimar por separado las pérdidas físicas. Las pérdidas totales varían entre 22 y 31%, rango bastante clásico dentro del cual se mueve el comportamiento de las aguas potables urbanas en Chile. La empresa modelo permite el traspaso a tarifa de una pérdida máxima de 20%, el resto lo debe asumir la empresa.

El uso consuntivo de agua potable se estima en 20 l/s, aproximadamente el 20% del agua captada.

7.6.2 Agua potable rural

Las aguas potables rurales de la cuenca del Choapa, todas se abastecen desde pozos.

La situación de derechos en general no está definida, los derechos de este uso en general no existen, o están en trámite. Son pocos los comités que tienen su situación de derechos al día. En el cuadro se muestra la situación de todos los comités de la cuenca del Choapa.

Por lo señalado, no se puede obtener un porcentaje de uso de los derechos. Lo que sí se puede hacer es obtener una dotación efectiva en base a la producción anual y al número de beneficiarios. Esta dotación efectiva se presenta en la última columna del Cuadro 7-56, y llama la atención que siempre sea muy inferior a los 140 l/s nominales con los que se diseña los sistemas de agua potable rural. Un factor de importancia no menor es el precio de este servicio, que es caro.

El valor que finalmente se usa para la modelación, es el valor agregado del uso efectivo que resulta por acuífero, el cual se ingresa como caudal de bombeo con factor de uso igual a uno en el modelo. Los caudales modelados se presentan en el Cuadro 7-55.

Cuadro 7-55
Caudales modelados APR

Código Pozo	Acuífero	Capacidad del pozo	Uso efectivo
PO-001	AC-02	0,002	0,0003
PO-003	AC-03	0,002	0,0007
PO-004	AC-04	0,0035	0,0008
PO-006	AC-05	0,0191	0,0027
PO-009	AC-06	0,0031	0,0002
PO-010	AC-07	0,0077	0,0009
PO-015	AC-09	0,0011	0,0001
PO-016	AC-12	0,0025	0,0004
PO-018	AC-13	0,002	0,001
PO-019	AC-14	0,012	0,0015
PO-021	AC-15	0,0081	0,0009
PO-023	AC-16	0,0147	0,0012
PO-026	AC-17	0,0073	0,0006
PO-027	AC-22	0,004	0,0001
PO-034	AC-27	0,0108	0,001
PO-036	AC-28	0,004	0,0004
Total		**0,1039**	**0,0128**

El caudal de 104 l/s de capacidad de bombeo que se obtiene para cubrir las necesidades de Agua Potable Rural, sirven a una población total rural de 24.143 habitantes, los cuales utilizan un caudal efectivo de 13 l/s. Esto significa una dotación media de 47 l/hab/día.

Cuadro 7-56
Situación de las APR cuenca Choapa

COMITÉ DE AGUA POTABLE RURAL DE:	COMUNA:	LOCALIDADES QUE COMPONEN COMITÉ:	AÑO INICIO	Nº ARRANQUES:	Nº BENEFICIARIOS:	FUENTE	Capacidad de bombeo l/s	CONSUMO TOTAL Año 2003 (m3/año)	Q consumo real en l/s	% de uso de la capac.de bombeo	Dotación media resultante l/hab/día
LOS POZOS	CANELA	LOS POZOS	2001		212	SONDAJE					
MINCHA NORTE	CANELA	MINCHA NORTE Y LAS BARRANCAS	1990	164	656	NORIA		13530	0,429		56,507
MINCHA SUR	CANELA	MINCHA SUR	SIN AÑO	107	428	SONDAJE	20	7798	0,247	1,236	49,917
HUENTELAUQUEN SUR	CANELA	HUENTELAUQUEN SUR	1992	160	640	NORIA	10				
HUENTELAUQUEN NORTE	CANELA	HUENTELAUQUEN NORTE - AGUA SALADA - PAHUENES	SIN AÑO	288	1152	DRENAJE		25867	0,820		61,518
CARCAMO	ILLAPEL	CÁRCAMO, LA COLONIA.	1978	192	960	SONDAJE	12	15634	0,496	4,131	44,618
HUNTIL	ILLAPEL	HUNTIL SUR	1999	86	430	SONDAJE	6,5	3196	0,101	1,559	20,363
TUNGA NORTE	ILLAPEL	TUNGA NORTE	1983	31	155	SONDAJE	28				
TUNGA SUR	ILLAPEL	TUNGA SUR	1986	90	450	SONDAJE	4				
LAS CAÑAS UNO	ILLAPEL	CAÑAS I	1998	158	790	SONDAJE	6	9757	0,309	5,157	33,837
LAS CAÑAS DOS	ILLAPEL	LAS CAÑAS II, CHOAPA	1998	161	805	SONDAJE	8,5	9793	0,311	3,653	33,329
LIMAHUIDA	ILLAPEL	LIMAHUIDA	1999	76	380	NORIA	5	18191	0,577	11,537	131,154
SOCAVON	ILLAPEL	SOCAVON	2001	83	415	NORIA	3	2313	0,073	2,445	15,270
BATUCO	SALAMANCA	BATUCO	1973	100	500	VERTIENTE					
CUNCUMEN	SALAMANCA	CUNCUMEN	1985	256	1280	SONDAJE	15,35	22394	0,710	4,626	47,932
CHILLEPIN	SALAMANCA	CHILLEPIN	2003	430	2150	SONDAJE	20	63784	2,023	10,113	81,279
SAN AGUSTÍN	SALAMANCA	SAN AGUSTÍN	1992	120	600	SONDAJE	9				

COMITÉ DE AGUA POTABLE RURAL DE:	COMUNA:	LOCALIDADES QUE COMPONEN COMITÉ:	AÑO INICIO	Nº ARRANQUES:	Nº BENEFICIARIOS:	FUENTE	Capacidad de bombeo l/s	CONSUMO TOTAL Año 2003 (m3/año)	Q consumo real en l/s	% de uso de la capac.de bombeo	Dotación media resultante l/hab/día
LLIMPO	SALAMANCA	LLIMPO	1983	118	590	SONDAJE	21	8709	0,276	1,315	40,441
EL QUEÑE	SALAMANCA	EL QUEÑE	1968	23	115	SONDAJE	15	2670	0,085	0,564	63,609
LA HIGUERILLA	SALAMANCA	HIGUERILLA	1970	82	410	SONDAJE	21	7199	0,228	1,087	48,106
EL ARRAYAN	SALAMANCA	EL ARRAYAN, EL PALQUIAL	2000	44	220	SONDAJE	3,3				
PELADEROS	SALAMANCA	CAMISA, PELADEROS	2003	57	285	S/I					
JORQUERA	SALAMANCA	JORQUERA	1983	72	360	SONDAJE	15	8391	0,266	1,774	63,858
QUELEN BAJO	SALAMANCA	QUELEN BAJO	1998	122	610	SONDAJE	18,3	1765	0,340	1,860	7,927
QUELEN ALTO	SALAMANCA	QUELEN ALTO	1970	47	235	SONDAJE	1				
PANGUESILLO	SALAMANCA	PANGUESILLO	1972	191	955	NORIA	6				
TRANQUILLA	SALAMANCA	TRANQUILLA	1985	174	870	SONDAJE	10	24728	0,784	7,841	77,871
COIRON	SALAMANCA	COIRON	1983	144	720	SONDAJE	10	14632	0,464	4,640	55,677
PUNTA NUEVA	SALAMANCA	PUNTA NUEVA	1988	49	245	SONDAJE	10				
ARBOLEDA GRANDE	SALAMANCA	ARBOLEDA GRANDE, CUNLAGUA, EL TEBAL, HUANQUE Y CANCHA BRAVA.	1991	497	2485	SONDAJE (2)	9	31865	1,010	11,227	35,131
TAMBO CENTRO	SALAMANCA	TAMBO CENTRO	1985	330	1650	SONDAJE	10	42419	1,345	13,451	70,434
TAMBO ORIENTE	SALAMANCA	TAMBO ORIENTE, EL FARO	1997	97	485	SONDAJE	10	6161	0,195	1,954	34,803
CHUCHIÑI	SALAMANCA	CHUCHIÑI	1995	139	695	SONDAJE	5,5	17.044	0,540	9,827	67,188
TAHUINCO	SALAMANCA	TAHUINCO	1985	186	930	SONDAJE	12				
COLLIGUAY	SALAMANCA	COLLIGUAY	1984	56	280	SONDAJE	4,3	6464	0,205	4,767	63,249

7.6.3 Uso en minería

El uso del agua en minería no fue posible obtenerlo a través de las entrevistas ni a través de los documentos que las empresas mineras publican. Por este motivo, el diagnóstico del uso del agua por parte de la minería fue realizado mediante criterio de experto. El uso de agua fue estimado en función de la producción, y en función de algunos parámetros internos de eficiencia y de recirculación.

De este modo, se obtuvo las características de uso del agua en la minería que se muestran en el Cuadro 7-57, donde también se indica en qué forma fueron tomadas en cuenta las mineras en la modelación. El detalle de los pozos para uso minero se encuentra en el Anexo Digital II.

Cuadro 7-57
Uso de agua en minería

Nombre	Fuente	Derechos l/s	Uso efectivo l/s	Porcentaje de uso %	Forma de estimación	Modelado como
Los Pelambres	Superficial Choapa	400				Registrado en Estación Choapa en Cuncumén
Los Pelambres	Superficial Cuncumén	700				Registrado en estación Cuncumén arriba canales
Los Pelambres	Subterránea	133				PO-002, AC-03, Uso 3: minero
Los Pelambres	Subterránea	560				Restitución para riego
Total	**Todas**	**1233**	**600**	**49**	**Experto**	

7.6.4 Uso industrial

La información recogida en la SISS permite identificar sólo 3 industrias importantes en Illapel y Salamanca, que se surten de agua potable y descargan al alcantarillado público. Aunque tales industrias no están identificadas, se sabe por lo menos que cumplen con la normativa DS MOP 609/98, que regula los vertidos al alcantarillado.

De hecho, en cuanto a las aguas servidas, en toda la IVª Región hay una sola industria registrada, en la cuenca del Limarí, que no entrega sus aguas al alcantarillado, sino que descarga a un curso superficial. Otras empresas, agroindustrias o industrias faenadoras de alimentos, oficialmente no vierten descargas a cursos superficiales.

En cuanto al uso propiamente tal del agua, a través de las entrevistas de terreno se pudo averiguar sobre dos industrias importantes, para las cuales se estableció que se surten de agua potable y de agua de pozos, que estarían debidamente inscritos. No obstante ello, no fue posible identificar estos derechos en el listado oficial de la DGA, ni otros derechos para uso industrial. Las industrias entrevistadas declaran no tener pérdidas, no generar vertidos al río, usar aguas de enfriamiento sólo para refrigerar maquinaria, y no recircular aguas.

El uso industrial se asumió para las empresas inmobiliarias, que tienen inscritos sus derechos. En ausencia de antecedentes más fidedignos, se asumió en este caso, con fines de modelación, que éstos se usan en un 100%. Los pozos de uso industrial se muestran en el Cuadro 7-58 adjunto.

Cuadro 7-58
Pozos de uso industrial cuenca Choapa

Código Pozo	Acuífero	Capacidad del pozo	Uso efectivo
PO-037	AC-28	0,046	0,046
PO-024	AC-16	0,012	0,012
Total		**0,058**	**0,058**

El detalle de todos los pozos considerados, entre ellos los de uso industrial, se presenta en el Anexo Digital V.

7.7 DIAGNÓSTICO EFICIENCIA ECONÓMICA

Este diagnóstico se presenta para el uso agrícola y para el uso minero. Para el uso industrial no fue posible desarrollar un diagnóstico, por falta de antecedentes sobre los procesos y sus requerimientos de agua, que, por lo demás, son altamente diversos.

Para el uso de agua potable, en el Capítulo 5.7 se señala los principios en base a los cuales la eficiencia de uso del agua potable está garantizada por el cuerpo legal vigente.

En cambio, para la agricultura se presenta un diagnóstico basado en la concepción de algunos indicadores que se presentan en el Capítulo 3, que permiten mostrar la eficiencia económica con que se usa el agua y hacer comparaciones entre cuencas.

También se presenta un ejercicio sobre la eficiencia económica de uso del agua en la minería, basado en algunos parámetros propios de los procesos mineros, conociendo las cantidades producidas y asumiendo diversos precios para la producción.

7.7.1 Eficiencia de uso del agua en agricultura: nivel de cultivos o individual

Para contar con los antecedentes sobre la cuenca del Choapa, se realizó una recopilación de información que permitió caracterizar la eficiencia económica de uso del agua de cada una de las especies principales presentes en la zona. La información fue procesada mediante el mismo método de la cuenca del Elqui, el cual está descrito previamente. A continuación, en los Cuadros 7-59 y 7-60 se presenta la información que describe la situación de la cuenca.

Cuadro 7-59
Estándares medios de rendimientos, precios y costos por hectárea, y eficiencia observada del suelo

Especie	Rendimiento factor suelo unidades/ha/cosecha	Unidades	Precio Medio $/Unidad	Costo Total $/cosecha	Efic. Obs. Suelo o MNAE $/ha/cosecha
Melón	**63,006**	u./ha	48	1,154,072	**1,870,194**
Tomate	**50,864**	Kg/ha	145	5,543,558	**1,818,942**
Hortalizas	**---**	---	---	---	**941,006**
Palto	**13,060**	Kg/ha	360	1,124,251	**806,228**
Chacra	**24,839**	Kg	72	1,144,617	**623,593**
Frutales	**---**	---	---	---	**438,393**
Nogal	**3,500**	Kg/ha	1,100	1,794,156	**426,978**
Alfalfa	**37**	$/Kg	18,000	281,230	**384,770**
Porotos	**13**	qq/ha	40,000	172,690	**327,310**

Especie	Rendimiento factor suelo unidades/ha/cosecha	Unidades	Precio Medio $/Unidad	Costo Total $/cosecha	Efic. Obs. Suelo o MNAE $/ha/cosecha
Vid Pisquera	**25,000**	Kg./ha	70	676,558	**309,531**
Damasco	**35,000**	Kg/ha	100	1,056,609	**273,611**
Maíz	**120**	qq/ha	8,000	713,419	**246,581**
Cereales	**---**	---	---	---	**239,339**
Trigo	**55**	qq/ha	7,750	320,242	**106,098**
Ají	**1,833**	Kg/ha	480	796,511	**83,489**
Pasto Natura	**22**	$/Kg.	12,532	245,210	**32,995**
Otras Prader	**22**	$/Kg.	12,532	245,210	**32,995**

Fuente: elaboración propia en base a datos CIREN, INE, INIA y ODEPA.

Cuadro 7-60
Indicadores de eficiencia observada del suelo y del agua

Especie	Superficie ha	Efic. Obs. Suelo o MNAE $/ha/cosecha	Uso de Agua N Raíz m3/ha/cos.	Total agua usada m3/cosecha	Efic. Obs. Agua $/m3/cosecha
Tomate	145	**1,818,942**	4,236	614,359	**429**
Melón	167	**1,870,194**	5,025	837,869	**372**
Hortalizas	100	**941,006**	3,874	387,228	**243**
Porotos	1,582	**327,310**	3,642	5,762,695	**90**
Palto	151	**806,228**	9,097	1,375,760	**89**
Chacras	228	**623,593**	8,604	1,961,078	**72**
Frutales	800	**438,393**	9,259	7,407,264	**47**
Cereal	87	**239,339**	5,126	445,123	**47**
Nogal	219	**426,978**	9,312	2,042,105	**46**
Vid Pisco	1,041	**309,531**	7,509	7,818,631	**41**
Ají	329	**83,489**	2,361	777,194	**35**
Maíz	939	**246,581**	7,047	6,620,116	**35**
Alfalfa	1,316	**384,770**	11,663	15,352,007	**33**
Damasco	322	**273,611**	9,369	3,020,343	**29**
Trigo	1,096	**106,098**	5,237	5,737,909	**20**
Pasto	5,723	**32,995**	11,663	66,750,965	**3**
Praderas	546	**32,995**	11,663	6,368,115	**3**
Total general	**14,793**				
Area base	**14,238**				
Area nueva	**465**				

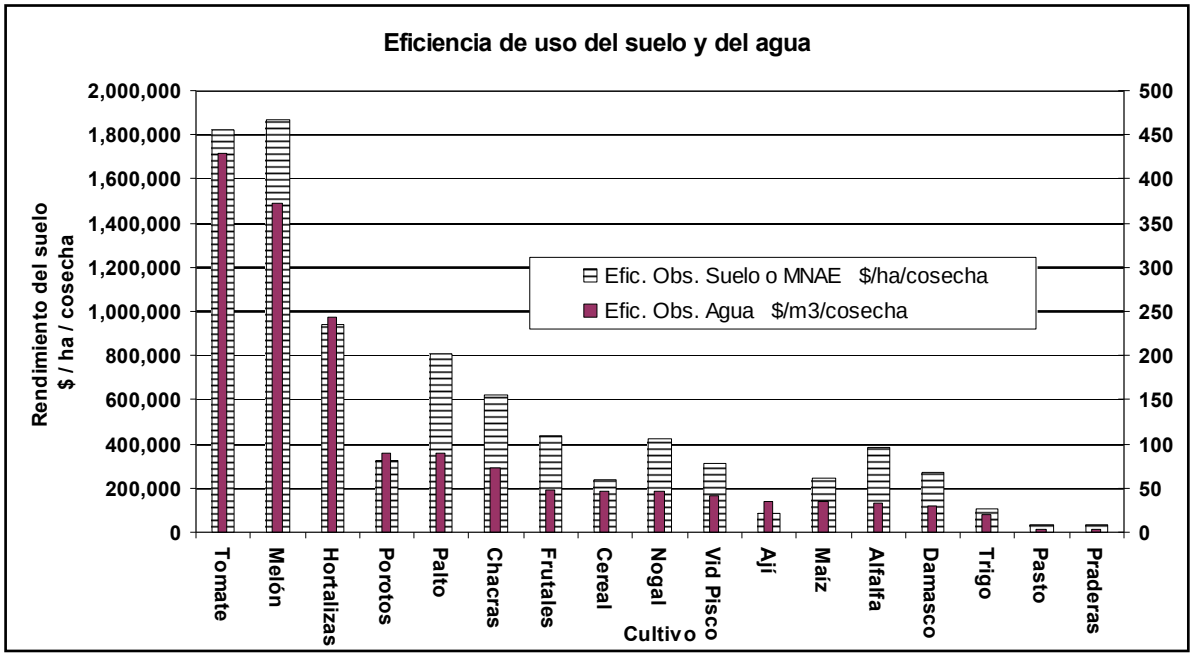
Fuente: elaboración propia en base a datos de terreno y de CIREN, INE, INIA y ODEPA

Tal como en el caso de las otras cuencas, en la cuenca del Choapa la eficiencia de uso del agua es muy variable, pues varía entre 429 y 3 $/m3. Por otro lado, se aprecia que el agua no se aplica mayoritariamente a los cultivos que tienen mayor eficiencia observada de uso del agua,

así como tampoco necesariamente a cultivos que tienen la mayor eficiencia de uso del suelo. Tal como se ha señalado previamente, hay diversos cultivos de baja productividad por hectárea y por m3, que se mantienen por razones culturales, económicas y de escala, que son más determinantes que la eventual optimización de uso del recurso hídrico.

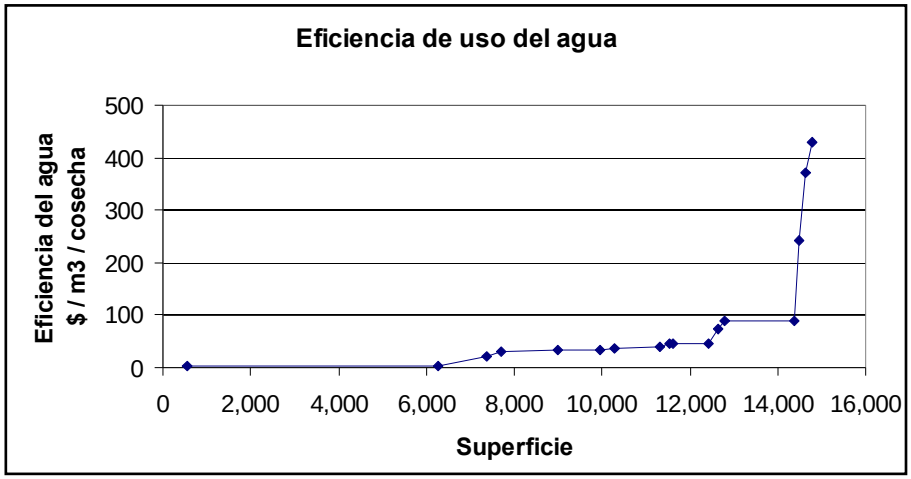
En la Figura 7-30 se presenta una comparación gráfica de la eficiencia de uso del suelo y del agua para los cultivos identificados como los principalmente presentes en la cuenca.

Figura 7-30
Eficiencias de uso del agua y del suelo



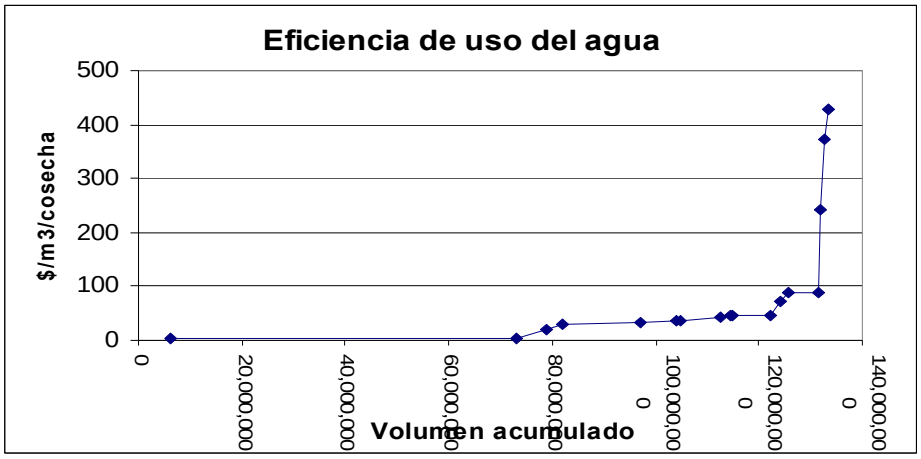
En la Figura 7-31, se presenta la superficie acumulada que genera eficiencias de uso del agua bajo o hasta un determinado valor. En esta figura se puede apreciar que la gran mayoría de la superficie, aproximadamente 13.660 de las 14.072 totales, tienen una eficiencia observada en el uso del agua que no supera los $100 / m3. Es decir, aproximadamente un 97% de la superficie del valle saca poco partido económico al agua. Sólo hay unas 400 hectáreas que obtienen entre 282 y 718 $ por cada m3 aplicado, las cuales son hortalizas. Existe una gran superficie dedicada a cultivos de eficiencia media (4.780 ha con valores entre 77 y 35 $/m3), y además, una muy alta superficie dedicada a especies de muy baja eficiencia (6.269 ha de pastos y praderas que solo generan 2 $/m3). Ello, revela un gran potencial de aumento de eficiencia que puede ser logrado por medio del cambio de cultivo hacia especies más rentables, lo cual tal como se ha señalado previamente está siendo inhibido no sólo por factores hídricos sino por factores sociales y económicos.

Figura 7-31
Eficiencia observada de uso del agua en función de la superficie acumulada



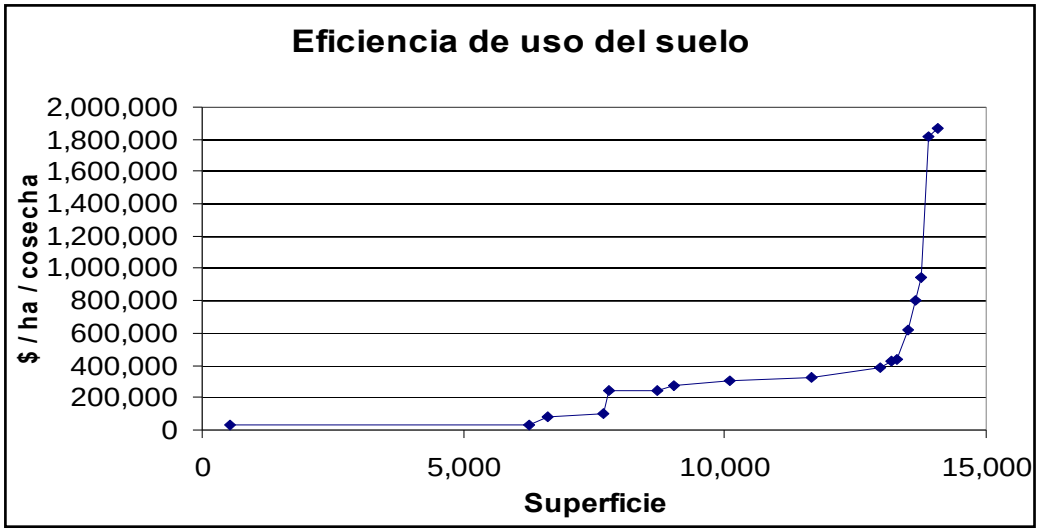
En la Figura 7-32, en la que se acumula el total del agua utilizada en función de la eficiencia observada, se aprecia que más de 124 millones de los 126 millones de m3 totales son destinados a cultivos de eficiencia observada menor que 100 $/m3.

Figura 7-32
Eficiencia observada de uso del agua en función del agua total utilizada



En la Figura 7-33 se muestra gráficamente cuánta superficie presenta eficiencias de uso del suelo por debajo de cierto valor. Se puede observar que es más eficiente el uso del suelo que del agua, puesto que la caída de eficiencia es algo menos marcada. Sin embargo, la gran mayoría de la superficie tiene bajos márgenes netos, 13.281 de las 14.072 ha. (más del 94%) tienen márgenes netos inferiores a 600.000 $/ha/cosecha, mientras que sólo 791 ha. tiene márgenes entre 600.000 y 2.322.902 $/ha/cosecha.

Figura 7-33
Eficiencia observada de uso del suelo en función de la superficie acumulada



7.7.2 Eficiencia de uso del agua en agricultura: nivel medio

Se ha definido una agregación por cultivos que responde a dos escalas de zonificación. Primero, un nivel denominado de "zonas" en el cual se han definido zonas de riego, compuestas por paños individuales. En segundo lugar, se ha definido un nivel de análisis intermedio entre las zonas de riego y el nivel de la cuenca como un todo. Estas son las "mesozonas" (MZ), una escala de análisis intermedio que permite analizar sectores homogéneos y establecer comparaciones. Las mesozonas se establecen en base a una agregación de zonas de riego, según la definición que se presenta en el Cuadro 7-61 a continuación.

Cuadro 7-61
Definición de mesozonas

Mesozona	Zona de Riego	Nombre
MZ 1	ZR 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	Choapa Alto
MZ 2	ZR 11, 12, 13	Chalinga
MZ 3	ZR 18, 19, 20, 21	Illapel Alto
MZ 4	ZR 14, 15, 16, 17	Choapa Medio
MZ 5	ZR 22, 23, 24, 25, 26	Illapel Medio
MZ 6	ZR 27, 28	Choapa Costa

A continuación, se presentan los resultados del procesamiento de los datos para cada una de mesozonas definidas. En primer lugar, en el Cuadro 7-62, se pueden apreciar las superficies de los principales tipos de cultivo por mesozona. En general, en las zonas altas predomina la presencia de frutales y viñas, mientras que en las zonas bajas predominan las hortalizas.

Cuadro 7-62
Superficie de las categorías de cultivo por mesozona (ha)

Categoría	MZ 1	MZ 2	MZ 3	MZ 4	MZ 5	MZ 6	suma
Chacras	76	22	0	88	42	0	228
Cultivos anuales	1255	322	130	1378	392	226	3703
Frutales	579	30	22	597	222	44	1494
Hortalizas	268	23	0	254	196	0	741
Praderas	2246	875	252	2489	1175	548	7585
Vides Viníferas	576	44	2	355	65	0	1042
Total	5000	1316	406	5161	2092	818	14793

Fuente: elaboración propia.

En el Cuadro 7-63 se presenta el resultado de los cálculos de los indicadores para a nivel de mesozonas. Los indicadores antes definidos se muestran en negrillas.

Cuadro 7-63
Indicadores de eficiencia económica de uso del agua según mesozona (MZ)

Indicadores de eficiencia económica	MZ 1	MZ 2	MZ 3	MZ 4	MZ 5	MZ 6
Eficiencia económica observada promedio ($/m3)	34,9	25,4	26,4	39,2	56,9	25,5
% de eficiencia en relación al potencial máximo	5%	3%	4%	6%	9%	5%
Desviación estándar de la eficiencia ($/m3)	58,6	58,0	31,4	69,0	97,4	29,8
Coef. de variación de la eficiencia observada %	167,7%	228,5%	119,0%	176,1%	171,2%	116,7%

En el Cuadro 7-63 se pueden apreciar los estándares de cada zona. En general, se trata en todos los casos de niveles de baja eficiencia observada y baja eficiencia en relación al potencial máximo. El único sector que se diferencia en alguna medida de la media de eficiencia observada es la mesozona 5 (Illapel Medio). Sin embargo, también está muy por debajo de su potencial, lo cual se puede apreciar tanto por el indicador de porcentaje de eficiencia en relación al potencial máximo como por el indicador de coeficiente de variación de la eficiencia observada, los cuales no son significativamente diferentes a los del resto de las mesozonas.

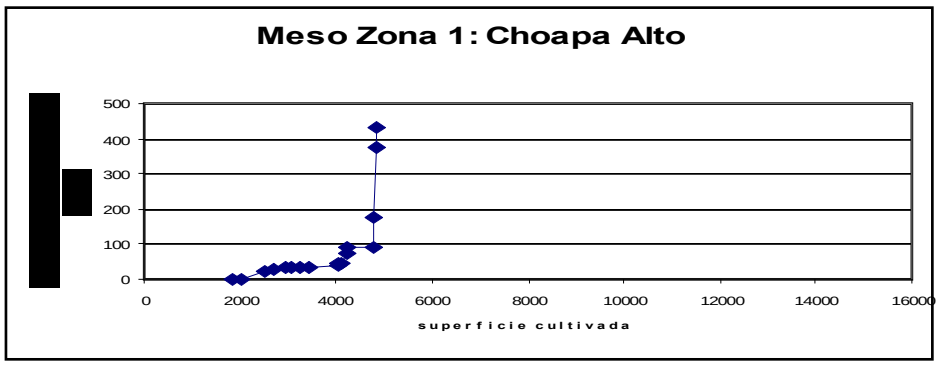
La información de terreno, en general, confirma la situación descrita por los indicadores, en el sentido que en el valle hay un nivel de productividad y eficiencia de uso del recurso hídrico

que es baja tanto en términos absolutos, y también en términos relativos, pues es muy inferior al potencial de la zona. También se aprecia en terreno que no existen zonas particularmente desarrolladas o que escapen a esta situación general.

A continuación, se presentan los gráficos que ilustran la situación de cada una de las mesozonas definidas.

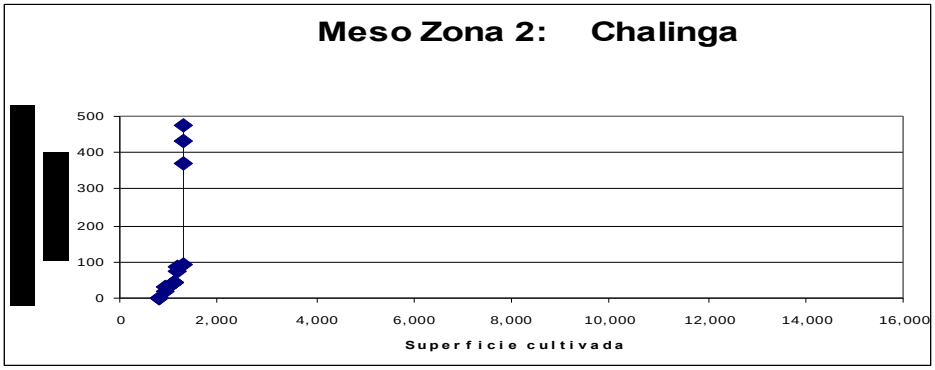
En la Figura 7-34 se puede apreciar que en la mesozona 1 (Choapa Alto) existe una porción muy pequeña de superficie con especies de mayor eficiencia, que son hortalizas y frutales. Todo el resto son cultivos de más baja productividad, con mucha presencia de praderas.

Figura 7-34
Eficiencia observada de uso del agua en función de la superficie acumulada MZ 1



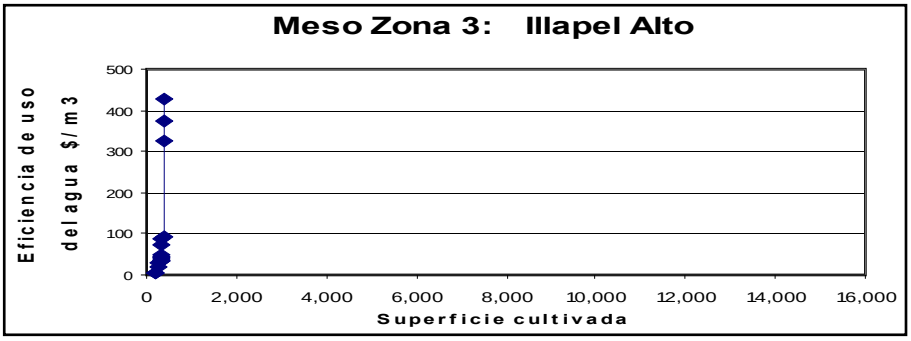
En la Figura 7-35 se puede apreciar que en la mesozona 2 (Chalinga) también existen algunas especies de alta eficiencia, pero su superficie es muy pequeña. Otra pequeña parte de la superficie se destina a especies de eficiencia media, cercana a los 100 $/m3 (paltos y porotos), y una gran parte de la superficie se destina a especies de rendimiento bajo $ 50/m3 (uva de pisco, nogal, damasco, chacras, alfalfa y pastos) Esto mismo lleva a que el coeficiente de eficiencia en relación al potencial máximo sea muy pequeño.

Figura 7-35
Eficiencia de uso del agua en función de la superficie acumulada MZ 2



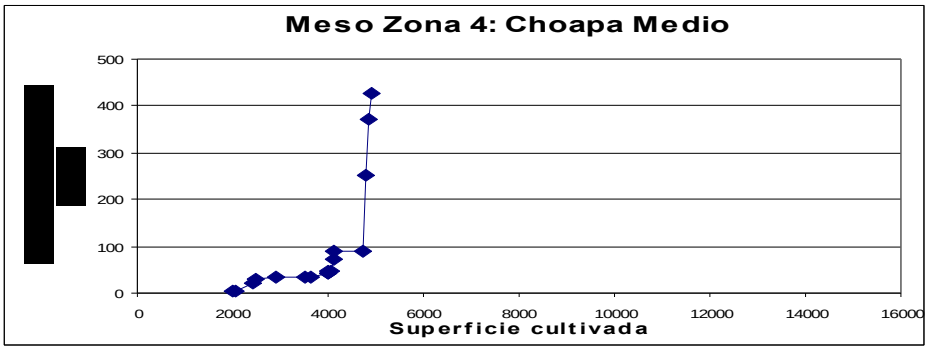
En la Figura 7-36 (MZ 3, Illapel Alto) se puede apreciar una distribución de eficiencia incluso menos homogénea, donde las especies de alta eficiencia prácticamente no están presentes. De hecho, la MZ 3 es la que presenta menor eficiencia observada junto con la mesozona 2.

Figura 7-36
Eficiencia de uso del agua en función de la superficie acumulada MZ 3



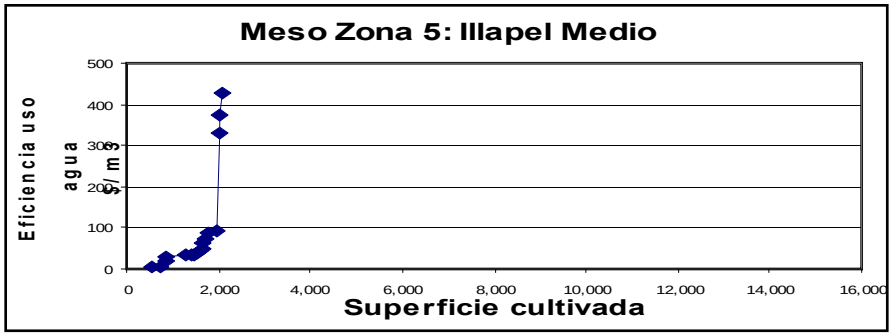
En la Figura 7-37 (MZ 4, Choapa Medio) se puede apreciar una eficiencia observada mayor que en la anterior. Sin embargo, ambos casos están muy lejos de su potencial según los indicadores utilizados.

Figura 7-37
Eficiencia de uso del agua en función de la superficie acumulada MZ 4



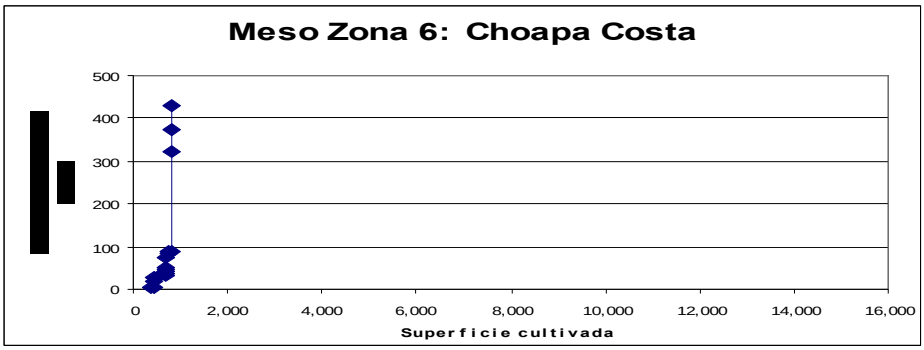
En la Figura 7-38 se observa la distribución de la eficiencia en la mesozona 5 (Illapel Medio). Tal como se ha señalado previamente, éste es el sector de mayor eficiencia observada. Sin embargo, la gran variabilidad de la eficiencia observada se asocia también a una situación aún muy lejana de su potencial. De hecho, el coeficiente de variación es del mismo orden de magnitud que el del resto de las mesozonas.

Figura 7-38
Eficiencia de uso del agua en función de la superficie acumulada MZ 5



Finalmente, en la Figura 7-39 se presentan los datos de la mesozona 6 (Choapa Costa), los cuales son muy similares en apariencia a los de la mesozona 3 (Illapel Alto). De hecho, todos los indicadores cuantitativos de ambas son muy similares en orden de magnitud, a pesar de que se trata de una zona costera (MZ 3) versus una zona interior. Ello muestra que, a diferencia de la cuenca del Elqui, en la cuenca del Choapa no hay un aumento de productividad a medida que se baja hacia la parte costera del valle.

Figura 7-39
Eficiencia de uso del agua en función de la superficie acumulada MZ



7.7.3 Eficiencia de uso del agua en agricultura: nivel global

A continuación, en el Cuadro 7-64, se presentan los indicadores de eficiencia económica de la cuenca del río Choapa a nivel global.

Cuadro 7-64
Indicadores de eficiencia económica nivel global

Eficiencia económica observada promedio ($/m3)	**36,6**
% de eficiencia en relación al potencial máximo	**6%**
Desviación estándar de la eficiencia ($/m3)	63,5
Coeficiente de variación (%)	**173,7%**

Fuente: elaboración propia.

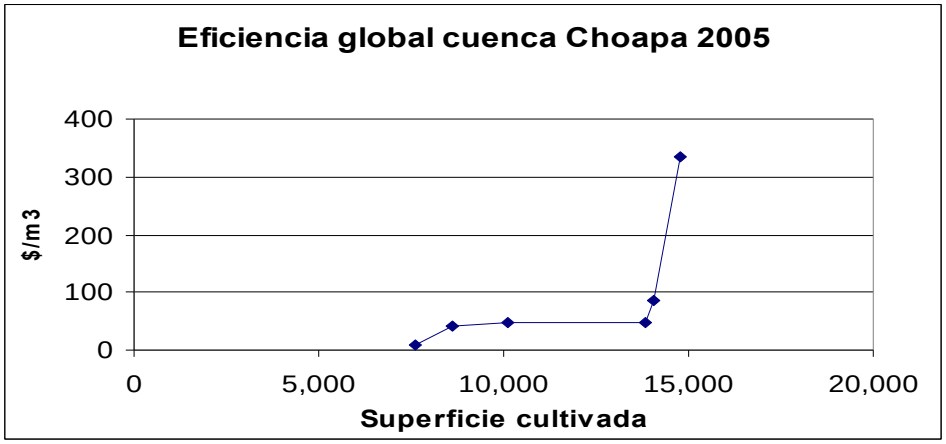
A continuación, en el Cuadro 7-65, se presentan los cálculos de eficiencia económica según un promedio ponderado para las diferentes categorías de cultivo.

Cuadro 7-65
Superficie y eficiencia observada por categoría de cultivo para el valle del río Choapa Año 2005

Categoría	Superficie (Ha.) 2005	Superficie acumulada (ha) 2005	Eficiencia observada media $/m3 2005
Praderas	7,586	7,586	8
Vides Viníferas	1,041	8,627	41
Frutales	1494	10,121	47
Cultivos anuales	3,704	13,825	48
Chacras	228	14,053	85
Hortalizas	741	14,794	336

Fuente: elaboración propia en base a datos CIREN, INE, INIA y ODEPA.

Figura 7-40
Eficiencia observada media del agua por categoría de cultivos
Año 2005



Tal como se puede apreciar en el Cuadro 7-65 y la Figura 7-40, si se calcula la eficiencia observada media de las diferentes categorías de cultivos, las hortalizas y las chacras aparecen como las categorías de mayor eficiencia. En general, las categorías de mayor eficiencia son las menos frecuentes en superficie, comportamiento que es más común donde el desarrollo agrícola está aún en marcha. Es lo contrario de lo que se observa en la cuenca del Elqui, donde los cultivos de mayor eficiencia son al mismo tiempo los que ocupan mayor superficie.

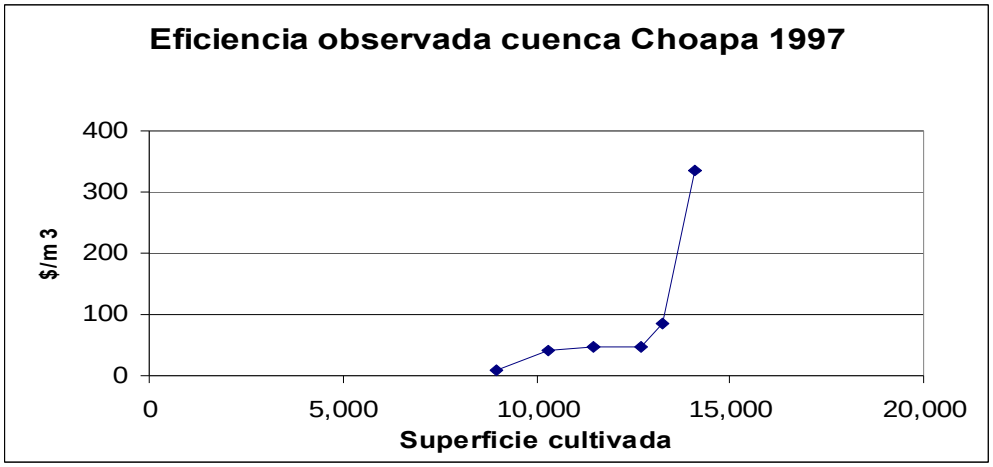
A continuación, se presenta un análisis de los indicadores para dos momentos en el tiempo, con el fin de poder visualizar la tendencia de reasignación de recursos hídricos hacia opciones de mayor valor. Primero, en el Cuadro 7-66 y Figura 7-41 se presenta la misma información que en el Cuadro 7-65 y Figura 7-40, pero con las superficies del año 1997.

Cuadro 7-66
Superficie y eficiencia observada por categoría de cultivo para el valle del río Choapa.
Año 1997

Categoría	Superficie (Ha.)	Superficie acumulada ha 1997	Eficiencia observada media $/m3 2005
Praderas	8.961	8.961	8
Vides Viníferas	1.366	10.327	41
Frutales	1.139	11.466	47
Cultivos anuales	1.247	12.713	48
Chacras	566	13.278	85
Hortalizas	794	14.072	336

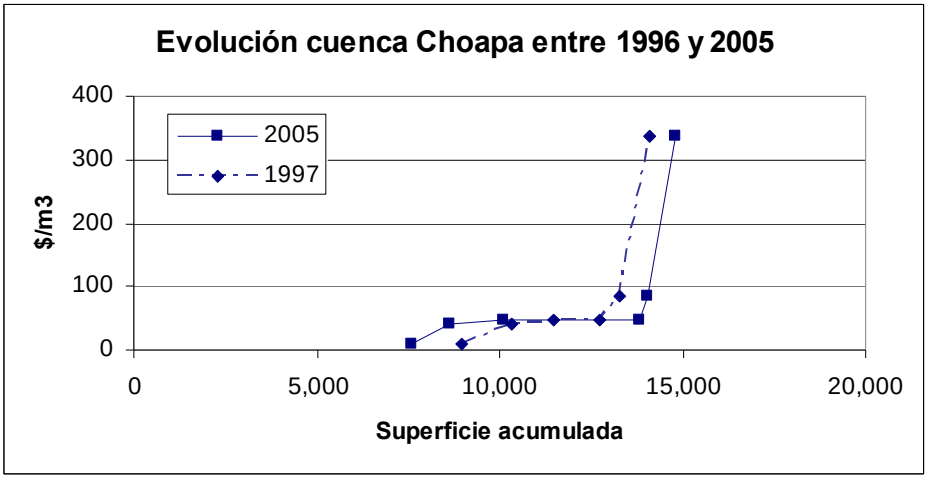
Fuente: elaboración propia en base a datos INE 1997.

Figura 7-41
Eficiencia observada media del agua por categoría de cultivos
Año 1997



El cambio de eficiencia entre las gráficas de las Figuras 7-40 y 7-41 se puede apreciar comparativamente en la Figura 7-42, donde la línea punteada representa la eficiencia con los datos 1996/97 (asumiendo márgenes netos constantes en ambos cortes temporales) y la línea continua representa la eficiencia con los datos actuales. Tal como se puede apreciar, el valor medio de eficiencia aumenta sólo levemente.

Figura 7-41
Eficiencia comparada entre 1997 y 2005 Cuenca Choapa



Al calcular el valor total producido, esto es, multiplicando la superficie de cada categoría por el valor producido por hectárea en cada categoría, el cambio presentado en la Figura 7-42

representa un incremento total de sólo 7,4% de eficiencia económica a nivel del valle producto de un leve aumento de áreas y cambio de cultivos. Como se puede apreciar, el valle se presenta sin tendencia, más bien estable y sin avance, mostrando una situación de relativo estancamiento en comparación con lo que sucede en los otros valles de la Región.

Por lo señalado, es posible que en los próximos años tampoco se produzca un cambio significativo de la eficiencia de uso del recurso hídrico, a no ser que se haya algunos cambios que dinamicen el desarrollo de la zona de manera de poder poner en valor toda su potencialidad.

En la práctica, en el Choapa existe un potencial similar al de los demás valles de la región, que puede ser logrado en la medida que los productores locales logren transformar sus esquemas productivos, y también, en la medida en que se produzca una llegada de actores externos que inviertan en rubros de alta productividad, lo cual termina determinando un cambio por imitación. Desde un punto de vista productivo, a futuro el principal cambio de contexto debiera ser generado por las obras mayores de riego que empezarían a operar (embalse Corrales) o que comenzarían a construirse (embalse El Bato). Sin embargo, para poder aprovechar los potenciales generados por este tipo de infraestructura, resulta fundamental superar las demás limitantes tales como falta de capital, falta de conocimientos técnicos y de gestión, aversión al riesgo implícito en la innovación, entre otros factores.

Dado que, por otro lado, la propiedad rural se encuentra bastante atomizada y sujeta a formas de tenencia que no facilitan su transferencia, como las comunidades agrícolas, es probable que esto actúe como limitante o restricción a la llegada de nuevos actores a la zona.

Y por último, también hay un factor de aislamiento y de lejanía de los potenciales mercados, que dificultan la comercialización.

Por todo lo anterior, resulta difícil predecir la tendencia de desarrollo de la zona.

En definitiva, la cuenca del Choapa se caracteriza por menores niveles de eficiencia que las otras dos cuencas tanto en términos absolutos como respecto a un potencial.

En base a la información recogida en terreno, se puede señalar que en ello están influyendo factores adicionales al recurso hídrico, a pesar de que la falta de disponibilidad y de seguridad de abastecimiento de agua en esta cuenca es especialmente relevante.

En términos más específicos, se ha constatado que en la cuenca del Choapa existen una serie de factores limitantes que rigidizan la situación agropecuaria del valle e impiden el desarrollo. En principio, los principales factores son la falta de capital, la baja escala productiva y la orientación tradicional de la mayoría de los campesinos. Estos factores podrían explicar un contexto totalmente diferente al de los valles de Elqui y Limarí, contexto en el cual, si bien hay un potencial similar, éste no se está buscando activamente por que la población local no cuenta con los medios para hacerlo.

Según se ha dicho antes, un punto relevante es también la falta de seguridad de riego, situación que estaría cambiando gracias a la construcción del Embalse Corrales sobre el estero Camisas, y eventualmente también el Embalse El Bato sobre el río Illapel. Por otro lado, también está la intención de estudiar el acuífero del Choapa, para lo cual este mismo estudio está desarrollando los correspondientes términos de referencia. Todas estas acciones están orientadas a aumentar la seguridad de riego en el valle, de modo de incentivar el establecimiento de cultivos de mayor valor.

Visto desde otra perspectiva, desde el momento en que existe un potencial latente en el valle, lo lógico sería observar la llegada de nuevos actores desde fuera de la cuenca, que aporten capitales y tecnologías para aprovechar esta instancia. Efectivamente, esto está comenzando a ocurrir, probablemente gracias a la materialización del embalse, aunque aún menos que en Elqui o en el Limarí.

Este retardo se debe a diversos factores. Algunos ejemplos de limitantes que han podido ser identificados en esta cuenca son los siguientes: en primer lugar, rigideces en el mercado de la tierra. Por un lado las partes más bajas de los valles están altamente subdivididas y las laderas muchas veces están en manos de sucesiones o comunidades agrícolas. Ello dificulta su traspaso a terceros. La gran atomización de la propiedad rural reduce el atractivo para inversionistas del rubro frutícola, puesto que cada vez es más importante la escala productiva para mantener económicamente atractivo este tipo de actividad.

Adicionalmente, la poca accesibilidad del valle del Choapa también dificulta su desarrollo, puesto que los tiempos y calidad de viaje son bastante limitantes. En particular, el hecho de estar casi tan lejos de la capital regional, La Serena, como de la capital nacional, hace que la zona quede lejos de cualquiera de los dos puntos relevantes para sostener reuniones de negocios o realizar trámites de diversa índole. En esto influye, además, el estándar vial de la cuesta de Cavilolén, que es considerada bastante riesgosa por la población local, y cuyo recorrido toma mucho tiempo.

En general, los productores locales constituyen una población resultante de la reforma agraria, con terrenos y cultura de subsistencia, que tienden a desarrollar una actividad que, más que buscar la alta rentabilidad por medio de la innovación o el desarrollo de actividades agrícolas de punta, busca lograr la seguridad para la sobrevivencia.

Además, como está diagnosticado no sólo en este estudio, sino que también en otros desarrollados anteriormente por consultores que han participado en el equipo del presente estudio[1], lo anterior redunda en que los productores tienden a esperar que vengan compradores e intermediarios foráneos para venderles su producción, más que a participar activamente en la comercialización de sus productos, con lo cual quedan expuestos a obtener rentabilidades muy bajas para sus productos debido a los altos márgenes de comercialización.

[1] ECONAT Consultores Ltda. (2005). Desarrollo de la competitividad sistémica de la agricultura de exportación de la Región de Coquimbo. Contratado por MIDEPLAN.

De hecho, el estudio mencionado realizó un diagnóstico y una proposición de trabajo para el desarrollo de los tres valles eligiendo para cada uno un par de rubros con mayor potencial. Vale la pena mencionar que para el caso de la cuenca del Choapa, una vez consideradas todas las potencialidades y características de la zona, no se propuso una línea de trabajo en hortalizas sino que en nogales y damascos, que no son las especies que mayor valor derivan de la aplicación de agua de riego. Estos resultaron ser los cultivos viables una vez analizadas una serie de condiciones, tanto económicas como sociales e históricas.

Ello revela que cuando se sopesan todos los factores, no se llega directamente a deducir que una zona deba orientarse masivamente a aquellos rubros de mayor eficiencia de uso del recurso hídricos, sino a aquellos que resultan viables dadas las condiciones de desarrollo del elemento humano.

En el mencionado estudio, el desarrollo del rubro hortalicero se propuso para el Valle del Elqui.

Sin perjuicio de lo anterior, sin duda existe un potencial en orientar una mayor superficie que la actual a la producción de especies hortícolas que generan más valor por metro cúbico de agua que las vides de pisco y algunos frutales, y en especial que las praderas. Dado que la superficie actual es muy baja, cualquier incremento de ella pasará a incrementar significativamente la eficiencia.económica en el uso del agua en esta cuenca.

7.7.4 Diagnóstico eficiencia económica del uso del agua en la minería

En la cuenca del Choapa, la principal actividad minera está representada por la Minera Los Pelambres, ubicada a unos 3500 msnm, cerca del límite con Argentina, en el Río Los Pelambres afluente al río Cuncumén. Hay otras empresas mineras menores en cuanto a consumo de agua, activas y paralizadas, distribuidas en toda la cuenca, de hecho se han catastrado 82 tranques de relaves en la cuenca del Choapa. Las activas se concentran el valle de Aucó, y tienen más efecto sobre la calidad del agua que sobre la cantidad, por sus bajos consumos.

Producción

La minera Pelambres tiene actualmente una producción estimada en 120.000 toneladas de mena seca / día. En el futuro, se proyecta una producción de 180.000 tms/día. Asumiendo una producción como la actual, si se acepta una razón de concentración de 44, usual para la zona, se llega a una producción de 2.727 toneladas de concentrado / día.

Ingresos

Hay una fórmula para estimar el ingreso, en función del precio internacional del cobre, la maquila de refinación, la ley del producto concentrado, las pérdidas metalúrgicas y la maquila de fusión conversión, que es la siguiente:

$$VC = 22{,}046 (p – MR) (Lp – Pm) – MFC$$

Los valores que ENAMI aplica para caracterizar los parámetros de esta ecuación, son los siguientes:

MR = 10% de p
Pm = 4 % de la Ley del producto concentrado
MFC = 100 US$ / ton concentrado.

La ley del producto concentrado se encuentra entre 35 y 40%.

Con esto se obtiene los siguientes ingresos por tonelada de concentrado, dependiendo del precio internacional del cobre:

Cuadro 7-67
Ingresos por tonelada de concentrado en función del precio internacional del cobre

P inter. US$/libra	G US$	Lp %	Pm %	MPC US$/ton	VP US$/ton
0.5	0.05	40	1.6	100	281
0.6	0.06	40	1.6	100	357
0.7	0.07	40	1.6	100	433
0.8	0.08	40	1.6	100	510
1	0.1	40	1.6	100	662
2	0.2	40	1.6	100	142
3	0.3	40	1.6	100	219

Costos

Se acepta que el costo de producción varía entre 5 y 12 US$/tonelada de mena seca, lo que para una razón de concentración de 44, equivale a 220 - 528 US$/tonelada de concentrado. Esto significa que dependiendo del costo de producción, ésta recién se justifica a partir de un determinado precio del cobre, que en general debiera ser mayor que 0,8 US$/libra en el mercado internacional.

Uso de agua

El uso de agua para la minería se estima en 2,5 a 3,0 m3 por tonelada de mena seca. Las empresas son algunas más, otras menos eficientes en el reuos y la recirculación del agua. La empresa Pelambres se estima que tiene un uso de agua fresca de 0,43 m3/tonelada de MENA seca. Para una producción de 120.000 toneladas de mena seca al día, esto significa entre un caudal de 597 l/s.

Eficiencia económica de uso del agua

En el siguiente Cuadro 7-68 se muestra la eficiencia de uso del agua en la minería, expresada como US$/m3, para la situación de la minera Los Pelambres, donde la eficiencia física de uso del agua es de 0,43 m//tms.

Cuadro 7-68
Eficiencia de uso del agua en la minería del cobre

P inter. US$/libra	Valor Conc. US$/ton c.	Costo US$/ton c.	Beneficio US$/ton c.	Uso de agua M3/tms	Beneficio US$/m3
0.5	280.95	440	-169	0.43	-8
0.6	357.15	440	-83	0.43	-4
0.7	433.34	440	-7	0.43	-0.4
0.8	509.53	440	70	0.43	4
1	661.91	440	222	0.43	12
2	1,423.82	440	984	0.43	52
3	2,185.73	440	1,746	0.43	92

Se observa que a partir de un precio internacional de 0,8 US$ la libra, cada m3 de agua renta a partir de 3 US$ por m3, lo que en este momento son 1620 $/m3, valor más alto que el rendimiento más alto de los cultivos agrícolas.

Más aún, para los precios actuales del cobre, cercanos a los 3 US$/libra, la rentabilidad de cada m3 de agua alcanza valores de hasta 92 US$, equivalentes a $ 49.600. Este rendimiento económico del agua es totalmente incomparable con el de la agricultura.

Lo anterior muestra el poder comprador de agua que tienen las empresas mineras, especialmente en la actualidad con el alto precio del cobre, y muestra también que no hay criterios económicos que puedan impedir el traspaso del agua desde la agricultura hacia la minería. Sólo podrían aducirse criterios geoestratégicos o geopolíticos para impedir este traspaso, cuando hay demanda.

En todo caso, es bueno que el agricultor que va a entrar en un negocio con alguna empresa minera, conozca la rentabilidad que la minería obtiene con el agua, de modo que participe en la ganancia a través de la transacción, y el negocio sea, como debe ser, una ganancia para ambas partes.

7.8 DIAGNÓSTICO EFICIENCIA ADMINISTRATIVA

Este diagnóstico se efectúa a nivel medio y a nivel global.

7.8.1 Eficiencia administrativa a nivel medio

El diagnóstico preliminar a nivel medio se refiere fundamentalmente al tema administrativo, en los siguientes aspectos:

- flexibilidad del sistema de distribución
- eficiencia en la distribución y administración

Sobre estos temas se indagó en profundidad a través de las entrevistas, de modo que después del análisis cuantitativo presentado a nivel local en base a la modelación, y tomando en cuenta todo lo que se vio en terreno, se puede afirmar lo siguiente:

a) Flexibilidad del sistema de distribución

El sistema de distribución está estructurado en base a canales con bocatomas flexibles, tipo pata de cabra, y marcos aforadores de escurrimiento crítico en las bocatomas de los canales en el río. Estas estructuras están, en general, en buen estado. Al interior de los canales, los sistemas son más variados, de compuertas, marcos partidores o mangueras, en estado variable de conservación.

En relación con la flexibilidad, es necesario señalar que hay muy pocos traslados. En general no se permiten, salvo excepciones, en las que se ha solicitado que los interesados reparen el canal. Se solicitó, por ejemplo, a la Agrícola Norte Verde, que reparara el canal y lo alargara, para llevar sus aguas. Ellos también arriendan aguas, y acumulan las aguas nocturnas, porque en el valle Choapa no se riega de noche. Esto muestra que los grandes proyectos sí son capaces de movilizar derechos y acudir al mercado para obtener las aguas que requieren, aunque los sistemas no sean necesariamente flexibles.

Esto muestra también que la flexibilidad debe estar no sólo en la infraestructura, sino que primero en la mente de las personas, las cuales deben ser educadas en el sistema del mercado del agua. Esto es justamente lo que plantea la JV Choapa, que requieren hacer un seminario en que aprendan sobre el mercado del agua. De esta forma podrán flexibilizar la gestión y adaptar sus sistemas a los nuevos requerimientos.

Por ejemplo, también en esta cuenca, y a raíz del embalse Corrales, ya se habla de una repartición volumétrica de las aguas, lo cual exige mediciones acuciosas e infraestructura en buen estado. Esta repartición volumétrica fomentaría un mercado de aguas del tipo spot, es decir, no transacciones de derechos sino que de volúmenes por temporadas, tal como ocurre en el Limarí.

En todo caso, el mercado de aguas ha sido un tema bastante menor hasta el momento, y sólo ha sido utilizado como sistema de adquisición por los inversionistas más grandes que llegan a la cuenca.

b) Eficiencia en la distribución y administración

En esta cuenca hay tres juntas de vigilancia, que son Choapa, Chalinga e Illapel. Todas han pasado sucesivamente por procesos de fortalecimiento por parte de la DOH. La principal preocupación ha sido la de poner la infraestructura de toma a la altura de las obras del embalse Corrales y futuro El Bato.

Para eso, la DOH prestó asesoría técnica y financiera, y apoyo para postular a la ley de riego de la DOH, de modo que una gran cantidad de bocatomas ha podido ser mejorada, en el sentido de que ya no son solamente compuertas, sino que tienen marcos aforadores, al menos las tomas desde los ríos. Para las tomas que están dentro de los canales, a pesar de que se mejoraron muchas de ellas instalando compuertas metálicas, aún quedan muchas que funcionan simplemente en forma de tacos, con lo cual se dificulta la medición precisa de los caudales.

Dentro de esta cuenca en general se señalan como muy bajos los parámetros de eficiencia de conducción, pues hay muchos canales con grandes pérdidas. Sin embargo, estas pérdidas en gran medida son reaprovechadas aguas abajo, en sectores de riego o recargando acuíferos, o incluso se manifiestan dentro de otro canal que corre más bajo.

No obstante, hay una creciente preocupación por aumentar la eficiencia física de los canales, pues las pérdidas por conducción sumadas a las ineficiencias propias de los métodos de riego, permiten que se riegue con alta seguridad sólo un poco más de un tercio de las áreas que se consideran cultivables. Hasta el momento, sólo han sido reparados los puntos más álgidos dentro de cada canal.

El interés por participar en la gestión y administración de los canales por parte de los usuarios, no es necesariamente muy bajo, pero se observa que es más bajo cuando se trata de usuarios pequeños, que están morosos, y que no acuden a las reuniones para que no se les cobren las cuotas. Por esta razón, en la mayoría de los casos, los usuarios más grandes asumen los costos de las limpias y el control de distribución en los canales.

La administración a nivel medio o de sistemas (canales) no presenta una gran conflictividad en la cuenca. Los problemas crecen o aparecen cuando hay sequías. En tales casos, cobran gran importancia los celadores, y se contratan más celadores, de modo de poder mantener en funcionamiento los sistemas.

7.8.2 Eficiencia administrativa a nivel global

El diagnóstico de la eficiencia administrativa a nivel global incluye los siguientes aspectos:

- capacidad de control para el cumplimiento de las reglas
- forma en que se asigna y reasigna el recurso hídrico en la cuenca (mercado del agua).

a) Capacidad de control para el cumplimiento de las reglas

Las reglas en relación con el agua que interesa analizar en este estudio, son las que se refieren a su gestión cuantitativa, cualitativa y de administración. Dichas reglas son las siguientes

i) las disposiciones del Código de Aguas, en materia de constitución de derechos de agua, de modo que haya respeto por los derechos de terceros y también por el medio ambiente. En esta materia, la institución rectora es la DGA.

ii) las disposiciones del Código de Aguas en materias de distribución y administración de los derechos de agua por parte de las instituciones previstas por el código para ese fin, que son las Juntas de Vigilancia, Asociaciones de Usuarios y Comunidades de Agua

iii) las disposiciones de calidad de aguas, provenientes de:
- la norma de calidad para el agua potable NCH 409 / 1984
- la norma de calidad para el agua de riego y otros usos NCH 1333 / 1978
- la norma de emisión para descargas de riles a sistemas de alcantarillado (revisión del DS MOP Nº 609 / 1998)
- la norma de emisión para descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales DS Nº 90 / 2000 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia
- la norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas DS Nº 46 / 2002 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia

Están en preparación las normas secundarias de las aguas en el río.

En las materias de calidad y emisión, las instituciones rectoras son varias: la Superintendencia de Servicios Sanitarios, el Servicio de Salud, y también el SAG, todos encargados de la fiscalización, según corresponda.

A continuación se comenta la capacidad de control en esta cuenca, de cada una de las instituciones involucradas.

Dirección General de Aguas

En materia de derechos de agua, la institución rectora es la Dirección General de Aguas. De acuerdo con la información recabada en la cuenca, no habría problemas con los derechos

superficiales. Aunque los traslados no son fáciles, y requieren del acuerdo de los regantes participantes de los canales, los usuarios más grandes, del tipo inversionistas, logran hacer las obras y acciones que requieren para perfeccionar los derechos, adecuar la infraestructura y trasladar los derechos.

La Dirección General de Aguas, a través de su jefe provincial, ha destacado algunos problemas acerca de la administración de la cuenca que son los siguientes:

- Hay una gran cantidad de comunidades de agua y asociaciones de canalistas, producto de la reforma, especialmente en el río Illapel, que no se han organizado, y que se inscribirán ahora en virtud de la modificación legal del Código de Aguas. La DGA está empeñada en concluir la formación de estas organizaciones.

- La Dirección General de Aguas está conciente de que hay un problema con la Asociación de Canalistas del Illapel 2ª Sección, que tiene problemas para entenderse y compatibilizarse con la Junta de Vigilancia del río Illapel. Esta Asociación debe ser regularizada.

En relación con los derechos subterráneos, se siente la necesidad de conocer más en profundidad el acuífero de los valles Choapa e Illapel, porque habría una fuente subutilizada.

No hay estudios hidrogeológicos que avalen las medidas que la administración pudiera tomar. Por un lado, los acuíferos, especialmente los del Choapa, están subexplotados, porque la DGA ha otorgado muy pocos derechos subterráneos en esta cuenca. Incluso, considerando que se constituyera una gran cantidad de pequeños derechos que están solicitados en la cuenca del Illapel, aún todos los acuíferos estarían muy subexplotados.

Aunque el acuífero no está oficialmente cerrado, se está analizando la posibilidad de cerrarlo, debido a las sugerencias de los regantes. Los regantes que dependen de las aguas superficiales, creen que una explotación más intensiva de los acuíferos afectaría sus recursos, y quieren solicitar que se cierren los acuíferos.

Esta postura, si bien también es la postura de la DGA, admite dos observaciones:

- en primer lugar, habiendo mucha disponibilidad de recarga, proveniente del riego ineficiente, de los canales ineficientes y, en especial, del lecho del río, como lo muestra el presente estudio, es necesario encontrar el momento en que el acuífero efectivamente reaccionaría con una baja de niveles frente a un aumento de explotación. Para eso se ha aplicado, en este estudio, el modelo MAGIC (Capítulo 8), del cual se desprenden recomendaciones preliminares seguras, y también se recomienda hacer un estudio más acabado del acuífero a través de un modelo Modflow, para el cual se presentan los TR en el Capítulo 11.2.

- en segundo lugar, en el momento en que se vieran afectados los derechos superficiales por un aumento de extracción desde los acuíferos, lo que ocurriría sólo

en sequía, podrían tomarse medidas paliativas en el sentido de la gestión integrada. Sin embargo, la respuesta de no constituir más derechos, y dejar desaprovechado el acuífero, porque se afectan los derechos de terceros, no se justifica en esta cuenca, especialmente en la cuenca del Choapa, debido a las grandes posibilidades de recarga. No es eficiente, desde el punto de vista global, cerrar un acuífero con posibilidades importantes de utilización y recarga, y mantenerlo sin uso, en circunstancias de que podría ser un importante aporte en épocas de sequías o en meses secos. La solución debiera ser constituir derechos subterráneos, condicionados a reponer recursos superficiales si las circunstancias lo ameritan, tal como se hizo con los derechos para Pelambres en el río Totoral, que exigieron pozos de reposición en el valle, para la eventualidad de que el agua superficial escaseara.

Juntas de Vigilancia

Hay tres Juntas de Vigilancia en la cuenca del Choapa: la del Choapa, Chalinga e Illapel. Las tres juntas han sido objeto de programas de fortalecimiento por parte de la Dirección de Obras Hidráulicas, desarrollados entre 1998 y 2003, con la finalidad de prepararlas para el mejor aprovechamiento de la obras embalse Corrales y El Bato.

Junta de Vigilancia del río Choapa

La Junta de Vigilancia del Río Choapa y sus afluentes nace en Noviembre de 1995. La jurisdicción comprende todo el recorrido del Choapa, es decir, 94 canales con derechos permanentes o Comunidades de Aguas y 4 canales con derechos eventuales, desde su nacimiento en la Cordillera de Los Andes hasta la desembocadura en el Pacífico. Sin embargo, la JV históricamente ha funcionado desde Batuco hasta Las Cañas (antes de la confluencia con el Illapel), dejando fuera Canela y el sector que va desde Confluencia hasta Huentelauquén. A los sectores mencionados no se les exige pago de cuotas ni participación en elecciones, ya que desde Peralillo hasta Huentelauquén viven fundamentalmente de recuperaciones, y tienen agua permanentemente. No necesitan la acción de la junta.

Los objetivos del plan de fortalecimiento fueron los siguientes:

- Capacitar a la Junta de Vigilancia y a sus Comunidades de Aguas en el manejo del recurso hídrico y difundir en las escuelas una conciencia ambiental.
- Consolidar el trabajo de las Comunidades de Aguas de la Junta de Vigilancia del Río Choapa, tanto en administración como en derechos y obligaciones de los regantes.Uniformar los canales con los mismos aforadores y apoyar la presentación de proyectos a la ley de fomento del riego.
- Actualizar la lista de regantes y fichas de las Comunidades de Aguas (en complemento al trabajo realizado por la DGA, de regularización de inscripciones de comunidades de agua).
- Aumentar y mejorar la comunicación entre la Junta de Vigilancia y los regantes a través de la entrega de boletines informativos y programas radiales.

- Informar a los regantes respecto del estado de avance de las obras y su futura operación y administración en base al convenio Junta de Vigilancia Río Choapa–DOH.
- Difundir en escuelas el manejo del recurso hídrico, para contribuir a una mayor conciencia en el tema ambiental.
-

El plan de fortalecimiento en la cuenca del Choapa por parte de la DOH ya finalizó, y el fortalecimiento de ahora en adelante quedó en manos de la CNR.

La Junta de Vigilancia del río Choapa quedó dotada de una infraestructura de toma en los canales, consistente en marcos aforadores de escurrimiento crítico, que permiten el adecuado control del río. Un celador mantiene las compuertas enllavadas de acuerdo con el porcentaje de desmarque que se establece cuando hay escasez. La actual directiva es respetada y apreciada en la cuenca, y sus decisiones son aceptadas sin problemas.

Al interior de los canales, para la distribución predial sólo hay 300 compuertas. La mayoría ocupa tacos para sacar regueros pasteros, lo que no permite hacer mediciones precisas ni actuar en el mercado del agua.

En la actualidad, la Junta de Vigilancia del río Choapa tiene convenios con la Fundación Pelambres y con CODESSER, con el objetivo fundamental de lograr mejoramientos agrícolas, lo que requiere inversiones de todo tipo. En primer lugar, se requiere sacar adelante los proyectos de electrificación de varios sectores que ni siquiera cuentan con energía eléctrica, y que por lo tanto no pueden optar a tecnificar el riego. Por otro lado, es necesario hacer inversiones en los canales. Tienen 660 km de canal, de los cuales sólo el 15% está revestido. Tienen grandes pérdidas físicas, contra las cuales tienen que luchar, pues el transporte del agua a través de los canales es muy ineficiente. De acuerdo con la experiencia de esta junta de vigilancia, se puede regar sólo el 30% del área cultivable con adecuada seguridad (el modelo entregó 40%).

En algunos canales, las pérdidas son tan grandes que el agua no llega al final del canal. Esto ocurre, por ejemplo, en el canal Araya.

En cuanto a los desmarques, no se lleva registro. La decisión de desmarque se toma en conjunto con la DGA, en base a los caudales que pasan por Choapa en Cuncumén.

Junta de Vigilancia del río Illapel

En la cuenca del Illapel, también se ha llevado un Plan de Fortalecimiento por parte de la DOH, cuyos objetivos fueron los siguientes:

- Apoyar a la Junta de Vigilancia del Río Illapel y sus afluentes, a lo largo de toda la subcuenca, para asegurar una adecuada gestión del recurso hídrico de la infraestructura de riego asociada a su uso y contribuir a generar los beneficios esperados del proyecto Embalse El Bato, fomentando el desarrollo de la comunidad.
- Difundir una cultura del agua que promueva el uso eficiente del recurso de la subcuenca.

- Promover la vinculación entre las organizaciones de usuarios del agua y otras entidades relevantes para el desarrollo del sector productivo de la cuenca.
- Contribuir a elevar el nivel de integración de los usuarios a las obras que construye el Estado y a su organización, a través del conocimiento de su sistema de riego, su administración y los compromisos y aspectos legales que implican el uso de las obras.
- Capacitar a la Organización de Regantes para requerir el servicio de agua en una obra concesionada.
- Apoyar a la Junta de Vigilancia del Río Illapel en aspectos técnicos, organizativos y legales para desarrollar o mejorar sus capacidades de administración, operación y mantenimiento del sistema de riego.

El fortalecimiento en la cuenca Illapel aún está en marcha, a través de un estudio en curso que está realizando la DOH, llamado "Programa de consolidación de organizaciones de regantes y administración del recurso hídrico embalse Illapel". En su primera etapa, el estudio pretende hacer un diagnóstico de la junta de vigilancia del Illapel y de las organizaciones, para luego dar fortalecimiento en las áreas que se detecten más débiles.

En la actualidad, la Junta de Vigilancia del Illapel está integrada por 3 secciones, con 34 canales en la primera sección, 5 canales en la segunda sección y 7 canales en la tercera sección, más 13 canales en afluentes de la primera sección y 3 canales en afluentes de la segunda sección. Aunque en forma tradicional se ha manejado con turnos de 4 días, 4 días y 2 días para cada una de las tres secciones respectivamente, en la actualidad, y con las mejoras que se han hecho en relación con los marcos, se busca manejar el río en forma conjunta y unitaria.

Esta Junta de Vigilancia tiene algunos problemas con la llamada Asociación de Canalistas del río Illapel, que representa la 2ª sección del río, que alega legalidad y derechos sobre el 75% del río, que según la Junta no le corresponden, sino que sólo 20% del río. Esta situación está pendiente de solución, porque tampoco en la DGA se han tomado medidas definitorias al respecto.

La mayoría de las bocatomas, no todas, tienen estructura de compuertas con marcos aforadores, el resto también es posible de controlar en buena forma, de modo que hay un buen ordenamiento para la repartición y desmarques. El sistema se controla con 2 celadores.
En épocas de sequía, llega poca agua a la tercera sección del río.

Interiormente a cada canal, la administración es mucho más rústica. La gente no paga a la Junta de Vigilancia, sólo pagan para la mantención de su propio canal. Celadores no hay muchos, unos 5 o 6 de los 62 canales funcionan con celador. La situación es más crítica en las secciones 2ª y 3ª, donde el agua superficial se complementa con pozos, los cuales deben regularizar su situación.

De acuerdo con lo informado por el presidente, a pesar de los aspectos que se están tratando de mejorar, el reparto funciona bien.

La JV lleva varios registros acerca de las características de los canales y las políticas de desmarques, pero no los facilitó para el presente estudio. La información de desmarques se obtuvo finalmente de la DGA.

Junta de Vigilancia del río Chalinga

En esta subcuenca, hay una organización propia del río, que no tiene obligación de tributar hacia el río Choapa. En el río Chalinga hay 532 regantes con 1358 acciones, todas permanentes, que se administran en dos secciones. Cada sección recibe la mitad del caudal. El río entra en turno cuando se miden menos de 500 l/s en la estación La Palmilla. Normalmente, el río trae entre 1200 y 1500 l/s.

En la opinión de la directiva, la junta tiene buena capacidad técnica para administrar el río, pero le hacen falta más medios para manejarse mejor. En el río hay celadores, pero no los hay en los canales, salvo algunas excepciones, y sólo en verano.

En cuanto a la eficiencia de conducción, es baja, se estima que hay pérdidas de un 40% aproximadamente en los canales. Algunos pocos usuarios tienen pozos noria, con los que apoyan el riego cuando falta agua en el verano.

Superintendencia de Servicios Sanitarios

La SISS cumple tres roles en relación con el agua:

- por un lado, debe fiscalizar a las empresas prestadoras del servicio sanitario, en relación con la calidad del servicio que reciben los usuarios
- por otro lado, debe controlar el proceso de tarificación del agua potable, alcantarillado y tratamiento, a través de la realización de estudios de tarifas que se llevan en forma paralela a cada empresa prestadora de servicios
- finalmente, tiene la función de supervisar y fiscalizar la emisión de residuos industriales líquidos, tanto los que van al alcantarillado público como los que se emiten hacia medios naturales como ríos, lagos, aguas subterráneas y mar.

El tema de la fiscalización de las empresas sanitarias está enrielado en Chile desde la vigencia de la ley Nº 18.902, del 27 de enero de 1990, que crea la SISS y fija sus atribuciones. Se puede decir que como resultado de esa ley y de todo el contexto legal que rige el sistema sanitario chileno, Chile se encuentra hoy en día a la vanguardia mundial en lo respectivo a coberturas de agua potable urbana, rural, alcantarillado, y prontamente, también en el tratamiento de aguas servidas.

En relación con su rol fiscalizador de calidad y emisiones, consultada la SISS al respecto de las fiscalizaciones que lleva adelante en la cuenca del Choapa, se obtuvo la siguiente información:

i) Plantas de tratamiento de aguas servidas autorizadas:

Las localidades urbanas que cuentan con agua potable urbana, tienen plantas de tratamiento autorizadas por la SISS. Ellas son: Illapel, Cus-Cuz, Salamanca, Canela Alta y Canea Baja. .

La SISS lleva un control sistemático de las emisiones de estas plantas de tratamiento. Al respecto, se presentan algunos resultados correspondientes al año 2003/2004 en el Capítulo 7.9. Las plantas, que son de lagunas aireadas, cumplen con la normativa anterior NCh 1333. y a partir del 3 de Septiembre de 2006, deberán estar cumpliendo la norma DS 90. LA SISS se está preparando para asumir esta nueva fiscalización.

ii) Establecimientos industriales que descargan al alcantarillado

La norma que rige la calidad de las descargas de riles al alcantarillado público, es el DS 609 de 1998, modificado mediante el DS 3592 del 2000.

De acuerdo con esta norma, la entidad fiscalizadora es la empresa sanitaria, sin perjuicio de que también la SISS queda facultada para hacer los controles directos que estime necesario.

Para el presente trabajo, se contó con el listado de los establecimientos industriales sujetos al DS MOP Nº 609 / 98, que son: 1 empresa que entregan sus riles al alcantarillado de Illapel, y 2 empresas que entregan sus riles al alcantarillado de Salamanca.

De acuerdo con los controles directos efectuados por la SISS, la del Illapel no cumple con la norma de emisión, mientras que las de Salamanca sí cumplen.

iii) Establecimientos industriales que descargan a aguas subterráneas

No se tiene conocimiento, en la cuenca del Choapa, de empresas que se encuentren en esta condición.

Todo lo anteriormente señalado muestra que hay un control por parte de la SISS sobre las fuentes puntuales potencialmente contaminantes en la cuenca. Lo que falta es un mayor control por parte de la empresa sanitaria sobre los establecimientos que aún incumplen la normativa DS 609 / 98, y que estarían sobrecargando la descarga al mar.

Servicio de Salud

En el marco de su misión de velar por la salud de la población, el Servicio de Salud de Coquimbo lleva una estadística de calidad de aguas en diversos puntos de los ríos principales que constituyen las cuencas de la IVª Región.

Para el desarrollo del presente estudio se tuvo acceso a las estadísticas que ha llevado dicho servicio en el período 2000-2003, en diversos puntos de la cuenca del Choapa, con énfasis en las aguas provenientes del río Cuncumén. Tales estadísticas se comentan en el Capítulo 7.9

Servicio Agrícola y Ganadero SAG

En relación con el presente trabajo, las labores de las que está encargado el SAG son las siguientes:

- llevar el catastro de vides
- reglamentar y controlar el uso de plaguicidas.

El SAG también administra, en forma conjunta con el INDAP, y paralela a la CNR, fondos para invertir en programas de rehabilitación de suelos degradados.

Como se ha señalado en el Capítulo 5.8, el SAG está encargado del catastro de vides, el cual se presenta en el Anexo Digital VII. Este catastro, sin embargo, actualmente se actualiza sólo a iniciativa de los productores, pues no hay acciones de catastro que el SAG desarrolle en forma planificada.

En relación con su función de control de plaguicidas, descrita con mayor detalle en el Capítulo 5.8, el SAG desarrolló en esta cuenca un programa de detección de fertilizantes y plaguicidas con campañas entre los años 2003 y 2004. El resultado de este estudio se comenta en el Capítulo 7.9

ii) Mercado del agua en la percepción lograda a través de las entrevistas

No hay estudios formales sobre el mercado del agua en esta cuenca Se comenta en este capítulo la percepción lograda sobre el mercado del agua, a través de las entrevistas realizadas a diferentes niveles en la región.

De acuerdo con las entrevistas a autoridades y usuarios, se ha observado que en la cuenca del Choapa el mercado del agua no ha sido una realidad importante hasta el momento. Si bien conceptualmente existe y se pueden comprar acciones tal como en cualquier otra cuenca del país, y localmente esto también ha ocurrido, no es algo común, y no ha habido un gran desarrollo de este mercado La gente tiene interiorizado que el mercado es una posibilidad, pero aún están restringidos en este sentido, por dos razones:

En primer lugar, los derechos de agua del Choapa, en un escenario sin regulación, no habían tenido una seguridad que fuera atractiva para hacer inversiones que valorizaran las tierras y el agua. En tal escenario, la asignación actual, producto de la reforma agraria, en que los derechos de agua están directamente asignados a las tierras que riegan, no fue significativamente cuestionada. Se espera que el embalse Corrales solucione, en parte al menos, el problema de la seguridad de riego. Esto efectivamente ocurre, como se puede constatar en los resultados del escenario base que se presenta en el Capítulo 8.3.

En segundo lugar, y debido a lo anterior, tampoco ha habido gran interés en mejorar la infraestructura de entrega y de medición. La imposibilidad de lograr un mejor aprovechamiento económico de la tierra y del agua, ha mantenido en gran medida las formas tradicionales de uso y de reparto, en las cuales el agua no adquiere un gran valor, y por lo

tanto, no hay incentivo para su medición precisa ni para su traspaso formal. Las entregas, especialmente dentro de los canales, son muy rudimentarias, y no permiten la medición y control preciso que requiere el mercado del agua para operar.

Es necesario señalar que en cuanto a la infraestructura de entrega, en los últimos años la infraestructura de entrega del río ha sido mejorada en forma importante por la DOH, con miras a un mejor aprovechamiento de las aguas del embalse Corrales, a través de las campañas de fortalecimiento de juntas de vigilancia que se han llevado a efecto.

No obstante las dificultades señaladas, y acorde con la legalidad chilena, ha habido compras de acciones por parte de los inversionistas, que han superado todas las barreras tanto estructurales como sociales (permisos, aceptación de traslados por parte de los usuarios), para obtener y trasladar sus derechos.

En cuanto a la visión de futuro que tienen las juntas de vigilancia, especialmente las que serán favorecidas por las grandes obras de riego de la DOH, ellas hablan de tener dotaciones en m3 por acción, igual que en el sistema Paloma del Limarí, con lo cual se supone que podrá agilizarse un mercado de volúmenes por temporadas. Sin embargo, esto exige capacidades de acumulación por parte de los usuarios individuales, por un lado, y una gran precisión en la medición, no sólo a la entrada de cada uno de los canales, sino que también en las compuertas de cada uno de los usuarios.

Esta es una tarea de importancia que habrá que abordar. En la distribución individual hay una gran cantidad de tacos y compuertas de madera, que no favorecen la medición precisa de las aguas. Una excepción la constituye el canal Buzeta, que tiene todas sus compuertas metálicas.

7.9 DIAGNÓSTICO EFICIENCIA AMBIENTAL

El diagnóstico de la eficiencia ambiental de los usos del agua se efectúa desde dos ángulos: en primer lugar, se hace una presentación de la calidad de las aguas de la cuenca, con bastante detalle. Posteriormente, se efectúa la identificación de los usos que imprimen esta calidad a las aguas, y se obtiene por conclusión cuáles de los usos son ambientalmente eficientes y cuáles no. Esta conclusión se presenta en el Capítulo 10.

7.9.1 Antecedentes para el análisis

Para el desarrollo de este tema se contó con dos tipos de información: información base constituida por resultados de monitoreos de calidad, e información elaborada en algunos estudios.

a) Información base

La información base que fue posible recopilar para el desarrollo de este análisis fue la siguiente:

- La información de calidad que genera la DGA en sus estaciones de monitoreo de calidad de aguas. Este monitoreo se realiza desde 1991 en la mayoría de las estaciones, y consiste en mediciones trimestrales de 32 parámetros, de los cuales los primeros 4 se miden en terreno y los restantes en laboratorio:
  - Conductividad específica
  - Temperatura
  - Oxígeno Disuelto
  - pH
  - Bicarbonatos HCO_3
  - Boro B
  - Carbonatos CO3
  - Cianuro CN
  - Cloruros Cl
  - Nitratos NO3
  - Nitritos NO2
  - Aluminio total Al
  - Arsénico total As
  - Cadmio total Cd
  - Calcio disuelto Ca
  - Cobre total Cu
  - Cromo hexavalente total Cr VI
  - Hierro total Fe
  - Litio disuelto Li
  - Magnesio disuelto Mg

- Manganeso total Mn
- Mercurio total Hg
- Molibdeno disuelto Mo
- Níquel total Ni
- Plata total Ag
- Plomo total Pb
- Potasio disuelto K
- Selenio disuelto Se
- Sodio disuelto Na
- Zinc total Zn
- Cobalto total Co
- RAS Razón de adsorción de sodio

Las estaciones de monitoreo de calidad de la DGA, de aguas superficiales y subterráneas, son las siguientes:

- Choapa en Cuncumén
- Cuncumén antes BT canales
- Choapa en Salamanca
- Chalinga en La Palmilla
- Chalinga en BT canal Cunlagua
- Pozo Chuchiñi
- Pozo Limáhuida
- Choapa en Puente Negro
- Illapel en Las Burras
- Pozo Matancilla
- Estero Aucó antes río Illapel
- Illapel en El Peral
- Choapa en Huentelauquén

- La información de calidad obtenida en el Servicio de Salud de Coquimbo, que consiste en un conjunto de datos obtenidos de muestreos realizados desde enero 2003 hasta la fecha, en diversos puntos de los ríos principales de la cuenca del Choapa.

  Los parámetros que ha muestreado el Servicio de Salud, son los siguientes:

  - Cianuro
  - Cobre
  - Hierro
  - Manganeso
  - Total Sólidos Disueltos
  - Sulfatoa
  - Conductividad
  - pH

Las estaciones de muestreo son las siguientes:

- Río Los Pelambres
- Río Cuncumén después Piuquenes (cola Laguna)
- Río Cuncumén en BT Canal Aletón
- Río Cuncumén bajo tranque de relave Los Quillayes
- Río Choapa antes río Cuncumén
- Río Choapa antes Manque
- Río Manque después confluencia estero Talca
- Pozo bajo cortina tranque Quillayes
- Río Choapa en puente Coirón

- La información de calidad obtenida del estudio del SAG 2005, que se comenta entre los antecedentes elaborados.

- La información sobre calidad de riles y aguas servidas de la IVª Región obtenida de la SISS. Esta información es la siguiente:

  - listado de todas las plantas de tratamiento de aguas servidas que operan en la cuenca del Choapa, con información sobre el tipo de planta, fecha de autorización, población saneada a dic 2002 y 2003, caudal promedio tratado en 2004, y normativa a que está afecta cada una de las plantas.

  - listado de las industrias que entregan sus riles al alcantarillado de las diferentes plantas de tratamiento de la empresa Aguas del Valle, y si cumplen o no cumplen con el DS 609 / 98. La SISS fiscaliza esos riles y traspasa la información de las industrias que no cumplen con el DS. 609, a la empresa, para que pueda proceder a aplicar las multas correspondientes.

  - listado de las industrias que entregan sus riles al mar. No hay ninguna de estas industrias en la cuenca del Choapa.

  En la cuenca del Choapa no se registran industrias que descarguen sus efluentes al río. Tampoco hay efluentes directos desde las empresas mineras hacia los ríos, porque las aguas se recirculan. Esto no impide que haya efectos sobre las aguas, a través de las precipitaciones o las aguas subterráneas, que son los efectos que se tratan de pesquisar a través de los muestreos. .

  No hay información en la SISS ni en la DGA sobre empresas que estén descargando riles hacia aguas subterráneas.

b) Información elaborada

Además, se contó con la información elaborada en tres estudios, relacionados con la calidad del agua o con temas medioambientales, para los cuales se presenta una reseña de contenido en el capítulo Revisión de Antecedentes (este capítulo se entregará completo y vaciado a una base

de datos SIG con representación gráfica de la ubicación de cada estudio, en la Etapa Final). Los estudios consultados se presentan a continuación.

- Levantamiento catastral de los tranques de relaves en Chile. Etapa B: Regiones IV, VI y VII. Catastro resumido de los tranques de relaves de la IVª Región, Coquimbo, Ingeniería y Geotecnia Ltda, para Sernageomin, Marzo 1990

- Diagnóstico y Clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del río Choapa. Cade-Idepe para Dirección General de Aguas. Diciembre 2004

El Cuadro 7-69 adjunto muestra los parámetros que se decidió analizar en este estudio, por ser obligatorios para las normas secundarias, o por exceder los límites de la clase de excepción (agua de calidad excelente).

Cuadro 7-69
Parámetros analizados en estudio CADE-IDEPE

PARAMETROS	UNIDAD	FUENTE	MINIMO	MAXIMO	CLASE 0	SELECCIÓN
FISICO-QUÍMICOS						
Conductividad Eléctrica	µS/cm	SAG	67	3370	<600	Obligatorio
DBO_5	mg/L	-	s/i	s/i	<2	Obligatorio
Color Aparente	Pt-Co	GEOTEC	5	50	<16	Si
Oxígeno Disuelto	mg/L	DGA	4.8	14.6	>7.5	Obligatorio
pH	unidad	DGA	6.1	9.5	6.5 - 8.5	Obligatorio
RAS	-	DGA	0.2	2.2	<2.4	No
Sólidos disueltos	mg/L	GEOTEC	150	1110	<400	Si
Sólidos suspendidos	mg/L	GEOTEC	1.6	338.0	<24	Obligatorio
ΔTemperatura	ºC	-	-	-	<0.5	No
INORGÁNICOS						
Amonio	mg/L	-	s/i	s/i	<0.5	No
Cianuro	µg/L	-	s/i	s/i	<4	No
Cloruro	mg/L	DGA	1.1	60.2	<80	No
Fluoruro	mg/L	GEOTEC	<0.2	0.7	<0.8	No
Nitrito	mg/L	GEOTEC	0.004	0.041	<0.05	No
Sulfato	mg/L	SAG	7.2	1352.4	<120	Si
Sulfuro	mg/L	-	s/i	s/i	<0.04	No
ORGANICOS	-	-	s/i	s/i	-	No
ORGANICOS PLAGUICIDAS	-	-	s/i	s/i	-	No
METALES ESENCIALES						
Boro	Mg/l	DGA	0.01	1.22	<0.4	Si
Cobre	µg/L	DGA	<1	1850	<7.2	Si
Cromo total	µg/L	DGA	<10	<10	<8	No
Hierro	Mg/L	DGA	0.01	12.00	<0.8	Si
Manganeso	Mg/L	DGA	0.001	0.840	<0.04	Si
Molibdeno	Mg/L	DGA	0.01	0.10	<0.008	Si
Níquel	µg/L	DGA	<10	<10	<42	No

PARAMETROS	UNIDAD	FUENTE	MINIMO	MAXIMO	CLASE 0	SELECCIÓN
Selenio	µg/L	DGA	<1	<1	<4	No
Zinc	Mg/L	DGA	0.01	0.11	<0.096	Si
METALES NO ESENCIALES						
Aluminio	Mg/L	DGA	0.01	4.30	<0.07	Si
Arsénico	Mg/L	DGA	0.001	0.101	<0.04	Si
Cadmio	µg/L	DGA	<10	<10	<1.8	No
Estaño	µg/L	-	s/i	s/i	<4	No
Mercurio	µg/L	DGA	<1	<1	<0.04	No
Plomo	Mg/L	DGA	<0.01	<0.01	<0.002	No
MiCROBIOLOGICOS						
Coliformes Fecales (NMP)	gérmenes/100 ml	GEOTEC	<2	240	<10	Obligatorio
Coliformes Totales (NMP)	gérmenes/100 ml	-	s/i	s/i	<200	No

- Monitoreo Ambiental de los recursos hídricos de la cuenca del río Choapa – IVª Región. Convenio N° CHL/B7 – 310/IB/96/256. Servicio Agrícola y Ganadero IVª Región. La Serena, Abril de 2005

Este estudio tuvo por objetivo caracterizar la calidad de las aguas del río Choapa. Se caracterizó, a través de 4 mediciones, 1 en cada estación del año, durante los años 2003 y 2004, una serie de parámetros físico-químicos, metales pesados y plaguicidas.

Entre los parámetros físico-químicos se analizó la conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, pH, temperatura, sulfatos y fósforo total. Entre los metales pesados, se amalizó los siguientes: aluminio, cadmio, cromo, cobre, hierro, manganeso, mercurio, molibdeno. Por último, entre los plaguicidas se analizó una cantidad de 23 pesticidas organoclorados, y 9 pesticidas organofosforados.

Los resultados del estudio fueron los siguientes, y se entregan por tramos de río y para cauces afluentes.

Cuadro 7-70
Resultados SAG 2005 para parámetros físico-químicos y metales pesados

TRAMOS	INICIO	TERMINO	Cauce influyente	Parámetros que NO CUMPLEN con NCh 1333 en el cauce	Parámetros que NO CUMPLEN con NCh 1333 en el tramo
1	Confluencia río Totoral con estero Almendrillo	Antes confluencia con río Cuncumén	Totoral y Almendrillo	Todos cumplen	Todos cumplen
2	Confluencia con río Cuncumén	Antes confluencia con estero Manque	Cuncumén	CE-SDT-SO4-Cu-Fe-Mn-Mo	Mo
3	Confluencia con estero Manque	Antes confluencia con estero Quelen	Manque	Todos cumplen	Mo

4	Confluencia con estero Quelen	Antes confluencia con rio Chalinga	Quelen	Todos cumplen	Mo
5	Confluencia con río Chalinga	Antes confluencia con estero Camisas	Chalinga	Fe	Todos cumplen
6	Confluencia con estero Camisas	Antes confluencia con estero Limahuida	Camisas	Todos cumplen	Todos cumplen
7	Confluencia con estero Limahuida	Antes confluencia con rio Illapel	Limahuida	SDT-Mo	SO4
8	Confluencia con río Illapel	Antes confluencia con estero Canela	Illapel	CE-SO4	Todos cumplen
9	Confluencia con estero Canela	Antes confluencia con estero Millahue	Canela	CE-SDT-Fe-Mo	SDT
10	Confluencia con estero Millahue	Fin del río Choapa, desembocadura	Millahue	CE-SDT-SO4-Mn-Mo	CE-SDT-SO4-Mo

Fuente: SAG 2005

Cuadro 7-71
Resultados monitoreo SAG 2005 para pesticidas organoclorados

				M	U	E	S	T	R	A	S	(µ	g/	L)							
POCl	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**
Aldrin	<0,1	<0,1	0,204	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Chlorothalonil	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Trifluralin	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
4,4DDE	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
4,4 DDD	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
4,4 DDT	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Metoxichlor	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Heptacloro epoxido Isomero A	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Heptacloro epoxido Isomero B	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Heptacloro Benceno	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Endrin	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Endosulfan I	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Endosulfan II	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Edrin cetona	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Edrin Aldehido	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Gamma Clordane	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Alfa BHC	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Beta BHC	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Gamma BHC	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Delta BHC	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Diedrin	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Mirex	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Endosulfan Sulfato	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Fuente: SAG 2005

Cuadro 7-72
Resultados SAG 2005 para pesticidas organofosforados

				M	U	E	S	T	R	A	S	(μ	g/	L)							
POF	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Fenitrotion	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Etion	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Pirifos de Metilo	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Metil Paration	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Diazinon	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Malation	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Fenclorofos	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Clorpirifos	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Dimetoato	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

7.9.2 Presentación espacio-temporal de la información disponible

En este subcapítulo se presenta la información de calidad de aguas, sistematizada. Se presenta información sobre parámetros de calidad físico-química general y específica, y bacteriológica.

Este análisis se hace a la luz de las normas de calidad de agua potable y de riego, que son las que más interesan en la región, y son las más fáciles de comprender por el lector. El análisis de efluentes de plantas de tratamiento de aguas servidas se hace a la luz de las normas de emisión, que son relativamente recientes.

La información que se analiza es la información disponible, que proviene de la DGA y del Servicio de Salud de Coquimbo y SAG. También se presentan algunos antecedentes recogidos en el estudio de calidad de CADE-IDEPE.

Se comenta la evolución espacio-temporal de los parámetros desde aguas arriba hacia aguas debajo de la cuenca, recibiendo los afluentes. Los gráficos correspondientes se encuentran en el Informe de la Etapa III y no se incluyen en el presente informe.

NCh 409 / 84:

Entre los 32 parámetros que mide la DGA, no se encuentran los parámetros físicos de turbiedad, color, olor y sabor, que son los que debe tener el agua potable en su entrega después de los tratamientos y cloración, ni los parámetros microbiológicos de coniformes y cloro residual libre. Tampoco se miden el amoníaco, los detergentes, fluoruro, herbicidas organoclorados ni pesticidas organoclorados, de los cuales la norma regula una gran cantidad (14). Lo que sí se mide son los macroiones, y algunos elementos traza o microiones, no todos regulados por las normas, los cuales se comentan a continuación.

Por otro lado, el Servicio de Salud de Coquimbo sólo mide sólidos totales disueltos, algunos metales (cobre, hierro y manganeso), y algunos microelementos (arsénico y cianuro), todos regulados por la norma de agua potable.

El SAG, por su parte, tiene algunas mediciones muy locales y ocasionales, con las que caracterizó el efecto sobre el río de los efluentes de algunas agroindustrias y empresas mineras. Sin embargo, en el intertanto estas empresas ya han contraído compromisos de producción limpia con la COREMA, por lo cual actualmente se informa que ya no descargan vertidos al río.

NCh 1333 of.78

La DGA no mide los parámetros Bario, Berilio, Fluoruros, Sólidos disueltos totales, Vanadio ni Coniformes fecales, que se encuentran en la norma de agua para riego y otros usos.
Los parámetros que mide el Servicio de Salud están todos incluidos en las normas de riego y otros usos, pero hay muchos parámetros más que están limitados por dicha norma, que este servicio no mide.
La norma de agua para riego y otros usos no es la que regula los límites para los agentes activos de herbicidas y pesticidas, sino que esto lo hace la norma de agua potable.

a) Parámetros generales

A continuación se presenta el comportamiento de los parámetros generales de calidad dentro de la cuenca. Los parámetros generales medidos son: la Conductividad, pH, Temperatura y Oxígeno Disuelto.

pH

La norma limita el pH a valores entre 6 y 8,5 para agua potable, y entre 5,5 y 9 para agua de riego.

En la secuencia gráfica adjunta se observa que no hay grandes variaciones de pH a lo largo de la cuenca, ni pH ácido en el afluente Cuncumén, arriba de las bocatomas. En las mediciones del Servicio de Salud, donde hay datos para el río Pelambres, cerca de la minera, los valores de pH son levemente más ácidos, alrededor de 5, pero no bajan de ese valor. .

Todos los afluentes, al llegar al valle, tienen valores de pH dentro de ambas normas. Hacia aguas abajo los valores suben levemente, superando algunos valores la norma de agua potable, y sólo muy rara vez la norma de riego.

Las aguas subterráneas, tanto del Choapa como del Illapel, también presentan valores de pH dentro de las normas.

Conductividad eléctrica

En esta cuenca, la conductividad eléctrica de los ríos principales, en la cabecera, es muy baja, de alrededor de 200 umhos en el Illapel y el Chalinga, y de entre 200 y 400 para el río Choapa.

Hacia aguas abajo, hay un incremento de estos valores, en primer lugar por la entrada del río Cuncumén, que aporta concentraciones entre 400 y 780 umhos/cm.
La conductivitas presenta valores entre 600 y 1200 umhos/cm en el río Pelambres, con un promedio de unos 800 a 900. Sin embargo, con el aporte del río Piuquenes, que trae conductividades algo más bajas, la conductividad baja en el río Cuncumén antes Choapa, a valores entre 400 y 780 umhos/cm.

El agua subterránea, en toda la cuenca, presenta valores más altos de la conductividad, de alrededor de 1000 umhos/cm (rango entre 800 y 1200). En la zona de la cortina del tranque Quillayes, un pozo entrega valores entre 600 y 800 umhos/cm.

La entrada del Cuncumén primero, y algún intercambio con las aguas subterraneas, hacen que el río Choapa llegue al Puente Negro con conductividades de hasta 600 umhos/cm.

Por el lado del río Illapel, el estero Aucó aporta conductividades entre 800 y 1100 umhos/cm, las cuales afectan la calidad original del Illapel. En la estación El Peral, las conductividades son muy variables, entre 200 y 900 umhos/cm, denotando también, probablemente, un efecto de la interacción con las aguas subterráneas aflorantes.

Temperatura

En todos los ríos de cabecera de esta cuenca, las temperaturas varían entre 5 y 20 ºC. En todos, igualmente, las temperaturas hacia aguas abajo crecen, llegando a medirse entre 10 y 25 ºC. En los pozos, la temperatura es más estable, de alrededor de 20ºC siempre. En el estero Aucó, la temperatura es la más variable de todas, entre 10 y 30ºC.

Oxígeno Disuelto

En toda la cuenca, el oxígeno disuelto varía en forma natural entre 8 y 12 mg/l. Solamente son excepciones a este comportamiento, el río Choapa en Salamanca, donde los valores lelgan a bajar hasta 7 mg/l, y los pozos profundos, donde se mide entre 0 y 6 mg/l.

b) Macroiones negativos

Bicarbonatos

Los bicarbonatos no tienen límites normados.

En forma natural, el río Choapa en ninguno de los puntos de muestreo presenta bicarbonatos sobre los 150 mg/l, salvo en Puente Negro, donde llega a superar a veces los 200. En el río

Chalinga, los valores son más bajos, de alrededor de 40 a 50 mg/l, al igual que en las nacientes del río Illapel.

El estero Aucó tiene gran variabilidad, aporta entre 50 y 250 mg/l. El río Illapel en El Peral presenta valores de hasta 300 mg/l. El Choapa en Huentelauquén, sin embargo, no supera los 200 mg/l.

Sólo los pozos profundos presentan consistentemente valores altos, de hasta 300 mg/l.

Carbonatos

Los carbonatos no están normados.

Todo el sistema hídrico de la cuenca del Choapa no presenta carbonatos, hasta y sólo ocasionalmente, en Choapa en Puente Negro, Illapel en El Peral y Choapa en Huentelauquén. También presenta carbonatos, ocasionalmente, el agua de los pozos de Chuchiñi y Limáhuida.

Cloruros

Estos están normados para agua potable y para riego. Los límites son de 250 y 200 mg/l, respectivamente.

Sin embargo, los cloruros no son un tema en esta cuenca. Todas las estaciones de calidad tienen cloruros bajo los 50 mg/l, incluso Choapa en Huentelauquén. Sólo el río Illapel en El Peral, tiene valores que llegan hasta 70 mg/l.

Sulfatos

Diferente es el comportamiento de los sulfatos. La norma limita la presencia de este ion a 250 mg/l tanto para riego como para agua potable.

Si bien el aporte natural de sulfatos en los tres afluentes Choapa, Chalinga e Illapel es muy bajo en esta cuenca, se observan aportes importantes desde el río Cuncumén y el estero Aucó. También tiene una fuerte presencia en las aguas subterráneas del Illapel, no así del Choapa. En la bibliografía consultada, este elemento se asocia directamente a la minería, y a los filones metalogénicos que el agua atravesaría.

En el estero Aucó, los valores se encuentran consistentemente entre 300 y 400 mg/l y llegan hasta 600 mg/l, pero influyen poco sobre el río Illapel, debido a que el caudal aportado es muy bajo.

En cuanto al río Cuncumén, en el río Pelambres se observan valores de hasta 800 mg/l, los que se diluyen algo con los aportes del río Piuquenes, que trae concentraciones muy variables, entre 100 y 500 mg/l. Las aguas del Cuncumén, antes de llegar a juntarse con el Choapa, de

todas formas aportan concentraciones de hasta 600 mg/l. Sin embargo, este aporte se diluye notoriamente al llegar al río Choapa, como se observa en la secuencia gráfica adjunta.

c) Macroiones positivos

Sodio

El sodio está normado para las aguas de riego, con un límite porcentual para la razón de adsorción de sodio de 35%, no así para el agua potable, donde el límite está dado por el sabor.
Al igual que con los cloruros, en esta cuenca hay muy poco sodio. En forma natural, el sodio no supera los 20 mg/l en toda la cuenca. Las excepciones son el agua muestreada en los pozos Chuchiñi y Limáhuida del Choapa, y el estero Aucó, donde el sodio llega a 80 mg/l. Esto afecta algo la estación Illapel en El Peral, pero esto se vuelve a diluir hasta Choapa en Huentelauquén.

De todas formas, el indicador que interesa respecto del sodio es la razón de adsorción de sodio, que no debe superar el 35% para agua de riego. Esta razón se mantiene muy baja, bajo 0,5% en el Choapa y bajo 1% en el Illapel, debido a lo cual este elemento no es materia de análisis en esta cuenca.

Potasio

El potasio no está restringido en las normas de calidad.
En toda la cuenca del Choapa, los contenidos de potasio son en general muy bajos. Desde el Choapa, Illapel y Chalinga, las concentraciones casi siempre son inferiores a 1 mg/l, y siempre inferiores a 4 mg/l. Lo mismo vale para el estero Aucó y el río Cuncumén.

Sólo se mide potasio algo mayor en los pozos, lo que podría explicarse por la forma de muestreo.

Calcio

El contenido de calcio no está limitado por la norma.

Las concentraciones de calcio en esta cuenca son muy bajas, en general no superan los 50 mg/l, y nunca superan los 100 mg/l. El Chalinga y el Illapel son especialmente bajos en calcio, con aportes siempre bajo 40 mg/l.

Las excepciones son el estero Aucó, donde se mide hasta 180 mg/l, y los pozos, en los cuales se mide hasta 200 mg/l.

Magnesio

El contenido de magnesio está limitado a 125 mg/l en la norma para agua potable.

En toda la cuenca, el contenido de Mg es muy bajo. En forma natural, el Mg muestra concentraciones que no superan los 25 mg/l en la cuenca.

Las excepciones son el estero Aucó, que afecta las concentraciones del río Illapel hacia aguas abajo, y los pozos subterráneos, donde las concentraciones llegan a 50 mg/l.

d) Microelementos

Se presenta a continuación el comportamiento de los microelementos normados, para los que hay mediciones disponibles en las fuentes antes señaladas.

Nitratos

Los nitratos están limitados a 10 mg/l en la norma para agua potable.

Los nitratos no son un tema de preocupación en esta cuenca. En forma natural, no sobrepasan los 2,5 mg/l, en general están muy por debajo de ese valor (0,5 mg/l), y no muestran ninguna tendencia de aumento en el tiempo.

Cianuro

El cianuro está limitado por ambas normas a un valor de 0,2 mg/l.

La DGA no mide cianuro en esta cuenca. Tampoco lo midió el SAG en su estudio de 2005. Sólo lo mide el Servicio de Salud, en su programa de rutina. Los resultados de estas mediciones muestran que el cianuro no está presente en la cuenca. En efecto, las concentraciones siempre se encuentran bajo los límites de detección, de 0.05 o 0.1 mg/l.

Boro

El boro es un elemento que está regulado en la norma para riego, por su efecto fitotóxico. El límite es de 0,75 mg/l.

En esta cuenca, el boro está presente, sin embargo siempre se encuentra bajo la concentración límite de la norma, según se observa en la secuencia gráfica.

Aluminio

La norma para riego limita el Aluminio a 5 mg/l.

Los estudios del SAG no detectaron aluminio en concentraciones superiores al límite de la norma. Las mediciones de la DGA muestran que hay aportes ocasionales de aluminio sobre la norma, desde los ríos Choapa e Illapel. La aparición de este elemento no tendría relación con la minería de cobre que se desarrolla en la zona, sino que se debería a la disolución de arcillas (aluminosilicatos) que se producen cuando bajan un poco los valores de pH. Las arcillas, a su

vez, se generan por la intemperización de formaciones rocosas ricas en orto y plagioclasas como piroxeno, que abundan en el país.

Arsénico

En la cuenca del Choapa no hay presencia de arsénico en forma natural ni antropogénica. En ninguna estación se registra la presencia de este elemento en concentraciones superiores a los límites de las normas.

Cadmio

El cadmio es un elemento tóxico, por lo que está restringido por la norma de agua potable y de riego, a concentraciones de 0,01 mg/l.

En la cuenca no se registra la presencia de cadmio en concentraciones por sobre la norma. La excepción la constituye un único momento en que se habría medido cadmio aportado por el río Cuncumén, en una concentración superior a la permitida. Pero en la actualidad, el problema del cadmio no existe.

Cobre

El cobre es un elemento que está más restringido en la norma de riego (0,2 mg/l) que en la norma de agua potable (1 mg/l), pues es un microelemento esencial para el hombre.

Prácticamente no se registra presencia de cobre por sobre los límites de la norma de agua potable en la cuenca, con excepción del río Pelambres y estero Piuquenes, donde las concentraciones son muy altas, en general sobre los 10 mg/l. Sin embargo, hacia aguas abajo, y antes de la junta del Cuncumén con el Choapa, ya esas concentraciones están reducidas a valores bajo 1 mg/l.

Valores por sobre la norma de riego, se observan sólo ocasionalmente en el río Cuncumén, desde donde se influencia el río Choapa hacia aguas abajo de la junta. El río Illapel y el estero Aucó no tienen exceso de cobre por sobre la norma de riego.

El cobre presente en la cuenca se asocia a la presencia de filones mineralizados, y a la presencia de plantas de beneficio de material dispersas por toda la cuenca.

Hierro

El hierro tiene límites de 0,3 mg/l para el agua potable, y de 5 mg/l para el agua de riego.

El hierro tiene una fuerte presencia en la cuenca, en forma natural pero también intensificada a través de la actividad antrópica minera. El monitoreo de la DGA manifiesta contenidos generalmente por sobre la norma de agua potable, pero no de riego, en los ríos Choapa, Illapel

bajo y Chalinga. El estudio del SAG detectó exceso de hierro, incluso por sobre la norma de riego, en los ríos Cuncumén, Chalinga y estero Aucó.

El monitoreo del Servicio de Salud muestra grandes concentraciones de hierro (hasta 30 mg/l), en el río Pelambres, no así en el estero Piuquenes. El río Cuncumén, bajo el tranque de relaves, tiene valores cercanos a la norma de agua potable.
La presencia de hierro en la cuenca se asocia a la litología de la corteza terrestre, en conjunto con procesos de lixiviación, los cuales se intensifican en los materiales de descarte de la minería.

Litio

El litio está restringido por la norma de riego por su toxicidad para los cítricos, a una concentración de 0,075 lmg/l.

En la cuenca, sólo hay dos mediciones, en julio y octubre de 1995. En ninguno de los puntos de medición, se detectó la presencia de litio en esta cuenca.

Manganeso

Los límites de las normas son de 0,1 mg/l para el agua potable y 0,2 mg/l para riego.

La presencia del manganeso se asocia a dos causas: el aporte desde la litología de alta cordillera, y las actividades mineras antrópicas. Se observan concentraciones muy altas de manganeso (frecuentemente hasta 1,3 mg/l), en el río Pelambres. En el río Piuquenes son algo menores, llegando hasta 0,5 mg/l, siempre sobre ambas normas. Sin embargo, antes de su confluencia con el Choapa, los valores se encuentran entre 0,05 y 0,3º mg/l, con excepciones de valores mayores.

Desde las otras cuencas aportantes, el manganeso tiene generalmente en concentraciones intermedias entre ambas normas, de modo que es frecuente que se incumpla la norma de agua potable. Ocasionalmente también se incumple la norma de riego.

Las aguas subterráneas, sin embargo, de Illapel, si bien también se mencionan como causa, no muestran concentraciones de este elemento por sobre la norma de agua potable.

Molibdeno

Está limitado a 0,01 mg/l en el agua de riego.

El molibdeno aparece en todos los cursos aportantes a esta cuenca, en forma natural, pero sólo ocasionalmente en concentraciones sobre la norma. Su presencia se asocia a los filones metalogénicos, pues es un mineral asociado al cobre, pero también a la actividad minera antrópica.

Mercurio

El mercurio es tóxico y está limitado por la norma de agua potable a un valor de 0,001 mg/l. Valores sobre la norma de Hg se han registrado ocasionalmente, en la parte alta de todos los afluentes naturales, según se aprecia en la secuencia gráfica adjunta.

El Servicio de Salud no analiza mercurio más que en la cuenca del Illapel, pero no ha medido contenidos sobre los límites de detección.

El estudio del SAG no pesquisó mercurio en concentraciones sobre la norma, en ninguna parte de la cuneca.

Otros microelementos

Otros microelementos limitados por las normas, como selenio, plata, plomo, níquel, cromo, zinc y cobalto, no presentan valores superiores a los límites.

e) Parámetros microbiológicos

La SISS lleva un control sistemático de las emisiones de las plantas de tratamiento. Las emisiones de aguas servidas se rigen por diversas normativas. Así, por ejemplo, a las lagunas aireadas de Illapel y Salamanca, y a la planta de lodos activados de Canela Baja, se aplica la NCh 1333, que regula la calidad del agua para diferentes usos. Por otro lado, para la planta de lodos activados de Canela Alta, se aplica el DS Nº 90 / 2000, Tabla Nº 1, que establece límites máximos permitidos en descargas de residuos líquidos a cuerpos de aguas marinas o fluviales.

Para todas las empresas que no tienen planes de desarrollo aprobados a la entrada de vigencia de la norma, el plazo de cumplimiento de esta normativa es septiembre de 2006. La empresa Aguas del Valle tiene plena conciencia de esta situación, que la obliga a cumplir con la normativa del DS 90 a más tardar, en todos los puntos de descarga, en Septiembre de 2006.

Lo anteriormente señalado tiene importancia en el sentido de que en Septiembre de 2006, todas las entregas de aguas servidas deberán estar cumpliendo la norma DS 90.

Al respecto, se presentan aquí algunos resultados de coniformes fecales en las emisiones correspondientes al año 2003/2004. Las mediciones se realizan sobre los afluentes y efluentes de la planta de tratamiento, y 20 m aguas arriba y 100 m aguas abajo de la entrega al cauce. En la cuenca del Choapa se ha observado lo siguiente:

Los afluentes a la planta de Salamanca presentan entre 8 y 50 millones de coniformes fecales como NMP/100 ml. Los efluentes presentan siempre bajo 100, pero ocasionalmente hasta 900 CF, lo que muestra que el efluente tiene calidad de riego. Sorprende observar que con alguna frecuencia, el río Choapa tanto aguas arriba como aguas abajo de la descarga presenta valores de hasta 3000 CF/100 ml, lo que supera la norma de riego.

En cuanto a la descarga de Illapel, se observa lo siguiente: los afluentes a la planta tienen entre 3 y 50 millones de CF en 100 ml, pero los efluentes en general no suben de 10, con una sola excepción que llegó a 900. De todas formas, los efluentes tienen calidad de agua para riego. En este río, sólo en una oportunidad se midió exceso de coliformes fecales en un punto aguas abajo de la descarga (16000), mientras que las descarga y el punto aguas arriba no tenían presencia significativa de coliformes. Esto hace pensar que el muestreo tomó una situación muy localizada.

En la planta de Cuz-Cuz se observa un comportamiento totalmente similar, con la diferencia que el río aguas arriba y abajo de la descarga presenta siempre calidad de agua para riego.

Para las plantas de Canela Alta y Baja, no hay información acerca de los afluentes. Pero sí hay información sobre los efluentes y el estero, y siempre el agua tiene buena calidad para el uso de riego. Nunca se superan los 1000 CF como NMP/100 ml.

f) Plaguicidas y fertilizantes

De acuerdo con lo anteriormente señalado, las mediciones de nitratos que lleva la DGA en forma sistemática, muestran que no hay contaminación de nitratos provenientes de ninguna fuente, ni tendencia de aumento en las aguas muestreadas.

El estudio SAG 2005 analiza la presencia de plaguicidas en las aguas del Choapa, con el resultado de que en ningún punto de muestreo, en ninguna estación del año, se detectó la presencia de plaguicidas en el agua, con la excepción de una muestra del canal Molino Los Ranchos, en Chillepín, donde en una ocasión se detectó Aldrin en una concentración de 0,2 ug/l. LA concentración máxima recomendada para agua potable es de 0,03 ug/l.

Consultada la empresa Aguas del Valle acerca de los resultados de aguas crudas, se informó que no se detectaba la presencia de plaguicidas ni fertilizantes en esta agua. Se solicitó los resultados de los análisis, pero no fue posible obtenerlos.

CAPÍTULO 8 OPERACIÓN MODELOS MAGIC

8.1 OPERACIÓN MODELO MAGIC-ELQUI

La operación del modelo tuvo por objetivo probar diversas acciones sobre el sistema, para analizar sus efectos, estudiar su viabilidad técnica, y luego someter las acciones viables a una evaluación económica.

A continuación se presentan y se describen los escenarios que se probaron con el modelo de simulación. En primer lugar se definió un escenario de base, llamado Base 1, que es el que se usa como referencia para evaluar económicamente las soluciones propuestas. Sobre ese escenario se realizaron posteriormente los cambios que se querían analizar, lo que dio lugar a los demás escenarios.

Los cambios dicen relación con los siguientes aspectos:
- entrega según demandas en vez de desmarques
- cambio en el número de horas de riego
- liberación de los acuíferos, para permitir una explotación que va más allá de los derechos actuales
- tecnificación del riego
- entubamiento de canales
- aumento de tranques nocturnos
- aumento de áreas.

8.1.1 Definición de escenarios corridos

En total se configuraron 19 escenarios más, para analizar el efecto hídrico de las medidas que se podrían recomendar. De todos ellos, se presenta aquí una selección que muestra lo que ocurre con el sistema al cambiar algunas condiciones. Los escenarios se configuraron de la siguiente manera:

a) Escenario Base 1
- se amplió la estadística de análisis a 15 años, incluyendo períodos de sequía y húmedos
- se procede a solicitar en las bocatomas de los canales solamente las demandas, ya sean provenientes de riego o de otros usos. No se opera por desmarques, sino por demanda.
- se mantienen las restricciones a la explotación de los acuíferos, que sólo pueden ser explotados a través de los derechos existentes

- se mantienen las condiciones actuales de tecnificación del riego
- se mantienen las condiciones actuales de ineficiencia de conducción

b) Escenario Base 1.1 sobre Base 1

- sobre el escenario Base 1 se modifican las horas de riego, reduciéndolas de 20 a 10 horas.

c) Escenario Operación 1 sobre Base 1

- sobre el escenario Base 1 se cambió la entrega desde el embalse La Laguna, haciéndola igual a la entrada, y sólo acumulando agua cuando el caudal entrante es mayor que 2,5 m3/s.

d) Escenario Operación 2 sobre Base 1

- sobre el escenario Base 1 se liberó el uso de los acuíferos, dándoles una capacidad de bombeo de 10 m3/s a cada uno, salvo al acuífero 10 (Santa Gracia), que quedó en sus derechos de 203 l/s. Los acuíferos 3 y 6 no tienen pozos.

e) Escenario Operación 2.2 sobre Base 1

- sobre el escenario Base 1 se aumenta la eficiencia de conducción de los canales que riegan las zonas 2, 9, 10, 11 y 12, mediante entubamiento (eficiencia de conducción igual a 1). Estos canales corresponden al Estero Derecho y a la zona bajo el embalse Puclaro. Los demás canales no se mejoran porque las zonas correspondientes no presentan problemas de déficit.

f) Escenario Operación 2.3 sobre Base 1

- sobre el escenario Base 1 se tecnifica el riego de las zonas con déficit: 2, 9 y 12. También hay déficit en las zonas 10 y 11, Santa Gracia y Pan de Azúcar. Sin embargo, en tales zonas, que no cuentan con un cauce propio, se probó que la tecnificación del riego perjudica seriamente los acuíferos, al desaparecer una de sus recargas más importantes que es la percolación desde el riego. Por eso en ningún escenario de los que en adelante se presentan, se tecnifica el riego de estas zonas.

g) Escenario Operación 2.4 sobre Base 1

- sobre el escenario Base 1 se multiplica la cantidad de tranques nocturnos por 3 en las zonas 2, 9, 10, 11 y 12. (esta cifra proviene de la capacidad de regulación nocturnos que hay en la cuenca del Limarí, que llega a unos 200 m3/ha en promedio. En el Elqui, sólo llega a unos 60 m3/ha en promedio, por lo que se prueba este escenario con una capacidad similar a las del Limarí). En las zonas donde no hay tranques, se introducen, con una capacidad de 200 m3/ha.

h) Escenario Operación 3 sobre Base 1

- sobre el escenario Base 1, se amplían las áreas de riego, como se muestra en el Cuadro 8-1. En cuanto a los tipos de cultivo que ocuparán las nuevas áreas, se

estimó que serían 50% de paltos y 50% de cítricos en todos los sectores. El método de riego asumido para todas las áreas nuevas es el goteo. Los únicos sectores que no cambian de áreas son los sectores 2 (Estero Derecho), 10 (Santa Gracia) y 12 (Costa), los dos primeros porque ya tienen problemas de abastecimiento en las condiciones actuales de área, y el último, debido al aumento de la urbanización. La zona 5 (quebrada de Paihuano), que no está incluida en la modelación, tampoco sufre modificaciones de área.

Cuadro 8-1
Cambios en las áreas de cultivo escenario operación 3 hasta 7.2 y 7.4

Zona de riego	Area total de riego Base 1	Porc de aumento	Aumento de área	Area total Operación 3 a 7.2 y 7.4
	Ha	%	Ha	Ha
ZR-01	758	60	455	1213
ZR-02	891	0	0	891
ZR-03	419	60	251	670
ZR-04	222	100	222	444
ZR-06	286	100	286	572
ZR-07	2949	70	2064	5013
ZR-08	292	60	175	467
ZR-09	6015	70	4211	10226
ZR-10	1352	0	0	1352
ZR-11	7009	15	1051	8060
ZR-12	3035	0	0	3035
ZR-05	212		0	212
Total	**23440**	**37**	**8716**	**32156**

j) Escenario Operación 4 sobre Operación 3

- con las áreas amplificadas, se liberan todos los acuíferos, salvo el acuífero 10, que queda en 300 l/s. Los acuíferos 3 y 6 siguen sin pozos.

k) Escenario Operación 4.1 sobre Operación 3

- con las áreas amplificadas, se liberan los acuíferos, salvo los acuíferos 2, 10 y 11, que quedan con su capacidad original de derechos constituidos para riego (14 l/s, 203 y 2.815 l/s, respectivamente)

l) Escenario Operación 5 sobre Operación 3

- con las áreas amplificadas, se aumenta la eficiencia de conducción de todos los canales a 1 (supone entubamiento).

m) Escenario Operación 5.1 sobre Operación 3

- con las áreas amplificadas, se aumenta la eficiencia de conducción solamente de los canales que alimentan las zonas 2, 3, 8, 9, 10, 11, 12. Las demás zonas están bien surtidas y no tomarían esta medida para disponer de más aguas.

n) Escenario Operación 6.1 sobre Operación 3

- con las áreas amplificadas, se tecnifican los sectores de riego antiguos no tecnificados, salvo en las zonas altas 1, 4, 6, 7, 10 y 11, que quedan como en Base 1. Las zonas altas no se tecnifican más, porque no lo necesitan, y las zonas 10 y 11 no se tecnifican porque su tecnificación total no es viable.

o) Escenario Operación 7.1 sobre Operación 3

- con las áreas amplificadas, se multiplica por 3 la capacidad de los tranques nocturnos de las zonas 2, 3, 8, 9, 10, 11 y 12, y se incluye una capacidad de regulación nocturna de 200 m3/ha en las zonas donde no hay tranques.

p) Escenario Operación 7.2 sobre Operación 3

- áreas amplificadas del escenario operación 3
- entubamiento canales bajo embalse Puclaro, todos los sectores salvo 1, 3, 4, 6, 7
- tecnificación de riego sectores 2, 8, 9, 12
- derechos subterráneos de riego limitados sólo en acuíferos 2 (100 l/s), 3 (120 l/s), 7 (1412 l/s), 10 (203 l/s) y 11 (2814 l/s), los demás acuíferos libres (1, 4, 6, 8, 9, 12).

.

q) Escenario Operación 7.3 sobre Operación 7.2

- ampliación de áreas en sectores altos según Cuadro 8-2

Cuadro 8-2
Aumento de áreas Escenario Operación 7.3

Zona de riego	Area total de riego	Porc de aumento	Área total asumida
	Ha	%	Ha
ZR-01	758	182	2136
ZR-02	891	0	891
ZR-03	419	142	1016
ZR-04	222	458	1239
ZR-06	286	489	1685
ZR-07	2949	70	5013
ZR-08	292	60	467
ZR-09	6015	70	10226
ZR-10	1352	0	1352
ZR-11	7009	15	8060
ZR-12	3035	0	3035
ZR-05	212		212
Total	**23440**	**51**	**35332**

r) Escenario Operación 7.4 sobre Operación 7.2

- canales de todos los sectores bajo embalse Puclaro son entubados y parten desde el mismo embalse, evitando pérdidas dentro del cauce.

8.1.2 Análisis de viabilidad de los escenarios corridos

Para cada una de las corridas se realizó el mismo análisis exhaustivo del comportamiento de todas las variables de interés que se observaron en el escenario de calibración, y que fueron:

- grado de utilización del recurso en cada una de las zonas de riego
- volúmenes de embalses y acuíferos
- bombeos resultantes de las demandas no cubiertas por las aguas superficiales ni embalses,
- comportamiento de los acuíferos frente a los bombeos resultantes
- porcentaje de satisfacción de las demandas en las zonas de riego
- caudales de retorno
- caudales superficiales en nodos
- salidas al mar
- tabla resumen del escenario

Se observó especialmente el comportamiento de los acuíferos y el escurrimiento superficial en los nodos, para decidir sobre la viabilidad técnica o hídrica de cada escenario.

El resultado de este análisis fue el siguiente para los diferentes escenarios.

a) Escenario Base 1

En relación con el escenario de calibración, para este escenario se desprende con claridad que entregando caudales más a la medida de las demandas, en especial reduciendo las entregas innecesarias en invierno, aumenta la eficiencia global de uso, disminuye el agua entregada por canales a las zonas de riego, disminuyen los retornos, pero sin embargo aumenta la demanda suplida, de 90% en el escenario de calibración, a 94% en el escenario base, porque haciendo una entrega más racional, hay más agua disponible en los momentos más críticos.

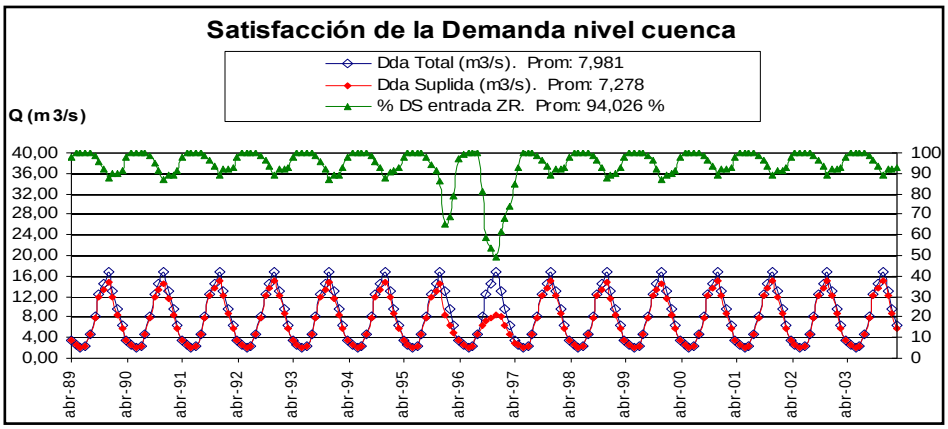
En este escenario, se ha racionalizado al máximo las entregas en las bocatomas de los canales. Se entrega solamente en los momentos y de acuerdo a los montos de agua requeridos. Este hecho presupone una flexibilidad total en la asignación de los derechos, de modo que las aguas se entregan hacia donde hay demandas. Sin embargo, también presupone que los derechos de aguas arriba del embalse no tienen un uso intensivo, y sus ineficiencias de uso dan lugar a la alimentación de los derechos de más abajo.

La demanda a nivel raíz de la situación actual (4,8 m3/s) se cubrió en el escenario de calibración, con un caudal captado en bocatoma de 12 m3/s, mientras que en el presente escenario requiere un caudal en bocatoma de sólo 8,2 m3/s. Si bien el caudal sobrante vuelve al sistema, tanto en el modelo como en la realidad, aguas abajo del embalse las entregas que no se usan, se pierden en el mar.

Como se puede observar, en este escenario, el embalse Puclaro, operado de acuerdo con las demandas, deja toda la cuenca con más de un 85% de seguridad de riego (Figura 8-1), con excepción de la zona 10 (Santa Gracia), que sigue con algunos problemas durante el estiaje. En

esa zona, el acuífero es limitado, y tampoco permite el aumento de su explotación. Sin embargo, esta zona podría recibir más aguas superficiales a través de una negociación con la zona 9.

Figura 8-1
Porcentaje de satisfacción de la demanda Escenario Base 1



En cuanto a los acuíferos, disminuye la percolación desde canales, y por lo tanto, la recarga disponible y también los afloramientos, pero no cambia mucho la recarga neta. Los únicos acuíferos que se ven afectados, son los acuíferos 10 y 11, que bajan durante la sequía, reduciendo sus niveles hasta en unos 10 y 20 m respectivamente, pero se recuperan. Esto ocurre en la situación actual de derechos.

El sector que está en gran desventaja respecto del resto es la zona 2 (Estero Derecho), que no tiene riego seguro para su área cultivada, tiene un acuífero muy pequeño y ninguna posibilidad rentable de regulación (como lo habría demostrado el estudio del embalse Piuquenes).

El embalse La Laguna necesita 20 millones de m3 para enfrentar la sequía de los años 1996/7.

El mejor aprovechamiento de las aguas superficiales, que se refleja en un aumento de la eficiencia total de uso del agua, de 35% a 48%, redunda también en una disminución de los requerimientos de agua subterránea para riego, y por lo tanto en un ahorro de costos de bombeo. El bombeo baja de 1,40 a 1,15 m3/s, y por lo tanto, se reduce el porcentaje de uso de los derechos.

También se reducen significativamente los retornos superficiales desde todas las zonas de riego, al ser más ajustadas las entregas a través de los canales. .

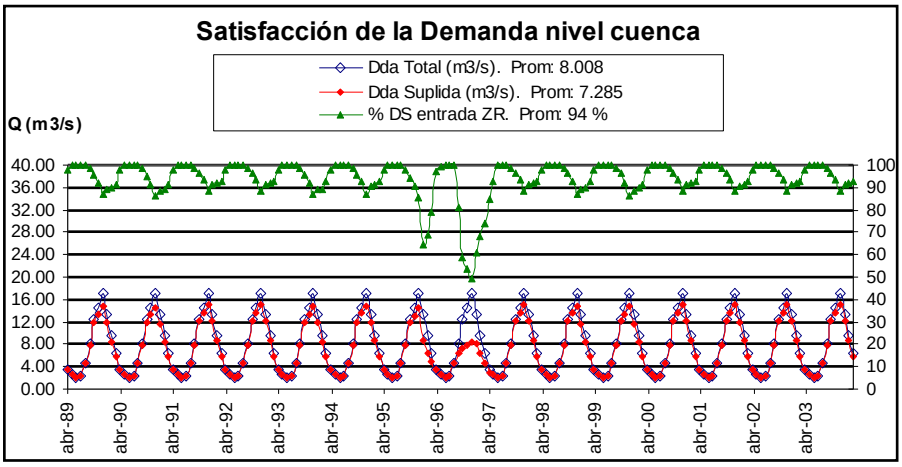
Los años fallos se reducen de un promedio ponderado de 2,3 años en 5 (seguridad de riego promedio ponderada de 68%), a 1,6 años en 15 (seguridad de riego promedio ponderada de 85%).

En resumen, este escenario resultó viable, pues no afecta en exceso ni los acuíferos ni las escorrentías superficiales.

b) Escenario Base 1.1 sobre Base 1

El escenario Base 1.1 resulta en todos sus aspectos muy similar al escenario Base 1, solamente en las zonas sobre el embalse Puclaro, se observa una reducción de las demandas satisfechas. Para el total de la cuenca, la demanda satisfecha se ve muy similar que en el escenario anterior, como se aprecia en la Figura 8-2:

Figura 8-2
Demanda suplida a nivel cuenca escenario Base 1.1



c) Escenario Operación 1 sobre Base 1

Se modifica la operación del embalse La Laguna.

Del análisis global de este escenario, se puede apreciar cambios leves, en los valores correspondientes a aumento de caudales captados en canales bajo el embalse Puclaro, disminución de caudales bombeados para riego y totales, aumento de demanda suplida y disminución de recarga neta de los acuíferos por falta de espacio.

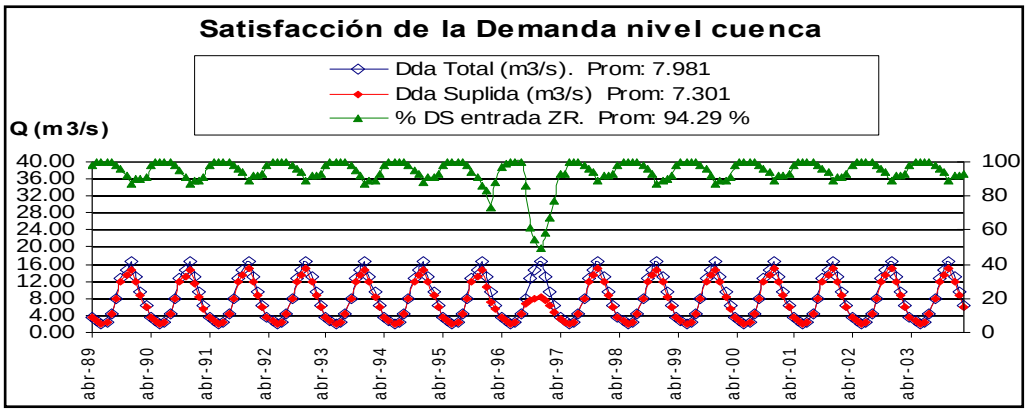
En relación con las zonas de riego, la situación no cambia prácticamente en nada en relación con el escenario Base 1, salvo que en las zonas de riego 8, 9, 10, 11 y 12, bajo Puclaro, se entrega levemente más caudal por medio de los canales a la zona de riego, lo que permite suplir un poco mejor los déficits de la sequía. El efecto, en todo caso, es casi imperceptible.

El hecho de almacenar menos agua en el embalse La Laguna enviándola al Puclaro, redunda en una leve mejora de las seguridades de riego de las zonas bajo el Puclaro, sin afectar las zonas 1 y 7, pues ellas surten los déficits, que sólo se producen en la sequía, con un mayor bombeo.

El escenario es viable, y la conveniencia de reemplazar bombeo de aguas abajo por bombeo aguas arriba del embalse Puclaro, se analiza en el Capítulo 9 de evaluación económica.

En la Figura 8-3 se muestra el resultado de la demanda suplida en este escenario.

Figura 8-3
Demanda suplida nivel cuenca escenario Operación 1



d) Escenario Operación 2 sobre Base 1

Según se aprecia en el análisis, al liberar el uso de los acuíferos, se producen algunos cambios en relación con el escenario base 1. Lo más notable es que se puede suplir gran parte de los déficits de agua superficial con aguas subterráneas durante las sequías.

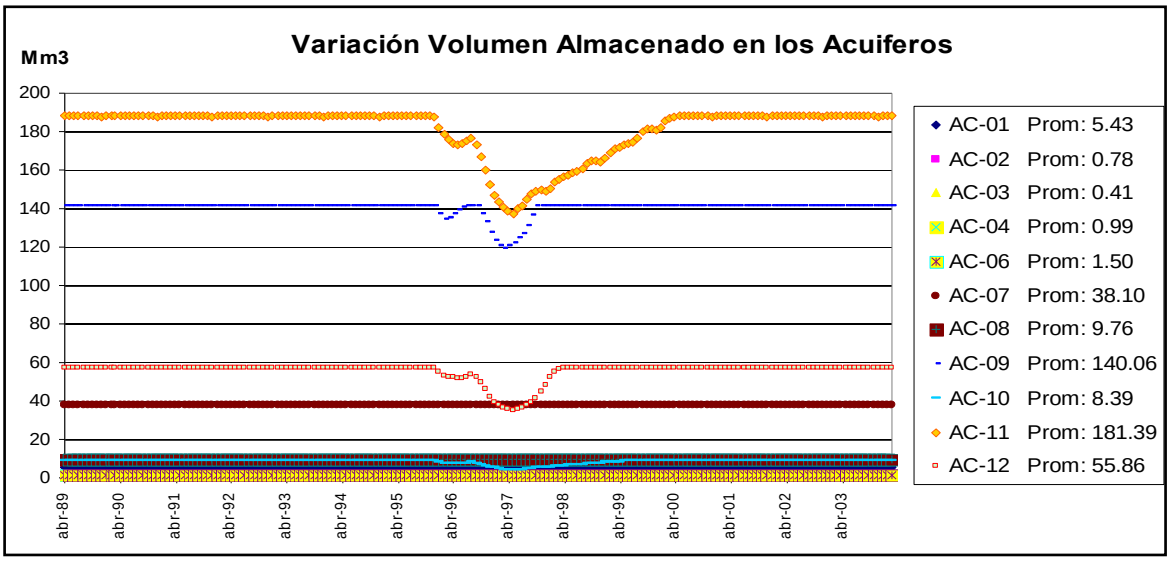
Las zonas sobre el Puclaro, exceptuando el Estero Derecho, cubren toda su demanda sin recurrir casi a los acuíferos, como en los escenarios anteriores.

En la zona 2 (Estero Derecho) se produce ahora una mayor satisfacción de la demanda, pero el acuífero no es capaz de suplirla en su totalidad. Se mantienen 6 de 15 años fallos, en vez de 8, es decir, la situación no mejora mucho.

En las zonas 9, 10, 11 y 12, hay una mayor explotación de los acuíferos, especialmente durante las sequías, pero no es excesiva, y es recuperable dentro de plazos razonables, de modo que la situación se considera viable.

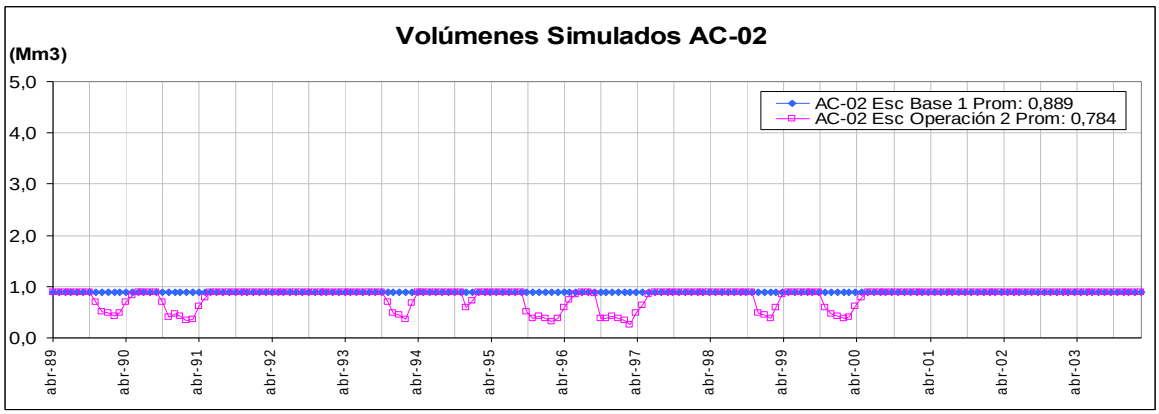
La situación de los acuíferos de esta zona se aprecia en la Figura 8-4, donde se muestra la reacción de ellos especialmente durante la sequía.

Figura 8-4
Evolución del volumen de acuíferos en escenario Operación 2



El comportamiento del acuífero 2 que no se aprecia en este gráfico, se presenta aparte en la Figura 8-5:

Figura 8-5
Evolución del acuífero 2 (Estero Derecho)



Los valores del escenario permiten observar con claridad que hay un aumento de la demanda suplida, debido a que se ha podido explotar más los acuíferos, los que a su vez, así pueden recibir una mayor recarga, con lo que disminuyen los afloramientos hacia los cauces y hacia el mar, especialmente durante los años de sequía. La cantidad adicional que entregan los acuíferos sólo afecta los acuíferos pequeños como el 2 y el 10. En los acuíferos 9, 11 y 12, que son grandes, y donde la demanda adicional es pequeña para las áreas cultivadas actuales, la demanda es perfectamente tolerable por los acuíferos.

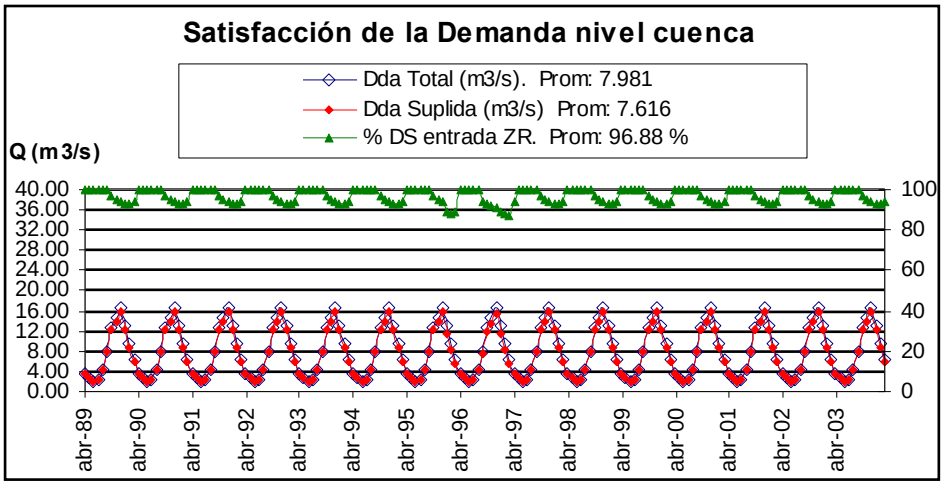
Los acuíferos 3 y 6 no tienen pozos en la actualidad, por lo que se mantienen sin pozos en este escenario. No obstante ello, suplen toda su demanda, a través de las aguas superficiales.

Lo señalado muestra que los acuíferos son un almacenamiento que complementa los almacenamientos superficiales en épocas de extrema sequía, permitiendo lograr un 100% de seguridad de riego en todo el valle, salvo en los sectores de Estero Derecho y Santa Gracia, el que riega con un 100% de seguridad sólo la mitad del área. En la Figura 8-6 se presenta la situación de demanda suplida de este escenario.

Los costos de esta solución se analizan en el Capítulo 9 de evaluación económica.

La situación de la quebrada Santa Gracia también sería manejable, a través de una mayor entrega de aguas superficiales desde el sector 9, y un reemplazo de tales aguas por aguas subterráneas.

Figura 8-6
Demanda suplida nivel cuenca escenario Operación 2



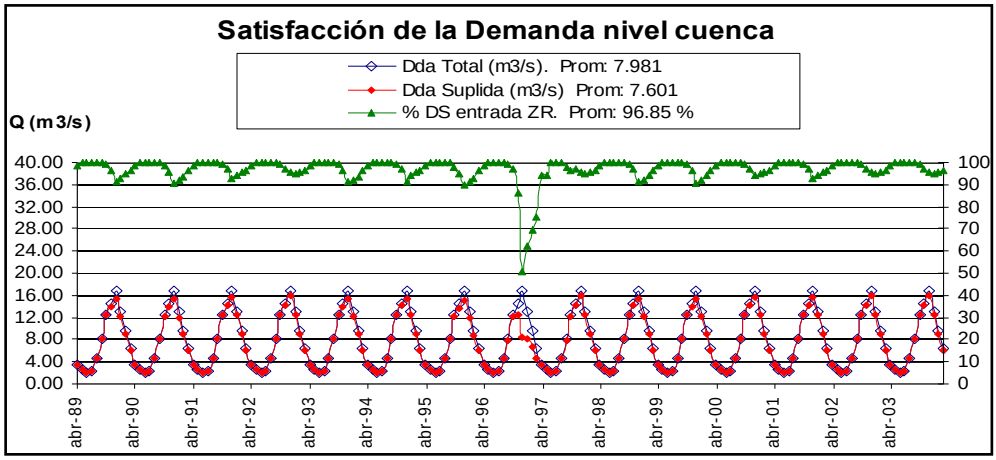
Este escenario Operación 2 se considera viable, pero se recomienda no explotar el acuífero 2 más allá de los derechos actuales.

e) Escenario Operación 2.2 sobre Base 1

El escenario 2.2 se refiere al entubamiento de canales, con lo cual se produce un alivio de los acuíferos, de los embalses, y no se producen problemas con los escurrimientos superficiales. En este escenario, todas las zonas altas tienen una cobertura cercana al 100% de su demanda, y bajo el embalse Puclaro solamente no se cubre un año de sequía. La zona peor suplida sigue siendo el sector 10, con un 65% de su área en el verano.

En la Figura 8-7 se presenta la situación de demanda suplida en este escenario.

Figura 8-7
Demanda suplida nivel cuenca escenario Operación 2.2

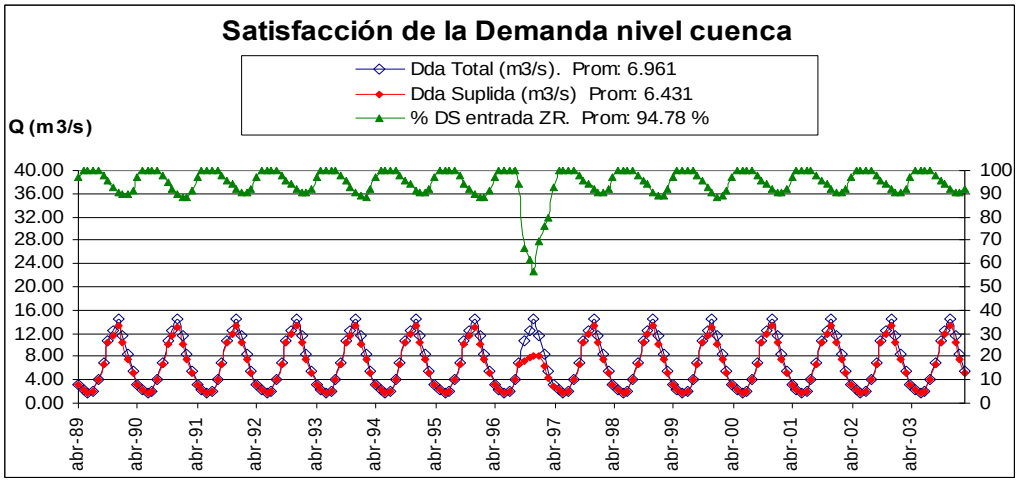


f) Escenario Operación 2.3 sobre Base 1

En el escenario se ha tecnificado sólo las áreas con déficit, y no se tecnifica los sectores 10 y 11 porque en esa condición se deprimen sin retorno los acuíferos. Con los sectores 2, 9 y 12 tecnificados, el resultado es un alivio para los acuíferos 10 y 11, todos los demás acuíferos permanecen siempre llenos, y no hay problemas con el escurrimiento superficial. La zona 2 apenas mejora su condición, pero sí mejoran las zonas 9 y 12, donde sólo persisten problemas de déficit durante la sequía.

En la Figura 8-8 se muestra la demanda suplida a nivel de cuenca del escenario 2.3

Figura 8-8
Demanda suplida nivel cuenca escenario Operación 2.3

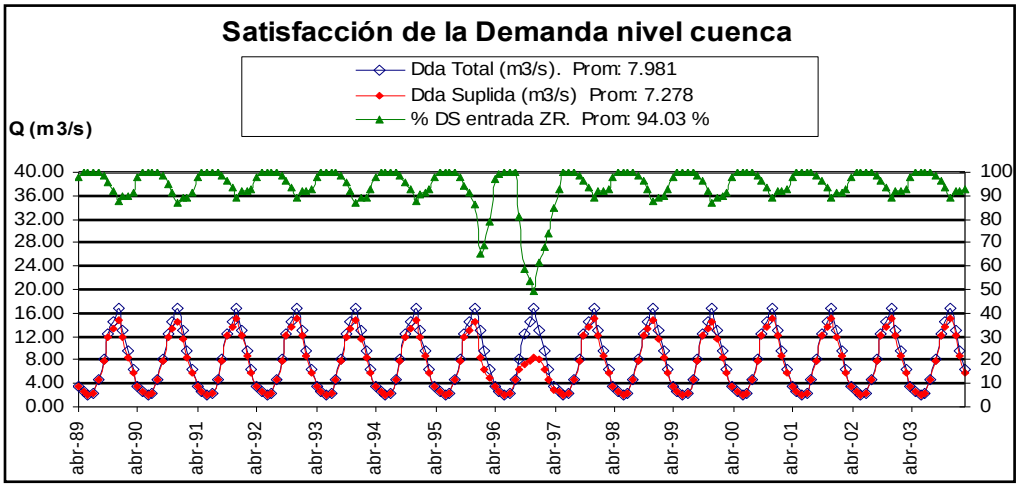


g) Escenario Operación 2.4 sobre Base 1

En el escenario 2.4 sólo se aumenta la capacidad de los tranques nocturnos. Este hecho también tiene un efecto de alivio sobre los acuíferos y embalses, y no se producen problemas con el escurrimiento superficial en los nodos. Esta acción no produce grandes cambios en relación con la situación del escenario Base 1.

La Figura 8-9 muestra la situación de satisfacción de la demanda en este escenario.

Figura 8.9
Demanda suplida nivel cuenca escenario 2.4



h) Escenario Operación 3 sobre Base 1

En este escenario se aumentan las áreas demandantes en un 37%, de acuerdo con lo señalado en el punto anterior, y no se permite mayor bombeo que el que establecen los derechos subterráneos.

A pesar de no aumentarse los derechos subterráneos, en este escenario también son intensamente explotados los acuíferos y los embalses. En todos los acuíferos donde hay derechos, los bombeos se intensifican. En los acuíferos superiores, vale decir, 1, 2, 4 y 8, no hay muchos derechos que puedan ser usados para suplir los déficits del agua superficial. En el acuífero 7 (Elqui Alto), hay más derechos, pero en la sequía estos derechos no alcanzan a cubrir completamente las necesidades.

En los sectores 9, 10, 11 y 12, los derechos son más, y son intensivamente usados. Siempre el bombeo máximo topa en los derechos en este escenario. Los sectores 9 y 10 no se pueden regar completos con los derechos constituidos. Los sectores 11 y 12 sí se pueden regar completos, pero con un 80% de seguridad. Se observa que en los años de sequía, los derechos son intensivamente explotados, pero no cubren las demandas en su totalidad.

Para los acuíferos, en la Figura 8-10 se presenta la evolución de su comportamiento, y un detalle del acuífero 10 en la Figura 8-11:

Figura 8-10
Comportamiento acuíferos escenario operación 3

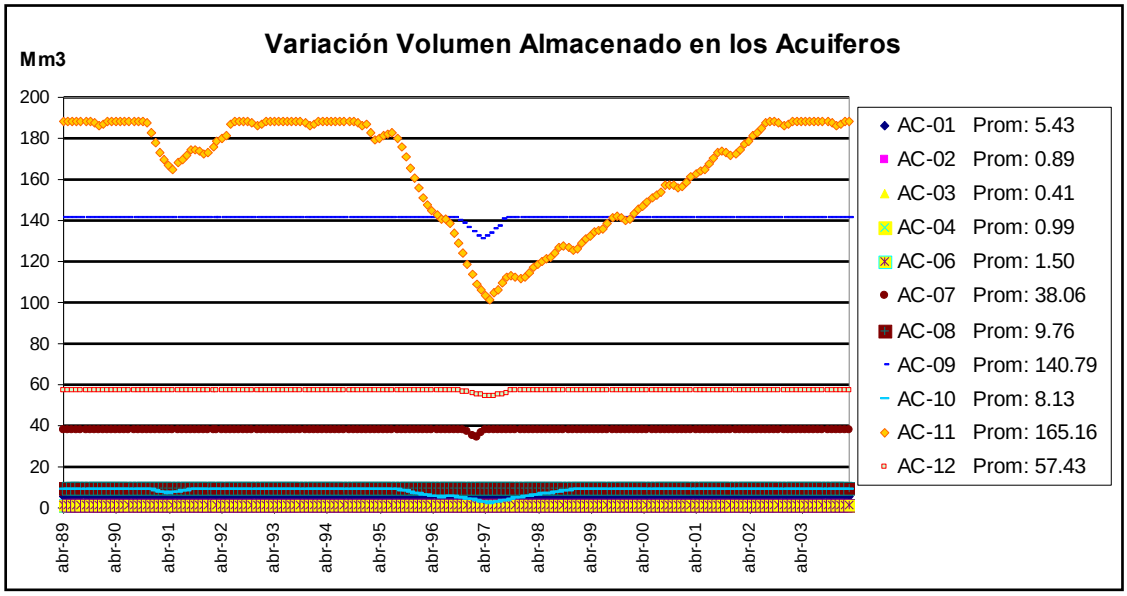
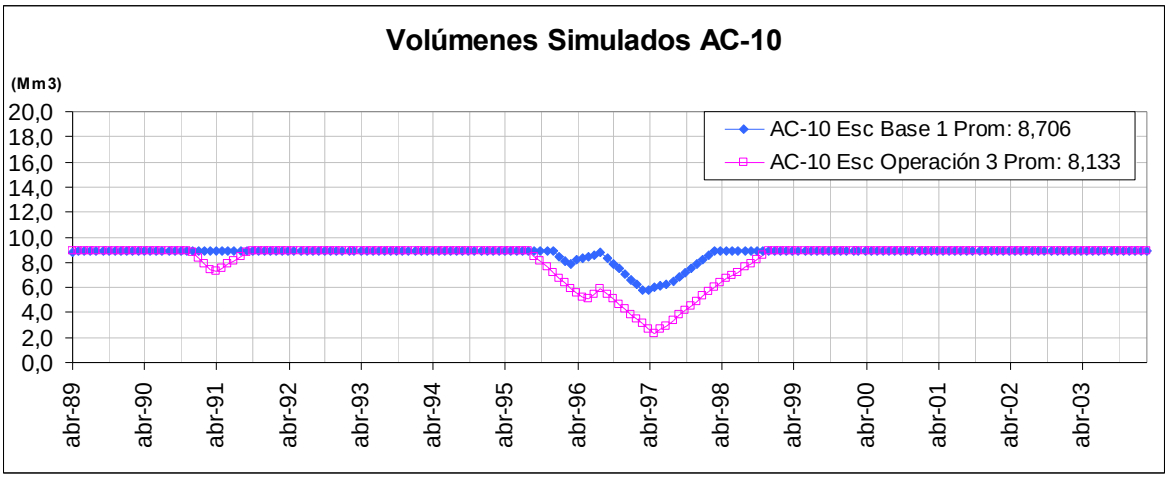


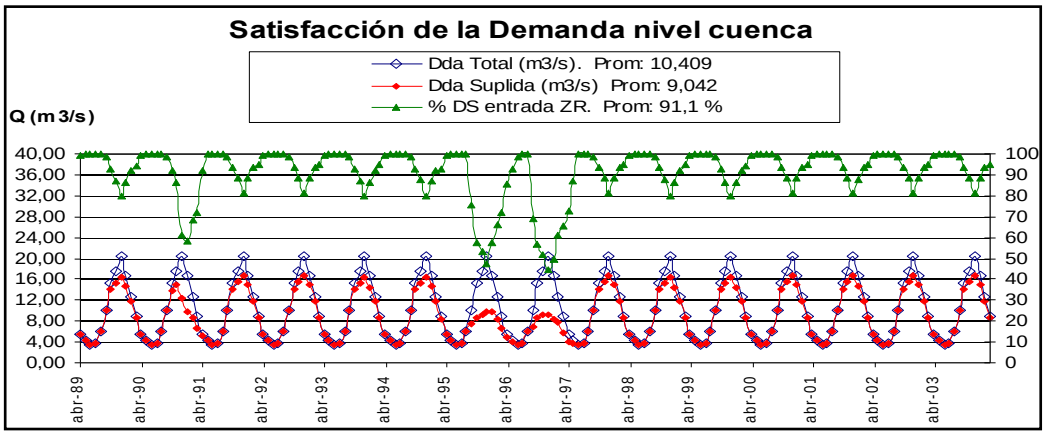
Figura 8-11
Comportamiento acuífero 10 escenario operación 3



Como resultado de este escenario se aprecia que solamente los sectores 1, 4 y 6 (Turbio y Claro) no presentan problemas de abastecimiento. El sector 3 sólo puede regar el 90% de su área. Los sectores 7 y 8 (Elqui bajo y medio), al no tener acceso a los acuíferos salvo por los derechos actuales, muestran un año de falla. Los sectores 9 y 10 no se pueden regar completos

en verano (sólo el 80% y el 50% del área, respectivamente), mientras que los sectores 11 y 12 sí se pueden regar completos, pero sólo con un 80% de seguridad (presentan 3 años fallos de 15). La situación de demanda satisfecha a nivel de toda la cuenca se presenta en la Figura 8-12.

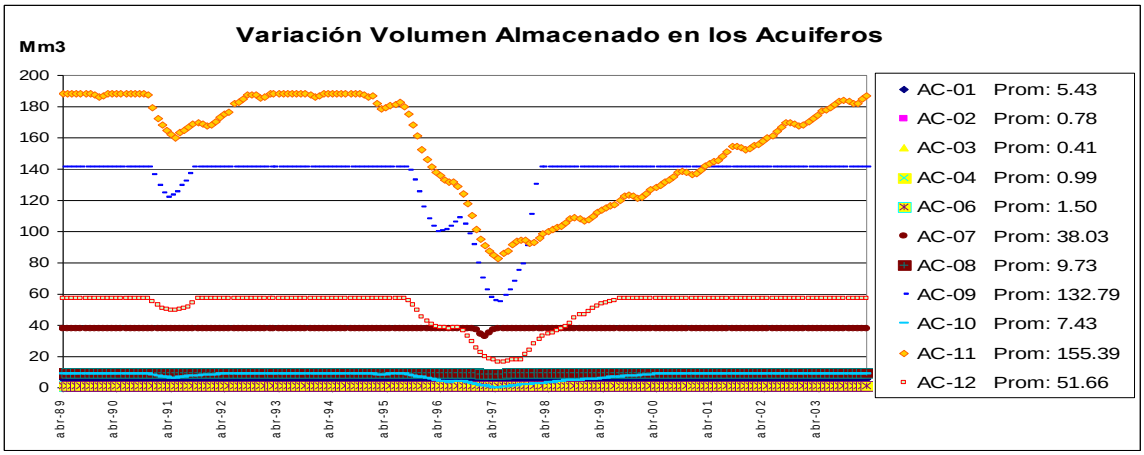
Figura 8-12
Demanda satisfecha nivel cuenca escenario Operación 3



j) Escenario Operación 4 sobre Operación 3

En este escenario se efectúa la liberación de todos los acuíferos. Este escenario se consideró inviable, aunque presenta una alta satisfacción de la demanda, debido a los comportamientos de los acuíferos 2, 10 y 11, demasiado críticos en caso de sequía. Específicamente la demora de 7 años que presenta el acuífero 11 en recuperarse de la explotación intensificada, se considera muy riesgoso, en caso de suceder más años secos. Debido a ello, se probó el siguiente escenario 4.1.

Figura 8-13
Comportamiento de los acuíferos en operación 4



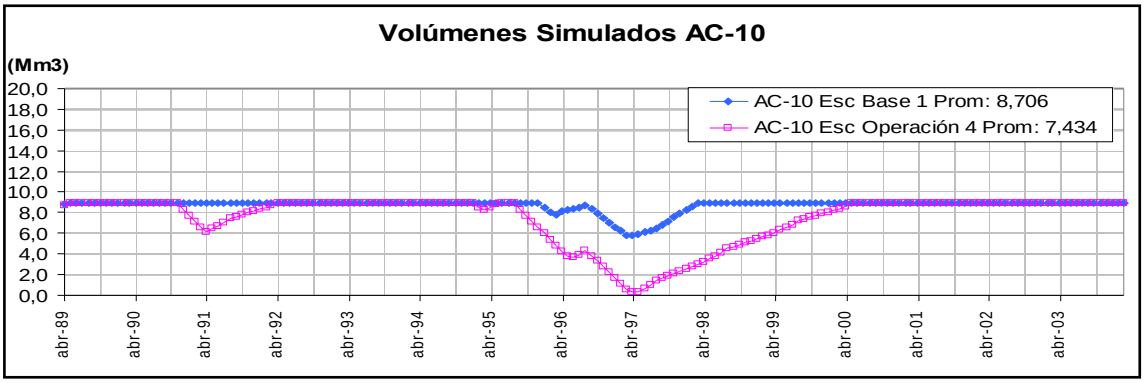
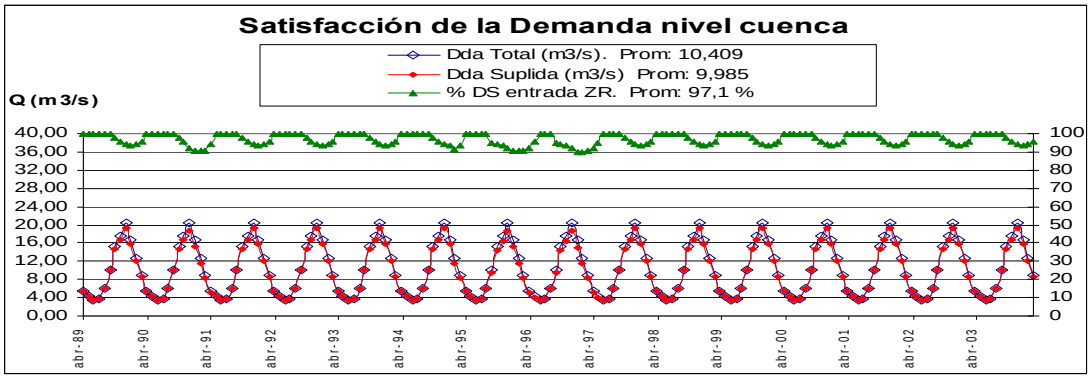


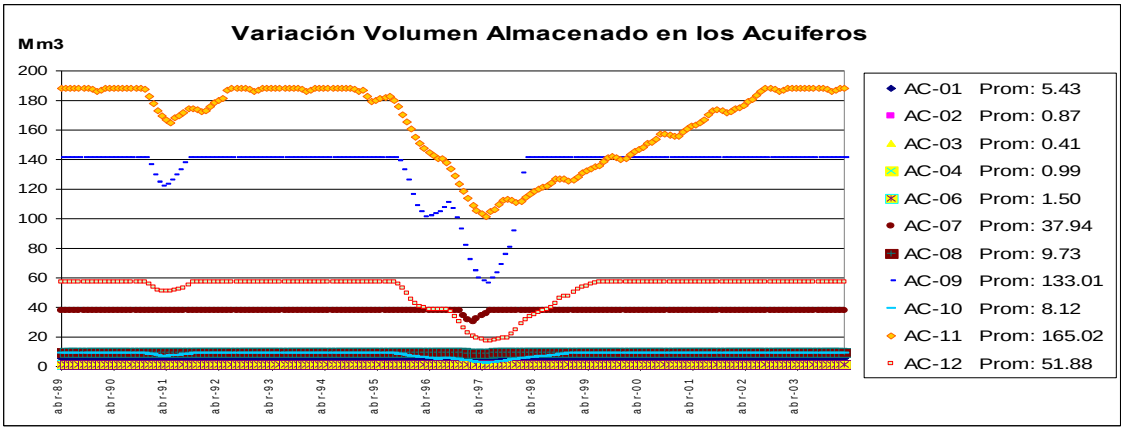
Figura 8-14
Demanda suplida nivel cuenca escenario Operación 4



k) Escenario Operación 4.1 sobre Operación 3

En este escenario se limita la explotación de los acuíferos 2, 10 y 11 a los derechos. Los resultados de comportamiento de los acuíferos son los siguientes:

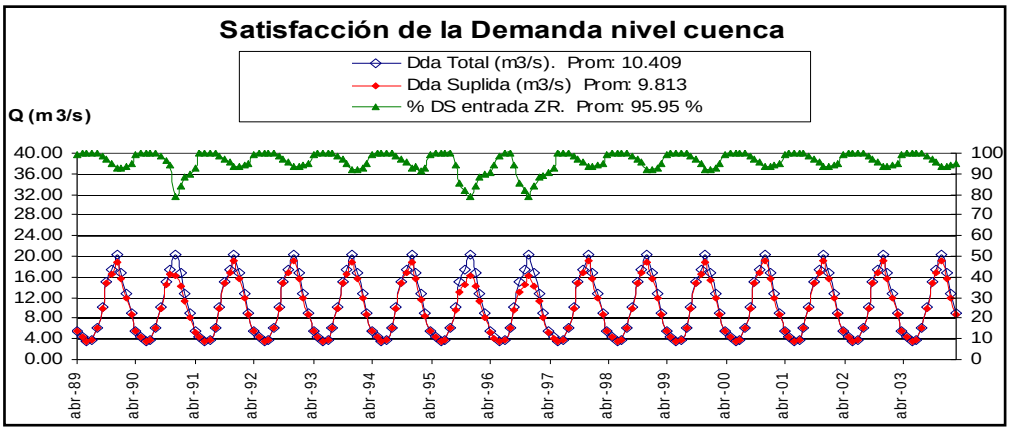
Figura 8-15
Comportamiento acuíferos escenario Operación 4.1



Observando el comportamiento de los acuíferos y de los escurrimientos superficiales, este escenario se considera viable, en especial porque es inevitable que se haga uso de los derechos subterráneos ya constituidos en los sectores críticos.
En este escenario también se observa que hay una mayor explotación de los acuíferos 9 y 12, hasta llegar a suplir completamente las demandas de esos sectores, pero estos acuíferos tolerarían bien la mayor explotación.

Los resultados en cuanto a satisfacción de la demanda se observan en la Figura 8-16:

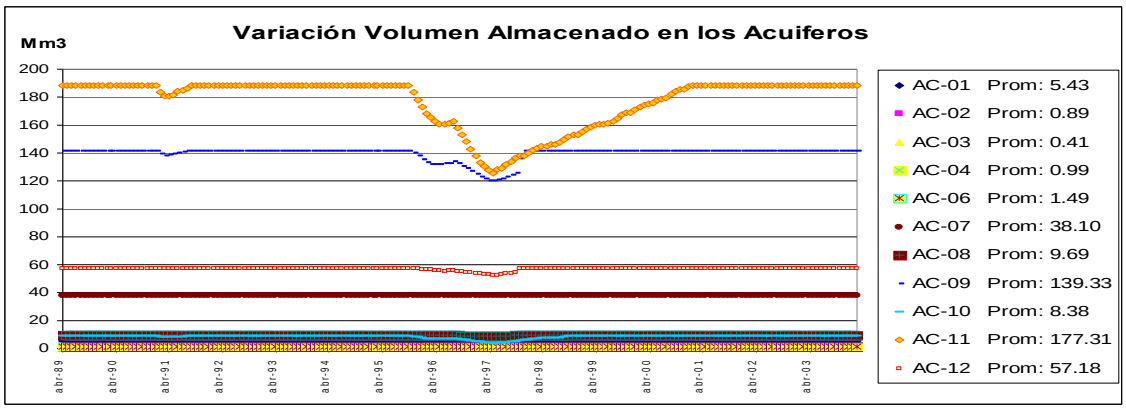
Figura 8-16
Demanda suplida nivel cuenca escenario operación 4.1



l) Escenario Operación 5 sobre Operación 3

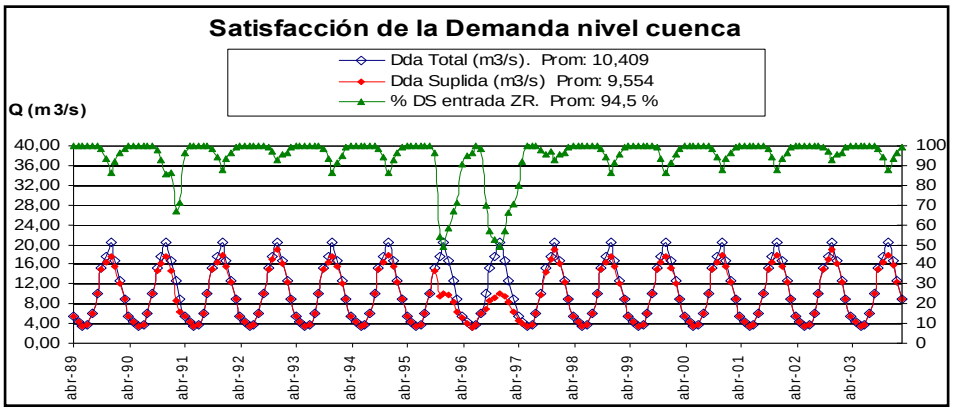
En este escenario se prueba dar eficiencia de conducción a los canales para suplir las nuevas demandas, en vez de liberar los acuíferos. Se observa en la Figura 8-17, que los acuíferos, si bien se ven afectados por la falta de infiltración de los canales, esta afectación no es crítica.

Figura 8-17
Comportamiento de los acuíferos escenario Operación 5



Tampoco hay afección sobre el escurrimiento superficial, y como resultado, se obtienen los siguientes porcentajes de satisfacción de las demandas, donde se observa que persisten los efectos de la sequía:

Figura 8-18
Demanda suplida nivel cuenca escenario Operación 5



Se observa que el efecto de mejoramiento que se logra al aumentar la eficiencia de riego, es similar al que se logra permitiendo un mayor uso de los acuíferos. Sin embargo, es necesario destacar que al hacer uso de los acuíferos, se superan las sequías, y en el caso de aumentar solamente las eficiencias, hay varios sectores que quedan con dos o tres años fallos, que no pueden ser mejorados con el uso más intensivo de los acuíferos por falta de derechos. Estos son los sectores 2, 9, 11 y 12, vale decir, el Estero Derecho y toda la zona de riego del Elqui bajo Puclaro y Pan de Azúcar.

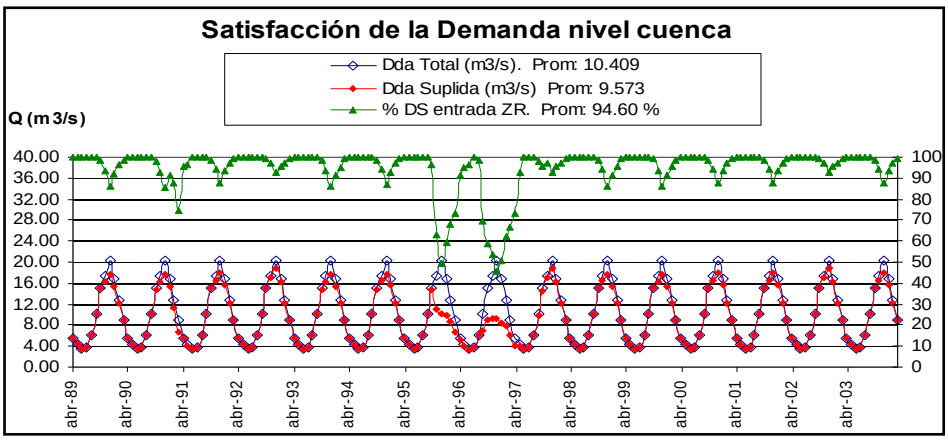
Se perfila claramente el uso de los acuíferos en el sentido de paliar los efectos de las sequías. El escenario es viable, pero no probable, ya que en las zonas altas sin escasez es poco probable que se entuben canales. Por eso se probó el escenario 5.1, en que los entubamientos se limitan a las zonas bajo el Puclaro.

m) Escenario Operación 5.1 sobre Operación 3

En este escenario se perfecciona el anterior, en el sentido de no entubar todos los canales, sino que sólo los de las zonas que presentan déficit.

Los acuíferos presentan un comportamiento similar al presentado en el escenario Operación 5, tampoco se ven mayormente afectados los escurrimientos superficiales, y el resultado de la satisfacción de la demanda es el siguiente:

Figura 8-19
Demanda suplida nivel cuenca escenario Operación 5.1

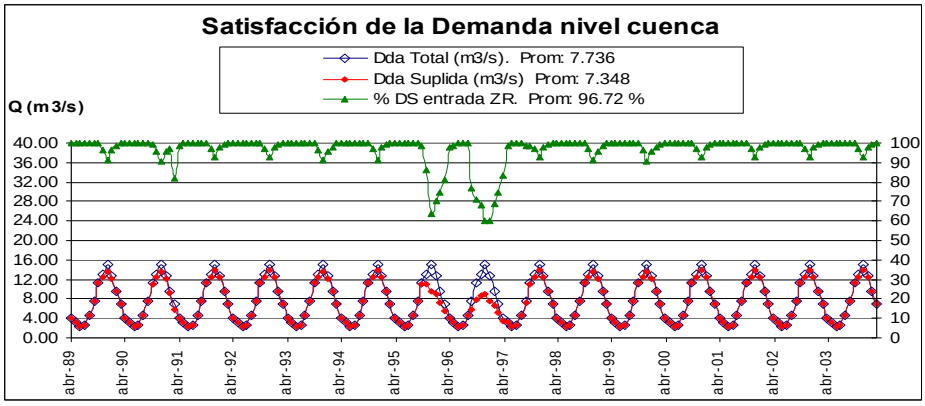


n) Escenario Operación 6.1 sobre Operación 3

En este escenario se tecnifica todo el riego en las zonas bajas salvo 10 y 11, para analizar si con esto se logra una mejora en las satisfacciones de la demanda.

Al no tecnificar las zonas 10 y 11, el escenario resulta viable. Se obtienen las demandas suplidas de la Figura 8-20.

Figura 8-20
Demanda suplida nivel cuenca escenario Operación 6.1

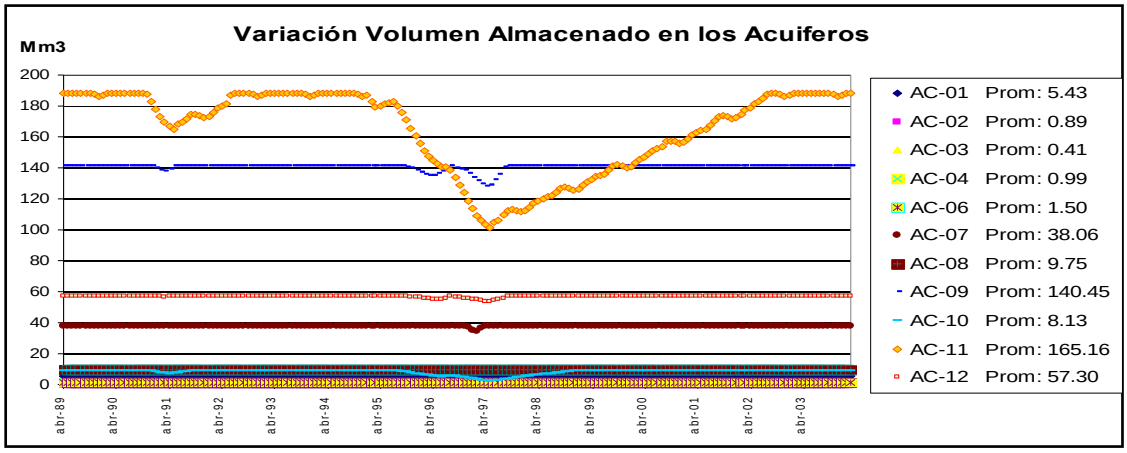


o) Escenario Operación 7.1 sobre Operación 3

En este escenario se prueba el aumento de la capacidad de regulación nocturna para cubrir los requerimientos del aumento de área. El escenario resulta viable, a pesar de

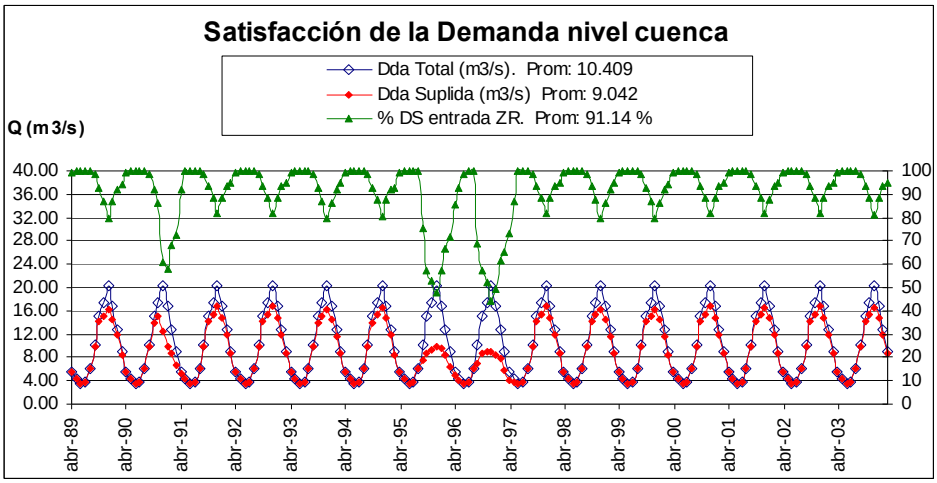
que el acuífero 11 se ve fuertemente solicitado, como antes, según se aprecia en la Figura 8-21.

Figura 8-21
Comportamiento de los acuíferos escenario operación 7.1



El resultado en cuanto a demandas suplidas se observa en la Figura 8-22

Figura 8-22
Demanda suplida nivel cuenca escenario Operación 7.1



p) Escenario Operación 7.2 sobre Operación 3

El escenario de operación 7.2 junta todas las medidas antes probadas por separado, para la situación de áreas amplificadas de la operación 3. Solamente no se han incluido los tranques de regulación nocturna. Los acuíferos están libres, salvo los acuíferos altos 2, 3 y 7, y los acuíferos bajos 10 y 11.

En este escenario se ha tenido la siguiente respuesta para las demandas suplidas y para los acuíferos:

Figura 8-23
Demanda suplida nivel cuenca escenario 7.2

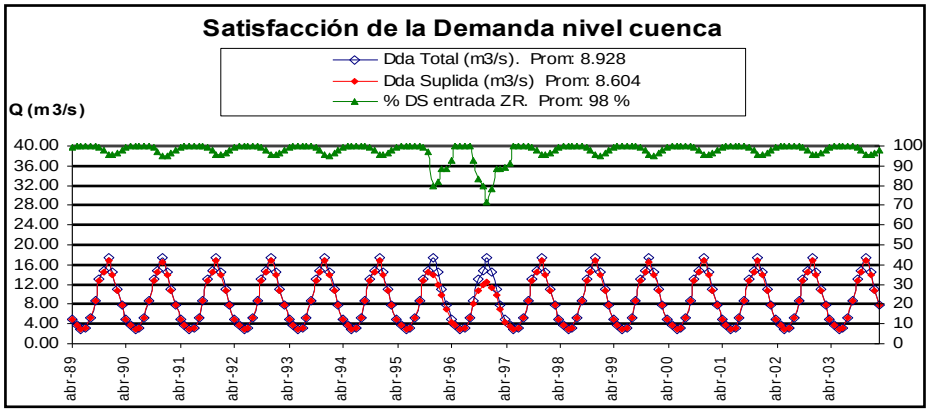
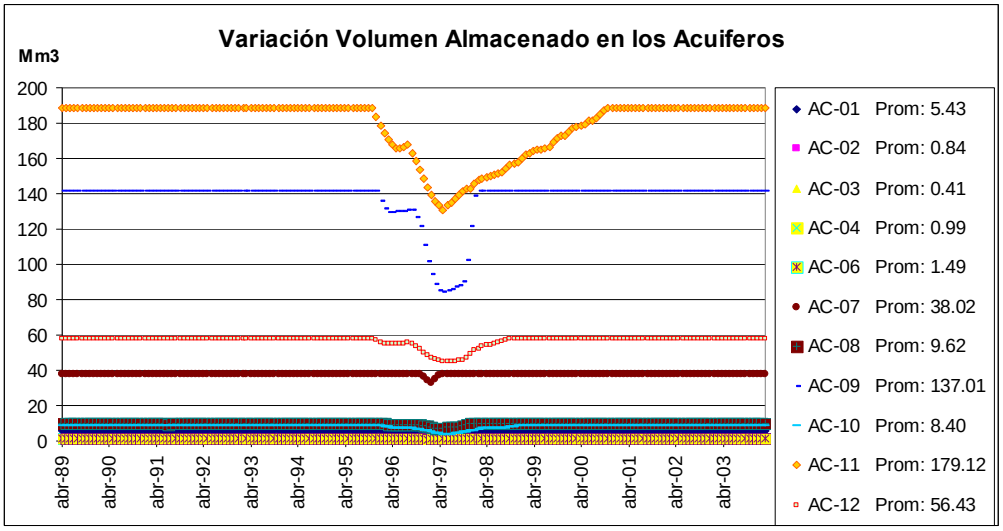


Figura 8-24
Comportamiento de los acuíferos escenario 7.2



Se observa un nivel muy alto de satisfacción de la demanda. Los años de sequía, el nivel baja un poco debido a la restricción de derechos subterráneos en los sectores 10 y 11, pero en general hay una buena respuesta de demanda suplida. Interesa observar el comportamiento del acuífero 9 (en azul), que aporta una gran cantidad de agua en la sequía, pero no se ve mayormente afectado por el uso consuetudinario, en las condiciones de este escenario.

Por otro lado, debido a la tecnificación y entubamientos, hay un alivio de los acuíferos, que se ven mucho menos solicitados. El escenario es viable.

q) Escenario Operación 7.3 sobre Operación 7.2

En este escenario se prueba un aumento extremo de áreas en la parte superior de la cuenca, suponiendo que los derechos superficiales de los sectores 1, 3, 4 y 6 (Turbio, Cochiguaz y Claro) son utilizados intensivamente. El aumento total de áreas que se prueba es de un 51%. Esto se busca lograr con tecnificación, entubamientos (todo esto en la parte baja de la cuenca), y con los derechos subterráneos antes señalados. .

En tal condición, la respuesta del sistema muestra que si bien es posible llegar a suplir tales demandas, esto se produce con un compromiso muy grande y de largo plazo de los mayores acuíferos, lo que no se encuentra viable.

Figura 8-25
Demanda suplida nivel cuenca escenario 7.3

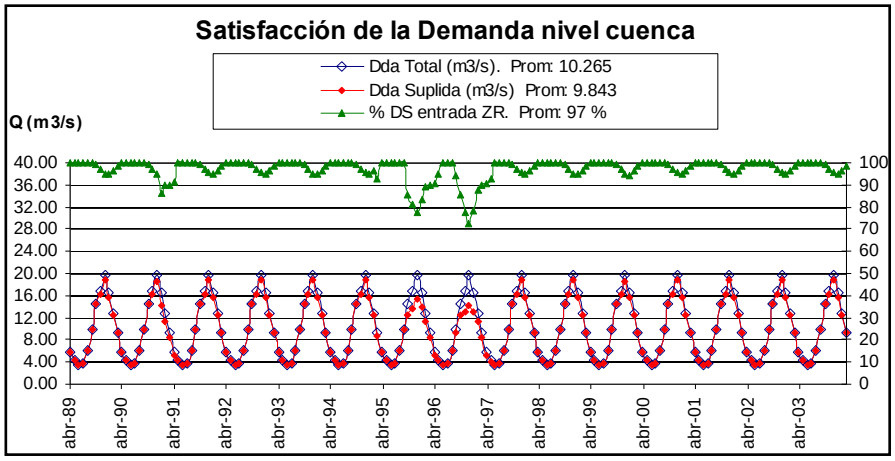
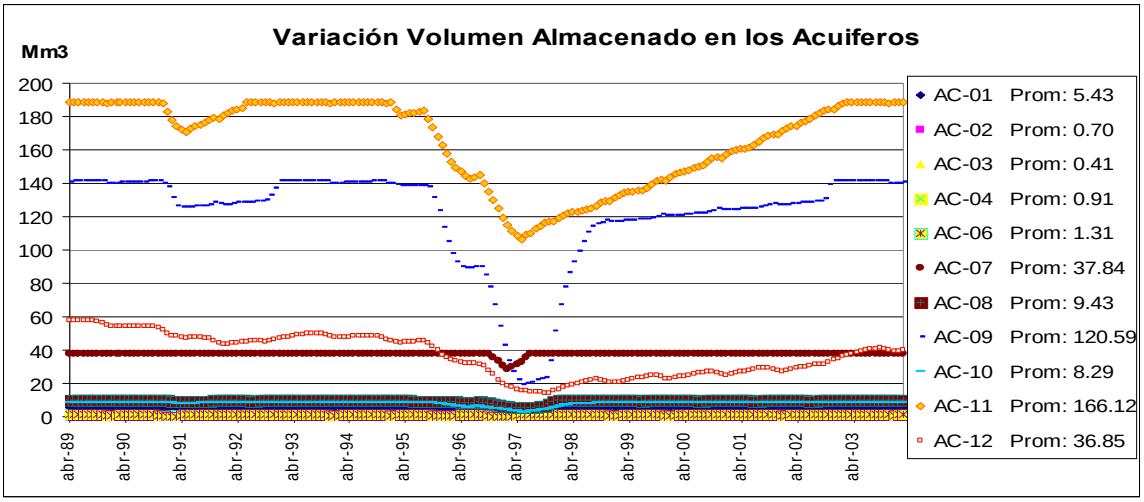


Figura 8-26
Comportamiento de los acuíferos escenario 7.3



r) Escenario Operación 7.4 sobre Operación 7.2

Finalmente, en este escenario se vuelve sobre las áreas del escenario de operación 3, de 37% de aumento sobre el área total, y se prueba el efecto de entubar los canales bajos saliendo desde el propio embalse Puclaro, de modo que los acuíferos 8, 9 y 12 (Elqui bajo Puclaro y Costa), quedan sin aportes desde el cauce en condiciones normales.

En tales condiciones, se tiene nuevamente una alta satisfacción de la demanda, y un compromiso totalmente tolerable de los acuíferos. El acuífero 8 (directamente bajo Puclaro) resiente levemente esta acción, puesto que depende de los aportes superficiales, al haberse reducido los aportes subterráneos por la cortina del embalse. Sin embargo, el efecto es menor. El acuífero 11 (Pan de Azúcar) no resiente el entubamiento del canal, porque su alimentación depende más fuertemente de los aportes del riego que de los canales, y estos aportes del riego se han mantenido en este escenario, al no tecnificar este sector. En el acuífero 9, no hay grandes efectos, porque al hacerse más eficiente las entregas superficiales, disminuyen los requerimientos subterráneos.

Las respuestas del sistema se observan en las figuras adjuntas. El escenario es viable.

Figura 8-27
Demanda suplida nivel cuenca escenario operación 7.4

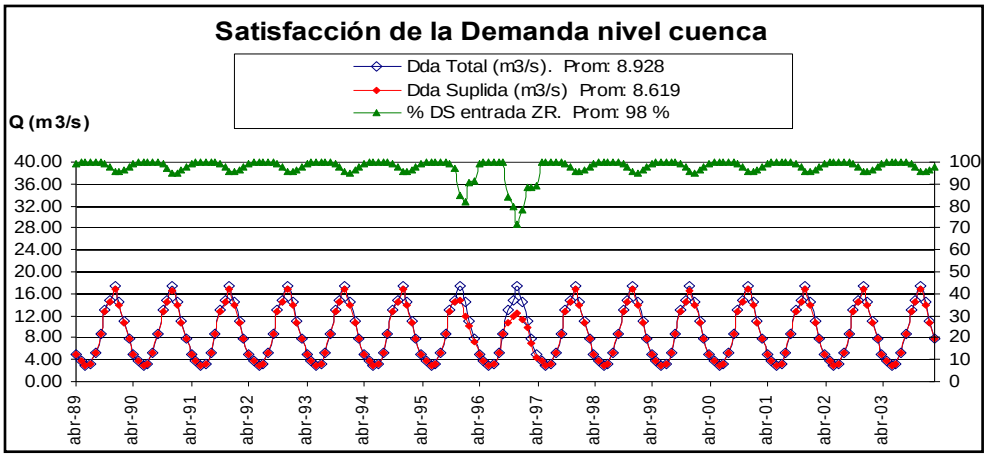
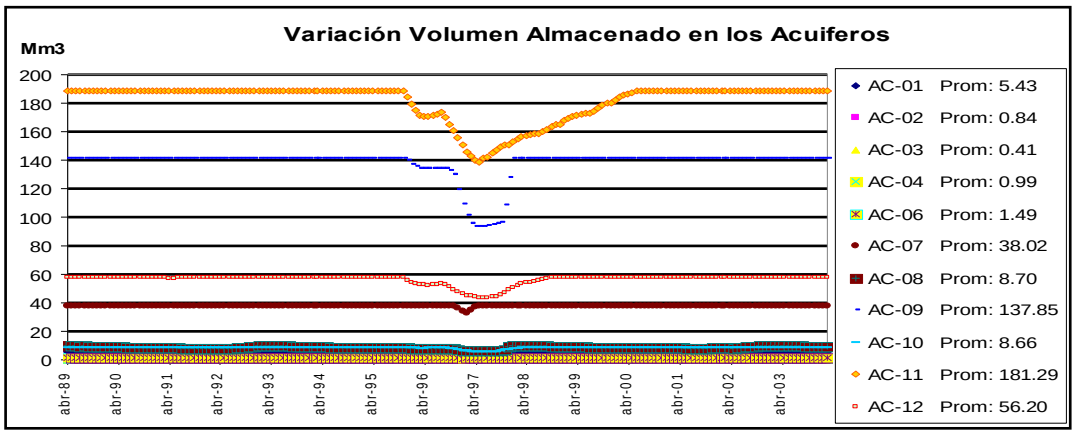


Figura 8-28
Comportamiento acuíferos escenario operación 7.4



8.1.3 Resumen de escenarios

De acuerdo con el análisis presentado en el acápite anterior, se puede observar que hay varios escenarios viables y algunos inviables, desde el punto de vista técnico o de su efecto sobre el sistema hídrico. En el Cuadro 8-4 se presenta, para cada escenario, las observaciones que se desprenden de la operación, y las medidas deseables o viables desde el punto de vista del manejo hídrico.

Cuadro 8-4
Presentación de viabilidad de escenarios

Nombre del escenario	Observaciones, medidas deseables y recomendaciones
Base 1	Escenario viable. Ajustar las entregas a las demandas. No entregar agua en invierno o en períodos de no uso. Expresar derechos en volúmenes anuales, y no en desmarques o proporciones. Permitir la movilidad total de los derechos.
Base 1.1	Escenario viable. Con un riego de 20 horas por día el efecto de los tranques nocturnos se hace imperceptible.
Operación 1	Escenario viable. El embalse La Laguna necesita un volumen de 20 millones de m3 para suplir las demandas en sequía de las zonas altas. No es conveniente que baje de 20 millones al inicio de la temporada, para las áreas de riego actuales.
Operación 2	Escenario viable, salvo operación acuífero 2. No es conveniente liberar los derechos subterráneos en el acuífero del Estero Derecho. No se puede aumentar los derechos subterráneos en los acuíferos Santa Gracia y Pan de Azúcar.

	Se puede aumentar los derechos en las zonas de Elqui Bajo y Costa. El uso de los acuíferos permite paliar las sequías.
Operación 2.2	Escenario viable. El entubamiento de los canales que van hacia las zonas deficitarias es una medida técnicamente viable, que aumenta las demandas suplidas, aunque no suple los déficits en la sequía.
Operación 2.3	Escenario viable. La tecnificación del riego es técnicamente viable en las zonas cuyo acuífero depende más del cauce que de las percolaciones del riego. La tecnificación no resulta viable en los sectores de Santa Gracia ni Pan de Azúcar, pues se deprimen permanentemente los acuíferos. La tecnificación del riego no es una medida capaz de suplir los déficits en sequías.
Operación 2.4	Escenario viable. La instalación de tranques nocturnos siempre resulta técnicamente viable, pero no cubre los déficits en sequía.
Operación 3	Escenario viable. El aumento de áreas asumido desde este escenario hasta el escenario 7.4 (con excepción del escenario 7.3), de 37% en total, repartido según Cuadro 8-1, es viable en las condiciones actuales de funcionamiento del sistema, aunque no se logran suplir siempre todas las nuevas demandas. Las áreas que no quedan bien dotadas en este escenario son las zonas 3, 9 y 10. Además, hay un compromiso muy fuerte del acuífero Pan de Azúcar.
Operación 4	Escenario inviable. Los acuíferos 10 y 11 no pueden tener más derechos de aguas subterráneas. El acuífero 2 podría tenerlos pero con un límite.
Operación 4.1	Escenario viable. Los acuíferos 3 y 6, actualmente sin pozos, toleran algún bombeo en épocas de sequía. Sin embargo, no es recomendable entregar derechos permanentes sobre estos acuíferos, porque son muy pequeños.
Operación 5	Es técnicamente viable entubar los canales de toda la cuenca, pero económicamente inconveniente, especialmente en los sectores que tienen elevada seguridad de riego en las condiciones actuales. De hecho, esto resulta económicamente inviable
Operación 5.1	Escenario viable. Es técnicamente viable entubar los canales que van a las zonas de mayor déficit, como son las zonas del Estero Derecho y bajo el embalse Puclaro.
Operación 6.1	Escenario viable. Es viable la tecnificación del riego en las zonas bajas, exceptuando las zonas 10 y 11, para evitar deprimir permanentemente los acuíferos.
Operación 7.1	Escenario viable. Es viable el aumento de la capacidad de regulación nocturna en toda la cuenca.
Operación 7.2	Escenario viable. La implementación conjunta de tecnificación (sectores 2, 8, 9 y 12), entubamiento (bajo Puclaro y en Estero Derecho) y aumentar controladamente la capacidad de bombeo en algunos acuíferos (1, 2, 3, 4, 6, 8, 9 y 12), es una forma eficiente de sacar partido a las aguas de esta cuenca. La expansión de áreas de

	37% puede suplirse con alta seguridad, sin estresar el sistema hídrico.
Operación 7.3	Escenario inviable. Esta expansión extrema adicional de áreas altas no es bien tolerada por el sistema hídrico. En especial se resienten los acuíferos del Estero Derecho, y al usarse más los acuíferos bajos, también Elqui Bajo y Costa.
Operación 7.4	Escenario viable. El entubamiento completo de canales de la zona baja desde el embalse Puclaro genera un alivio a las solicitaciones del los acuíferos. Es una forma eficiente de hacer uso del agua.

En el Cuadro 8-5 se presenta el resumen de los resultados generales obtenidos de la simulación para todos los escenarios viables.

Cuadro 8-5
Resumen resultados operación modelo Elqui

Escenario	Descripc. Escenario	Q ddo nivel Raíz	Tasa dda nivel raíz promedio	Q recib x lluvia	Q ddo neto raíz	Qddo entrada ZR	Tasa dda entrada ZR promedio	Efic. Aplic. Riego	Efic. Total
		m3/s	l/s/ha	m3/s	m3/s	m3/s	l/s/ha	%	%
Esc S1	Calibración	4.822	0.207	0.005	4.817	7.981	0.344	54	35
Base 1	Ent. Seg. Demandas	4.822	0.208	0.005	4.817	7.981	0.344	54	48
Base 1.1	Base 1 y riego 10 h	4.822	0.208	0.005	4.817	8.008	0.345	54	48
Operación 1	Gestión La Laguna	4.822	0.208	0.005	4.817	7.981	0.344	54	48
Operación 2	Soltar acs exc 10	4.822	0.208	0.005	4.817	7.981	0.344	54	48
Operación 2.2	Entub.canales bajos	4.822	0.208	0.005	4.817	7.981	0.344	54	54
Operación 2.3	Tecnif. Riego ZR bajas	4.822	0.208	0.005	4.817	6.961	0.300	70	56
Operación 2.4	Tranques noct.	4.822	0.208	0.005	4.817	7.981	0.344	54	48
Operación 3	Nuevas áreas A	7.012	0.218	0.019	6.993	10.409	0.326	61	55
Operación 4.1	Soltar acs exc.2, 10, 11	7.012	0.218	0.019	6.993	10.409	0.326	61	56
Operación 5.1	Entub.canales bajos	7.012	0.218	0.019	6.993	10.409	0.326	61	63
Operación 6.1	Tec.Riego ZR bajas exc.10, 11	7.012	0.218	0.019	6.993	7.736	0.242	87	72
Operación 7.1	Tranques noct.ZR bajas	7.012	0.218	0.019	6.993	10.409	0.326	61	55
Operación 7.2	Todo salvo tranques	7.012	0.218	0.019	6.993	8.928	0.278	75	75
Operación 7.4	Todo y can entub desde P.	7.012	0.218	0.019	6.993	8.928	0.280	75	75

Escenario	Descripc. Escenario	Q canales en BT	Q entregado superf. a ZR	Q entregado bombeo	Q producido para riego	Q recibido para riego en ZR	Q recibido total ZR (inc lluvia)	Tasa riego recibida promedio	Demanda suplida ZR	% DS
		m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	l/s/Ha	m3/s	%
Esc S1	Calibración	12.194	9.300	1.390	13.583	10.690	10.695	0.458	6.955	90.0
Base 1	Ent. Seg. Demandas	8.168	6.369	1.148	9.316	7.517	7.522	0.324	7.278	94.0
Base 1.1	Base 1 y riego 10 h	8.174	6.373	1.149	9.323	7.522	7.527	0.324	7.285	94.0
Operación 1	Gestión La Laguna	8.215	6.407	1.136	9.351	7.542	7.548	0.325	7.301	94.0
Operación 2	Soltar acs exc 10	8.150	6.355	1.499	9.649	7.855	7.860	0.338	7.616	96.9
Operación 2.2	Entub.canales bajos	7.952	7.317	0.602	8.555	7.919	7.924	0.341	7.601	96.9
Operación 2.3	Tecnif. Riego ZR bajas	7.357	5.757	1.008	8.365	6.765	6.770	0.291	6.431	94.8
Operación 2.4	Tranques noct.	8.168	6.369	1.148	9.316	7.517	7.522	0.324	7.278	94.0
Operación 3	Nuevas áreas A	9.744	7.525	1.621	11.364	9.146	9.166	0.286	9.042	91.1
Operación 4.1	Soltar acs exc.2, 10, 11	9.615	7.434	2.484	12.099	9.918	9.937	0.310	9.813	96.0
Operación 5.1	Entub.canales bajos	9.519	8.640	1.052	10.571	9.692	9.711	0.303	9.573	94.6
Operación 6.1	Tec.Riego ZR bajas exc.10, 11	8.640	6.659	0.751	9.391	7.411	7.430	0.232	7.348	96.7
Operación 7.1	Tranques noct.ZR bajas	9.744	7.525	1.621	11.364	9.146	9.166	0.286	9.042	91.1
Operación 7.2	Todo salvo tranques	8.806	7.843	1.018	9.824	8.861	8.880	0.276	8.604	97.5
Operación 7.4	Todo y can entub desde P	8.871	7.908	0.969	9.840	8.877	8.897	0.278	8.619	97.7

Escenario	Descripc. Escenario	Q aplic. Raíz	Q derr	Q perc	Q retornos	% retornos
		m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	%
Esc S1	Calibración	4.316	0.481	2.159	4.216	33.0
Base 1	Ent. Seg. Demandas	4.461	0.529	2.287	0.769	9.5
Base 1.1	Base 1 y riego 10 h	4.458	0.529	2.285	0.779	9.6
Operación 1	Gestión La Laguna	4.474	0.532	2.295	0.774	9.6
Operación 2	Soltar acs exc 10	4.654	0.566	2.396	0.806	9.6
Operación 2.2	Entub.canales bajos	4.625	0.574	2.402	0.893	11.4
Operación 2.3	Tecnif. Riego ZR bajas	4.536	0.295	1.599	0.630	8.8
Operación 2.4	Tranques noct.	4.461	0.529	2.287	0.769	9.5
Operación 3	Nuevas áreas A	6.180	0.531	2.329	0.636	6.0
Operación 4.1	Soltar acs exc.2, 10, 11	6.721	0.587	2.504	0.692	6.2
Operación 5.1	Entub.canales bajos	6.534	0.574	2.464	0.693	6.9
Operación 6.1	Tec.Riego ZR bajas exc.10, 11	6.653	0.149	0.545	0.212	2.4
Operación 7.1	Tranques noct.ZR bajas	6.180	0.531	2.329	0.636	6.0
Operación 7.2	Todo salvo tranques	6.855	0.495	2.230	0.752	8.0
Operación 7.4	Todo y can entub desde P	6.862	0.497	2.236	0.756	8.1

Escenario	Descripc. Escenario	Volumen agua ac.	Flujo entrante ac	Flujo saliente ac.	Capac Bombeo Total	Capac Bombeo Riego	Bombeo total	Bombeo riego	Bombeo otros usos	% bom tot sobre der totales	% bom riego sobre der riego
		Mm3	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	%	%
Esc S1	Calibración	449.234	0.000	0.342	8.350	5.391	1.848	1.390	0.458	22.5	26.0
Base 1	Ent. Seg. Demandas	447.239	0.000	0.329	8.350	5.391	1.607	1.148	0.458	19.2	21.3
Base 1.1	Base 1 y riego 10 h	447.244	0.000	0.329	8.350	5.391	1.607	1.149	0.458	19.2	21.3
Operación 1	Gestión La Laguna	448.991	0.000	0.329	8.350	5.391	1.594	1.136	0.458	19.1	21.1
Operación 2	Soltar acs exc 10	442.677	0.000	0.326	104.361	100.300	1.935	1.477	0.457	1.9	1.5
Operación 2.2	Entub.canales bajos	451.821	0.000	0.329	8.350	5.391	1.060	0.602	0.458	12.7	11.2
Operación 2.3	Tecnif. Riego ZR bajas	449.624	0.000	0.329	8.350	5.391	1.466	1.008	0.458	17.6	18.7
Operación 2.4	Tranques noct.	447.239	0.000	0.329	8.350	5.391	1.607	1.148	0.458	19.2	21.3
Operación 3	Nuevas áreas A	428.078	0.000	0.329	8.350	5.391	2.080	1.621	0.458	24.9	30.1
Operación 4.1	Soltar acs exc.2, 10, 11	414.897	0.000	0.322	87.313	83.252	2.932	2.484	0.448	3.4	3.0
Operación 5.1	Entub.canales bajos	439.485	0.000	0.329	8.350	5.391	1.510	1.052	0.458	18.1	19.5
Operación 6.1	Tec.Riego ZR bajas exc.10, 11	414.872	0.000	0.328	8.350	5.391	1.205	0.748	0.457	14.4	13.9
Operación 7.1	Tranques noct.ZR bajas	428.078	0.000	0.329	8.350	5.391	2.080	1.621	0.458	24.9	30.1
Operación 7.2	Todo salvo tranques	437.767	0.000	0.337	67.508	64.649	1.490	1.018	0.472	2.2	1.6
Operación 7.4	Todo y can entub desde P	439.883	0.000	0.333	67.508	64.649	1.441	0.969	0.472	2.1	1.5

8.1.4 Área regable con 85% de seguridad

En el Cuadro 8-6 a continuación, se presentan, por zona de riego, las áreas regables con 85% de seguridad que se obtienen en cada uno de los escenarios viables. Al respecto, se observa que cada una de las medidas de eficiencia por separado permite aumentar las áreas de riego desde 23.228 ha actuales hasta unas 30.000 ha. Cuando se utilizan todas las medidas en forma conjunta, el área posible de regar con buena seguridad aumenta aún más. Sin embargo, el área regada del escenario 7.3, de 35.000 ha, debe entenderse como un límite superior, porque los acuíferos se ven muy exigidos en esta condición. El área máxima de regar, sería de unas 32.000 ha, haciendo uso de todas las medidas de eficiencia. Es necesario señalar, sin embargo, que en estos escenarios aún no se ha hecho uso de las aguas servidas tratadas de las ciudades de La Serena y Coquimbo.

Cuadro 8-6
Áreas regables con 85% de seguridad en los diferentes escenarios estudiados

Escenario		0_S1	Base 1	Op2		Op3	Op4.1	Op5.1	Op6.1	Op7.1	Op 7.2	Op 7.4
Zona de riego	Área total act.	área 85%	área 85%	área 85%	37% Ampl. Área	área 85%	área 85%	área 85%	área 85%	área 85%	área 85%	área 85%
ZR-01	758	758	758	758	1213	1213	1213	1213	1213	1213	1213	1213
ZR-02	891	802	446	668	891	446	535	490	535	446	802	802
ZR-03	419	419	419	419	670	570	670	670	670	570	670	670
ZR-04	222	222	222	222	444	444	444	444	444	444	444	444
ZR-06	286	286	286	286	572	572	572	572	572	572	572	572
ZR-07	2949	2949	2949	2949	5013	5013	5013	5013	5013	5013	5013	5013
ZR-08	292	292	292	292	467	467	467	467	467	467	467	467
ZR-09	6015	5714	6015	6015	10226	7670	10226	10226	9715	8181	10226	10226
ZR-10	1352	406	676	676	1352	676	608	1014	1217	676	919	919
ZR-11	7009	7009	7009	7009	8060	8060	8060	8060	8060	8060	8060	8060
ZR-12	3035	2276	3035	3035	3035	3035	3035	2276	3035	3035	3035	3035
Total	**23228**	**21133**	**22107**	**22329**	**31943**	**28165**	**30843**	**30445**	**30940**	**28676**	**31421**	**31421**

8.1.5 Eficiencia global, reúso global y reúso total del agua

A continuación, en el Cuadro 8-7, se presenta el análisis de la forma en que las diferentes medidas tomadas en cada uno de los escenarios son capaces de reducir las salidas al mar, de modo de lograr una mayor eficiencia global de uso del agua disponible.

Se puede observar claramente en dicho cuadro, que en el escenario de calibración hay una gran cantidad de agua que se pierde al mar, la que se va reduciendo en los escenarios de operación, con las diferentes medidas que se van tomando. La eficiencia global de uso aumenta de 56% en el escenario de calibración, a 77% en el escenario extremo pero viable.
Asimismo, se observa una reducción significativa del porcentaje no aprovechado del agua disponible, y una reducción del reúso a nivel global, lo que indica que hay menos retornos

desde el nivel individual, es decir, también a nivel de usuario ha aumentado la eficiencia de uso.

El análisis de estos escenarios muestra que es posible sacar mucho mayor partido de las aguas disponibles, buscando retener aguas que actualmente salen al mar.

En estos escenarios aún no se hace uso de las aguas servidas tratadas, que son una fuente adicional de aguas para el riego en la cuenca.

De los datos del Cuadro 8-7 se puede concluir que, dadas las condiciones de la cuenca, sería posible reducir las salidas al mar en unos 2 m3/s, aplicando todas las medidas de eficiencia posibles y viables dentro de la cuenca. Esto da la posibilidad de regar unas 8.000 ha adicionales, con una tasa de riego de 0,25 l/s/ha, cercana a la demanda neta de raí, más eficiente que la actual, que se sitúa en 0,46 l/s/ha en promedio.

Cuadro 8-7
Eficiencia neta, reúso y eficiencia global en escenarios viables

Escenario	Q Consumo de Usos	Prob Exc Consumo Usos	Q Pérdidas	Q Consumo Total	Prob Exc Consumo Total	Qcapt año prom	Eficiencia global promedio	% no aprovechado promedio	Reúso global promedio	Reúso total promedio
	(m3/s)	(%)	(m3/s)	(m3/s)	(%)	(m3/s)	%	%	(º/1)	(º/1)
Esc S1	5.402	0.91	4.327	9.729	0.61	15.464	56	44	1.59	2.38
Base 1	5.543	0.90	3.635	9.178	0.66	11.195	60	40	1.22	1.83
Base 1.1	5.540	0.90	3.637	9.177	0.66	11.202	60	40	1.22	1.83
Operación 1	5.556	0.90	3.669	9.225	0.65	11.231	60	40	1.22	1.83
Operación 2	5.736	0.89	3.558	9.294	0.64	11.529	62	38	1.24	1.86
Operación 2.2	5.707	0.89	3.041	8.748	0.73	10.435	65	35	1.19	1.79
Operación 2.3	5.618	0.90	3.300	8.918	0.70	10.245	63	37	1.15	1.72
Operación 2.4	5.543	0.90	3.635	9.178	0.66	11.195	60	40	1.22	1.83
Operación 3	7.262	0.80	3.162	10.424	0.58	13.244	70	30	1.27	1.91
Operación 4.1	7.803	0.78	2.874	10.677	0.55	13.979	73	27	1.31	1.96
Operación 5.1	7.616	0.79	2.224	9.840	0.60	12.451	77	23	1.27	1.90
Operación 6.1	7.735	0.78	2.438	10.173	0.58	11.271	76	24	1.11	1.66
Operación 7.1	7.262	0.80	3.162	10.424	0.58	13.244	70	30	1.27	1.91
Operación 7.2	7.937	0.78	2.297	10.234	0.58	11.703	78	22	1.14	1.72
Operación 7.4	7.944	0.78	2.327	10.271	0.58	11.720	77	23	1.14	1.71

8.1.6 Dotación de agua por acción

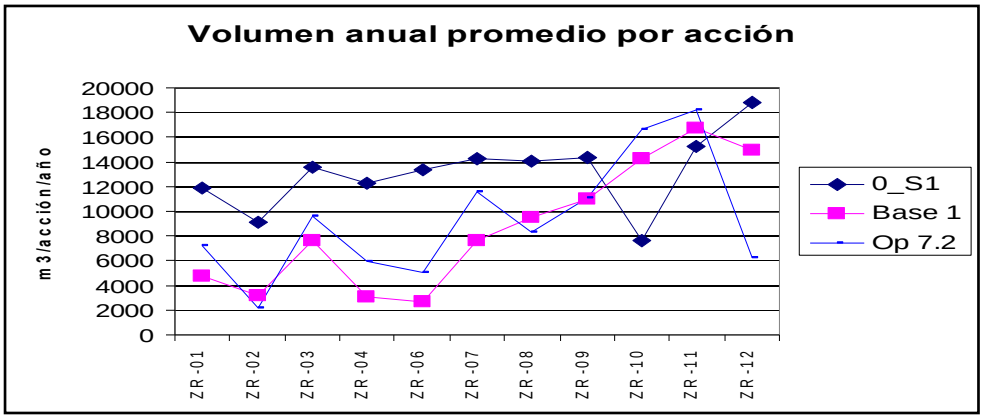
En el Cuadro 8-8 y la Figura 8-29 se puede observar que el hecho de reducir las entregas de agua por acción en las zonas altas, ajustándolas a la demanda, tiene un efecto sobre las entregas que se pueden hacer en las zonas bajas. Sin embargo, este efecto no es muy notorio, lo que se debe a que en un sistema lineal como el del Elqui, las ineficiencias locales no son tales a nivel medio ni global, pues las aguas "perdidas" se reutilizan más abajo.

Las medidas que sí tienen un efecto sobre lo que se entrega más abajo, son los aumentos de área en las zonas altas. Estos aumentos generan una mayor demanda neta de agua, por lo que reducen las disponibilidades hacia aguas abajo.

Cuadro 8-8
Volumen anual promedio por acción en diferentes escenarios

		Volumen anual promedio / acción (m3/acción/año)							
Zona de riego	Acciones	0_S1	Base 1	Op 2.2	Op 2.3	Op 2.4	Op 3	Op 4.1	Op 7.2
ZR-01	2136	11915	4769	4769	4769	4769	7249	7249	7249
ZR-02	3043	9099	3182	2777	2798	3182	3182	3182	2145
ZR-03	1016	13533	7636	7636	7636	7636	9591	9591	9591
ZR-04	1239	12268	3054	3054	3054	3054	5981	5981	5981
ZR-06	1685	13400	2695	2695	2695	2695	5091	5053	5053
ZR-07	5888	14258	7589	7589	7589	7589	11585	11547	11547
ZR-08	476	14045	9540	8944	8547	9540	13052	13052	8348
ZR-09	5643	14379	10993	10311	9456	10993	13480	13446	11110
ZR-10	1094	7639	14269	17152	14413	14269	13721	13635	16662
ZR-11	3342	15287	16768	17806	17080	16768	16381	16344	18250
ZR-12	2593	18766	14923	11834	8586	14923	13925	12636	6215
Total	**28155**	**13658**	**9148**	**8908**	**8240**	**9148**	**10913**	**10770**	**9862**

Figura 8-29
Volumen anual promedio por acción



8.1.7 Dotación de agua por hectárea

En el Cuadro 8-9 y la Figura 8-30 se observa el volumen que se requiere recibir en bocatoma por hectárea regada, en los diferentes escenarios. Se observa que mayores eficiencias en cuanto a tecnificación del riego y entubamiento de canales permiten reducir las entregas. En el escenario 7.2 de acciones conjuntas, en que se han tomado medidas de eficiencia en las zonas bajo el embalse Puclaro, se observa que las entregas promedio se reducen fuertemente, permitiendo igualmente suplir las demandas en buena forma. Los sectores 1 a 7 no reducen mucho sus demandas, porque, por un lado, ya están altamente tecnificados, y por otro lado, se puede asumir que ellos no se tecnifican si no es para crecer.

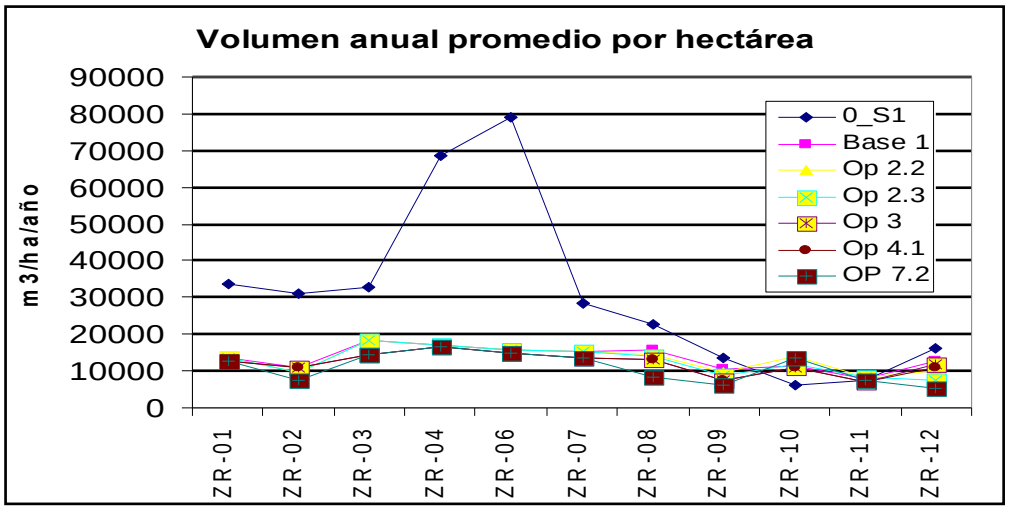
Hacia abajo, como los cultivos son del tipo hortalizas, las demandas dependen de la cantidad de rotaciones que se hacen al año. En estos sectores, para cultivar todo el año, como se ha supuesto para la zona 10, y parcialmente para las zonas 9, 11 y 12, basta con 12.500 m3/ha.

En la Figura 8-27 se puede observar la forma en que la curva de entregas baja a medida que se incluyen nuevas medidas de eficiencia. Pero también se observa que hacer más eficiente las entregas en los sectores del río Claro, no favorece sustancialmente las zonas más bajas.

Cuadro 8-9
Volumen anual promedio por hectárea

		Volumen anual por hectárea (m3/ha/año)						
Zona de riego	**Areas**	**0_S1**	**Base 1**	**Op 2.2**	**Op 2.3**	**Op 3**	**Op 4.1**	**Op 7.2**
ZR-01	758	33575	13438	13438	13438	12765	12765	12765
ZR-02	891	31076	10866	9486	9556	10866	10866	7327
ZR-03	419	32816	18515	18515	18515	14544	14544	14544
ZR-04	222	68470	17046	17046	17046	16691	16691	16691
ZR-06	286	78950	15878	15878	15878	14996	14886	14886
ZR-07	2949	28467	15153	15153	15153	13607	13563	13563
ZR-08	292	22896	15552	14580	13932	13303	13303	8509
ZR-09	6015	13490	10313	9673	8871	7438	7420	6131
ZR-10	1352	6181	11546	13879	11663	11103	11033	13482
ZR-11	7009	7289	7995	8490	8144	6792	6777	7567
ZR-12	3035	16033	12749	10110	7336	11897	10796	5310
Total	**23228**	**16555**	**11088**	**10798**	**9988**	**9619**	**9492**	**8693**

Figura 8-30
Volumen anual promedio por hectárea

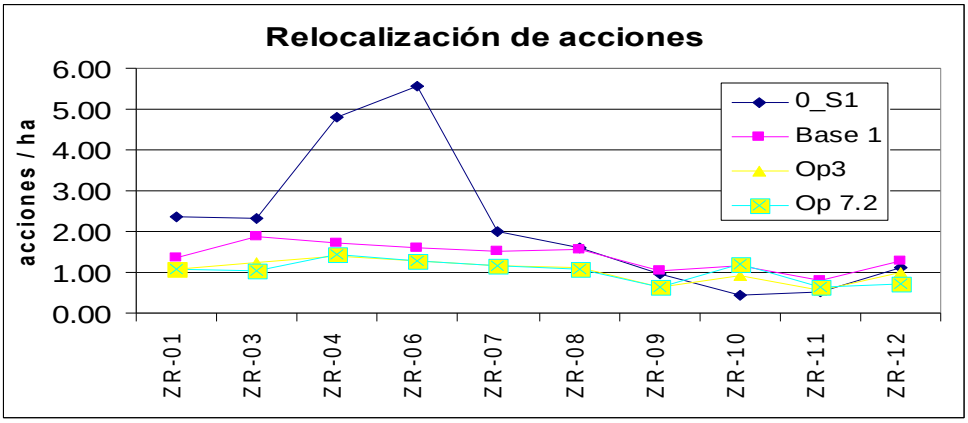


8.1.8 Relocalización de acciones para diversos escenarios

Se analiza en este punto la relocalización de acciones que se produce en diversos escenarios, al hacer una entrega según demanda, y no según derechos.

Lo que se puede observar en la Figura 8-31, es que entregaría menos aguas en las zonas altas, especialmente en el río Claro, y más aguas a las zonas bajas, fundamentalmente Elqui Bajo y Santa Gracia, donde hay una demanda por los excedentes de arriba. Sin embargo, se observa nuevamente que el efecto de tal medida no es muy radical, debido a que el agua en exceso de las zonas altas vuelve al río en forma automática para ser usada en las zonas más bajas, mientras no aumenta la demanda en las zonas altas. La gran cantidad de acciones, eso sí, permite la expansión de las zonas altas, a costa del agua que actualmente reciben las zonas más bajas.

Figura 8-31
Relocalización de acciones al entregar según demandas



8.1.9 Explotabilidad de acuíferos

Los escenarios 4.1 y 7.2 constituyen una referencia sobre la forma en que se pueden explotar más intensivamente los acuíferos. Ambos son escenarios de aumento de áreas de 37%. En el escenario 4.1 es un escenario sin tecnificación ni entubamientos, en que se explotan intensivamente los acuíferos hasta suplir las demandas. El escenario 7.2 es un escenario en que se ha tecnificado intensivamente y entubado los canales, y sólo se usa el acuífero para suplir las demandas restantes y de sequías.

En comparación con el escenario de calibración actual, para dichos escenarios se obtienen los valores característicos de explotación que se presentan en el Cuadro 8-10.

Cuadro 8-10
Valores característicos de la explotación acuíferos Elqui

		Escenario Calib 0_S1			Escenario Operación 4.1			Escenario Operación 7.2		
AC	Derechos actuales totales	Bombeo promedio actual	Recarga disponible actual	Peak máx total	Peak max total	Bomebo promedio	Recarga disponible Op 4.1	Peak máx total	Promedio total 7.2	Recarga disponible Op 7.2
AC-01	0.227	0.018	0.828	0.018	0.018	0.018	0.738	0.018	0.018	0.738
AC-02	0.044	0.007	0.226	0.018	0.104	0.031	0.188	0.104	0.016	0.134
AC-03	0.000	0.000	0.276	0.000	0.129	0.029	0.241	0.120	0.028	0.241
AC-04	0.050	0.000	0.292	0.000	0.023	0.000	0.206	0.018	0.000	0.207
AC-06	0.011	0.011	0.321	0.011	0.234	0.003	0.205	0.239	0.009	0.206
AC-07	1.511	0.056	1.955	0.354	2.105	0.122	1.732	1.461	0.116	1.735
AC-08	0.026	0.004	0.301	0.018	0.156	0.008	0.292	0.149	0.005	0.172
AC-09	2.232	0.249	2.572	0.768	5.411	0.899	2.624	4.500	0.241	1.185
AC-10	0.237	0.179	0.194	0.180	0.249	0.199	0.306	0.222	0.201	0.289
AC-11	3.542	1.206	1.381	3.000	3.160	1.262	1.440	3.000	0.754	1.111
AC-12	0.470	0.120	0.791	0.239	2.456	0.362	0.720	1.288	0.102	0.256
Total	**8.350**	**1.848**	**9.137**	**4.606**	**14.045**	**2.932**	**8.693**	**11.119**	**1.490**	**6.273**

Hay tres acuíferos para los cuales estos valores muestran la posibilidad de constituir más derechos de agua: Los acuíferos de Vicuña, Elqui Bajo y Costa. Para ellos, se detalla la situación en el Cuadro 8-11. Para el acuífero Costa hay que tener presente que también se puede disponer del caudal afluente subterráneo, que de otra forma se evacúa al mar.

Cuadro 8-11
Derechos sugeridos para acuíferos 7, 9 y 12

Caudales en m3/s	Ac 7 (Vicuña)	Ac 9 (Elqui Bajo)	Ac 12 (Costa)
Derechos actuales registrables	1.511	2.23	0.47
Peak tolerado = Derechos posibles	**2.11**	**4.50**	**1.30**
Recarga media actual	1.95	2.57	0.79 + 0.39
Recarga media proy. segura	1.73	1.20	0.26 + 0.37
Explotación media actual	0.06	0.25	0.12
Factor de uso actual	0.04	0.11	0.26
Explotación media sustentable	1.73	1.20	0.26 + 0.37
Factor de uso proyectado	**0.04**	**0.27**	**0.48**

8.1.10 Información obtenida para modelación económica

Los escenarios corridos con el modelo MAGIC contienen una gran cantidad de información técnica que es necesario conocer para el análisis económico que se presenta a continuación. La información obtenida de los resultados de los escenarios viables, más el de calibración, es la siguiente:

a) Porcentaje de demanda suplida por zona de riego

El porcentaje de demanda suplida permite observar por zona, cómo actúan las diferentes medidas de eficiencia sobre las diferentes zonas de riego, en cada escenario.

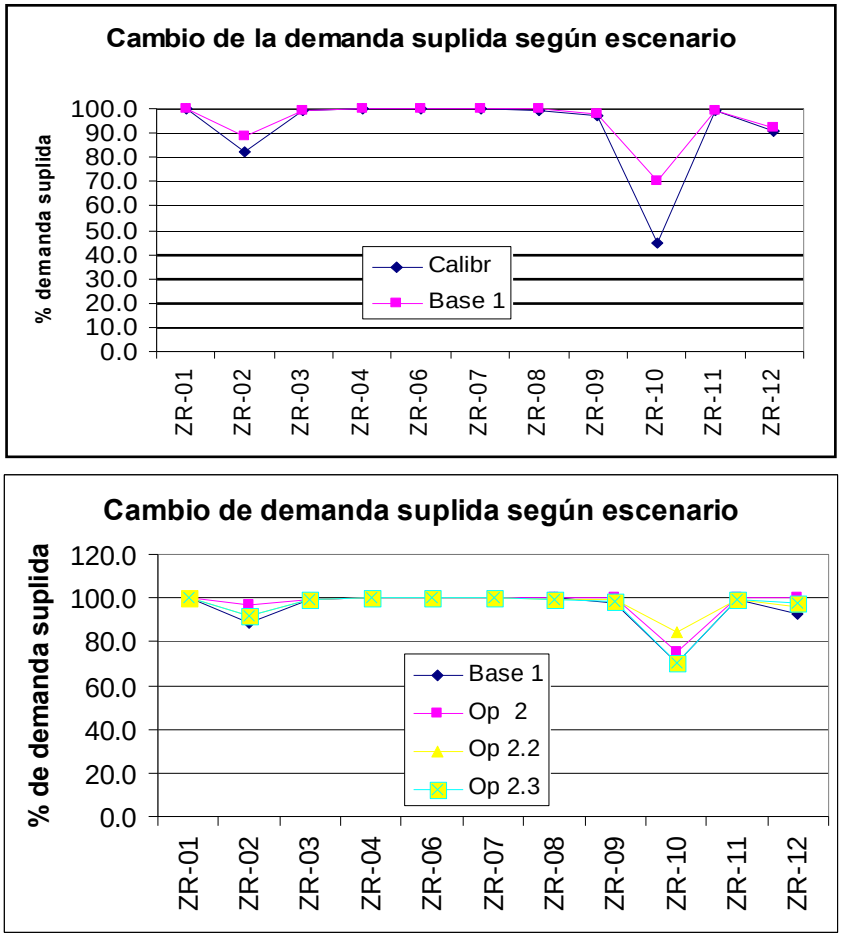
Al respecto, en el Cuadro 8-12 y en la Figura 8-32 a continuación, se observa que las medidas más eficientes para las áreas actuales, son las entregas según demanda bajo el embalse Puclaro. Por sobre esta medida, es más eficiente aumentar el entubamiento de canales que tecnificar áreas de riego, para lograr mayor porcentaje de demanda suplida. También es eficiente hacer uso de los acuíferos, para suplir las demandas en sequías.

Cuadro 8-12
Porcentaje de demanda suplida promedio a nivel de zona de riego

ZR	Calibr	Base 1	Op 2	Op 2.2	Op 2.3	Op 2.4	Op 3	Op 4.1	Op 5.1	Op 6.1	Op 7.1	Op 7.2	Op 7.4
ZR-01	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
ZR-02	82.0	88.5	97.0	91.7	91.8	88.5	88.5	92.9	91.7	91.8	88.5	98.0	98.0
ZR-03	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	93.4	100.0	99.9	99.5	93.4	100.0	100.0
ZR-04	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
ZR-06	100.0	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.7	100.0	99.3	99.3	99.7	100.0	100.0
ZR-07	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.9	100.0	99.9	99.9	99.9	100.0	100.0

ZR	Calibr	Base 1	Op 2	Op 2.2	Op 2.3	Op 2.4	Op 3	Op 4.1	Op 5.1	Op 6.1	Op 7.1	Op 7.2	Op 7.4
ZR-08	99.0	100.0	100.0	99.4	98.9	100.0	98.8	100.0	99.6	99.6	98.8	100.0	100.0
ZR-09	97.0	97.6	100.0	99.2	98.8	97.6	86.7	100.0	93.9	93.1	86.7	100.0	100.0
ZR-10	45.0	70.0	75.3	84.7	70.6	70.0	66.9	66.7	82.4	90.6	66.9	82.0	84.0
ZR-11	99.0	99.4	100.0	99.7	99.4	99.4	97.9	97.9	98.7	99.9	97.9	99.0	99.0
ZR-12	91.0	92.5	100.0	96.1	97.4	92.5	88.7	100.0	85.6	94.4	88.7	100.0	100.0
Total	**90.0**	**94.0**	**96.9**	**96.9**	**94.8**	**94.0**	**91.1**	**96.0**	**94.6**	**96.7**	**91.1**	**97.5**	**97.7**

Figura 8-32
Cambio de la demanda suplida por zonas según escenario áreas actuales

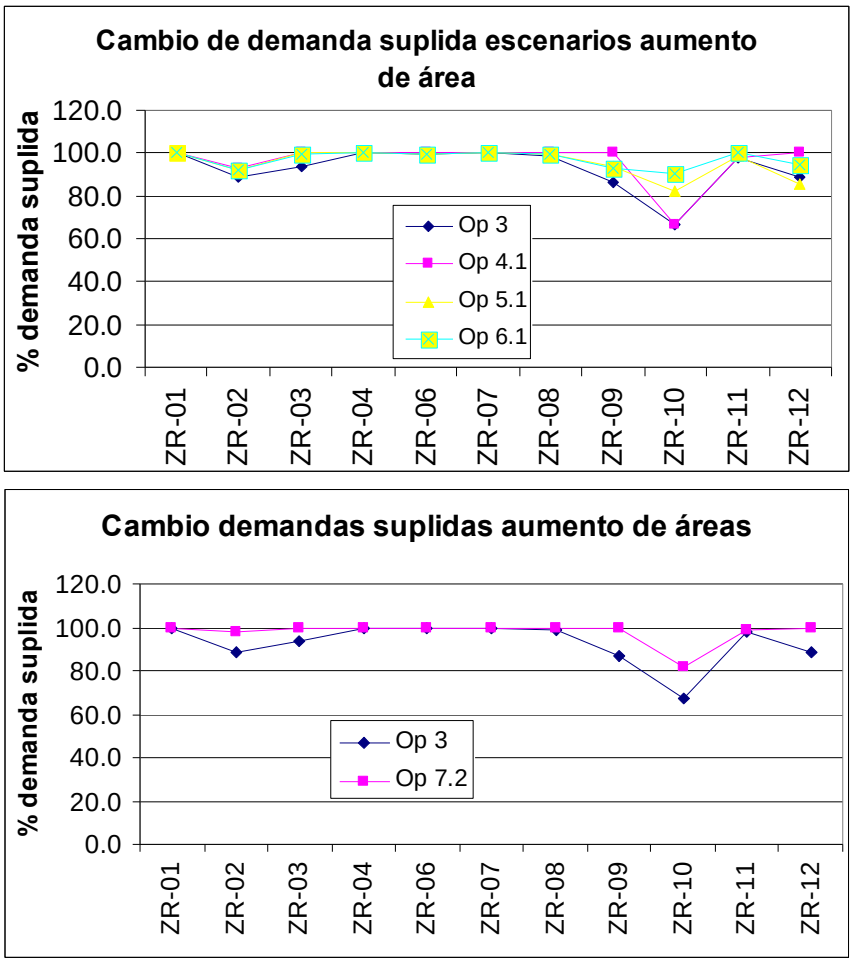


Para mantener altas seguridades de riego en la situación de áreas ampliadas, situación que se muestra en la Figura 8-33, hay que recurrir a medidas de mayor eficiencia local y media, y se perfilan como técnicamente las más convenientes, las siguientes:

- mayores bombeos, que son eficientes en todos los sectores salvo 10 y 11, donde los acuíferos están topados, y salvo en los sectores altos de acuíferos muy pequeños
- entubamiento de canales en los sectores 2, 3 y bajo el embalse Puclaro
- tecnificación del riego salvo en los sectores 10 y 11.

La viabilidad económica de estos escenarios se analiza en el Capítulo 9.

Figura 8-33
Cambio de la demanda suplida por zonas según escenario áreas ampliadas



b) Porcentaje de demanda suplida por mesozona

De acuerdo con la metodología, se obtiene un porcentaje de demanda suplida característico, k, por mesozona, a partir de los datos mensuales de demanda suplida por zona del modelo de simulación. Este dato puede ser el promedio de los meses de verano solamente, lo que se aplica en las zonas donde no hay cultivos de invierno, o puede ser el promedio del año completo, valor que se usa en los sectores en que hay cultivos durante todo el año.

En el caso del Elqui, se ha asumido que hay cultivos de verano en las zonas sobre Puclaro, y cultivos todo el año en las zonas bajo Puclaro.

La información se presenta en el Cuadro 8-13 como promedio de todo el período de análisis, y por mesozonas. Las mesozonas son las mismas que se analizan en el diagnóstico de la eficiencia económica.

En el Cuadro 8-13 se agrega también, para cada escenario, la demanda suplida promedio de la cuenca a nivel de zona de riego, y a nivel raíz.

Cuadro 8-13
Coeficiente k, porcentaje de demanda suplida

Escenario	K MZ 1	K MZ 2	K MZ 3	K MZ 4	DS ZR cuenca	DS Raíz cuenca
Cailib 0_S1	0.87	1.00	0.80	0.99	6.955	4.316
Base 1	0.71	1.00	0.89	0.99	7.278	4.461
Base 1.1	0.71	0.98	0.89	0.99	7.285	4.458
Operación 1	0.71	1.00	0.89	0.99	7.301	4.474
Operación 2	0.90	1.00	0.93	1.00	7.616	4.654
Operación 2.2	0.77	1.00	0.94	1.00	7.601	4.625
Operación 2.3	0.77	1.00	0.88	0.99	6.431	4.536
Operación 2.4	0.71	1.00	0.89	0.99	7.278	4.461
Operación 3	0.71	0.98	0.83	0.98	9.042	6.180
Operación 4.1	0.80	1.00	0.93	0.98	9.813	6.721
Operación 5.1	0.77	1.00	0.90	0.99	9.573	6.534
Operación 6.1	0.77	0.99	0.93	1.00	7.348	6.653
Operación 7.1	0.71	0.98	0.83	0.98	9.042	6.180
Operación 7.2	0.95	0.99	0.95	0.99	8.604	6.855
Operación 7.4	0.95	0.99	0.95	0.99	8.619	6.862

En el Cuadro 8-13 destacan los escenarios 2.3 y 6.1, ambos referidos a tecnificación del riego, que permiten reducir significativamente las aguas captadas, debido a la fuerte reducción de las demandas, al mismo tiempo de cubrir muy bien las demandas.

Destacan los escenarios 4.1 (mayor bombeo), 7.2 (todas las medidas) y 7.4 (ídem), que logran una mayor satisfacción de la demanda a nivel raíz. Las recomendaciones dependen de las evaluaciones económicas.

c) Longitud de canales entubados

Para los escenarios en que se ha entubado canales, las longitudes de entubamiento son las siguientes:

Cuadro 8-14
Longitudes entubadas de canales en escenarios con entubamiento

ESCENARIO	DESCRIPCIÓN	CANALES ENTUBADOS	LONG ENTUB (km)
Calibración 0_S1	Sin canales entubados		0
Operación 2.2	Se entuban los canales que alimentan zonas 2, 9, 10, 11, 12	CA 02, 10, 13-20	485.4
Operación 5.1	Se entuban todos los canales excepto los que riegan ZR 01, 04, 06 y 07	CA-02, 03, 09-20	528.85
Operación 7.1	Se entuban todos los canales	CA 01-20	760.38
Operación 7.2	Se entuban todos los canales excepto los que riegan las ZR 01, 03, 04, 06 y 07	CA 02, 09-20	520.78
Operación 7.4	Idem 7.2	CA 02, 09-20	520,78

d) Áreas nuevas tecnificadas

Para la obtención de las áreas nuevas tecnificadas por escenario, se presentan a continuación las áreas totales tecnificadas por escenario. Las nuevas áreas tecnificadas se obtienen por diferencia.

Cuadro 8-15
Areas tecnificadas por escenario

ESCENARIO	AREA TECNIFICADA (Ha)
Calibración	7258
Base 1	7258
Base 1.1	7258
Operación 1	7258
Operación 2	7258
Operación 2.2	7258
Operación 2.3	14983
Operación 2.4	7258
Operación 3	15762
Operación 4.1	15762
Operación 5.1	15762
Operación 6.1	24087
Operación 7.1	15762
Operación 7.2	23913
Operación 7.4	23913

e) Capacidad adicional de tranques nocturnos

La capacidad de regulación nocturna adicional por escenario se obtiene de la misma forma a partir de los siguientes datos:

Cuadro 8-16
Capacidad de regulación nocturna por escenario

Escenario	CRN (m3)
Calibración 0_S1	1541490
Base 1	1541490
Operaciòn 2.4	4085850
Operación 7.1	4133850

f) Caudales bombeados desde pozos, y pozos nuevos

El modelo Magic entrega como resultado los caudales bombeados en cada escenario. El costo de operación de tal bombeo depende de varios factores:

- de la altura media de bombeo de cada sector
- del número de pozos que deben operar en cada escenario para generar ese bombeo, - del tope que imponen los derechos a cada sector,
- del bombeo efectivo máximo en cada sector, para el cálculo de la demanda máxima a contratar,
- del caudal promedio anual efectivamente bombeado en cada sector, para el cálculo del consumo y costo de energía
- del costo de las tarifas

Las tarifas consideradas en este estudio son las correspondientes al código AT4.3, parcialmente presentes en punta, con demanda contratada, que es la más conveniente para el riego. Esta tarifa tiene pequeñas variaciones comunales. Se aplicó la máxima tarifa comunal, para mantenerse en un plano conservador.

Toda la información anterior dio lugar a una planilla de costo de bombeo, en la que se calcula el costo de operación de las bombas, su costo de mantención en función de las horas de bombeo, y los pozos nuevos que es necesario agregar en cada escenario, en función de la cantidad adicional de caudal que se está bombeando. De estas planillas se obtuvieron los resultados que se presentan en el Cuadro 8-15 para la operación de los pozos en los diversos escenarios de análisis. Estos resultados son los que se utilizan para la evaluación económica de cada escenario en el Capítulo 9.

Cuadro 8-17
Resultados de la operación de los pozos escenarios cuenca Elqui
Millones de pesos Sept. 2006

Escenario	Costo anual de Operación	Costo de reposición	Frec. de repos. años	Costo anual reposición	Pozos nuevos
Calib 0_S1	548.9	656	8	82.0	0
Base 1	475.3	656	9	72.9	0
Base 1.1	475.4	656	9	72.9	0
Operación 1	472.6	656	9	72.9	0
Operación 2	784.8	1690	20	84.5	379
Operación 2.2	339.5	656	14	46.9	0
Operación 2.3	442.0	656	11	59.6	0
Operación 2.4	475.3	656	9	72.9	0
Operación 3	732.3	656	6	109.3	0
Operación 4.1	1316.5	1881	13	144.7	463
Operación 5.1	560.9	656	9	72.9	0
Operación 6.1	489,1	676	13	52.0	4
Operación 7.1	732.3	656	6	109.3	0
Operación 7.2	739.7	1385	27	51.3	276
Operación 7.4	730.0	1385	29	47.8	276

8.2 OPERACIÓN MODELO MAGIC-LIMARÍ

Como para el Elqui, también para el Limarí la operación del modelo tuvo por objetivo probar diversas acciones sobre el sistema, para analizar sus efectos, estudiar su viabilidad técnica, y luego someter las acciones viables a una evaluación económica.

Esta cuenca está altamente optimizada, debido a que tiene un sistema de embalses, ubicados en todos los afluentes mayores, tiene un sistema de reparto que se ajusta a la demanda en toda la zona bajo embalses, que abarca el 74% del área total cultivable, y tiene también un alto grado de tecnificación.

De este modo, el escenario de calibración constituye el escenario base de análisis. Sobre él se han probado los siguientes cambios:

- liberación de los acuíferos, para permitir una explotación que va más allá de los derechos actuales
- tecnificación total del riego
- entubamiento de canales
- y la combinación de ellos

No se probó un aumento de tranques nocturnos, porque en esta cuenca hay una gran capacidad de regulación menor, de 200 m3/ha en promedio, y esta cifra sirvió de base para los mejoramientos probados en las demás cuencas.

Por otro lado, tampoco se probó un aumento de áreas, porque las áreas consideradas generan una demanda mayor que la que el sistema normalmente puede suplir, de modo que la demanda está planteada suficientemente alta.

8.2.1 Definición de escenarios corridos

En total se configuraron 5 escenarios más, para analizar el efecto hídrico de las medidas que se podrían recomendar. El modelo se operó con la misma estadística de 14 años de la calibración, que incluye años húmedos y secos. Los escenarios se configuraron de la siguiente manera:

a) Escenario Base 1

- se mantiene el escenario de calibración, con sus características de tecnificación (31% en toda la cuenca), sus derechos subterráneos, sus cultivos, sus eficiencias de canales, y sus áreas demandantes

b) Escenario Operación 1 sobre Base 1

- se inserta pozos de riego en todos los acuíferos
- se libera los acuíferos

c) Escenario Operación 2 sobre Base 1

- se hace eficiente el sistema de riego, se riega todo por goteo

d) Escenario Operación 3 sobre Base 1

- se entuban los canales, haciendo eficiente la conducción.

e) Escenario Operación 4 sobre Base 1

- se tecnifica todo el riego
- se entuban todos los canales
- se liberan todos los acuíferos

f) Escenario Operación 5 sobre Base 1

- se tecnifica todo el riego salvo las zonas de riego 35 y 36, cuyas percolaciones se requieren para alimentar el acuífero 28 subyacente
- se entuban algunos canales aún no mejorados ni entubados en los sectores no regulados
- se mantiene o aumenta levemente la actual capacidad de bombeo (derechos) en todos los acuíferos que actualmente tienen pozos, y se agrega una pequeña capacidad de bombeo en el resto de los acuíferos, según el Cuadro que sigue:

Cuadro 8-18
Análisis de la posibilidad de aumento de bombeo en acuíferos Limarí
Escenario Operación 5

AC 01-05:	:	Sin bombeo (situación Limarí 024)
AC-06:	:	0.100 m3/s (aumenta desde 0.030 m3/s)
AC-07:	:	0.080 m3/s (nuevo pozo de bombeo)
AC-08:	:	0.180 m3/s (nuevo pozo de bombeo)
AC-09:	:	0.200 m3/s (nuevo pozo de bombeo)
AC 10-11:	:	0.035 y 0.023 m3/s respect (situación Limarí 024)
AC-12:	:	0.040 m3/s (aumenta desde 0.001 m3/s)
AC 13, 14 y 15:	:	0, 0.112 y 0.161 m3/s respect (situación Limarí 024)
AC-16:	:	0.200 m3/s (aumenta desde 0.113 m3/s)
AC-17:	:	0.600 m3/s (aumenta desde 0.019 m3/s. Son 3 pozos de 0.161, 0.272 y 0.167 m3/s que alimentan a los sectores ZR-18, 20 y 21 respect)
AC-18:	:	0.007 m3/s (situación Limarí 024)
AC-19:	:	0.021 m3/s (situación Limarí 024)
AC-20:	:	0.140 m3/s (nuevo pozo de bombeo)
AC-21:	:	0.040 m3/s (nuevo pozo de bombeo)
AC-22:	:	Sin bombeo (situación Limarí 024)
AC-23:	:	0.050 m3/s (2 nuevo pozos de bombeo, .025 m3/s para ZR28 y 29)
AC-24:	:	0.300 m3/s (aumenta desde 0.170 m3/s)

AC-25:	:	0.489 m3/s (situación Limarí 024. Son 2 pozos de 0.007 y 0.482 m3/s que alimentan los ZR-39 y 40 respect)
AC-26:	:	0.600 m3/s (aumenta desde 0.450 m3/s)
AC-27:	:	0.044 m3/s (situación Limarí 024)
AC-28:	:	0.060 y 0.100 m3/s (situación Limarí 024)
AC-29:	:	0.155 y 0.309 m3/s (situación Limarí 024)
AC-30:	:	0.071 m3/s (situación Limarí 024)

8.2.2 Análisis de escenarios corridos

Para cada una de las corridas se realizó el mismo análisis exhaustivo del comportamiento de todas las variables de interés que se observaron en el escenario de calibración, y que fueron:

- grado de utilización del recurso en cada una de las zonas de riego
- volúmenes de embalses y acuíferos
- bombeos resultantes de las demandas no cubiertas por las aguas superficiales ni embalses,
- comportamiento de los acuífieros frente a los bombeos resultantes
- porcentaje de satisfacción de las demandas en las zonas de riego
- caudales de retorno
- caudales superficiales en nodos
- salidas al mar
- tabla resumen del escenario

Se observó especialmente que el escenario fuera viable en el sentido de que no se depriman demasiado los acuíferos, y que no se seque el escurrimiento superficial en los nodos.

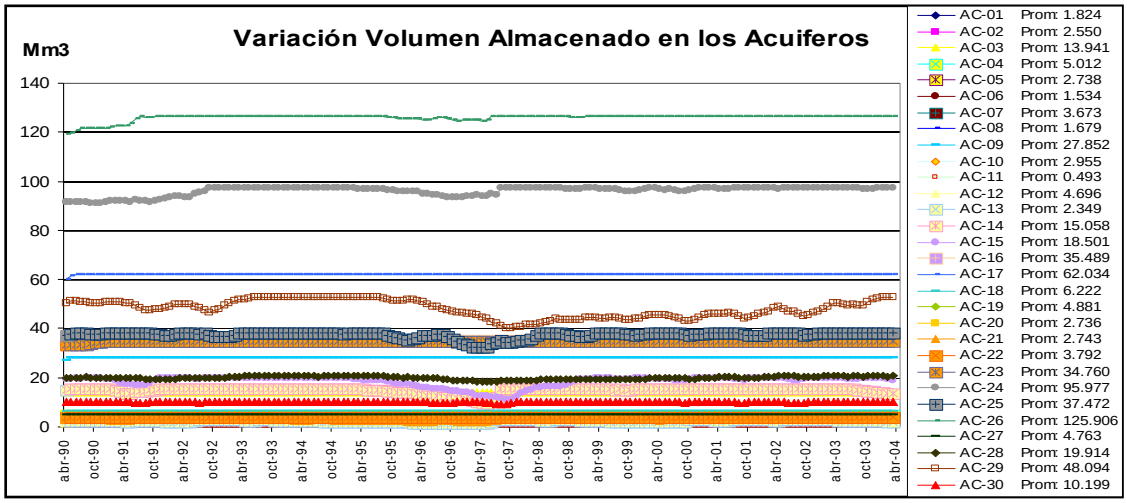
El resultado de este análisis fue el siguiente para los diferentes escenarios.

a) Escenario Base 1

Este escenario es el mismo de calibración, ampliamente analizado y presentado en los Capítulos 6.3, 6.4, 6.5 y 6.6.

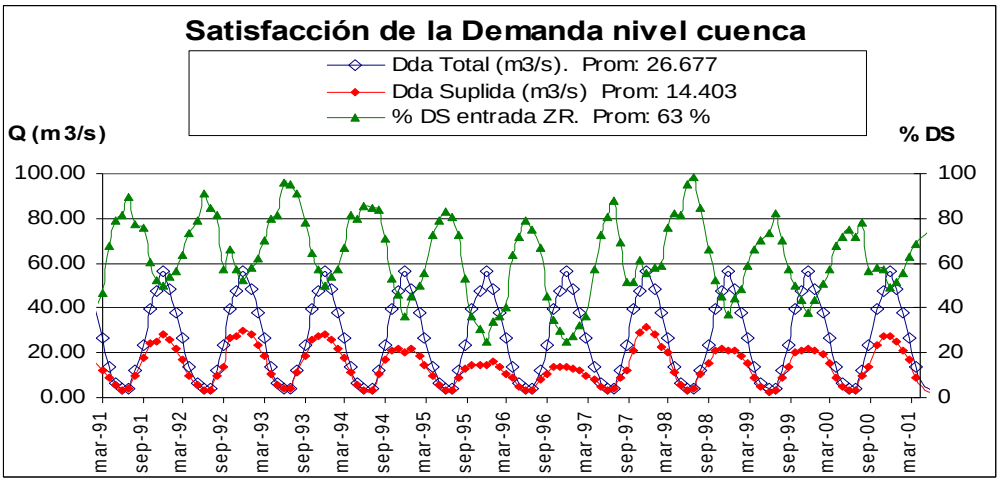
Como se recordará, en este escenario se observaba el siguiente comportamiento de acuíferos, y la siguiente satisfacción de la demanda a nivel de cuenca:

Figura 8-34
Comportamiento de acuíferos en escenario calibración Limarí 024 o Base



1

Figura 8-35
Demanda suplida nivel cuenca escenario Calibración Limarí 024



Según se observó para este escenario, la demanda de la cuenca no es posible satisfacerla completa, especialmente en verano, llegándose en los meses de verano a cubrir el 55% del área con una seguridad de riego del 85%, y como promedio del año, a un 63% del área.

En esta situación, y con los pozos y derechos subterráneos que hay a la fecha, ya varios acuíferos muestran una señal de afección, especialmente los pequeños y los de terrazas antiguas. Las únicas excepciones son los acuíferos del río Grande entre Rapel y Paloma (AC-07, 08 y 09), río Grande bajo Paloma (acuífero 17) y río Limarí (acuíferos 24 y 26), que son más grandes y están poco afectados en la situación actual.

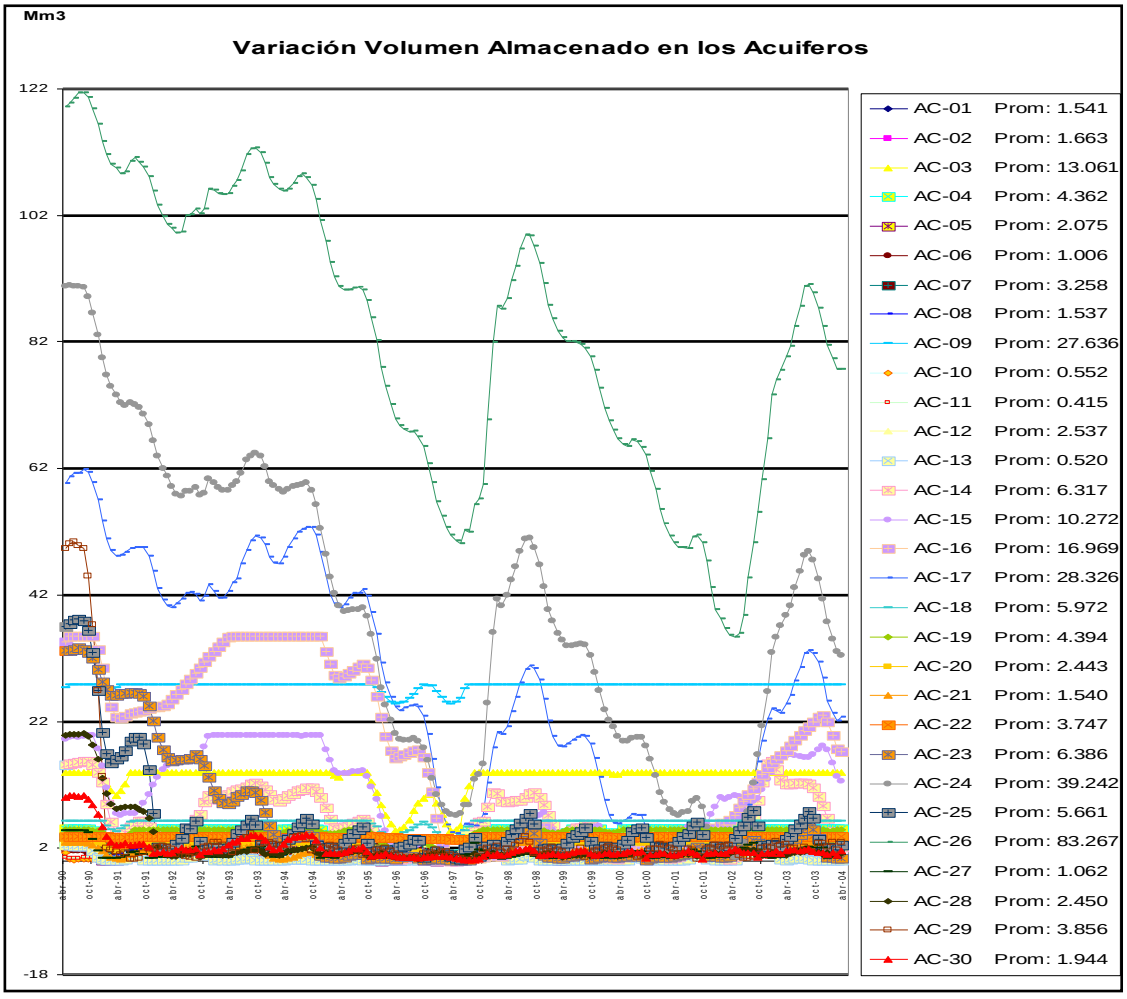
b) Escenario Operación 1 sobre Base 1

Al insertar además, pozos de riego en todos los acuíferos, y librar su uso de la restricción que imponen los derechos, de modo de tratar de cubrir la demanda, se observa lo que muestra la Figura 8-36.

Se puede observar que todos los acuíferos colapsan en este escenario de explotación, con excepción de los acuíferos 3 (Grande entre Mostazal y Rapel), 8 y 9 (Grande entre Rapel y embalse Paloma).

Este escenario, por lo tanto, es no viable. Se concluye que los acuíferos deben quedar como fuente complementaria después de aplicar otras medidas e eficiencia, como tecnificar o entubar canales.

Figura 8-36
Comportamiento acuíferos escenario Operación



c) Escenario Operación 2 sobre Base 1

En este escenario se analiza el efecto de tecnificar todo el riego. Se observa lo siguiente en cuanto a efectos sobre los acuíferos, y sobre la satisfacción de la demanda:

Figura 8-37
Comportamiento de los acuíferos escenario operación 2

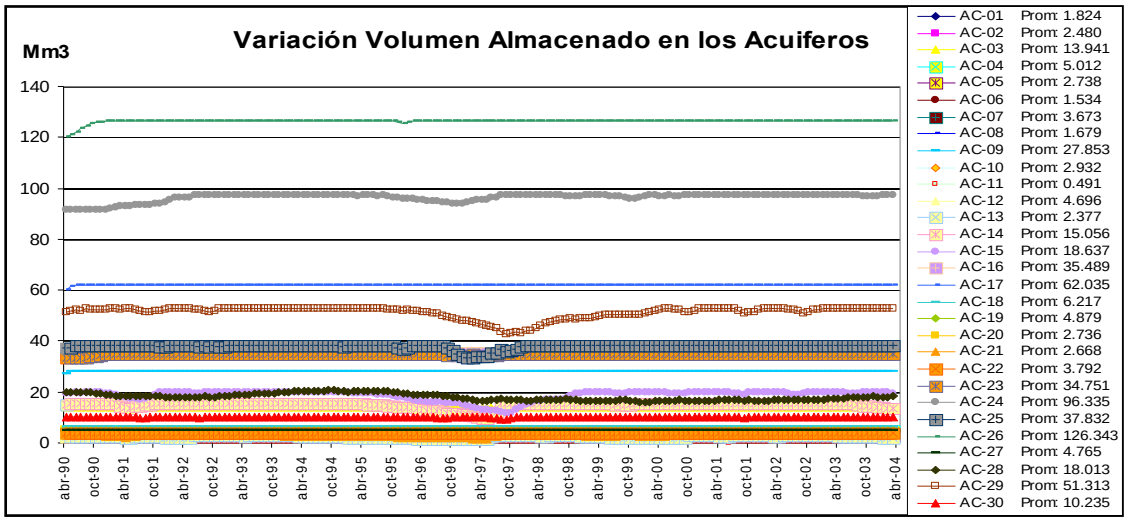
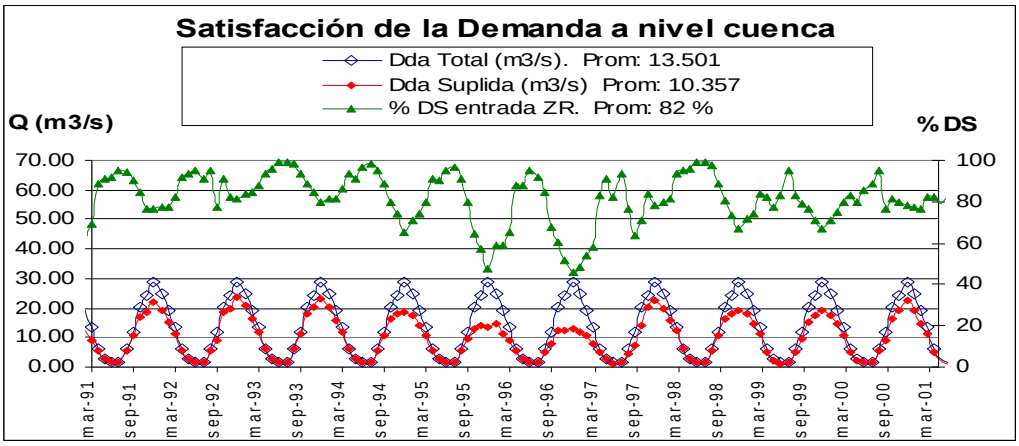


Figura 8-38
Demanda suplida nivel cuenca escenario Operación 2



Se observa que en este escenario, la satisfacción de la demanda mejora sustancialmente en relación con el escenario actual, llegando a regarse un 80% del área con seguridad de 85%. Sobre los acuíferos, esta medida no produce efectos importantes, con la única excepción del acuífero 28, que muestra una depresión permanente aunque en un nuevo estado de equilibrio.

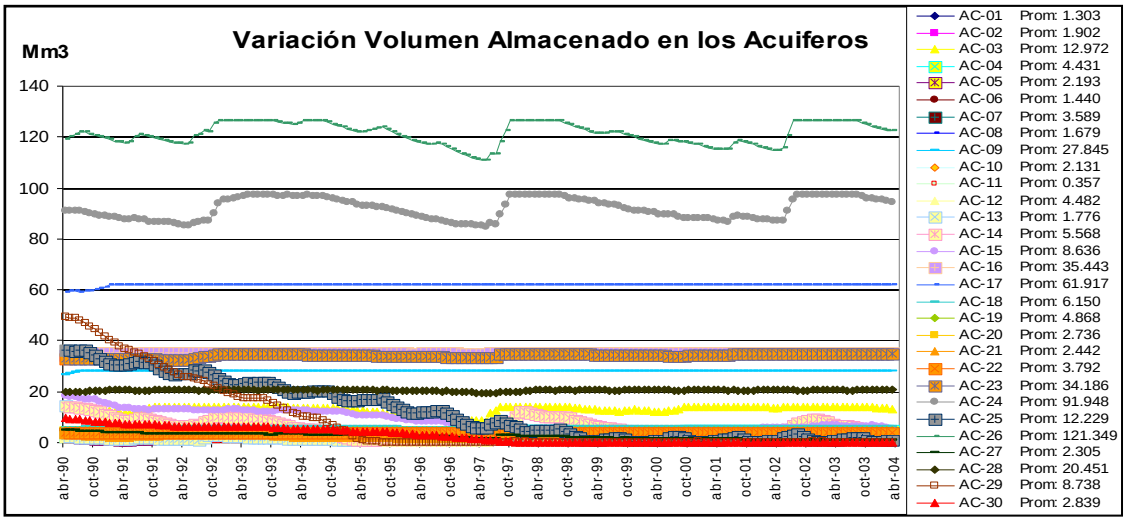
Para los sectores de riego 35 y 36 cuyas percolaciones lo alimentan, se debiera tener presente este efecto.

Este escenario se considera viable.

d) Escenario Operación 3 sobre Base 1

En este escenario se analiza los efectos de entubar los canales, como una forma alternativa de hacer más eficiente el riego. El efecto de este cambio sobre los acuíferos es el siguiente:

Figura 8-39
Comportamiento acuíferos escenario Operación 3



De acuerdo con la forma en que se concibió el modelo, en este escenario se producen depresiones de importancia en los acuíferos de las terrazas sur del Limarí.

Sin embargo, hay que considerar que todos los canales presentan altas pérdidas evaporativas, las que en esta cuenca no son despreciables, dadas las elevadas tasas de evaporación. Al entubar canales, la menor alimentación a los acuíferos se compensa con la menor demanda hacia ellos debido a la mayor eficiencia de los canales.

Por esta razón, no es posible recomendar el no entubamiento de canales, pues no se puede mantener la pérdida por evaporación para mantener la alimentación a los acuíferos.

Como conclusión de este escenario, se puede decir que aunque hay algunos sectores donde las pérdidas de los canales son importantes para el acuífero, su eliminación podría dar lugar a una menor explotación del mismo, con lo que el entubamiento de todas formas tiene sentido en el contexto hídrico.

En este escenario, el área cultivada con 85% de seguridad alcanza aprox. un 60% del área total, es decir, unas 26.400 ha.

e) Escenario Operación 4 sobre Base 1

Este escenario consideró la situación en que además de tecnificar el riego y entubar los canales, se liberan los acuíferos para suplir las demandas no cubiertas con las demás medidas.

Como se esperaba, este escenario resultó inviable, debido a que los acuíferos no dan abasto para suplir los déficits del agua superficial.

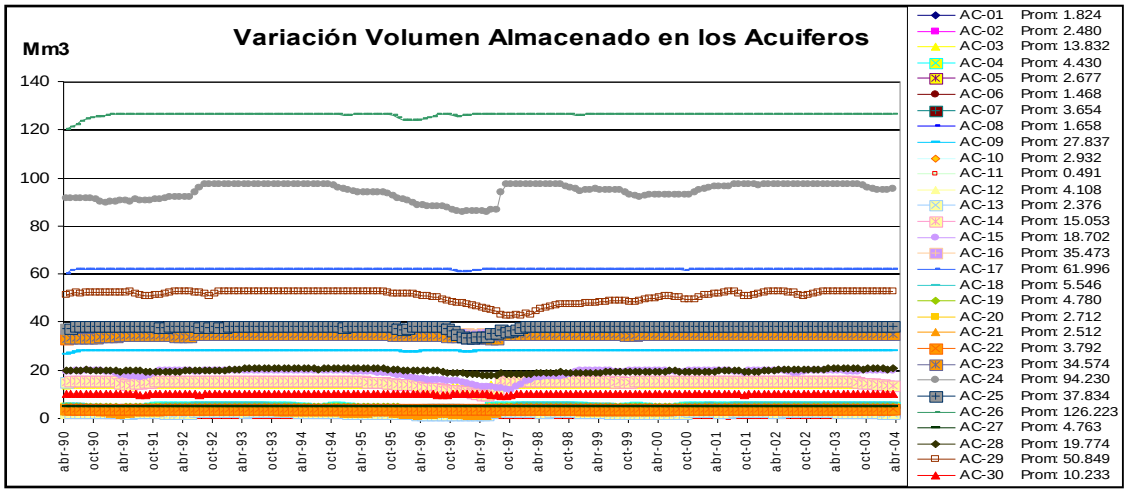
f) Escenario Operación 5 sobre Base 1

En este escenario se tomó en cuenta todos los efectos observados en los escenarios anteriores, y se intentó lograr una configuración en que se obtuviera la máxima demanda suplida, en base a las medidas propuestas, sin llegar a producir efectos extremos o intolerables sobre el sistema hídrico.

Esto significó tecnificar el riego en todo el valle salvo en los sectores 35 y 36, entubar sólo los canales cuyas pérdidas no son esenciales para los acuíferos subyacentes, y explotar los acuíferos con un límite de derechos, de modo que ninguno muestre efectos muy fuertes ni menos colapse. En general, los acuíferos, especialmente cuando son pequeños, deben considerarse una fuente de excepción para la ocurrencia de sequías severas. Por esta razón, su operación normal no debiera deprimir sus niveles en forma permanente, aunque se logre un nuevo estado de equilibrio.

El resultado de este escenario, en cuanto a la reacción de los acuíferos, y las demandas suplidas, es la siguiente:

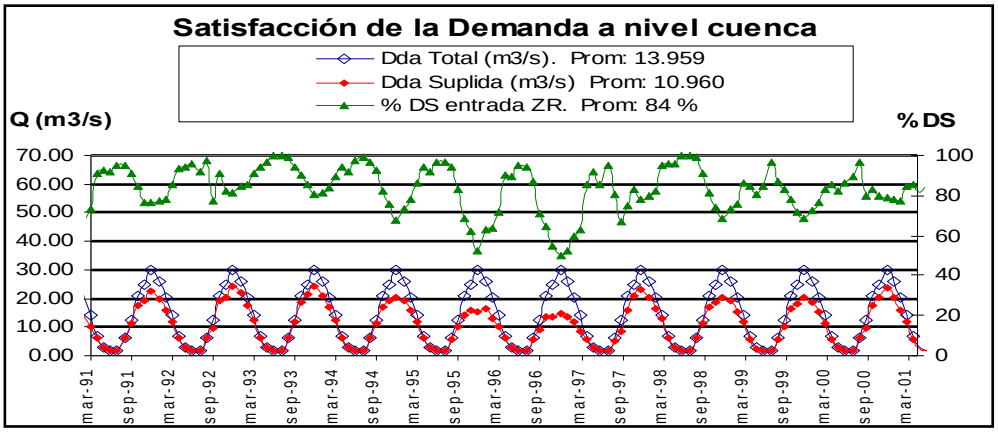
Figura 8-40
Comportamiento de los acuíferos escenario Operación 5



Los acuíferos que denotan efectos permanentes no deseables bajo esta explotación, son los siguientes: Acuíferos 4 (Rapel Alto), 12 (Cogotí), 18 (Hurtado Alto) y 21 (Hurtado sobre embalse Recoleta). Los demás acuíferos toleran las capacidades pequeñas de bombeo que se han considerado en este escenario para aprovechar como explotación las recaras.

Las demandas suplidas son las siguientes:

Figura 8-41
Demanda suplida escenario Operación 5



Se observa en esta figura que, a través de medidas de tecnificación de riego, entubamiento de canales y un uso levemente más intensivo de algunos acuíferos, es posible llegar a una satisfacción de la demanda que alcanza el 85% del área con una seguridad de 85%. Si actualmente hay un 55% del área cultivable regada con un 85% de seguridad, esto significa un aumento de área de 13200 ha, o sea, se llegaría a un área total cultivada con alta seguridad, de unas 37.400 ha. Además, podría lograrse entregas más eficientes, adaptadas a las demandas en esta nueva situación, con lo cual se podría aprovechar un caudal de 1 m3/s que escapa al mar por sobre lo que se escapa en la situación actual. Esto significa otras 4000 ha, con lo que se llega a un total cultivable de 41.400 ha con alta seguridad.

8.2.3 Resumen de escenarios

De acuerdo con el análisis presentado en el acápite anterior, se puede observar que, además del escenario base que es el actual, los escenarios viables son los escenarios de operación 2, 3 (según consideraciones expuestas) y 5. En el Cuadro 8-19 a continuación, se hace un resumen de todos los escenarios probados, y se destaca en negrillas los escenarios viables.

Cuadro 8-19
Presentación de viabilidad de escenarios

Nombre del escenario	Medidas deseables y recomendaciones
Base 1	**Escenario actual, con tecnificación parcial, canales eficientes en especial bajo embalses, pocos derechos subterráneos, 20% de praderas.**
Operación 1	Se probó dejar libres todos los acuíferos para suplir las demandas no cubiertas con aguas subterráneas, pero esto no fue viable.
Operación 2	**La tecnificación del riego completa de todos los sectores, resulta viable salvo para los sectores 35 y 36, que alimentan el acuífero 28, y cuya tecnificación lo afecta. Se considera un escenario viable.**
Operación 3	**El entubamiento de canales resulta desfavorable para la alimentación de algunos acuíferos, como río Pama, río Combarbalá y terrazas sur del Limarí. De todas formas, no se puede evitar recomendar el entubamiento de canales, porque evita las pérdidas por evaporación y reduce la solicitación a los acuíferos.**
Operación 4	Este escenario combina todos los efectos inviables sobre la cuenca, y resulta, por lo tanto, inviable.
Operación 5	**Este escenario logra una combinación viable de todas las medidas de aumento de eficiencia, de modo que representa el máximo provecho que se puede sacar al recurso hídrico en al cuenca. En este escenario se tecnifica el riego salvo en los sectores 35 y 36, se entuba los canales salvo en los sectores señalados, y se permite un aumento controlado del uso de los acuíferos a través de un aumento selectivo de los derechos.**

En el Cuadro 8-20 se presenta el resumen de los resultados generales obtenidos de la simulación para todos los escenarios viables.

Cuadro 8-20
Resumen resultados operación modelo Limarí

Escenario	Descripción del escenario	Q ddo nivel Raíz	Tasa dda nivel raíz promedio	Q recib x lluvia	Q ddo neto raíz	Qddo entrada ZR	Tasa dda entrada ZR promedio	Efic. Aplic. Riego	Efic. Total
		m3/s	l/s/ha	m3/s	m3/s	m3/s	l/s/ha	%	%
Esc 024	Escenario calibración y base	11.952	0.271	0.123	11.829	26.677	0.606	49.1	35.1
Operación 2	Tecnificación completa	11.952	0.271	0.123	11.829	13.501	0.307	90.0	55.9
Operación 3	Entubamiento	11.952	0.271	0.123	11.829	26.677	0.606	49.0	37.5
Operación 5	Tecnif, entub y mayor capac.bombeo	11.952	0.271	0.123	11.829	13.959	0.317	87.8	56.1

Escenario	Descripción del escenario	Q canales en BT	Q entregado superf. a ZR	Q entregado bombeo	Q producido para riego	Q recibido para riego en ZR	Q recibido total ZR (inc lluvia)	Tasa riego recibida promedio	DS	% DS
		m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	l/s/Ha	m3/s	%
Esc 024	Escenario calibración y base	21.710	18.330	1.493	46.406	19.823	19.946	0.450	14.403	63.4
Operación 2	Tecnificación completa	21.954	18.674	0.797	22.751	19.470	19.593	0.442	10.357	84.3
Operación 3	Entubamiento	23.256	23.590	1.311	24.567	24.900	25.023	0.565	16.521	73.3
Operación 5	Tecnif, entub y mayor capac.bombeo	22.030	20.536	1.215	23.245	21.750	21.873	0.494	10.960	86.0

Escenario	Descripción del escenario	Q aplic. Raíz	Q derr	Q perc	Q retornos	% retornos
		m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	%
Esc 024	Escenario calibración y base	6.518	0.389	0.639	5.129	17.9
Operación 2	Tecnificación completa	9.166	0.000	0.110	7.334	28.6
Operación 3	Entubamiento	7.428	0.434	0.704	7.380	26.1
Operación 5	Tecnif, entub y mayor capac.bombeo	9.435	0.000	0.121	9.008	31.2

Escenario	Descripción del escenario	Volumen agua	Flujo entrante	Flujo saliente	Capac Bombeo Total	Capac Bombeo Riego	Bombeo total	Bombeo riego	Bombeo otros usos	% bom tot sobre der totales	% bom riego sobre der riego
		Mm3	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	%	%
Esc 024	Escenario calibración y base	599.838	0.000	0.000	3.040	2.370	1.649	1.493	0.156	54.2	63.0
Operación 2	Tecnificación completa	602.326	0.000	0.000	3.040	2.370	0.953	0.797	0.156	31.3	33.6
Operación 3	Entubamiento	491.696	0.000	0.000	3.040	2.370	1.208	1.067	0.141	39.7	45.0
Operación 5	Tecnif, entub y mayor capac.bombeo	598.813	0.000	0.000	4.787	4.117	1.371	1.215	0.156	28.6	29.5

8.2.4 Áreas regables con 85% de seguridad

En el Cuadro 8-21 a continuación, se presentan, por zona de riego, las áreas regables con 85% de seguridad que se obtienen en cada uno de los escenarios viables. Al respecto, se observa que la sola tecnificación tiene un efecto muy grande sobre la posibilidad de ampliar las áreas regadas. Al complementar esta medida con entubamiento de canales y algo de aumento de utilización de acuíferos, se logra la posibilidad de regar un 85% del área con alta seguridad. Considerando además, que se pueden optimizar aún más las entregas que lo que se ha considerado en el escenario Operación 5, se puede estimar que se regaría con alta seguridad un 95% del área total considerada.

Cuadro 8-21
Áreas regables con 85% de seguridad en los diferentes escenarios estudiados

Escenario	Limarí 024	Operación 2	Operación 3	Operación 5
% área regada con seguridad 85%	55%	80%	60%	85%
Área regada con seguridad 85%	24200	35200	26400	37400

8.2.5 Eficiencia global de uso del agua

A continuación, en el Cuadro 8-22, se presenta el análisis de las pérdidas (evaporación de embalses aproximadamente 1,5 m3/s en promedio, el resto sale al mar), y de la eficiencia global y el reúso global y total de uso para cada uno de los escenarios. El reúso global se entiende como el factor que relaciona el caudal total captado (en agricultura a nivel de bocatoma), con el caudal consumido a nivel de cuenca. El reúso total se entiende como el factor anterior, multiplicado por el factor de reúso interno asumido además para las zonas de riego.

Cuadro 8-22
Eficiencia neta, reúso y eficiencia global en escenarios viables

Escenario	Dda suplida total	Prob. Exced. Dda suplida	Pérdidas	Consumo total	Prob Exc Consumo total	Qcapt año prom	Eficiencia global promedio	% no aprovechado promedio	Reúso global promedio	Reúso total promedio
	(m3/s)	(%)	(m3/s)	(m3/s)	(%)	(m3/s)	%	%		
Esc 024	8.094	0.85	3.825	11.919	0.80	25.072	68	32	2.10	3.79
Operación 2 89-03	10.742	0.81	5.116	15.858	0.54	24.620	68	32	1.55	2.79
Operación 3 89-03	9.004	0.85	3.140	12.144	0.61	26.432	74	26	2.18	3.92
Operación 5 89-03	11.011	0.81	4.858	15.869	0.54	25.116	69	31	1.58	2.85

8.2.6 Dotación de agua por acción

En el Cuadro 8-23 se puede observar que las dotaciones de agua por acción prácticamente no varían entre los escenarios viables corridos para esta cuenca, porque las entregas de acuerdo con las demandas se han mantenido iguales. Por esa razón, también presentan muy poca variación las dotaciones por sectores de riego, similares a las presentadas en el Capítulo 6.5 de diagnóstico de la situación actual.

Cuadro 8-23
Volumen anual promedio por acción en diferentes escenarios

Escenarios	Areas	Acciones	Acciones / ha	Dotación por acción		
				Promedio	Año húmedo 2002/03	Año seco 1996/97
	ha	acc	acc/ha	m3/acc/año	m3/acc/año	m3/acc/año
Limarí 024	44040	60432	1.37	11331	15605	6600
Operación 2	44040	60432	1.37	11459	16853	6879
Operación 3	44040	60432	1.37	12136	18002	6768
Operación 5	44040	60432	1.37	11499	16896	6872

8.2.7 Dotación de agua por hectárea

En el Cuadro 8-24 se observa que la dotación de volumen por hectárea tampoco varía mucho entre escenarios, debido a la misma razón señalada arriba.

Cuadro 8-24
Volumen anual promedio por hectárea

Escenarios	Areas	Acciones	Acciones / ha	Análisis por Ha		
				Promedio	Año húmedo .2002/03	Año seco 1996/97
	ha	acc	acc/ha	m3/ha/año	m3/ha/año	m3/ha/año
Limarí 024	44040	60432	1.37	15549	21413	9056
Operación 2	44040	60432	1.37	15724	23126	9440
Operación 3	44040	60432	1.37	16653	24703	9287
Operación 5	44040	60432	1.37	15780	23185	9430

8.2.8 Explotabilidad de acuíferos

El análisis del escenario Operación 5 en comparación con el escenario base, permite identificar los acuíferos que tolerarían una mayor explotación, con lo se aprovecha aún mejor el sistema hídrico de la cuenca.

El Cuadro 8-25 muestra la situación comparada. De acuerdo con el comportamiento observado ante una mayor explotación, se descartan para constituir más derechos subterráneos todos los acuíferos muy pequeños. Para los demás se calcula una recarga en la situación tecnificada futura. Los acuíferos en que presumiblemente las recargas disminuyen por aumento de tecnificación, no se consideran para una sugerencia de aumento de derechos. Finalmente, sólo se consideran para tal sugerencia, los acuíferos grandes con posibilidades futuras de recarga, es decir, los acuíferos ligados al río Grande y Limarí.

Cuadro 8-25
Situación comparada de acuíferos en escenario actual y futuro

Sector	Acuífero	Volumen agua subt.	Derechos totales	Esc. 024		Esc Op 5	
				Recarga disponible actual	Peak máx. total	Rec. Disp. Esc. Op 5	Peak máx. total
Río Grande sobre Paloma	AC-01	1.824	0.020	0.386	0.002		0.002
	AC-03	13.941	0.034	0.543	0.005		0.005
	AC-07	3.673	0.008	0.193	0.001	0.077	0.081
	AC-09	27.852	0.027	0.284	0.011	0.058	0.173
Río Mostazal	AC-02	2.550	0.030	0.187	0.004		0.004
Río Rapel	AC-04	5.012	0.038	0.563	0.002		0.002
	AC-05	2.738	0.020	0.272	0.002		0.002
	AC-06	1.534	0.041	0.250	0.031		0.101
Río Ponio	AC-08	1.679	0.000	0.022	0.000	0.013	0.162
Río Pama	AC-10	2.955	0.051	0.130	0.039		0.039
Río Combarbalá	AC-11	0.493	0.028	0.254	0.028		0.028
Río Cogotí	AC-12	4.696	0.043	0.511	0.007	0.111	0.046
Río Huatulame	AC-13	2.349	0.009	0.111	0.003		0.003
	AC-14	15.058	0.148	0.353	0.124		0.124
	AC-16	35.489	0.113	0.071	0.113	0.041	0.200
El Palqui	AC-15	18.501	0.247	0.309	0.180		0.180
Río Grande bajo Embalse Paloma	AC-17	62.034	0.062	0.823	0.027	0.875	0.608
Hurtado sobre Recoleta	AC-18	6.222	0.014	0.301	0.009		0.009
	AC-19	4.881	0.043	0.194	0.025		0.025
	AC-20	2.736	0.008	0.173	0.002		0.142
	AC-21	2.743	0.006	0.135	0.001		0.041
	AC-22	3.792	0.000	0.000	0.000		0.000
Hurtado bajo Recoleta	AC-23	34.760	0.024	0.157	0.006	0.137	0.056
Qda Ingenio	AC-25	37.472	0.505	0.406	0.494		0.494
Río Limarí	AC-24	95.977	0.170	0.618	0.170	0.575	0.300
	AC-26	125.906	0.207	0.794	0.288	0.700	0.608
Cogotí, D.Cogotí	AC-29	48.094	0.509	0.510	0.481		0.481
Camarico	AC-30	10.199	0.091	0.303	0.076		0.076
Punitaqui	AC-27	4.763	0.054	0.132	0.054		0.054
	AC-28	19.914	0.215	0.133	0.171		0.171
Total		**599.838**	**3.040**	**9.119**	**2.356**		**4.217**

El Cuadro 8-26 resume las posibilidades identificadas de aumento de los actuales derechos. En este caso, como los derechos tendrían un uso intensivo, con un factor estimado de casi 0,5, la sugerencia de aumento de derechos considera esta situación y se remite a los promedios de recarga, en una forma conservadora. Se observa que la recomendación se limita a sugerir la constitución de derechos adicionales por aproximadamente 1 m3/s, aguas abajo del embalse Paloma.

Cuadro 8-26
Aumento sugerido de derechos en acuíferos seleccionados

Ac	Ubicación	Derechos totales actuales m3/s	Recarga actual	Rec futura conserv	Peak máximo probado	Promedio probado	Derechos totales sugeridos m3/s
AC-17	Grande bajo Paloma	0.062	0.823	0.875	0.608	0.277	**0.300**
AC-24	Limarí sobre Q.Ing.	0.170	0.618	0.575	0.300	0.083	**0.500**
AC-26	Limarí bajo Q.Ing.	0.207	0.794	0.700	0.608	0.088	**0.700**
Total		**0.439**	**2.235**	**2.150**	**1.516**	**0.448**	**1.500**

8.2.9 Información obtenida para modelación económica

Los escenarios corridos con el modelo MAGIC, contienen una gran cantidad de información técnica que es necesario conocer para el análisis económico que se presenta a continuación. La información obtenida de los resultados de los 4 escenarios viables, para ser utilizada en la evaluación económica, es la siguiente:

a) Porcentaje de demanda suplida por mesozona

De acuerdo con la metodología, se obtiene un porcentaje de demanda suplida k, a partir de los datos mensuales de demanda suplida del modelo de simulación. Este dato puede ser el promedio de los meses de verano solamente, lo que se aplica en las zonas donde no hay cultivos de invierno,.o puede ser el promedio del año completo, valor que se usa en los sectores en que hay cultivos durante todo el año.

En el caso del Limarí, si bien hay muchos frutales y vid, especialmente de pisco, que requieren el agua principalmente en el semestre primavera verano, también hay una tendencia a establecer las hortalizas de invernadero y otras, que dadas las bondades del clima, usan las aguas de invierno. Por esta razón se ha considerado que el porcentaje de demanda suplida más representativo de la situación de esta cuenca para el cálculo de los ingresos, es el promedio de todo el año.

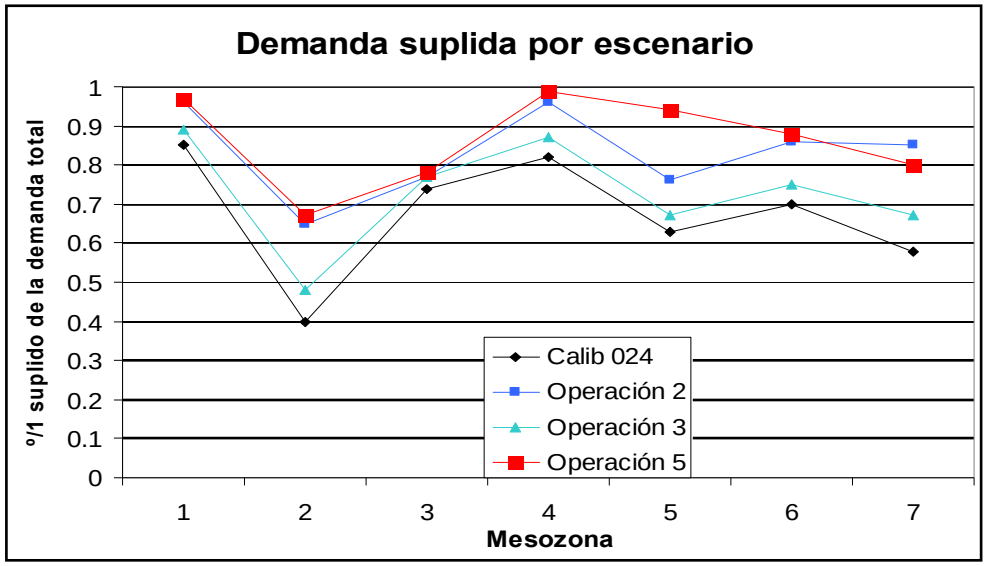
La información que se obtiene para el factor de la demanda suplida, en los escenarios viables, se presenta en el Cuadro 8-27, como promedio de todo el período de análisis, y por mesozonas. Las mesozonas que se utilizan para el análisis económico del Capítulo 9, son las mismas que se analizan en el diagnóstico de la eficiencia económica (Capítulo 6.7).

Cuadro 8-27
Coeficiente k, porcentaje de demanda suplida

Escenario	K MZ 1	K MZ 2	K MZ 3	K MZ 4	K MZ 5	K MZ 6	K MZ 7	DS ZR	DS Raíz
Calib 024	0.85	0.40	0.74	0.82	0.63	0.70	0.58	14.404	6.518
Operación 2	0.96	0.65	0.77	0.96	0.76	0.86	0.85	10.357	9.166
Operación 3	0.89	0.48	0.77	0.87	0.67	0.75	0.67	16.521	7.428
Operación 5	0.97	0.67	0.78	0.99	0.94	0.88	0.80	10.960	9.435

En la Figura 8-42 se muestra la forma en que los diferentes escenarios logran mejorar el porcentaje de la demanda suplida por mesozonas.

Figura 8-42
Demanda suplida por escenario y mesozonas



En esta figura se puede observar con claridad que el escenario de entubamiento de canales mejora el escenario base en todos los sectores, aunque en forma moderada. Más fuerte es el efecto del entubamiento. El mayor aumento de la demanda suplida se logra combinando ambas acciones anteriores con un leve aumento de la posibilidad de bombeo.

b) Longitud de canales entubados

En esta cuenca, en el escenario base hay diversos canales que ya presentan características de revestimiento, que se señalan en el Cuadro 8-28. Para los escenarios en que se ha entubado canales, las longitudes adicionales de entubamiento son las siguientes:

Cuadro 8-28
Longitudes entubadas de canales en escenarios con entubamiento

ESCENARIO	DESCRIPCIÓN	CANALES ENTUBADOS	LONG ENTUB (km)
Base 1 Limarí 024	Canales en buen estado de revestimiento	CA 01, 02, 04-06, 08-11,15-21, 24, 25, 29-31, 33, 37-43, 45, 46, 48, 49, 53, 55-57	1148.6
Operación 2	Canales en buen estado de revestimiento	CA 01, 02, 04-06, 08-11,15-21, 24, 25, 29-31, 33, 37-43, 45, 46, 48, 49, 53, 55-57	1148.6
Operación 3	Se entuban todos los canales faltantes		1630.9
Operación 5	Se entuban algunos canales, viables de entubar	CA 06, 08-11, 15-21, 24, 27, 29-31, 33, 37-43, 45, 48, 53, 55-57	813.600

c) Áreas nuevas tecnificadas

Para los escenarios en que se tecnificó algunas áreas actualmente no tecnificadas, en el siguiente cuadro se presentan las áreas totales tecnificadas. Las áreas de tecnificación nueva se obtienen por diferencia.

Cuadro 8-29
Areas tecnificadas por escenario

Escenario	Area Tecnificada (Ha)
Limarí 024	13913
Operación 2	44039
Operación 3	13913
Operación 5	42876

d) Capacidad adicional de tranques nocturnos

En la cuenca del Limarí no se trabajó sobre la capacidad de regulación nocturna, porque se asumió que existe en gran cantidad. De hecho, valores de 200 m3/ha como los que se observan en promedio para la cuenca del Limarí, para un día significan un caudal de 2 l/s, lo que si bien en situaciones específicas no será óptimo, es un buen índice de capacidad de regulación nocturna. Este dato se usó como meta para las cuencas Elqui y Limarí.

e) Caudales bombeados desde pozos, y pozos nuevos

El modelo Magic entrega como resultado los caudales bombeados en cada escenario. El costo de operación de tal bombeo depende de varios factores:

- de la altura media de bombeo de cada sector
- del número de pozos que deben operar en cada escenario para generar ese bombeo,
- del tope que imponen los derechos a cada sector,
- del bombeo efectivo máximo en cada sector, para el cálculo de la demanda máxima a contratar,
- del caudal promedio anual efectivamente bombeado en cada sector, para el cálculo del consumo y costo de energía
- del costo de las tarifas

Las tarifas consideradas en este estudio son las correspondientes al código AT4.3, parcialmente presentes en punta, con demanda contratada. De todas las tarifas AT4.3 que CONAFE maneja para las diferentes comunas de la IVª Región, se aplicó la máxima, para mantenerse en un plano conservador.

Toda la información anterior dio lugar a una planilla de costo de bombeo, en la que se calcula el costo de operación de las bombas, su costo de mantención en función de las horas de bombeo, y los pozos nuevos que es necesario agregar en cada escenario, en función de la cantidad adicional de caudal que se está bombeando. Estas planillas, que se obtuvieron para cada uno de los escenarios, se anexan como Anexo Digital VIII. De estas planillas se obtuvieron los resultados que se presentan en el Cuadro 8-30 para la operación de los pozos en los diversos escenarios de análisis. Estos resultados son los que se utilizan para la evaluación económica de cada escenario en el Capítulo 9.

Cuadro 8-30
Resultados de la operación de los pozos escenarios cuenca Limarí
Millones de pesos Sept. 2006

Escenario	Costo anual de Operación	Costo de reposición	Frecuencia de reposición años	Costo anual de reposición	Pozos nuevos
Limarí 024	858.5	334	3	111.3	0
Operación 2	526.5	334	6	55.7	0
Operación 3	725.2	334	4	83.5	0
Operación 5	839.4	613	7	87.6	250

8.3 OPERACIÓN MODELO MAGIC-CHOAPA

La operación del modelo Choapa tuvo por objetivo probar diversas acciones sobre el sistema, para analizar sus efectos, estudiar su viabilidad técnica, y luego someter las acciones viables a una evaluación económica.

A continuación se presentan y se describen los escenarios que se probaron con el modelo de simulación. En primer lugar se definió un escenario de base, llamado Base 1, que es el que se usa como referencia para evaluar económicamente las soluciones propuestas. Sobre ese escenario se realizaron posteriormente los cambios que se querían analizar, lo que dio lugar a los demás escenarios.

En la cuenca del Choapa, los cambios dicen relación con los siguientes aspectos:
- inclusión del embalse Corrales en el sistema
- entrega de agua según demandas
- liberación de los acuíferos, para permitir una explotación que va más allá de los derechos actuales
- tecnificación del riego
- entubamiento de canales
- aumento de tranques nocturnos
- inclusión del embalse El Bato
- aumento de áreas.
- cambio de cultivos

8.3.1 Definición de escenarios corridos

En total se configuraron 10 escenarios más, para analizar el efecto hídrico de las medidas que se podrían recomendar. El modelo se operó con una estadística de 15 años, incluyendo años húmedos y secos. Los escenarios se configuraron de la siguiente manera:

a) Escenario Base 1
- se solicita en las bocatomas de los canales solamente las demandas, ya sean provenientes de riego o de otros usos. No se opera por desmarques, sino por demanda.
- se incluye el embalse Corrales, con sus canales alimentador y de entregas, con todas sus características propias de operación y con los nodos que alimenta.
- se mantienen las restricciones a la explotación de los acuíferos, que sólo pueden ser explotados a través de los derechos existentes
- se mantienen las condiciones actuales de tecnificación del riego
- se mantienen las condiciones actuales de ineficiencia de conducción

b) Escenario Operación 1 sobre Base 1

- se inserta pozos de riego en todos los acuíferos
- se libera los acuíferos

c) Escenario Operación 2 sobre Base 1

- se hace eficiente el sistema de riego, se riega todo por goteo salvo praderas
- se entuban los canales (eficiencia de conducción 1)

d) Escenario Operación 3: sobre operación 2

- riego y canales eficientes igual que escenario operación 2
- se insertan pozos en todos los acuíferos
- se libera el uso de los acuíferos

e) Escenario Operación 4 sobre operación 2

- ampliación de áreas: 20% en todos los sectores, de los cuales 50% son paltos y 50% cítricos. Toda la ampliación se riega con goteo. La ampliación de áreas se muestra en el Cuadro 8-31.
- con todo el sistema de riego eficiente como operación 2

f) Escenario Operación 5 sobre Operación 4

- se incluyen pozos en todos los acuíferos
- se liberan todos los acuíferos

g) Escenario Operación 6 sobre Base 1

- amplificar los tranques nocturnos por 6. En las zonas donde no hay tranques nocturnos, se incluyen con un volumen de 200 m3/ha

h) Escenario Operación 7 sobre Base 1

- se incluye el embalse El Bato

j) Escenario Operación 8 sobre Base 1

- se entuban todos los canales
- se insertan pozos en todos los acuíferos
- se liberan todos los acuíferos
- se hace cambio de cultivos: praderas por paltos y cítricos, tecnificados
- ampliación de áreas: 40% en todos los sectores, de los cuales 50% son paltos y 50% cítricos. Toda la ampliación se riega con goteo. La ampliación de áreas se muestra en el Cuadro 8-31.

Cuadro 8-31
Áreas de riego ampliadas escenario Operación 4, 5 y 8

Mesozona	Escenario calibración	Escenarios Operación 4 y 5	Escenario Operación 8
Choapa Alto	4805	5766	6727
Chalinga	1319	1583	1845
Choapa Medio	4730	5676	6622
Illapel Alto	412	495	577
Illapel Bajo	2244	2693	3142
Choapa Bajo	818	981	1145
Total	**14328**	**17194**	**20059**

8.3.2 Análisis de escenarios corridos

Para cada una de las corridas se realizó el mismo análisis exhaustivo del comportamiento de todas las variables de interés que se observaron en el escenario de calibración, y que fueron:

- grado de utilización del recurso en cada una de las zonas de riego
- volúmenes de embalses y acuíferos
- bombeos resultantes de las demandas no cubiertas por las aguas superficiales ni embalses,
- comportamiento de los acuíferos frente a los bombeos resultantes
- porcentaje de satisfacción de las demandas en las zonas de riego
- caudales de retorno
- caudales superficiales en nodos
- salidas al mar
- tabla resumen del escenario

En el caso del Choapa se agregó el análisis de las aguas captadas por los canales.

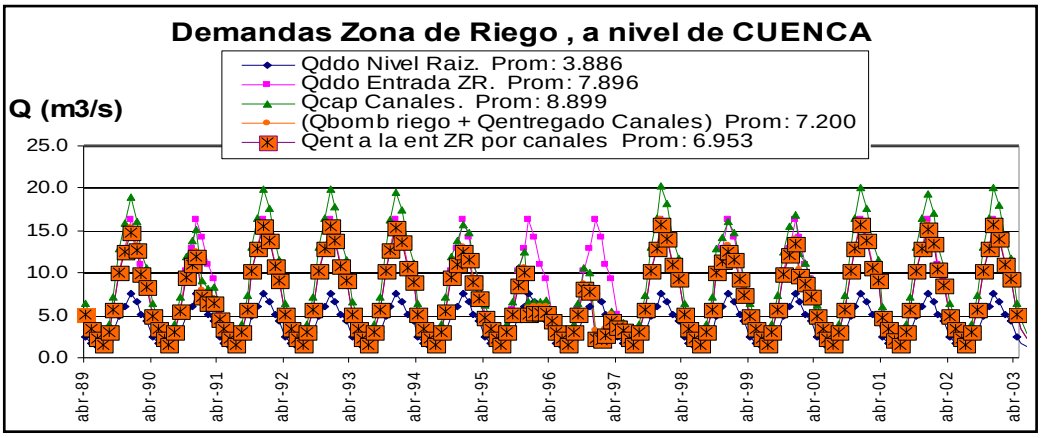
Se observó especialmente que el escenario fuera viable en el sentido de que no se depriman demasiado los acuíferos, que no se seque el escurrimiento superficial en los nodos y no se afecte el caudal captado por los canales. .

El resultado de este análisis fue el siguiente para los diferentes escenarios.

a) Escenario Base 1

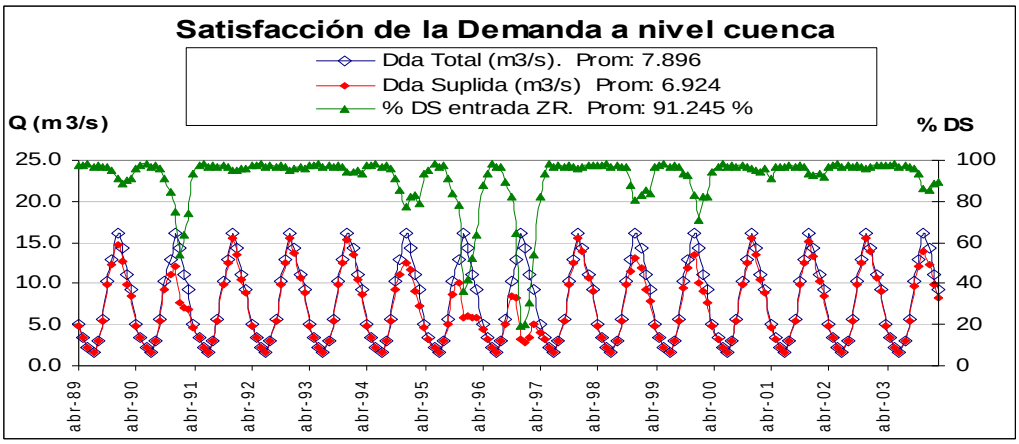
En primer lugar se observa que este escenario es mucho más eficiente en la entrega de aguas, porque no se entrega agua en el invierno, como se aprecia en la Figura 8-43. Esto es muy importante desde el momento que hay un embalse.

Figura 8-43
Utilización del recurso hídrico escenario Base 1



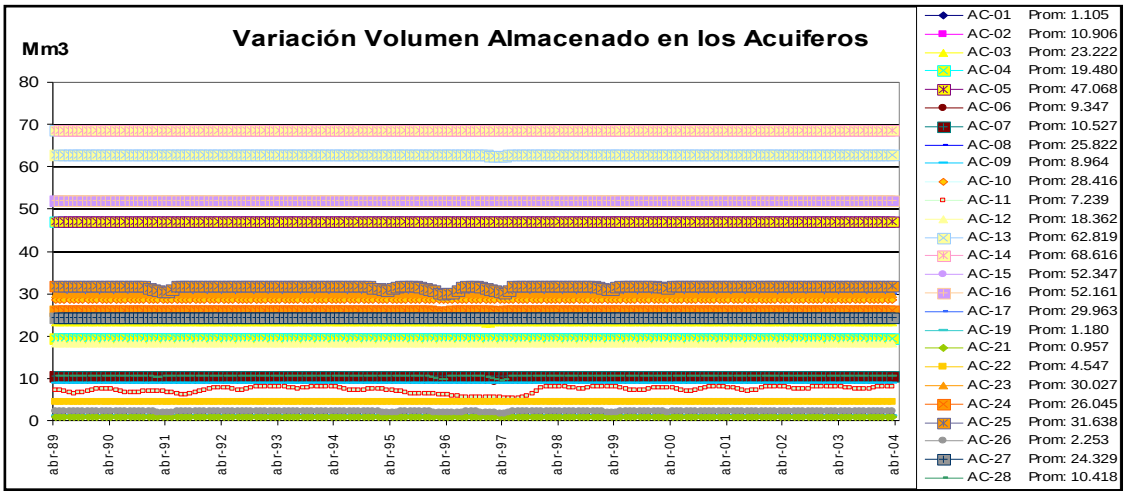
Con esto, la satisfacción de la demanda a nivel de cuenca se encuentra ahora en la siguiente situación, en que sólo hay 3 años claramente fallos en una serie de 15, lo que significa un 80% de seguridad ponderada a nivel de cuenca completa. Los años fallos se deben a que no mejora la situación del valle del Illapel, y a que se seca el embalse durante los años críticos de sequía, y no hay mayor acceso a los acuíferos.

Figura 8-44
Demanda suplida nivel cuenca escenario Base 1



Haciendo el análisis del comportamiento de los acuíferos, se observa que ellos no cambian su comportamiento en relación con el escenario de calibración, como se aprecia en la Figura 8-45. Este escenario se considera viable.

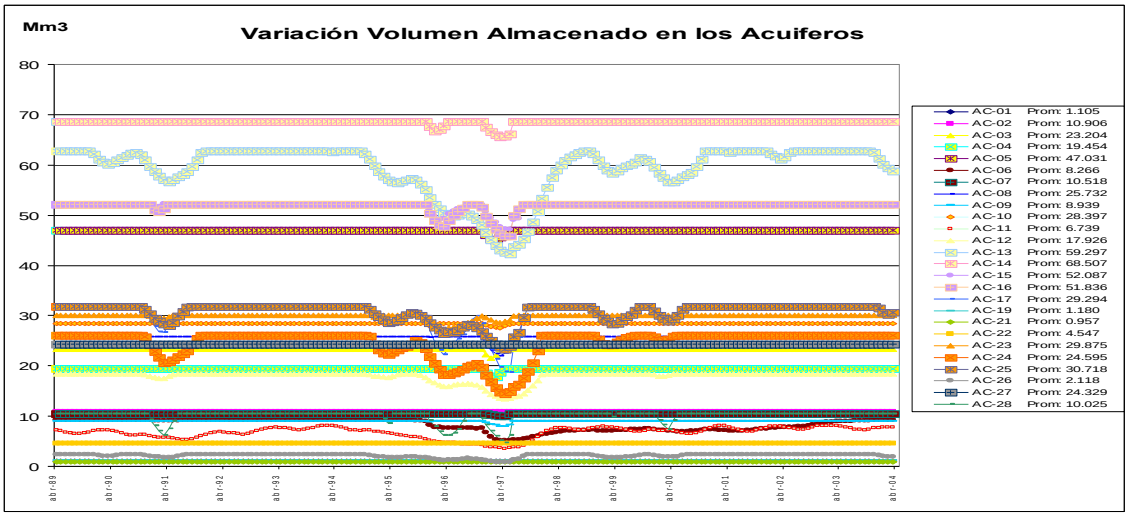
Figura 8-45
Comportamiento de acuíferos en escenario Base 1



b) Escenario Operación 1 sobre Base 1

Al insertar además, pozos de riego en todos los acuíferos, y librar su uso de la restricción que imponen los derechos, se observa el siguiente efecto sobre los acuíferos:

Figura 8-46
Comportamiento acuíferos escenario Operación 1

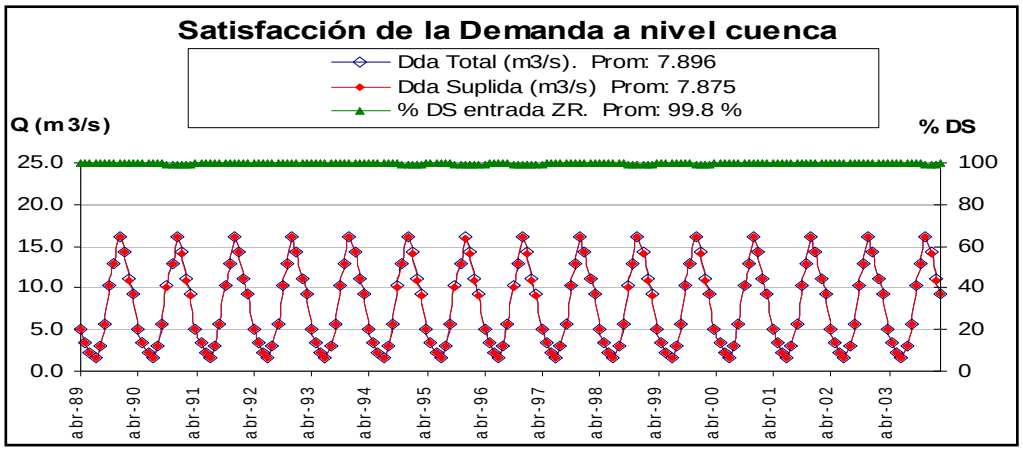


Los acuíferos toleran el fuerte uso que se hace de ellos, especialmente en épocas de sequías, pero como todo ellos están ligados al cauce, se recuperan en cada invierno. Incluso después de la sequía de 1997, la recuperación es muy rápida. Ninguno de los acuíferos, por pequeño que

sea, entra en una situación de inestabilidad, de desequilibrio permanente o de sobreexplotación.

El hecho de poder acceder a esta fuente adicional permite suplir completamente las demandas de riego de las áreas actuales, como se observa en la Figura 8-47:

Figura 8-47
Demanda suplida nivel cuenca escenario Operación 1

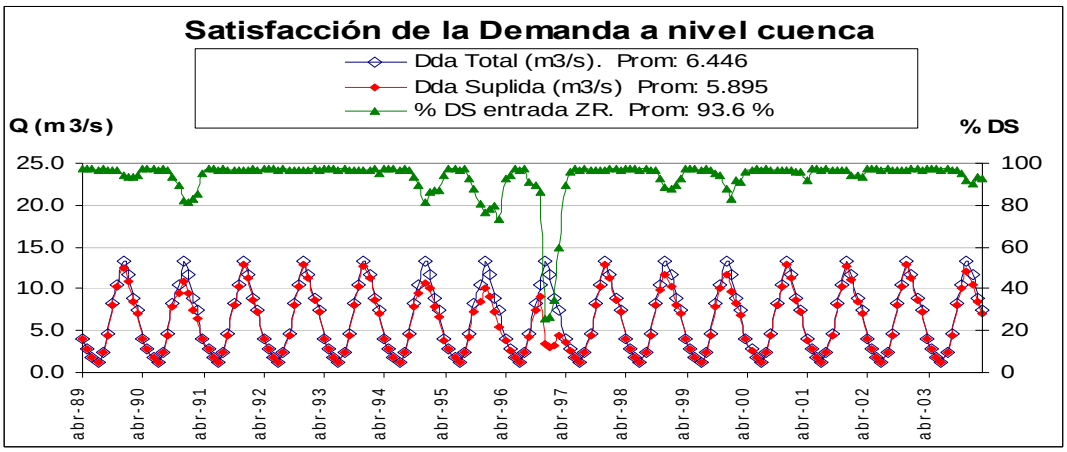


Este escenario se considera viable .Todas las zonas quedan completamente cubiertas, salvo las zonas 18 y 20, Carén e Illapel sobre Las Burras, que no tienen acuífero.

c) Escenario Operación 2 sobre Base 1

En vez de liberar los acuíferos, se prueba la efectividad de implementar medidas de aumento de eficiencia, como tecnificación y entubamiento de canales. Con estas medidas, se logra la siguiente cobertura de la demanda:

Figura 8-48
Demanda suplida nivel cuenca escenario Operación 2



Si bien se observa que la situación mejora sustancialmente en relación con el escenario actual de calibración, persisten fallas relativamente profundas en los años de sequía, los cuales no pueden ser suplidos por los acuíferos en este caso, por falta de derechos.

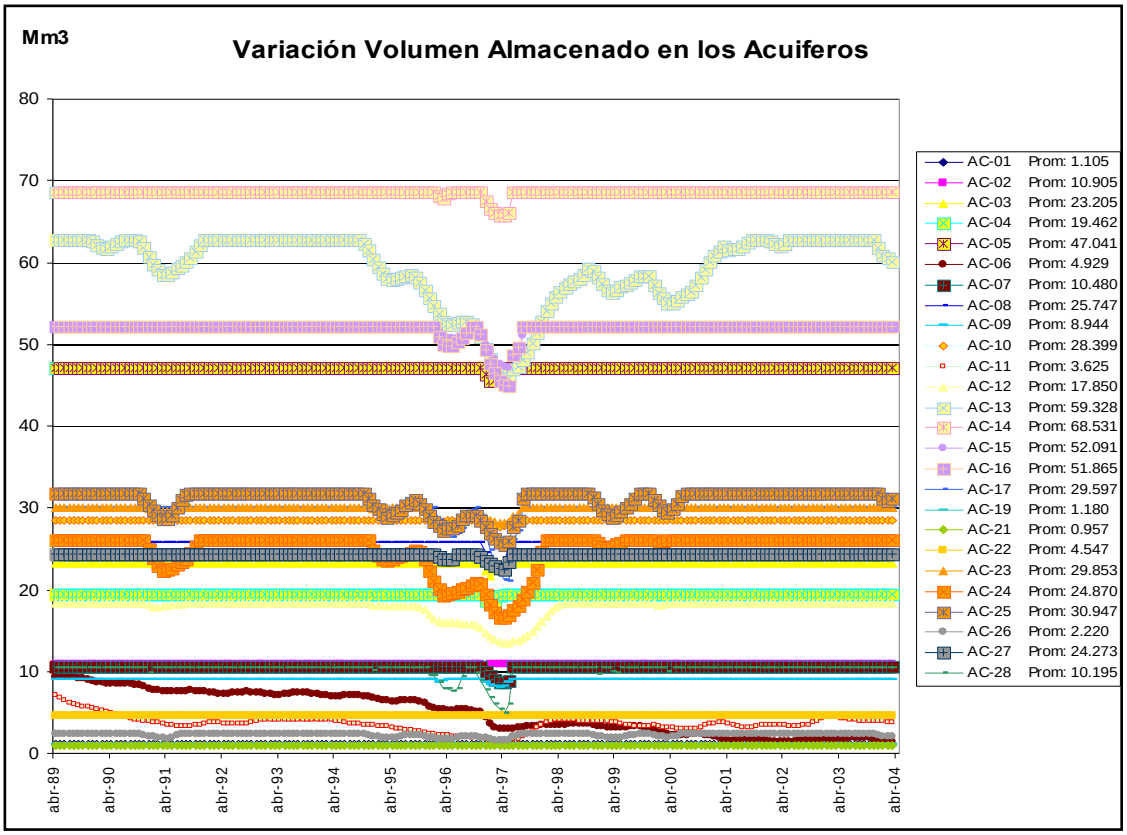
Los acuíferos tienen un comportamiento muy similar al actual, sin variaciones importantes en ninguno de ellos. Esto se debe a que los acuíferos del Choapa no dependen de las infiltraciones del riego, sino que fundamentalmente de las percolaciones del cauce, por lo cual no les afecta mayormente la tecnificación. Ésta, por lo demás, no se ha considerado completa en este escenario, sino que sólo para los cultivos que no son praderas (aproximadamente 50% de los cultivos).

El escenario es técnicamente viable.

d) Escenario Operación 3 sobre operación 2

En este escenario se liberan además los acuíferos, sobre el aumento de eficiencia de riego y de conducción operados en el escenario anterior, con los siguientes resultados en relación con los acuíferos y las demandas satisfechas:

Figura 8-49
Comportamiento acuíferos escenario Operación 3



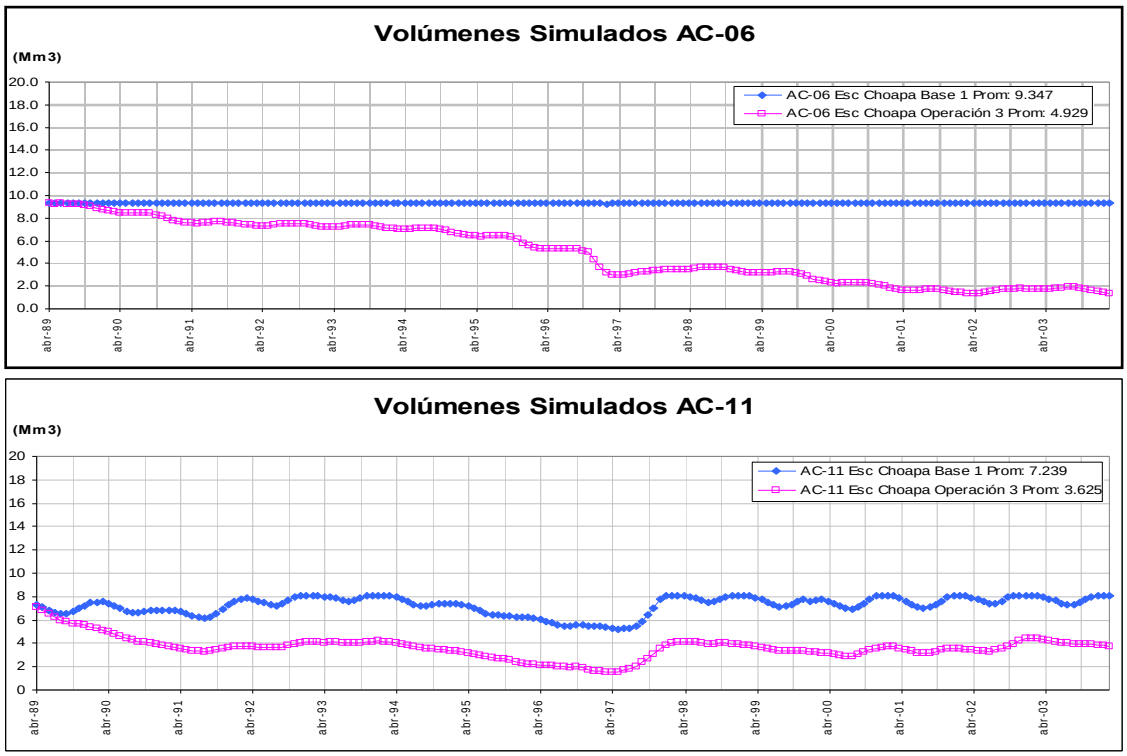
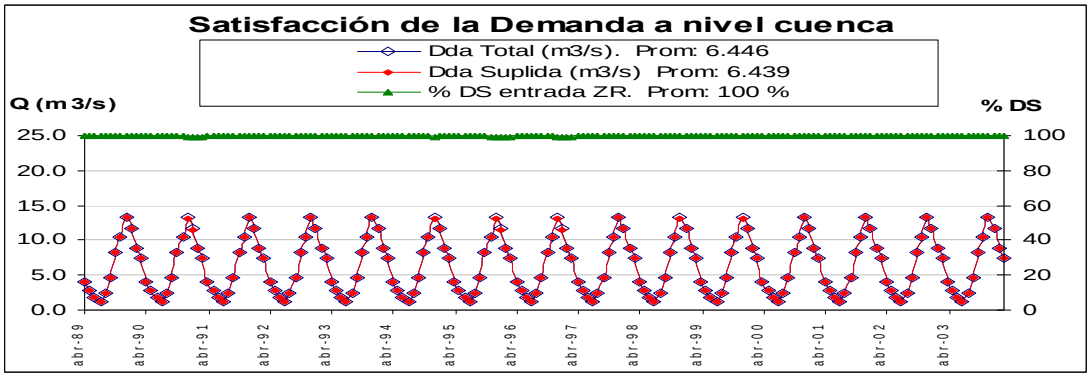


Figura 8-50
Demanda suplida nivel cuenca escenario Operación 3



Con excepción de los acuíferos 6 y 11, en los cuales el efecto conjunto de la tecnificación y la explotación libre del acuífero generan efectos extremos, y del acuífero 13 (Chalinga bajo), donde el efecto sobre el acuífero es fuerte, en el resto del valle la explotación del acuífero como complemento de la tecnificación es perfectamente tolerable por parte del sistema hídrico. Se logra una alta satisfacción de la demanda en este escenario, casi un 100% de la cuenca completa. Solamente quedan con algunas fallas las zonas que prácticamente no tienen acuífero, que son las zonas 18 y 20, Carén e Illapel sobre Las Burras.

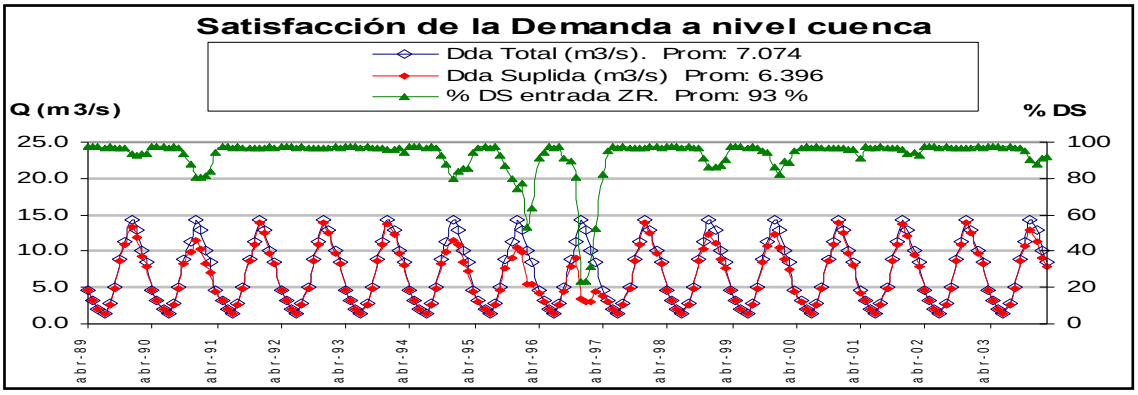
Este escenario se acepta como viable, con las salvedades de ambos acuíferos señalados, que no debieran liberarse, especialmente si aumenta la tecnificación en tales áreas. En este escenario, las demandas a los canales se reducen debido a la tecnificación.

e) Escenario Operación 4 sobre operación 2

En este escenario se prueba un aumento de áreas de un 20%, en un contexto en que se hace más eficiente el uso del agua, con tecnificación del riego en todos los sectores que no son praderas, y se entuban los canales.

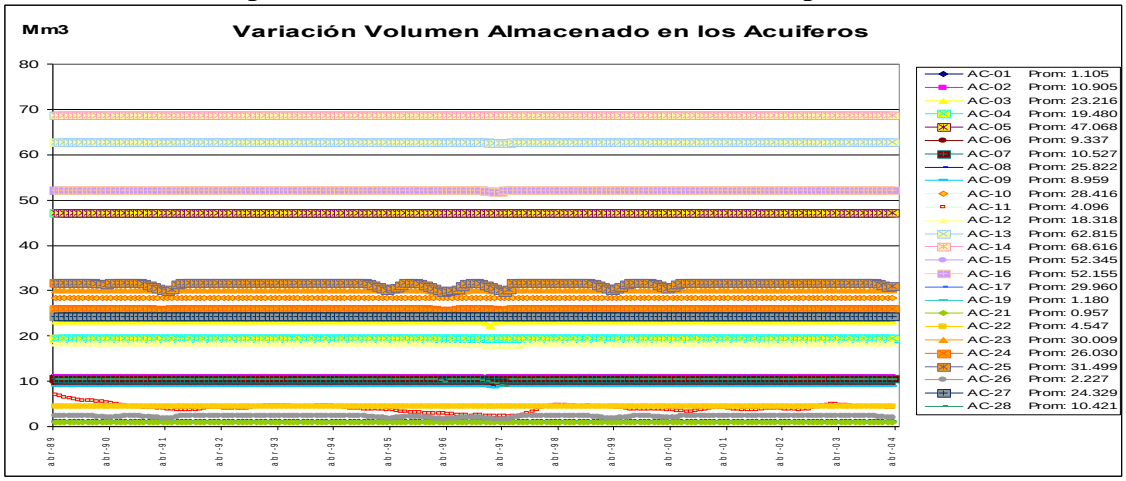
En este escenario, se obtienen la situación de satisfacción de las demandas de la Figura 8-51, similar a la situación con el área actual. La tecnificación ayuda pero no supera los déficits profundos que genera la sequía. El escenario es técnicamente viable.

Figura 8-51
Demanda suplida nivel cuenca escenario Operación



En esta situación, los acuíferos sólo se usan en la medida que lo permiten los derechos, de modo que no se ven mayormente afectados, según se aprecia en la Figura 8-52

Figura 8-52
Comportamiento de los acuíferos escenario Operación 4



f) Escenario Operación 5 sobre Operación 4

Sobre el escenario anterior, se permite el uso libre de los acuíferos, con los resultados de las siguientes Figuras:

Figura 8-53
Demanda suplida escenario Operación 5

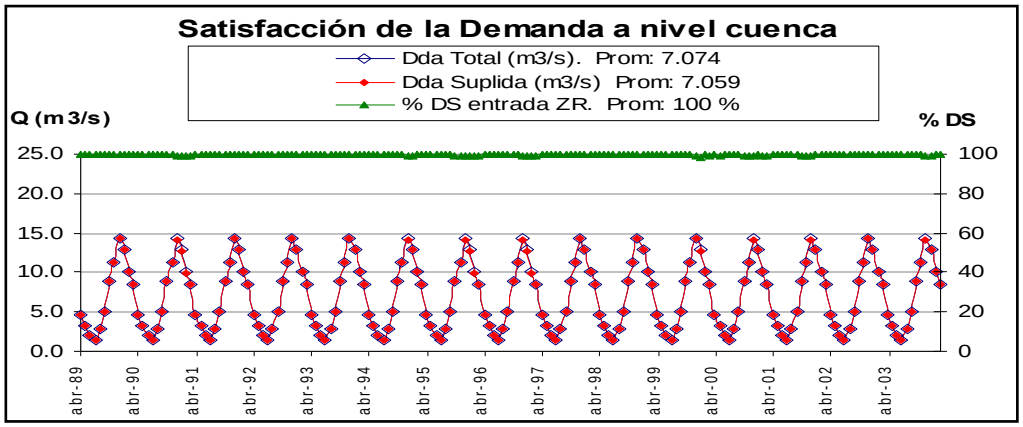
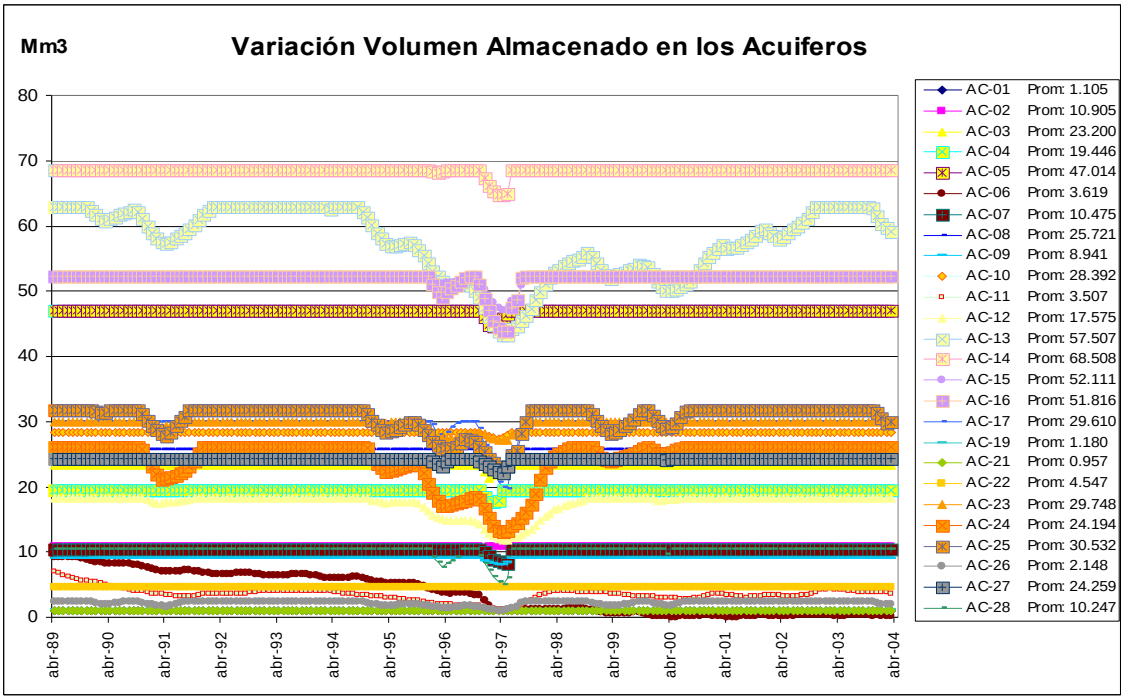
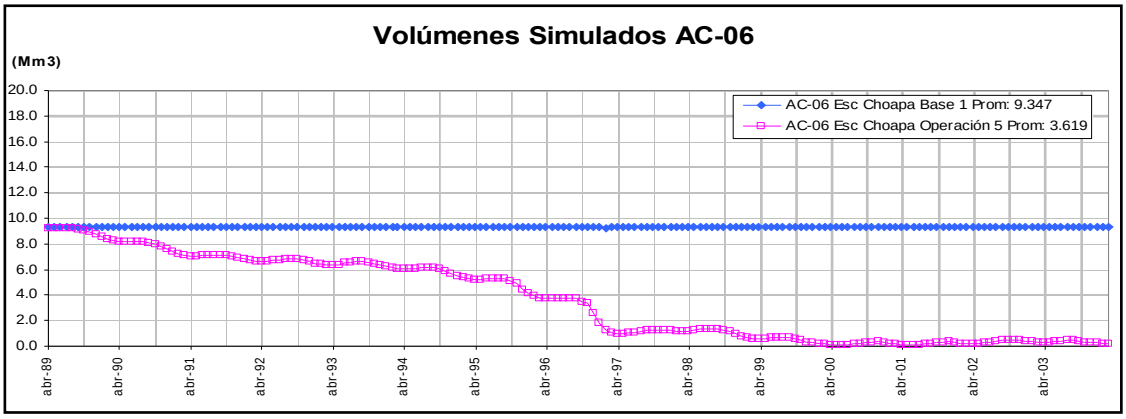


Figura 8-54
Comportamiento de los acuíferos escenario operación 5



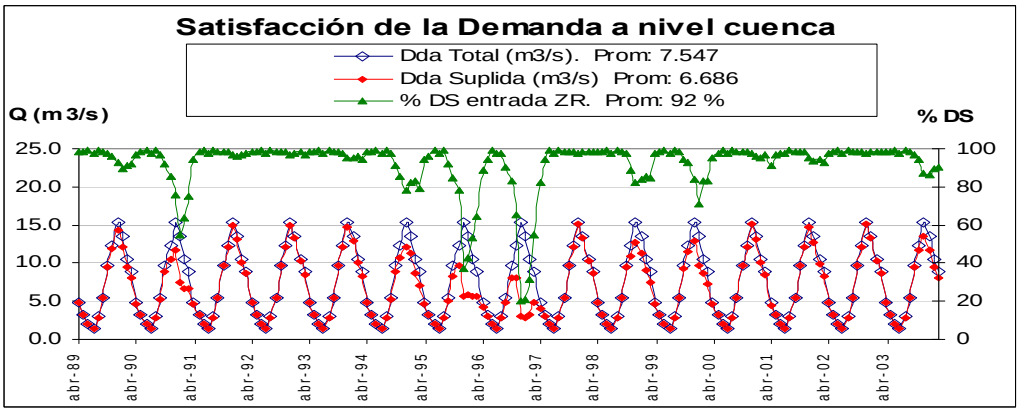


Con excepción del acuífero 6, Quelén, todos los demás acuíferos del valle toleran bien esta explotación. Los canales demandan menos agua y el embalse permanece en una situación más favorable que en el escenario Base 1. Por esta razón, el escenario se considera técnicamente viable, con la salvedad de este acuífero. El acuífero 11 también se deprime en forma importante, pero queda en una nueva situación de equilibrio.

g) Escenario Operación 6 sobre Base 1

En este escenario se estudia el efecto del aumento de la regulación nocturna sobre la seguridad de riego. Se incluyen tranques en todos los sectores del valle, con los siguientes resultados:

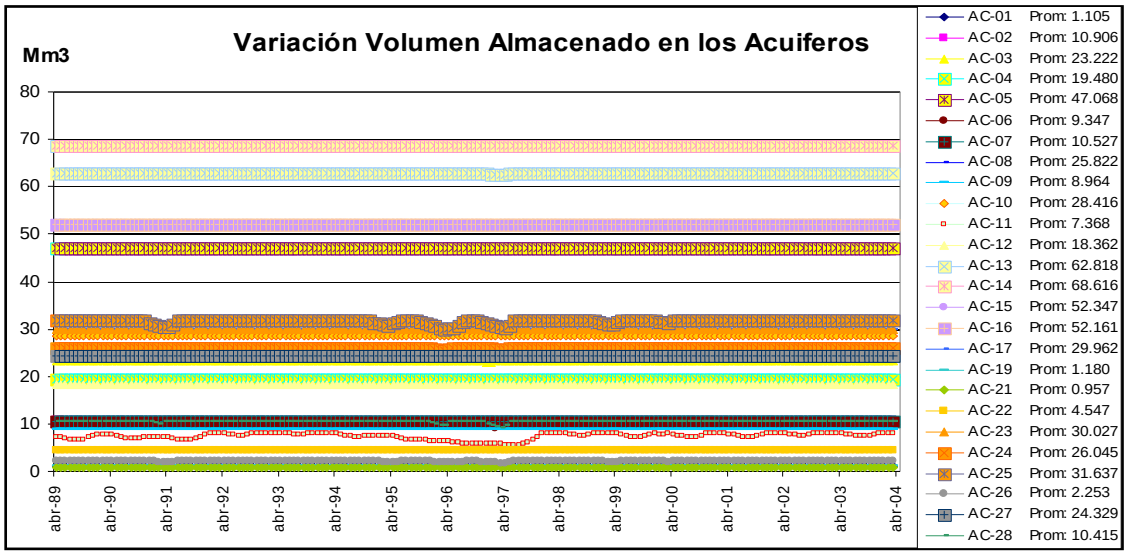
Figura 8-55
Demanda suplida nivel cuenca escenario Operación 6



Se observa que esta medida tiene un efecto positivo en años normales, pero no puede mitigar los profundos déficits que se producen en años más secos.

La reacción de los acuíferos se observa en la Figura 8-51. El escenario es técnicamente viable.

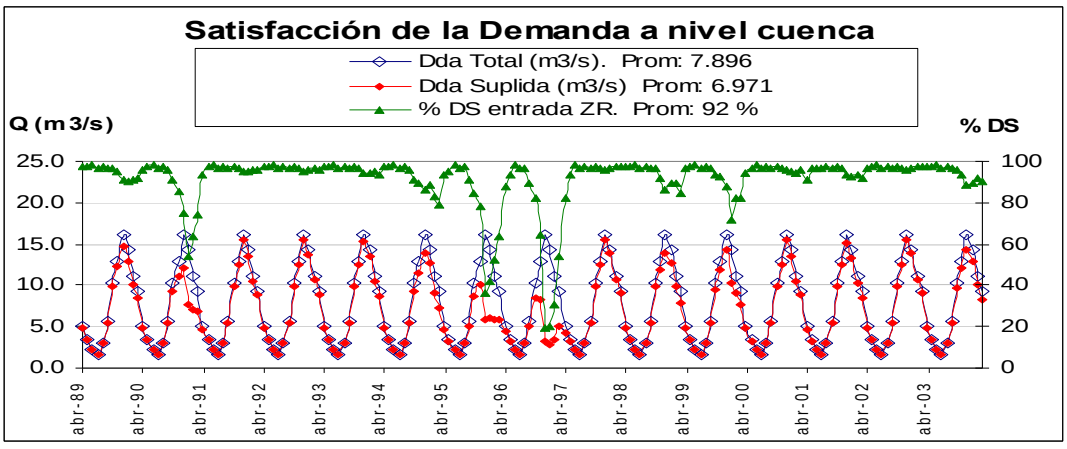
Figura 8-56
Comportamiento de los acuíferos escenario operación 6



h) Escenario Operación 7 sobre Base 1

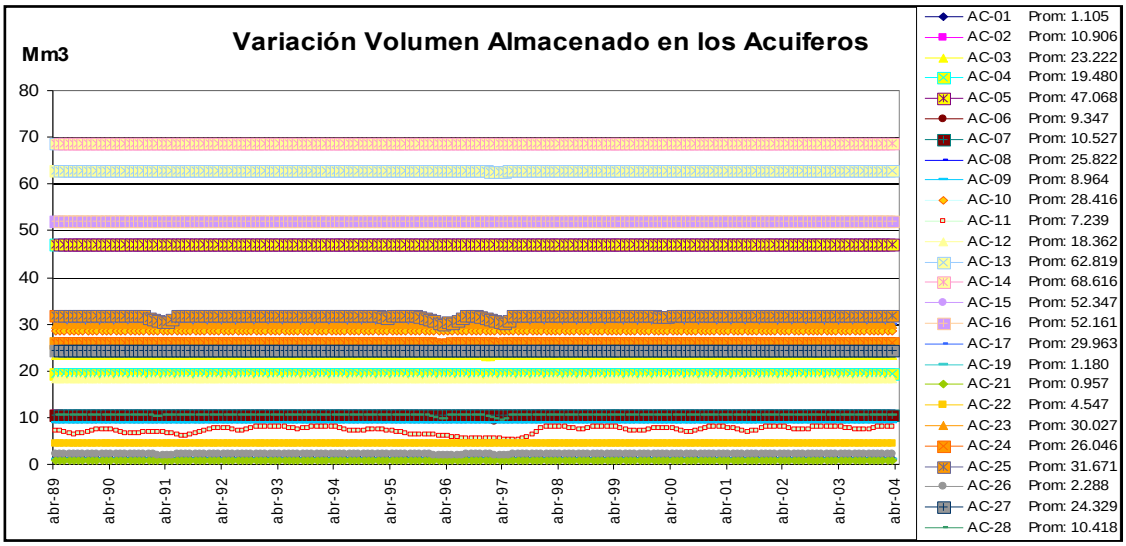
En este escenario, en que se incluye el embalse El Bato, la situación es la siguiente: El embalse El Bato solamente mejora la situación de las zonas del río Ilapel bajo Huintil, y su efecto no es muy perceptible a través de la vista de la cuenca completa. En la evaluación económica, sin embargo, se puede apreciar mejor el aporte de este embalse.

Figura 8-57
Demanda suplida nivel cuenca escenario Operación 7



En relación con los acuíferos, ellos mantienen el siguiente comportamiento, debido a que no se permite mayor explotación que los derechos en este escenario:

Figura 8-58
Comportamiento de acuíferos escenario operación 7

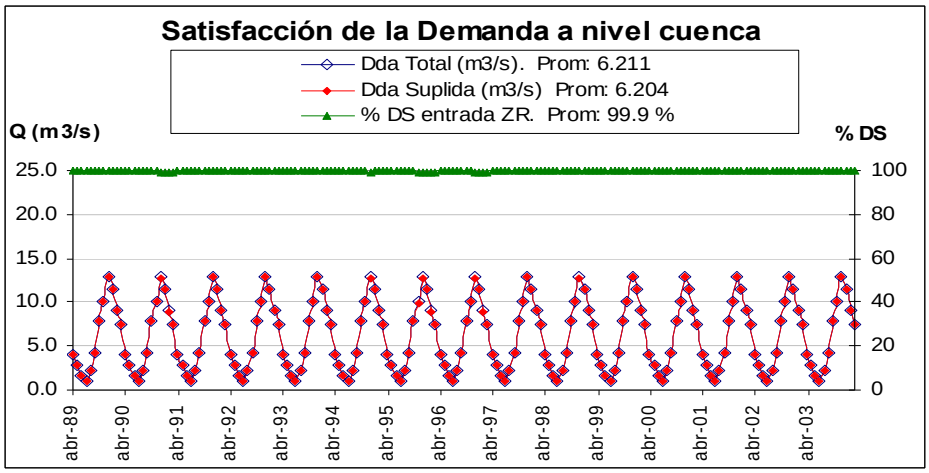


j) Escenario Operación 8 sobre Base 1

En este escenario, se prueba el comportamiento del valle en una situación en que se aumenta las áreas de riego en un 40% por sobre la Base 1, toda la ampliación tecnificada, se cambia los cultivos tipo pradera a paltos y cítricos tecnificados, se entuban todos los canales y se liberan todos los acuíferos, insertando pozos en los que no tienen pozos actualmente.

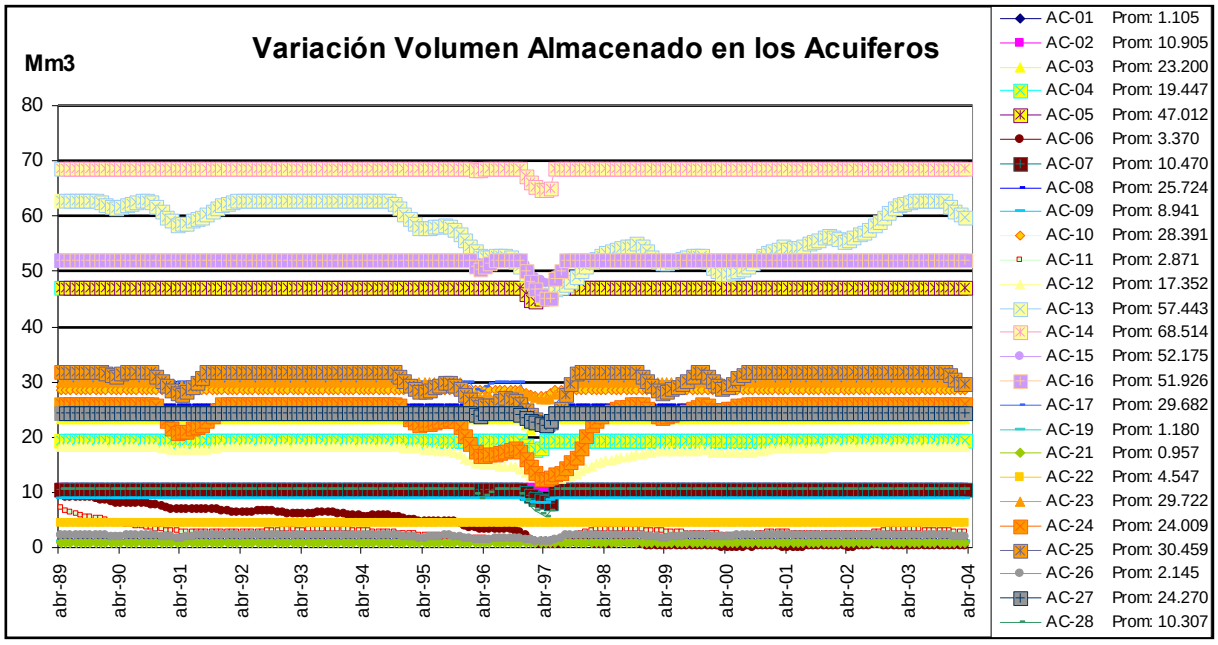
El resultado de este escenario en cuanto a satisfacción de la demanda, es prácticamente completo, y se muestra en la Figura 8-59.

Figura 8-59
Demanda suplida nivel cuenca escenario operación 8



El efecto de esta medida de aumento de áreas, sobre los niveles de los acuíferos, es el que se muestra en la Figura 8-60.

Figura 8-60
Comportamiento de acuíferos escenario operación 8



Se observa que los acuíferos hacen un aporte importante en este escenario, sin producirse colapsos ni problemas más allá de los ya observados en el escenario de Operación 5, donde el área se aumentó sólo en un 20%. Los acuíferos 6 (Quelén) no tolera esta explotación. El acuífero 11 (Chalinga cabecera) adopta un nuevo estado de equilibrio, bastante más bajo, y el acuífero 13 (Chalinga bajo) permanece deprimido por varios años después de la sequía. En el Chalinga podría haber una afección permanente de los canales en esta situación, aunque el Chalinga bajo se alimenta en forma importante desde el río Choapa. Todo le resto del sistema hídrico se repone rápidamente después de la sequía, mostrando que este escenario es técnicamente viable. El acuífero cumple perfectamente su función de suplir los déficits durante las sequías.

8.3.3 Resumen de escenarios

De acuerdo con el análisis presentado en el acápite anterior, se puede observar que, con ciertas salvedades, todos los escenarios son viables desde el punto de vista técnico o hídrico. Esto significa que se procede al análisis económico de cada uno de ellos, para evaluar la viabilidad económica de las medidas En el Cuadro 8-32 se presenta, para cada escenario, las medidas que se desprenden como deseables y viables desde el punto de vista del manejo hídrico.

Cuadro 8-32
Presentación de escenarios viables

Nombre del escenario viable	Medidas deseables y recomendaciones
Base 1	Ajustar las entregas a las demandas. No entregar agua en invierno o en períodos de no uso. Expresar derechos en volúmenes anuales, y no en desmarques o proporciones. Permitir la movilidad total de los derechos.
Operación 1	En todos los acuíferos, grandes y pequeños, se puede permitir una explotación que cubra la demanda actual de agua, en las condiciones actuales de tecnificación y eficiencia de conducción, que son bajas. Los acuíferos sufren efectos de depresión de niveles sólo en épocas de sequías.
Operación 2	La tecnificación del riego de todos los cultivos que no tengan praderas, junto con el entubamiento de todos los canales, es una medida técnicamente factible y no afecta los acuíferos ni el escurrimiento superficial.
Operación 3	La coexistencia de tecnificación de riego en cultivos no praderas, el entubamiento de canales y la liberación de los acuíferos, es bien tolerada por todo el sistema salvo el acuífero 6, que se deprime mucho. El acuífero de cabecera 11 llega a un nuevo estado de equilibrio.
Operación 4	La ampliación de 20% de las áreas, en conjunto con la tecnificación y el entubamiento de canales, constituye un escenario viable, aunque no de grandes seguridades de riego. Se generan grandes déficits durante las sequías.
Operación 5	Un escenario de áreas aumentadas un 20%, con tecnificación de riego, entubamiento de canales y liberación de acuíferos, es viable salvo por el acuífero de Quelén, que colapsa.
Operación 6	La amplificación de tranques nocturnos es técnicamente viable.
Operación 7	El embalse El Bato, probado en este escenario sin otros mejoramientos ni mayor acceso al acuífero, es técnicamente viable.
Operación 8	Un escenario de aumento de áreas de un 40%, con tecnificación de riego, entubamiento de canales y liberación de acuíferos, es viable, salvo por los acuíferos de Quelén (ac 6), que colapsa, y Chalinga alto y bajo (acs. 11 y 13), que permanecen con niveles más bajos por muchos años. En estos acuíferos, no se debiera permitir un bombeo más allá que el que demanda el escenario Base 1

En el Cuadro 8-33 se presenta el resumen de los resultados generales obtenidos de la simulación para todos los escenarios viables.

Cuadro 8-33
Resumen Resultados operación Modelo Choapa

Escenario	Descripción del escenario	Q ddo nivel Raíz	Tasa dda nivel raíz promedio	Q recib x lluvia	Q ddo neto raíz	Qddo entrada ZR	Tasa dda entrada ZR promedio	Efic. Aplic. Riego	Efic. Total
		m3/s	l/s/ha	m3/s	m3/s	m3/s	l/s/ha	%	%
Choapa 41	Calibración	3.858	0.269	0.178	3.680	7.896	0.551	33.9	22.4
Base 1	Entr x demandas, Corrales	3.886	0.271	0.321	3.565	7.896	0.551	33.9	37.1
Operación 1	Acuífeors libres	3.886	0.271	0.321	3.565	7.896	0.551	33.9	38.5
Operación 2	Tecnif y entub.	3.886	0.271	0.321	3.565	6.446	0.450	44.9	57.1
Operación 3	Ac libres, tecnif y entub	3.886	0.271	0.321	3.565	6.446	0.450	44.9	57.4
Operación 4	Ampl. Áreas 20%	4.554	0.265	0.384	4.170	7.074	0.411	48.9	60.6
Operación 5	Ampl + Ac libres	4.554	0.265	0.384	4.170	7.074	0.411	48.9	61.0
Operación 6	Base + tranques noct	3.886	0.271	0.321	3.565	7.547	0.527	33.9	37.6
Operación 7	Base + El Bato	3.886	0.271	0.321	3.565	7.896	0.551	33.9	37.0
Operación 8	Ampl. 40%+ tecnif+entub+acs	4.507	0.225	0.411	4.096	6.210	0.310	57.0	67.0

Escenario	Descripción del escenario	Q canales en BT	Q entregado superf. a ZR	Q entregado bombeo	Q producido para riego	Q recibido para riego en ZR	Q recibido total ZR (inc lluvia)	Tasa riego recibida promedio	DS	% DS
		m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	l/s/Ha	m3/s	%
Choapa 41	Calibración	13.925	10.933	0.260	14.186	11.194	11.372	0.781	6.353	88.0
Base 1	Entr x demandas, Corrales	8.899	6.953	0.247	9.146	7.200	7.522	0.503	6.924	91.5
Operación 1	Acuífeors libres	8.719	6.825	1.324	10.043	8.148	8.470	0.569	7.875	99.8
Operación 2	Tecnif y entub.	5.959	5.959	0.163	6.121	6.122	6.443	0.427	5.895	93.9
Operación 3	Ac libres, tecnif y entub	5.882	5.882	0.780	6.662	6.662	6.984	0.465	6.439	99.9
Operación 4	Ampl. Áreas 20%	6.460	6.460	0.181	6.641	6.642	7.025	0.386	6.396	93.2
Operación 5	Ampl + Ac libres	6.395	6.395	0.911	7.306	7.306	7.690	0.425	7.065	99.9
Operación 6	Base + tranques noct	8.884	6.942	0.215	9.098	7.157	7.478	0.500	6.686	92.3
Operación 7	Base + El Bato	8.987	7.020	0.231	9.218	7.251	7.572	0.506	6.971	91.9
Operación 8	Ampl. 40%+ tecnif+entub+acs	5.675	5.675	0.747	6.422	6.422	6.833	0.320	6.204	99.9

Escenario	Descripción del escenario	Q aplic. Raíz	Q derr	Q perc	Q retornos	% retornos
		m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	%
Choapa 41	Calibración	3.020	1.137	1.952	6.223	50.5
Base 1	Entr x demandas, Corrales	3.273	1.240	2.125	1.804	19.7
Operación 1	Acuífeors libres	3.743	1.419	2.433	1.974	19.7
Operación 2	Tecnif y entub.	3.416	0.449	1.795	0.909	14.1
Operación 3	Ac libres, tecnif y entub	3.743	0.493	1.972	0.947	13.7
Operación 4	Ampl. Áreas 20%	3.945	0.439	1.757	0.939	13.5
Operación 5	Ampl + Ac libres	4.373	0.488	1.953	0.981	13.1
Operación 6	Base + tranques noct	3.295	1.250	2.142	1.722	18.9
Operación 7	Base + El Bato	3.297	1.248	2.139	1.816	19.7
Operación 8	Ampl. 40%+ tecnif+entub+acs	4.287	0.342	1.368	0.768	12.4

Escenario	Descripción del escenario	Volumen agua	Flujo entrante	Flujo saliente	Capac Bombeo Total	Capac Bombeo Riego	Bombeo total	Bombeo riego	Bombeo otros usos	% bom tot sobre der totales	% bom riego sobre der riego
		mm3	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	%	%
Choapa 41	Calibración	606.938	0.000	0.019	1.821	0.797	0.504	0.262	0.243	25.1	32.8
Base 1	Entr x demandas, Corrales	607.757	0.000	0.019	1.821	0.797	0.490	0.248	0.243	25.0	31.2
Operación 1	Acuífeors libres	597.584	0.000	0.018	261.023	260.000	1.558	1.336	0.224	0.8	0.5
Operación 2	Tecnif y entub.	604.537	0.000	0.019	1.8202	0.797	0.406	0.163	0.243	20.4	20.4
Operación 3	Ac libres, tecnif y entub	592.146	0.000	0.018	261.023	260.000	1.053	0.830	0.224	0.5	0.3
Operación 4	Ampl. Áreas 20%	604.339	0.000	0.019	1.8202	0.797	0.424	0.182	0.243	21.3	22.8
Operación 5	Ampl + Ac libres	587.264	0.000	0.019	261.023	260.000	1.130	0.907	0.224	0.6	0.3
Operación 6	Base + tranques noct	607.882	0.000	0.019	1.821	0.797	0.458	0.216	0.243	23.5	31.2
Operación 7	Base + El Bato	607.757	0.000	0.019	1.821	0.797	0.490	0.248	0.243	25.0	31.2
Operación 8	Ampl. 40%+ tecnif+entub+acs	586.127	0.000	0.019	261.023	260.000	0.962	0.740	0.224	37.0	28.0

8.3.4 Áreas regables con 85% de seguridad

En el Cuadro 8-34 a continuación, se presentan, por zona de riego, las áreas regables con 85% de seguridad que se obtienen en cada uno de los escenarios viables. Al respecto, se observa que la tecnificación y el entubamiento de canales tienen efectos positivos en el aumento de área con alta seguridad de riego, pero no permiten cubrir las demandas en sequías. El. acceso al acuífero, en cambio, en esta cuenca, permite cubrir todas las demandas, actuales y ampliadas, sin o con medidas adicionales como tecnificación y entubamiento. Esto se desprende del análisis de los tres escenarios en que se usan libremente los acuíferos.

Cuadro 8-34
Áreas regables con 85% de seguridad en los diferentes escenarios estudiados

Escenario	% área seg 85%	Área con seg. 85%
Calibración 041 área base	60	8600
Base 1 área base	75	10750
Operación 1 área base	100	14328
Operación 2 área base	90	12900
Operación 3 área base	100	14328
Operación 4 área ampliada 20%	90	15500
Operación 5 área ampliada 20%	100	17194
Operación 6 área base	75	10750
Operación 7 área base	80	11500
Operación 8 área ampliada 40%	100	20059

8.3.5 Eficiencia global de uso del agua

A continuación, en el Cuadro 8-35, se presenta el resultado del análisis de usos y pérdidas, y de los indicadores de eficiencia global, reúso global y total. El reúso global se entiende como el factor que relaciona el caudal total captado (en agricultura a nivel de bocatoma), con el caudal consumido a nivel de cuenca. El reúso total se entiende como el factor anterior, multiplicado por el factor de reúso interno de derrames y percolaciones asumido en la modelación para las zonas de riego.

En este cuadro se observa una gran diferencia entre esta cuenca y las de Elqui y Limarí. En la cuenca del Choapa, el uso del recurso es de baja eficiencia. Se usa sólo un 30% del agua disponible en promedio, el resto se pierde al mar. Los factores de reúso global son correspondientemente bajos, de hecho este factor solamente resulta mayor que uno en el escenario actual. Si se ciñen las captaciones en bocatoma a las demandas en forma más eficiente, los caudales captados bajan sustancialmente y se observa que el factor resulta menor que uno. Esto significa que una parte del caudal disponible ni siquiera se capta, sino que se pierde directamente al mar.

Lo anterior se explica porque las demandas están restringidas a las disponibilidades de los meses de estiaje. En efecto, en el mes de marzo es cuando el uso del agua es el más eficiente, y se usa un gran porcentaje del agua disponible.

En el Cuadro 8-35 también se observa que una conversión del valle desde los cultivos actuales hacia cultivos más rentables y menos consumidores de agua, no significan una demanda mucho mayor de agua. Las medidas de eficiencia planteadas permiten aumentar la eficiencia global de uso desde 30% a 36%, lo que no es significativo. Sin embargo, con estas medidas se pasa a regar con una seguridad de 100% un área de 20.000 ha, en comparación con un área de 14.700 ha actuales que se riegan con baja seguridad.

El análisis anterior muestra que esta cuenca tiene aún un gran potencial hídrico, no explotado con los embalses planteados, ni con el uso adicional del acuífero. Para conocer el límite de expansión de la demanda agrícola, habría que seguir expandiendo las áreas y analizar los efectos sobre el sistema, hasta encontrar un límite a la expansión, cuando la explotación requerida pase a ser inviable.

Cuadro 8-35
Eficiencia neta, reúso y eficiencia global por escenario.

Escenario	Q Consumo de usos	Prob Exc Q consumo	Q Pérdidas	Q uso total	Prob Exc uso total	Qcapt año prom	Eficiencia global promedio	% no aprovechado promedio	Reúso global promedio	Reúso total promedio
	m3/s	%	m3/s	m3/s	%	m3/s	%	%	º/1	º/1
Esc 041	4.634	0.91	10.596	15.230	0.50	16.021	30	70	1.05	1.58
Base 1 91-00	4.887	0.91	10.486	15.373	0.52	10.967	32	68	0.71	1.07
Base 1 89-03	4.887	0.91	10.273	15.160	0.51	10.967	32	68	0.72	1.09
Operación 1 89-03	5.357	0.89	9.928	15.285	0.51	11.865	35	65	0.78	1.16
Operación 2 89-03	5.030	0.90	10.252	15.282	0.51	7.947	33	67	0.52	0.78
Operación 3 89-03	5.357	0.89	9.081	14.438	0.56	8.485	37	63	0.59	0.88
Operación 4 89-03	5.559	0.87	9.744	15.303	0.52	8.464	36	64	0.55	0.83
Operación 5 89-03	5.987	0.86	9.529	15.516	0.51	9.128	39	61	0.59	0.88
Operación 6 89-03	4.909	0.90	10.253	15.162	0.51	10.922	32	68	0.72	1.08
Operación 7 89-03	4.911	0.91	10.224	15.135	0.51	11.039	32	68	0.73	1.09
Operación 8 89-03	5.496	0.89	9.636	15.132	0.53	8.247	36	64	0.54	0.82

8.3.6 Dotación de agua por acción

En el Cuadro 8-36 se puede observar las dotaciones de agua por acción que se producen para los distintos escenarios. En la situación promedio, se observan tres tipos de dotaciones: una grande (19470 m3/acción) para el escenario actual de calibración, una media (sobre 12000 m3/acción) para escenarios con entregas racionalizadas y adaptadas a las demandas, y una más reducida (entre 8000 y 9000 m3/acción) para escenarios en que las demandas se reducen además mediante métodos de aplicación de mayor eficiencia.

Es interesante observar que para años húmedos no hay gran variación en relación con el promedio. También es interesante observar que en años secos las dotaciones no son demasiado bajas, en comparación con lo que se observa para las otras cuencas. Las dotaciones más bajas de los escenarios 3, 5 y 8 se complementan con aguas subterráneas.

Cuadro 8-36
Volumen anual promedio por acción en diferentes escenarios

Escenarios	Areas	Acciones	Acciones / ha	Dotación por acción		
				Promedio	Año húmedo 2002/03	Año seco 1996/07
	ha	acc	acc/ha	m3/acc/año	m3/acc/año	m3/acc/año
Choapa 41	14328	22553	1.57	19470	22246	8600
Base 1	14328	22553	1.57	12442	13864	7042
Operación 1	14328	22553	1.57	12192	13546	6459
Operación 2	14328	22553	1.57	8337	8927	5154
Operación 3	14328	22553	1.57	8226	8705	4561
Operación 4	17194	22553	1.31	9035	9732	5370
Operación 5	17194	22553	1.31	8942	9514	4838
Operación 6	14328	22553	1.57	12424	13859	6992
Operación 7	14328	22553	1.57	12565	13864	7090
Operación 8	20059	22553	1.12	7940	8382	4501

8.3.7 Dotación de agua por hectárea

En el Cuadro 8-37 se observa que la dotación de volumen por hectárea varía de la misma forma en que varía la dotación de m3/acción, dada la muy pareja distribución de acciones/ha que hay en esta cuenca. La dotación mínima se produce en sequía, en los escenarios de ampliación de áreas, pero no baja de 5000 m3/ha al año en promedio. En estos escenarios, esta dotación además es suplementada por el uso de aguas subterráneas.

Cuadro 8-37
Volumen anual promedio por hectárea en diferentes escenarios

Escenarios	Areas	Acciones	Acciones / ha	Análisis por Ha		
				Promedio	Año húmedo 2002/03	Año seco 1996/97
	ha	acc	acc/ha	m3/ha/año	m3/ha/año	m3/ha/año
Choapa 41	14328	22553	1.57	30647	35016	13536
Base 1	14328	22553	1.57	19585	21823	11084
Operación 1	14328	22553	1.57	19191	21321	10166
Operación 2	14328	22553	1.57	13122	14051	8113
Operación 3	14328	22553	1.57	12949	13701	7180
Operación 4	17194	22553	1.31	11851	12766	7043
Operación 5	17194	22553	1.31	11730	12480	6346
Operación 6	14328	22553	1.57	19556	21814	11005
Operación 7	14328	22553	1.57	19778	21823	11159
Operación 8	20059	22553	1.12	8927	9423	5061

8.3.8 Explotabilidad de acuíferos

El escenario Operación 8, en que crecen las áreas cultivadas de todo el valle en un 40%, es un escenario en que se tecnifica el riego, es decir, se aprovecha al máximo el recurso superficial disponible, y se usan los acuíferos en forma complementaria, especialmente en sequías.

En dicho escenario se identificó una forma más intensiva de explotar los acuíferos siempre en forma sustentable, y sin haber llegado al límite de su explotabilidad.

En el Cuadro 8-38 se muestra las características de la explotación de los acuíferos en los escenarios de operación 5 y 8, en comparación con lo que ocurre en la situación actual, en la cual están subexplotados. La situación se presenta acuífero por acuífero. Como se ha señalado antes, sólo los acuíferos 6 (Quelén) y 11 y 13 del Chalinga tienen cierta incompatibilidad entre la tecnificación del riego y la explotación de los acuíferos, porque éstos viven en parte importante de las percolaciones del riego.

Ninguno de los escenarios afecta permanentemente los demás acuíferos. Por esta razón, los derechos que se sugiere constituir son los que resultan del análisis de los valores de requerimientos en comparación con las recargas. Los derechos sugeridos en este caso, no constituyen un límite a la explotación, como en los casos del Elqui y Limarí, porque no se ha llegado a determinar el área máxima regable. Los derechos sugeridos, si bien son conservadores, no significan un límite para otros posibles derechos futuros, cuya factibilidad se podrá evaluar con el presente modelo apoyado por el estudio hidrogeológico propuesto.

Cuadro 8-38
Comparación comportamiento de acuíferos en diferentes escenarios de explotación

	Escenario actual			Escenario Operación 5			Escenario Operación 8		
Acuífero	Derechos registrables totales abril 2005 sin Sta Luisa	Recarga disp	Promedio uso	Recarga disp Op 5	Op 5 Peak máx total	Op 5 Promedio uso	Recarga disponible Op 8	Op 8 Peak máx total	Op 8 Promedio uso
AC-01	0.000	2.261	0.000	2.289	0.003	0.000	2.282	0	0
AC-02	0.002	5.480	0.000	5.848	0.036	0.000	5.852	0.02	0
AC-03	0.135	2.155	0.134	2.125	0.418	0.168	2.114	0.391	0.163
AC-04	0.004	4.683	0.001	5.281	0.579	0.022	5.304	0.527	0.019
AC-05	0.408	5.023	0.020	**3.870**	0.851	0.018	3.879	0.805	0.018
AC-06	**0.003**	**0.146**	**0.000**	**0.074**	**0.403**	**0.090**	**0.061**	**0.373**	**0.078**
AC-07	0.008	2.266	0.001	1.686	0.173	0.005	1.683	0.167	0.005
AC-08	0.224	2.476	0.041	2.360	0.754	0.053	2.324	0.704	0.052
AC-09	0.061	1.099	0.000	1.065	0.115	0.019	1.052	0.106	0.019
AC-10	0.000	1.452	0.000	**1.617**	0.396	0.015	1.609	0	0
AC-11	**0.000**	**0.150**	**0.000**	**0.110**	**0.157**	**0.028**	**0.079**	**0**	**0**
AC-12	0.003	0.183	0.000	0.106	0.379	0.028	0.066	0.252	0.013
AC-13	**0.007**	**0.369**	**0.003**	**0.206**	**0.835**	**0.151**	**0.135**	**0.62**	**0.095**
AC-14	0.012	2.896	0.002	3.165	1.021	0.041	3.153	0.955	0.033
AC-15	0.028	0.614	0.007	0.193	0.673	0.033	0.187	0.608	0.026
AC-16	0.174	1.096	0.062	0.722	1.169	0.113	0.687	1.057	0.093
AC-17	0.097	1.258	0.038	0.941	1.431	0.045	0.893	1.297	0.034
AC-19	0.000	0.123	0.000	0.075	0.000	0.000	0.069	0	0
AC-21	0.000	0.058	0.000	0.037	0.001	0.001	0.035	0	0
AC-22	0.004	0.223	0.000	0.153	0.032	0.001	0.152	0.035	0
AC-23	0.016	0.399	0.003	0.185	0.347	0.013	0.187	0.363	0.015
AC-24	0.146	0.474	0.051	0.208	0.836	0.131	0.201	0.838	0.132
AC-25	0.222	0.441	0.075	0.300	0.484	0.078	0.295	0.485	0.079
AC-26	0.066	0.104	0.008	0.068	0.099	0.023	0.066	0.097	0.022
AC-27	0.011	1.584	0.001	1.471	0.270	0.012	1.462	0.243	0.009
AC-28	0.190	1.555	0.057	1.260	0.821	0.045	1.206	0.626	0.031
Total	**1.821**	**38.570**	**0.504**	**35.416**	**12.283**	**1.133**	**35.032**	**10.569**	**0.936**

En el Cuadro 8-39 se presenta la situación agregada por mesozona, con el objetivo de que se aprecie más claramente el potencial de derechos subterráneos que tiene esta cuenca, fundamentalmente debido al tamaño de los acuíferos, y a su potencial de recarga.

Cuadro 8-39
Derechos sugeridos agregados por mesozona

Acuífero	Derechos registr. abril 2005	Peak máx. probado seguro	Recarga potencial segura	Derechos sugeridos	Base
Choapa Alto	0.845	4.611	26.161	**4.60**	**Peak real probado**
Chalinga	0.010	1.548	0.7 a 0.3	**0.30**	**Recarga segura**
Choapa Medio	0.311	4.609	6.5 a 4.9	**4.60**	**Peak real probado**
Illapel	0.454	2.038	1.7 a 1.0	**1.00**	**Recarga segura**
Choapa Bajo	0.201	1.076	2.6	**2.60**	**Recarga segura**
Total	**1.821**	**13.882**		**13.10**	

8.3.9 Información obtenida de los escenarios viables para modelación económica

Los escenarios corridos con el modelo MAGIC contienen una gran cantidad de información técnica que es necesario conocer para el análisis económico que se presenta a continuación. La información obtenida de los resultados de los 8 escenarios, todos viables, más el de calibración, para la obtención de ingresos y costos, es la siguiente:

a) Porcentaje de demanda suplida

De acuerdo con la metodología, se obtiene un porcentaje de demanda suplida k, a partir de los datos mensuales de demanda suplida del modelo de simulación. Este dato puede ser el promedio de los meses de verano solamente, lo que se aplica en las zonas donde no hay cultivos de invierno, o puede ser el promedio del año completo, valor que se usa en los sectores en que hay cultivos durante todo el año.

En el caso del Choapa, si bien los cultivos más rentables son los frutales, que requieren su agua fundamentalmente en verano, también hay que considerar que hay cultivos de todo el año, que aunque poco rentables, podrían requerir riegos de invierno. Por este motivo se ha asumido como factor representativo para el cálculo de ingresos, el porcentaje de demanda suplida promedio de todo el año. Usar el porcentaje de satisfacción de la demanda correspondiente sólo a los meses de verano, sería, además, muy castigador para el cálculo de los ingresos, que de por sí en este valle son precarios.

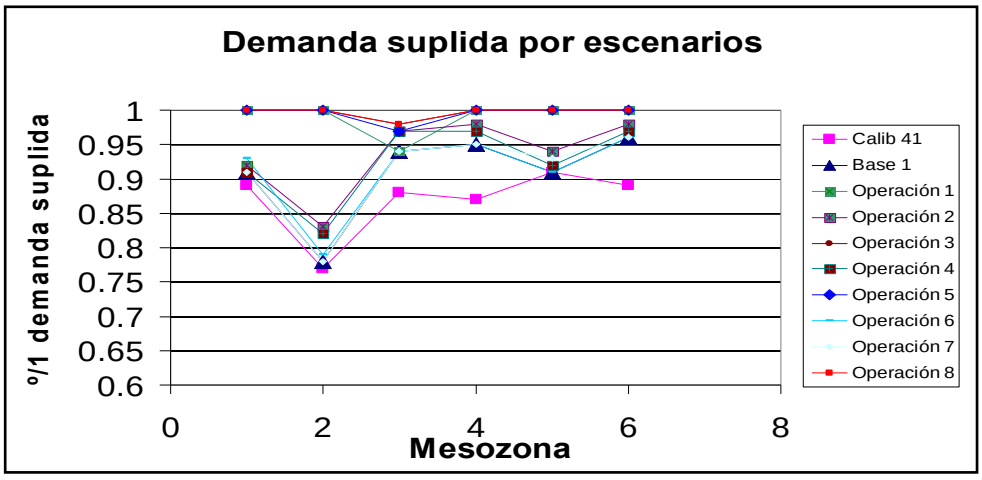
La información se presenta en el Cuadro 8-40 como promedio de todo el período de análisis, y por mesozonas. Las mesozonas son las mismas que se utilizaron en el diagnóstico de la eficiencia económica.

Cuadro 8-40
Coeficiente k, porcentaje de demanda suplida

Escenario	K MZ 1	K MZ 2	K MZ 3	K MZ 4	K MZ 5	K MZ 6	DS ZR cuenca	DS raíz cuenca
Cailib 41	0.89	0.77	0.88	0.87	0.91	0.89	6.353	3.020
Base 1	0.91	0.78	0.94	0.95	0.91	0.96	6.924	3.273
Operación 1	1.00	1.00	0.94	1.00	1.00	1.00	7.875	3.743
Operación 2	0.92	0.83	0.97	0.98	0.94	0.98	5.895	3.416
Operación 3	1.00	1.00	0.98	1.00	1.00	1.00	6.439	3.743
Operación 4	0.91	0.82	0.97	0.97	0.92	0.97	6.396	3.945
Operación 5	1.00	1.00	0.97	1.00	1.00	1.00	7.065	4.373
Operación 6	0.93	0.79	0.94	0.95	0.91	0.96	6.686	3.295
Operación 7	0.91	0.78	0.94	0.95	0.93	0.96	6.971	3.297
Operación 8	1.00	1.00	0.98	1.00	1.00	1.00	6.204	4.287

En la Figura 8-61 se muestra gráficamente cómo va subiendo en los diferentes escenarios el porcentaje de demanda suplida.

Figura 8-61
Porcentaje de demanda suplida por escenario



b) Longitud de canales entubados

Para los escenarios en que se ha entubado canales, las longitudes de entubamiento son las siguientes:

Cuadro 8-41
Longitudes entubadas de canales en escenarios con entubamiento

ESCENARIO	DESCRIPCIÓN	LONG ENTUB.(km)
Operación 2	Se entuban todos los canales	841.089
Operación 3	Se entuban todos los canales	841.089
Operación 4	Se entuban todos los canales	841.089
Operación 5	Se entuban todos los canales	841.089
Operación 8	Se entuban todos los canales	841.089

c) Áreas nuevas tecnificadas

Para los escenarios en que se tecnificó algunas áreas actualmente no tecnificadas, en el siguiente cuadro se presentan las áreas totales tecnificadas. Las áreas de tecnificación nueva se obtienen por diferencia.

Cuadro 8-42
Áreas tecnificadas por escenario

Escenario	Area Tecnificada (ha)
Choapa 41	144
Base 1	144
Operación 1	144
Operación 2	6742
Operación 3	6742
Operación 4	9608
Operación 5	9608
Operación 6	144
Operación 7	144
Operación 8	12144

d) Capacidad adicional de tranques nocturnos

La capacidad de regulación nocturna adicional por escenario se obtiene de los siguientes datos:

Cuadro 8-43
Capacidad de regulación nocturna por escenario

Escenario	CRN (m3)
Base 1	568.600
Operación 6	3.914.972

e) Caudales bombeados desde pozos, y pozos nuevos

El modelo Magic entrega como resultado los caudales bombeados en cada escenario. El costo de operación de tal bombeo depende de varios factores:

- de la altura media de bombeo de cada sector
- del número de pozos que deben operar en cada escenario para generar ese bombeo, - del tope que imponen los derechos a cada sector,
- del bombeo efectivo máximo en cada sector, para el cálculo de la demanda máxima a contratar,
- del caudal promedio anual efectivamente bombeado en cada sector, para el cálculo del consumo y costo de energía
- del costo de las tarifas

Las tarifas consideradas en este estudio son las correspondientes al código AT4.3, parcialmente presentes en punta, con demanda contratada. De todas las tarifas comunales para la IVª Región que se solicitaron en CONAFE, se aplicó la máxima, para mantenerse en un plano conservador.

Toda la información anterior dio lugar a una planilla de costo de bombeo, en la que se calcula el costo de operación de las bombas, su costo de mantención en función de las horas de bombeo, y los pozos nuevos que es necesario agregar en cada escenario, en función de la cantidad adicional de caudal que se está bombeando. Estas planillas, que se obtuvieron para cada uno de los escenarios, se anexan como Anexo Digital VIII. Los resultados de costos que se obtuvieron de dichas planillas se presentan en el Cuadro 8-44 a continuación.

Cuadro 8-44
Resultados de la operación de los pozos escenarios cuenca Choapa
Millones de pesos Sept. 2006

ESCENARIO	Costo anual de Operación	Costo de reposición	Frecuencia reposición años	Costo anual reposición	Pozos nuevos
Choapa 41	161.3	126	7	18.0	0
Base 1	163.9	126	6	21.0	0
Operación 1	1729.1	1960	17	115.3	1087
Operación 2	127.9	126	9	14.0	0
Operación 3	1278.5	1590	22	72.3	869
Operación 4	204.0	126	9	14.0	0
Operación 5	2025.8	1744	21	83.0	956
Operación 6	146.5	126	7	18.0	0
Operación 7	158.3	126	7	18.0	0
Operación 8	1763.1	1569	24	65.4	838

CAPITULO 9 EVALUACIÓN ECONÓMICA

En este capítulo se presenta la evaluación económica que se ha efectuado para todos los escenarios viables corridos tanto para el Elqui como para el Limarí y el Choapa. La metodología empleada es la que se presenta en el Capítulo 3. Los resultados se comentan en el Capítulo 10, Conclusiones.

9.1 EVALUACIÓN DE INGRESOS ANUALES

Para cuantificar el mejoramiento que ofrece cada una de las medidas tomadas en cada uno de los escenarios de operación, se ha observado la forma en que mejora la demanda suplida. Este mejoramiento se cuantifica a través del aumento de ingreso anual que produce tal mejoramiento de acuerdo con los métodos y valores presentados en los Capítulos 3 y 5.7, 6.7 y 7.7.

El ingreso generado depende de los valores de margen neto anual equivalente por hectárea que aportan los cultivos presentes, incluyendo rotación de cultivos cuando corresponde, y del porcentaje en que se ha considerado suplida la demanda. La rotación de cultivos se consideró fundamentalmente en el Elqui, para los cultivos hortaliceros bajo el embalse Puclaro.

No se ha aplicado en estas cuencas la teoría de la merma de rendimiento debido a déficit hídrico, porque en estos valles la demanda se adecúa a la oferta que se pronostica para cada año, de modo que lo que ocurre es que simplemente se planta menos, pero en general los cultivos no se riegan con déficit. Este mismo hecho explica la gran cantidad de área que no tiene cultivos permanentes en las tres cuencas. Los cultivos permanentes en general sólo cubren el área que tiene una alta seguridad de riego, pero habiendo disponibilidad de agua, se cultiva mucho más que eso.

De este modo, el ingreso anual generado en cada escenario se ha obtenido a nivel de mesozona, en base a una planilla en la que se ingresa los cultivos, áreas y márgenes netos de cada cultivo, por un lado, y el porcentaje de satisfacción de la demanda, por otro lado.

Los resultados que se obtienen para los ingresos en cada uno de los escenarios corridos para las cuencas Elqui, Limarí y Choapa, son los que se muestran en los Cuadros 9-1, 9-2 y 9-3.

Al respecto cabe señalar que inicialmente se ha considerado el mismo margen neto anual equivalente para un mismo cultivo en todos los escenarios. Esto significa que no se asume que las medidas implementadas, como tecnificación o entubamientos, generen mayores ingresos netos, puesto que, si bien hay generalmente mayores ingresos por hectárea, también aumentan los costos por hectárea.

No obstante lo anterior, para los escenarios que no alcanzan a ser rentables, se ha estimado cuánto deben aumentar los márgenes netos, o cuánto se deben subsidiar las obras, para lograr que estos escenarios sean rentables.

Cuadro 9-1
Ingresos anuales obtenidos por escenario cuenca Elqui

.

Escenario	Ingreso en millones $ Sept 2006
Cailib 0_S1	25.739
Base 1	26.857
Base 1.1	26.753
Operación 1	26.857
Operación 2	27.612
Operación 2.2	27.665
Operación 2.3	26.759
Operación 2.4	26.857
Operación 3	30.093
Operación 4.1	31.880
Operación 5.1	31.482
Operación 6.1	31.988
Operación 7.1	30.067
Operación 7.2	32.321
Operación 7.4	32.321

Cuadro 9-2
Ingresos anuales obtenidos por escenario cuenca Limarí

.

Escenario	Ingreso en millones $ Sept. 2006
Cailib 024	22.141
Operación 2	27.102
Operción 3	23.924
Operación 5	27.640

Cuadro 9-3
Ingresos anuales obtenidos por escenario cuenca Choapa

.

Escenario	Ingreso en millones $ Sept. 2006
Cailib 41	2.736
Base 1	2.854
Operación 1	3.106
Operación 2	2.931
Operación 3	3.109
Operación 4	4.574
Operación 5	4.917
Operación 6	2.876
Operación 7	2.868
Operación 8	10.0365

9.2 EVALUACIÓN DE COSTOS

Los costos que se han considerado en cada uno de los escenarios incluyen costos de inversión, y de operación y mantenimiento.

Entre las inversiones, se incluyen: embalses nuevos, pozos nuevos, entubamientos de canal, tecnificación de riego y tranques nocturnos, vale decir, todos los costos de inversión de las obras que se probaron con los diferentes escenarios. Se asumió que la gestión no tiene costo adicional al actual, o que éste sería despreciable.

Los costos de operación y mantenimiento se aplican a los embalses, a los pozos, a todos los canales que no se entuban, y a los tranques nocturnos. Los canales entubados tienen la gracia de que prácticamente no tienen costo de mantenimiento.

Todos los escenarios se comparan contra un escenario base, frente al cual presentan diferencias de ingresos y de costos. El escenario base de comparación para todos los escenarios en el caso del Elqui es el escenario Base 1 Este escenario, a su vez, se compara contra el escenario de calibración.

En el caso del Limarí, el escenario base es el mismo escenario de calibración, por ser un escenario que ya tiene incorporadas todas las medidas de gestión que producirían aumentos no atribuibles a obras, en especial, la entrega de acuerdo a las demandas.

Para el Choapa, se construyó también un escenario base diferente del de calibración, en el que se agregó el embalse Corrales, con una adecuada gestión de sus aguas, vale decir, la entrega según demanda, en vez de derecho.

Los costos que se utilizaron para el cálculo del valor presente neto de cada escenario, fueron los que se presentan en los Cuadros 9-4 y 9-5 adjuntos. En el primero, se presentan los costos de inversión, y en el segundo, los de mantenimiento. Todos los valores se obtuvieron de la bibliografía, de los manuales de costos de obras menores de INDAP y CNR, y de la investigación directa en terreno. Los costos están actualizados a Septiembre de 2006.

Cuadro 9-4
Costos de inversión
utilizados en el cálculo del valor presente neto de cada escenario

Item Inversión	**Costo considerado**
Embalse Corrales	$ 26.000 millones
Embalse El Bato	$ 17.400 millones
Pozos nuevos Elqui	$ 20 millones cada uno
Pozos nuevos Limarí y Choapa	$ 18 millones cada uno
Nº de pozos nuevos	Según resultados Cuadros 8-17, 8-30 y 8-44
Entubamiento de canal	$ 40.000 por ml
Tecnificación del riego	$ 1.600.000 por hectárea
Tranques nocturnos	$ 1.500 por m3

Cuadro 9-5
Costos de operación y mantenimiento
utilizados en el cálculo del valor presente neto de cada escenario

Item O y M	**Costo considerado**
Mantenimiento embalses	0,1% de la inversión al año
Operación de pozos	Costo anual de operación según cuadros 8-17, 8-30 y 8-44
Mantención de pozos	Costo anual de reposición según vida útil Cuadros 8-15, 8-26 y 8-38
Mantención de canales	$ 300.000 por km al año en promedio
Mantención de entubamientos	0
Mantención tranques nocturnos	2% de la inversión al año

9.3 VALOR PRESENTE NETO DE CADA ESCENARIO

Tanto los costos como los ingresos se presentan en una planilla de cálculo de VAN, en la cual se desarrolla cada escenario en un horizonte de 30 años. El horizonte de 30 años parece adecuado debido a que los flujos después de 30 años no aportan gran cosa a los valores actualizados. Para la actualización de los flujos se utilizó una tasa de descuento de 10%, de acuerdo con los actuales criterios de MIDEPLAN para la evaluación privada de proyectos.

En cuanto a los ingresos, en todos los escenarios se parte el año 1, con los ingresos del escenario base, y se llega a la nueva situación de ingresos dentro de un horizonte de 5 años, dada la agilidad de adaptación de los agricultores de esta cuenca. La transición se asume en base a una curva logística.

En los Cuadros 9-6, 9-7 y 9-8 adjuntos, se muestra el resultado de la evaluación económica de cada uno de los escenarios, en la forma de valores presentes netos resultantes de flujos de 30 años, para cada cuenca. Se obtiene el VPN o VAN, para cada ítem de ingreso y costo, y para el flujo total. A través del flujo total es que los escenarios se pueden comparar entre ellos. Los escenarios rentables son los que generan un valor presente neto mayor que el del escenario base.

Estos cuadros representan la base para el análisis de cada una de las medidas. Dicho análisis, los resultados y comentarios al respecto se presentan en los Capítulos 9.4 y 10.

Cuadro 9-6
Resultado de la evaluación económica cuenca Elqui

Escenario	Descripción del	Ingresos	Egresos												VAN
		mill $ Sept 06	Inversiones en Obras					Operación y Mantención						Total Egresos	
		Agropecuario	Em balse	Pozos nuevos	Entuba mientos	Tecnificación ha nuevas	tranques nocturnos	Em balses	Pozos	Pozos	Canales	Entuba mientos	Tranques		
								0,1% inv.	Operac. Anual	Mantención anual	Mantención anual	Mantención	2% inv.	mill $ sept 06	mill $ sept 06
0_S1	Calibración	242,639	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5,174.43	773.01	2,150.47	0.00	0.00	8,097.91	234,541.44
Base 1	Ent. Seg. Dem	250,509	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4,480.61	687.22	2,150.47	0.00	0.00	7,318.30	243,190.45
Base 1.1	Base 1 y riego	249,777	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4,481.56	687.22	2,150.47	0.00	0.00	7,319.24	242,457.47
Operación 1	Base 1 y trasla	253,179	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4,455.16	687.22	2,150.47	0.00	0.00	7,292.85	245,885.79
Operación 2	Base 1 y solta	258,493	0.00	6,804.03	0.00	0.00	0.00	0.00	7,398.24	796.57	2,150.47	0.00	0.00	17,149.31	241,343.64
Operación 2.2	Base 1 y entul	258,866	0.00	0.00	10,590.55	0.00	0.00	0.00	3,200.44	442.12	777.72	0.00	0.00	15,010.83	243,855.18
Operación 2.3	Base 1 y Tecn	252,489	0.00	0.00	0.00	11,236.36	0.00	0.00	4,166.70	561.84	2,150.47	0.00	0.00	18,115.37	234,373.47
Operación 2.4	Base 1 y tranq	253,179	0.00	0.00	0.00	0.00	3,469.58	0.00	4,480.61	687.22	2,150.47	0.00	719.56	11,507.45	241,671.19
Operación 3	Base 1, nueva	275,958	0.00	0.00	0.00	12,369.45	0.00	0.00	6,903.33	1,030.36	2,150.47	0.00	0.00	22,453.61	253,504.05
Operación 4.1	Op 3 y soltand	288,535	0.00	8,312.05	0.00	12,369.45	0.00	0.00	12,410.53	1,362.19	2,150.47	0.00	0.00	36,604.69	251,929.94
Operación 5.1	Op3 y canales	285,733	0.00	0.00	19,236.36	12,369.45	0.00	0.00	5,287.56	687.22	654.42	0.00	0.00	38,235.01	247,498.17
Operación 6.1	Op3 y tecnific	289,295	0.00	50.27	0.00	24,478.55	0.00	0.00	4,610.70	490.20	2,150.47	0.00	0.00	31,780.18	257,514.64
Operación 7.1	Op3 y tranque	275,772	0.00	0.00	0.00	12,369.45	3,535.04	0.00	6,903.33	1,030.36	2,150.47	0.00	733.14	26,721.79	249,050.34
Operación 7.2	Op3 y combina	291,646	0.00	3,468.44	18,945.45	24,225.45	0.00	0.00	6,973.09	483.60	677.04	0.00	0.00	54,773.08	236,872.71

Cuadro 9-7
Resultado de la evaluación económica cuenca Limarí

Escenario	Ingresos	Egresos (costos del agua)												VAN Flujo Ingr.Egr.
		Inversiones en Obras					Operación y Mantenimiento						Total Egresos	
		Embalse	Pozos nuevos	Entubamientos	Tecnificación	Tranq noct	Embalses	Pozos	Pozos	Canales	Entubamientos	Tranques		
	mill $												mill $	mill $
Limarí 024	208,723.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8,093.01	1,049.22	4,612.59	0.00	0.00	13,754.81	194,968.39
Op 2	243,637.15	0.00	0.00	0.00	42,128.00	0.00	0.00	4,963.27	534.51	4,612.59	0.00	0.00	52,238.37	191,398.78
Op 3	221,272.22	0.00	0.00	33,283.64	0.00	0.00	0.00	6,836.40	787.15	2,311.67	0.00	0.00	43,218.85	178,053.37
Op 5	247,426.14	0.00	4,039.33	33,283.64	42,128.00	0.00	0.00	7,912.95	825.80	2,311.67	0.00	0.00	90,501.39	156,924.76

Cuadro 9-8
Resultado de la evaluación económica cuenca Choapa

Escenario	Ingresos	Egresos												Flujo Ingresos y Egresos
		Inversiones en Obras					Operación y Mantención						Total Egresos	
	Agrícola	Embalse	Pozos nuevos	Entubamientos	Tecnificación	tranques nocturnos	Embalses	Pozos	Pozos	Canales	Entubamientos	Tranques		
	mill $						0,1% inv.	Operación	Mantención	Mantención	Mantención	2% inv.	mill $	mill $
Choapa 41	25,790.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,520.47	169.68	2,378.41	0.00	0.00	4,068.56	21721.59
Base 1 sobre Choapa 41	26,908.18	22,950.95	0.00	0.00	0.00	0.00	245.10	1,545.07	197.97	2,378.41	0.00	0.00	27,317.50	-409.32
Base 1 30% Corr	26,908.18	6,077.59	0.00	0.00	0.00	0.00	245.10	1,545.07	197.97	2,378.41	0.00	0.00	10,444.14	16464.05
Base 1	26,908.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,545.07	197.97	2,378.41	0.00	0.00	4,121.45	22786.74
Operación 1	29,279.05	0.00	13,660.12	0.00	0.00	0.00	0.00	16,300.08	1,086.92	2,378.41	0.00	0.00	33,425.53	-4146.48
Operación 2	27,629.34	0.00	0.00	34,404.55	9,597.98	0.00	0.00	1,205.70	131.98	0.00	0.00	0.00	45,340.20	-17710.86
Operación 3	29,304.51	0.00	14,040.72	34,404.55	9,597.98	0.00	0.00	12,052.31	681.57	0.00	0.00	0.00	70,777.11	-41472.61
Operación 4	43,117.76	0.00	0.00	9,818.18	8,259.49	0.00	0.00	1,923.09	131.98	0.00	0.00	0.00	20,132.74	22985.02
Operación 5	46,352.14	0.00	15,446.40	34,404.55	13,765.82	0.00	0.00	19,097.04	782.43	0.00	0.00	0.00	83,496.24	-37144.11
Operación 6	27,109.92	0.00	0.00	0.00	0.00	4,563.23	0.00	1,381.04	169.68	2,378.41	0.00	946.38	9,438.75	17671.17
Operación 7	27,037.33	15,359.48	0.00	0.00	0.00	0.00	164.03	1,492.28	169.68	2,378.41	0.00	0.00	19,563.89	7473.45
Op 7 30% Bato	27,037.33	4,607.85	0.00	0.00	0.00	0.00	49.21	1,492.28	169.68	2,378.41	0.00	0.00	8,697.43	18339.90
Operación 8	79,776.82	0.00	13,539.84	34,404.55	17,454.55	0.00	0.00	16,620.59	616.52	0.00	0.00	0.00	82,636.04	-2859.22

9.4 ANÁLISIS DE RENTABILIDAD DE ESCENARIOS

9.4.1 Cuenca Elqui

En el Cuadro 9-9 se aprecia que hay algunas acciones rentables, y otras que en primera instancia no lo son. Todos los primeros escenarios de gestión son rentables, pues no implican costos adicionales a los actuales, pero generan mayor satisfacción de la demanda, y con ello, mayores ingresos.

Los escenarios en que no hay aumento de áreas regadas, sino que solamente aumento de satisfacción de las demandas, en base a determinadas obras, en general no son rentables, con la única excepción del entubamiento de canales en las zonas 2 (Estero Derecho), y 9, 10, 11 y 12 bajo el embalse Puclaro. Las obras evaluadas en estos escenarios, fueron: el bombeo intensivo donde es requerido, el entubamiento de canales, la tecnificación de riego y los tranques nocturnos. Salvo para el entubamiento, la sola mayor satisfacción de las demandas no permite obtener los ingresos que justifiquen obras señaladas.

No obstante lo anterior, al aumentar los ingresos a través de una mayor productividad (que es lo más lógico que ocurra si se hacen inversiones de mejoramiento de eficiencia), estos escenarios se rentabilizan.

En el caso del escenario 2, en que se incluye la posibilidad de usar pozos en todos los acuíferos sin restricción (salvo zonas 10, y 11), el déficit de rentabilidad se suple con un aumento de 1% de los ingresos en todo el valle, o, alternativamente, logrando que todas las áreas cultivadas actuales tengan un margen neto anual equivalente superior a $ 360.000/ha/año. También se rentabiliza este escenario si se subsidian las obras en alrededor de un 25%.

En el caso del escenario 2.2, de entubamiento de todos los canales en los sectores Estero Derecho y bajo el embalse Puclaro, el aumento de la demanda suplida basta para justificar las obras.

En el caso del escenario 2.3, de tecnificación del riego en los sectores 2, 9 y 12, esta medida se justifica si los ingresos de todo el valle aumentan en un 1%, o alternativamente se evitan todos los cultivos con márgenes netos menores que $ 360.000/ha anuales. Alternativamente, la tecnificación se rentabiliza para el privado si recibe un subsidio del 80% a la inversión.

En el caso del escenario 2.4, de incorporación de tranques nocturnos, es necesario considerar que esta medida no surte gran efecto físico (más agua) en relación con un escenario de 20 horas de riego. Por esta razón, este escenario de por sí tampoco resulta rentable. Para rentabilizar este escenario, es necesario lograr un aumento de los ingresos de un 1% en todo el valle, o, alternativamente, lograr que todos los cultivos tengan un margen neto mayor que $ 360.000 / ha /año. Alternativamente se necesitaría un subsidio del 37% a la inversión.

Todos los escenarios basados en la Operación 3, de área ampliada a 32.156 ha, que alcanzan a regar con alta seguridad unas 31.000 ha, resultan rentables directamente, salvo los escenarios que combinan todas las medidas. Cada medida por separado genera fuertes efectos de aumento de la demanda suplida. La sola ampliación, sin ninguna medida adicional, es lo más rentable. Sin embargo, cualquiera de las acciones adicionales que se tome, aunque sea por separado, para aumentar la demanda suplida de las zonas de riego, queda justificada por los ingresos que esas nuevas áreas generan, más los ingresos que generan las mejoras que experimentan las áreas antiguas.

Finalmente, se analizaron dos escenarios en que se combinan medidas de entubamiento, tecnificación de zonas 2 y bajo el embalse salvo zonas 10 y 11, y liberación de todos los acuíferos salvo 10 y 11, con limitaciones de 100 l/s y 120 l/s en los acuíferos 2 y 3, respectivamente. Ambos escenarios difieren solamente en el hecho de que los canales se entuban desde el mismo embalse Puclaro, en el escenario 7.4.

Esta situación, aunque en primera instancia no resulta rentable, puede rentabilizarse aumentando los ingresos de todo el valle en un 3%, o bien evitando cultivos de márgenes netos anuales menores que $360.000 / ha, o bien con un subsidio de 15% a la inversión.

Los escenarios 7.2 y 7.4, que incluyen entubamiento de canales, además pueden rentabilizarse optimizando las longitudes entubadas.

Se observa que no es difícil rentabilizar cualquiera de las medidas de eficiencia que se puedan tomar en este valle, debido a la elevada generación de ingresos, la que se ve favorecida, además, por la rotación de cultivos, que permite generar ingresos dos veces al año.

Los escenarios corridos no consideran el uso de las aguas servidas tratadas, las cuales pueden aportar un promedio de 570 l/s adicionales, que a la misma tasa promedio, completamente optimizada, de 0,26 l/s/ha, significaría un área adicional de unas 1800 a 2000 ha, como máximo. En caso de no optimizarse, podría alcanzarse a regar unas 1000 ha con ese caudal.

En el Cuadro 9-9 se presentan la forma de viabilizar cada uno de los escenarios inicialmente no entables. Se muestra el aumento porcentual de los ingresos, el margen neto mínimo de los cultivos y el % de subsidio, todas ellas medidas alternativas para rentabilizar las inversiones.

En el Cuadro 9-9, las diferencias de VAN de todos los escenarios toman como referencia el escenario Base 1. Este, a su vez, se compara con la situación actual. En negrilla se señalan los escenarios inicialmente no rentables.

Cuadro 9-9
Medidas que rentabilizan cada escenario

Escenario	Ingreso en millones $ Sept 2006	VAN mill $	Delta VAN mill $	% de aumento de ingreso requerido	MNAE mínimo $/ha/año	% de subsidio a obras
Cailib 0_S1	25.739	234,541	0.00			
Base 1	26.857	243,190	8649			
Base 1.1	26.753	242,457	7916			
Operación 1	26.857	245,885	2695			
Operación 2	**27.612**	**241,343**	**-1846**	**1%**	**364.000**	**25%**
Operación 2.2	27.665	243,855	664			
Operación 2.3	**26.759**	**234,373**	**-8816**	**1%**	**364.000**	**80%**
Operación 2.4	**26.857**	**241,671**	**-1519**	**1%**	**364.000**	**37%**
Operación 3	30.093	253,504	10313			
Operación 4.1	31.880	251,929	8739			
Operación 5.1	31.482	247,498	4307			
Operación 6.1	31.988	257,514	14324			
Operación 7.1	30.067	249,050	5859			
Operación 7.2	**32.321**	**236,872**	**-6317**	**3%**	**364.000**	**15%**
Operación 7.4	**32.321**	**236,997**	**-6193**	**3%**	**364.000**	**15%**

9.4.2 Cuenca del Limarí

El Cuadro 9-10 muestra el análisis de rentabilidad que se ha realizado para los escenarios técnicamente viables corridos para la cuenca del Limarí.

Se observa que el escenario de tecnificación completa (con excepción de las zonas 35 y 36), es prácticamente viable, puesto que las grandes mejoras en demanda suplida que produce, permiten solventar la inversión y cambio en el sistema de costos. La solución se hace completamente rentable si las áreas actualmente destinadas a praderas se destinan por lo menos al cultivo de trigo, o si todas las áreas aumentan su ingreso en un 2%, o si las obras reciben un subsidio inicial del 12%. Se aprecia que este escenario es factible de lograr.

El aumento adicional de demanda suplida sobre el escenario base, logrado por entubamientos, es relativamente pequeño, y se justifica bajo las siguientes consideraciones: aumentar el ingreso de toda el área en un 11%, evitar los cultivos con un MNAE menor que $ 350.000/ha, o con un subsidio de 50% a las obras. Equivalentemente, podría optimizarse el entubamiento, unificando canales de modo de reducir las longitudes entubadas al menos a la mitad.

Finalmente, el escenario 5 en que se aplican todas las medidas en forma conjunta, tampoco es rentable en forma directa. Se rentabiliza en forma más difícil que los demás escenarios, y no aporta mucho más que el escenario de tecnificación. Este escenario se viabiliza aumentando los ingresos en un 18% en toda la cuenca, o cultivando especies con MNAE superior a $545.000 / ha, o bien con un subsidio de 50% a todas las obras incluidas.

Lo anterior muestra que la realidad local será la que decidirá sobre cada una de las mejoras que finalmente se implementen, sin embargo, se observa que las simples mejoras de demanda suplida, que permiten regar más terrenos con alta seguridad, rentabilizan acciones como la tecnificación. a nivel global.

En el Cuadro 9-10 adjunto se presentan la forma de viabilizar cada uno de los escenarios.

Cuadro 9-10
Medidas que rentabilizan cada escenario

Escenario	Ingreso en millones $ Sept. 2006	VAN mill $	Delta VAN mill $	% aumento ingresos	MNAE mínimo $/ha/año	% de sibsidio a las obras
Calib 024	22.141,2	194,968.39	0.00			
Operación 2	27.101,5	191,398.78	-3,569	2	110.000	12
Operación 3	23.924,0	178,053.37	-16,915	11	350.000	50
Operación 5	27.639,7	156,924.76	-38,043	19	545.000	50

9.4.3 Cuenca del Choapa

El Cuadro 9-14 permite apreciar que en las condiciones actuales de la cuenca del Choapa, en que se riegan mayoritariamente cultivos muy poco rentables como praderas, ninguna de las acciones analizadas resulta rentable en base al solo aumento de la demanda suplida. El aumento de la demanda suplida, si bien es sustancial, no basta para rentabilizar las acciones probadas en los escenarios.

Así, se ve por ejemplo, que el embalse Corrales es totalmente no rentable si sólo se busca aumentar la seguridad de riego de los mismos cultivos actuales, sin aumentar su productividad. Rentabilizar el embalse Corrales en su totalidad, significaría aumentar productividad de todo el valle en un 82%, o la del valle del Choapa en un 120% (más que duplicarla), lo que es equivalente a mantener sólo cultivos que renten sobre 390.000 $/ha/año en todo el valle. En las condiciones actuales de cultivos, el aumento de la demanda suplida alcanza a cubrir el 3% del costo del embalse, es decir, se requeriría subsidiar la obra en un 97%. . .

Analizando la situación del embalse Corrales fuertemente subsidiado (asumiendo que el fisco subsidiara el 70%), esto exige un aumento mucho menor de productividad por parte de los agricultores particulares, en promedio sólo un 21% sobre el ingreso actual, o de 30% sólo en el valle del Choapa. Este aumento se logra manteniendo cultivos que renten sobre 130.000 $/ha/año.

Si se toma ahora como situación base la actual, incluido el embalse Corrales y las mejoras de demanda suplida que él genera, mejorar la situación con acciones adicionales resulta no rentable para todas las acciones tomadas, si sólo se mejora la seguridad de riego de las áreas cubiertas, sin cambiar la productividad o el tipo de cultivo. La única excepción es el escenario de operación 4, en que hay un aumento de áreas de 20%, con tecnificación completa y entubamiento de canales en toda la cuenca. El aumento de área de un 20% con cultivos muy rentables justifica estas inversiones para toda la cuenca.

Si se liberan todos los acuíferos (operación 1), el sistema hídrico permite cubrir todas las demandas al 100%, incluso en sequías. El costo de los nuevos pozos y del bombeo que se requiere para cubrir las demandas, eso sí, exige que los cultivos cambien y generen ingresos casi del doble que los actuales, lo que se logra si todos los cultivos rinden al menos 390.000 $/ha/año. Un subsidio del 100% del costo de las obras no alcanza a rentabilizar este escenario. Esto muestra que cuando el agricultor construye pozos, está pensando en cultivos que rentan a lo menos $ 390.000/ha, es decir, frutales.

Para inversiones como tecnificación del riego y entubamiento de canales (operación 2), sin aumento de áreas, siempre es conveniente pensar en unificar canales para su entubamiento. Así, las inversiones de tecnificación y entubamiento para suplir mejor el área actual, para resultar rentables, requieren que se entube canales unificados al menos de a dos, y que se reconviertan los cultivos hacia cultivos que renten al menos $ 390.000/ha/año, con, lo que los ingresos logran casi duplicarse. Alternativamente, este tipo de obra requiere un subsidio de 92%.

El escenario Operación 3, donde se combinan las acciones de los escenarios de Operación 1 y 2, resulta altamente no rentable bajo un esquema de cultivos como los actuales. Este escenario se rentabiliza si se procede a una fuerte conversión de cultivos, que logre casi triplicar los ingresos del valle. Esto se logra regando sólo cultivos que renten sobre 550.000 $/ha/año, es decir, frutales, paltos o vid de mesa. Un subsidio del 100% de las obras no alcanza a rentabilizar este escenario, si no se procede a la conversión de cultivos.

El escenario de Operación 4 muestra que otra forma de hacer más rentable el valle, además de la conversión de cultivos, es aumentar el área cultivada. En este escenario de aumento de área, las nuevas áreas rentabilizan las acciones necesarias para suplir la demanda (tecnificación y entubamientos).

En el escenario Operación 5, en que además de tecnificar y entubar canales, se usan pozos para suplir las demandas no cubiertas en sequías, la rentabilización de esta configuración se logra duplicando los ingresos. Esto requiere que se rieguen cultivos que rentan sobre 500.000 $/ha/año. Este escenario se rentabiliza con un subsidio de 94% a las obras, es decir, requiere necesariamente de un cambio de cultivos.

El escenario de Operación 6 incluye la acción de tranques de noche. El aumento de demanda suplida por ellos generado tampoco logra rentabilizar la inversión con la configuración de cultivos actuales. Sin embargo, con un aumento de 20% de los ingresos, se logra justificar económicamente esta acción. Ello equivale a convertir los cultivos menos rentables como praderas y pastizales, a cultivos al menos como cereales, con un MNAE mínimo de 130.000 $/ha/año. Alternativamente, el subsidio requerido sería de 93%.

El escenario de Operación 7 muestra que el embalse El Bato tampoco se justifica si sólo se va a regar con mayor seguridad los mismos cultivos actuales, sin mejorar su productividad económica. La inversión completa del embalse El Bato se rentabiliza aumentando el ingreso del valle completo en un 57%, lo que es equivalente a regar cultivos con un MNAE sobre 270.000 $/ha/año, en todo el valle. Sin embargo, como este embalse sólo beneficia las áreas del Illapel, que son pequeñas, se rentabiliza aumentando los ingresos en un 350%, es decir, más que cuadruplicándolos. Dada la configuración actual de los cultivos del Illapel, la conversión de cultivos es necesaria, y también posible.

Al considerar que el embalse El Bato podría ser subsidiado en un 70%, la exigencia de aumento de productividad para los agricultores se reduce, pues la inversión del 30% del embalse se rentabiliza aumentando el ingreso agrícola en un 18% en todo el valle, o en 110% dentro del valle del Illapel, lo que es equivalente a regar cultivos con MNAE superior a 120.000 $/ha/año en todo el valle.

Se observa que este valle no puede tener inversiones de mejoramiento de eficiencia si no logra una conversión de cultivos que las justifiquen. De hecho, con la llegada de los embalses debe promoverse un cambio de mentalidad que logre esta conversión. Una buena forma es apoyar la llegada de nuevos inversionistas, por ejemplo con derechos de agua subterráneos, aunque sean

condicionados, para que puedan dar un ejemplo de rentabilidad en la cuenca, y vencer las limitantes que históricamente han mantenido este valle sin progreso.

En el Cuadro 9-11 adjunto se presentan la forma de rentabilizar las medidas de cada escenario.

Cuadro 9-11
Medidas que rentabilizan cada escenario

.

Escenario	Ingreso en millones $ Sept. 2006	VAN mill $	Delta VAN mill $	% aumento ingresos	% subsidio de obras
Cailib 41	2.735,8	21721.59	0.00		
Base 1	2.854,4	-409.32	-22,130.91	82	97%
Base 1 30% Corr	2.854,4	16464.05	-5,257.54	21	
Base 1 *	2.854,4	22786.74	0.00		
Operación 1	3.105,9	-4146.48	-26,933.22	92	> 100%
Operación 2	2.930,9	-17710.86	-40,497.60	90 **	92%
Operación 3	3.108,6	-41472.61	-64,259.35	163 **	> 100%
Operación 4	**4.573,9**	**22985.02**	**198.29**	**30 ****	**rentable**
Operación 5	4.917,0	-37144.11	-59,930.84	91 **	94%
Operación 6	2.875,8	17671.17	-5,115.57	21	93%
Operación 7	2.868,1	7473.45	-15,313.29	57	99%
Operación 7 30% Bato	2.868.1	18339.90	-4,446.83	18	
Operación 8	10.365,4	-2859.22	-25,645.96	35	40%

Nota: * el escenario se repite porque de ahí en adelante sirve de base de análisis. Para los primeros escenarios, la base de análisis es el escenario calib 41.

** son escenarios que se rentabilizan unificando además los canales al entubar, de modo de reducir la longitud de canal a la mitad.

CAPÍTULO 10 CONCLUSIONES

El trabajo de reconocimiento en terreno, en conjunto con las entrevistas, el análisis, recopilación y generación de la gran cantidad de antecedentes que se presentan en el SIG, la modelación y sus resultados, y finalmente el análisis económico, han permitido desprender un diagnóstico sobre la eficiencia física, la eficiencia económica, la eficiencia administrativa y la eficiencia ambiental de uso del agua, a los niveles de análisis local, medio y global.

El trabajo de terreno en las tres cuencas, Elqui, Limarí y Choapa, realizado a nivel local, medio y global, fue amplio, intensivo y exitoso, y contribuyó en la forma esperada a conocer los aspectos de las cuencas que permitieron modelarlas e interpretar los resultados de la modelación.

La representación de toda la información recabada y generada en un SIG, ha permitido lograr no sólo una adecuada visualización de las materias tratadas, sino que también un ordenamiento y sistematización de gran cantidad de información cuantitativa, dentro de las bases de datos de todas las coberturas. Estas bases de datos resumen y presentan en forma actualizada toda la información que ha sido posible recoger y generar a lo largo del estudio.

El modelo de simulación es una poderosa herramienta que permite conocer los flujos que se producen entre los diversos elementos que configuran hídricamente un sistema:

- subcuencas, cauces, acuíferos y embalses, que configuran la oferta hídrica, y
- sistemas de riego, agua potable, industria, minería y ecología, que configuran la demanda.

De hecho, todos los flujos de interrelación entre estos elementos, no es posible conocerlos sin una modelación, pues hay una gran cantidad de complejidades que no pueden ser asidas a través de un cálculo manual.

Un modelo de simulación de balance, como lo es el MAGIC usado en el presente trabajo, es fácil de entender conceptualmente, pero requirió de una gran cantidad de trabajo y adecuaciones para su uso en las cuencas bajo estudio. El trabajo de calibración, y finalmente, la obtención y presentación de los resultados, requiere conocer muy a fondo no sólo la cuenca y sus características, sino que también la manera en que el MAGIC opera, y el significado de cada una de las variables que se obtienen como resultados.

No obstante el hecho de que desarrollar un modelo para una determinada cuenca no es fácil, el trabajo con un modelo es la única forma de evaluar la importancia y el efecto de cambios que se quieran instituir en el sistema. En especial, si interesa saber qué tipo de efectos globales pueden generar las acciones locales, para hacer proposiciones que tengan sentido, es necesario contar con una herramienta de esta índole. Por otro lado, también es necesario tener siempre

presente que todos los modelos tienen grandes limitaciones, las cuales hay que conocer muy bien para no caer en una sobreinterpretación de los resultados.

El diagnóstico hídrico cuantitativo que se ha obtenido para las cuencas del Elqui, Limarí y Choapa, se basa en gran medida en los resultados que entregó el modelo de simulación.

Igualmente, las proposiciones y recomendaciones de este estudio, se obtuvieron de la operación de los modelos en diversos escenarios, configurados en función de la realidad de cada una de las cuencas.

El análisis económico estuvo basado en la obtención de información tanto de terreno como de publicaciones oficiales de precios y costos. Para la actividad agrícola, se recurrió a fichas técnicas de cultivos elaboradas por instituciones de la región, para cultivos de la región. Para la actividad minera, se recurrió a un informe de experto, que entregó los datos básicos de precios, costos y parámetros de uso del agua en esta actividad. La metodología de obtención de indicadores fue desarrollada especialmente para el presente estudio. Entre los indicadores económicos, el más representativo es el de $/m3, y permite comparar actividades, cultivos y cuencas, y así obtener una visión económica de lo que ocurre en la región.

Desde el punto de vista del uso del agua no es visible una estructura productiva totalmente característica de la IVª Región, que es la comunidad agrícola. Estas comunidades, que datan de la época de la colonia, y tienen su origen en las tierras que donaba un comendador a las familias que trabajaban en la región, todavía tienen una clara expresión hoy día, a través de roles únicos, terrenos de administración conjunta y asignación interna de terrenos para uso individual. Las comunidades abarcan todas las serranías de la región, y usan dicho terreno para surtirse de leña y para el pastoreo de las cabras y otro ganado, con lo que han contribuido a la desertificación. Son ambientalmente ineficientes desde el punto de vista de uso del suelo, pero este tema está fuera de los alcances del presente estudio.

En este trabajo, las comunidades agrícolas están representadas a través de las demandas de agua que tienen sus cultivos agrícolas establecidos con riego.

10.1 CONCLUSIONES CUENCA ELQUI

10.1.1 Diagnóstico de la eficiencia física en el uso del agua

Las conclusiones que aquí se presentan, se desprenden de los Capítulos 5.5 a 5.9 de diagnóstico, y 8, de operación del modelo de simulación. En resumen, las conclusiones del diagnóstico son las siguientes:

1. La cuenca presenta actualmente un total de 23440 ha cultivadas, 25% de ellas sobre el embalse Puclaro y 75% bajo él. Bajo el embalse La Laguna se encuentra el 91% del área total cultivada, de modo que sólo la subcuenca del Claro no está regulada.

2. Bajo el embalse Puclaro, el cultivo predominante son las chacras y hortalizas, con un 62% del área total de la cuenca. Sobre el Puclaro, el cultivo dominante es la vid, con un 21% del área total cultivada. Los cultivos de bajo valor, como pastizales y praderas, ya casi no existen en esta cuenca.

3. Con un 31% de su superficie tecnificada en lo referente al riego, esta cuenca se percibe como altamente tecnificada, en especial los sectores que se ubican sobre el embalse Puclaro. En esta zona sobre el Puclaro, con excepción del valle del Cochiguaz, los sectores definidos presentan porcentajes de tecnificación entre 58% y 81% de toda el área cultivable. Bajo el embalse Puclaro, el porcentaje de tecnificación de los diferentes sectores se encuentra entre 5 y 27%.

4. Se aprecia una distorsión en la asignación de derechos superficiales (acciones) en relación con las superficies regadas en la cuenca. La dotación de acciones por hectárea es muy diversa, con valores sobre 5,5 acc/ha en el río Claro, sobre 2,5 en el río Turbio, 2,0 en el río Elqui sobre el Puclaro, y entre 0,8 y 1 bajo el Puclaro. La zona de Pan de Azúcar tiene una dotación de 0,48 acc/ha.

5. En las zonas de la Junta de Vigilancia del Elqui, la dotación de m3 por acción que la JVRE ha entregado, en promedio, a través de los desmarques en el período 1999-2004, es bastante uniforme para toda la cuenca, variando entre 11900 y 15300 m3/acción/año, aumentando hacia aguas abajo, con las excepciones extremas de la zona 10, de Santa Gracia, con 7600 m3/acción/año, y la zona 12 de la costa, que se alimenta de recuperaciones, que recibe 18700 m3/acción/año. En el Estero Derecho, se observa que la dotación media es de 9100 m3/acción/año.

6. No obstante la dotación relativamente uniforme de agua por acción, la dispar dotación de acciones por hectárea que se menciona antes hace que finalmente los volúmenes de agua que reciben al año las diferentes zonas de riego sea muy diversa, variando entre casi 80000 m3/ha/año en el río Claro, hasta 5000 y 5600 m3/ha/año en los sectores de Santa Gracia y Pan de Azúcar. Al respecto hay que considerar que las dotaciones de los sectores más bajos incluyen los retornos de los excedentes de las zonas más altas.

7. La cuenca total del Elqui tiene una demanda agrícola promedio neta a nivel raíz, de 4,8 m3/s, equivalentes a 151 millones de m3. El aporte de la lluvia para este efecto es despreciable. La demanda agrícola consuntiva se reparte de la siguiente forma: 5% en el estero Derecho, 27% en el sistema Elqui sobre Puclaro y 68% bajo el embalse Puclaro (incluido Pan de Azúcar). El 75% del área cultivada (es el área bajo Puclaro) consume sólo el 68% del agua (103 millones de m3), lo que indica que los cultivos bajo Puclaro tienen menor consumo de agua. Esto es razonable, considerando que el cultivo principal de esta zona son las hortalizas.

8. Las ineficiencias propias tanto del riego mismo, como de la conducción, significan que la demanda promedio en bocatoma sea de 8 m3/s, los cuales se reparten de la siguiente forma: 4% en el estero Derecho, 20% en el sistema Elqui sobre Puclaro, y 76% en el sistema Elqui bajo Puclaro (incluido Pan de Azúcar).

9. Las entregas en bocatoma, de acuerdo con los desmarques, han sido mucho mayores, de 12,2 m3/s en promedio, repartidas en un 7% en el Estero Derecho, 42% en el sistema Elqui sobre Puclaro, 51% bajo Puclaro. Las entregas muy grandes en las zonas altas del sistema Elqui, en relación con la demanda, muestra la distorsión entre acciones y áreas cultivadas que hay en ese sector.

10. No obstante lo anterior, las aguas no consumidas en los sectores altos vuelven al sistema, para ser entregadas nuevamente.

11. En la situación actual analizada, hay un reúso estimado en 1,6 veces de todas las aguas que se captan en las bocatomas. Considerando, además, que el modelo calibró con un factor de reúso interno de derrames y percolaciones, de 0,5 (lo que significa que cada gota de agua se utiliza 1,5 veces), finalmente se obtiene un factor de reúso de 2,4. El reúso a nivel global se reduce al hacer un uso más eficiente del agua en el nivel local, ya sea a través de un mayor bombeo, tecnificación del riego o entubamiento de canales.

12. En la situación actual, del caudal de 12,2 m3/s captados en bocatoma, llegan unos 9,3 m3/s a las zonas de riego. Sin embargo, este valor es un promedio anual, que incluye los meses de invierno, en que hay entregas superiores a las requeridas, por lo cual enmascara lo que ocurre en fechas críticas en que no se ha suplido la demanda. El déficit hídrico en fechas críticas induce un bombeo de aguas subterráneas en las zonas donde hay pozos con derechos constituidos.

13. El bombeo promedio que se produce es de 1,4 m3/s, el que se concentra en las zonas bajo Puclaro y se intensifica en los años más secos.

14. Las zonas de riego reciben en promedio 10,7 m3/s, solicitando sólo 8 m3/s. No obstante ello, la demanda suplida no llega a 100%, sino que sólo a un promedio de 90%, en el escenario de gestión actual. A nivel raíz, de los 4,82 m3/s demandados, se cubren sólo 4,32 m3/s.

15. Hay una gran cantidad de retornos superficiales (4,2 m3/s) y percolaciones subterráneas desde las zonas de riego (2,1 m3/s). Los derrames hacia otras zonas de riego son de menor importancia (0,5 m3/s).

16. La eficiencia de aplicación del riego se comporta en forma inversa a la eficiencia de uso de los derechos en bocatoma. En los sectores altos, la eficiencia de aplicación del riego es muy alta, entre 64% y 73% en promedio, con excepción del Cochiguaz, pero la eficiencia global de uso de los derechos es muy baja, entre 12 y 30%, lo que se produce porque este sector está sobredotado de derechos en relación con sus áreas actualmente cultivadas. Por el contrario, en los sectores bajos, la eficiencia de aplicación del riego es menor, entre 46% y 56% en promedio, pero la eficiencia de uso de las aguas captadas es mayor que en la zona alta, entre 26% y 40%, lo que muestra que se usan más intensivamente los derechos.

17. Las zonas sobre el embalse Puclaro, con la única excepción del Estero Derecho, tienen una altísima seguridad de riego, que de hecho no baja de 100% para los años que se analizaron. Para escenarios de extrema ampliación de áreas (hasta 4 veces en el río Claro), el 100% del área se riega con un 80% de seguridad. El estero Derecho presenta, en el período actual, una seguridad de 60%, que se reduce a 50% si se analiza una serie más larga de años que incluya sequías.

18. Las zonas con mayor déficit de abastecimiento son las zonas de Santa Gracia y Costa. Como el déficit es fundamentalmente de verano, estas zonas aprovechan el agua disponible el resto del año, lo que está posibilitado por el clima.

19. Las zonas sobre el embalse Puclaro cuentan con una cantidad más que suficiente de derechos superficiales, a través de sus acciones, para los terrenos que se cultivan, y también para eventuales ampliaciones muy grandes, de modo que no se justifica el uso de aguas subterráneas como medio permanente de riego, salvo para el caso del Estero Derecho. Esta opción se analizó en el Capítulo 8, llegando a la conclusión de que este acuífero es muy pequeño como para sustentar una explotación permanente. El acuífero no aporta mucho al ser explotado en forma permanente. Sólo en sequías podría paliar situaciones extremas.

20. Las zonas bajo el embalse Puclaro tienen seguridades de riego más bajas, especialmente en verano, y específicamente los sectores de Quebrada Santa Gracia y Costa. El primero de ellos no tiene ninguna posibilidad de obtener más recursos subterráneos, porque el acuífero está agotado en la situación actual. El sector Costa, por el contrario, podría obtener algo más de derechos subterráneos permanentes, pero también se vería beneficiado con el entubamiento y la tecnificación de sus sistemas de riego, según se desprende de la operación de escenarios en el Capítulo 8. Ambos sectores se dedican a cultivos fuera de temporada de verano, o rotación de año completo, aprovechando las entregas de invierno que posibilitan las entregas por desmarques.

21. El sector de Elqui Bajo se riega prácticamente completo con alta seguridad en la situación actual. En este sector, hay muchos derechos subterráneos (2,2 m3/s), que en su mayor parte están destinados al agua potable (1,5 m3/s). El riego no hace un uso intensivo de sus derechos, pues tiene acceso a aguas superficiales, aunque el acuífero tiene una capacidad que permitiría una mayor explotación. En especial este acuífero, que es grande, además debiera estar disponible como fuente alternativa para eventos de sequía. En estos eventos, o cuando no dé abasto el embalse Puclaro, se debiera usar más intensivamente este recurso.

22. Los acuíferos del río Elqui y afluentes totalizan un volumen (conservador) de unos 265 millones de m3, y el de Pan de Azúcar, de unos 188 millones de m3. El Elqui bajo tiene unos 141 millones de m3, el sector costa, unos 60 millones de m3 y Elqui Alto, unos 48 millones de m3. Todos los restantes acuíferos son muy pequeños (menores o del orden de 1 millón de m3).

23. Hay 8,35 m3/s constituidos como derechos para la explotación de los acuíferos, de los cuales 5,39 m3/s corresponden al uso de riego. De éstos, hay gran cantidad de derechos en los sectores de Vicuña (1,4 m3/s), donde se usan muy poco, y Pan de Azúcar (2,81 m3/s), los que se usan mucho. Las zonas 9 (Elqui bajo) y 12 (Costa) tienen pocos derechos para riego, aguas subterráneas disponibles y requerimientos sobre ellas, de modo que podrían explotarse más.

24. Considerando que la recarga disponible para los acuíferos en las condiciones actuales es de unos 9,1 m3/s, en toda la cuenca, y que hay constituidos derechos por 8,35 m3/s, aparentemente se estaría cerca del límite físico para la explotación de los acuíferos. En efecto, el límite físico para la constitución de derechos está alcanzado en los acuíferos 10 (Santa Gracia) y 11 (Pan de Azúcar), porque la explotación media se acerca mucho a la recarga media. Legalmente, también se está cerca del límite en el acuífero 7 (Vicuña, donde hay derechos totales por 1,5 m3/s y recargas por 1,9 m3/s), pero en este acuífero estos derechos casi no se usan, sólo en sequía, de modo que la explotación media está lejos de la recarga media. Esto mismo ocurre también en los demás acuíferos del valle.

25. Por otro lado, es necesario considerar que la recarga disponible para los acuíferos varía significativamente en función de las medidas de aumento de eficiencia, como tecnificación, entubamiento, u otras, que se tomen en los sectores de riego. En un escenario extremo, de gran consumo y alta eficiencia de uso, como el escenario 7.2, la recarga total disponible para los acuíferos se reduce a 6,3 m3/s. Este hecho implica que se reducen las recargas medias, y con ello, el techo seguro para la constitución de nuevos derechos.

26. Los acuíferos de los ríos Turbio, Claro, Cochiguaz y Derecho, aunque están subutilizados, no representan un aporte significativo, por ser muy pequeños. Debieran mantenerse para suplir las demandas del agua potable rural, y los pocos derechos

subterráneos que sobre ellos existen, según se desprende del análisis de escenarios del Capítulo 8.

27. El sector de Pan de Azúcar tiene suficientes derechos subterráneos, y también un acuífero suficientemente grande, como para suplir las falencias que deja el agua superficial, en la situación actual. Sin embargo, en este sector no se pueden constituir nuevos derechos subterráneos, pues la recarga media se asemeja a la explotación media. En este sector, si la recarga disminuye por tecnificación, se podría ver afectado el equilibrio del acuífero.

28. No hay derechos consuntivos sin uso en la cuenca.

29. El agua potable tiene derechos por 2549 l/s en la cuenca, de los cuales 2254 l/s corresponden a La Serena-Coquimbo. Esta urbe utiliza en promedio el 33% de sus derechos. Tiene un porcentaje de pérdidas de 24%, lo cual es bastante eficiente dentro del concierto nacional, y considerando que para la empresa modelo se aceptan pérdidas de hasta 20%. Los derechos no usados son fundamentalmente subterráneos, los cuales se usan sólo en verano o en épocas de sequías.

30. El agua potable rural no tiene derechos regularizados, en la gran mayoría de los casos. Se estima un uso consuntivo de 39 l/s para el total de la cuenca, y bombeos efectivos que llegan a 141 l/s. Se obtiene, para las diferentes localidades, dotaciones entre 33 y 153 l/hab/día, con valores típicos entre 40 y 80 l/hab/día.

31. El principal uso de agua en minería de esta cuenca lo constituía la minera El Indio, con 70 l/s de consumo efectivo, estimado en función de su producción. Actualmente, las mineras activas todas en conjunto no consumirían más de 31 l/s. Sin embargo, hay derechos subterráneos de 512 l/s asociables a la minería.

.

32. El uso industrial y agroindustrial tiene derechos por 246 l/s en la cuenca. A falta de mayores antecedentes, se estima un uso consuntivo de un 25% de esa cantidad, es decir, unos 62 l/s.

33. El total de agua utilizada consuntivamente en la cuenca, en promedio de años normales, es de 5,4 m3/s. Sin embargo, con las pérdidas no evitadas, de 4,33 m3/s adicionales, el caudal total “usado” suma 9,73 m3/s.

34. Al respecto de estas cifras se pueden decir dos cosas: En primer lugar, el caudal total usado de 9,73 m3/s tiene una probabilidad de excedencia de 61%, mientras que el caudal efectivamente consumido tiene una probabilidad de 91%. Esta brecha es una señal de ineficiencia en el uso del agua, pues se requiere un caudal muy grande para usar un caudal muy chico. Esta ineficiencia puede atribuirse a que el período de diagnóstico ha sido un período más bien húmedo, en que ha sobrado el agua. Por otro lado, también se puede atribuir a que recién se está incorporando el embalse Puclaro, y posiblemente no se ha hecho aún un uso óptimo de este almacenamiento.

35. En el mismo sentido, se observa que de un caudal de 9,73 m3/s sólo se utilizan 5,40 m3/s, lo que constituye un 56%, o dicho de otra forma, de los 9,73 m3/s disponibles, se pierde finalmente un 44%, lo que también denota una cierta ineficiencia de uso. El agua perdida esta constituida fundamentalmente por los caudales superficiales del río Elqui al mar, de 1,9 m3/s en promedio, las entregas al mar desde el acuífero costero y la zona de riego costera, de 1,3 m3/s, y las entregas al mar de las aguas servidas de La Serena y Coquimbo, de 0,57 m3/s. Caudales adicionales menores se pierden al mar desde el estero Culebrón y desde los embalses por evaporación.

36. Lo señalado muestra que en esta cuenca hay tres fuentes de mayor eficiencia global de uso del agua. Por un lado, los caudales que el río Elqui pierde hacia el mar se evitarán, al menos en parte, cuando el embalse Puclaro se opere según demanda. Por otro lado, se podría utilizar más intensivamente el acuífero costa, y por último, también se podría reutilizar las aguas servidas tratadas.

37. Los caudales que se captan para poder consumir 5,4 m3/s y perder otros 4, 33 m3/s, son de 15,5 m3/s. Comparando los caudales efectivamente consumidos en todos los usos, con los caudales captados para todos los usos, se obtiene un factor de eficiencia global promedio, de 35%, y eficiencia global en sequía, de 59%.

38. Comparando los caudales consumidos y perdidos con los caudales captados, se puede obtener un factor de reúso global del agua, el cual resulta de 1,6 como promedio de años normales, y de 1,3 para un año de sequía. Esto muestra que en sequía se reduce el reúso y aumenta la eficiencia de uso. El factor de reúso total, que incluye el reúso interno de derrames y percolaciones asumido para las zonas de riego, llega a 2,4 en el escenario actual.

10.1.2 Diagnóstico de la eficiencia económica en el uso del agua

El análisis de la eficiencia económica se efectuó a través de algunos indicadores señalados en el Capítulo 3. Para la cuenca del Elqui, y sus diferentes usos del agua, se puede decir lo siguiente respecto de la eficiencia económica de uso del agua:

1. Sin duda el uso económicamente más eficiente del agua lo constituye la minería. En este uso, el indicador de rendimiento medido en $/m3, entrega valores entre 1 y 100 US$ por m3 (entre 500 y 50.000 $/m3), para un rango de variación del precio internacional del cobre entre 1 y 3 US$/libra.

2. En la agricultura, los rendimientos varían entre 30 y 900 $/m3, dependiendo del cultivo. Los cultivos como praderas y pastizales, que usan mucha agua y generan bajos retornos, han ido siendo abandonados en aras de cultivos de mayor valor, como los frutales de exportación y especialmente las hortalizas. En el valle del Elqui, especialmente en las zonas bajo el Puclaro, se pueden asentar estos cultivos durante

gran parte del año. Al tener un ciclo vegetativo corto, no requieren mucha agua y, si cuentan con buenos precios, generan rendimientos elevados del indicador $/m3.

3. En cuanto a la eficiencia económica, se obtienen los siguientes valores de los indicadores económicos definidos para la agricultura, a nivel de mesozonas y cuenca completa:

Cuadro 10-1
Indicadores de eficiencia económica cuenca Elqui

Indicadores de eficiencia económica	MZ 1	MZ 2	MZ 3	MZ 4	Global
Eficiencia económica observada promedio ($/m3)	71.2	120.6	262.8	279.7	256.6
% de eficiencia en relación al potencial observado	37%	12%	24%	27%	21
Desviación estándar de la eficiencia ($/m3)	80.8	93.2	196.7	208.1	201.5
Coef. de variación de la eficiencia observada %	113	77	75	74	79

4. Se observa que el indicador $/m3 a nivel de cuenca llega a 257, con una variabilidad alta, de 79% expresado como coeficiente de variación, y como 201 $/m3, expresado en las unidades del indicador. Esto significa que aún hay espacio para crecer económicamente dentro de la cuenca.

5. El incremento de productividad entre el censo de 1997 y la actualidad (2005) se estima en un 58%. Este aumento muestra que ha habido una gran reconversión de la agricultura en la cuenca del Elqui, especialmente bajo el Puclaro (Elqui bajo y Pan de Azúcar), pasando de praderas ganaderas a hortalizas. Esta reconversión puede explicarse, en parte, por la aparición del embalse Puclaro, y en parte, también, por la preparación de los agricultores, que saben aprovechar las condiciones que se les ofrecen.

6. En el uso de agua potable, la eficiencia de uso está asegurada a través del sistema legal que rige esta actividad, y que está basado en prestadores empresariales, tarifas a costo real, subsidio focalizado y un estado fiscalizador más que prestador del servicio.

10.1.3 Diagnóstico de la eficiencia administrativa en el uso del agua

La eficiencia en la administración del agua tiene relación directa con los temas de organización para la distribución y explotación del recurso, con la asignación y reasignación de derechos, y con la constitución y gestión de los derechos por parte de la administración Al respecto de la distribución, la DOH ha desarrollado un programa de fortalecimiento de organizaciones de usuarios, el que, sin embargo, no ha estado disponible como documento escrito. Lo que se

expone a continuación, se ha obtenido en base a lo consultado y observado en terreno, y también en base a los antecedentes recolectados.

1. La infraestructura de distribución a nivel de río está concebida para una repartición proporcional de los derechos de agua, por lo tanto no permite en forma fácil que haya traslados de derechos entre canales. No obstante ello, ha habido traslados y las adecuaciones correspondientes, cuando ha habido compradores realmente interesados en adquirir y trasladar los derechos. El tipo de mercado que se desarrolla entre canales, es el que responde a las reales necesidades de contar formalmente con derechos, como es el caso de las empresas de agua potable, que han comprado y trasladado derechos, y de las empresas agrícolas de envergadura, que requieren certezas jurídicas para instalarse en la región.

2. A nivel local, como la infraestructura dentro de un mismo canal es más flexible, pues está constituida fundamentalmente por compuertas, permite un intercambio bastante fluido. De hecho, el intercambio dentro de un mismo canal se usa de manera informal desde tiempos antiguos, en que las aguas se prestaban o arrendaban por tiempos determinados, ajustando los turnos.

3. También se observa que hay un intercambio de carácter local, entre usuarios de aguas subterráneas y de aguas superficiales, especialmente en el valle de Pan de Azúcar.

4. El mercado del agua no se ha manifestado con fuerza en los últimos años, porque los usuarios han contado con suficiente agua. El mercado es una institución que permite el intercambio fluido y la reasignación a usos más valiosos cuando hay escasez, pero que no tiene actividad en la abundancia.

5. El mercado del agua tampoco se activa en forma fácil si no se fomenta. La Junta de Vigilancia del Elqui está comenzando a tomar acciones en el sentido de fomentar el intercambio, inicialmente a través de un proyecto de entubación de canal y entrega medida aguas abajo del embalse Puclaro. También la organización del canal Bellavista tiene el proyecto de cambiar marcos partidores por compuertas, con el mismo fin. Muchas de las demás organizaciones, ancladas en una infraestructura proporcional por un lado, por otro lado en la costumbre ancestral de adaptar la demanda a la oferta, y finalmente, entrampadas en la escasez de recursos económicos como para adaptar y mejorar su infraestructura en el sentido de facilitar los intercambios, siguen un esquema de intercambios predominantemente locales.

6. Como resultado de todo lo anterior, el estudio sobre el mercado del agua de Oscar Cristi (2000) muestra que el mercado ha operado en esta cuenca con una profundidad de 17% en promedio, lo que significa que un 17% del total de las acciones ha sido transado entre 1981 y 2000.

7. El estado de la infraestructura, es decir, canales y bocatomas internas de canales, es bastante malo, según se desprende de las entrevistas, y genera elevadas pérdidas. Sin

embargo, el estado de la infraestructura de toma en el río está suficientemente buena como para asegurar que las tomas sean adecuadas y no haya reclamos al respecto. Las pérdidas dentro de los canales, que son muy grandes en la actualidad, no preocupan demasiado a los usuarios, debido a que ha habido bastante agua en los últimos años. Puntualmente ha habido arreglos, revestimientos y construcción de canoas para cruzar quebradas, pero en general el estado de la infraestructura se cataloga como bastante deficiente.

8. En cuanto a las organizaciones de usuarios, tanto las juntas de vigilancia como las comunidades de agua y sus respectivas directivas tienen una aceptación en general buena, especialmente las que se manejan en forma más técnica. El gran problema para las directivas de comunidades es la baja participación de los usuarios, lo que, por otro lado, significa que no tienen grandes problemas ni reclamos. Un problema recurrente es la morosidad de los agricultores pequeños, que no pagan sus cuotas, no aparecen a las asambleas para que no se las cobren, y con ello obligan a los más grandes a pagarles sus cuotas para mantener en funcionamiento el canal.

9. Un problema administrativo para la reasignación de los derechos, lo constituye la obligación de que estos derechos deben estar inscritos en el Catastro Público de Aguas o CPA de la DGA. Esta obligación de inscripción exige un perfeccionamiento de los derechos, que para los usuarios no es fácil de materializar, y tampoco ha ido a la par con la agilidad de la DGA para materializarla, ambos hechos que han frenado la posibilidad de realizar traslados formales de derechos en la cuenca.

10. En cuanto a la claridad de las inscripciones de derechos, todos los derechos superficiales consuntivos están registrados en las Juntas de Vigilancia, y son operados por ella desde hace décadas, de modo que no hay posibilidad de doble inscripción, ni de falta de regularización. La asignación de derechos está muy clara, las Juntas de Vigilancia tienen tuición completa sobre los derechos superficiales consuntivos permanentes que se distribuyen en la cuenca. Fuera de la tuición de la Junta de Vigilancia se encuentran solamente los derechos no consuntivos, de los cuales también hay algunos, según aparecen en los listados de derechos de la DGA, y los derechos eventuales al final de la cuenca, que se han alimentado de las recuperaciones. .

11. Diferente es el caso para las aguas subterráneas. De acuerdo con la percepción de la DGA, los pozos registrados con derechos inscritos son un subconjunto de los pozos existentes en la cuenca. Sin embargo, de acuerdo con lo observado en la cuenca y con lo informado por la JVRE, dentro de la cuenca del Elqui, el agua subterránea se usa mucho menos, y también en el Pan de Azúcar, porque hay suficiente agua superficial desde que existe el embalse Puclaro. Los pozos se conciben como un seguro frente a eventos de sequía.

10.1.4 Diagnóstico de la eficiencia ambiental en el uso del agua

A continuación se presenta el resultado del análisis del diagnóstico de la eficiencia ambiental de los diversos usuarios de agua en la cuenca.

a) Calidad natural y minería

Gran minería

La calidad de aguas en la cuenca tiene algunas características muy particulares. La primera se refiere a los ríos afluentes principales desde el sur, que son los ríos Laguna, Incahuaz y Derecho o Claro. Estos ríos, y especialmente los ríos Incahuaz y Claro, son de naturaleza muy pura, en forma natural no traen elementos en concentraciones elevadas (solamente exceden leve y ocasionalmente la norma de agua potable en cuanto al hierro y molibdeno). Son los que diluyen en forma importante los contenidos de los afluentes del norte.

Los afluentes del norte son fundamentalmente los ríos Malo, Toro y Vacas Heladas, los cuales todos confluyen hacia el río Toro. Como en el curso alto del río Malo se encuentra la minera El Indio, este hecho hace que se superponga la contaminación natural con la minera, e incluso, hace que la contaminación natural sea exacerbada por la presencia de la faena minera. Adicionalmente, en la actualidad la minera está fuera de operaciones, lo que, sin embargo, no significa que toda contaminación antropogénica por su causa haya cesado.

Al respecto se puede resumir que, en forma natural, las aguas de esta subcuenca tienen valores de pH bajo las normas, aunque la faena minera exacerba fuertemente este comportamiento, con valores especialmente bajos aguas abajo de ella. El cierre no ha modificado esta situación.

Los altos valores de conductividad se deben fundamentalmente a sulfatos y calcios, aparentemente característicos de la zona. El cierre no ha modificado esta situación. El ion sulfato proviene en forma natural de la cuenca del río Toro, pero en forma exacerbada es aportado desde la mina El Indio.

Otros parámetros de valores muy altos en la zona, son el hierro, el aluminio y el magnesio, los cuales sin embargo también son exacerbados por las faenas de la mina, y no se han visto mitigados por el cierre. Por el contrario, el magnesio está subiendo desde esa fecha.

Un parámetro de presencia natural y no aumentado por las faenas mineras es el boro.

Un parámetro de presencia natural pero fuertemente exacerbado por la faena minera es el arsénico. Sin embargo, este parámetro ha sido favorablemente influido por el cierre, lográndose que la concentración de aporte del río Toro al sistema se redujera de 3,5 a 1,0 mg/l, con lo cual los aportes sucesivos de los ríos Incahuaz y Claro permitan al río Elqui acercarse a los valores de las normas. La reducción a valores de norma para este parámetro se logró con el embalse Puclaro.

Otro parámetro de presencia natural, pero aumentado en la faena, y luego reducido por las instalaciones de cierre, es el potasio, pero como este parámetro no está regulado, no es de mayor interés.

Los parámetros que no tienen presencia natural en la cuenca, y que estuvieron presentes con valores por sobre las normas, aguas abajo de las faenas mineras del Indio, son el cianuro, molibdeno, mercurio y zinc. Sin embargo, las faenas de cierre lograron, en gran medida, volver estos parámetros al rango que permiten las normas.

La capacidad de dilución de los ríos Laguna, Incahuaz y Claro ha permitido abatir los excesos de todos los contaminantes provenientes desde la cuenca del río Toro, de modo que en la estación Elqui en Algarrobal casi todos los parámetros están en norma, salvo el arsénico, cobre, hierro, manganeso y molibdeno. Con la única excepción del molibdeno, todos los demás son finalmente abatidos en el embalse Puclaro, el cual cumple un importante rol de retención.

Mediana y pequeña minería

Entre los temas resentidos por los usuarios en relación con el medio ambiente, están las bajadas de sedimentos que se producen con ocasión de las grandes lluvias desde los tranques de relaves de la quebrada de Marquesa. Estos tranques son erosionados por las lluvias, sin que nada se haya hecho al respecto. Las mineras, actuales o antiguas, dejan sus tranques de relaves sin protección y expuestas a la destrucción por parte de los sismos y de las lluvias, bajando grandes cantidades de sedimentos que embancan los canales y se depositan en los suelos agrícolas, con alguna frecuencia. Desde Andacollo no se ha observado este fenómeno, probablemente porque las instalaciones mineras y tranques de relaves de Andacollo se encuentran justamente en la parte más alta de la subcuenca aportante, de modo que no hay concentración de caudales que generen arrastre, como ocurre en Marquesa. En Marquesa, los tranques de relaves están a media altura de la subcuenca, y justamente dentro del cauce de la quebrada, de modo que están muy expuestos a la erosión por caudales que ya vienen concentrados.

Todo lo señalado muestra que en la cuenca del Elqui, en forma natural hay algunos aportes de elementos no deseables, pero que la minería constituye un usuario no eficiente, porque exacerba los aportes de elementos nocivos y agrega algunos que en la naturaleza no se encuentran. La minería también ha dejado los llamados pasivos ambientales, que siguen produciendo problemas en el tiempo, aunque estén en desuso, lo que tampoco es eficiente.

¿Intrusión salina?

El acuífero costero, como también las aguas del estero Culebrón, que reflejan lo que ocurre en el acuífero de Pan de Azúcar, son aguas de alta conductividad, con elevadas concentraciones de cloruros y sulfatos, y contenidos no despreciables de calcio y magnesio, probablemente debido a la influencia de depósitos marinos. No se detecta un efecto de tipo intrusión salina, el cual estaría señalizado por un aumento sostenido de la concentración de cloruros, o de la conductividad, que no se observan. Estas aguas, además, presentan bajas concentraciones de

boro, hierro y aluminio, todos bajo las normas, y están prácticamente libres de arsénico, cadmio, cianuro, litio, mercurio, zinc y cobalto. En la estación Elqui en La Serena, la conductividad fluctúa en forma inversa al caudal del río, y no llega más allá de unos 2500 umhos, lo que permite deducir que no habría intrusión de aguas de mar, o muy poca. Es más probable que tales conductividades se deban a las características del terreno atravesado.

b) Agricultura

La agricultura se considera un contaminador potencial de fertilizantes (nitratos), y de pesticidas / herbicidas. También hay una incipiente inquietud respecto de la potencial generación de erosión que pueden significar las expansiones del terreno agrícola hacia las laderas de los cerros, con la eliminación de la vegetación natural y el establecimiento de camellones.

Con respecto a los nitratos, en ninguna parte de la cuenca se registra valores que pudieran ser catalogados como contaminantes. No hay estudios específicos al respecto, porque en realidad los valores existentes no muestran exceso de nitratos ni en las aguas superficiales ni subterráneas. Tampoco es posible identificar tendencias de alza en el comportamiento de los nitratos.

En cuanto a los plaguicidas, hay poca información. Hay algunas investigaciones que hizo la Universidad de La Serena, alrededor del año 2000, en que se demostró que si bien los plaguicidas Diquat y Paraquat no estaban presentes en concentraciones sobre los límites de detección, sí lo estaban los carbamatos, en las aguas del río Elqui y los tres canales muestreados, entre marzo y noviembre, y en concentraciones que superan las normas de la CEE. Este punto merece un mayor análisis.

De este modo, el usuario agricultor se puede decir que es eficiente como usuario en relación con los fertilizantes, pero no se puede asegurar nada acerca de los pesticidas y herbicidas, los cuales debieran ser estudiados en la medida que lo exijan las normas internas y los países importadores de los productos de la región.

En cuanto al favorecimiento de la erosión, algunos agricultores, aunque hasta ahora una gran minoría, advierten que la expansión de los cultivos hacia las laderas de los cerros, donde se rompe la capa natural para instalar camellones, acarreará graves problemas de erosión y arrastre con las grandes lluvias que vienen cada 8 o 10 años. Este tema no es abordado por ninguna institución, ni preocupa a nadie, solamente a los agricultores cuyos canales van al pie de tales paños de cultivos, y que se ven embancados con facilidad por los arrastres desde tales laderas. El tema se plantea dentro de un contexto en que habrá que pensar en una política de explotación agrícola de laderas.

c) Aguas servidas

En la cuenca del Elqui, todos los efluentes de aguas servidas de las localidades urbanas, son tratados.

La SISS es la encargada de fiscalizar las emisiones de las plantas de tratamiento de las empresas sanitarias del país. De acuerdo con la información recabada en la SISS, los efluentes de las plantas de tratamiento cumplen a cabalidad con las normas de emisión vigentes en la actualidad. Las plantas de aireación, concebidas para cumplir con las normas NCh 1333, para todo uso, así lo han hecho hasta el momento. Tienen plazo hasta Septiembre de 2006 para adaptarse a la nueva normativa del DS 90, que es más rigurosa. Las plantas más nuevas, de lodos activados, están diseñadas para cumplir con el DS 90, desde sus inicios.

Gracias a las estrictas normativas vigentes y a la forma en que se manejan los objetivos ambientales dentro de la ley sanitaria, a través del cumplimiento obligado de los planes de desarrollo por parte de las empresas, el usuario de agua potable se ha transformado en un usuario ambientalmente eficiente.

d) Usuarios no tradicionales

Entre éstos han cobrado cierta relevancia dos:

Contaminación de canales en localidades rurales
Un problema que se señala en forma recurrente es la contaminación de los canales con residuos domésticos a su paso por las localidades rurales. Aparentemente es una práctica usual, como en todo el país, aprovechar los canales para deshacerse de desechos y basuras cuando pasan cerca de casas. El problema se aprecia en Las Rojas, y en los canales El Romero, La Calera y Bellavista. Este es un tema que debe ser abordado a través de la educación, y en forma intensiva y pronta, pues no sólo afectan la calidad de las aguas de riego para el uso interno, sino que además invalidan las buenas prácticas que aplican los agricultores enfocados a la exportación. En el contexto de los tratados de libre mercado, este tema es inadmisible y debe ser corregido.

Basurales
Un tema ambiental no menor lo constituyen los basurales. Aunque no tienen su primer y más importante impacto sobre las aguas, sino que sobre la calidad de vida de la población aledaña, y sobre la calidad paísajística del entorno, también pueden generar un problema de contaminación del agua, especialmente del agua subterránea. Por ejemplo, el basural frente a las Compañías, puede afectar el agua subterránea del sector de Vegas Norte, generando una contaminación que no se pesquisa en las mediciones de calidad de la DGA ni del Servicio de Salud. Además, se mencionan basurales en las quebradas, que deben ser eliminados por su aporte directo de basuras al río con ocasión de las lluvias.

Como resultado de este análisis, se observa que hay algunos usuarios y algunas actividades ambientalmente no eficientes en la cuenca, que podrían ser erradicadas. Por otro lado, se observa que hay ciertas características de calidad natural, a la que hay que adaptarse, pero que afortunadamente han sido mitigadas a través de la existencia del embalse Puclaro.

10.1.5 Conclusiones de la operación de escenarios

A partir de los diferentes escenarios de operación probados para la cuenca del Elqui en el Capítulo 8, y de la viabilidad física observada para las diferentes medidas consideradas, se pueden obtener las siguientes conclusiones y recomendaciones:

1. Se puede apreciar que es conveniente permitir una movilidad de los derechos, de modo que las entregas se ajusten a las demandas. Esto permite aumentar la seguridad de riego de las zonas actualmente menos suplidas, sin desmejorar las zonas bien suplidas.

2. En este sentido, sin embargo, la ineficiencia de las entregas que se hacen aguas arriba del embalse Puclaro, no tienen consecuencias hacia aguas abajo, porque toda el agua no utilizada vuelve al sistema, ya sea ríos o acuíferos. La cantidad de agua recibida en el embalse es casi indiferente al hecho de haber sido más eficiente en las entregas aguas arriba de él. Debido a esto, no es necesario recomendar un aumento de eficiencia local en las entregas aguas arriba del embalse Puclaro.

3. La situación cambia si aguas arriba del embalse se hace un uso más intensivo de los derechos, aumentando las áreas de cultivo. Debido a que los derechos de las zonas inferiores están constituidos en parte sobre las ineficiencias de los sectores superiores, un aumento neto en el uso de agua aguas arriba del Puclaro redundará en una merma hacia las zonas más bajas.

4. Sin embargo, a lo anterior se opone el hecho de que hay aguas que se pierden al mar, y que para una mayor eficiencia global de uso del agua, es necesario recomendar un uso más intensivo de todos los derechos. En este contexto, si las zonas más bajas se ven desmejoradas (hecho mitigado por el embalse Puclaro), hay que mejorarlas a través del uso del agua subterránea, lo que a su vez, permite retener nuevas aguas en los acuíferos.

5. En resumen, la recomendación mayor para esta cuenca se realiza en el sentido de que es necesario aumentar la eficiencia global de uso, y por lo tanto la eficiencia local de uso, evitando la salida de aguas al mar.

6. Por otro lado, se recomienda evitar las entregas que no cubren directamente una demanda, especialmente aguas abajo del embalse Puclaro. Por ejemplo, entregas de invierno, que no cubren demandas, significan pérdidas directas al mar.

7. Para las áreas que se encuentran actualmente bajo riego en los sectores 1 (Turbio) y 7 (Vicuña), el embalse La Laguna requiere un almacenamiento de 20 millones de m3 para suplir adecuadamente una sequía como la del 96/97. Al aumentar las áreas en los escenarios 3 a 7, se requieren los 40 millones de m3 para paliar esa sequía.

8. Para las áreas que se encuentran bajo el embalse Puclaro, el agua requerida desde el almacenamiento del embalse varía fuertemente en función del tipo de año, y de la

demanda de los sectores. Para la demanda actual, de 6,0 m3/s para riego y aprox. 1 m3/s para agua potable, en un año normal afluyen al embalse en promedio 6,65 m3/s, lo que significa que el embalse entrega la diferencia, de 0,35 m3/s u 11 millones de m3 en el año. En un año seco, en cambio, en que afluyen sólo 2,86 m3/s, la cobertura de la misma demanda exige del embalse un volumen de 130 millones de m3.

9. Observando ahora un escenario con mayor eficiencia de uso, pero también una mayor demanda, como el escenario extremo 7.2, se observa una demanda de 6,1 m3/s para riego, y 1 m3/s para agua potable. En años normales, con un caudal afluente promedio de 4,2 m3/s, el embalse entregará la diferencia, o sea, 91 millones de m3, mientras que en un año seco, con un afluente de 1,26 m3/s, se le solicitarán 183 millones de m3.

10. Es importante tener claro que cuando el embalse falle, hay almacenamientos subterráneos que deben estar operativos (con derechos y pozos) para ser usados. Los acuíferos grandes, como especialmente el del Elqui Bajo, Pan de Azúcar y Costa, debieran tener derechos suficientes como para ser explotados en sequías.

11. Técnicas de aumento de eficiencia como entubamientos y tecnificación del riego, son eficientes para sacar mayor partido a las aguas cuando las hay. Sin embargo, son ineficientes en las sequías, cuando el agua superficial es muy escasa. En tales períodos, es eficiente hacer uso de los acuíferos.

12. El sector 7 de Vicuña tiene un acuífero no despreciable. Hay una cantidad significativa de derechos, que, sin embargo, en la situación actual no se usan, salvo en sequías. En este acuífero, que tiene derechos subterráneos por 1,511 m3/s, y una recarga potencial media de casi 2,0 m3/s, se estima que se puede entregar derechos al menos por unos 0,6 m3/s adicionales, para permitir la explotación peak requerida en sequías. De todas formas, la explotación media (0,060 m3/s) estaría muy por debajo de la recarga media en este acuífero. En un escenario extremo de tecnificación, en que las recargas se reducen a 1,73 m3/s, el acuífero prácticamente no se usa, sólo en sequía, y la explotación de un caudal más grande en una o dos temporadas es bien tolerado.

13. No es posible aumentar la explotación de los acuíferos 10 (Santa Gracia) y 11 (Pan de Azúcar), porque las recargas disponibles son recibidas en su totalidad por los acuíferos, y, a su vez, usadas prácticamente en su totalidad para el riego.

14. Por la misma razón, no resulta recomendable la tecnificación intensiva de ambos sectores. Al tecnificar, se reducen los aportes al acuífero, pero no se reducen suficientemente las demandas, de modo que estos acuíferos, como no tienen un cauce que los alimente, abandonan su condición de equilibrio y se deprimen sin retorno.

15. En estas zonas, queda ejemplificado el efecto alternativo del uso más intensivo de acuíferos versus la tecnificación del riego, cuando no hay otras fuentes de recarga significativas. En las zonas 10 y 11, al hacerse un uso intensivo de los derechos subterráneos, no se puede tecnificar intensivamente.

16. La explotación del acuífero del Estero Derecho, que es muy pequeño, no permite solucionar el problema de la falta de agua que se produce en gran parte de los años en este sector, sin embargo bajarían los niveles del acuífero en casi todas las temporadas de riego, durante gran parte de la temporada, lo que puede perjudicar las tomas de los canales. Para este acuífero pequeño, no se recomienda su explotación permanente, sino que se sugiere dejarlo como un seguro frente a las sequías.

17. Para los demás acuíferos pequeños de esta cuenca, que son los del Cochiguaz y río Claro, aunque la recomendación es la misma, ella no resulta operativa, porque no hay demanda por aguas subterráneas en estos sectores. Estos sectores están bien dotados de derechos superficiales, especialmente los sectores del río Claro. Esta condición, que se da en la situación actual, se mantiene para escenarios en que se amplían sustancialmente las áreas.

18. Sin embargo, también se recomienda dejar estos acuíferos operativos para las sequías. Los acuíferos, aunque pequeños, pueden aliviar las necesidades más imperiosas en épocas de sequía.

19. Aguas arriba del Puclaro, no se justifica ninguna medida de aumento de eficiencia en la situación actual. El grado de tecnificación es alto desde ya, y la dotación de acciones es excesiva. Las demandas actuales se suplen prácticamente en un 100%. Por estas razones, el incentivo local aquí no es mejorar el grado de cobertura de las demandas actuales, sino que expandir las áreas de riego, creando más demandas para las aguas que tienen disponibles.

20. Para los sectores bajo el Puclaro, todas las medidas de aumento de eficiencia son efectivas en el sentido de que mejoran la cobertura de las demandas actuales.

21. Especialmente eficiente para reducir las pérdidas en el sector bajo Puclaro, resulta la tecnificación del riego, exceptuando las zonas 10 y 11 antes señaladas. Esta medida es la que más agua permite ahorrar, según se aprecia en los escenarios 2.3 y 6.1.

22. La expansión de áreas de 37% (a 32.000 ha), repartida en la cuenca como se asume en el Cuadro 8-1, sin aumentar derechos subterráneos, ni aplicar ninguna otra medida de aumento de eficiencia, es parcialmente posible, porque en estas condiciones se alcanza a regar con adecuada seguridad solamente unas 30.000 ha. Por otro lado, esta acción compromete fuertemente los derechos subterráneos existentes en las zonas 10 y 11.

23. Igualmente, la aplicación de medidas como tecnificación de los sectores bajos viables de tecnificar, o los entubamientos, por separado, no permiten aumentar el área regada a más de unas 30.000 ha.

24. Todas las medidas en conjunto, sin embargo, evitando tecnificar las zonas 10 y 11, y dando más derechos subterráneos sólo en los sectores 9 (Elqui Bajo) y 12 (Costa), permiten aumentar las áreas de riego a unas 32.000 ha, exigiendo más fuertemente el

sistema subterráneo, especialmente en sequías. Las aguas servidas, si fueran tratadas, permitirían regar otras 1800 a 2000 ha adicionales.

25. Exigir el sistema hídrico no es malo, en el sentido de que las medidas permiten retener más agua en el sistema. En el Cuadro 8-7 se observa claramente que la misma agua disponible se puede distribuir de otra forma entre usos consuntivos y pérdidas, a través de la aplicación de las medidas de aumento de eficiencia señaladas.

26. Para los acuíferos 9 y 12, resulta viable entregar derechos de riego adicionales a los actuales, de más de 2 m3/s en el acuífero 9 (Elqui Bajo) y de 0,8 m3/s en el acuífero 12 (Costa). Estos derechos se usarían normalmente sólo en un escenario con expansión, sin gran tecnificación (escenario 4.1). En un escenario con expansión, y con alta tecnificación, estos derechos no se usarían intensivamente, salvo en las sequías. Aunque el compromiso del acuífero es fuerte en sequías, se recupera rápidamente al término de ellas, porque es un acuífero ligado al cauce.

27. La medida anterior sugerida para el sector 9 es posible porque hay una gran cantidad de derechos subterráneos que están en manos de la empresa sanitaria (1,55 m3/s), que constituyen su seguro ante eventos importantes de sequía. De estos derechos, normalmente se usan hasta 0,4 m3/s, en verano. El resto de estos derechos normalmente no se usa ni se transa, quedando fuera de servicio. Permitir el uso de esta agua significaría dar cabida en el acuífero para que se retuvieran aguas nuevas.

28. Para el sector 12, costa, la situación es algo diferente. Como es un acuífero terminal, están disponibles para uso no sólo las recargas, sino que también los aportes subterráneos desde aguas arriba, que si no se usan, se pierden al mar.

29. En las condiciones actuales de riego, el acuífero del sector 12 tiene una recarga total de 0,8 + 0,39 = 1,2 m3/s, y derechos totales (riego y otros) por 0,47 m3/s, de los cuales se usan en promedio sólo 0,12 m3/s. Sin embargo, al soltar el acuífero y permitir su explotación más intensiva para suplir mejor las demandas de la zona 12, se observa que el acuífero tolera bien una explotación promedio de 0,350 m3/s, con peaks de 1,3 m3/s en verano, y 2,5 m3/s en sequía.

30. Al probar un escenario de alta tecnificación (escenario 7.2), en que las recargas al acuífero 12 disminuyen a 0,256 + 0,374 = 0,63 m3/s, el acuífero se somete y tolera una explotación 0,110 m3/s como promedio, con peaks anuales de 0,2 m3/s y peaks de sequía de 1,3 m3/s. En este caso, hay un compromiso mayor del acuífero durante la sequía, y una recuperación más lenta debido a la tecnificación del riego.

31. En consecuencia, para el acuífero 12 se sugiere un aumento de los derechos que permita esta explotación en el escenario de alta tecnificación, lo que significa otorgar derechos hasta 1,3 m3/s, que podrán tolerar un factor de uso de hasta 0,63 / 1,3 = 0,48..

32. El efecto de los tranques nocturnos queda prácticamente igualado por un riego de 20 horas diarias.

10.1.6 Conclusiones de la evaluación económica

Todo el sector de aguas arriba del embalse Puclaro tiene una elevada relación acción/ha, lo que hace que en las actuales condiciones de áreas cultivadas, haya una gran cantidad de agua que, a pesar de que se entrega, vuelve al sistema para ser reutilizada. Sin embargo, esta condición hace posible una expansión del área cultivada sobre el embalse, expansión que se prueba parcialmente en el escenario de operación 7.2.

Aguas abajo del embalse Puclaro, la situación es diferente, porque las aguas entregadas en exceso, se pierden al mar.

Debido a esta realidad, resulta muy conveniente hacer una gestión adecuada de entregas de caudales, en especial aguas abajo del embalse. Esta gestión implica hacer entregas según demandas, y no según acciones. Los logros en cuanto a aumento de la demanda suplida no son menores.

Se ha asumido que esta medida de gestión tiene un costo despreciable, pues podría ser aplicada por el mismo personal altamente profesionalizado con que cuenta la Junta de Vigilancia del Elqui hoy en día, basada en acuerdos entre las partes. Las medidas de gestión son de bajo costo, y tienen buenos resultados, por ello son rentables.

Otras medidas más onerosas, como habilitar más pozos, entubar canales o tecnificar el riego, no necesariamente resultan rentables, si sólo permiten aumentar la seguridad de riego de las zonas actualmente regadas. No obstante lo anterior, al aumentar los ingresos a través de una mayor productividad (que es lo más lógico que ocurra si se hacen inversiones de mejoramiento de eficiencia), estos escenarios se rentabilizan.

La situación de cada una de las medidas aprobadas con el modelo de simulación, desde el punto de vista de su evaluación económica, es la siguiente:

1. Todos los escenarios de gestión son rentables, pues no implican costos adicionales a los actuales, pero generan mayor satisfacción de la demanda, y con ello, mayores ingresos.

2. Los escenarios en que no hay aumento de áreas regadas, sino que solamente aumento de satisfacción de las demandas, en base a determinadas obras, en general no son rentables, con la única excepción del entubamiento de canales en las zonas 2 (Estero Derecho), y 9, 10, 11 y 12 bajo el embalse Puclaro. Las obras evaluadas en estos escenarios, fueron: el bombeo intensivo donde es requerido, el entubamiento de canales, la tecnificación de riego y los tranques nocturnos. Salvo para el entubamiento, la sola mayor satisfacción de las demandas no permite obtener los ingresos que justifiquen obras señaladas. No obstante lo anterior, al aumentar los ingresos a través de

una mayor productividad (que es lo más lógico que ocurra si se hacen inversiones de mejoramiento de eficiencia), estos escenarios se rentabilizan.

3. En el caso del escenario 2, en que se incluye la posibilidad de usar pozos en todos los acuíferos sin restricción (salvo zonas 10, y 11), el déficit de rentabilidad se suple con un aumento de 1% de los ingresos en todo el valle, o, alternativamente, logrando que todas las áreas cultivadas actuales tengan un margen neto anual equivalente superior a $ 360.000/ha/año. También se rentabiliza este escenario si se subsidian las obras en alrededor de un 25%.

4. En el caso del escenario 2.2, de entubamiento de todos los canales en los sectores Estero Derecho y bajo el embalse Puclaro, el aumento de la demanda suplida basta para justificar las obras.

5. En el caso del escenario 2.3, de tecnificación del riego en los sectores 2, 9 y 12, esta medida se justifica si los ingresos de todo el valle aumentan en un 1%, o alternativamente se evitan todos los cultivos con márgenes netos menores que $ 360.000/ha anuales. Alternativamente, la tecnificación se rentabiliza para el privado si recibe un subsidio del 80% a la inversión.

6. En el caso del escenario 2.4, de incorporación de tranques nocturnos, es necesario considerar que esta medida no surte gran efecto físico (más agua) en relación con un escenario de 20 horas de riego. Por esta razón, este escenario de por sí tampoco resulta rentable. Para rentabilizar este escenario, es necesario lograr un aumento de los ingresos de un 1% en todo el valle, o, alternativamente, lograr que todos los cultivos tengan un margen neto mayor que $ 360.000 / ha /año. Alternativamente se necesitaría un subsidio del 37% a la inversión.

7. Todos los escenarios basados en la Operación 3, de área ampliada a 32.156 ha, que alcanzan a regar con alta seguridad unas 31.000 ha, resultan rentables directamente, salvo los escenarios que combinan todas las medidas. Cada medida por separado genera fuertes efectos de aumento de la demanda suplida. La sola ampliación tecnificada, sin ninguna medida adicional en las áreas antiguas, es lo más rentable. Sin embargo, cualquiera de las acciones adicionales que se tome, por separado, para aumentar la demanda suplida de las zonas de riego, queda justificada por los ingresos que esas nuevas áreas generan, más los ingresos que generan las mejoras de satisfacción de demanda que experimentan las áreas antiguas.

8. Finalmente, se analizaron dos escenarios en que se combinan medidas de entubamiento, tecnificación de zonas 2 y bajo el embalse salvo zonas 10 y 11, y liberación de todos los acuíferos salvo 10 y 11, con limitaciones de 100 l/s y 120 l/s en los acuíferos 2 y 3, respectivamente. Ambos escenarios difieren solamente en el hecho de que los canales se entuban desde el mismo embalse Puclaro, en el escenario 7.4. Esta situación, aunque en primera instancia no resulta rentable, puede rentabilizarse aumentando los ingresos

de todo el valle en un 3%, o bien evitando cultivos de márgenes netos anuales menores que $360.000 / ha, o bien con un subsidio de 15% a la inversión.

9. Los escenarios 7.2 y 7.4, que incluyen entubamiento de canales, además pueden rentabilizarse optimizando las longitudes entubadas.

Se observa que no es difícil rentabilizar cualquiera de las medidas de eficiencia que se puedan tomar en este valle, debido a la elevada generación de ingresos, la que se ve favorecida, además, por la rotación de cultivos, que permite generar ingresos dos veces al año.

El escenario anterior no considera el uso de las aguas servidas tratadas, las cuales pueden aportar un promedio de 570 l/s adicionales, que a la misma tasa de 0,26 l/s/ha significaría un área adicional de hasta 2000 ha.

La decisión sobre qué medidas tomar para aumentar la eficiencia de uso del agua, ya sea aumentar las áreas regadas en los sectores altos, tecnificar los sectores más bajos, entubar canales, usar más los acuíferos, etc, es una decisión que debe quedar en manos del nivel local y medio, pues es en esos niveles donde se debe producir la inversión y la rentabilidad de estas obras.

10.1.7 Recomendaciones

De lo expuesto para la cuenca del Elqui se desprenden las siguientes recomendaciones específicas:

1. Es importante que existan derechos suficientes en los acuíferos como para paliar los efectos de las sequías.

2. La DGA debiera considerar la posibilidad de constituir derechos condicionados, condicionando su uso a dos eventualidades, dependiendo de la ubicación de los pozos. En acuíferos grandes, los derechos debieran estar condicionados a la reposición de una eventual merma a derechos superficiales. Esta eventual merma no debiera impedir que se hiciera uso de una capacidad de almacenamiento disponible en forma natural. En los acuíferos pequeños, el uso de acuíferos debiera estar condicionado a los eventos de sequía.

3. En las condiciones señaladas, y bajo los supuestos del análisis, debieran darse más derechos en los acuíferos 7, 9 y 12.

.

4. Debe favorecerse todo lo posible los traslados de agua y la flexibilidad en la asignación de los derechos. Esto es un desafío para las organizaciones medias, para las juntas de vigilancia, y también para la DGA, que debe agilizar las inscripciones en el CPA: La flexibilidad de asignación está posibilitada en la actualidad gracias a la existencia del embalse Puclaro.

5. Para la junta de vigilancia, los desafíos son
   - entregar el agua de acuerdo con la demanda
   - no hacer entregas excesivas en invierno, cuando la demanda decrece fuertemente
   - incentivar y fomentar los traslados en la medida que la infraestructura lo permita.
   - fomentar la precisión en las mediciones (compuertas, válvulas), para facilitar el control de entregas y con ello los traslados.

6. Para lograr lo anterior, es importante fomentar el paso desde un sistema de canales abiertos y revestidos hacia un sistema de canales entubados, que, como se ha visto, presentan múltiples ventajas frente a los primeros.

7. En este sentido, hay un desafío para la CNR, que debiera focalizar recursos hacia los entubamientos. Es necesario fomentar el paso desde un sistema a otro en los concursos de la ley 18450.

8. En la cuenca del Elqui, el uso óptimo del agua exige que se retenga más agua dentro de la cuenca, y escape menos agua al mar. Esto requiere una tecnificación del riego en el nivel local y el entubamiento de canales en el nivel medio, además del uso más intensivo de los acuíferos, especialmente en épocas de sequía.

9. No obstante lo anterior, hay algunas zonas (10, 11), donde no se recomienda la intensificación de la tecnificación del riego, porque los acuíferos, intensivamente utilizados, al no tener cauce, se alimentan en parte importante de las percolaciones del riego.

10. Para el funcionamiento óptimo de las aguas potables rurales, es necesario tener una forma de cobrar por los servicios prestados. La actual organización de ellas en forma de comités, permite soslayar la obligación de pago, lo que atenta contra la sustentabilidad del sistema. Para las APR se sugiere que ellas se transformen en cooperativas, como primera medida esencial para su buen funcionamiento. Posteriormente se podrán estudiar otras formas de optimizar estos servicios.

10.2 CONCLUSIONES CUENCA LIMARÍ

10.2.1 Diagnóstico de la eficiencia física en el uso del agua

Las conclusiones que aquí se presentan, se desprenden de los capítulos 6.5 a 6.9, de diagnóstico, y 8, operación de los modelos de simulación, donde están presentados todos los aspectos con gran detalle. En resumen, las conclusiones del diagnóstico son las siguientes:

1. En la cuenca del Limarí se reconocen 44.040 ha cultivadas o cultivables, de las cuales unas 10.000 se encuentran sobre embalses, sin regulación superficial. Las restantes 34.000 ha se encuentran bajo embalse, y cuentan con riego regulado.

2. El cultivo con mayor predominio en esta cuenca es la vid de pisco, con 22% del área, y parcialmente tecnificada. En conjunto con la vid de mesa, frutales y vid de vino, los cultivos permanentes cubren casi el 50% del área cultivada. Ésta es justamente el área que tiene una alta seguridad de riego.

3. Permanecerían alrededor de un 20% de praderas en la cuenca, que se ubican preferentemente en los sectores sobre embalse, que no cuentan con regulación (Pama, Combarbalá, Hurtado), dentro del cauce del río Limarí, y en el sector de Punitaqui. El restante 30% son hortalizas y cultivos anuales, que se encuentran distribuidos en toda la cuenca.

4. Las praderas y hortalizas permiten adaptar el área cultivada a las disponibilidades hídricas.

5. Todos los cultivos están distribuidos en todas las zonas, con excepción de la alcachofa, que predomina en las terrazas norte y sur del Limarí. No hay predominancia según condiciones climáticas, como en la cuenca del Elqui. Se observa con claridad que casi no hay praderas en las zonas de Huatulame y El Palqui, ni tampoco en las áreas de riego del embalse Recoleta. Eso muestra que está bien reconocido el valor económico del agua en estos sectores.

6. El grado de tecnificación del área cultivada es de 31%, con predominio absoluto de la tecnificación en los sectores de Huatulame (93% del área) y El Palqui (83% del área). Una tecnificación de alrededor de un tercio del área se observa en el Río Grande sobre Paloma, Río Cogotí, Tamelcura.y Punitaqui.

7. La distribución de acciones por hectárea es muy variable, con valores entre 0,26 acciones por hectárea hasta 3,38 acciones por hectárea en el río Pama. Sin embargo, y al contrario del río Elqui, donde la JV es una sola, estas acciones corresponden a muchas juntas de vigilancia diferentes, y por lo tanto sólo representan una forma de gestionar el recurso para una mejor distribución. El agua que finalmente recibe cada

hectárea en cada zona es similar entre todas las JV, y depende de la disponibilidad hídrica, y no de las acciones con que está dotada cada zona.

8. Las dotaciones de m3/acción y m3/ha al año, que se producen como resultado de la gestión, tanto en promedio como en años normales y secos, se presenta en detalle en el capítulo 6.5.15. Varían desde valores muy altos, en un rango de 19.000 y 48.000 m3/ha/año, sobre embalses, hasta valores muy bajos, en un rango de 1700 hasta 12000 m3/ha/año, bajo embalses. Al respecto, se observa que las zonas altas, sobre embalse, reciben en promedio una mayor cantidad de agua por acción que las zonas bajas. Además, tienen una mayor cantidad de acciones por ha, por lo que finalmente, en promedio, reciben significativamente más aguas por ha que las zonas bajas, con la sola excepción del río Pama, donde las dotaciones resultan más bajas. Esto, como se ha visto antes, no significa que esas aguas se consumen, sólo significa que se captan. Hay que recordar que los retornos de las zonas altas son significativos, y mientras no haya expansión de áreas, estos retornos se mantendrán. Justamente esta ineficiencia es la fuente que alimenta, en parte, los embalses que entregan el agua hacia las zonas bajas.

9. Por otro lado, se observa que las zonas bajo embalse tienen dotaciones más parecidas de m3 por hectárea que de m3 por acción, tanto en promedio como en sequía. Esto muestra que las hectáreas están dotadas por cantidades similares de agua en todas las zonas, aunque no de acciones. La acción es, por lo tanto, una medida de paso, para llegar a una dotación de agua por ha.

10. Las zonas más desfavorecidas en cuanto a dotación de agua por hectárea, son las de Tamelcura, Camarico y Punitaqui.

11. De todas formas, el consumo de agua depende de las áreas que se cultivan, y no de las aguas que se captan. El hecho de que los sistemas de río tengan dotaciones de agua mayores por hectárea y por acción que los sistemas de embalse, muestra que hay un potencial de expansión que ellos podrían aprovechar. En ese caso, las zonas de aguas abajo podrían volcarse hacia los acuíferos disponibles.

12. El caudal demandado a nivel raíz por las 44.040 ha de riego es de 11,952 m3/s. Las ineficiencias de riego hacen que el caudal demandado a la entrada de las zonas de riego sea de 26,677 m3/s. Los canales captan, en total, un caudal de 21,710 m3/s, y dadas las ineficiencias de conducción, llegan a las zonas de riego sólo 18,330 m3/s. Esto significa que hay demanda por aguas subterráneas. Los derechos existentes permiten un bombeo que en promedio llega a 1,493 m3/s. Esto significa que las zonas de riego reciben 19,823 m3/s, frente a una demanda de 26,677 m3/s.

13. El caudal que reciben las zonas de riego no siempre va a cubrir una demanda. En especial, sobre el embalse, las aguas se entregan cuando hay, más que cuando se necesitan. De este modo, de la demanda de las zonas de riego, de 26,677 m3/s, se cubren sólo 14,404 m3/s. De la demanda a nivel raíz, 11,952 m3/s, se cubren sólo 6,518 m3/s, como promedio, lo que constituye un 55%.

14. En cuanto a tasas de riego promedio, las tasas demandadas a la entrada de cada zona de riego dependen de la eficiencia de riego. Varían entre 0,35 l/s/ha (El Palqui) y 1,5 l/s/ha (Río Pama), con un promedio ponderado de 0,61 l/s/ha. Las tasas de riego promedio recibidas varían entre 0,055 l/s/ha (Punitaqui) y 1, 247 (río Mostazal), con un promedio ponderado de 0,450 l/s/ha.

15. La demanda a nivel raíz expresada en tasa de riego, es de 0,271 l/s/ha en promedio, con variaciones que dependen de los tipos de cultivos, entre 0,225 y 0,440 l/s/ha, lo que muestra que las dotaciones de agua permitirían mayores coberturas si se evitaran las ineficiencias.

16. Hay pozos de riego, en 20 de los 44 sectores de riego definidos para esta cuenca. Los derechos subterráneos totales son de 3,040 m3/s, y los derechos que se identifican para riego, son de 2,370 m3/s. Estos derechos son intensivamente usados en verano, para suplementar el agua superficial, dada la gran cantidad de área (44.040 ha) demandante de agua en esta cuenca. El caudal promedio bombeado para riego es de 1,5 m3/s, y para otros usos, de 0,16 m3/s.

17. El porcentaje de demanda suplida promedio resulta de 63% en esta cuenca. Este porcentaje varía entre 50% en el estiaje y 80% en el invierno de años normales, desciende hasta 30% en el estiaje de la sequía, y llega hasta 100% en el invierno de años húmedos.

18. La eficiencia de aplicación de riego es en general mayor que 0,40, con un promedio de 0,49, llegando desde 0,32 en el río Pama hasta 0,83 en el Huatulame. Bajo 0,40 sólo están los ríos Pama, Mostazal y Hurtado sobre Recoleta.

19. Las ineficiencias de conducción hacen que la eficiencia total desde bocatoma sea inferior, en promedio de 0,35, variando entre 0,18 en el río Grande sobre embalse Paloma, hasta 0,55 en la zona regada por el canal Cogotí.

20. Hay caudales superficiales de retorno no despreciables en esta cuenca, de 17,9% en promedio. Este valor varía entre 0 (Punitaqui) hasta 36% en el río Grande sobre embalse Paloma. .

21. En cuanto a los acuíferos, se estima que hay un volumen de almacenamiento de 600 millones de m3. Ellos, sin embargo, están distribuidos en su mayoría en acuíferos muy pequeños asociados a todos los cauces del sistema. Los únicos acuíferos más grandes son los acuíferos de Huatulame Bajo y Palqui (33 millones de m3 en conjunto), el acuífero del río Grande bajo Paloma (62 millones de m3) y el del río Limarí (220 millones de m3).

22. Se estima que hay un potencial de recarga de acuíferos, en esta cuenca, de unos 9,1 m3/s, de los cuales 6,8 son rechazados por encontrarse los acuíferos llenos. La recarga neta efectiva se estima, por lo tanto, en unos 2,3 m3/s.

23. Los derechos actualmente constituidos, de 3,040 m3/s, y el bombeo que ellos generan, de 1,65 m3/s en promedio, no alcanzan a presentar problemas en los acuíferos. El uso es intensivo, con un factor de uso de 0.54.

24. Los acuíferos de las terrazas de Graneros y Camarico se estima que tienen volúmenes de 20 y 48 millones de m3, respectivamente. Tienen una gran cantidad de pozos, sin embargo se estima además, que la explotación actual está cerca de las posibilidades de recarga total, de modo que se recomienda no constituir más derechos en estos sectores.

25. Los acuíferos de Huatulame y El Palqui están en una situación de uso incipiente, aún en un estado de equilibrio. En el acuífero del Huatulame se está dando una situación precursora de la gestión integrada del recurso, permitiéndose el uso de los derechos superficiales tanto extrayéndolos del río, como del acuífero cuando no escurren superficialmente.

26. El agua potable urbana tiene un uso de 222 l/s en toda la cuenca, de los cuales se estima que 50 l/s son consumidos. El resto vuelve al sistema a través de los vertidos de las plantas de tratamiento.

27. El agua potable rural tiene una capacidad de captación de 463 l/s, pero una captación efectiva de sólo 185 l/s. Se estima que hay un uso consuntivo de 86 l/s.

28. Para la minería se estimó un caudal consuntivo de unos 20 l/s, en base a criterio de experto, dadas las empresas que existen en la cuenca. Los derechos que figuran en la DGA, todos subterráneos, totalizan 227 l/s.

29. Como derechos industriales, se identifican 162 l/s en la cuenca, de los que se asume un uso consuntivo del 25%, o sea, 40 l/s.

30. La demanda consuntiva total suplida, que en promedio es de 8,1 m3/s, tiene una probabilidad de excedencia de 86%. Para contar con ese caudal hay que sumar pérdidas por 3,8 m3/s, lo que totaliza un caudal de 11,9 m3/s. Este caudal tiene una probabilidad de excedencia de 80%.

31. Las cifras presentadas muestran una eficiencia de uso o consumo efectivo de un 68% del caudal total disponible para uso. Este valor aumenta a 77% en situaciones de sequía.

32. Los caudales captados para generar el uso total de 11,9 m3/s, son de 25,1 m3/s como promedio, lo que indica un elevado factor de reúso, de 2,1 a nivel global. Considerando que se asumió un factor de reúso de derrames y percolaciones, interno de las zonas de riego, de 1,8 en promedio, esto significaría que el agua tiene un factor de reúso total de 3,8 en esta cuenca. El reúso global se entiende como el factor que relaciona el caudal captado a nivel de zona de riego, con el caudal consumido a nivel de cuenca. El reúso

total se entiende como el factor anterior, multiplicado por el factor de reúso interno asumido además para las zonas de riego.

33. Las pérdidas son fundamentalmente la evaporación desde los embalses, que entre los tres totalizan un caudal promedio de 1,5 m3/s, y el caudal de salida al mar, que como promedio de años normales y secos presenta un valor de 2,3 m3/s, con un flujo base de alrededor de 1 m3/s. Se observa que no es despreciable la pérdida evaporativa en esta cuenca, y se observa también que de todas formas hay salidas al mar.

34. La forma de hacer un uso más eficiente del agua en esta cuenca, a nivel global, sería la de usar el caudal de 1 m3 que sale al mar como flujo base del sistema, captándolo desde los acuíferos del Limarí, que son grandes y permiten una mayor explotación. Las pérdidas evaporativas desde los embalses son difíciles de retener. No hay experiencia exitosa a nivel mundial para la reducción de la evaporación desde embalses grandes.

10.2.2 Diagnóstico de la eficiencia económica del uso del agua

El análisis de la eficiencia económica se efectuó a través de algunos indicadores señalados en el capítulo 3. Para la cuenca del Limarí, y sus diferentes usos del agua, se puede decir lo siguiente respecto de la eficiencia económica de uso del agua:

1. Sin duda el uso económicamente más eficiente del agua lo constituye la minería. En este uso, el indicador de rendimiento medido en $/m3, entrega valores entre 0,6 y 43 US$ por m3 (entre 300 y 22.000 $/m3), para un rango de variación del precio internacional del cobre entre 0,6 y 3 US$/libra.

2. En la agricultura, los rendimientos varían entre 3 y 370 $/m3, dependiendo del cultivo. Los cultivos como praderas y pastizales, que usan mucha agua y generan bajos retornos, aún persisten en la cuenca con un 20% del área, representando de esta forma la falta de seguridad de riego que aún sufre gran parte del área regable. Sin embargo, podrían cultivarse más hortalizas. Al tener un ciclo vegetativo corto, no requieren mucha agua y, si cuentan con buenos precios, generan rendimientos elevados del indicador $/m3.

3. En cuanto a la eficiencia económica, se obtienen los siguientes valores de los indicadores económicos definidos para la agricultura, a nivel de mesozonas y cuenca completa:

Cuadro 10-3
Indicadores de eficiencia económica cuenca Limarí

Indicadores de eficiencia económica	MZ 1	MZ 2	MZ 3	MZ 4	MZ 5	MZ 6	MZ 7	Cuenca
Eficiencia económica observada promedio ($/m3)	101.6	73.5	178.9	57.8	83.7	124.4	88.5	106.6
% de eficiencia en relación al potencial máximo	24%	14%	47%	11%	18%	28%	19%	23%
Desviación estándar de la eficiencia ($/m3)	101.7	104.7	104.9	92.9	98.3	123.3	105.2	112.2
Coef. de variación de la eficiencia observada %	100%	143%	59%	161%	117%	99%	119%	105%

Se observa que el indicador $/m3 a nivel de cuenca llega a 107, con una variabilidad alta, de 105% expresado como coeficiente de variación, y como 112 $/m3, expresado en las unidades del indicador. Esto significa que aún hay bastante espacio para crecer económicamente dentro de la cuenca.

4. El incremento de productividad entre el censo de 1997 y la actualidad (2005) se estima en un 28%. El 21%, sin embargo, está explicado por un aumento de área, lo que muestra que no ha habido una gran reconversión de cultivos entre el año del CENSO y la actualidad.

5. En el uso de agua potable, la eficiencia de uso está asegurada a través del sistema legal que rige esta actividad, y que está basado en prestadores empresariales, tarifas a costo real, subsidio focalizado y un estado fiscalizador más que prestador del servicio.

10.2.3 Diagnóstico de la eficiencia administrativa en el uso del agua

La eficiencia en la administración del agua tiene relación directa con los temas de organización para la distribución y explotación del recurso, con la asignación y reasignación de derechos, y con la constitución y gestión de los derechos por parte de la administración pública Lo que se expone a continuación, se ha obtenido en base a lo consultado y observado en terreno, y también en base a los antecedentes recolectados.

1. La cuenca del Limarí es un ejemplo no sólo a nivel nacional sino que también a nivel mundial, en cuanto al funcionamiento del mercado del agua y flexibilidad de

reasignación del recurso hídrico, razón por la cual ha sido objeto de estudio en diversas oportunidades.

2. El mercado del agua ha encontrado en esta cuenca un terreno fértil, pues a través del embalsamiento múltiple de las aguas en un sistema de tres embalses, y una infraestructura de distribución ramificada, se dieron las condiciones para su aplicación.

3. El sistema de embalses divide la cuenca en dos partes muy marcadamente diferentes desde el punto de vista de su administración: el sector de los ríos afluentes, que son no tributarios, y el sector de aguas abajo de los embalses.

4. En el sector alto, la administración de los ríos se efectúa en una forma bastante tradicional, pero en general eficiente. Para su distribución entre las acciones correspondientes, el río se reparte, libre o en turnos, entre los diferentes canales, por medio de marcos aforadores de escurrimiento crítico y compuertas metálicas. Estas compuertas son administradas por uno o varios celadores y manejadas con llave.

5. Al interior de los canales, la situación es diversa, algunos se administran mejor que otros, pero en general, de las entrevistas se desprende que no hay grandes descontentos en relación con la distribución. La situación es más crítica en sequía. Cuando falta el agua, hay más problemas y conflictos.

6. Una cantidad no menor de los canales de los ríos sobre embalses tienen problemas de eficiencia de conducción. En el río Mostazal por ejemplo, se observan paños de vegetación natural que se benefician de las filtraciones, especialmente en los cruces de quebradas. Esto motiva que haya usuarios “coleros”, a los que a veces no les llega el agua. Muchas de estas ineficiencias, sin embargo, y también las ineficiencias del riego no tecnificado, retornan a los ríos.

7. En cuanto a la flexibilidad para reasignar las aguas, el sistema descrito sobre embalses no presenta demasiadas facilidades, pero tampoco es completamente rígido. Las reasignaciones al interior de los canales son frecuentes, y pueden ser temporales o permanentes. De hecho, dentro de los canales hay bastante flexibilidad para la reasignación.

8. Entre los diferentes canales, en cambio, la reasignación es más difícil. Para los traslados, sean permanentes o temporales, se requiere el consentimiento de la junta de vigilancia, y, en especial, de los canales cedente y receptor, de modo que el traslado sea viable. Para los traslados permanentes se requiere además el consentimiento de la DGA. Ninguna de las organizaciones entrevistadas fomenta este tipo de movilidad, pero tampoco pueden oponerse, porque las ventas y traslados son legales. Cuando hay traslados permanentes, el comprador debe hacer las adecuaciones de infraestructura que sean necesarias.

9. Aguas abajo de los embalses, la situación es diferente. Si bien es cierto que los canales tienen determinadas capacidades, las que constituyen el límite para la flexibilidad, también es cierto que gracias al embalsamiento de los derechos, éstos se pueden pedir cuando se los requiera, avisando con 48 horas de anticipación a la organización correspondiente. De esta forma, se pueden adaptar los riegos, y se pueden trasladar aguas entre canales. Se pueden asignar las aguas hacia donde sean más valorizadas, y por lo tanto, más rentable su uso.

10. Al inicio de cada temporada, en mayo, se determina una dotación provisoria de las acciones, que se aumenta en septiembre si ha habido lluvias y ha cambiado el volumen embalsado.

11. El hecho de que cada usuario mantenga una cuenta corriente de aguas en el sistema de embalses, a la cual se pueden depositar o desde la cual se pueden girar aguas, hace muy operativo el sistema del mercado temporal o de traspaso de volúmenes.

12. De acuerdo con un estudio de Oscar Cristi, el mercado de acciones tiene una profundidad de 27% hasta 2001, lo que significa que se han reasignado 27% de las acciones hasta esa fecha. El mercado de volúmenes o spot en cambio, varía de año en año, llegando a transarse entre 0, cuando hay mucha agua, hasta casi el 50% de las acciones de algunas juntas de vigilancia. Hay juntas fundamentalmente cedentes y otras fundamentalmente receptoras de agua. La JVRL es fundamentalmente cedente y la ACCC es fundamentalmente receptora.

13. El estado de la infraestructura de canales es variable. Todos los sistemas registran pérdidas, que son cargadas a las cuentas corrientes de los usuarios. El sistema Recoleta tiene una gran cantidad de canales revestidos, de hecho, un 70% de la red secundaria estaría revestida. Este sistema ha hecho uso intensivo de los subsidios de la ley 18.450. Aun así, se declaran pérdidas de alrededor de 30% en los sistemas de canales.

14. Recientemente, el sistema Recoleta se ha automarginado de la posibilidad de vender sus aguas hacia otros sistemas diferentes del sistema de riego Recoleta. La razón de este proceder fue que las aguas que correspondían al sistema han sido tradicionalmente y cada vez más, vendidas hacia zonas de cultivos más rentables, como Huatulame y Palqui, dejando los canales del sistema Recoleta muy desprovistos de agua, con lo que aumenta el porcentaje de pérdidas por filtración y evaporación, en desventaja de los regantes del propio sistema Recoleta. Este proceder es conveniente para los regantes de Recoleta, pero no para quienes han preferido reubicar sus aguas en otro sistema para obtener de ellas un mayor valor.

15 En cuanto a las organizaciones de usuarios, tanto las juntas de vigilancia como las asociaciones de canalistas y las comunidades de agua, y sus respectivas directivas, tienen una aceptación en general buena. De hecho, las organizaciones de los embalses se manejan de forma muy técnica, con profesionales encargados de la distribución. Sobre los embalses, las organizaciones son más rústicas, pero aunque no están tan

tecnificadas ni cuentan con profesionales, (en general sólo con una secretaria y un celador, además de la directiva), también son eficientes en la distribución. El problema siempre es la baja participación de los usuarios, que en general no se interesan por participar, salvo cuando hay más problemas. La no participación se entiende como una conformidad con lo que se está haciendo.

16. En cuanto a la claridad de las inscripciones de derechos, todos los derechos superficiales están registrados en las Juntas de Vigilancia, y son operados por ella desde hace décadas, de modo que no hay posibilidad de doble inscripción, ni de falta de regularización. La asignación de derechos está muy clara, las Juntas de Vigilancia tienen tuición completa sobre los derechos superficiales permanentes que se distribuyen en la cuenca.

17. En relación con las aguas subterráneas, hay algunos sectores que están bastante explotados, como principalmente las terrazas de Graneros y Camarico, y también el sector del Palqui y del Huatulame. La explotación de los acuíferos de río hasta el momento es menor, y hay alguna inquietud por parte de las juntas de vigilancia acerca de la posibilidad de que se exploten los acuíferos de río, por las afecciones que se pudieran generar a las aguas superficiales.

10.2.4 Diagnóstico de la eficiencia ambiental en el uso del agua

En este capítulo se presenta el resultado del análisis del diagnóstico de la eficiencia ambiental de los diversos usuarios de agua en la cuenca.

a) Calidad natural

La calidad físico-química de las aguas de la cuenca del Limarí es en general buena. Localmente, las aguas potables provenientes de las terrazas de Punitaqui y Pueblo Nuevo, muestran valores altos de conductividad, lo que es señal de una mayor salinización del suelo y del agua en esos acuíferos. En efecto, se observa que el agua proveniente de estas terrazas presenta mayores contenidos de todos los macroiones, cloruro, sodio, sulfato, calcio y magnesio, y una conductividad consecuentemente alta, que también se manifiesta en la estación Limarí en Panamericana.

Las terrazas al norte del Limarí presentan una situación similar, la que se constata a través del pozo de Panulcillo, que también presenta valores altos de los mismos macroiones. Esta situación podría estar reflejando una condición de constitución marina de estas terrazas antiguas que rodean la cuenca del Limarí.

Ambientalmente, se observan en las aguas las características mineralógicas de la cuenca, efecto que puede estar asociado localmente a la presencia de tranques de relave. En las cabeceras de los ríos hay contenidos moderadamente elevados de hierro, manganeso y molibdeno. El hierro excede con regularidad las normas de agua potable, aunque no las de

riego, el manganeso excede ocasionalmente la norma de agua potable y rara vez la norma de riego, y el molibdeno ocasionalmente excede ambas normas. Hacia aguas abajo, sin embargo, esos contenidos se van reduciendo, hasta llegar a valores bajo las normas de agua potable.

No hay contenidos sensibles de cobre, hierro ni manganeso en las aguas provenientes de las terrazas de Punitaqui.

Otros parámetros con origen en la mineralización de la cuenca, son el molibdeno y el aluminio, que aparecen, pero sólo ocasionalmente, en concentraciones superiores a la norma. Los microelementos tóxicos como cianuro, boro, arsénico, cadmio y mercurio, no tienen presencia en la cuenca. Sí se ha medido estaño, en concentraciones no menores, en la estación de salida Limarí en Panamericana.

b) Minería

Mediana minería

En la cuenca del Limarí no hay gran minería, sólo mediana y pequeña minería, localizada en la zona alta de la cuenca del Mostazal, y frente a Ovalle en la minera Panulcillo.

Los usuarios del río Grande señalan como potencial fuente contaminante la minera Los Pingos (GEMIN), ubicada en el río Grande sobre Las Ramadas, aunque esta minera tiene un proyecto ambiental aprobado, y recién están comenzando las actividades de esta empresa, de modo que aún no hay registros.

La minera El Pingo (Mostazal) no presenta aportes sensibles de hierro y manganeso, ni de otros contaminantes. La minera Panulcillo, en cambio, genera concentraciones altísimas no sólo de hierro y manganeso, sino que también de cobre. Sin embargo, estas concentraciones no se perciben desde unos 5 km de la minera hacia aguas abajo.

Pequeña minería

Un efecto visible de la pequeña minería son los tranques de relaves. Hay 82 tranques de relaves en la provincia del Limarí, y aunque no se percibe un efecto contaminante ambiental registrable por parte de ellos, ni constituyen un problema resentido en la cuenca, es posible que sean los causantes de una contaminación de hierro, manganeso, molibdeno y aluminio que ocasionalmente aparece en la cuenca, especialmente en los sectores más altos.

Por parte de los usuarios sólo se perciben recelos contra las mineras de cordillera (El Pingo en Mostazal y ahora también Los Pingos, de GEMIN, aunque ésta tiene un proyecto ambiental aprobado, y la primera no genera contaminación sensible).

c) Agricultura

La agricultura se considera un contaminador potencial de fertilizantes (nitratos), y de pesticidas / herbicidas. También hay una incipiente inquietud respecto de la potencial generación de erosión que pueden significar las expansiones del terreno agrícola hacia las laderas de los cerros, con la eliminación de la vegetación natural y el establecimiento de camellones.

En cuanto a los fertilizantes (nitratos), la agricultura es un usuario inofensivo hasta donde lo muestran los monitoreos efectuados. No hay señales de aumentos de nitratos en las aguas superficiales, que tienen muy pocos nitratos, y en las aguas subterráneas, si bien las concentraciones son algo mayores (hasta 5 mg/l), tampoco presentan una tendencia de aumento.

En cuanto a los plaguicidas, tampoco hay rastro de ellos en las aguas superficiales, muestreadas en Huatulame en el Tome, en 2004.

De este modo, la agricultura de la cuenca aparece como un usuario ambientalmente eficiente en estos aspectos.

Respecto del favorecimiento de la erosión, algunos agricultores, aunque hasta ahora una gran minoría, advierten que la expansión de los cultivos hacia las laderas de los cerros, donde se rompe la capa natural para instalar camellones, acarreará graves problemas de erosión y arrastre con las grandes lluvias que vienen cada 8 o 10 años. Este tema no es abordado por ninguna institución, ni preocupa a nadie, solamente a los agricultores cuyos canales van al pie de tales paños de cultivos, y que se ven embancados con facilidad por los arrastres desde tales laderas. El tema se plantea dentro de un contexto en que habrá que pensar en una política de explotación agrícola de laderas.

.

d) Aguas servidas

Los usuarios de agua potable tanto urbana como rural constituyen un usuario ambientalmente eficiente, pues todas las aguas servidas urbanas son tratadas, en las siete localidades donde se generan. De acuerdo con la información recabada en la SISS, los efluentes de las plantas de tratamiento cumplen a cabalidad con las normas de emisión vigentes en la actualidad. Las plantas de aireación, concebidas para cumplir con las normas NCh 1333, para todo uso, así lo han hecho hasta el momento. Tienen plazo hasta Septiembre de 2006 para adaptarse a la nueva normativa del DS 90, que es más rigurosa. Las plantas más nuevas, de lodos activados, están diseñadas para cumplir con el DS 90, desde sus inicios.

Gracias a las estrictas normativas vigentes y a la forma en que se manejan los objetivos ambientales dentro de la ley sanitaria, a través del cumplimiento obligado de los planes de desarrollo por parte de las empresas, el usuario de agua potable se ha transformado en un usuario ambientalmente eficiente.

Por otra parte, las aguas servidas rurales no cuentan con alcantarillado, por lo que se entregan sólo a sistemas de fosa séptica y pozo absorbente, sistema que también es ambientalmente eficiente.

e) Usuarios no tradicionales

Contaminación de canales en localidades rurales o urbanas
Entre los usuarios hay algunos cuyos canales están expuestos a contaminación de tipo urbano, porque pasan cerca de localidades o casas. Ellos son fundamentalmente algunos canales de la ACEC y el canal Camarico. Aparentemente es una práctica usual, como en todo el país, aprovechar los canales para deshacerse de desechos y basuras cuando pasan cerca de casas. Este proceder, además de invalidar el esfuerzo económico de la población por pagar el tratamiento de sus aguas servidas, invalida las buenas prácticas que aplican los agricultores enfocados a la exportación. En el contexto de los tratados de libre mercado, este tema es inadmisible y debe ser corregido.

Otros problemas ambientales
Se señalan como problemas ambientales el uso excesivo de pesticidas (percepción que no es respaldada por los resultados de los muestreos, los cuales muestran que todos los contenidos de pesticidas se encuentran por debajo de las normas), y el humo por quemas de sarmientos.

10.2.5 Conclusiones sobre la operación de escenarios

1. Según se vio en el escenario base, en las condiciones actuales de funcionamiento, y asumiendo una demanda raíz acorde con los datos presentados, sólo se lograría satisfacer con plena seguridad de riego, en los meses de mayor demanda, alrededor de un 55% del área cultivada en el valle, es decir, unas 24.000 ha de las 44.000 cultivadas. De hecho, esa cantidad de área está cubierta con cultivos permanentes, el resto con cultivos anuales, que permiten adecuarse a las disponibilidades del año. Del área con cultivos permanentes, el 73% se encuentra bajo embalse.

2. Como promedio en el año, se logra cubrir totalmente la demanda de un 63% del área, es decir, de unas 28.000 ha.

3. Hay pocos acuíferos con derechos, pero éstos en general muestran señales de explotación en la situación actual.

4. Al habilitar pozos de riego en todos los acuíferos para una explotación intensiva, y permitir su libre explotación, todos los acuíferos se ven profundamente afectados, sin proveer una solución al déficit de la demanda.

5. En cambio, al tecnificar todo el riego, no hay afección a los acuíferos ligados a los cauces de los ríos, incluso algunos acuíferos bombean menos porque bajan las demandas. El único acuífero que se vería más afectado por la falta de recargas sería el

de Graneros (AC-28), alimentado por las percolaciones desde las zonas de riego 35 y 36 (Punitaqui y Graneros). En estos sectores, la tecnificación del riego podría ser incompatible con el uso del acuífero.

6. La tecnificación del riego, en forma generalizada, permitiría elevar el área con riego seguro a aproximadamente un 80% del área total, es decir, a unas 35.000 ha, e incluso unas 5000 ha más, si se considera que es posible aumentar la eficiencia en la entrega, y aprovechar los 1,3 m3/s adicionales que se perderían al mar si las entregas fueran las mismas que en la actualidad.

7. Esta realidad explica el empeño permanente de los regantes del río Limarí, de aumentar la eficiencia predial o local con nuevas tecnologías, nuevos monitoreos de atmósfera y suelo, y nuevos conocimientos acerca del comportamiento de la humedad en los medios aire, suelo y planta, de modo de sacar el máximo partido al agua.

8. La tecnificación, sin embargo, no permite dar seguridad en los años de sequía.

9. El entubamiento de canales es un tema de gran relevancia en esta cuenca. En especial en los sectores altos, sobre embalse, los canales presentan grandes pérdidas efectivas. Son recursos que en gran medida no vuelven al sistema, sino que se pierden en alimentar vegetación parásita o ribereña del canal. El entubamiento es una buena solución, alternativa a los revestimientos, y más efectiva.

10. En general, el mejor aprovechamiento del agua superficial a través del entubamiento de los canales permite reducir las solicitaciones a los acuíferos, que a su vez se alimentan menos cuando se entuban los canales. Algunos acuíferos pueden verse afectados por el entubamiento, como pareciera ser el caso de los sectores de terrazas de Punitaqui, Graneros y Camarico, es decir, la zona de las terrazas sur del Limarí, donde los acuíferos son explotados en cuantías no despreciables.

11. Los acuíferos de la cuenca del Limarí son en general pequeños, y si se intenta una explotación que busca suplir todos los déficits que deja el agua superficial, colapsan. Sin embargo, hay una posibilidad, aunque menor, de aumentar la explotación en los siguientes acuíferos, sin llegar a observarse efectos insustentables sobre el sistema hídrico, ni aun en situación de tecnificación. Se sugiere el aumento de derechos subterráneos en los siguientes acuíferos, hasta llegar a los siguientes valores:

:

- Grande bajo Paloma (AC-17): 300 l/s
- Limarí sobre Quebrada del Ingenio: 500 l/s
- Limarí bajo Quebrada del Ingenio 700 l/s

De esta forma se aumentarían los actuales derechos subterráneos de tales sectores, desde 430 l/s, a 1,5 m3/s, lo que permitiría disminuir las salidas al mar.

12. Estos derechos debieran estar condicionados a restituir eventuales afectaciones a los derechos superficiales, que no se pueden descartar cuando se hace uso de un acuífero de río. Sin embargo, este motivo no debiera inhibir el uso de dicho almacenamiento subterráneo. .

13. El hecho de aumentar la explotación de los acuíferos y hacer uso de estos almacenamientos, permite retener nuevas aguas en le sistema. Por otro lado, también es necesario tener presente que los almacenamientos constituyen un seguro ante sequías, de modo que lo ideal es usarlos de modo de paliar las sequías. Eesto último también vale para los acuíferos más pequeños, que siempre pueden presentar un alivio frente a sequías, y por ello debieran estar habilitados para su uso en tales circunstancias.

10.2.6 Conclusiones de la evaluación económica

Según se observa en la evaluación económica de escenarios, que los ingresos de esta cuenca son similares a los de la cuenca del Elqui. Esto ocurre porque aunque esta cuenca tiene una mayor área potencial que el Elqui, no puede cultivar siempre toda o casi toda su área. De hecho, sólo algo más de la mitad de ella tiene una alta seguridad de riego. Por otro lado, aún mantiene más áreas cultivadas con cultivos de menor valor, de modo que, como resultado de esto, sus ingresos anuales resultan similares a los de la cuenca del Elqui.

A continuación se comentan los resultados de las evaluaciones económicas realizadas para las medidas de aumento de eficiencia aprobadas como viables a través del modelo de simulación.

1. Se observa que el escenario de tecnificación completa (con excepción de las zonas 35 y 36), es prácticamente viable, puesto que las grandes mejoras en demanda suplida que produce, permiten solventar la inversión y cambio en el sistema de costos. La solución se hace completamente rentable si las áreas actualmente destinadas a praderas se destinan por lo menos al cultivo de trigo, o si todas las áreas aumentan su ingreso en un 2%, o si las obras reciben un subsidio inicial del 12%. Se aprecia que este escenario es factible de lograr.

2. El aumento adicional de demanda suplida sobre el escenario base, logrado por entubamientos, es relativamente pequeño, y se justifica bajo las siguientes consideraciones de aplicación alernativa: aumentar el ingreso de toda el área en un 11%, evitar los cultivos con un MNAE menor que $ 350.000/ha, o con un subsidio de 50% a las obras. Equivalentemente, podría optimizarse el entubamiento, unificando canales de modo de reducir las longitudes entubadas al menos a la mitad.

3. El escenario 5 en que se aplican todas las medidas en forma conjunta, tampoco es rentable en forma directa. Se rentabiliza en forma más difícil que los demás escenarios, y no aporta mucho más que el escenario de tecnificación. Este escenario se viabiliza aumentando los ingresos en un 18% en toda la cuenca, o cultivando especies con

MNAE superior a $545.000 / ha, o bien con un subsidio de 50% a todas las obras incluidas.

Lo anterior muestra que la realidad local será la que decidirá sobre cada una de las mejoras que finalmente se implementen, sin embargo, se observa que son sustanciales las mejoras de demanda suplida que se logran con la sola tecnificación del riego, de modo que ésta pasa a ser una recomendación para esta cuenca.

10.2.7 Recomendaciones

Del análisis efectuado se desprenden las siguientes recomendaciones:

1. La cuenca del Limarí está gestionada en forma muy eficiente desde el punto de vista del aprovechamiento de los recursos hídricos superficiales. En cuanto a los recursos subterráneos, hay cierta resistencia a aceptar la constitución de derechos en los acuíferos ligados al río. Por un lado, no hay estudios hidrogeológicos que avalen cualquier medida (con excepción del estudio del Huatulame recientemente terminado), pero por otro lado, la explotación de acuíferos ligados al río puede tener efectos sobre los recursos superficiales. Este hecho también ha inhibido a la administración para constituir nuevos derechos subterráneos.

2. En efecto, en esta cuenca, para la mayoría de los acuíferos no parece recomendable sugerir su explotación permanente a través de nuevos derechos. Sin embargo, los acuíferos debieran estar habilitados por lo menos como para paliar las sequías.

3. A nivel global, sólo podría aprovecharse mejor el caudal de 1 m3/s que escapa al mar como flujo base. Para ello se ha propuesto dar más derechos subterráneos aguas abajo del embalse Paloma.

4. El hecho de la afectación que los derechos subterráneos significan para los derechos superficiales, no debiera ser una causal para dejar de aprovechar el potencial de almacenamiento subterráneo. Esta realidad, en que un uso gestionado y razonable del acuífero puede ser una buena solución al menos para paliar los momentos de sequía, debiera analizarse bajo el prisma de constituir derechos, pero condicionados a restituir las aguas del cauce en el momento en que esto sea necesario.

5. Al respecto, la DGA debiera considerar la posibilidad de constituir derechos condicionados, condicionando su uso a dos eventualidades, dependiendo de la ubicación de los pozos. En los acuíferos grandes bajo el Paloma, los derechos debieran estar condicionados a la reposición de una eventual merma a derechos superficiales. En los acuíferos pequeños, el uso de acuíferos debiera estar condicionado a los eventos de sequía.

6. Hay algunas medidas que se pueden sugerir para aumentar la eficiencia de uso a nivel local y medio. La medida que más claramente se desprende del análisis es la tecnificación del riego. Se observa en la realidad, que se están aplicando medidas que buscan hacer un riego cada vez más científico. Al respecto, se señalan diferentes formas de lograr esto, en el Capítulo 4.2.6.

7. También podría pensarse en entubar canales. Esto sería especialmente necesario en los sectores sobre embalses, donde las pérdidas con muy grandes, pero también en los sectores bajos, donde el agua es mucho más escasa. Para lograr lo anterior, es importante fomentar el paso desde un sistema de canales abiertos y revestidos hacia un sistema de canales entubados, que, como se ha visto, presentan múltiples ventajas frente a los primeros. Esta medida, sin embargo, en el caso de esta cuenca resulta más difícil de justificar económicamente que la tecnificación del riego.

8. En este sentido, hay un desafío para la CNR, que debiera focalizar recursos hacia los entubamientos. Es necesario fomentar el paso desde un sistema a otro en los concursos de la ley 18450.

9. Para el funcionamiento óptimo de las aguas potables rurales, es necesario tener una forma de cobrar por los servicios prestados. La actual organización de ellas en forma de comités, permite soslayar la obligación de pago, lo que atenta contra la sustentabilidad del sistema. Para las APR se sugiere que ellas se transformen en cooperativas, como primera medida esencial para su buen funcionamiento. Posteriormente se podrán estudiar otras formas de optimizar estos servicios.

10.3 CONCLUSIONES CUENCA CHOAPA

10.3.1 Diagnóstico de la eficiencia física en el uso del agua

Las conclusiones que aquí se presentan, se desprenden de los Capítulos 7.5 a 7.9, de diagnóstico, y 8, operación de los modelos de simulación, donde están presentados todos los aspectos con gran detalle. En resumen, las conclusiones del diagnóstico son las siguientes:

1. En la cuenca del Choapa hay 14.328 hectáreas bajo sistema de riego, hasta 2001, distribuidas en la cuenca como se señala en el Cuadro 7-26. Estas áreas se identificaron, por paños, tanto en la imagen satelital como en las fotos aéreas. En la actualidad (2005) hay al menos unas 465 ha adicionales, plantadas con frutales, las que se identificaron en los viajes a terreno.

2. En la cuenca del Choapa predominan fuertemente los cultivos de forraje Al respecto, se observa que en la cuenca, la mayor parte del terreno cultivable (40%) está cubierta con pastos que se riegan. Otro porcentaje importante (13%) está dedicado a los cultivos de alfalfa y pradera. Esta realidad es una consecuencia de la baja seguridad de riego con que cuenta la cuenca.

3. Un 24% del terreno se ocupa en cultivos anuales de chacra y hortalizas, mientras que un 8% se usa para cultivos anuales, fundamentalmente trigo. Un 5% se usa para viña, muy preponderantemente pisquera, otro 5% para frutales (predominan los damascos, nogales y paltos, con áreas similares), y hay un 2% del área cubierta con bosques, preponderantemente de eucaliptos. Todos los cultivos se observan en todo el valle, con excepción de las vides y hortalizas como tomate, melón y sandía, que no se encuentran en el Choapa Bajo, debido a las características del clima. Según se pudo apreciar en terreno, aumentan las áreas de paltos y cítricos, como en las demás cuencas de la región, y también los nogales. Los frutales están distribuidos por toda la cuenca.

4. Se observa que en el período de análisis, las áreas tecnificadas son incipientes y muy menores dentro de la cuenca, alcanzando sólo el 1% hasta el año 2001. Las grandes áreas nuevas de ampliación de cultivos, unas 465 ha que se han instalado después de 2001, son casi todas tecnificadas, con lo que el porcentaje de áreas tecnificadas en la cuenca aumenta a un 4%.

5. La eficiencia de riego, de 34% ponderada, pero muy similar a lo largo de toda la cuenca, refleja muy claramente el hecho de que una gran parte del área cultivada de esta cuenca se riega por surco y tendido. Por otra parte, la eficiencia total desde la bocatoma (22%), refleja la gran ineficiencia de conducción que se suma a la anterior.

6. Se observa que, en general, la dotación de acciones por hectárea es muy pareja en toda la cuenca. Hay una dotación entre 1 y 2 acciones por hectárea, salvo una excepción, que es el sector 7 del río Choapa alto, bajo Quelén, que cuenta con más acciones (2,93

acc/ha). Esta dotación tan pareja de agua para las tierras regadas, es un resultado de la reforma agraria, al igual que la fuerte atomización de la propiedad del terreno.

7. El comportamiento de las zonas de riego es muy diverso entre años húmedos, y normales a secos. Aproximadamente la mitad de los años (5 de 10) son relativamente secos hasta muy secos.

8. El análisis de los caudales requeridos y recibidos para el riego muestra que los caudales solicitados a nivel raíz de toda la cuenca estudiada, es de 3,9 m3/s. No obstante ello, la ineficiencia de riego hace que la demanda a la entrada de las zonas de riego suba a 7,9 m3/s, lo que es el doble que lo anterior. Los caudales superficiales captados en bocatoma, según desmarques, son aún mucho mayores, llegando a un promedio de 13,9 m3/s, de los cuales llegan a las zonas de riego, después de las pérdidas de conducción, sólo 10,9 m3/s. Además, llegan a las zonas de riego aprox. 0,2 m3/s de aguas subterráneas. Así y todo, la demanda no es suplida adecuadamente, solamente 6,35 m3/s de los 7,8 m3/s requeridos, porque el agua no es entregada en el momento de la demanda. A nivel de raíz, sólo 3,0 de los 3,9 m3/s requeridos son entregados. Hay mucha agua entregada en invierno, que no cubre ninguna demanda.

9. En consecuencia, la superficie que se asumió como cultivable, tiene una muy baja seguridad de riego, de alrededor de 40%. De hecho, sólo alrededor de un 60% de la superficie puede regarse con una seguridad razonable de 85%. El resto del área, esto es, las praderas y pastizales, tiene riego eventual.

10. Lo anterior muestra que la calidad de riego permanente o eventual no depende de la calidad de los derechos, sino que la efectividad con que ellos pueden ser obtenidos. De este modo, aunque todos los sectores tienen derechos permanentes, el riego tiene carácter de eventual para más de un tercio del área regable.

11. En años normales a húmedos, hay una gran cantidad de sectores que ven suplidas todas sus demandas, incluidas las grandes ineficiencias en la aplicación del riego. Debido a que en las tres subcuencas, Choapa, Chalinga e Illapel, los sistemas de riego son lineales en relación con los cauces, las ineficiencias locales permiten el reúso de los recursos hídricos aguas abajo. En general, el sistema del Illapel tiene mejores coberturas que el Choapa.

12. En años secos, la situación cambia bastante, notándose por un lado, la falta de regulación, y por otro lado, la falta de acceso al almacenamiento natural provisto por los acuíferos.

13. En promedio, se observa que las cantidades de agua que requieren las zonas de riego, son suplidas en porcentajes que varían, como promedio anual, entre 67,4 y 98,6 %. Los sectores más favorecidos son los sectores 7 y 8 del Choapa Alto, y algunos sectores del río Illapel, vale decir, Illapel arriba de Carén, Illapel arriba de Cárcamo y El Peral, tienen pocos años fallos (los de la sequía). Las zonas más desfavorecidas son las zonas

6 (Quelén), 11 a 13 (río Chalinga), Cuncumén, el río Choapa bajo Chalinga hasta junta con Illapel, el estero Carén y el río Choapa bajo junta con Illapel, con muy bajas seguridades de riego especialmente en estiaje. Para estos sectores, hay una gran cantidad de años fallos. De hecho, todos los años secos y normales son fallos, sólo no son fallos los años húmedos. Esto significa que en la realidad se riega sólo una parte de ellos, debido a la falta de regulación y a la falta de derechos subterráneos.

14. Las únicas zonas que salvan la escasez en períodos de sequía, son los sectores del río Illapel bajo la ciudad de Illapel, donde hay pozos para riego, los que se usan para suplir los déficits.

15. Al respecto hay que señalar que sólo se pueden usar pozos donde hay derechos de agua subterránea. En las zonas donde no figuran pozos como fuente, es porque no hay derechos de agua subterránea. Todas las zonas que tienen pozos de riego, buscan mejorar su seguridad con aguas subterráneas. Pero los derechos hasta este momento son muy pocos, o cero, constituyendo una limitante al desarrollo. Todas las zonas recurrirían al agua subterránea si tuvieran más derechos.

16. El temor de que la explotación de aguas subterráneas afecte el agua de los cauces, y con ello los derechos superficiales, ha inhibido a la administración para constituir nuevos derechos subterráneos. Se ha desaprovechado así el potencial que representan las aguas subterráneas, las que en esta cuenca no son despreciables, y también el gran potencial de recarga que tiene esta cuenca. Un uso gestionado y razonable del acuífero puede ser una buena solución para el riego del valle, como se analiza en el presente estudio.

17. Los acuíferos totalizan un volumen estimado en 607 millones de m3, de los cuales 387 se encuentran en el Choapa arriba del Illapel, cerca de 90 en el río Chalinga y cerca de 90 en el río Illapel.

18. El análisis de la interacción entre aguas superficiales y subterráneas muestra claramente que, con la excepción del sector de Quelén y la cabecera del Chalinga, todos los demás sectores acuíferos no reciben recargas, por encontrarse siempre llenos. El agua disponible para recarga, que proviene de distintas fuentes como percolaciones del riego, pérdidas de canales e infiltración desde el lecho, es rechazada en todos estos sectores durante gran parte del tiempo.

19. A la fecha del presente análisis, los derechos subterráneos que están constituidos para riego en la cuenca son muy pocos, 1,357 l/s en total. De éstos, en los acuíferos 5, 7, 8 y 9, hay 560 l/s constituidos a nombre de la minera Los Pelambres, que debieran ser destinados a riego cuando el río Choapa en Cuncumén baja de 1260 l/s, lo que no ha ocurrido nunca hasta este verano de 2005/6. De este modo, y por el solo hecho de no cumplirse tal condición, no se ha usado el agua subterránea en la cuenca, ni aun en épocas de gran escasez. Los derechos constituidos para particulares, destinados a riego, son solamente 797 l/s en toda la cuenca.

20. En casi todos los acuíferos hay pozos de agua potable rural, los que captan caudales muy pequeños. Los únicos acuíferos que tienen explotaciones dignas de mencionarse, son el acuífero 3 (Cuncumén), donde hay derechos por 133 l/s para uso minero, y el sector 24 (frente a Illapel), donde hay una explotación de 41 l/s para agua potable. El uso de los derechos para riego, todos con un tope bajo los 205 l/s, se concentra en los sectores 16 y 17 (Choapa entre estero Camisas y Puente Negro), 25 (Illapel en el Peral) y 28 (Huentelauquén).

21. Se observa que los únicos acuíferos que denotan alguna variación de niveles en la situación de explotación actual, son el acuífero 11 (cabecera Chalinga), y el acuífero 25 (Illapel aguas abajo de la ciudad de Illapel). En el primer caso, se debe a la variación de caudales de entrada que se producen en la cabecera del Chalinga, pues no hay pozos de explotación en este acuífero. En el segundo caso, las variaciones se deben a la intensificación del bombeo en los estiajes del período de sequía.

22. La fuente más importante para alimentar los acuíferos la constituye, para el río Choapa, el agua del cauce, porque el río alcanza caudales importantes. En el caso de los ríos Chalinga e Illapel, el río tiene una importancia bastante menor, y la fuente de recarga más importante la constituye el riego.

23. En los ríos Illapel y Chalinga, las recargas disponibles para los acuíferos son pequeñas, mientras que para el Choapa son grandes, como se puede ver en el Cuadro 8-38. Sin embargo, en todos los casos ocurre que las recargas disponibles se transforman en afloramientos, porque los acuíferos están siempre llenos y rechazan la recarga. Las excepciones son el acuífero de Quelén, y la cabecera del Chalinga, donde los acuíferos reciben las recargas disponibles. También aceptan recarga los acuíferos más explotados, que son los de aguas arriba y aguas abajo de la ciudad de Illapel

24. El bajo grado de aceptación de recarga disponible, o recarga neta, se debe al bajo grado de explotación de todos estos acuíferos, lo que contrasta con un alto potencial de recarga, más grande en el Choapa que en el Illapel y Chalinga. Las posibilidades de una mayor explotación se analizan en el Capítulo 8.3.8, acuífero por acuífero. Se llega a la conclusión de que en todos los acuíferos es posible aumentar los derechos, salvo en Quelén y en Chalinga alto. Estos derechos tendrían un grado de explotación o factor de uso muy bajo en el Choapa, y más grande en el Illapel y Chalinga.

25. En esta cuenca actualmente no hay una distorsión de la asignación de derechos. La asignación actual de derechos es muy equitativa en cuanto a acciones / hectárea, porque proviene de una asignación 1/1 de tierras y aguas que se efectuó con ocasión de la reforma agraria. Sin embargo, ello no significa que no sea conveniente, de todas formas, flexibilizar las entregas hacia las demandas una vez que estén operando los embalses.

26. El caudal promedio de 4,6 m3/s, utilizado consuntivamente por todos los usos presentes en la cuenca, tiene una probabilidad de excedencia de unos 91%, es decir, es un caudal

muy pequeño. Sin embargo, para contar con ese caudal hay que sumar pérdidas por 10,6 m3/s más, lo que totaliza un caudal de 15,2 m3/s. Este caudal tiene una probabilidad de excedencia de 52%.

27. Lo señalado muestra dos cosas. Por un lado, la falta de regulación se percibe en el hecho de que el caudal que se consume en la cuenca es muy pequeño, es decir, tiene una alta probabilidad de excedencia. Por otro lado, también se percibe la falta de regulación en el hecho de que el caudal de que hay que disponer para usar el caudal 91%, es un caudal 50%, significativamente más grande, lo que muestra el grado de ineficiencia en el uso del agua.

28. Como promedio anual, en años normales a secos, se tiene que de todo el caudal utilizado (consumido más entregado al mar), sólo un 30% es usado consuntivamente en la cuenca. En años de sequía, este valor aumenta al 72%

29. El factor de reúso global en un año promedio es de 1,05. El factor de reúso total del agua en la cuenca en años normales a secos, llega a 1,6, es decir, es relativamente bajo. En años secos, el factor de reúso global sube a 1,8, y el factor de reúso total sube a 2,7, con el consiguiente aumento de la eficiencia global de uso.

30. Todo lo señalado muestra en forma bastante clara que el valle requiere el acceso a una regulación. Recientemente se incorporó el embalse Corrales, luego lo hará el embalse El Bato, pero también es posible acudir fuertemente a los acuíferos, lo cual se desprende en forma concreta del presente estudio. Las limitantes para esto no son hídricas, sino que económicas, como se analiza en los Capítulos 8 y 9.

31. Para el uso de agua potable urbana, el porcentaje de uso de los derechos varía entre 37% para Illapel y 65% para Salamanca. Las pérdidas que registran los servicios varían entre 22 y 31%, valores bastante clásicos dentro del concierto nacional.

32. El APR no cuenta con derechos constituidos, éstos están en proceso de regularización.

33. El APR está constituido por comités sin facultad de cobro, esperan poder transformarse en cooperativas.

34. La dotación media que se observa para las localidades rurales es de 47 l/hab/día.

35. La gran minería usa en forma consuntiva unos 600 l/s, con un total de derechos de 1233 l/s en la cuenca.

10.3.2 Diagnóstico de la eficiencia económica en el uso del agua

El análisis de la eficiencia económica se efectuó a través de algunos indicadores señalados en el Capítulo 7.7. Para la cuenca del Choapa, y sus diferentes usos del agua, se puede decir lo siguiente respecto de la eficiencia económica de uso del agua:

1. Sin duda el uso económicamente más eficiente del agua lo constituye la minería. En este uso, el indicador de rendimiento medido en $/m3, entrega valores entre 3 y 90 US$ por m3, para un rango de variación del precio internacional del cobre entre 0,8 y 3 US$/libra.

2. En la agricultura, los rendimientos varían entre 3 y 430 $/m3, dependiendo del cultivo. Los cultivos como praderas y pastizales, que usan mucha agua y generan bajos retornos, aún predominan en esta cuenca, con un 40% del área.

3. En cuanto a la eficiencia económica, se obtienen los siguientes valores de los indicadores económicos definidos para la agricultura, a nivel de mesozonas y cuenca completa:

Cuadro 10-3
Indicadores de eficiencia económica cuenca Choapa

Indicadores de eficiencia económica	MZ 1	MZ 2	MZ 3	MZ 4	MZ 5	MZ 6	Cuenca
Eficiencia económica observada promedio ($/m3)	34.9	25.4	26.4	39.2	56.9	25.5	36.6
% de eficiencia en relación al potencial máximo	5%	3%	4%	6%	9%	5%	6%
Desviación estándar de la eficiencia ($/m3)	58.6	58	31.4	69	97.4	29.8	63.5
Coef. de variación de la eficiencia observada %	168%	229%	119%	176%	171%	117%	174%

Se observa que el indicador $/m3 a nivel de cuenca llega a 37, con una variabilidad alta, de 174% expresado como coeficiente de variación, y como 63,5 $/m3, expresado en las unidades del indicador. La variabilidad es mucho más alta que en las otras cuencas, y la eficiencia económica en $/m3 es mucho más baja, lo que muestra que hay mucho potencial de crecimiento económico en esta cuenca.

4. El incremento de productividad agrícola entre el censo de 1997 y la actualidad (2005) se estimó en un 7,4%, producto de un leve aumento de áreas y algún cambio de

cultivos. Se aprecia que el valle se presenta casi sin tendencia, más bien estable y sin avance, mostrando una situación de relativo estancamiento en comparación con lo que sucede en los otros valles de la Región.

5. En efecto, la cuenca del Choapa se encuentra hoy lejos de su potencial económico, en parte debido a la baja seguridad de riego por ausencia de regulación y limitado acceso a los acuíferos, en parte debido a una total atomización de la propiedad agrícola, en parte debido a un problema de aislamiento físico, y en parte debido a un problema cultural.

6. En cuanto al uso de agua potable, la eficiencia de uso está asegurada a través del sistema legal que rige esta actividad, y que está basado en prestadores empresariales, tarifas a costo real, subsidio focalizado y un estado fiscalizador más que prestador del servicio.

10.3.3 Diagnóstico de la eficiencia administrativa en el uso del agua

La eficiencia en la administración del agua tiene relación directa con los temas de organización para la distribución y explotación del recurso, con la asignación y reasignación de derechos, y con la constitución y gestión de los derechos por parte de la administración Al respecto de la distribución, la DOH ha desarrollado un programa de fortalecimiento de organizaciones de usuarios, el que, sin embargo, no ha estado disponible como documento escrito. Lo que se expone a continuación, se ha obtenido en base a lo consultado y observado en terreno, y también en base a los antecedentes recolectados.

1. Al respecto de la distribución, la DOH ha desarrollado un programa de fortalecimiento de organizaciones de usuarios, el cual estuvo destinado a educar a las organizaciones en el sentido de hacer un buen uso de las grandes obras de riego que venían. Una gran parte de ese programa consistió en hacer mejoramientos de las obras de toma de los canales, instalándoles marcos aforadores de escurrimiento crítico. Por lo tanto, la infraestructura a nivel de río en general está bien concebida y en buen estado. No es una infraestructura que permita en forma ágil el traslado de los derechos, sin embargo el traslado ágil de los derechos tampoco es una realidad aún en esta cuenca. Lo primero fue poder medir y distribuir adecuadamente el agua del río entre los canales participantes.

2. La distribución dentro de los canales es bastante rudimentaria aún, sólo el canal Buzeta tiene compuertas de metal en todas las tomas. Los demás canales tienen aún muchas tomas de madera y simples tacos, que no permiten una medición precisa de los caudales.

3. No obstante todo lo señalado, ha habido ventas y traslados de derechos cuando hay un interés real. Por ejemplo, se han instalado en la cuenca algunos inversionistas, que han reparado y alargado canales, han modificado tomas, han comprado y arrendado acciones, de modo de surtirse del agua necesaria. Es por esto que se ha dicho que en la

cuenca del Choapa el mercado funciona plenamente, como en todo el país, aunque naturalmente esto no se refiere a un intercambio rápido y ágil del agua ni de las acciones.

4. La opinión generalizada es que el mercado comenzará a operar cuando haya más agua, con los embalses. Hasta ahora no hay una forma clara de medir los sobrantes que se pudieran transar.

5. De todas formas también es necesario constatar que el mercado del agua no es fomentado en la cuenca, lo que constituye una de las razones por la cual no se ha activado. En la actualidad, las organizaciones de usuarios no fomentan en absoluto la posibilidad de intercambio, porque conlleva una gran cantidad de adaptaciones necesarias de la infraestructuera y de los turnos. Las organizaciones, en general ancladas a una infraestructura rígida, por un lado, por otro lado a la costumbre ancestral de adaptar la demanda a la oferta, y finalmente, entrampadas en la escasez de recursos económicos como para adaptar y mejorar su infraestructura en el sentido de facilitar los intercambios, siguen un esquema de asignación rígida.

6. El estado de la infraestructura de canales se consigna como bastante malo en general, con grandes pérdidas. Las pérdidas dentro de los canales preocupan a los usuarios de algunos canales, donde ocurre que no llega el agua hasta el final (canales Araya, Barraco). Especialmente hay muchas pérdidas en los cruces de quebradas, donde se observa grandes paños de vegetación natural beneficiándose de estas filtraciones.

7. La forma de abordar este tema es a través de la ley de fomento al riego de la CNR, los subsidios de INDAP y del SAG, a los que, en efecto, muchos usuarios han optado alguna vez. Al respecto, es necesario señalar que debieran preferirse los entubamientos por sobre los revestimientos, especialmente en la cuenca del Choapa, donde con ello no se afecta ningún acuífero.

8. En cuanto a las organizaciones de usuarios, tanto las juntas de vigilancia como las comunidades de agua y sus respectivas directivas tienen una aceptación en general buena. Actualmente aspiran a manejarse en forma más técnica. El problema para las directivas de comunidades de nivel medio es la baja participación de los usuarios, especialmente los de bajos recursos, que no llegan a las asambleas para no pagar sus cuotas, y con ello obligan a los más grandes a pagarles sus cuotas para mantener en funcionamiento el canal.

9. En cuanto a las juntas de vigilancia, en esta cuenca hay tres, las de Choapa, Chalinga e Illapel. También hay un Asociación de Canalistas de la 2ª sección del Illapel, que está en conflicto con la Junta de Vigilancia del Illapel. La Asociación alega legalidad y un 75% de los derechos de agua, mientras que la Junta de Vigilancia del Illapel le reconoce un 20% del río. Esta situación está pendiente de solución, porque tampoco la DGA ha tomado medidas definitorias al respecto.

10. En cuanto a la claridad de las inscripciones de derechos, todos los derechos superficiales están registrados en las Juntas de Vigilancia, y son operados por ellas desde hace décadas, de modo que no hay posibilidad de doble inscripción, ni de falta de regularización. La asignación de derechos está muy clara, las Juntas de Vigilancia tienen tuición completa sobre los derechos superficiales permanentes que se distribuyen en la cuenca.

11 En relación con las aguas subterráneas, es muy bajo el grado de explotación de esta fuente. Los que tienen norias o pozos para apoyar el riego son la excepción. Los únicos derechos subterráneos importantes son los que tiene la empresa minera a lo largo del valle del Choapa, para restituir aguas al río en caso de que el caudal natural en la toma Totoral signifique una merma mayor. Estos derechos, sin embargo, están sin uso. Recientemente han entrado inversionistas que solicitan caudales importantes de derechos subterráneos, impulsando justamente la evolución que este valle busca tener.

12. La actitud de la administración central (DGA), de no constituir derechos subterráneos en el valle del Choapa, debe ser revisada. Los derechos constituidos son muy pocos, mucho menos que en el valle del Elqui, por ejemplo, y esto, en circunstancias de que el acuífero es mucho más significativo. La DGA desea hacer un estudio más profundo de los acuíferos de la cuenca del Choapa, para el cual se adjuntan los términos de referencia en el Capítulo 11.2. Además, el presente estudio entrega valores preliminares de cómo y cuánto aumentar la explotación de estos acuíferos. Los valores son preliminares en el sentido de que van por el lado de la seguridad, y están basados en suposiciones muy conservadoras. Estos valores pueden dar una vía de acción a la autoridad en forma anterior al término del nuevo estudio

13. El uso del acuífero en esta cuenca puede ir más allá de ser un complemento al agua superficial solamente en sequías, debido al potencial de recarga no despreciable que se pierde año a año al mar.

14. En el momento en que el acuífero llegue a bajar de nivel, lo que ocurrirá fundamentalmente sólo en sequías, comenzará a cobrar realidad la tan mentada gestión integrada, en que temporalmente se surtirá los déficits superficiales desde los acuíferos, haciendo uso de este almacenamiento natural totalmente subutilizado hasta la actualidad.

15. El concepto de mantener los acuíferos siempre llenos para no afectar los derechos superficiales, no aprovecha los almacenamientos disponibles, no permite el desarrollo del valle, y no admite como opción la gestión integrada.

10.3.4 Diagnóstico de la eficiencia ambiental en el uso del agua

De acuerdo con todo lo señalado antes, la calidad de las aguas en la cuenca del Choapa está condicionada por los siguientes usuarios, en la forma que se expone a continuación:

a) Calidad natural y minería

Esta cuenca presenta el efecto tanto natural como antropogénico de la minería. Las mineras están dispersas en toda la cuenca, pero tienen dos puntos focales de contaminación: en el estero Aucó, donde hay una gran concentración de trapiches activos y paralizados, y en Pelambres. Pelambres se encuentra en la situación de que sus ineficiencias ambientales son diluidas por los ríos Pelambres y Cuncumén antes de llegar al Choapa. Las mineras de Aucó, por el contrario, tienen efectos más trascendentes, porque afectan el acuífero.

Los afluentes de cabecera, Choapa, Illapel y Chalinga, aportan aguas de buena calidad, pero con frecuencia traen aportes de hierro y manganeso que superan los límites de las normas, y que persisten hacia aguas abajo. Este aporte se asocia con la minería actual y antigua, pues hay fuentes dispersas en toda la cuenca, que aportan estos metales por lixiviación. Ocasionalmente estos ríos traen aportes de molibdeno por sobre la norma. En el río Choapa, también el aluminio supera el límite de las normas con alguna frecuencia. El aluminio proviene de la cordillera, pero también se agrega en el trayecto hacia aguas abajo.

En estos aportes de cordillera, los pH cumplen con las normas, las conductividades son muy bajas. El cobre y boro, y el aluminio en las demás cuencas, si bien están presentes, no superan las restricciones de las normas.

En las aguas del río Pelambres hay elevadas conductividades (800 a 1200 umhos/cm), y elevados contenidos de cobre, manganeso, hierro y sulfatos, todos muy por sobre los límites de las normas. No obstante ello, estos aportes son en gran medida diluidos antes de llegar al Choapa.

En las aguas del estero Aucó, se observa conductividades muy altas (entre 800 y 1600 umhos/cm), y concentraciones de sulfatos por sobre las normas, asociados a la minería, pero cuyo efecto es diluido en las aguas del Illapel hasta valores que cumplen las normas.

Las aguas subterráneas presentan concentraciones más elevadas de macroelementos, lo que redunda en conductividades mayores, entre 800 y 1000 umhos/cm. Sin embargo, sólo se exceden sistemáticamente las normas del sulfato, y sólo en las aguas subterráneas del acuífero de Illapel. Ocasionalmente las aguas subterráneas exceden las normas de agua potable en cuanto a hierro y manganeso (éste último sólo Choapa), y muy ocasionalmente en molibdeno, como ocurre con las aguas de toda la cuenca.

Otros microelementos limitados por las normas, como selenio, plata, plomo, níquel, cromo, zinc y cobalto, no presentan valores superiores a los límites en ninguna parte.

Tranques de relaves

Entre los temas resentidos por los usuarios en relación con el medio ambiente, están las bajadas de sedimentos que se producen con ocasión de las grandes lluvias desde los tranques de relaves repartidos por toda la cuenca. Estos tranques son erosionados por las lluvias, sin que

nada se haya hecho al respecto. Las mineras, actuales o antiguas, dejan sus tranques de relaves sin protección y expuestas a la destrucción por parte de los sismos y de las lluvias, las cuales someten a procesos de lixiviación los metales ahí presentes, fundamentalmente hierro, manganeso y molibdeno. Hay 86 depósitos mineros, de los cuales 82 son tranques de relaves, en toda la cuenca del Choapa.

De este modo, la minería es un usuario no eficiente ambientalmente, en especial por sus "pasivos" que son los tranques de relave, que se distribuyen en toda la cuenca. Sin embargo, la calidad del agua del Choapa no se puede atribuir solamente al efecto antrópico de la minería, sino que en parte también al efecto natural de la mineralización de la zona.

b) Agricultura

La agricultura se considera un contaminador potencial de fertilizantes (nitratos), y de pesticidas / herbicidas. También hay una incipiente inquietud respecto de la potencial generación de erosión que pueden significar las expansiones del terreno agrícola hacia las laderas de los cerros, con la eliminación de la vegetación natural y el establecimiento de camellones.

Con respecto a los nitratos, en ninguna parte de la cuenca se registra valores que pudieran ser catalogados como contaminantes. No hay estudios específicos al respecto, porque en realidad los valores existentes no muestran exceso de nitratos ni en las aguas superficiales ni subterráneas. Tampoco es posible identificar tendencias de alza el comportamiento de los nitratos.

En cuanto a los plaguicidas, hubo una campaña del SAG en que se midió contenidos de plaguicidas en ríos y canales, con el resultado de que una sola vez en un solo canal se registró la presencia de un plaguicida. Esto, más que a las prácticas agrícolas propiamente tales, se podría atribuir a las malas prácticas de uso de los canales.

c) Aguas servidas

En la cuenca del Choapa, todos los efluentes de aguas servidas de las localidades urbanas, son tratados.

LA SISS es la encargada de fiscalizar las emisiones de las plantas de tratamiento de las empresas sanitarias del país. De acuerdo con la información recabada en la SISS, los efluentes de las plantas de tratamiento cumplen a cabalidad con las normas de emisión vigentes en la actualidad. Las plantas de aireación, concebidas para cumplir con las normas NCh 1333, para todo uso, así lo han hecho hasta el momento. Tienen plazo hasta Septiembre de 2006 para adaptarse a la nueva normativa del DS 90, que es más rigurosa. Las plantas más nuevas, de lodos activados, están diseñadas para cumplir con el DS 90, desde sus inicios.

Gracias a las estrictas normativas vigentes y a la forma en que se manejan los objetivos ambientales dentro de la ley sanitaria, a través del cumplimiento obligado de los planes de desarrollo por parte de las empresas, el usuario de agua potable se ha transformado en un usuario ambientalmente eficiente.

d) Usuarios no tradicionales

Entre éstos han cobrado cierta relevancia los tres siguientes:

Contaminación de canales en localidades rurales
Entre los usuarios hay algunas experiencias negativas con la contaminación del agua de los canales por parte de residuos domésticos, donde ellos pasan cerca de localidades o casas. Aparentemente es una práctica usual, como en todo el país, aprovechar los canales para deshacerse de desechos y basuras cuando pasan cerca de casas. El problema se aprecia en los alrededores de Illapel (Asiento Viejo), Santa Rosa (cerca de Salamanca) y otros. Este es un tema que debe ser abordado a través de la educación, y en forma intensiva y pronta, pues no sólo afectan la calidad de las aguas de riego para el uso interno, sino que además invalidan las buenas prácticas que aplican los agricultores enfocados a la exportación. En el contexto de los tratados de libre mercado, este tema es inadmisible y debe ser corregido.

Contaminación con sales desde los caminos
Algunos agricultores, aunque en minoría, advierten sobre el uso de sal para pseudopavimentar los caminos. Ellos opinan que estas sales se diluirían con las lluvias, y serían arrastradas hacia los terrenos cultivados.

Basurales
Un tema ambiental no menor lo constituyen los basurales. Aunque no tienen su primer y más importante impacto sobre las aguas, sino que sobre la calidad de vida de la población aledaña, y sobre la calidad paisajística del entorno, también pueden generar un problema de contaminación del agua, especialmente del agua subterránea. Este problema se detecta sobre todo en el río Illapel y en las quebradas adyacentes.

En esta cuenca aún no se percibe una preocupación por lo que podría pasar con las laderas que se cultivan, que quedan fuertemente expuestas a la erosión.

10.3.5 Conclusiones sobre la operación de escenarios

Del análisis de los diversos escenarios con el modelo de simulación, se desprenden las siguientes conclusiones:

1. El escenario base, en que se incluye el embalse Corrales, muestra que la mejor forma de sacar partido al embalse es hacer una entrega según demandas, en vez de desmarques. En esta forma, se evita las entregas de invierno, que van a dar al mar. Para operar de esta forma, es conveniente expresar los derechos como volúmenes anuales.

2. Es necesario permitir la movilidad total de los derechos, de modo que ellos puedan ser entregados donde se los requiera.

3. La demanda actual de las 14.793 ha, en las condiciones actuales de tecnificación, que son mínimas, puede ser totalmente suplida obteniendo las aguas deficitarias desde los acuíferos (Operación 1). Esta explotación no tendría efecto sobre los niveles de los acuíferos, salvo durante las sequías.

4. En las condiciones actuales de tecnificación y eficiencia de conducción, en todos los acuíferos se puede permitir una explotación que cubra la demanda actual de agua. De hecho, se puede constituir todos los derechos considerados hasta Abril 2005, que fueron los que se incluyeron en este estudio, y más también, como se explica en detalle en el capítulo 8.3.8, sin importar su factor de uso.

5. La tecnificación de todos los cultivos menos praderas, y el entubamiento de canales (Operación 2), son medidas técnicamente factibles, no afectan los acuíferos en el contexto de los derechos subterráneos actuales, y permiten aumentar las seguridades de riego de todos los sectores, pero no son una solución para eventos de sequía.

6. La coexistencia de tecnificación del riego en cultivos que no son praderas, entubamiento de canales y liberación de todos los acuíferos para suplir los déficits remanentes (Operación 3), es bien tolerada por todo el sistema, salvo por el acuífero 6 (Quelén), que vive de las percolaciones del riego y sin ellas se deprime sin retorno, y el acuífero 11 (cabecera del Chalinga), que llega a un nuevo estado de equilibrio. El acceso a los acuíferos en todo el resto del valle permite suplir las necesidades en sequías.

7. Al ampliar las áreas en un 20% en forma pareja en toda la cuenca, tecnificando todo lo que no es pradera y entubando todos los canales (Operación 4), pero sin aumentar el acceso a los acuíferos, el escenario es técnicamente viable. Pero no se aprovechan los acuíferos, y no se suplen las demandas durante las sequías.

8. Al permitir además el uso de los acuíferos, el escenario aún resulta viable, y se suplen las demandas en sequías.

9. La amplificación de tranques nocturnos es técnicamente viable, pero no soluciona los déficits de demanda en épocas de sequía.

10. El embalse El Bato mejora la situación de satisfacción de demandas en el valle del Illapel bajo Huintil. Es técnicamente viable, aunque no rentable.

11. Al ampliar las áreas en un 40% en forma pareja en toda la cuenca, tecnificando todo lo que no es pradera, entubando todos los canales y permitiendo el acceso libre a los acuíferos para suplir los déficits que aún se producen (Operación 8), el escenario

resulta técnicamente viable. Se aprovechan los acuíferos y se suplen todas las demandas durante las sequías.

12. En este escenario, las demandas resultantes hacia los acuíferos se pueden traducir en derechos, para permitir el acceso a este almacenamiento. Los derechos que podrían constituirse en los acuíferos de la cuenca del Choapa, son los que se presentan a continuación, y no constituyen el límite de lo que los acuíferos podrían entregar. Para conocer el límite de los acuíferos, habría que seguir generando demandas hasta llegar a una situación inviable, situación que no se exploró en el presente estudio.

Acuífero	Derechos registr. abril 2005	Peak máx. probado seguro	Recarga potencial segura	Derechos sugeridos	Base
Choapa Alto	0.845	4.611	26.161	**4.60**	**Peak real probado**
Chalinga	0.010	1.548	0.7 a 0.3	**0.30**	**Recarga segura**
Choapa Medio	0.311	4.609	6.5 a 4.9	**4.60**	**Peak real probado**
Illapel	0.454	2.038	1.7 a 1.0	**1.00**	**Recarga segura**
Choapa Bajo	0.201	1.076	2.6	**2.60**	**Recarga segura**
Total	**1.821**	**13.882**		**13.10**	

Los derechos sugeridos están basados en criterios totalmente seguros, y además son preliminares, puesto que debieran ser validados y muy probablemente aumentados a partir de un estudio hidrogeológico que precise las dimensiones y características de los acuíferos.

10.3.6 Conclusiones de la evaluación económica

En las condiciones actuales de la cuenca del Choapa, se riegan mayoritariamente (50% del área) cultivos muy poco rentables, como praderas. Esto se atribuye fundamentalmente a la falta de seguridad de riego, pero también a otros factores, entre ellos geográficos, de estructura de tenencia de la tierra y de cultura.

En los escenarios de operación se analizaron varias acciones destinadas a aumentar las seguridades de riego. Los resultados obtenidos son los siguientes:

1. Ninguna de las acciones analizadas resulta rentable en base al solo aumento de la demanda suplida. El aumento de la demanda suplida, si bien es sustancial, favorece mayoritariamente cultivos de bajo valor, y no basta para rentabilizar las acciones probadas en los escenarios.

2. Así, se ve por ejemplo, que el embalse Corrales es totalmente no rentable si sólo se busca aumentar la seguridad de riego de los mismos cultivos actuales, sin aumentar su productividad. Rentabilizar el embalse Corrales en su totalidad, significaría aumentar productividad de todo el valle en un 82%, o la del valle del Choapa en un 120% (más que duplicarla), lo que es equivalente a mantener sólo cultivos que renten sobre 390.000 $/ha/año en todo el valle. En las condiciones actuales de cultivos, el aumento de la demanda suplida alcanza a cubrir el 3% del costo del embalse, es decir, se requeriría subsidiar la obra en un 97%. . .

3. Analizando la situación del embalse Corrales fuertemente subsidiado (asumiendo que el fisco subsidiara el 70%), esto exige un aumento mucho menor de productividad por parte de los agricultores particulares, en promedio sólo un 21% sobre el ingreso actual, o de 30% sólo en el valle del Choapa. Este aumento se logra manteniendo cultivos que renten sobre 130.000 $/ha/año.

4. Si se toma como situación base la actual, incluido el embalse Corrales y las mejoras de demanda suplida que él genera, mejorar la situación con acciones adicionales resulta no rentable para todas las acciones tomadas, si sólo se mejora la seguridad de riego de las áreas cubiertas, sin cambiar la productividad o el tipo de cultivo. La única excepción es el escenario de operación 4, en que hay un aumento de áreas de 20%, con tecnificación completa y entubamiento de canales en toda la cuenca. El aumento de área de un 20% con cultivos muy rentables justifica estas inversiones para toda la cuenca.

5. Si se liberan todos los acuíferos (operación 1), el sistema hídrico permite cubrir todas las demandas al 100%, incluso en sequías. El costo de los nuevos pozos y del bombeo que se requiere para cubrir las demandas, eso sí, exige que los cultivos cambien y generen ingresos casi del doble que los actuales, lo que se logra si todos los cultivos rinden al menos 390.000 $/ha/año. Un subsidio del 100% del costo de las obras no alcanza a rentabilizar este escenario. Esto muestra que cuando el agricultor construye pozos, está pensando en cultivos que rentan a lo menos $ 390.000/ha, es decir, frutales.

6. Para inversiones como tecnificación del riego y entubamiento de canales (Operación 2), sin aumento de áreas, siempre es conveniente pensar en unificar canales para su entubamiento. Así, las inversiones de tecnificación y entubamiento para suplir mejor el área actual, para resultar rentables, requieren que se entube canales unificados al menos de a dos, y que se reconviertan los cultivos hacia cultivos que renten al menos $ 390.000/ha/año, con, lo que los ingresos logran casi duplicarse. Alternativamente, este tipo de obra requiere un subsidio de 92%.

7. El escenario Operación 3, donde se combinan las acciones de los escenarios de Operación 1 y 2, resulta altamente no rentable bajo un esquema de cultivos como los actuales. Este escenario se rentabiliza si se procede a una fuerte conversión de cultivos, que logre casi triplicar los ingresos del valle. Esto se logra regando sólo cultivos que renten sobre 550.000 $/ha/año, es decir, frutales, paltos o vid de mesa. Un subsidio del

100% de las obras no alcanza a rentabilizar este escenario, si no se procede a la conversión de cultivos.

8. El escenario de Operación 4 muestra que otra forma de hacer más rentable el valle, además de la conversión de cultivos, es aumentar el área cultivada. En este escenario de aumento de área, las nuevas áreas rentabilizan las acciones necesarias para suplir la demanda (tecnificación y entubamientos).

9. En el escenario Operación 5, en que además de tecnificar y entubar canales, se usan pozos para suplir las demandas no cubiertas en sequías, la rentabilización de esta configuración se logra duplicando los ingresos. Esto requiere que se rieguen cultivos que rentan sobre 500.000 $/ha/año. Este escenario se rentabiliza con un subsidio de 94% a las obras, es decir, requiere necesariamente de un cambio de cultivos.

10. El escenario de Operación 6 incluye la acción de tranques de noche. El aumento de demanda suplida por ellos generado tampoco logra rentabilizar la inversión con la configuración de cultivos actuales. Sin embargo, con un aumento de 20% de los ingresos, se logra justificar económicamente esta acción. Ello equivale a convertir los cultivos menos rentables como praderas y pastizales, a cultivos al menos como cereales, con un MNAE mínimo de 130.000 $/ha/año. Alternativamente, el subsidio requerido sería de 93%.

11. El escenario de Operación 7 muestra que el embalse El Bato tampoco se justifica si sólo se va a regar con mayor seguridad los mismos cultivos actuales, sin mejorar su productividad económica. La inversión completa del embalse El Bato se rentabiliza aumentando el ingreso del valle completo en un 57%, lo que es equivalente a regar cultivos con un MNAE sobre 270.000 $/ha/año, en todo el valle. Sin embargo, como este embalse sólo beneficia las áreas del Illapel, que son pequeñas, se rentabiliza aumentando los ingresos en un 350%, es decir, más que cuadruplicándolos. Dada la configuración actual de los cultivos del Illapel, la conversión de cultivos es necesaria, y también posible.

12. Al considerar que el embalse El Bato podría ser subsidiado en un 70%, la exigencia de aumento de productividad para los agricultores se reduce, pues la inversión del 30% del embalse se rentabiliza aumentando el ingreso agrícola en un 18% en todo el valle, o en 110% dentro del valle del Illapel, lo que es equivalente a regar cultivos con MNAE superior a 120.000 $/ha/año en todo el valle.

10.3.7 Recomendaciones

Del análisis realizado se desprenden las siguientes recomendaciones:

1. Se observa que este valle no puede tener inversiones de mejoramiento de eficiencia si no logra una conversión de cultivos que las justifiquen. De hecho, con la llegada de los

embalses debe promoverse un cambio de mentalidad que logre esta conversión. Una buena forma de lograr esto es apoyar la llegada de nuevos inversionistas, para que puedan dar un ejemplo de rentabilidad en la cuenca, y vencer las limitantes que históricamente han mantenido este valle sin progreso.

2. Cualquier medida de aumento de eficiencia que quiera aplicarse en el valle, es técnicamente viable, pero exige necesariamente un aumento de productividad para resultar económicamente viable. Este aumento se lograría de la forma más directa a través de un cambio de cultivos. Con la actual configuración de cultivos, cualquiera de las medidas de aumento de eficiencia probadas requiere subsidios de más del 90% para poder ser asumida por los usuarios, lo que no parece realmente una solución.

3. En este sentido, es importante que la CNR fomente el entubamiento de canales más que el revestimiento. El entubamiento es una solución integral que permite entrar de lleno a la gestión integrada del recurso hídrico.

4. Una fuente hídrica muy subutilizada en este valle la constituyen los acuíferos. Del presente estudio, y bajo criterios estrictamente conservadores, se desprende la posibilidad de constituir una gran cantidad de nuevos derechos de agua. Si se teme una afectación a los derechos superficiales que captan sus aguas desde el cauce, habrá que constituirlos condicionados. Sin embargo, una eventual afectación de las aguas superficiales no puede ser una causal para “congelar” el almacenamiento subterráneo y no permitir el acceso a él.

5. En este sentido, y para lograr el desarrollo del valle, es importante que la DGA constituya nuevos derechos de agua subterránea, aunque sean condicionados a compensar o reponer eventuales afectaciones a derechos superficiales, que podrían ocurrir previsiblemente durante las sequías. En tal caso, también resulta sólo beneficioso para los usuarios superficiales, tener acceso a la fuente subterránea, que especialmente en esta cuenca, tiene capacidad para paliar sequías.

6. Es necesario explorar los acuíferos para determinar su real potencialidad. En este estudio, sólo se ha considerado los acuíferos en su forma más segura y conservadora. Se incluyen en el presente estudio los Términos de Referencia perfeccionados para un estudio hidrogeológico de la cuenca del Choapa.

7. Para el funcionamiento óptimo de las aguas potables rurales, es necesario tener una forma de cobrar por los servicios prestados. La actual organización de ellas en forma de comités, permite soslayar la obligación de pago, lo que atenta contra la sustentabilidad del sistema. Para las APR se sugiere que ellas se transformen en cooperativas, como primera medida esencial para su buen funcionamiento. Posteriormente se podrán estudiar otras formas de optimizar estos servicios.

10.4 COMENTARIO A LA METODOLOGÍA

El planteamiento metodológico expuesto para abarcar el contenido del presente estudio, es amplio y complejo. Del mismo modo, las herramientas que permiten conceptualmente abarcar este estudio, también son complejas y requieren de tiempo y maduración para su implementación.

El modelo hidrológico, a pesar de ser un modelo de balance de flujos, permite incluir en su operación el análisis de diferentes medidas de gestión, las cuales se reflejan en la forma de operar embalses, canales, acuíferos, reasignar derechos, y otras. De esta forma, se ha evaluado el efecto sobre los flujos hídricos, y luego económicos, de algunas proposiciones nuevas de gestión.

De acuerdo con lo expuesto, el análisis de la eficiencia física, administrativa y económica se realiza a través de la operación de los modelos señalados. Dentro de este contexto, la eficiencia ambiental se traduce más bien en limitantes y restricciones, que fue necesario respetar al plantear el desarrollo de nuevos escenarios.

La metodología se ha ido revisando y mejorando a medida que ha incorporado la experiencia del estudio, de modo que como resultado final, se entrega una metodología probada.

El hecho de trabajar con un modelo de simulación, a pesar de ser complejo, es la única forma de integrar una gran cantidad de información, y de evaluar los efectos que las acciones que se toman en un sector de la cuenca, producen sobre otro. Además, entrega mucha información necesaria para efectuar las evaluaciones económicas de las medidas propuestas.

De esta forma, el estudio aporta la herramienta que permite evaluar, además, otras situaciones, o reevaluar cada cierto tiempo el estado de evolución de la cuenca, para desprender las nuevas medidas y recomendaciones más eficientes, de modo de hacer un uso integral e intensivo de las aguas existentes.

El análisis desarrollado busca aportar criterios que permitan conocer el comportamiento del sistema para hacer una planificación indicativa.

Se espera que la presente metodología constituya, finalmente, un aporte para el análisis y tratamiento del recurso hídrico en zonas áridas y semiáridas, y también en zonas no áridas, donde aplican muchos de los conceptos aquí desarrollados.

CAPÍTULO 11 PROYECTOS

Dentro del marco del presente estudio correspondió desarrollar dos proyectos, en lo posible pilotos o novedosos para la región, y útiles a los fines de la eficiencia del uso del agua.

Después de varias indagaciones en la región, se decidió recoger algunas inquietudes locales, tanto de los usuarios como de las instituciones entrevistadas, y se decidió que los dos proyectos serían, un entubamiento de un canal, y por otro lado, el apoyo a la DGA para el diseño de un estudio del acuífero de la cuenca del Choapa.

11.1 PROYECTO ENTUBAMIENTO PARCIAL CANAL POBLACIÓN DE MONTE PATRIA

El tema del entubamiento se escogió por ser emblemático para todos los aspectos de la eficiencia de uso del agua en zonas con escasez, analizados en el presente estudio, debido a las siguientes consideraciones:

- Eficiencia física
  - + evita pérdidas por filtración e infiltración
  - + evita pérdidas por evaporación
- Eficiencia económica
  - + reduce embancamientos
  - + reduce costos de mantención
  - + generalmente permite entregas presurizadas
  - + reduce costos de riego
- Eficiencia ambiental
  - + evita contaminación
- Eficiencia administrativa
  - + permite entregas controladas
  - + posibilita el mercado del agua

El canal Población de Montepatria se escogió después de un cuidadoso análisis de las posibilidades de llevar a efecto un proyecto que fuera deseado y estuviera apoyado por los beneficiarios. La comunidad del canal Población fue seleccionada porque quería llevar este proyecto a la CNR y estaba dispuesta a asumir el costo no subsidiado.

A continuación se presenta el proyecto, adecuado a los requerimientos de presentación de la CNR para postulación al subsidio de la ley 18.450. Todos los anexos mencionados en este proyecto se encuentran en el Anexo Digital IX.

A. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1. Presentación-resumen del proyecto

El presente proyecto tiene por objeto entubar un tramo de unos 500 metros de longitud del canal Población de Monte Patria, en el sector urbanizado de la población (IV Región de Coquimbo, provincia del Limarí, comuna de Monte Patria). Monte Patria está ubicado a unos 30 km aguas arriba de la ciudad de Ovalle, en la orilla del embalse Paloma (cf mapa de ubicación en Anexo 1). El canal tiene su bocatoma en la junta de los ríos Grande y Ponio, se desarrolla por la ribera norte del río Grande y atraviesa la población de Monte Patria.

En la actualidad, ya hay un tramo del canal que está entubado y que fue bonificado por el Concurso N°13-2001; se terminó de construir en el año 2002, y abarca desde antes del cruce con la Quebrada Grande de Monte Patria hasta pasado el cruce con la línea del ferrocarril.

El presente proyecto consiste en seguir con el entubamiento, acoplando la nueva tubería con aquella ya puesta.

Las obras a ejecutar son las siguientes:

-acoplamiento a la tubería existente;
-entubamiento de un tramo del canal en tubería de PVC C2,5 de 400 mm;
-instalación de seis cámaras de entrega con válvulas de entrega predial;
-construcción de una cámara de salida con válvula final.

En la Tabla 1, se encuentran resumidos los antecedentes correspondientes a este proyecto:

Tabla 1: resumen proyecto entubación parcial del canal Población de Monte Patria.

OBRA	UBICACIÓN	OBSERVACIONES
Acople tubería existente	KM 4702,87	
Entubamiento	KM 4708,87 a 5175,55	473 metros de tubería de PVC C2,5 355 mm
Entrega 1	KM 4723,00	Cámara de albañilería; válvula MEPLAT 150 mm
Entrega 2	KM 4752,80	Cámara de albañilería; válvula MEPLAT 150 mm
Entrega 3	KM 4786,50	Cámara enterrada de hormigón armado; válvula MEPLAT 150 mm
Cámara desarenadora con cajón de inspección	KM 4833,70	Cámara metálica hermética con cajón de hormigón armado
Entrega 4	KM 4897,00	Cámara de albañilería; válvula MEPLAT 150 mm
Entrega 5	KM 4920,00	Cámara de albañilería; válvula MEPLAT 150 mm
Entrega 6	KM 4928,00	Cámara de albañilería; válvula MEPLAT 150 mm
Cámara de salida con válvula final	KM 5175,55	Cámara enterrada de hormigón armado; válvula MEPLAT 355 mm

2. Identificación y características del canal

El canal Población Monte Patria es uno de los canales del Río Grande. Su bocatoma está ubicada aguas abajo de la confluencia del río Ponio con el río Grande.

El canal tiene una longitud aproximada de 6 km, desarrollándose por la ladera derecha del río Grande: cruza la quebrada de Monte Patria encontrándose la mayoría de los regantes aguas abajo del cruce con esta quebrada.

El canal sirve a 61 usuarios, que en conjunto poseen 124,5 acciones del Río Grande.

Este canal presenta fuertes pérdidas por filtraciones en el sector de Flor del Valle, lugar donde ya se ha revestido un tramo de una longitud aproximada de 1500 metros, en albañilería de piedra.

Además, se encuentran en el recorrido del canal otros dos proyectos de entubamiento parcial, aguas arriba de la zona del presente proyecto, ambos beneficiados por los concursos de la Ley:

-entubamiento de de 244 metros en doble tubería de PCV C2.5 de 400 mm y sifón de cruce de quebrada de 80 metros de 355 mm, bonificados por el Concurso N°171-2000;

-a continuación del sifón, un entubamiento de 217 metros en tubería de PCV C2.5 de 400 mm, bonificado por el Concurso N°13-2001, hasta llegar a la población de Monte Patria.

El objetivo principal de este proyecto de entubamiento, es eliminar los problemas de contaminación del recurso hídrico (que posteriormente será utilizado para el riego de parronales y algunas huertas de hortalizas), debido a que los habitantes del lugar eliminan parte de la basura por el canal. Además del problema ambiental de contaminación del recurso, como se puede observar en las fotos del Anexo 2, el tramo proyectado presenta gran facilidad de embancamiento debido a que el trazado del canal tiene muy poca pendiente y que las aguas del canal llevan un alta tasa de sedimentos finos. Este es otro problema que se pretende resolver con la solución del entubamiento.

Se observa también que el canal está invadido por la vegetación, lo que complica mucho el trabajo del turnero.

Con este canal se riega una superficie aproximada de 200 hás, donde la mayoría de los pequeños agricultores desarrollan huertos caseros y los agricultores de mejor condición económica desarrollan frutales o uvas para pisco y de exportación, regados por goteo.

El área física beneficiada por esta obra de mejoramiento (aguas abajo de dicha obra) es de aproximadamente 31 hectáreas.

3. Identificación de los usuarios del canal

Los interesados corresponden a 61 usuarios de la Comunidad de Aguas Canal Población Monte Patria, de los cuales más del 66% son catalogados como pequeños campesinos, y están representados por la Sra. Arinda Lorenza Jopia Jopia (RUT : 5.731.919-4).

Los usuarios del canal Población Monte Patria han decidido optar a los beneficios que ofrece la Ley 18.450, por intermedio del concurso N°7-2006 titulado "Riego Organizaciones de Usuarios - Grandes Obras y Prioridad Regional", presentando un proyecto que comprenda la entubación de un tramo del canal que pasa por un sector urbanizado del recorrido del canal.

En Anexo 3 se adjunta el listado de los regantes con identificación del predio y número de acciones respectivos.

B. IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA DE RIEGO

En el Anexo 14, se han delimitado las superficies correspondientes a las distintas clases de capacidad de uso de los suelos, sobre las ortofotos de CIREN-CORFO, a escala 1:20.000, preparadas sobre la base de la información del Servicio de Impuestos Internos. En estas láminas se ha definido el área beneficiada físicamente por el proyecto igual a aproximadamente 38 hás.

C. DISPONIBILIDAD DE AGUA

1. Identificación de la fuente de abastecimiento

1.1. Antecedentes geográficos e hidrográficos generales de la cuenca

La cuenca del Limarí, donde se inserta el canal Población de Monte Patria, se ubica en la provincia del mismo nombre, en la IV Región de Coquimbo, drena una superficie aproximada de 12.000 km2 mediante varios cursos de agua, los cuales se unen y formen el río Limarí. Este río nace de la unión de los ríos Hurtado y Grande, en el sector llamado Puntilla de Los Peñones a unos 2,5 kilómetros al noreste de la ciudad de Ovalle, tiene una longitud aproximada de 200 km y su hoya tiene carácter exorreico. La cuenca la forman además del río Limarí, su principal afluente, el río Grande con los ríos tributarios Rapel, Mostazal, Tascadero, el río Huatulame, el río Hurtado (IGM, 1994) y el estero Punitaqui.

La cuenca del Limarí se encuentra en la zona hidrográfica denominada de los "ríos en torrente de régimen mixto", al cual también pertenecen los ríos Elqui y Choapa.
Las características de la mencionada hidrografía son:

-***régimen mixto***: dos crecidas al año, una de invierno y otra de primavera-verano por deshielo de la reserva de nieve. Esta característica implica dos momentos de riesgo al año;

-***torrencialidad***: está dada por las fuertes pendientes desde las nacientes hasta la desembocadura de los cursos de agua; que determinan un régimen torrencial

-***red de drenaje***: la forma de la red es de tipo dendrítico con una orientación general que va desde este a oeste;

-***uso del agua***: el riego es el mayor uso que se hace, presentando la cuenca del Limarí una superficie regada de casi el doble que la del Elqui y el triple que la del Choapa, debido a la existencia de tres embalses de regulación anual en este río, lo que permite tener una alta seguridad de riego;

-***variación interanual***: los caudales experimentan gran variación de un año a otro, incidiendo en la disponibilidad de agua para el riego (INGENDESA, 1992).

1.2. Límites

La cuenca de Limarí se ubica entre los 30°15' y 31°15' Latitud Sur y 70°15' y 71°45' longitud oeste, limita al norte con la línea divisoria de las aguas que la separa de la cuenca del río Elqui, y al sur, con la cuenca del río Choapa. Al este se ubica el límite internacional con la República Argentina y al oeste la línea divisoria de las aguas separa la cuenca andina del Limarí de las cuencas costeras del interfluvio Elqui-Limarí y Limarí-Choapa (IGM, 1995).
El Anexo 4 muestra la cuenca del Limarí, destacando las estaciones pluviométricas y pluviométricas de la DGA.

1.3. Regulación Hidrográfica de la Cuenca del Limarí

La Provincia del Limarí cuenta con una importante infraestructura de distribución del agua que forma el Sistema (Interconectado) Hidrológico Paloma, que está compuesto por los embalses Paloma, Recoleta y Cogotí, y los ríos Grande, Huatulame, Cogotí, Hurtado y Limarí, cada uno con sus respectivas redes de canales.

La modificación del régimen natural de los ríos de la Hoya del Limarí, producto de la construcción de los mencionados embalses, ha permitido la regulación de los recursos disponibles, otorgando una mayor seguridad de riego a las superficies regadas ubicadas aguas arriba y aguas abajo del sistema, que en total suma unas 44 mil hectáreas.

Las organizaciones de canales, corresponden a nueve en total y operan en forma coordinada, manteniendo la integridad y equilibrio del sistema, sin embargo, internamente, cada una tiene sus propios estatutos.

La construcción del embalse Paloma permitió regular y almacenar un máximo de 740 millones de metros cúbicos. La gran capacidad del embalse, de regulación interanual, permite efectuar una redistribución de recursos en toda la hoya, lo cual se ve facilitado por la existencia de una extensa red de canales. Los terrenos situados aguas abajo del embalse Paloma, pueden regarse con los sobrantes de los años de abundancia acumulados en él.

En estas condiciones las aguas que los afluentes debían tributar para al riego de estas áreas, quedan disponibles en los ríos de aguas arriba del sistema Paloma, con lo que mejora su dotación. Una de estas áreas beneficiadas, es la que corresponde a la regada por el río Grande: el beneficio consiste básicamente en que el recurso disponible del río Grande que originalmente se distribuía en 14091,75 acciones permanentes, hoy queda disponible para servir 4621,70 acciones permanentes, ya que el resto de las acciones son servidas directamente con recursos almacenados en el Embalse Paloma.

.

Asimismo, gran parte de las zonas servidas por los embalses Cogotí y Recoleta pueden suplir los déficit de los años secos, y, al mismo tiempo, mejoran las dotaciones de los sectores ubicados aguas arriba de ellos (DGA, 1992).

Los recursos embalsados por el sistema se distribuyen en conformidad al proyecto original, considerando como base para la máxima dotación, dar seguridad de riego de 85% al área servida. Su operación se realiza de acuerdo con los volúmenes almacenados al 30 de abril y sobre la base de pronósticos de deshielo, los cuales históricamente han sido muy certeros.

El análisis y manejo hidrológico de las cuencas contempla una distribución de los recursos de agua considerando un acuerdo entre los regantes y la Dirección de Obras Hidráulicas, y está establecido en los estatutos de la Junta de Vigilancia del Sistema Paloma. Esto corresponde a una operación conjunta de los tres embalses, que a su vez equivale a la operación óptima del sistema.

Cabe señalar que este tipo de operación es la que se efectúa en la actualidad y por lo tanto representa la realidad, sin que existan antecedentes para suponer que dicha situación llegara a cambiar.

Los volúmenes fijados para ser extraídos anualmente de los tres embalses, para ser utilizados en riego, se muestran en el Anexo 5A.

Las áreas regadas por los principales canales y ríos que constituyen el sistema Paloma se presentan en el Anexo 5B.

1.4. Características de la Fuente de Abastecimiento

La fuente de abastecimiento del Canal Población Monte Patria es el río Grande, el río más importante y caudaloso de la cuenca del Limarí, en el cual los regantes de Canal Población Monte Patria poseen 124,5 acciones.

El río Grande nace en la alta cordillera andina, de la confluencia de los ríos Gordito y Las Cuevas. Tiene una longitud de aproximadamente 115 km, hasta su confluencia con el río Hurtado. Su orientación general es hacia el NW. En la confluencia del río Grande con el río Huatulame, está emplazado el embalse Paloma.

El río Grande tiene varios tributarios importantes, tanto por el caudal aportado como, por las áreas regadas en éstos. Es la alta y precordillera, recibe la afluencia de los ríos, Carachas, Torca, Tascadero y Turbio. Más abajo afluye el río Mostazal, el que junto con el Rapel, son los más importantes afluentes de esta ribera, el río Ponio y la Quebrada de Monte Patria, tributan cerca de la zona de inundación del embalse Paloma. Finalmente, por la ribera sur del embalse Paloma (de 750 millones de m3 de capacitad útil) desemboca el río Huatulame, que con sus tributarios, drena la cuenca del mismo nombre.

Aguas abajo del embalse Paloma, el río Grande no tiene afluentes de importancia; salvo Quebrada Seca, que trae caudales casi sólo en las épocas de lluvia.

2. Derechos de Aprovechamiento

El Anexo 6 certifica la disponibilidad de recursos hídricos que poseen los regantes del canal en el río Grande y que consiste en un derecho de aprovechamiento permanente de 124,5 acciones, según el rol de canales de la Junta de Vigilancia del río Grande y Limarí y sus afluentes.

En Anexo 3 se adjunta el listado de los regantes con identificación del predio y número de acciones respectivas.

3. Caudal con 85% de seguridad: análisis del régimen hidrológico.

Este análisis se realiza con el fin de conocer los caudales con que están dotados los derechos, para un nivel de seguridad de 85%. Para eso se utiliza una estadística básica de caudales, cumpliendo con los requerimientos de las bases técnicas del concurso, según lo establecido en el numeral 3.1: "*la estadística básica utilizada debe comprender un período mínimo de 15 años consecutivos, con una antigüedad de la estadística recopilada cuyo primer año no supere los últimos 20 años*".

El canal posee su bocatoma próximo a la localidad de Flor del Valle, comuna de Monte Patria, aguas abajo de la estación fluviométrica de la DGA llamada Río Grande en El Cuyano, la que junto a la estación fluviométrica denominada Río Grande en Las Ramadas, entregan los antecedentes de base para el presente estudio hidrológico.

El Anexo 4, muestra la cuenca del Limarí, destacando las estaciones pluviométricas y fluviométricas de la DGA.

En el Anexo7A, se presenta de forma detallada la elaboración de la estadística de caudales del río Grande en régimen natural a la altura de la bocatoma del canal, utilizando la estación fluviométrica de cabecera denominada El Cuyano y efectuando los rellenos y ampliaciones de los registros estadísticos de dicha estación mediante correlaciones mensuales, estacionales y anuales. Este análisis tuvo por objeto construir series homogéneas y consistentes durante un período de 50 años, entre 1950 y 1999.

En el Anexo 7B, se presenta además la determinación del caudal con 85% probabilidad de excedencia, Q 85%, que se obtuvo promediando los tres meses de máxima diaria, que son diciembre, enero y febrero, y aplicando la probabilidad de excedencia de Weibull.

El caudal con 85% de probabilidad de excedencia determinado es de **2760 l/s**, caudal que debe dividirse por el número de acciones que corresponden al río Grande sobre el embalse Paloma, que es de 4621,70 acciones, ya que los derechos permanentes del río Grande bajo el embalse Paloma, son servidos por esta obra desde que entró en operación el Sistema Paloma (ver párrafo "*1.1.3. Regulación Hidrográfica de la Cuenca del Limarí*").

En la tabla 2, se encuentran resumidos, los resultados del estudio hidrológico y el caudal con 85% de probabilidad de excedencia del canal Población de Monte Patria.

Tabla 2: determinación del caudal con 85% de probabilidad de excedencia.

CAUDAL 85% RÍO GRANDE	NÚMERO DE ACCIONES RÍO GRANDE SOBRE EMBALSE PALOMA	CAUDAL POR ACCIÓN	NÚMERO DE ACCIONES CANAL POBLACIÓN	CAUDAL 85% CANAL POBLACIÓN
l/s	acc	l/s/acc	acc	l/s
2760	4621,70	0,597	124,5	**74**

4. Disponibilidad de Aguas a Nivel de Predio o Área Beneficiada

En Anexo 9 se encuentra un diagrama unificar del canal Población Monte Patria que abarca desde el punto de captación hasta la última entrega en un eje a escala, según el kilometraje, indicando los nombres de los canales, rol de la propiedad, las acciones, caudal del pasante y el saliente de cada entrega.

4.1. Pérdidas en la Conducción (*Q_pérd*)

En el canal se consideran pérdidas, ya que el sector a reparar se ubica a unos 4700 metros de la bocatoma de los cuales aproximadamente 2000 metros han sido revestidos y entubados en proyectos anteriores detallados en el párrafo "*2. Identificación y características del canal*". El resto del canal en el tramo anterior se encuentra excavado en tierra.

De hecho, como ya se ha mencionado, el canal Población presenta fuertes pérdidas por filtraciones en el sector de Flor del Valle, lugar donde ya se ha revestido un tramo de una longitud aproximada de 1500 metros, en albañilería de piedra.

Además, se encuentran en el recorrido del canal dos otros proyectos de entubamiento parcial, aguas arriba de la zona de proyecto:

-un entubamiento de de 244 metros en doble tubería de PCV C2.5 de 400 mm y sifón de cruce de quebrada de 80 metros de 355 mm, bonificados por en Concurso N°171-2000;

-a continuación del sifón, un entubamiento de de 217 metros en tubería de PCV C2.5 de 400 mm, bonificado por en Concurso N°13-2001, hasta llegar a la población de Monte Patria.

Entonces, los tramos entubados suman una longitud aproximada de 500 metros.

En el Anexo 8, se presenta el cálculo de las pérdidas por conducción a lo largo del tramo anterior al proyecto según la metodología establecida por Davis-Wilson (Pérdidas por infiltración en canales, U.S. Bureau of Reclamation).

Considerando que las pérdidas en los tramos revestidos se pueden despreciar y que en los tramos entubados ya no existen, se calculan las pérdidas en la conducción aguas arriba del proyecto, una longitud de 4700-1500-500=2700 metros.

El valor de Cd elegido es 15, ya que el sector presenta suelo de tipo franco arcilloso (Fuente: Informe Agrológico del Area de Riego del Sistema Paloma. SAG).

Q_pérd=3,9 l/s

4.2. Descuento por Accionistas no Beneficiarios (*Q_des*)

En el la Tabla 3, se presenta el listado de los usuarios que no son beneficiarios del proyecto, por encontrarse aguas arriba del tramo proyectado a mejorar, según se muestra en el diagrama unifilar adjunto (Anexo 9). Este listado se encuentra certificado por la Comunidad de Aguas del canal Población de Monte Patria en el Anexo 10.

Tabla 3: listado usuarios no beneficiados

N°	NOMBRE	ROL	ACCIONES
1	GUILLERMO PROHENS ARIAS	46-1; 16-4	3,00
2	RODOLFO MIRANDA MARIN	15-1	6,50
3	AGRICOLA PUNITAQUI	15-8; 15-21	58,68
4	NICOLAS SEGUNDO BRAVO ARAYA	15-2	1,00
5	IRMA CORTES CORTES	15-3	0,50
6	DAVID DEL CARMEN MILLA	15-4	0,50
7	HUGO PEREZ	15-5	0,20
8	MARCIAL MILLA ARANCIBIA	15-6	0,20
9	JUAN ROJAS MORALES	14-1	0,25
10	MARIA VIDELA ARAYA	14-4	0,50
11	JUAN HUIDOBRO	14-5Pte2	0,25
12	RAUL JOFRE CANIVILO	14-8	0,25
13	LUIS ANTONIO ANJEL SILVA	14-9Pte1	0,80
14	RAUL SALINAS CORTES	14-11	0,20
15	HONORIO ENRIQUE CORTES MAYA	14-12	0,70

N°	NOMBRE	ROL	ACCIONES
16	MERCEDES PIZARRO	22-2	0,20
17	VICENTE CORTES SANTANDER	22-4	0,20
18	VICTORIO CASTILLO	22-5	0,20
19	ALICIA JIMENEZ CORTES	22-6	0,50
20	ROSARIO PIZARRO VARGAS	22-7	0,50
21	NICANOR OSSANDON	22-13	0,10
22	EMMA ALFARO ALFARO	22-19; 21-11	0,25
23	SOC.AGRICOLA GUAYAQUIL	30-1	6,00
24	INES FERNANDEZ LLAU LLAU	21-4	0,20
25	JULIA ARINDA ARAYA	21-5	0,20
26	CHIPLE JURE	21-7	0,20
27	CARLOS ARAYA VELIZ	21-8	0,25
28	DIEGO VEGA VEGA	21-10	0,20
29	ERVIN ALFARO SOTO	14-15	0,20
30	ADRIANA GALLARDO	SR1	0,20
31	LORENZO ARAYA	3-12	0,40
32	AUGUSTO CASANGA CASANGA	3-14	0,40
33	LUIS JOPIA	15-16Pte2	0,70

TOTAL ACCIONES NO BENEFICIADAS	**84,43**

De esta manera el número total de accionistas no beneficiarios es de 33 que en conjunto suman **83,43 acciones** (y el número total de accionistas beneficiarios es de 28 que en conjunto suman 40,07 acciones).

Por lo tanto las acciones de los usuarios no beneficiarios deberán ser descontadas en el cálculo de la superficie beneficiada por el proyecto.

El volumen a descontar se determina de la siguiente forma:

$$Q\_des = \left(\frac{Acc\_no\_benef}{Acc\_tot} \right) Q\_85\%$$

Siendo:
Q_des el caudal de descuento de acciones de regante no beneficiarios del proyecto;
Q_85% el caudal disponible con 85% de probabilidad de excedencia;
Acc_no_benef el número de acciones de regantes no beneficiarios del proyecto;
Acc_tot el total de acciones del canal.

Entonces el caudal medio de descuento es:

$$Q\_des = \left(\frac{83,43}{124,5} \right) 74$$

Q_des=50 l/s

4.3. Caudal disponible

El caudal disponible *Q_disp* se deduce restando al caudal con 85% de probabilidad de excedencia Q_85% determinado previamente:

-el caudal por pérdidas por conducción entre la bocatoma y la entrada del entubamiento Q_pérd;

-y el caudal medio de descuento Q_des, resultado del último cálculo.

$$Q\_disp = Q\_85\% - Q\_perd - Q\_des$$

Se determinó:

Q_disp=20 l/s

5. Caudal de Diseño

Conforme al Art. 7º de los Estatutos de la Junta de Vigilancia del Río Grande y Limarí y sus Afluentes, " Los canales sometidos a esta Junta de Vigilancia con derecho de aprovechamiento de ejercicio permanente son 185, con una dotación total conjunta de 14.091,75 acciones permanentes, con su equivalencia de un litro por segundo por acción".

Se deja constancia que cuando el Río Grande o Limarí o sus Afluentes no contiene la cantidad suficiente de agua para satisfacer en su integridad los derechos de aprovechamiento de ejercicio permanente existentes, a cada acción le corresponde la parte alícuota del caudal que escurre por el río.

Conforme a eso y en conjunto con la Comunidad de Aguas del Población de Monte Patria, se decidió fijar el valor del caudal de diseño de la obra considerad a 100 l/s.

Q_diseño=100 l/s

Este valor se justifica, considerando los datos de dos proyectos anteriores que se hicieron en el canal Población de Monte Patria, que enmarcan el presente proyecto, y que ambos fueron diseñado con un caudal de 100 l/s:

-un entubamiento justo aguas arriba, cuya válvula final corresponde al punto de inicio del presente proyecto, bonificado en 2002 por la Ley;
-un entubamiento justo aguas arriba, que empieza a la salida del sifón cuya entrada corresponde al punto final del presente proyecto, que se está presentando a la Ley.

D. DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA

De acuerdo con lo estipulado en el numeral 4. de las bases técnicas del concurso, "*la demanda de agua se determinará dividiendo la evapotranspiración potencial de una hectárea, por la eficiencia de aplicación del agua, según el método de riego que se utilice*"

En el cálculo de la demanda de riego, se utilizará la evapotranspiración potencial correspondiente al mes de máxima demanda diaria promedio durante la temporada de riego. La demanda se determinará para la superficie actualmente regada.

1. Evapotranspiración Potencial

Conforme a lo establecido en el numeral 4.1 de las bases técnicas del concurso "para determinar la Evapotranspiración Potencial (Etp) del proyecto" se utilizará "el CD del Estudio "Cartografía de la Evapotranspiración Potencial en Chile" de la Comisión Nacional de Riego (1997) que contiene dicha información".

Por ello se ha utilizado el programa "Visualizador electrónico de la cartografía de la evapotranspiración de Chile", ubicando en el Plano IGM la zona de riego del canal Población. Las coordenadas UTM que fueron utilizadas son las siguientes:

N 6602000
W 312500

El visualizador entregó la evapotranspiración potencial que se presenta en Anexo11 y que se resume en la Tabla 4.

Tabla 4: los tres meses de máxima demanda diaria promedio

MES	ETP (mm)	ETP (m3/há)
DIC	248	2475
ENE	245	2448
FEB	206	2057

Como se ha señalado previamente, se utilizará a continuación en el cálculo de la demanda de riego, la evapotranspiración potencial correspondiente al mes de máxima demanda diaria promedio durante la temporada de riego, en nuestro caso, el mes de diciembre, que corresponde a una evapotranspiración potencial de **247,5 mm/mes** o **2.475 m3/há/mes**.

2. Cultivos del Área de Proyecto

En el área del proyecto se cultivan en su mayoría y de forma industrial frutales y vides además de parronales y hortalizas de forma más tradicional. En la Tabla 5 se indican los diferentes cultivos y la superficie correspondiente, datos entregados por la comunidad de aguas del canal Población por intermedio de su presidenta Sra. Arinda Jopia.

Es el resultado de la encuesta del uso actual del suelo que se llevó a cabo de septiembre a octubre 2005 y que se presenta en Anexo 12.

Tabla 5: superficies de cultivos del área de proyecto

CULTIVO	SUPERFICIE *há*	PORCENTAJE PARTICIPACIÓN *%*
Cultivos anuales y hortalizas	14,2	6,9
Frutales y Viñas	187,3	90,5
Praderas Artificiales	5,5	2,7
Otros	0,0	0,0
TOTAL	**207,0**	**100,0**

3. Eficiencia de Aplicación del Agua de Riego

Como el proyecto considera un área donde se utilizan diversos métodos de riego, se calculará una eficiencia de aplicación de riego ponderada.

De acuerdo al numeral 4.2 de las bases técnicas del concurso, la eficiencia de aplicación del agua de riego se obtiene según los métodos de riego que el interesado emplee, utilizando la tabla incluida en el artículo 13 del Reglamento de la Ley 18.450 y se adoptará la metodología y presentación desarrolladas en el anexo de las bases técnicas AT-11: "Cálculo de eficiencia de riego ponderada" disponible en el sitio de la Comisión Nacional de Riego (www.cnr.cl), para el cálculo de la evapotranspiración potencial ponderada. El cálculo detallado se encuentra en el Anexo 13.

El riego es en un 48 % de riego por goteo (frutales y vides), un 50 % por surcos y un 2 % por tendido (parronales y hortalizas), por lo que la eficiencia de riego ponderada es igual al **ERP=58 %** según los datos entregados por la Comunidad de Aguas del Canal Población.

El resultado del cáculo se encuentra en la Tabla 6, extraído del Anexo 13.

Tabla 6: Resumen cálculos de la eficiencia de riego ponderada ERP y de la superficie de riego actual

ETp (mm/mes)	247,50
ETp (mm/día)	7,98
ETp (l/s/ha)	0,92

Superficie Actual regada con 85% de seguridad

Método de Riego	Supf. (ha)	Caudal (l/s)	Eficiencia de Aplicación %	Demanda (l/s/ha)
Goteo	98,30	101,25	90%	1,03
Surcos	103,20	211,56	45%	2,05
Tendido	5,50	16,94	30%	3,08
SAR	**207,00**	**329,75**	**58,0%**	**1,59**
Conducción californiana		No		

E. SUPERFICIE DE RIEGO BENEFICIADA (O SUPERFICIE ACTUALMENTE REGADA)

Según lo mencionado en las bases técnicas del concurso, la superficie beneficiada se calcula utilizando la siguiente ecuación con los parámetros calculados anteriormente:

$$SRB = \frac{Q\_disp}{\left(ETP\_\max / ERP \right)}$$

Siendo:
SRB la superficie de riego beneficiada;
Q_disp el caudal disponible con una probabilidad de excedencia de 85%;
ETP_max la evapotranspiración potencial de la zona del proyecto correspondiendo al mes de máxima demanda;
ERP la eficiencia de riego ponderada.

Esos cálculos se hicieron según el método disponible en anexo técnico AT-11 de las bases de los concursos disponible en el sitio de la Comisión Nacional de Riego (www.cnr.cl) y se encuentran detallados en el Anexo 13.

Entonces, según los resultados resumidos en la Tabla 6:

$$SRB = \frac{20}{\left(0{,}92 \diagup 0{,}58\right)}$$

SRB=12,55 hás

El resultado del cálculo se encuentra en la Tabla 7, extraído del Anexo 13, adjunta en el punto F.

F. SUPERFICIE EQUIVALENTE DE NUEVO RIEGO

1. Superficie equivalente de nuevo riego

Según el numeral 6. de las bases técnicas, "en el caso de los proyectos de rehabilitación de obras de riego, la superficie equivalente de nuevo riego se obtendrá multiplicando el área beneficiada por uno de los coeficientes de riesgo indicados en el Art. 7º del Reglamento".

Como no se pudo cuantificar las pérdidas de las cuales depende dicho coeficiente de riesgo, se adoptó un valor de 0,5 y se calculó la superficie de nuevo riego según lo mencionado previamente.

Entonces la superficie equivalente de nuevo riego SENR se calcula como:

SENR=0,5.12,6=6,28 há

2. Desagregación de la superficie de nuevo riego, según clases de capacidad de uso de los suelos

Por tratarse de una organización de usuarios, la desagregación se determina en forma proporcional a las superficies correspondientes a las distintas clases de capacidad de uso, medidas en el fotomosaico CIREN-CORFO que se presenta en Anexo. Conforme a lo que se observa en el fotomosaico, la clase de los suelos regados por el canal corresponde en su totalidad a clase III.

3. Delimitación del área total beneficiada

Conforme a lo exigido en el punto 2 de las bases técnicas, el área total beneficiada se ha delimitado en el fotomosaico CIREN-CORFO que se presenta en Anexo 14.
Se evaluó dicha área con el ayuda del programa ArcView, utilizando el trazado del canal de la CNR: se determinó un área total beneficiada de 38 hás aproximadamente.

4. Ponderación de la superficie equivalente de riego

Los suelos del área de riego del canal Población están clasificados como suelos de clase III. El punto 2 de las bases técnicas establece que "*Las superficies obtenidas para cada clase de capacidad de uso, se ponderarán por los factores de incremento de potencialidad de los suelos, los que se considerarán igual a 1,0 para los con capacidad de uso de clase I a IV y se expresará con dos (2) decimales*."

Entonces el factor de incremento de potencialidad de estos suelos será 1,00, por lo tanto la superficie equivalente de nuevo riego ponderada SENRP del proyecto es:

SENRP=1,00.6,28=6,28 há

El resumen de todos estos cálculos se encuentra en la siguiente Tabla 7, extraída del Anexo 13.

Tabla 7: resumen cálculos superficies

Superficie equivalente de nuevo riego (SENR)

Demanda ponderada (l/s/ha)		1,59
$Q_{85\%}$ disponible (l/s)		20,00
Superficie Actualmente Regada (ha)		12,55
Nivel de Riesgo	**Medio**	0,50
SENR (ha)		**6,28**

Incremento de potencialidad (ha)	**6,28**

G. ANTEPROYECTO DE LA OBRAS PROYECTADAS

1. Consideraciones Generales

El diseño consiste básicamente en elegir la pendiente de la tubería, por tramos, además de su diámetro, optimizando lo más que se puede los costos involucrados en función de las características específicas de la zona de proyecto.

Todos los resultados se encuentran resumidos en las tablas en anexos en el orden y con la numeración que se menciona a continuación.

El tramo a entubar empieza en el KM 4702,87 del canal Población desde la cámara de la válvula final de otro entubamiento, construido en 2002.

Pasa en su primera parte por huertos caseros pequeños antes de llegar en el KM 4820,00 al sifón que cruza la calle Balmaceda.

Luego, saliendo del sifón en el KM 4832,45 sigue, por diferentes otros huertas, y luego cruza el predio de la planta de tratamiento de aguas de la empresa Aguas del Valle, hasta llegar al sifón que cruza la calle principal de entrada a la localidad de Monte Patria. El proyecto de entubamiento termina en la cámara de entrada de este segundo sifón ubicada en el KM 5175,55.

El carácter urbanizado del entorno del canal impone tomar en cuenta que algunos trabajos, especialmente de movimientos de tierra, no se podrán efectuar con máquina pero solamente a mano.
El tramo considerado incluye 6 compuertas que serán reemplazadas por válvulas de entrega, cada una con su cámara de protección en superficie o enterrada según el caso considerado.

Conforme a lo conversado con la Comunidad de Aguas del canal, se eligió conservar la cámara final del entubamiento ya existente y su válvula, enganchando la nueva tubería a la salida de aquella: así se permite conservar la independencia relativa de los diferentes tramos entubados, además de ahorrar el costo de demolición de la cámara existente.
Además de permitir conservar las costumbres de riego sectorizado de los usuarios del canal, esta válvula permite independizar los tramos entubados: en caso de mantención del tramo ubicado aguas abajo de la válvula, aquella se cierra y los regantes ubicados aguas arriba pueden seguir regando.

2. Elección de la Pendiente

De acuerdo con las leyes de la hidráulica, en el caso de un entubamiento en presión la pendiente no influye sobre la distribución de presión que existe a nivel de la superficie del terreno y tampoco sobre la velocidad de escurrimiento del flujo. De hecho, la distribución de presión es un resultado de las pérdidas de carga lineales y singulares a lo largo del tramo, que dependen a su vez solamente del diámetro de la tubería, y de la inclusión de singularidades, para cada valor de caudal. De la misma forma, la velocidad de escurrimiento, que se calcula como el cuociente entre el caudal y el área de escurrimiento, depende únicamente del diámetro de la tubería, para cada valor de caudal.

Entonces podemos fijar la pendiente de la tubería de la forma en que mejor se adapte al proyecto, y el diámetro se elegirá considerando como criterios de diseño, las velocidades de escurrimiento mínima y máxima.

Con respecto al primer punto, o sea la elección de la pendiente y siempre tratando de minimizar los costos, lo más natural es elegir como pendiente media de la tubería, la pendiente media del lecho del canal dada por la topografía, minimizando de esta forma los volúmenes de excavación y otros de movimientos de tierra.

El tramo considerado mide 473 metros y el desnivel del lecho del canal correspondiente es de 100,23-99,98=0,25 m, lo que corresponde a una pendiente de 0,00053, valor que se eligió para la tubería.

Con este dato y la cota de la clave inferior del tubo en el inicio del proyecto ***z_tub*(KM_4702,87)=99,33** se calculan las cotas *z_tub* para cada sección intermedia hasta la sección final. Dichas cotas se encuentran en el Anexo 17.

3. Pasada del sifón de la calle Balmaceda

Para evitar los costos y los trámites de demolición y reconstrucción del pavimento, se decidió pasar la tubería por dentro del sifón: por ello se necesita llegar en el KM 4820,00 en la entrada del sifón a la cota de fondo del sifón modificando localmente la pendiente de la tubería, aguas arriba y aguas abajo del sifón. Lo mismo hay que hacer aguas abajo del sifón, a partir del KM 4832,45, ahora de subida, para volver a empalmar en el trazado la tubería.

La cota de fondo del sifón se determinó usando los planos del sifón entregados por la Comunidad de Aguas del canal que se encuentran en Anexo 15. En el plano la profundidad de fondo del sifón se determina como la diferencia entre la cota del empalme del sifón (27,15 m) y la cota de fondo del sifón (24,96 m) o sea una profundidad de 27,15-24,96=2,19 m.

La topografía nos da una cota de empalme del sifón de 100,26 lo que con la profundidad calculada nos da una cota de fondo del sifón de **100,26-2,19=98,07 m.** Esta cota debe considerarse un dato en la determinación del trazado.

Estas modificaciones locales de pendiente se lograron mediante cambios pequeños de direcciones y sin el uso de accesorios, lo que está permitido por la buena flexibilidad de los tubos de PVC. Sin embargo se verificará que la curvatura no fuera mayor de 3° según lo mencionado en el "Boletín Técnico: Línea Presión" disponible en el sitio del proveedor de tuberías PVC Duratec-Vinilit: la verificación correspondiente se hace en el punto "8.2. Cambios pequeños de dirección".

Se proyecta picar la pared de hormigón armado del sifón, tanto a la entrada como a la salida, para permitir pasar la tubería directamente por dentro.
Las presentes consideraciones nos imponen tener un punto bajo en el trazado de la tubería a la salida del sifón, en el KM 4832,45. Considerando que las aguas del canal traen una alta tasa de sedimentos, se necesita colocar un dispositivo que permita sacar periódicamente el lodo que se puede acumular en este punto. El diseño detallado de este dispositivo, que se llamó cámara dearenadora, se encuentra en el párrafo "7. Diseño de las obras".

4. Elección del diámetro

Consideremos ahora la elección del diámetro de la tubería. Los criterios de velocidad de escurrimiento mínima y máxima, nos entregan respectivamente los diámetros máximos y mínimos elegibles.

Siguiendo las recomendaciones del proveedor de tuberías, y considerando como velocidad mínimas y máximas respectivamente $V_{\min} = 0{,}8$ m/s y $V_{\min} = 1{,}6$ m/s, encontramos que el diámetro *D* de tubería debe cumplir las siguientes condiciones, considerando además un caudal de diseño *Q* de 100 l/s:

$$282 < D < 399 \text{ (en milímetros)}$$

Los diámetros comerciales correspondientes son:

D=315 mm; D=355 mm y D=400 mm.

El diámetro mayor, de 400 mm, nos da una velocidad de escurrimiento *V*=0,85 m/s, muy cerca de la velocidad mínima pero considerada como aceptable.

Para aumentar la velocidad de escurrimiento podríamos considerar un diámetro menor, pero el aumento de velocidad va en detrimento de las presiones de entrega. En efecto, con un diámetro menor, al mismo tiempo que se aumenta la velocidad de escurrimiento, se aumentan también las pérdidas por fricción, con lo cual disminuye la carga total del escurrimiento o Bernoulli, y consecuentemente las presiones de entrega.

Como resultado de esa última consideración, se privilegió el diámetro de 400 mm para el diámetro del tubo. Sin embargo se hizo un análisis de alternativas considerando cada uno de los diámetros mencionados, que permitió verificar esas afirmaciones y que se encuentra a continuación en el párrafo “6.2. Pérdidas de Carga lineales y singulares”.

5. Cubicaciones de los Movimientos de Tierra

Conociendo la cota de fondo de la tubería *z_tub* en cada sección intermedia, se calcula la profundidad de excavación *hi* y luego la sección de excavación *Si*.

La profundidad de la zanja debe permitir instalar el encamado, el tubo y el relleno por sobre la clave de la tubería, que es idealmente de 1,2 metros como mínimo para diámetros de tuberías superiores a 90 mm (NCh 2282/2).

Entonces y considerando además un diámetro de tubo de 400 mm y un espesor del encamado de 10 cm, la profundidad de excavación debe ser mayor que:
1,2+0,4+0,1=1,7 m.

El ancho de la zanja a nivel de la superficie varía según su profundidad, el tipo de talud y el diámetro del tubo por instalar. Para tuberías de diámetros superiores a 90 mm, el ancho mínimo en el fondo y a nivel de la clave del tubo será igual al diámetro exterior del tubo más 30 cm a cada lado o sea 0,4+2*0,3=1,0 m (según NCh de instalación 2282/2).

El volumen excavado *Vi* entre dos secciones consecutivas, se calcula como el producto del promedio de las secciones de excavaciones correspondientes, por la longitud de canal separando dichas secciones.

El volumen de relleno *Vi_rell* se calcula restando al volumen excavado *Vi*, el volumen ocupado por la tubería *Vi_occ*.

El volumen de excedente Vi_exced se obtiene como la diferencia entre el volumen excavado y el volumen de relleno: sin esponjamiento, corresponde al volumen ocupado por la tubería. Se podrá beneficiar este volumen para tapar el cauce del canal.

El detalle de los cálculos y cubicaciones se encuentra en el Anexo 16 y se sugiere también consultar el plano de disposición general de las obras contenido al fin del proyecto en el sobre plástico.

Para evaluar los costos de los movimientos de tierra se distinguió entre:

-la zona donde no se puede trabajar con máquina: corresponden al primer tramo del entubamiento, donde el trazado pasa por pequeños huertos, en un entorno muy urbanizado del KM 4702,87 hasta el sifón en el KM 4820,00;

-la zona donde sí se puede trabajar con máquina, desde la salida del sifón en el KM 4832,45 hasta el final en el KM 5175,55.

6. Cálculos Hidráulicos

6.1. Determinación de la Presión a lo largo de la Tubería

A continuación se explica cómo se calculó la presión a lo largo de la cañería, condición que permite validar la elección de un diámetro, entre los diámetros posibles mencionados anteriormente.

El término de carga total o Bernoulli *H(M)* en un punto cualquier *M* del la tubería corresponde a la siguiente expresión:

$$H(M) = \frac{U(M^{2}}{2.g} + P(M) + z\_tub(M) \qquad (1)$$

Siendo:
U la velocidad del flujo en la cañería;
P la presión relativa del flujo en la cañería a nivel de la clave inferior de la tubería;
z_tub la cota de la clave inferior de la tubería en el punto de observación.

La carga en el punto en que se inicia el entubamiento se determina considerando los resultados del proyecto del entubamiento ya existente, cuyas referencias se encuentran en la parte

agronómica del informe. El diseño fue realizado por el Ingeniero Agrónomo Jorge Romero. Dicho proyecto, consideró para el cálculo de las presiones de entrega, un caudal de diseño de 100 l/s y ninguna válvula de entrega abierta, lo que corresponde al caso el más conservador. De hecho, si hubiera válvulas entregando agua, el caudal, la velocidad y las pérdidas por fricción serían menores, y consecuentemente la presión resultaría mayor. Entonces podemos ocupar estos datos para el diseño del presente proyecto.

En la última entrega del entubamiento ya existente (Válvula V7), ubicada en el KM 4687,70 se calculó una presión relativa al nivel del suelo de **0,53 m.c.a**. Siendo la diferencia de cota entre la superficie de terreno y la clave inferior de la tubería de 1,93 m.c.a., la presión relativa a nivel de la clave inferior de la tubería será:

$$\boldsymbol{P\_tub(KM\_4687{,}70)=0{,}53+1.93=2{,}46\ m.c.a.}$$

Luego, sumando a esa presión la cota de la clave inferior de la tubería y el término de velocidad (tubería de diámetro comercial 400 mm), se determina la carga total en este punto:

$$\boldsymbol{H(KM\_4687{,}70)=0{,}04+2{,}46+99{,}33=101{,}83\ m.c.a}.$$

Posteriormente se calcula la carga total en el punto de inicio del proyecto H(KM_4702,87) y luego las cargas en todas las secciones intermedias, restando cada vez el valor de la pérdida lineal de carga intermedia, como explicado en el siguiente punto.

6.2. Pérdidas de Carga lineales y singulares

La carga en cada una de las secciones consideradas se calcula restando a la carga inicial las pérdidas lineales y singulares del tramo considerado.

Las pérdidas de carga lineal se obtienen con la fórmula de Hazen-Williams, que es la siguiente:

$$J = 10{,}665.\left(\frac{Q}{C}\right)^{1{,}852}.\frac{1}{D^{4{,}869}} \qquad (2)$$

siendo J (m.c.a./m) la pérdida de carga en tanto por uno;
Q (m3/s) el caudal;
C el coeficiente de rugosidad (C=150 para el PVC);
D (m) el diámetro interior de la tubería.

Las pérdidas de carga singulares se considerarán como el 10% de las pérdidas lineales, repartiéndolas a lo largo de toda la tubería. Esta hipótesis, además de ser conservadora, simplifica bastante el cálculo de las pérdidas singulares, que en este tipo de obra, en general no aporta mayor información de interés. En efecto las pérdidas singulares pueden hasta ser despreciadas en las tuberías largas cuya extensión supere 4000 veces el diámetro y se desprecian todavía en las tuberías en que la velocidad es baja y el número de piezas especiales

no es grande. Así por ejemplo las pérdidas generalmente no son tomadas en cuenta en las líneas de conducción.
Es importante considerar las pérdidas singulares, tratándose de tuberías cortas, así como de tuberías que incluyen gran número de piezas especiales, pero eso no es nuestro caso.

Con estas herramientas de cálculo, se determina en cada sección intermedia, la carga total o Bernoulli *H (M)* que corresponde a la expresión de la fórmula (1) restándole a la carga inicial las pérdidas lineales y singulares tramo por tramo.

Luego, se calculan las presiones relativas a nivel de la clave inferior de la tubería *P_tub* y a nivel de la cota del terreno *P_terr*:

$$P\_tub(M) = H(M) - \frac{U(M^{2}}{2.g} - z\_tub(M) \quad (3)$$

$$P\_terr(M) = P\_tub(M) - h\_terr(M) \quad (4)$$

Siendo:
P_tub (m.c.a.) la presión relativa al nivel de la clave inferior de la tubería;
H (m.c.a.) la carga total;
U (m/s) la velocidad media del escurrimiento;
g (m/s2) la aceleración de la gravedad;
P_terr (m.c.a.) la presión relativa al nivel de la superficie del terreno, correspondiente a la presión de entrada en la válvula de entrega;
h_terr (m) la profundidad de enterramiento, diferencia entre la cota de la clave inferior de la tubería y la cota de superficie del terreno.

A continuación, se utiliza esta fórmula para calcular las presiones a lo largo de la tubería y particularmente las presiones de entrega, cálculo que permitirá decidir entre los diámetros posibles para la tubería, el diámetro o la combinación de diámetros más conveniente.

Por ello se consideraron 3 casos distintos:

-el Caso 1 corresponde a una tubería de diámetro uniforme de 315 mm;

-el Caso 2 corresponde a una tubería de diámetro uniforme de 350 mm;

-el Caso 3 corresponde a una tubería de diámetro uniforme de 400 mm.

Para cada caso se hizo el cálculo de las presiones de entrega según la metodología recién expuesta; los resultados se encuentran resumidos en los siguientes cuadros.

Tabla 8: Caso 1, diámetro uniforme de 315 mm (diámetro interior 302 mm)

PARÁMETRO	Entrega 1	Entrega 2	Entrega 3	Entrega 4	Entrega 5	Entrega 6	UNIDAD
P_sal	0,72	0,54	0,27	-0,30	-0,34	-0,37	*m.c.a.*
D	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	*m*
Q	39,90	34,39	24,41	ERROR	ERROR	ERROR	*l/s*

Para esta tubería, se obtiene una velocidad de escurrimiento de *V=1,40 m/s,* que corresponde a un valor alto, y consecuentemente también genera pérdidas lineales importantes. Eso explica las presiones muy bajas (negativas) que observamos en la entregas 4, 5 y 6 y por las cuales se descarta esta solución.

Tabla 9: Caso 2, diámetro uniforme de 355 mm (diámetro interior 341 mm)

PARÁMETRO	Entrega 1	Entrega 2	Entrega 3	Entrega 4	Entrega 5	Entrega 6	UNIDAD
P_sal	0,80	0,69	0,50	0,19	0,20	0,19	m.c.a.
D	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	m
Q	42,02	38,86	33,12	20,35	21,07	20,37	l/s

Para este diámetro, se obtiene una velocidad *V= 1,09 m/s*. Ya no se encuentran entregas con presiones negativas. Eso se explica por una disminución de las pérdidas y consecuentemente un aumento de la carga total y de las presiones de entrega a lo largo del entubamiento. Sin embargo, los valores de presiones y caudales calculados correspondientes a las entregas 4, 5 y 6, aún son valores bajos.

Tabla 10: Caso 3, diámetro uniforme de 400 mm (diámetro interior 384 mm)

PARÁMETRO	Entrega 1	Entrega 2	Entrega 3	Entrega 4	Entrega 5	Entrega 6	UNIDAD
P_sal	0,84	0,77	0,62	0,45	0,50	0,49	*m.c.a.*
D	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	*m*
Q	43,15	41,10	37,01	31,57	33,03	32,93	*l/s*

En este último caso, el problema de las presiones y de los caudales de entrega queda completamente resuelto, ya que los valores calculados para las entregas 4, 5 y 6 resultan aceptables. La velocidad de escurrimiento es igual a *V=0,86 m/s.*

En base a las consideraciones anteriores, se decidió elegir un diámetro nominal uniforme de 400 mm (diámetro interior de 384 mm) para todo el tramo entubado.

6.3. Máxima presión hidrostática

Con el fin de seleccionar el tipo de tubería, se verifica la presión hidrostática máxima que se producirá en su desarrollo. La presión hidrostática máxima se calcula en el punto mas bajo del tramo entubado, considerando la válvula inicial enteramente abierta, y entonces el tramo conectado con el tramo de aguas arriba.

Según los resultados del proyecto del entubamiento ya existente, diseñado por el Ingeniero Agrónomo Jorge Romero y cuyas referencias se encuentran en la parte agronómica del informe, el desnivel total del entubamiento existente es de 2,32 metros. La diferencia entre la cota de inicio del proyecto *z_tub*(KM_4702,87)=99,33 m y la cota del punto más profundo a la salida del sifón *z_tub*(KM_4832,45)=98,07 m es 1,26 metros.
Entonces se calcula la presión hidrostática máxima como:

$$P\_max=2,32+1,26=3,58 \text{ m.c.a.}$$

Considerando una altura del escurrimiento en la obra de toma del orden del metro, la presión hidrostática máxima (en el punto mas bajo del entubamiento) será aproximadamente 4,60 m.c.a. y se puede eligir una tubería agrícola de clase C 2,5.

Todos los cálculos hidráulicos correspondientes al análisis anterior se encuentran en el Anexo 17.

7. Diseño de las Obras

7.1. Instalación de Válvulas de Entrega con Cámara de Protección

Las compuertas actuales serán remplazadas por válvulas de entrega según la distribución y ubicación actual de los predios: las entregas serán individuales, salvo la entregas 2 y 3 que corresponden respectivamente a 2 y 4 usuarios, que siempre han compartido su entrega.

Las válvulas elegidas son válvulas de compuerta de tipo MEPLAT, de diámetro 150 mm. El diámetro de las válvulas se eligió, verificando que el caudal entregado fuera satisfactorio, o sea superior a 20 l/s (cf Tabla 10), y considerando que todas las válvulas de las obras existentes son de este mismo modelo. Eligiendo además el mismo proveedor, se facilitarán así la mantención y el suministro de los repuestos de aquellas válvulas.

Cada una de las válvulas será colocada en una cámara superficial de protección de albañilería con radier de hormigón, salvo la cámara correspondiendo a la entrega 3, que será enterrada, ya que se encuentra ubicada en un camino. Todas las cámaras tendrán una tapa metálica móvil cerrada con candado.

El diseño de las cámaras de protección superficiales fue inspirado del proyecto R.09 del listado de precios unitarios de la Comisión Nacional de Riego.

La cámara enterrada corresponde a una obra tipo de pequeño tamaño: entonces tendrá las armaduras mínimas que se indican en los planos de diseño de detalle.

Las características geométricas y de armaduras de ambas cámaras de protección están descritas en el plano de diseño detallado Láminas 2 y 3.

7.2. Instalación una Válvula de Inspección Desarenadora con Cajón de Protección de Hormigón Armado

Por las consideraciones ya expuestas en el diseño hidráulico se necesita colocar una cámara desarenadora en el punto bajo del trazado, en el KM 4833,70, a la salida del sifón. Esa cámara es metálica, cerrada herméticamente con una tapa metálica, se manda construir a medida y se coloca directamente en la tierra, sobre une encamado de arena. Dada la profundidad del terreno en este punto se debe prever un cajón de hormigón armado, cuya base se apoya en la misma cámara, permitiendo a una persona bajar a abrir la tapa y hacer la limpieza periódica de la cámara.

Este cajón enterrado está diseñado según los planos de obra tipo de "Cámara enterrada para obras de arte" del Manual de Carreteras de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas de Noviembre 2000, volumen 4, láminas 4.105.701 y 4.105.702, que se encuentra en el Anexo18. Su base se apoyará directamente sobre la cámara metálica.

Las características de la cámara metálica están descritas en el plano de diseño detallado Láminas 4.

7.3. Instalación de una Válvula final con Cámara de Protección de Hormigón Armado

La cámara enterrada de protección de la válvula final está diseñada según los planos de obra tipo de "Cámara enterrada para obras de arte" del Manual de Carreteras de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas de Noviembre 2000, volumen 4, láminas 4.105.701 y 4.105.702, que se encuentra en el Anexo 18.

Sus características están descritas en el plano de diseño detallado Láminas 5.

7.4. Instalación de Válvulas de Aire

La acumulación de aire en el interior de las tuberías es uno de los principales problemas de las redes. El aire ocupará las partes altas de las redes y si en estos puntos no existen accesorios que permitan su escape al exterior, al acumularse el aire se producirá una reducción importante del diámetro útil y del caudal (incluso podrá obstruirla completamente), originando problemas puntuales de pérdidas de carga severas.

El problema más grave es que se puedan producir sobrepresiones que causen la rotura de los tubos (compresión del aire por presión de agua o desplazamiento brusco de la burbuja de aire).

Por otro lado, también se puede producir el vacío al interior de la tubería, cuando se está drenando agua, lo que puede originar el colapso de la tubería por aplastamiento.

Las ventosas o válvulas de aire son accesorios para sacar el aire de las tuberías y evitar esos problemas. En el KM 4817,51 (cambio de pendiente) y KM 4860,00 (punto alto) se deberán colocar válvulas de aire doble propósito de 2", que cumplen las funciones de ambas válvula de pequeño orificio o automática (permitir el escape de aire mientras la cañería está en operación) y la válvula de gran orificio o cinética o de ante-vacío (permitir el escape de aire durante el llenado inicial o permitir la entrada de volúmenes importantes durante el vaciado de la línea).

Se colocará también una válvula de aire doble propósito de 2", en la parte alta de la cámara metálica, donde se pueden acumular burbujas de aire.

En el plano de disposición general de las obras se señala la ubicación y disposición de las ventosas. Las ventosas se colocarán al nivel del terreno, conectados por intermedio de un tramo de tubo de PVC C 6 de 63 mm en collarines, permitiendo su retiro para revisión.

7.5. Machones de Anclaje

Por el principio de inercia, el escurrimiento por una tubería sometida a presión interna tiende a seguir en línea recta, generándose empujes o esfuerzos en los cambios de dirección y en accesorios tales como válvulas, codos, tees, tapones, etc.

Estos empujes tienden a desacoplar las tuberías, por lo que es necesario resistirlos mediante machones de anclaje. Se usarán machones de tipo cubos de hormigón de H 15 200 kg_cem/m3, que por su peso propio adosados al terreno, resisten estos empujes.

Se colocarán machones de anclaje en los siguientes puntos:

-a cada tee de conexión tubería matriz–tubería de entraga o sea en los kilómetros KM 4723,00, KM 4752,80, KM 4786,50, KM 4897,00, KM 4920,00 y KM 4928,00; (las válvulas correspondiente se deberán simplemente empotrar en un machón de hormigón);

-en los kilómetros KM 4726,80 y 4740,00 donde se presentan cambios de dirección horizontal con 2 codos a 45 °.

En el plano de disposición general de las obras se señala la ubicación de dichos machones de anclaje.

En los planos de detalle Lámina 6, se encuentra los croquis de disposición de los machones de anclaje.

La metodología empleada para dimensionar dichos machones de anclaje está detallada en el Anexo 19.

8. Verificaciones

8.1. Profundidad Mínima

Las tuberías de PVC son flexibles, por lo que están expuestas a deflexiones, especialmente si están sometidas a cargas externas y la tubería aún no se conecta a la red presión.

Al deflectarse la tubería ejerce presión sobre el suelo adyacente, por lo que resulta indispensable compactar debidamente el terreno circundante a la tubería.

El diseño de la tubería debe prevenir que ésta se ovale excesivamente, evitando su ruptura, y evitando adicionalmente las restricciones en el área de flujo o las filtraciones en las uniones.

Para propósitos de diseño, una deflexión de un 10% es considerada segura, pero incluyendo un factor de seguridad adicional, se recomienda una deflexión máxima de un 5% según mencionado en el "Boletín Técnico: Línea Presión" disponible en el sitio del proveedor de tuberías PVC Duratec-Vinilit.

En el Anexo 20 se detalla un método de cálculo que permite verificar que la deformación de la tubería es aceptable, considerando primero una configuración con cargas muertas solamente y luego una configuración con cargas muertas y vivas, ya que en el sector de la planta de tratamiento de la empresa Aguas del Valle, la tubería pasa por debajo de un camino transitable donde pasan autos y camiones de la empresa.

8.2. Cambios Pequeños de Dirección

En este punto se verificará que la curvatura de los tubos de PVC, debida a los pequeños cambios de dirección de la pasada del sifón, es menor a 3°, curvatura máxima recomendable según mencionado en el "Boletín Técnico: Línea Presión" disponible en el sitio del proveedor de tuberías PVC Duratec-Vinilit.

El primer cambio pequeño de dirección se inicia en el KM 4790,50 con una cota de clave inferior del tubo de 99,29 m, unos metros aguas abajo de la entrega 3. La pendiente de hace más fuerte para alcanzar la cota 98,24 m en el KM 4820,00 que corresponde a la entrada del sifón.

El segundo cambio pequeño de dirección corresponde al tramo de subida, después de la salida del sifón: empieza en el KM 4833,70 a la salida de la cámara dearenadora con una cota de clave inferior del tubo 98,07 m y termina en el KM 4860 con la cota 99,25 m, que corresponde al punto alto del trazado.

La curvatura de la tubería esta dada por la siguiente fórmula:

$$\alpha = \frac{180}{\pi}.\tan^{-1}\left(\frac{h}{L}\right)$$

Siendo
α la curvatura de la tubería en °
h la flecha máxima del tramo curvado;
L la longitud del tramo curvado.

Se encuentra el croquis correspondiente a la fórmula anterior enlos planos de detalle, Lámina 7.

Para el primer cambio, calculamos $\alpha = \frac{180}{\pi}.\tan^{-1}\left(\frac{98{,}69 - 98{,}07}{4820{,}00 - 4790{,}50}\right) \approx 2{,}4° < 3°$

Para el segundo cambio, calculamos $\alpha = \frac{180}{\pi}.\tan^{-1}\left(\frac{98{,}58 - 98{,}07}{4845{,}00 - 4833{,}70}\right) \approx 2{,}5° < 3°$

En ambos casos verificamos el criterio propuesto por el proveedor de tuberías Duratec-Vinilit.

8.3. Golpe de Ariete

El golpe de ariete es un fenómeno de sobrepresión producido por una variación brusca de la velocidad del flujo (típicamente cierre o apertura de válvula), que en algunos casos puede ser varias veces superior a la presión de operación normal de la tubería, pudiendo llegar al colapso de ésta si no se toman las medidas adecuadas.

En caso extremo, el golpe de ariete se produce al cerrarse completamente una válvula, generándose una detención del flujo en forma violenta; en estas situaciones, después de la detención del flujo, se produce una circulación en sentido contrario, generándose una componente negativa de presiones, pudiéndose llegar en caso extremo en algunos materiales, al abollamiento de la tubería como consecuencia de presiones negativas.

Se determinó la sobrepresión producida por el golpe de ariete, aplicando las fórmulas de Michaud y Joukousky, según la magnitud de tiempo utilizado en la detención del flujo, y se verifica que la tubería aguanta dicha sobrepresión.

El detalle de los cálculos se encuentra en el Anexo 21.

H. PLAN DE DISPOSICIÓN GENERAL DE LA OBRA, PLANOS DE DISEÑO Y/O TOPOGRÁFICO DETALLADOS

Los planos mencionados corresponden a la Lámina 1 que se encuentra en fin del proyecto, en el sobre de plástico.

I. CUBICACIONES, PRESUPUESTO GENERAL Y DETALLADO, COTIZACIONES Y ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS, PRESUPUESTO FINAL DEL PROYECTO.

La memoria de cubicaciones de los movimientos de tierra se encuentra en Axexo 16.

El presupuesto general se presenta resumido en la Tabla 11. Cada ítem del presupuesto se encuentra detallado en el presupuesto detallado en Anexo 22, junto con las cotizaciones de proveedores que permitieron establecerlo.

El presupuesto final del proyecto se presenta resumido en la Tabla 12, y en el Anexo 23 junto con la justificación de los gastos generales.

Siempre cuando no se mencione una cotización, se ocupó los precios del Análisis de Precios Unitarios disponible en la página de la Comisión Nacional de Riego (www.cnr.cl) indicando el código correspondiente.

Tabla 11: Presupuesto general de las Obras

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P. U. $	P.T. $
1	DEMOLICIÓN TRAVESÍAS Y SIFONES	1	gl	431,011	431,011
2	DESTRONQUE	1	gl	138,226	138,226
3	INTERCONEXIÓN TUBERÍAS	1	gl	348,351	348,351
4	REPLANTEO y CONTROL TOPOGRÁFICO	5	día	114,280	571,402
5	EXCAVACIÓN A MANO DE ZANJA DE TUBERÍA	153.06	m3	2,589	396,296
6	EXCAVACIÓN CON MÁQUINA DE ZANJA DE TUBERÍA	341.89	m3	1,081	369,742
7	CAMA DE ARENA	460.23	m2	746	343,478
8	TUBO PVC C4 - 355mm (INCLUYE PIEZAS ESPECIALES)	480	m	17,537	8,417,564
9	PIEZAS ESPECIALES	1	gl	542,676	542,676
11	RELLENO COMPACTADO CON PIZON MANUAL	117.83	m3	3,192	376,110
12	RELLENO A MANO SIN COMPACTAR	108.35	m3	1,887	204,474
13	RELLENO CON MAQUINA SIN COMPACTAR	210.93	m3	547	115,435
10	MACHONES DE ANCLAJE	1	gl	48,253	48,253
14	VÁLVULAS DE AIRE	2	un	200,846	401,691
15	VÁLVULA DE ENTREGA 150 mm CON CÁMARA DE PROTECCIÓN ENTERRADA	1	un	423,090	423,090
16	VÁLVULA DE ENTREGA 150 mm CON CÁMARA DE PROTECCIÓN SUPERFICIAL	5	un	376,394	1,881,970
17	CÁMARA DE INSPECCIÓN	1	gl	1,214,890	1,214,890
18	VÁLVULA FINAL 350 mm CON CÁMARA DE PROTECCIÓN ENTERRADA	1	gl	1,106,838	1,106,838
19	FLETE	1	gl	400,000	400,000
		TOTAL NETO ($)			**17,731,498**
		VALOR U.F. al 9 de julio de 2006			18,162.28
		TOTAL NETO (U.F.)			**976.28**

Tabla12: Presupuesto final del Proyecto

COSTOS DE EJECUCIÓN DE LAS OBRAS	
COSTO DIRECTO ($)	17,731,498
GASTOS GENERALES ($)	1,402,500
UTILIDADES ($)	3,000,000
SUB-TOTAL NETO ($)	**22,133,998**
IVA (19%)	4,205,460
SUB-TOTAL ($)	**26,339,458**
COSTO PRESENTACIÓN PROYECTO*	100,000
COSTO SUPERVISIÓN ($)	1,500,000
TOTAL ($)	**27,839,458**
VALOR U.F. AL 09 de julio de 2006	18,162.28
TOTAL (U.F.)	**1,532.82**
APORTE OFRECIDO (U.F.) 25%	**383.20**
SUBSIDIO SOLICITADO (U.F.) 75%	**1,149.61**

* Costo estimado de presentación y tramitación del proyecto por parte del consultor encargado.

El desarrollo de este proyecto tuvo financiamiento a través del estudio
"Aplicación de metodologías para aumentar la eficiencia de uso del agua.
Estudio de caso: Región de Coquimbo"

J. Cronograma de actividades

Se encuentra en el Anexo 24.

K. Especificaciones Técnicas de Construcción

1. Aspectos Técnicos

La construcción se ejecutará de acuerdo con lo estipulado en las presentes Especificaciones Técnicas, el Manual de Obras Menores de Riego y el manual de Recomendaciones para la Inspección Técnica de Obras de la Ley de Fomento al Riego Versión 2000 (CNR).

Cualquier omisión en estas Especificaciones Técnicas no liberará al contratista de la responsabilidad de ejecutar los trabajos de acuerdo a las normas vigentes.

Será responsabilidad y cargo del contratista la tramitación y pago de todo permiso municipal o de cualquier otra índole, como las autorizaciones para accesos, terrenos a ocupar en forma transitoria y otros que se requieran para dar inicio y efectuar la construcción de la obra en referencia.

Por otra parte, todos los daños en bienes o propiedades circundantes, que se produzcan por la ejecución de obras, deberán ser reparados íntegramente por el contratista a su propio cargo.
Una vez finalizadas las obras, todas las explanadas y áreas utilizadas durante la construcción deberán quedar limpias de escombros y basuras, los que deberán ser llevados a botaderos autorizados.

El contratista a cargo de las obras deberá cumplir todas las disposiciones vigentes sobre Prevención de Riesgos.

2. Instalación de Faenas

Se entiende por instalación de faenas aquellas instalaciones auxiliares no permanentes, que no forman parte del proyecto, y que son necesarias para la ejecución de las obras, tales como instalaciones para alojamiento del personal, bodegas de almacenamiento de materiales, alimentaciones eléctricas, oficinas…

Estas instalaciones no deben interferir con las obras del proyecto, ni tampoco dañar al medio ambiente. Se deberá recolectar y eliminar todas las basuras, materiales de desecho y desperdicios de todas instalaciones y frente de trabajo.

3. Letrero de Obra

Se contempla un letrero de obras, que detalle las características del proyecto, el cual deberá ser instalado en un lugar visible y al iniciarse la construcción de las obras. Las dimensiones, materiales y leyenda se definen en las fichas técnicas entregadas por la Comisión Nacional de Riego. Esa información se puede consular en la página www.cnr.cl.

4. Preparación del Terreno

En estas especificaciones se describen las exigencias que deberán cumplir el roce, el despeje, el escarpe y las demoliciones en las áreas destinadas a las diferentes obras del proyecto, yacimiento de materiales, depósitos de materiales…

4.1. Iniciación de los Trabajos

Para dar comienzo a los trabajos, el Contratista deberá requerir la correspondiente autorización de la Inspección.
El Contratista deberá replantear las áreas en que, de acuerdo al contrato, se deberán ejecutar estos trabajos. El replanteo deberá ser sometido a la aprobación del Inspector, antes de iniciar los trabajos. Los procedimientos para delimitar en terreno las áreas involucradas deberán ser tales, que permitan verificar de forma simple y rápida, que los trabajos cumplen con los límites indicados en el contrato.

4.2. Roce

El roce consistirá en tala de árboles y corte de arbustos a no más de 30 cm sobre el nivel del suelo, retirando y depositando los arbustos y además desechos en los lugares aprobados por la Inspección.

No se permitirá el roce a fuego de los desechos y de ningún tipo de vegetación, a menos que autoridades pertinentes y la Inspección lo aprueben.

Los límites de las áreas que deben ser rozadas, se extenderán 4 metros más del término de las excavaciones y de rellenos, salvo lo especificado en los planos del contrato o por la Inspección.

Se deberá colocar señalización adecuada para evitar accidentes.

4.3. Despeje

El despeje consistirá en la remoción y depósitos de cepas, tocones y raíces. El límite en planta, de las áreas a descepar, será de 2 metros más allá del término de las excavaciones (5 metros en total).

4.4. Escarpe

El escarpe consistirá en la remoción, transporte y depósito en lugares aprobados por la Inspección, de toda la capa superficial del suelo que contenga desecho, humus, materiales en descomposición, o cualquier residuo de vegetación. Cuando la napa de agua esté cerca de la superficie, el escarpe deberá hacerse bajo el nivel freático.

El escarpe se hará en todas las áreas correspondientes a futuras excavaciones y cuyo material será utilizado para efectuar rellenos, y en aquellas áreas en que se fundará sin una excavación posterior al escarpe.

Los límites, en planta, de las áreas de escarpe, se extenderán 1 m más allá de los límites establecidos para la planta de las excavaciones o rellenos.

4.5. Demolición

Además de las medidas de limpieza, se necesitará demoler dos pasadas hormigonadas, donde el canal pasa por tubos de alcantarillado de hormigón.

Esta demolición se hará preferentemente con máquina neumática.

El uso de explosivos será posible sólo con la autorización de la Inspección, para lo cual el Contratista deberá presentar un plan detallado de ejecución. Además, se deberán obtener los permisos de las autoridades que correspondan para su uso y transporte.

El proyecto considera la demolición parcial de una cámara de hormigón armado y de las paredes de un sifón: por ello se consultará el punto respectivo en las especificaciones técnicas especiales. La cubicación de esta demolición se hizo con ayuda del plano de dicha cámara facilitado amablemente por el Ingeniero Agrónomo Jorge Romero. El plano se encuentra en el Anexo 25.

4.6. Agotamiento

Los roces, descepes y escarpes deberán efectuarse con las áreas libres de aguas superficiales y deberá mantenerse la napa deprimida. En todos los casos que sea posible, se mantendrán desagües que permitirán el escurrimiento gravitacional del agua hacia fuera de las áreas en que se ejecuten los trabajos.

4.7. Disposición de los materiales extraídos

Todos los árboles, arbustos, raíces y cualquier otro material proveniente de demoliciones, roces y descepes que no sean propiedad de terceros, podrán ser enterrados en los lugares especificados en el proyecto o retirados del lugar, de acuerdo a las instrucciones de la Inspección. No se permitirá quemarlos a manos que esta operación sea autorizada por la Inspección y se disponga de los permisos de los organismos correspondientes. Además, deberán tener el equipo adecuado necesario para poder controlar el fuego y evitar que se propague a las zonas vecinas.

Los materiales que se entierren deberán recubrirse con capas de suelos de un espesor de 50 cm como mínimo, provenientes de las operaciones de escarpe o del material no utilizable extraído de las excavaciones, dejando una sobrecarga mínima de 30cm sobre el nivel del terreno.

Los materiales provenientes de las operaciones de escarpe y aquellos que puedan ser utilizados como protección deberán ser acopiados en lugares destinados a este fin con la autorización previa de la Inspección

5. Instalación tubería

5.1. Trazado y Niveles

Una vez limpio y despejado el terreno, se procederá al trazado del eje definitivo de la tubería, nivelando todo el sector donde se realizarán las obras, dejando puntos de referencia cada 200 m y colocando estacas de madera cada 20 m para proceder a los trabajos de excavación, encamado de arena y construcción de radieres de las cámaras de entrega enterrada y superficial.

5.2. Excavación de la Zanja

Las excavaciones de realizarán a mano en las zonas urbanizadas sin alcanza de máquinas (entre KM 4702,87 y KM 4820,00) y con máquina chica siempre cuando se pueda entre KM 4832,45 y KM 5175,55.

La zanja se excavará en el alineamiento del trazado de la tubería, de acuerdo al proyecto y considerando dificultades en terreno tales como árboles, postación, canales, otros ductos (gas, electricidad, teléfono, etc.).

La zanja se excavará respetando la alineación, cotas y pendientes especificadas en los planos respectivos.

El material de la excavación será depositado a una distancia mínima de 45 cm del borde de la zanja. La proximidad y altura de dicho material no debe poner en peligro la estabilidad de la excavación.

El fondo de la zanja se debe limpiar para eliminar piedras, raíces, afloramientos rocosos y cualquier otro obstáculo.

El relleno final deberá efectuarse tan pronto como sea posible después de instalada y probada la tubería, considerando que ya se hizo un relleno parcial y se efectuaron los ensayos pertinentes.

5.3. Formas de Zanjas

La zanja estrecha es el tipo más conveniente para instalar tuberías enterradas, ya que las cargas potenciales se minimizan.

La zanja ancha implica que el tubo debe soportar pesos mayores que en el caso de la zanja angosta.

Si las paredes de la zanja son inestables, se deben instalar entibaciones, encofrados u otro medio para soportar las paredes.

Si el fondo de la zanja es inestable, se deberá estabilizar o utilizar otros métodos de fundación tales como envigado, uso de geotextiles, medios químicos, agotamiento, etc.

5.4. Encamado

Los tubos no se deben poner directamente sobre el fondo de la zanja, salvo que el material del fondo cumpla con las características exigidas por la NCh 2282/2.

Los tubos deben asentarse en el material de encamado en toda su longitud, por lo cual éste se construye de manera de adaptarse a las irregularidades del diámetro del tubo, originadas por cambios de sección y/o colocación de accesorios de unión.

El fondo de la zanja debe ser continuo, plano y libre de piedras, troncos, materiales duros o cortantes. Si el fondo es de material suave, fino, sin piedras y se puede nivelar fácilmente, no es necesario usar rellenos de base especial, siempre y cuando sean debidamente compactados y cumplan con las características exigidas por la NCh 2282/2.

Si el fondo está constituido por material pedregoso o rocoso, se debe colocar una capa de arena o material granular de mínimo 10 cm que cumpla la granulometría y compactación exigida por la NCh 2282/2.

Está prohibido el uso de material arcilloso inmediatamente alrededor del tubo, ya sea en el encamado, relleno lateral o superior.

La superficie del material de encamado debe seguir la pendiente especificada en el diseño.

Es fundamental brindar a la tubería un apoyo uniforme y continuo en toda su longitud.

5.5. Instalación de los tubos

Antes de instalar los tubos, cada tubo debe ser inspeccionado para detectar la existencia de algún daño. Todo tubo dañado debe ser reemplazado.

Los accesorios y anillos elásticos tampoco pueden presentar daños.

Se debe tener cuidado de no colocar los anillos de goma al revés.

Los tubos y accesorios se deben bajar cuidadosamente a la zanja. Bajo ninguna circunstancia se deben dejar caer dentro de la zanja.

5.6. Cambios pequeños de dirección

Es importante tener presente que las curvaturas obtenidas por flexibilidad de los tubos debe hacerse únicamente en la parte lisa del tubo y no sobre las uniones.

5.7. Relleno

El relleno debe efectuarse inmediatamente después de colocada la tubería.

El material de relleno destinado a estar en contacto directo con el tubo estará constituido por capas de arena o suelos granulares previamente harneados.

Se rellenarán los costados del tubo, desde el encamado hasta el eje central de éste.

Se debe compactar este material, para obtener un grado de 90% del Proctor Standard.

Esta primera etapa del relleno se efectuará obligatoriamente con pizón manual. Las etapas siguientes del relleno se harán con máquina siempre que se pueda o a mano en zonas sin alcance de máquinas (referirse al punto "5.2. Excavación de la Zanja" de las mismas especificaciones técnicas).

Posteriormente se debe agregar otra capa de material de relleno de manera que cubra el tubo hasta una altura de 150 mm sobre la clave. Se debe compactar esta capa exclusivamente sobre los bordes de la zanja.

Se debe continuar el relleno de la zanja hasta llegar al nivel natural del terreno con tierra de la excavación previamente tamizada y debidamente compactada.

La tierra proveniente de la excavación debe ser tamizada con una malla cuya mayor abertura sea 25 mm.

Este último relleno es efectuado por capas sucesivas, de un espesor máximo de 300 mm, que deben ser compactadas sucesiva y adecuadamente. El número de capas dependerá de la profundidad de la zanja.

Antes de completar el relleno de la zanja se debe probar la tubería, para lo cual deben quedar descubiertas todas las uniones y piezas especiales.

5.8. Tapado de zanjas

Luego de colocada la tubería en la zanja, deberá llenarse con arena o material harneado de la excavación según mencionado en el punto "5.7. Relleno" hasta llegar a la cota terreno mencionado en el diseño, y siempre verificando una profundidad sobre la clave superior del tubo de 1,2 m según NCh 2282/2. Por ello se aprovechará los volúmenes excavados excedentes.

En lo posible, se dejará un sobrenivel con respecto al terreno para suplir futuros descensos por acomodo del material de relleno y a la vez evitar que la zanja sea receptora de aguas lluvias o de derrames de riego que la erosionen.

Si sobra material de excavación se podrá utilizar en la confección de terraplenes siempre que cumpla con las especificaciones necesarias.

En general, todo el proceso de excavación, colocación y prueba de tuberías y tapado de zanjas, debe ser una faena bien organizada y consecuente, de modo de evitar zanjas abiertas (especialmente en caminos), pérdidas de tuberías y jornadas de trabajo, todo lo cual encarece la obra.

6. Obras de arte

6.1. Moldajes

Estos se ocuparán en todas las zonas en que sea necesario confinar el hormigón o darle forma, de adecuado a las líneas, niveles y dimensiones que aparecen en los planos del proyecto o sea para:

-la cámara de válvula de entrega enterrada (Entrega 3);
-el cajón de inspección de la cámara desarenadora;
-la cámara de la válvula final.

Deberán tener la solidez y afianzamiento necesarios como para soportar las presiones ejercidas por el hormigón al ser colocado y compactado y como para evitar desplomes y ondulaciones. Se utilizará desmoldante para evitar roturas y desprendimiento de pedazos de hormigón, de modo que resulten superficies de hormigón que cumplan con las tolerancias.

Estarán construidos de tal manera de impedir el escape de la lechada que afecta la resistencia final del hormigón.

Los moldajes de superficies expuestas a la vista podrán ser de madera, madera terciada, acero u otro material que sea aprobado por la Inspección.
Sólo deberán emplearse maderas cuyas clase y calidad, o cuyo tratamiento o recubrimiento, garanticen que no se producirán ataques químicos ni cambios de colores en las superficies de hormigón.

6.2. Hormigón H-5

Se utilizará como emplantillado para:

-la cámara de válvula de entrega enterrada (Entrega 3);
-el cajón de inspección de la cámara desarenadora;
-la cámara de la válvula final;

con un espesor de 5 cm.

Se tendrá especial cuidado en la dosificación de materiales (4 sacos de cemento o 100 kg de cemento por metro cúbico de hormigón) para lograr una resistencia mínima de 50 kg/cm2 a los 28 días.

6.3. Hormigón H-15

Se utilizará para la confección del radier de las cámaras de protección de las válvulas de entregas superficiales, que tendrá 10 cm de altura.

Se ocupará también pata la confección de los machones de anclaje.

Se tendrá especial cuidado en la dosificación de materiales (8 sacos de cemento o 200 kg de cemento por metro cúbico de hormigón) para lograr una resistencia mínima de 150 kg/cm2 a los 28 días.

6.4. Hormigón H-30

Se utilizará para el llenado de los muros de:

-la cámara de válvula de entrega enterrada (Entrega 3);
-el cajón de inspección de la cámara desarenadora;
-la cámara de la válvula final;

con un espesor de 15 cm.

Ya que los moldajes utilizados serán de uso simple (obra de arte aislada), se fabricará en planta y se tendrá especial cuidado en la dosificación de materiales (12 sacos de cemento o 300 kg de cemento por metro cúbico de hormigón) para lograr una resistencia mínima de 300 kg/cm2 a los 28 días. En su colocación se deberá utilizar vibrador de inmersión en forma moderada, cuidando de no abrir los moldajes.

6.5. Armaduras

La calidad de los aceros usados para las armaduras será la indicada en los planos. En todo caso, ellos deberán cumplir las indicaciones de las Normas Chilenas.

Se podrán almacenar a la intemperie las barras de acero para hormigón, ordenando el material en lotes separados por diámetro, calidad y longitud, de modo de evitar que queden en contacto con el suelo.

Las barras de acero para hormigón podrán ser cortadas y dobladas en el terreno o fuera de él, a elección del Contratista. Sin embargo, si las barras son preparadas fuera del terreno, el Contratista deberá mantener eb el terreno un stock de barras de acero e instalaciones para cortar y doblar con el fin de poder ejecutar los cambios y agregados menores en las obras.

6.6. Albañilería

Las albañilerías se levantarán a lienza, plomo y escantillón.

Los ladrillos se sumergirán totalmente en agua limpia hasta su completa saturación, un día antes de su empleo y se mantendrán en esta condición hasta su colocación definitiva.

Se evitarán las picaduras en las albañilerías, debiendo dejarse insertos previamente en ellas todos los elementos necesarios, como espárragos de fierro, anclajes, tacos, etc., para la sujeción de las terminaciones respectivas.

Previo a la colocación de la primera hilada de albañilería se verificará la horizontalidad del radier, se rectificarán los ejes marcados en el tabla estacado y se controlarán sus dimensiones

de ancho y alto en acuerdo a los planos. La cara superior del radier se someterá a tratamiento de junta lavándola con agua a presión, la superficie deberá quedar rugosa, con hormigón sano sin poros ni material suelto.

Doce horas antes de iniciar la albañilería, la superficie del sobrecimiento debe ser lavada hasta saturar y no deberá presentar agua libre o pozas al inicio de la faena.

El proveedor certificará las características de los ladrillos mediante un certificado emitido por un laboratorio oficial, que incluirá antecedentes de clasificación, dimensiones, resistencia a la compresión, adherencia y absorción de acuerdo a la NCH 167. No se aceptará la utilización de ladrillos con grietas, saltaduras, trizaduras u otros defectos que afecten resistencia, durabilidad o apariencia de los ladrillos y que no cumplan con los valores indicados. La partida de ladrillos se rechazará si mas de un 10% no cumple con las condiciones de dimensión o mas de un 5% no cumple los requisitos de adherencia, resistencia y absorción que se indican en las especificaciones de estos.

Los ladrillos deben ser almacenados en un lugar limpio, nivelado y cercano a la obra. Deberán mantenerse apilados sin entrar en contacto con el terreno (contaminación con tierra u otro material) y se cubrirán en caso de heladas.

Durante la ejecución del muro se controlará permanentemente (al menos cada cinco hiladas) la horizontalidad y verticalidad de las albañilerías, con nivel o lienza entre los escantillones e hilo a plomo respectivamente.

Junto con la elevación de la albañilería será necesario prever la colocación de ductos para instalaciones embutidas que tengan cabida en las perforaciones verticales de los ladrillos, lo que disminuirá el posterior picado de los muros.

6.7. Relleno Estructural

Los rellenos estructurales se ejecutarán en los respaldos de hormigón de:

-la cámara de válvula de entrega enterrada (Entrega 3);
-la cámara de protección de la cámara desarenadota;
-la cámara de la válvula final;

y hasta alcanzar las cotas establecidas en los planos del proyecto.

Estos rellenos serán controlados y los materiales seleccionados deberán cumplir con las normas vigentes. Se constituirán en capas horizontales que no excedan 20 cm de espesor, compactándose con medios mecánicos.

7. Aseo y Entrega

La obra se entregará limpia de restos de materiales provenientes de la construcción de las obras, dejando todos los terrenos que se ocuparon para instalación de faenas, acopio de áridos y caminos de acceso en las condiciones en que se encontraban antes de iniciar los trabajos.

8. Especificaciones Técnicas Especiales

8.1. Picado del sifón

El trazado del entubamiento proyectado considera la pasada de un sifón existente, que permite a las aguas del canal de cruzar la calla Balmaceda. La tubería llega al frente de la pared de la cámara de entrada del sifón en el KM 4820,00, al nivel del fondo del sifón (98,07 m) y sale por la pared del la cámara de salida del mismo sifón en el KM 4832,45 al mismo nivel (98,07 m).

Por ello se necesita picar cuidadosamente las paredes de hormigón armado de ambas cámaras, con el fin de hacer una apertura redonda de diámetro el diámetro de la tubería más 5 cm o sea 405 cm por lo cual se pasará directamente el tubo de PVC.

Se deberá tener un especial cuidado en dejar la superficie picada de la pared del sifón en donde se apoya la tubería lisa y sin relieve cortante y ojalá con una protección, sin la cual se llevaría a la deterioración rápida del tubo.

Vista la longitud del sifón (10 m), superior a la longitud de una tira de tubería (6 m), se deberá primero efectuar la soldadura de dos tiras de tubo, antes de engancharlas soldadas en el sifón.

Se deberá también prever una protección del tubo al colocarlo en el sifón para evitar dañarlo durante la etapa de instalación.

8.2. Limpieza periódica de la cámara desarenadora

A la salida del sifón se colocó una cámara desarenadota, cuyo objeto es recolectar los sedimentos que vendrían a depositarse en el este punto bajo, y entonces crítico, del trazado.

Entonces se necesitará vaciar periódicamente el fondo falso de esa cámara de los sedimentos acumulados, sin lo cual la cámara se llenaría y no seguiría cumpliendo su función.

Para efectuar la limpieza se debe acceder al interior de la cámara. Por eso y antes de todo se necesita cortar el agua del canal, cerrando la válvula de inicio del proyecto y vaciar el tubo lo más que se puede, abriendo todas las válvulas de entrega y la válvula final dejando la tapa metálica de la cámara cerrada.

Logrado el vacío óptimo del tubo, se cerrará la válvula final, se abrirá la tapa metálica hermética de dicha cámara y se vaciará el agua que queda en la cámara con una bomba y una manguera ahogada.

Una vez la cámara vaciada, se podrá acceder con mucho cuidado al interior de la cámara con el fin de bombear el lodo acumulado, luego hacer una inspección de la cámara y una limpieza de lo que la bomba no puede sacar a sí sola.

La limpieza hecha, se cerrará la cámara, teniendo el cuidado de no dejar nada a dentro que podría luego obstruir la tubería cuando vuelva el agua.

Finamente cuando se verificó que la cámara esté bien cerrada herméticamente, se puede volver a llenar el tubo de agua, de forma progresiva para permitir el buen funcionamiento de las válvulas de aire, abriendo lentamente la válvula de inicio. Durante esta etapa se podrán dejar abiertas las válvulas de entrega para facilitar la entrada de un caudal de aire mayor.

Ya que no se conoce el tiempo de llenado de la cámara, se propone efectuar una verificación al tercero mes, luego al sexto mes y al primer año de funcionamiento del entubamiento, para concluir finalmente con un periodo de limpieza, dependiendo del estado de colapso del la cámara a cada una de las inspecciones mencionadas.

En todo caso se aconseja fuertemente efectuar por lo menos una limpieza sistemática al año y aprovechar de inspeccionar la cámara en caso de cualquier disfuncionamiento o comportamiento raro del entubamiento

L. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

1. Objetivos

El siguiente análisis tiene por objetivo evaluar económicamente el proyecto de entubamiento, considerado como proyecto tipo de entubamiento, tanto por las características del canal y de la zona proyectada, como por el tamaño o escala de dicho proyecto. Por ello se determinó algunos indicadores económicos, como VAN, TIR y período de recuperación del capital, para diferentes escenarios en que se considera diferente flujos de ingresos y de egresos, detallados a continuación.

2. Flujos de Ingreso

Los flujos de ingreso considerados son:

-beneficio debido a la implementación de nuevos cultivos por aumento del área regada;

-beneficio debido al ahorro de los costos de desembanque del canal (que de ahora en adelante se reemplaza por el costo de mantención de la tubería);

2.1. Beneficio debido a la implementación de nuevos cultivos por aumento del área regada

Con respecto a este primer ítem, se podrían ocupar dos criterios: uno que es la Superficie Equivalente de Nuevo Riego Ponderada (SENRP), que se calcula en cada proyecto que se presenta a la Ley de Fomento de la Comisión de Riego (CNR), pero que es bastante relativo, y otro que es la superficie adicional que se podría regar gracias al caudal ahorrado como consecuencia del mejoramiento de la eficiencia física del canal. Este último criterio es mucho más realista, como lo demuestra el análisis a continuación.

En primer lugar, se supone que los cultivos de las hectáreas antiguas siguen siendo los mismos, de modo que no se incluyen en el presente análisis de flujos. Lo que cuenta son las hectáreas nuevas y sus cultivos, con sus beneficios netos.

Se asume además que esta nueva área regada se ocupa en su totalidad para implementar nuevos cultivos.

Los beneficios netos correspondientes a esa área se cuantificaron ocupando los márgenes netos anuales equivalentes de diferentes tipos de cultivos, según los resultados del capítulo de diagnóstico de la eficiencia económica del cual este proyecto es parte.

Se consideraron diferentes tipos de cultivos, siendo el tipo de cultivo nuestro parámetro de análisis.

Es importante mencionar que en la metodología usada por la CNR para la evaluación de dicha superficie SENRP, se descuenta el caudal de los accionistas que se ubican aguas arriba del punto de inicio del proyecto. Por lo tanto, la ubicación misma del proyecto a lo largo del canal, tiene una influencia preponderante sobre el valor resultante de la SENRP:

-mientras más aguas arriba se ubica el proyecto en el canal, o más cerca de la bocatoma, hay menos accionistas no beneficiarios, y por lo tanto un mayor caudal agronómico disponible y consecuentemente una mayor SENRP;

-mientras más aguas abajo se ubica el proyecto en el canal, o más lejos de la bocatoma, hay más accionistas no beneficiarios, y por lo tanto, un menor caudal agronómico disponible y consecuentemente una menor SENRP.

Para ilustrar este hecho, se pueden plantear los dos casos extremos siguientes:

-un proyecto ubicado en la cola del canal: todos los accionistas del canal son no-beneficiarios, salvo los accionistas directamente beneficiarios (ubicados en la zona del proyecto) que en general son pocos (en nuestro caso 5,82 acciones de 124,5 o sea menos del 5%). Entonces el

caudal disponible es despreciable y consecuentemente el área también (el proyecto casi no tiene opción de llegar a un bono de la CNR);

-un proyecto ubicado en el inicio del canal, cerca de la bocatoma: en el mejor caso, todos los accionistas son beneficiarios (directamente o indirectamente) del proyecto, el caudal disponible es el caudal que corresponde al total de las acciones sin descuento ninguno; entonces el área beneficiada es muy importante y las opciones para el proyecto de llegar a un bono de la CNR también.

En un caso hipotético, si el proyecto estuviera ubicado al final del canal Población, tendríamos 5,92 acciones directamente beneficiarias, y 124,5-5,92=118,58 acciones no beneficiarias, las que corresponden a un caudal de descuento de (118,58/124,5)*74=70,5 l/s (según la metodología expuesta en la parte agronómica del informe), caudal que se resta al caudal total disponible o caudal con 85% de probabilidad de excedencia además del caudal de pérdidas por infiltración que es este caso se evalúa a 4 l/s.

En este caso, el caudal que quedaría para el cálculo de la SENRP sería nulo y la SENRP también.

Por otra parte, si el proyecto estuviera ubicado al inicio del canal, tendríamos 124,5 acciones beneficiarias (el total de las acciones), y un caudal de pérdidas nulo.El caudal que quedaría para el cálculo de la SENRP sería de 74 l/s, lo que nos daría una SENRP de 23,23 hás.

Esa diferencia importante obviamente influye mucho sobre el monto de la superficie de nuevo riego.

Teniendo en mente las observaciones anteriores, en este proyecto se ha considerado como nueva área regada, la que es posible de atender con el agua ahorrada como consecuencia del mejoramiento de la eficiencia física del canal, que es un parámetro mucho más realista que la SENRP, porque no depende de la ubicación del proyecto a lo largo del canal, y porque refleja directamente la consecuencia física de la obra. Además, aunque el proyecto se encontrara en la cola del canal, la superficie de nuevo riego podría ubicarse fuera de la zona del canal, porque las acciones de agua podrían venderse hacia cualquier otra parte de la cuenca, ya sea aguas arriba o aguas abajo de la ubicación del canal.

Este beneficio se calcula según la metodología mencionada a continuación.

Suponiendo la eficiencia del entubamiento igual a un 100%, el caudal ahorrado es igual al caudal de pérdidas que en el caso del proyecto de entubamiento parcial del canal Población de Monte-Patria de 470 metros de longitud se evaluó en 0,71 l/s, según la metodología expuesta en Anexo 8 de la parte agronómica del mismo informe.

Para costear los beneficios o flujo de ingreso de dicho caudal, se consideró que el caudal ahorrado sirve para regar el mismo tipo de cultivo que los considerados en el punto “beneficio debido al aumento del área regada y a la implementación de nuevos cultivos”, caso por caso.

El área de nuevo riego se calcula según la siguiente metodología:

-en primar lugar, usando los datos de "Uso del Agua a Nivel Raíz (m3/há/cosecha)" se estima el "Agua requerida" para diferentes cultivos considerando diferentes métodos de riego con una eficiencia de 0,9 para riego tecnificado y de 0,6 para métodos riego tradicionales;

-luego se determina el "Beneficio Anual por Mejoramiento de la Eficiencia Física (há)" en términos de área dividiendo el caudal anual ahorrado (m3/cosecha) por el caudal de "Agua requerida (m3/há/año)". Se asume para ello una cosecha por año.

-finalmente se calcula el "Beneficio Anual por Mejoramiento de la Eficiencia Física ($/cosecha)" en términos económicos, multiplicando el área recién calculada por los datos de "Eficiencia Observada Suelo o MNAE ($/há/cosecha)". Los resultados de este análisis se encuentran en la siguiente Tabla 13:

Tabla 13: Beneficio por Mejoramiento de la Eficiencia Física ($/cosecha)

ESPECIE	BENEFICIO POR MEJORAMIENTO EFICIENCIA FÍSICA ($ / cosecha)	
	RIEGO TECNIFICADO	RIEGO NO TECNIFICADO
Zanahoria	19.093.298	12.728.865
Vid de mesa	3.956.163	2.637.442
Otros frutales	2.408.695	1.605.797
Palto	1.660.199	1.106.799
Pimiento	1.612.638	1.075.092

Ambos datos "Uso del Agua a Nivel Raíz" y "Eficiencia Observada Suelo o MNAE se obtienen del capítulo de diagnóstico de la eficiencia económica del presente estudio.

Para tomar en cuenta el tiempo de trámites de venta de agua y de implementación de los cultivos, se supuso que el valor de beneficio calculado se alcanzará solamente el Año 5 después de la construcción del proyecto y que el Año 0 (año de la construcción) este beneficio todavía no existe. Entre el Año 0 y el Año 5, se asume un aumento lineal del beneficio anual.

2.2 Beneficio debido al ahorro de los costos de desembanque del canal

El entubamiento permite ahorrarse el desembanque periódico del canal que en algunas partes como en el canal Población de Monte Patria es un problema mayor. En efecto, al entubar las aguas del canal, utilizando materiales muy lisos como el PVC, se aumenta de forma importante la velocidad de escurrimiento del flujo dentro del tubo. Con esto se evita la sedimentación de partículas que habrían sedimentado naturalmente en el lecho del canal, donde la velocidad es mucho más baja.

El ahorro de los costos de desembanque del canal se puede considerar pues como un flujo de ingreso.

Para evaluar dichos costos se consultó a la Comunidad de Aguas del canal, la que por intermedio de su presidenta la Sra Arinda Jopia, entregó los siguientes datos: el desembanque del Canal Población de Monte Patria se hace 3 veces al año, cada vez se necesita contratar aproximadamente 40 jornales durante dos días, cuya sueldo se puede considerar en 7000 pesos diario.

Entonces los costos anuales de desembanque del canal se calculan como:
3*2*40*7000=1,68 MM$

El canal tiene aproximadamente 6 km de longitud, por lo que el costo anual de desembanque de un metro lineal de canal resulta igual a 280 $.

El "beneficio debido al ahorro de los costos de desembanque del canal" es igual al costo anual del desembanque del tramo de canal proyectado. Dado que el tramo tiene una longitud de 470 metros, este beneficio resulta de:
280*470=131600 $ al año.

De forma similar al punto anterior, se asume un beneficio nulo al año 0, año de construcción del proyecto. Se empieza a aprovechar el ahorro de los costos de desembanque el año 1.

3. Flujos de Egreso

Los flujos de egreso considerados son:

-el costo del proyecto de entubamiento mismo;

-los costos de operación y mantención del entubamiento.

Esos costos se toman en cuenta desde el año 0, año de la construcción del proyecto.

3.1. Costo del proyecto de entubamiento mismo

Se estimó un costo del proyecto de 27.839.658 $, según el presupuesto final del proyecto que se encuentra en Anexo 23.

3.2. Costos de operación del canal

Para estimar el costo de operación del canal y de sus obras se consultó a la Comunidad de Aguas del canal, la que por intermedio de su presidenta la Sra Arinda Jopia, entregó los siguientes datos: el funcionamiento administrativo y de operación de la totalidad del Canal Población de Monte Patria significan un costo mensual de aproximadamente 220.000 $.

Se entiende como costos de operación del canal los costos necesarios para su buen funcionamiento, tanto administrativo como técnico.

Estos costos incluyen el sueldo del celador, cuyo trabajo es recorrer diariamente el canal, preocuparse de la entrega del agua conforme a los derechos de cada usuario y efectuar las operaciones de limpiezas de las obras de inspección y otras que existen en el recorrido del canal. Incluyen también el equipo necesario para efectuar la limpieza de las obras.

Además, incluyen los gastos administrativos como la remuneración de la secretaria, los gastos en material administrativo, los costos por derecho de agua cobrados por la Junta de Vigilancia, y otros.

Esto totaliza un costo total mensual de operación de 220.000 $, lo que corresponde a un costo total anual de 2.640.000 $.
Si consideramos que aquellos costos se reparten de forma uniforme a lo largo del canal (que tiene una longitud de 6 km), los costos de mantención del tramo proyectado (que tiene una longitud de 0,47 km) son iguales a:
2.640.000*0,47/6=206.800 $.

4. Estudio de Casos y Resultados

Para llevar a cabo la presente evaluación económica, se consideró varios tipos de cultivos, tratando de elegir entre todos los tipos de cultivos presentes en la zona, cinco cultivos representativos del rango de Márgenes Netos Anualizados, o Eficiencia Observada del Suelo, según los valores que se consignan en el capítulo de diagnóstico de la eficiencia económica.

Se tomó en cuenta los siguientes cultivos:

-zanahoria: 3.024.380 $/há/cosecha;
-vid de mesa: 1.585.881 $/há/cosecha;
-frutales varios: 1.080.784 $/há/cosecha;
-palto: 806.228 $/há/cosecha;
-pimiento: 348.992 $/há/cosecha.

Para cada tipo de cultivo se hizo el análisis suponiendo riego tecnificado (goteo) con una eficiencia de riego de 0,9 y riego tradicional con una eficiencia de 0,6.

Con esto se tiene en total 10 casos diferentes, para los cuales se obtienen los diferentes indicadores de determinación de la rentabilidad de la obra, como el Valor Actualizado Neto del flujo total considerando una tasa de descuento de 10 %, la Tasa Interna de Retorno ambos con un horizonte de 30 años, y el número de años necesarios para la recuperación de la inversión.

Las planillas de cálculo correspondientes se encuentran en el Anexo 26.

Tabla 14: Resultados de la Evaluación Económica

TIPO DE CULTIVO	V.N.A. (10 %, $)		T.I.R. (%)		RECUPERACIÓN DEL CAPITAL (AÑOS)	
Zanahoria	114,228,729	67,440,107	43	31	5	6
Vid de mesa	2,946,905	-6,747,776	11	7	22	NO SE RECUPERA
Otros frutales	-8,429,427	-14,331,997	6	3	NO SE RECUPERA	NO SE RECUPERA
Palto	-13,932,056	-18,000,417	3	0	NO SE RECUPERA	NO SE RECUPERA
Pimiento	-14,281,705	-18,233,516	3	0	NO SE RECUPERA	NO SE RECUPERA
METODO DE RIEGO	**TECNIFICADO**	**TRADICIONAL**	**TECNIFICADO**	**TRADICIONAL**	**TECNIFICADO**	**TRADICIONAL**

Se observa que la rentabilidad de la obra depende fundamentalmente del tipo de cultivo involucrado, y secundariamente también del grado de tecnificación del riego. Para que se rentabilice la obra se necesita implementar cultivos muy eficientes.

En efecto, para la zanahoria, que es el cultivo más eficiente, el entubamiento ya está rentabilizado al cabo del quinto año después de su puesta en funcionamiento en el caso de riego tecnificado. Se necesita un año más para que se rentabilice con un método de riego tradicional. Para este cultivo se observan valores de T.I.R muy altos, de 31 % con métodos de riego tradicionales hasta 43 % con riego tecnificado.

Para la vid de mesa, algunos frutales, los paltos y el pimiento, que tienen respectivamente márgenes netos anualizados cada vez más bajos, la rentabilidad de la obra casi no se alcanza, con excepción de la vid de mesa. En este caso, la obra se rentabiliza en 22 años después de la puesta en funcionamiento de la obra. Para todos los otros cultivos no se rentabiliza la obra, cualquiera sea el método de riego.

5. Conclusión

Entonces, y como conclusión, el entubamiento parece ser una solución interesante económicamente en el caso de la implementación de cultivos con Márgenes Netos Anualizados importantes, ojalá superior a 2 MM$/há/cosecha.

No obstante, la rentabilidad depende también del grado de tecnificación del riego de las áreas de nuevo riego: mientras más tecnificado, mayor rentabilidad de la obra.

Es importante mencionar que no se tomó en cuenta, los beneficios debidos al mejoramiento de la calidad de las aguas del canal, que pueden ser importantes también, en el caso que el canal cruce una zona urbanizada por ejemplo, como lo hace el Canal Población en la población de Monte Patria. De hecho en este tipo de configuración, las aguas pueden llegar a contaminarse mucho, con basura, animales muertos u otros desechos humanos no deseables en el agua de riego. Un beneficio posible del mejoramiento de la calidad del agua por entubamiento del

canal, puede ser la posibilidad para los regantes beneficiarios del proyecto (en la zona proyectada y aguas abajo del proyecto) de exportar sus productos. Estos beneficios pueden ser importantes ya que algunos productos se venden a precios interesantes en el extranjero, pero estos beneficios no se tomaron en cuenta en este análisis, por falta de información de base que permita estimarlos.

11.2 PROPOSICIÓN TÉRMINOS DE REFERENCIA ESTUDIO: EVALUACIÓN RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS CUENCA RIO CHOAPA

11.2.1 Justificación del estudio

a) Identificación del problema

La cuenca del río Choapa posee, al igual que las demás cuencas de la IVª Región, grandes riquezas naturales, como son, por un lado, las riquezas mineras, y por otro lado, un excelente clima para la agricultura. Si bien los suelos para la agricultura son de cauce de río, o de ladera de montaña, se ha visto en esta cuenca, como también en las cuencas del Elqui y del Limarí, que ello no es impedimento para instalar una agricultura de exportación de primer nivel.

El recurso sine qua non para el desarrollo de ambas riquezas, es el recurso hídrico. La demanda neta de recurso hídrico de la gran minería en la cuenca asciende a unos 600 l/s, mientras que la agricultura, si bien requiere consuntivamente alrededor de unos 4000 l/s, demanda a nivel de bocatoma de canales alrededor de unos 14 m3/s en toda la cuenca, para poder suplir todas las ineficiencias de conducción y de riego que aún persisten en la mayor parte de los sistemas de conducción y regadíos.

El recurso efectivamente consumido dentro de la cuenca, de unos 4,6 m3/s en riego y minería, más unos 100 l/s en agua potable, más las pérdidas evapotranspirativas, llegan a unos 5,4 m3/s. Este caudal tiene una altísima probabilidad de excedencia, de alrededor de 90%, lo que significa que es un caudal muy bajo, el cual es excedido durante 9 de cada 10 años. Esto significa, a su vez, que en la cuenca se genera mucho más agua de la que el sistema es capaz de utilizar, lo que se debe principalmente a la falta de regulación.

Este tema ya ha sido reconocido por la DOH, que está abocada a construir embalses para paliar la falta de regulación, aumentar los caudales seguros, y con ello, incentivar la implantación de cultivos de valor en la cuenca.

Sin embargo, la solución en estos casos no va sólo por el camino de las grandes obras, que para rentabilizarse requieren masivamente de cambios de cultivo que permitan obtener una mayor eficiencia económica en el uso del agua, sino que también por el camino del uso del almacenamiento natural presente en la cuenca. A diferencia de lo que ocurre en gran parte de las cuencas del Elqui y del Limarí, en la cuenca del Choapa hay un acuífero de tamaño no menor, que parece interesante de explotar. De hecho, este acuífero está siendo objeto de una demanda creciente por parte de los usuarios agrícolas, muchos de los cuales están solicitando derechos subterráneos de modo de asegurar el agua para sus inversiones.

El hecho de entrar a explotar un acuífero, significa hacer uso de un almacenamiento natural que antes no se usaba (el acuífero del Choapa está casi inexplotado). Este hecho tiene una doble importancia: primero, permite acceder a un recurso seguro nuevo o adicional a los

tradicionales, y segundo, debido a este uso, se libera una determinada capacidad de almacenamiento, lo que permite al sistema retener las aguas excedentes o de invierno, que de otro modo pasan de largo cuando la capacidad de almacenamiento no se explota, pues normalmente está copada en los acuíferos de río. Es decir, el uso del recurso subterráneo significa generar recursos hídricos adicionales seguros, tal como lo hace un embalse.

En relación con el uso de embalses, el uso del almacenamiento subterráneo tiene al menos tres grandes ventajas, que son: primero, en general los volúmenes disponibles naturalmente en un acuífero son mucho más importantes de lo que podrían llegar a ser los volúmenes de los embalses en la misma zona. Por ejemplo, en el Choapa, el volumen del embalse Corrales es de 50 millones de m3, mientras que el acuífero del río Choapa, a lo largo del desarrollo de este río, se estima que podría ser de unos 400 millones de m3, a lo largo del Chalinga de unos 100 millones, y a lo largo del Illapel, también de alrededor de unos 100 millones de m3.

En segundo lugar, el agua se puede alumbrar muy cerca de donde se la necesita, de modo que se evitan las grandes obras de canalización.

En tercer lugar, las obras se van construyendo a la medida de la necesidad, y como en su construcción se aplican los criterios privados, en general su rentabilidad está asegurada. De hecho, se construyen pozos sólo donde se implantan cultivos rentables, que justifican plenamente la obra. Si bien en el largo plazo la construcción de pozos y su operación pueden generar aguas más caras que un embalse, la gradualidad de su implementación y la rentabilidad asegurada son características propias de este sistema que lo hacen preferible frente a las grandes inversiones iniciales que significa construir un embalse, el cual además, no siempre se rentabiliza dentro de plazos adecuados.

Por otro lado, también hay algunas desventajas del uso del acuífero en relación con el uso de embalses, que se refieren fundamentalmente a la interacción con el recurso superficial. En especial en los acuíferos ligados a los cauces de río, como es el caso de todos los acuíferos de la cuenca del Choapa, la utilización del recurso subterráneo podría generar afecciones a la disponibilidad de los recursos superficiales. Estas afecciones, sin embargo, no debieran ser una causal para evitar o prohibir el uso del recurso subterráneo, sino que debieran ser el primer paso para iniciar lo que es la tan mentada gestión integrada o complementaria de ambos recursos. Si hay afecciones al recurso superficial, ellas debieran suplirse con aguas subterráneas, especialmente en sequías, pero también en épocas normales.

En el estudio de eficiencia del uso del agua, recientemente realizado por CAZALAC y RODHOS para las tres cuencas mayores de la región, se modeló en forma integrada los sistemas hídricos superficiales y subterráneos de cada cuenca. Para el modelamiento de los recursos subterráneos se utilizó la información existente, que es fundamentalmente la que se consigna en el Estudio Integral de Riego Proyecto Choapa (1995). Como resultado de dicho estudio de modelamiento integrado, se observó que la cuenca del Choapa es la única que todavía puede ofrecer posibilidades interesantes de explotación de sus acuíferos. En dicho estudio, basado en la información existente, se determinó que en la cuenca completa podrían operar sin problemas derechos subterráneos por 3 m3/s sólo para riego, además de los demás

usos, y también se estimó su distribución por sectores a lo largo de cada río. Considerando que hoy hay derechos constituidos por 1,33 m3/s, esto significaría alrededor de 1,7 m3/s adicionales. en forma permanente. Además, se concluye que el acuífero constituye un embalsamiento subterráneo no despreciable, que podría permitir la extracción de 8,5 m3/s adicionales, esto es, en total 11,5 m3/s para riego, en los períodos críticos de años de extrema sequía.

Los valores señalados permitirían mantener la sustentabilidad de los sistemas acuíferos, y, de acuerdo con lo que se puede observar para los recursos superficiales, no habría afecciones mayores sobre los ríos.

De acuerdo con el mismo estudio, también se concluye que en la forma señalada, los acuíferos tendrían capacidad para suplir las demandas si el área regada creciera en un 20%, con y sin la presencia del posible futuro embalse Illapel.

Como se ha dicho, los resultados del estudio de CAZALAC/RODHOS se basan en la información existente, y es altamente recomendable afianzar esta información antes de generar grandes expectativas de desarrollo en base a las aguas subterráneas en la cuenca.

Por este motivo, y también para conocer mejor la posibilidad de las afecciones superficiales, se considera necesario generar información básica más confiable en una gran parte de la cuenca, de modo de caracterizar mejor el acuífero, tanto en cuanto a su volumen como a sus características hidráulicas, de modo que una recomendación de un uso significativamente más intensivo de este recurso, esté debidamente fundamentada.

El estudio más profundo que se solicita, incluye una caracterización geofísica del medio subterráneo, una caracterización de parámetros a través de pruebas de bombeo, un catastro de los pozos existentes para caracterizar la demanda real, un catastro de los derechos existentes para caracterizar la demanda formal, una modelación específica de los acuíferos con un modelo tipo Modflow o VModflow; y una evaluación de las posibilidades de explotación a través de la simulación de diversos escenarios de operación. Se busca determinar más fehacientemente en qué medida los acuíferos de los ríos Choapa, Chalinga e Illapel pueden aportar un recurso permanente, seguro y regulado, en qué forma podría llevarse a efecto una gestión integrada con el recurso superficial, y en qué forma reaccionarán los acuíferos ante una sequía.

Como ya se ha visto, en la cuenca del Choapa cualquier tipo de regulación, ya sea la creación de regulación superficial o el uso de la regulación natural subterránea, va a ayudar a lograr el desarrollo de una agricultura más segura, y con ello, de mayor valor, lo que genera riqueza a nivel individual, regional y nacional.

b) Políticas, marco institucional y estrategias de desarrollo regional en las que se enmarca el estudio

La Dirección General de Aguas tiene como función principal, la de planificar el desarrollo del recurso hídrico en las fuentes naturales, con el fin de formular recomendaciones para su óptimo aprovechamiento, de acuerdo con la letra a) del Art. 299 del Código de Aguas. También debe administrar los derechos de agua, y por lo tanto constituir los derechos de aprovechamiento, en función de la disponibilidad del recurso y respetando los derechos de terceros.

Por lo tanto, le corresponde y le es esencial realizar el estudio de las fuentes, en especial de las fuentes muy solicitadas o poco conocidas, e investigar sus potencialidades, para determinar la posibilidad real de constituir nuevos derechos sobre tales fuentes.

En este caso preciso se encuentra el recurso subterráneo de la cuenca del Choapa, el cual es una fuente promisoria, según se desprende de la modelación realizada en el estudio de eficiencia de CAZALAC/RODHOS, y además, está comenzando a ser muy solicitada. Sin embargo, de acuerdo con el mismo estudio, se requiere precisar algunos conocimientos sobre los acuíferos existentes, utilizando las tecnologías duras (geofísica) y blandas (modelación) actualmente disponibles, que permitirán confirmar o afinar y ajustar los resultados obtenidos, antes de generar expectativas mayores acerca de sus potencialidades.

En base a lo señalado, se aprecia que el estudio de los acuíferos de la cuenca del Choapa se enmarca perfectamente dentro de las políticas y las estrategias de desarrollo tanto del Servicio, como de la Región

11.2.2 Términos de Referencia

1. IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL TEMA A ESTUDIAR

La IV región en general, y en particular la cuenca hidrográfica del río Choapa, ha experimentado un significativo aumento en la demanda de aguas subterráneas en el último tiempo. Esta cuenca es, por otro lado, la cuenca subterráneamente menos explotada de las cuencas mayores de la IVª Región, de modo que el conocimiento que existe sobre ella es de un nivel que podría llamarse preliminar. Sobre este nivel de conocimiento preliminar se efectuó el estudio de Eficiencia de uso del agua, desarrollado por CAZALAC y RODHOS en 2006. En dicho estudio, se recabó toda la información existente en estudios anteriores para caracterizar los acuíferos de esta cuenca, y se llegó a conclusiones interesantes respecto de sus potencialidades.

Sin embargo, en el mismo estudio se recomienda profundizar el nivel de análisis antes de generar expectativas sobre las reales posibilidades de explotar los acuíferos de la cuenca del Choapa, que es lo que se pretende hacer justamente a través del presente estudio.

Hasta el momento, hay un solo sector acuífero que ha sido más estudiado, que es el sector entre Tranquilla y Llimpo, donde se ubican los pozos de sustitución de aguas superficiales que en su tiempo (1985) construyó la Anaconda, pero que hasta el momento nunca han sido utilizados. Para este sector se realizó, dentro del Estudio Integral del Choapa (Ingendesa, 1995), un estudio geofísico (que no está disponible), y una modelación (que tampoco está disponible), con el objetivo de estudiar los efectos del uso de estos pozos y de otros que pudieran haberse agregado en esta zona, sobre los acuíferos y las aguas superficiales.

Por lo señalado, y para poder constituir más derechos sobre el recurso subterráneo, como parece ser recomendable, es necesario realizar un estudio más específico, el cual genere información tanto sobre la oferta, en la forma de exploraciones geofísicas y pruebas de bombeo, como sobre la demanda, en la forma de derechos y de usos reales. Además, el estudio deberá apoyarse en una modelación, para conocer en forma más precisa la interacción entre la oferta y la demanda, y los efectos de esta interacción sobre los acuíferos y el recurso superficial.

De este modo, la DGA podrá quedar en condiciones de tomar decisiones frente a los diversos proyectos que se están suscitando en la cuenca, y que dependen del agua subterránea para poder prosperar, debido a que los derechos de agua superficial en esta cuenca están agotados.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal del presente estudio es contar con una herramienta que permita predecir y evaluar los efectos de una creciente demanda de aguas subterráneas, sobre el sistema hídrico en su totalidad, lo anterior para los valles de los ríos Choapa, Chalinga e Illapel.

Se busca determinar en qué medida los acuíferos de los ríos Choapa, Chalinga e Illapel pueden aportar un recurso permanente, seguro y regulado, en qué forma podría llevarse a efecto una gestión integrada con el recurso superficial, y en qué forma reaccionarían los acuíferos ante una sequía.

Una herramienta de estas características se construye en base al concepto de modelación, y constituye una forma eficaz de facilitar la toma de decisiones, tanto por parte del sector público como privado, respecto de determinados proyectos de inversión, que requieren certezas en el mediano y largo plazo. Pero no sólo para el largo plazo se pueden obtener respuestas en base a la modelación, sino que también para el análisis de situaciones extremas como sequías, al considerar que los acuíferos poseen recursos que están disponibles aún en completa ausencia de recursos superficiales.

Como objetivos específicos del estudio que se plantea, se identifican los siguientes:

a) Recopilación y análisis de antecedentes básicos, hidrológicos e hidrogeológicos
b) Estudio hidrológico, hidrogeológico y de demandas para generación de información de entrada al modelo hidrogeológico
c) Estudio geofísico de exploración de los acuíferos ubicados en la cuenca del Choapa.
d) Realización de pruebas de bombeo para conocer propiedades hidráulicas de los acuíferos
e) Catastro de las captaciones de aguas subterráneas existentes
f) Catastro de derechos subterráneos constituidos y en trámite en la zona de estudio
g) Desarrollo de un modelo hidrogeológico para los acuíferos más relevantes
h) Aplicación del modelo para operar algunos escenarios de explotación de los acuíferos.
i) Difusión y capacitación

3. IDENTIFICACION DE INEQUIDADES DE GÉNERO

No corresponde.

4. LOCALIZACION GEOGRAFICA Y COBERTURA DEL ESTUDIO

El estudio comprende la cuenca completa del río Choapa y sus afluentes principales, los ríos Chalinga e Illapel. Para los efectos del análisis hidrológico, deberá incluir los aportes provenientes de todas las subcuencas laterales. Para efectos de la modelación subterránea, deberá incluir todas las zonas de rellenos que puedan resultar relevantes desde el punto de vista de la explotación.

Se estima que los acuíferos a explorar con geofísica, estudios y catastros, abarcarán en el río Choapa, desde Batuco hasta la desembocadura, en el río Chalinga desde La Palmilla hasta la confluencia con el Choapa, y en el río Illapel desde Las Burras hasta la confluencia con el Choapa. Las pruebas de bombeo se realizarán sobre pozos existentes, no se contempla perforar sondajes adicionales, sólo sondajes de observación, con el fin de realizar pruebas de bombeo.

Los acuíferos a modelar hidrogeológicamente serán los más relevantes. Se estima que esto incluye, en el río Choapa al menos desde Cuncumén hasta la confluencia con el Illapel, en el río Chalinga todo el sistema desde La Palmilla hasta la confluencia con el Choapa, y en el río Illapel desde la ubicación del embalse El Bato hasta la confluencia con el Choapa.

En cuanto a los aportes subterráneos laterales, como los esteros Quelén, Camisas y Limáhuida en el Choapa, y Aucó en el Illapel, ellos serán caracterizados con geofísica, pero incluidos en la modelación sólo si del estudio geofísico se desprende la conveniencia de hacerlo.

5. ESPECIFICACION DE VARIABLES A ANALIZAR

Las variables a analizar en el marco de este estudio son todas las que caracterizan la oferta de recursos hídricos, la demanda de recursos, y los efectos de la interacción entre ambos sobre el sistema hídrico.

Habrá que conocer, por lo tanto, la cantidad de recursos hídricos que genera la cuenca, los recursos disponibles para recarga de acuíferos en los diferentes sectores de análisis, la recarga efectiva bajo diferentes situaciones de desarrollo del recurso superficial, la capacidad de porteo o transmisividad de los acuíferos, la capacidad de almacenamiento en los diferentes sectores, la demanda real (catastro) y teórica (derechos) a que puede ser sometido el acuífero, los efectos de tal demanda sobre los acuíferos y sobre el río, el crecimiento potencial de la demanda en función del crecimiento de las actividades demandantes, y los efectos de las demandas potenciales sobre un sistema en evolución.

6. PLANIFICACION Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES QUE CONSIDERA EL ESTUDIO

6.1 Recopilación de antecedentes

Se deberá efectuar una completa recopilación de los antecedentes necesarios para el desarrollo del presente trabajo (informes, estudios, tesis, expedientes, estadísticas, datos puntuales, etc.), que estén disponibles en instituciones tales como DGA, DOH, CNR, CORFO, CIREN, SISS, INDAP, SAG, Conservador de Bienes Raíces, IGM, SERNAGEOMIN, empresas de servicios sanitarios, universidades, centros de investigación, etc.

Será necesario contar con antecedentes tales como:

a) Información hidrológica: referidas a caudales, aforos puntuales, precipitaciones, niveles freáticos, etc. La DGA proporcionará en forma gratuita, con la salvedad de que su utilización es exclusiva para los fines del presente estudio, la información hidrológica pertinente.

b) Información de carácter geológico e hidrogeológico: Correspondiente a antecedentes sobre las formaciones, rellenos sedimentarios, localización de basamento, singularidades, cartas geológicas e hidrogeológicas, informes sobre prospecciones

geofísicas, sondajes; antecedentes de estratigrafía de pozos, pruebas de bombeo, etc. Para la caracterización hidrogeológica se deberá tomar en cuenta el contenido al menos de la siguiente bibliografía:

Plan de Manejo Integral de la Cuenca del Choapa. Sistema de Monitoreo de Aguas. Belén Milanés para proyecto Más Región 2000.

Servicios de construcción de pozos acuíferos del río Choapa junta Cuncumén / Minera Los Pelambres, Captagua Ingeniería. Captagua Ingeniería para Compañía Minera Los Pelambres. 1998

Estudio integral de riego proyecto Choapa. Ingendesa S.A. para Comisión Nacional De Riego. 1995

Análisis crítico de la red de medición de niveles de agua subterránea: región IV. Alamos y Peralta Ingenieros para Dirección General de Aguas del M.O.P. 1987

Servicios de construcción de pozos. Alamos y Peralta ,Consultores para Anaconda S.A. 1982

Investigación de recursos hidráulicos en la IV Región / SERPLAC (IVª Región), DGA, ONU, CORFO. Proyecto CHI-535. 1979

Estudio y evaluación de los recursos de aguas subterráneas valle del río Choapa en zona canal Choapa Norte, IV Región. Juan Karzulovic e Hilario Juez para Dirección de Riego del M.O.P. 1977

Prospección de recursos hídricos subterráneos de algunas zonas del río Choapa y secano costero del Limarí. Secretaria Regional Ministerio de Agricultura IV Región, 1997

Tendencias niveles de pozos: IV Región. Augusto Schultz, Dirección General de Aguas 1997

c) Información cartográfica: Se trabajará sobre fotografías aéreas y las imágenes que sea necesario recabar para cumplir con los objetivos y labores del presente estudio.

d) Información sobre usos: los usos quedarán caracterizados a través de catastros, ya sea el catastro de pozos que se efectuará en el presente estudio, como los catastros de usuarios, de pozos y de bocatomas existentes con anterioridad. Los usos de agua superficial deben quedar caracterizados en la medida que constituyan una fuente de recarga para los acuíferos.

e) Información sobre derechos subterráneos: Se recopilará los antecedentes sobre derechos constituidos tanto en la DGA como en fuentes distintas, como por ejemplo el

SAG, tribunales, CBR, etc. Antecedentes sobre derechos en trámite, áreas de exploración, etc, se obtendrán en la DGA. La DGA proporcionará los antecedentes pertinentes o permitirá, guardando la confidencialidad del caso, el acceso a la información que resulte necesario revisar.

En la oferta que presente el proponente, deberá indicar cómo procederá para realizar esta labor, señalando la forma en que entregará en el informe la relación de la información revisada y los antecedentes que estime necesario entregar ya sea en anexos o en el mismo informe.

6.2 Generación de la información de entrada al modelo hidrogeológico

Caracterización hidrológica

El análisis hidrológico contempla la caracterización de los flujos superficiales en la zona de estudio, para tal efecto se deberá distinguir entre los sectores que cuenten con información fluviométrica de aquellos que no la tengan.

En el primer caso se deberá analizar los antecedentes de forma tal de poder disponer de una serie de valores medios mensuales por un período estadístico de los últimos 50 años. En la oferta se deberá señalar la metodología a emplear para la validación de la información, relleno o extensión en los casos que estime necesario.

Para el caso de los sectores sin control fluviométrico se deberá generar en forma sintética los flujos superficiales a escala mensual para el mismo periodo estadístico, sobre la base de relaciones precipitación escorrentía, transposición de caudales o vía modelación.

Por otra parte deberá analizarse los antecedentes e información disponible que permita establecer los caudales de pérdidas o recuperaciones en los ríos. Para esto puede ser crucial la información disponible sobre corridas de aforos y/o aforos esporádicos existentes. El consultor en su oferta señalará la forma en que procederá para el análisis de este aspecto.

Del mismo modo deberá contarse con la estadística de niveles en los embalses, flujos de vertientes (si las hubiera) que constituyen elementos que determinan condiciones de borde para la modelación hidrogeológica. La serie estadística deberá ser concurrente con las otras series hidrológicas generadas.

Caracterización hidrogeológica

Se procederá a efectuar una caracterización que como primer paso establezca el marco geológico en el cual se distingan las principales formaciones y las zonas de interés hidrogeológico.

Sobre la base de lo anterior se efectuará una identificación de las características hidrogeológicas de las unidades de mayor interés desde el punto de vistas del uso de aguas subterráneas. Lo anterior se desarrollará a partir de toda la información que está disponible en

la bibliografía señalada en 6.1, además de prospecciones existentes, estratigrafía de sondajes, e informes hidrogeológicos asociados a pozos de agua potable.

En este caso resulta de la mayor relevancia la presentación detallada de la información existente relativa a los sondajes (expedientes, estudios hidrogeológicos, etc.), destinada a obtener la información estratigráfica para el Modflow y la referida a las pruebas de bombeo, que entregará la caracterización hidráulica de los acuíferos. Toda esta información se incluirá en anexo del informe final.

Toda la información recabada servirá de base y de contraste a la información que se obtendrá de la exploración geofísica, y servirá para establecer las características de las unidades. De este modo se distinguirán los límites de los rellenos sedimentarios y otras unidades de interés, la presencia de estratos diferenciables, espesores, singularidades, etc.

Una vez realizado lo anterior, se definirá en detalle las campañas de exploración geofísica y de pruebas de bombeo, las cuales estarán destinadas a complementar la información disponible para lograr una adecuada caracterización hidrogeológica.

Caracterización de demandas y consumos

El establecimiento de la demanda para fines de la modelación requerirá identificar los usos históricos y actuales agrupados por usos sectoriales de riego, agua potable, industria y minería. Para los usos previsibles en el futuro se estimará una proyección.

Para el caso del riego deberá establecerse la superficie de riego asociada a la zona de estudio y su evolución en el tiempo, específicamente para los efectos de establecer la recarga sobre el acuífero.

Las demandas para cada sector deben diferenciar el uso de recursos superficiales y subterráneos para la situación histórica y actual.

Las demandas de aguas subterráneas deberán ser concordantes con los datos obtenidos en terreno, distinguiendo los casos de los usos y la situación de derechos. Se trabajará con ambas situaciones en la operación del modelo.

En su oferta, el consultor deberá precisar la información de base que utilizará para realizar este análisis, y la forma en que determinará las demandas.

6.3 Exploración geofísica

Se realizará una exploración geofísica del acuífero a lo largo de todos los ríos bajo análisis. La exploración consistirá en unos 10 perfiles gravimétricos apoyados con unas 40 estaciones TEM, y tendrá por objetivo principal caracterizar la ubicación del basamento rocoso y la naturaleza de los estratos acuíferos a todo lo largo de los sectores en estudio.

La localización de los perfiles y las estaciones será propuesta por escrito a la DGA, para su aprobación en forma previa a su ejecución.

6.4 Realización de pruebas de bombeo

Se deberá efectuar una caracterización referente a los parámetros elásticos para la zona de estudio a partir de la información disponible en estudios de aguas subterráneas, estudios hidrogeológicos específicos, antecedentes de pruebas de bombeo contenida en los expedientes de derechos de agua, otros catastros de pozos, etc.

Una vez recabada toda la información acerca de los parámetros elásticos que se pueda obtener de la bibliografía disponible, se deberá realizar a lo menos tres pruebas de bombeo de gasto constante con una duración de 24 hrs en sectores donde se requiera complementar la información sobre estos parámetros, procurando que pueda controlarse los niveles también en pozos cercanos. Se controlará los descensos y las recuperaciones. De preferencia, las pruebas se realizarán una en cada subcuenca mayor: Choapa, Chalinga e Illapel.

Uno de los aspectos de interés en este trabajo dice relación con la posibilidad de analizar la interacción río-acuífero, para lo cual el oferente deberá considerar la conveniencia de efectuar una prueba de bombeo adicional en una zona donde existan sondajes o norias cercanas al cauce, en la cual se pueda apreciar el efecto de esta condición de borde.

De igual forma que para la exploración geofísica, se propondrá a la DGA la localización de las pruebas, para su aprobación, y se informará de la fecha de realización de modo de que se pueda supervisar su ejecución. Los permisos y autorizaciones serán de responsabilidad del proponente, la DGA otorgará una carta certificando el desarrollo del estudio si el proponente lo requiriese.

6.5 Catastro de las captaciones de aguas subterráneas

Basado en catastros anteriores, y en la nómina de derechos constituidos y en trámite, se efectuará una labor de terreno consistente en levantar un catastro de los pozos existentes en la cuenca. Para ello, se ubicará los pozos con un GPS, y se les aplicará una encuesta que dilucide aspectos de derechos, inscripción, usos, capacidad de la bomba, y otros que se señalan a continuación. El catastro de usos subterráneos o de pozos provee información sobre el uso efectivo del agua subterránea en la cuenca., los cuales servirán para alimentar el modelo hidrogeológico.

En cada pozo se obtendrá la siguiente información.

- Localización en coordenadas UTM en base a GPS
- Propietario y/o nombre de la propiedad encuestada
- Tipo de captación (pozo, noria, puntera, etc.)
- Dimensiones (diámetro, profundidad, etc.)
- Estado de la obra y estimación de su antigüedad
- Características de la bomba de extracción (potencia, diámetro salida, caudal)

- Derechos
- Inscripción
- Caudal extraído
- Modalidad de operación (hrs. funcionamiento)
- Destino o uso de las aguas
- Nivel de las aguas subterráneas indicando si es dinámico o estático
- Información sobre los títulos que la respaldan

La información se ingresará a una ficha especialmente preparada para tal efecto, la cual se entregará en los documentos anexos que integrarán el informe del estudio. Con ocasión de la encuesta se debe anotar todos los antecedentes que se consideren necesarios.

6.6 Catastro de derechos subterráneos constituidos y en trámite

El catastro de derechos, tanto otorgados como en trámite, constituye la situación teórica de uso del agua, y es requerido por el modelo para simular una situación de extracción de acuerdo a derechos.

El catastro de derechos se conformará en base a la información oficial que provea para este estudio tanto la DGA Central como la DGA Regional. Se incluirán en este catastro todos los pozos existentes en la cuenca, aunque no estén ubicados sobre los acuíferos.

Se contempla para estos efectos un completo proceso de revisión de los expedientes disponibles en la DGA, para este caso la DGA cuenta con información en microfichas y en formato digital. En ambos casos el oferente deberá considerar que este proceso se deberá hacer en la oficinas de la DGA, Central y Regional, para lo cual deberá organizar el plan de trabajo en función de los horarios de funcionamiento y de la disponibilidad de equipo.

Cabe señalar que además deberá revisarse la existencia de derechos generados por vías distintas a la DGA, en especial es de interés conocer la situaciones de regularizaciones, para lo cual los antecedentes contenidos en el CBR son de relevancia.

Como resultado de este trabajo se generará la siguiente información, tanto para los derechos constituidos como en trámite.

- Localización precisa de los puntos de captación, cuando corresponda, de los derechos constituidos y solicitudes en trámite. Las coordenadas deben entregarse en sistema UTM.
- Caudal constituido o solicitado en cada caso; distinguiendo los casos en los cuales no exista un valor único de caudal (curva de caudales mensuales, etc.)
- Características especificas de los derechos otorgados.

La información deberá entregarse estructurada de forma adecuada de acuerdo a los formatos DGA tanto para su ingreso a las bases de datos como para su utilización en la modelación.
Se solicita además, un trabajo de compatibilización entre el catastro de pozos y el de derechos.

6.7 Desarrollo del modelo hidrogeológico

Como resultado de todos los estudios y exploraciones anteriores, se generará una caractarización del acuífero, describiendo las unidades relevantes, considerando su composición, localización en profundidad y espesor, profundidad del basamento; nivel o niveles freáticos y parámetros elásticos representativos, que constituyen los aspectos relevantes para la modelación.

También se contará con una hidrología que represente la oferta de agua, y con las demandas de acuerdo con los diferentes usos.

Formulación del modelo hidrogeológico

A partir de los antecedente generados en los puntos anteriores se procederá a la formulación del modelo hidrogeológico, para tal efecto se utilizará el software visual Modflow versión 4.0.

La modelación contempla por una parte la definición fundada del dominio espacial del modelo, la definición de la geometría del acuífero considerando establecer un sistema multiestrato si las características hidrogeológicas lo hacen necesario. En este último caso la implementación de los pozos de bombeo debe hacerse acorde a esta situación y según la información de ubicación de las cribas.

Las condiciones de borde serán las que permitan incorporar la variabilidad hidrológica en las zonas de entrada que se establezcan.

El tamaño de las celdas deberá ser adecuado para lograr una representación suficientemente detallada del sistema, atendiendo sus dimensiones, en principio se estima un tamaño de celda de 100m*100m.

El oferente deberá entregar a nombre de la DGA una actualización de la licencia Visual Modflow versión 4.0 para el uso y operación del modelo.

Calibración y validación

Se considera que la calibración debe hacerse a partir de una cantidad suficiente de pozos de observación, adecuadamente distribuidos en el dominio de modo de representar las diferentes características del sistema atendiendo las zonas de entrada, las áreas de recarga superficial (ríos, canales, zonas de riego), zonas de afloramiento, zonas de embalse, etc. La calibración se efectuará considerando como mínimo un período de cinco años.

El paso de tiempo y los períodos de stress deberán ser acordes a las condiciones de la modelación y se definirán conjuntamente con la DGA.

La validación se efectuará en un período de tiempo diferente, siempre que haya información histórica suficiente, considerando un período de tiempo adecuado en función de la disponibilidad de datos.

6.8 Operación del modelo

Una vez calibrado y validado el modelo se operará para al menos dos escenarios de explotación, dichos escenarios se definirán conjuntamente con la DGA

El horizonte de modelación considera un período de cincuenta años; para tal efecto se analizará los criterios para definir las condiciones de bombeo, flujos de entrada, caudales de recarga asociables a cada escenario.

6.9 Difusión

Al final del trabajo se efectuará una jornada de difusión, en la cual se dará a conocer el trabajo y sus resultados y conclusiones, en una reunión ampliada con los usuarios interesados de la cuenca del Choapa.

Además, debe contemplarse dos jornadas de trabajo con el personal de la DGA Regional, para el traspaso del modelo y la capacitación en la forma de utilización.

La actividad de difusión no constituye una etapa formal del estudio, en el sentido de que no se requerirá entregar un informe de esta actividad, sino que sólo desarrollarla oportunamente, e incluir su descripción en el informe final borrador.

7. IDENTIFICACION DE RESULTADOS ESPERADOS

Como parte final del trabajo, además de un modelo hidrogeológico calibrado y validado, se entregarán los resultados del proceso de modelación, entre los cuales figurarán al menos los siguientes:

- Características de los flujos superficiales
- Demandas consideradas
- Características hidrogeológicas referidas a parámetros elásticos, espesores, tipo de rellenos, volúmenes embalsados.
- Consideraciones respecto a los caudales de extracción en los escenarios base y de explotación
- Evolución de los niveles
- Balance de flujos considerando extracciones, flujos de entrada, variación de almacenamiento
- Análisis de la interacción río-acuífero

8. DEFINICION MODALIDAD DE EJECUCION

Licitación Pública.

9. DEFINICION CONTRAPARTE TECNICA

Dirección General de Aguas IV Región, con el apoyo de un profesional del Depto. Administración Recursos Hídricos y un profesional del Departamento de Estudios del Nivel Central.

10. ETAPAS E INFORMES

El estudio deberá desarrollarse en cuatro etapas, de las cuales la última corresponde al proceso que se inicia con la entrega del informe final borrador.

El oferente propondrá el contenido de cada etapa y su duración incluyendo los plazos de revisión y corrección, cada uno de los cuales será de 10 días corridos. Ninguna etapa podrá durar menos que 60 días en total, incluyendo los plazos de revisión y corrección.

Además se deberá presentar una carta Gantt con el detalle en días del desarrollo de las distintas actividades que contempla el presente estudio.

Se entregará tres informes en cada etapa de trabajo del estudio, además de una copia del mismo en medio magnético, en un formato que se acordará con la Dirección General de Aguas.

El informe final impreso y los anexos correspondientes se entregarán en 15 copias impresas, de las cuales 10 serán para la Dirección General de Aguas. Además, se entregará dos copias en medio magnético idénticas al informe impreso. Adicionalmente, como parte de la entrega final, se entregarán todos los archivos correspondientes a la modelación.

11. EQUIPO DE TRABAJO

El equipo de trabajo deberá tener especialidad y experiencia comprobada en materia de modelación se aguas subterráneas e hidrología; así como amplia experiencia en la formulación y desarrollo de aplicaciones de Modflow y de labores de terreno para la obtención de los datos requeridos para su implementación.

Se considerará con especial valoración a los oferentes que estén inscritos en el registro de consultores del MOP en el área de experiencia relacionada con este tema

El oferente presentará en su oferta una relación de la experiencia del equipo de trabajo indicando los trabajos similares desarrollados en los últimos cinco años.

El jefe de proyecto deberá ser un ingeniero civil hidráulico con más de 15 años de experiencia, con experiencia demostrable en el tema de aguas subterráneas. El equipo de trabajo debe contar además con un ingeniero civil especialista en modelación hidrogeológica; con al menos cinco años de experiencia, y con profesionales capacitados para supervisar los trabajos de prospección y de catastro.

El oferente presentará el equipo de trabajo identificando las labores que desarrollará cada uno, e indicando además las horas comprometidas por cada uno de ellos en cada etapa. Se incluirá un curriculum vitae de cada profesional que integrará dicho equipo.

12. PLAZO

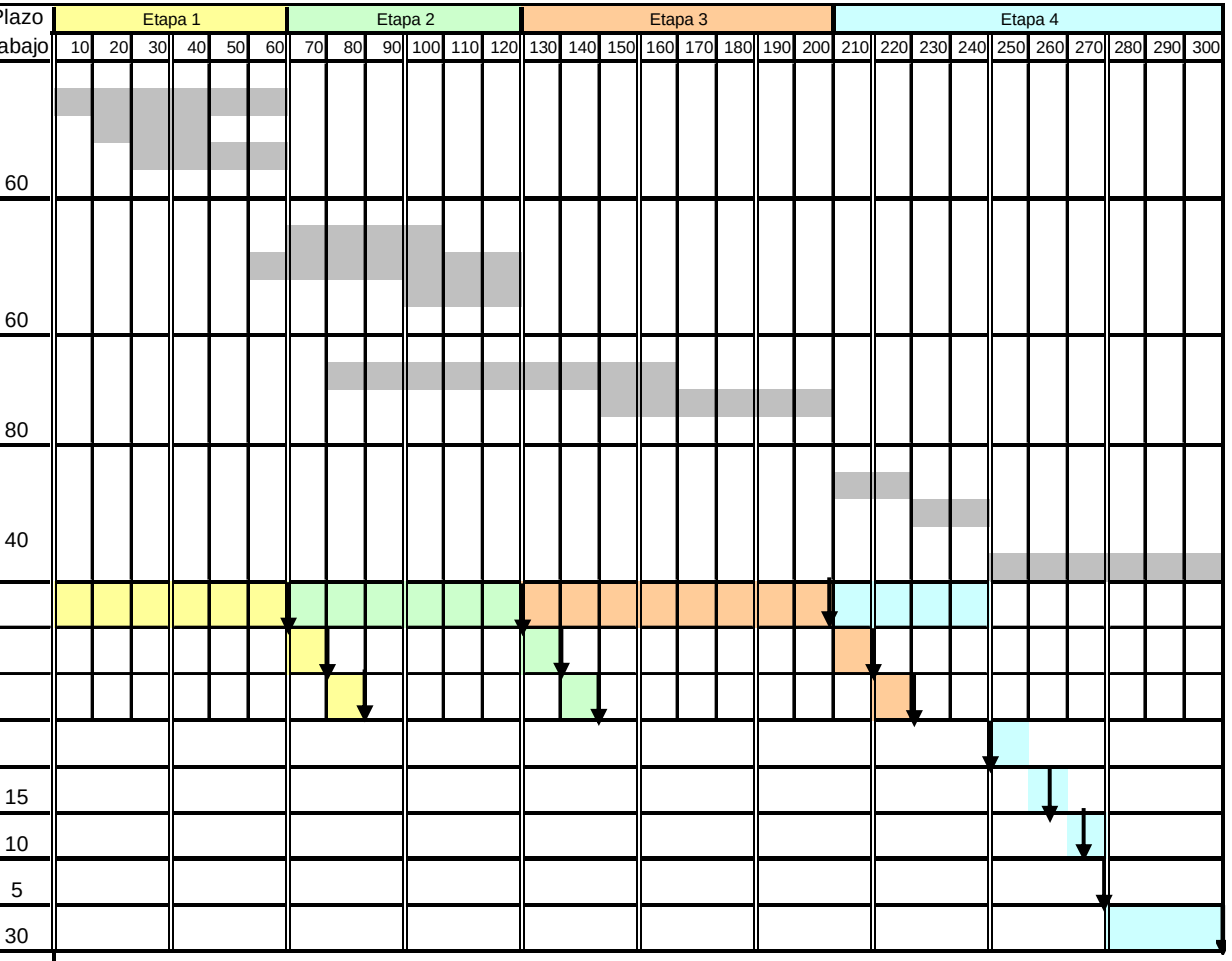
El plazo de ejecución del presente trabajo será de 300 días corridos, incluidos los plazos de revisión y corrección asociados a las etapas intermedias. Este plazo se refiere al plazo total hasta la entrega del informe final impreso.

13. PRESUPUESTO DETALLADO

ITEM	UNIDAD	RECIO/UNIDA	CANTIDAD	VALOR TOTAL	TOTAL
Honorarios					
Jefe proyecto	Hrs	25000	800	20000000	
Especialista modelación	Hrs	20000	900	18000000	
Ingeniero A	Hrs	15000	700	10500000	
Técnicos	Hrs	4000	700	2800000	
Secretaria	Hrs	2000	700	1400000	
				52700000	
Labores de terreno					
Geofísica TEM	N°	130000	40	5200000	
Puntos gravimetría	Nº	30000	120	3600000	
Movilización e informes	global			1600000	
Pruebas de bombeo	N°	400000	4	1600000	
Viáticos	dias	25000	150	3750000	
Vehículo	dias	50000	52	2600000	
Combustible	Lt	540	10000	5400000	
				23750000	
Otros Gastos					
Informes, cartografía, comput., fotografías	Global			7445000	
Gastos Generales e Imptos.	Global			18612500	
				26057500	
GASTOS ADMINISTRATIVOS				**1036000**	
					103543500

14. CRONOGRAMA TENTATIVO DE ACTIVIDADES

ETAPA	NOMBRE	Plazo trabajo
1	Recopilación y revisión de antecedentes Catastro de derechos Exploración geofísica	
	TOTAL ETAPA 1	60
2	Catastro de captaciones Generación de información de entrada Pruebas de bombeo	
	TOTAL ETAPA 2	60
3	Desarrollo del modelo Operación del modelo	
	TOTAL ETAPA 3	80
4	Difusión y capacitación Preparación informe final borrador	
	TOTAL ETAPA 4	40
Informe Etapa		
Revisión Observaciones DGA (10 días)		
Atención Observaciones Consultor (10 días)		
Entrega Informe Final Borrador		
Revisión DGA (15 días)		15
Correcciones del consultor (10 días) y entrega		10
Autorización Impresión DGA (5 días)		5
Entrega Final (30 días)		30
TOTAL DÍAS		**300**



CAPÍTULO 12 PLAN DE DIFUSIÓN

Como una actividad adicional y de extensión del proyecto hacia el público interesado e involucrado con el recurso hídrico, se desarrolló un muy intensivo y abarcador programa de difusión del trabajo realizado, el cual estuvo compuesto de las partes que se describen a continuación.

12.1 TALLERES Y ACTIVIDADES DE EXTENSIÓN CON LOS INTERESADOS

Hubo tres talleres, en Octubre 2005, Agosto 2006 y Diciembre 2006, con los contenidos que se señalan a continuación. Los tres talleres se dictaron en cada una de las cuencas, en las ciudades de La Serena, Ovalle, Illapel y Salamanca. En total se dictaron nueve talleres.
:

12.1.1 Taller 1

Este primer taller estuvo dirigido directamente a la base de usuarios del agua, especialmente regantes y organizaciones de usuarios, pero también usuarios de otros sectores productivos, y representantes de instituciones públicas. El taller tuvo por objetivo generar una instancia participativa para el presente estudio, y al mismo tiempo informar de los avances del estudio a la fecha. Se presentó fundamentalmente la metodología, y los avances logrados con la modelación en la cuenca del Elqui. El taller tuvo muy buena acogida, porque el trabajo con un modelo de simulación resultó algo novedoso y promisorio.

Además, durante este taller se emitió una solicitud hacia los usuarios y todos los presentes, de sugerencias de proyectos de mejoramientos de eficiencia que ellos percibieran como de interés, para ser evaluados en cuanto a su viabilidad técnica y económica dentro del estudio, y para seleccionar uno que pudiera ser desarrollado como proyecto a nivel de perfil como uno de los objetivos del presente estudio. Lamentablemente no hubo aportes al estudio por parte de los usuarios.

12.1.2 Taller 2

Para la fecha del segundo taller, estuvo concluido el diagnóstico en todas las cuencas, y se presentó extensamente la información en SIG y la información resultante del modelo de simulación. El diagnóstico presentado abarcó los diferentes tipos de eficiencia, física, económica, ambiental y administrativa del uso del agua, en cada una de las cuencas.

12.1.3 Taller 3

En este taller se presentaron los resultados del estudio, provenientes, por un lado, de la operación de los modelos de simulación en los diversos escenarios, y por otro lado, de la

evaluación económica de todas las medidas de cambio propuestas. Se mostraron las conclusiones y recomendaciones que se desprenden para cada cuenca, entre ellas las medidas técnicamente viables y las inviables, y las medidas económicamente viables y las inviables. Para estas últimas, además se agregó un análsiis de la forma de viabilizar las medidas económicamente inviables.

.

En este taller también se presentaron las herramientas utilizadas: SIG y modelo de simulación.

12.1.4 Reunión regional

Finalmente se realizó una reunión con carácter regional, donde se dio a conocer fundamentalmente los resultados del estudio, en la forma de medidas técnica y económicamente factibles que se desprendieron del análisis. A esta reunión se convocaron los beneficiarios inmediatos de los proyectos desarrollados en el presente estudio, así como otros potenciales beneficiarios, las organizaciones comprometidas, y las autoridades de instituciones públicas interesadas.

12.2 GENERACIÓN DE MATERIAL EDUCATIVO

Por otro lado, el estudio incluyó la generación de una cantidad significativa de material didáctico, dentro de la cual figuran:

12.2.1 Afiche en 1000 ejemplares

Se hizo una selección de los conceptos más claros y útiles que emergieron del estudio, los cuales se representaron en forma gráfica en un afiche. El contenido del afiche está destinado a llamar la atención sobre dos aspectos:

- los aspectos clave que permiten usar el agua con un máximo de eficiencia, tanto física como económica, ambiental y administrativa, y
- los tipos de riqueza que se generan al usar el agua más eficientemente.

El afiche está orientado especialmente hacia los usuarios o personas que tengan una relación con el agua, pero también al público en general, por lo cual se persiguió que la idea que transmite sea clara e inequívoca.

12.2.2 Publicación didáctica en 1000 ejemplares

Los principales conceptos del estudio, tanto metodológicos como de resultados, se plasmaron en una publicación ilustrada, de fácil lectura y tamaño práctico, de modo que resultara atractiva para los potenciales interesados de la comunidad usuaria de recursos hídricos de la IVª Región. En la publicación se reseñan los objetivos el estudio, las herramientas utilizadas y ejemplificadas a través de este estudio, los resultados principales del diagnóstico y las proposiciones que se desprenden para cada una de las tres cuencas.

.

12.2.3 Video divulgativo en DVD

El video que se adjunta al presente estudio en DVD, es una edición creativa y contextualizada, de las notas fílmicas, auditivas y fotográficas que se fueron tomando en la región, para retener los aspectos de mayor interés. Incluye también algunas notas sobre el trabajo de gabinete, que fue muy intenso. Tiene una duración de algo más de 15 minutos, y muestra la importancia de los recursos hídricos en zonas áridas, y de las metodologías usadas y propuestas en relación con la optimización de la eficiencia en el uso del agua.

Adicionalmente, el presente informe se entrega en 20 ejemplares impresos y 350 DVD que contienen todo el material publicado.