



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**  
**DEPARTAMENTO DE PROYECTOS DE INGENIERÍA**

**TESIS DOCTORAL**

**Toma de decisión en los acuíferos de la Cuarta Región de Chile, mediante la aplicación de la técnica AHP de análisis multicriterio de decisiones**

*Valencia, Febrero 2013*

**Dirigida por**

Dr. D. Juan Pascual Pastor Ferrando

**Realizada por**

D. Alejandro Ramírez Guardia



## **RESUMEN**

Este trabajo aborda el problema de las aguas subterráneas en la cuarta región de Chile.

El problema de los recursos hídricos y su escasez ha llevado a especialistas, responsables de organismos vinculados a la gestión de los recursos hídricos, académicos y a la comunidad en general a establecer un debate acerca del tipo de extracción que debería realizarse para cubrir la demanda por una parte de la comunidad en general, y por otra de los sectores minero y agrícola, los cuales constituyen dos importantes polos de desarrollo en la región.

Los últimos registros han indicado que los niveles de los embalses están bajo la capacidad histórica debido entre otras variables a los cambios climáticos experimentado no solamente a nivel regional sino a nivel mundial, y además la visible disminución en los registros de las precipitaciones, que ha afectados las principales cuencas hidrográficas presentes en la región.

Ante tal situación este trabajo plantea el problema con la metodología del Proceso Analítico Jerárquico (AHP), de ayuda a la toma de decisiones multicriterio. El modelo se estructura en seis niveles, considerando los criterios de decisión para la toma de decisión, los centros decisores que intervienen, los grupos afectados entorno a la problemática, los objetivos más

importantes a alcanzar para la solución, y por último las dos alternativas propuestas. Explotar los acuíferos existentes o explorar y explotar nuevos acuíferos.

Se han recogido las opiniones de veinte expertos de los distintos sectores vinculados directa o indirectamente al tema de recursos hídricos en la región, respecto a la posible alternativa de extracción de aguas subterráneas como respuesta al déficit de aguas superficiales.

## RESUM

Aquest treball aborda el problema de les aigües subterrànies en la quarta regió de Xile. El problema dels recursos hídrics i la seua escassetat ha portat a especialistes, responsables d'organismes vinculats a la gestió dels recursos hídrics, acadèmics i a la comunitat en general a establir un debat sobre el tipus d'extracció que hauria de realitzar-se per a cobrir la demanda d'una banda de la comunitat en general, i per una altra dels sectors miner i agrícola, els quals constitueixen dos importants pols de desenvolupament en la regió.

Els últims registres han indicat que els nivells dels embassaments estan davall la capacitat històrica degut entre altres variables als canvis climàtics experimentat no sols a nivell regional sinó a nivell mundial, i a més la visible disminució en els registres de les precipitacions, que ha afectats les principals conques hidrogràfiques presents en la regió. Davant de tal situació, este treball planteja el problema amb la metodologia del Procés Analític Jeràrquic (AHP) , d'ajuda a la presa de decisions multicriteri. El model s'estructura en sis nivells, considerant els criteris de decisió per a la presa de decisió, els centres decisores que intervenen, els grups afectats entorn de la problemàtica, els objectius més importants a aconseguir per a la solució, i finalment les dos alternatives proposades. Explotar els aqüífers existents o explorar i explotar nous aqüífers.

S'han arreplegat les opinions de vint experts dels diferents sectors vinculats directament o indirectament al tema de recursos hídrics en la regió, respecte a la possible alternativa d'extracció d'aigües subterrànies com a resposta al dèficit d'aigües superficials.

## **ABSTRACT**

This paper addresses the problem of groundwater in the fourth region of Chile.

The problem of water resources and their scarcity has led to specialists, related agencies responsible for management of water resources, academics and the wider community to engage in debate about the type of extraction to be done to meet the demand for part of the community in general and the other of the mining and agricultural sectors, which constitute two major poles of development in the region.

Recent records have shown that reservoir levels are below the historical capacity due, among other variables at the climatic changes experienced not only regionally but globally, and also the visible decrease in rainfall records, which has affected major watersheds in the region.

In this situation this paper discusses the problem with the methodology of the Analytic Hierarchy Process (AHP) to support multicriteria decision making. The model is divided into six levels, considering the decision criteria for decision making, the decision makers involved, the affected groups around the problem, the most important goals to reach for the solution, and finally the two alternatives proposed. Exploiting existing aquifers or aquifer explore and exploit new.

We have collected the views of twenty experts from different sectors are directly or indirectly to the subject of water

resources in the region regarding the possible alternative groundwater extraction in response to the deficit of surface water.

## ÍNDICE DE LA TESIS

### **CAPÍTULO 0**

#### **ANTECEDENTES GENERALES DEL TRABAJO ..... 1**

0.1. OBJETIVOS DEL TRABAJO .....	1
0.2. CONTEXTO GEOGRÁFICO DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	2
0.2.1. Actividades económicas en la región de Coquimbo.....	4
0.3. PRESENTACIÓN DEL TRABAJO .....	5
0.4. SÍNTESIS POR CAPÍTULOS.....	6
0.5. REFERENCIAS CONSULTADAS.....	9

### **CAPÍTULO I**

#### **EL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (AHP) Y CASOS DE APLICACIÓN ..... 11**

1.0. PROPÓSITO DEL CAPÍTULO .....	11
1.1. INTRODUCCIÓN .....	11
1.2. DECISIÓN DE MULTICRITERIO DISCRETA .....	12
1.3. PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (AHP).....	15
1.4. AXIOMAS BÁSICOS DEL PROCESO JERÁRQUICO ANALÍTICO .....	17
1.4.1. Comparación recíproca .....	17
1.4.2. Homogeneidad .....	17
1.4.3. Independencia .....	18
1.4.4. Expectativas .....	19
1.5. FUNDAMENTOS DEL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO .....	20

1.5.1. Determinación del cálculo de la consistencia .....	27
---	----

**1.6. APLICACIONES DE AHP EN LA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS A NIVEL MUNDIAL 29**

1.6.1. Estudio de casos en Brasil .....	29
1.6.2. Estudio de casos en India.....	34
1.6.3. Estudio de casos en Irán .....	37
1.6.4. Estudio de caso en Corea del Sur .....	40
1.6.5. Estudio de caso en Bolivia.....	41
1.6.6. Estudio de caso Jordania .....	44
1.6.7. Estudio de caso en Australia .....	47
1.6.8. Estudio de caso Estados Unidos .....	48
1.6.9. Estudio caso China .....	48
<b>1.7. CONSIDERACIONES FINALES AL CAPÍTULO.....</b>	<b>51</b>
<b>1.8. REFERENCIAS CONSULTADAS .....</b>	<b>53</b>

**CAPÍTULO II**  
**SITUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN CHILE.....** 63

<b>2.0. PROPÓSITO DEL CAPÍTULO .....</b>	<b>63</b>
<b>2.1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>63</b>
<b>2.2. DESARROLLO .....</b>	<b>64</b>
2.2.1. Código de aguas en Chile .....	65
2.2.2. Diagnóstico de los recursos hídrico en Chile .....	69

2.2.3. Uso de agua en Chile .....	76
2.2.4. Calidad del agua.....	79
2.2.5. Cambios climáticos.....	83
<b>2.3. CONSIDERACIONES FINALES AL CAPÍTULO .....</b>	<b>91</b>
<b>2.4. REFERENCIAS CONSULTADAS.....</b>	<b>93</b>

**CAPÍTULO III**  
**ORGANISMOS QUE INTERVIENEN EN LA TOMA DE**  
**DECISIONES DE USO DE AGUAS..... 101**

<b>3.0. PROPÓSITO DEL CAPÍTULO .....</b>	<b>101</b>
<b>3.1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>101</b>
<b>3.2. DERECHOS DE APROVECHAMIENTO .....</b>	<b>102</b>
<b>3.3. POLÍTICAS INTERNACIONALES PARA DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS 106</b>	
<b>3.4. ORGANISMOS PÚBLICOS INVOLUCRADOS EN LOS RECURSOS HÍDRICOS 107</b>	
3.4.1. Dirección General de Aguas (D.G.A.) .....	108
3.4.2. Dirección de Obras Hidráulicas (D.O.H.) .....	110
3.4.3. Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) .....	111
3.4.4. Ministerio de Salud .....	112
3.4.5. Comisión Nacional de Energía (CNE) .....	115
3.4.6. Comisión Nacional de Riego (CNR) .....	116
3.4.7. Servicio Agrícola y Ganadero (SAG).....	117
3.4.8. Comisión Nacional Forestal (CONAF).....	118
3.4.9. Servicio Nacional de Geología y Minas (SERNAGEOMIN) ....	119

3.4.10. Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA).....	119
3.4.11. Servicio Nacional de Pesca (SERNAPESCA).....	120
3.4.12. Dirección del Territorio Marítimo (DIRECTEMAR) .....	120
3.4.13. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) .....	120
3.4.14. Municipios .....	121
<b>3.5. INSTITUCIONES PRIVADAS INVOLUCRADAS EN LOS RECURSOS HÍDRICOS</b>	<b>121</b>
3.5.1. Comunidades de regantes y asociaciones.....	121
3.5.2. Juntas de vigilancia .....	122
3.5.3. Asociaciones de canalistas.....	122
3.5.4. Comunidades de agua.....	123
3.5.5. Organizaciones comunitarias .....	124
<b>3.6. CONSIDERACIONES FINALES AL CAPÍTULO.....</b>	<b>125</b>
<b>3.7. REFERENCIAS CONSULTADAS.....</b>	<b>126</b>

**CAPÍTULO IV**  
**ANÁLISIS DEL SECTOR MINERO .....** **131**

<b>4.0. PROPÓSITO DEL CAPÍTULO .....</b>	<b>131</b>
<b>4.1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>131</b>
<b>4.2. DISPONIBILIDAD DE AGUA PARA EL SECTOR MINERO.....</b>	<b>133</b>
<b>4.3. USO Y COSTOS DE CONSUMO ENERGÉTICOS EN EL SECTOR MINERO ...</b>	<b>138</b>
<b>4.4. CONSIDERACIONES FINALES DEL CAPÍTULO.....</b>	<b>160</b>
<b>4.5. REFERENCIAS CONSULTADAS.....</b>	<b>161</b>

**CAPÍTULO V**  
**ANÁLISIS DEL SECTOR AGRÍCOLA ..... 165**

5.0. PROPÓSITO DEL CAPÍTULO .....	165
5.1. INTRODUCCIÓN .....	165
5.2. DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL SECTOR AGRÍCOLA .....	166
5.2.1. Disponibilidad de aguas Sector Elqui .....	170
5.2.2. Disponibilidad de aguas Sector Limarí .....	190
5.2.3. Disponibilidad de aguas Sector Choapa .....	200
5.3. CALIDAD DE LAS AGUAS.....	210
5.4. COSTOS DE AGUAS .....	218
5.5. CONSIDERACIONES FINALES DEL CAPÍTULO .....	222
5.6. REFERENCIAS CONSULTADAS.....	227

**CAPÍTULO VI**  
**METODOLOGÍA APLICADA A LA PROBLEMÁTICA DE**  
**RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUARTA REGIÓN CHILE. 233**

6.0. PROPÓSITO DEL CAPÍTULO .....	233
6.1. INTRODUCCIÓN .....	233
6.2. ANÁLISIS DEL PROBLEMA.....	235
6.2.1. Sector minero .....	237
6.2.2. Sector agrícola.....	247
6.3. IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS .....	254
6.4. IDENTIFICACIÓN DE OBJETIVOS.....	258
6.4.1. Control de extracción.....	259
6.4.2. Contaminación de las aguas en acuíferos .....	259

6.4.3. Protección al medio ambiente .....	261
<b>6.5. GRUPOS AFECTADOS .....</b>	<b>265</b>
<b>6.6. CENTRO DECISORES .....</b>	<b>268</b>
<b>6.7. CRITERIOS DE DECISIÓN .....</b>	<b>269</b>
<b>6.8. CONTRIBUCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO QUE REPRESENTEN LAS PREFERENCIAS DEL DECISOR .....</b>	<b>270</b>
6.8.1. Justificación de la muestra .....	270
6.8.2. Encuestas .....	272
<b>6.9. RESOLUCIÓN DEL MODELO .....</b>	<b>276</b>
6.9.1. Procedimiento para el análisis jerárquico .....	277
<b>6.10. OBTENCIÓN DE RESULTADOS Y COMENTARIOS .....</b>	<b>280</b>
6.10.1. Preferencias de criterios de decisión.....	281
6.10.2. Preferencias de los centros decisores, respecto a los criterios de decisión .....	282
6.10.3. Preferencias de los grupos afectados, respecto a los criterios de decisión y los centros decisores .....	288
6.10.3.1. Preferencias de los grupos afectados, respecto al criterio político y centros decisores .....	288
6.10.3.2. Preferencias de los grupos afectados, respecto al criterio económico y centros decisores .....	289
6.10.3.3. Preferencias de los grupos afectados, respecto al criterio social y centros decisores.....	290
6.10.4. Preferencias de objetivos respecto a los criterios de decisión, centros decisores y grupos afectados .....	294

6.10.5. Alternativa seleccionada respecto a los criterios de decisión, centros decisores, grupos afectados y objetivos.....	296
<b>6.11. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LA PROBLEMÁTICA .....</b>	<b>306</b>
<b>6.12. CONSIDERACIONES FINALES DEL CAPÍTULO .....</b>	<b>310</b>
<b>6.13. REFERENCIAS CONSULTADAS.....</b>	<b>311</b>

## **CAPÍTULO VII**

### **CONCLUSIONES FINALES Y TRABAJOS FUTUROS..... 313**

<b>7.0. PROPÓSITO DEL CAPÍTULO .....</b>	<b>313</b>
<b>7.1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>313</b>
<b>7.2. CONCLUSIONES FINALES.....</b>	<b>313</b>
7.2.1. Conclusiones de contexto .....	314
7.2.2. Conclusiones de procedimientos y aplicación de encuestas	318
7.2.3. Conclusiones respecto a los resultados de los criterios, centros decisores y alternativas .....	321
<b>7.3. TRABAJOS FUTUROS.....</b>	<b>324</b>

## **CAPÍTULO VIII**

### **REFERENCIAS CONSULTADAS EN EL DESARROLLO DE LA TESIS ..... 327**

### **ANEJOS..... 357**



## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1	COMPARACIONES BINARIAS DE SAATY (1980) .....	21
TABLA 2	VALORES DE LA CONSISTENCIA ALEATORIA EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO DE LA MATRIZ (SAATY, 1980) .....	28
TABLA 3	PORCENTAJES MÁXIMOS DEL RATIO DE CONSISTENCIA (SAATY, 1980.) .....	29
TABLA 4.	(GARFÍ, ET AL, 2011; <i>CIT.</i> MINISTERIO Y EL INSTITUTO BRASILEÑO DE GEOGRAFÍA Y ESTADÍSTICA) .....	31
TABLA 5.	SALINIDAD MEDIA DE LOS MARES Y OCÉANOS PRINCIPALES DEL PLANETA. QDAIS A. (1999); HANDBURRY, HODGKISS Y MORRIS (1993); MEDINA (2000) CITADO POR (UCHE, ET AL, 2001) .....	46
TABLA 6	DEPARTAMENTO DE ESTUDIO Y PLANIFICACIÓN (DGA 2010) .....	76
TABLA 7.	RÍOS CON CONCENTRACIONES PROMEDIO POR ENCIMA DE LAS NORMAS CHILENAS PARA RIEGO (PIZARRO, 2010) .....	83
TABLA 8.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS BAJO INCERTIDUMBRE Y PROYECCIÓN DE ACUERDO AL MODELO HADCM3. (CEPAL, 2009) .....	88
TABLA 9.	ALCANCES DE INVESTIGACIONES REALIZADAS EN BASE A LOS DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS (ODEPA, 2010) .....	105
TABLA 10.	RESUMEN DE LA EVOLUCIÓN DE LA POLÍTICAS DE AGUAS DE DISTINTOS PAÍSES QUE YA HAN ESTABLECIDOS MERCADOS DE AGUAS (BANCO MUNDIAL <i>CIT.</i> DONOSO, 2010) A PARTIR DE LA INVESTIGACIÓN SOBRE MCKAY, 2005; RACHID, 2005; HEYNS, 2005; BACKERBERG, 2005; SAMAD, 2005. ....	107
TABLA 11.	INSTITUCIONES CHILENAS EN LA GESTIÓN DE AGUA (GARCÉS, 2005) .....	108
TABLA 12.	PROYECCIÓN POR REGIÓN DEL CONSUMO DE AGUA PARA LA PRODUCCIÓN TOTAL DE COBRE EN CHILE PERÍODO 2009-2020 (COCHILCO 2009) .....	135

TABLA 13. DERECHOS Y EXTRACCIONES DE AGUAS REGIÓN DE COQUIMBO, SECTOR MINERO CHILE. (DGA, 2008).....	137
TABLA 14. DERECHOS Y EXTRACCIONES POR CUENCAS REGIÓN DE COQUIMBO, SECTOR MINERO. CHILE (DGA, 2008) .....	137
TABLA 15. REQUERIMIENTOS DE AGUA FRESCA EN LA MINERÍA DEL COBRE DE CHILE (BROWN, 2003).....	143
TABLA 16. EVALUACIONES GENERADAS POR EL SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL (SEIA) 2001-2010. (SERNAGEOMIN, 2010) .....	159
TABLA 17. ESTADO DE LOS EMBALSES III Y VIII REGIONES DE CHILE, Y COMPARACIÓN ENTRE LOS PERÍODOS 2009-2010. (DGA, 2010).....	170
TABLA 18. SEGMENTACIÓN ADOPTADA EN LOS CAUCES SELECCIONADOS DE LA CUENCA DEL RÍO ELQUÍ. (DGA, 2004) .....	171
TABLA 19. APORTES DE SUB CUENCAS PLUVIALES SECTOR ELQUI. (CAZALAC, 2006) .....	174
TABLA 20. CARACTERIZACIÓN DE LOS ACUÍFEROS SECTOR ELQUI. (CAZALAC, 2006) .....	179
TABLA 21. POZOS POR TIPO DE USO Y POR ACUÍFERO SECTOR ELQUI. (CAZALAC, 2006) .....	181
TABLA 22. CANALES MATRICES SECTOR ELQUI. (CAZALAC, 2006) .....	183
TABLA 23. NIVELES DE AGUA DE EMBALSES DE CHILE. REGIONES II HASTA VIII. (DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. DGA, 2011). 187	
TABLA 24. NIVELES DE AGUA DE EMBALSES DE CHILE EN LA CUARTA REGIÓN DE CHILE. (DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. DGA, 2011).....	188
TABLA 25.....	189
TABLA 26. SEGMENTACIÓN ADOPTADA EN LOS CAUCES SELECCIONADOS DE LA CUENCA DEL RÍO LIMARÍ. (DGA, 2004) .....	192
TABLA 27. CARACTERIZACIÓN DE LOS ACUÍFEROS SECTOR LIMARÍ. (CAZALAC, 2006) .....	195

TABLA 28. POZOS POR TIPO DE USO Y POR ACUÍFERO SECTOR LIMARI. (CAZALAC, 2006).....	196
TABLA 29. CANALES MATRICES SECTOR LIMARÍ. (CAZALAC, 2006).....	198
TABLA 30. SEGMENTACIÓN ADOPTADA EN LOS CAUCES SELECCIONADOS DE LA CUENCA DEL RÍO CHOAPA (DGA, 2004) .....	201
TABLA 31. CARACTERIZACIÓN DE LOS ACUÍFEROS SECTOR CHOAPA. (CAZALAC, 2006) .....	205
TABLA 32. POZOS POR TIPO DE USO Y POR ACUÍFERO SECTOR CHOAPA. (CAZALAC, 2006) .....	207
TABLA 33. CANALES MATRICES SECTOR CHOAPA. (CAZALAC, 2006).....	209
TABLA 34. RESTRICCIÓN DE USO DE AGUAS PARA RIEGO SEGÚN CE Y SDT (SAG, 2005).....	214
TABLA 35. RESTRICCIÓN DE USO DE AGUAS PARA RIEGO SEGÚN CE Y SAR (SAG, 2005) .....	215
TABLA 36. RESTRICCIÓN DE USO DE AGUAS SEGÚN TOXICIDAD POR IONES ESPECÍFICOS (SAG, 2005) .....	215
TABLA 37. ESTÁNDAR PARA AGUA DE RIEGO (MOP, 2009).....	217
TABLA 38. SUPERFICIE POR MÉTODO DE RIEGO Y REGIÓN (ODEPA-CIREN, 2005) .....	220
TABLA 39. EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO POR SUS RESULTADOS EN CRECIMIENTO, ANÁLISIS DE COSTOS Y POR SUS CARACTERÍSTICAS (GAJARDO, 2005) .....	221
TABLA 40. CONSOLIDADO DE CAPACIDADES DE AGUA EMBALSADAS POR ZONAS PERÍODO 2009-2010. (ELABORACIÓN PROPIA. DGA, 2010) .....	249
TABLA 41 DIRECCIÓN METEOROLÓGICA DE CHILE (DIRECCIÓN GENERAL DE AERONÁUTICA. 2012).....	251
TABLA 42. PRINCIPALES CONTAMINANTES DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DE LA CUENCA DEL CHOAPA. CUARTA REGIÓN COQUIMBO-CHILE. (MEZA, 2009) .....	267

TABLA 43. PREFERENCIAS DE LOS EXPERTOS RESPECTO DE LOS GRUPOS AFECTADOS/CENTROS DECISORES/CRITERIO POLÍTICO. (1): JUNTAS DE VIGILANCIA, ASOCIACIONES DE CANALISTAS, COMUNIDADES DE AGUA Y COMUNIDADES DE REGANTES; (2) ORGANIZACIONES COMUNITARIAS.....	289
TABLA 44. PREFERENCIAS DE LOS EXPERTOS RESPECTO DE LOS GRUPOS AFECTADOS/CENTROS DECISORES/CRITERIO ECONÓMICO. (1): JUNTAS DE VIGILANCIA, ASOCIACIONES DE CANALISTAS, COMUNIDADES DE AGUA Y COMUNIDADES DE REGANTES; (2) ORGANIZACIONES COMUNITARIAS. ....	290
TABLA 45. PREFERENCIAS DE LOS EXPERTOS RESPECTO DE LOS GRUPOS AFECTADOS/CENTROS DECISORES/CRITERIO SOCIAL. (1): JUNTAS DE VIGILANCIA, ASOCIACIONES DE CANALISTAS, COMUNIDADES DE AGUA Y COMUNIDADES DE REGANTES; (2) ORGANIZACIONES COMUNITARIAS.....	291
TABLA 46. PREFERENCIAS DE LOS EXPERTOS RESPECTO DE LOS GRUPOS AFECTADOS/CENTROS DECISORES/CRITERIO AMBIENTAL. (1): JUNTAS DE VIGILANCIA, ASOCIACIONES DE CANALISTAS, COMUNIDADES DE AGUA Y COMUNIDADES DE REGANTES; (2) ORGANIZACIONES COMUNITARIAS. ....	292
TABLA 47. PREFERENCIAS DE LOS EXPERTOS RESPECTO DE LOS GRUPOS AFECTADOS/CENTROS DECISORES/CRITERIO TÉCNICO. (1): JUNTAS DE VIGILANCIA, ASOCIACIONES DE CANALISTAS, COMUNIDADES DE AGUA Y COMUNIDADES DE REGANTES; (2) ORGANIZACIONES COMUNITARIAS.....	293
TABLA 48. PREFERENCIAS DE LOS EXPERTOS RESPECTO DE LOS GRUPOS AFECTADOS/CENTROS DECISORES/CRITERIO DISPONIBILIDAD. (1): JUNTAS DE VIGILANCIA, ASOCIACIONES DE CANALISTAS, COMUNIDADES DE AGUA Y COMUNIDADES DE REGANTES; (2) ORGANIZACIONES COMUNITARIAS. ....	294

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. MAPA POLÍTICO DE CHILE Y MAPA POLÍTICO ADMINISTRATIVO DE LA CUARTA REGIÓN DE CHILE 2010. (INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR IGM, 2011) .....	3
FIGURA 2 FASES DEL PROCESO DE DECISIÓN (PASTOR, 2007; CIT. NIETO, 2001) .....	14
FIGURA 3. NIVELES DE PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (SAATY, 1980) .....	16
FIGURA 4. COMPARACIONES BINARIAS DE SAATY. (ELABORACIÓN PROPIA; SAATY, 1980) .....	18
FIGURA 5 ESQUEMA DE TOMA DE DECISIÓN PARA EL PROBLEMA DE LOS ACUÍFEROS, REFLEJANDO LO PLANTEADO POR EL AXIOMA DE INDEPENDENCIA EN EL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO.(AHP) .....	19
FIGURA 6. ■ PAÍSES MIEMBROS (34) ■ PAÍSES CANDIDATOS PARA ADHERIRSE (1) ■ PAÍSES CON LOS QUE LA OCDE HA INCREMENTADO SUS RELACIONES (5) (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, 2006) .....	32
FIGURA 7. ESQUEMA RELACIONES ENTRE LA VISIÓN ECOSISTÉMICA Y LA VISIÓN DE CUENCA (GARCES, REVISTA REDESMA, 2011)	33
FIGURA 8. ÁRBOL DE JERARQUÍA PARA IDENTIFICACIÓN LOS ECOSISTEMAS MÁS AFECTADOS. (MALMASI, ET AL 2010) .....	39
FIGURA 9. MECANISMOS RESPONSABLES DE LA EROSIÓN DEL SUELO. (MORENO CASELLES ET AL., 2000). .....	41
FIGURA 10. ESTRUCTURA DE MULTICRITERIO. MODELO UTILIZADO EN EL LAGO POOPÓ (CALIZAYA, ET AL, 2010) .....	44
FIGURA 11. PROCESO DE EVAPORACIÓN SÚBITA MÚLTIPLE ETAPA (MSF) (UCHE, ET AL, 2001) .....	46
FIGURA 12. MAPA MUNDIAL DE VARIACIÓN DE DISPONIBILIDAD DE AGUA POR HABITANTE (BÓRQUEZ, ET AL ,2006; CIT. UNESCO 1999,) .....	71

FIGURA 13. VARIACIÓN ANUAL DE PRECIPITACIÓN (1900-1999).(DONOSO, 2003;.....)	72
FIGURA 14. TIPOS DE USOS DE AGUA EN CHILE (BROWN, 2009; CIT. DGA, 2003) .....	77
FIGURA 15. CAMBIO DE TEMPERATURA POR REGIONES PARA DOS PERÍODOS DE TIEMPO Y TRES ESCENARIOS GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI) (CEPAL, 2009).....	85
FIGURA 16. PROYECCIONES DE PRECIPITACIÓN PARA EL ESCENARIO B <sub>2</sub> (CAMBIOS PORCENTUALES SOBRE LA BASE HISTÓRICA) (CEPAL, 2009).....	87
FIGURA 17. RESUMEN DE PROYECCIONES DE PRECIPITACIÓN POR REGIÓN DEL PAÍS (CEPAL, 2009) .....	87
FIGURA 18. BALANCES HÍDRICOS ESTIMADOS PARA CHILE AÑOS 1996, 2010 Y 2025. (DGA 2010).....	89
FIGURA 19. ORGANIGRAMA DEL MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS DE CHILE (MOP, 2011).....	109
FIGURA 20. INSTITUCIONALIDAD DEL AGUA EN LA CUARTA REGIÓN DE CHILE. (WWW.ULS-UR.CL/TIER2).....	125
FIGURA 21. UBICACIÓN DE LOS PRINCIPALES YACIMIENTOS EN EXPLOTACIÓN EN LA REGIÓN DE COQUIMBO (SERNAGEOMIN, 2010).....	132
FIGURA 22. PROCESAMIENTO DE MINERALES SULFURADOS POR FLOTACIÓN (COCHILCO, 2009).....	145
FIGURA 23. PROCESO HIDROMETALÚRGICO DEL COBRE (COCHILCO, 2009).....	146
FIGURA 24 SUMINISTRO DE AGUA DESALINIZADA A UNA FAENA MINERA (COCHILCO, 2011; CIT. HATCH CONSULTORES, 2009).....	150
FIGURA 25. DIAGRAMA UNILINEAL SIMPLIFICADO DEL (SING) (CDEC-SING, 2009).....	152
FIGURA 26. SISTEMA INTERCONECTADO CENTRAL (SIC) (CDEC-SIC, 2010 Y ACTUALIZADO MAYO 2011).....	153
FIGURA 27. CAPACIDAD INSTALADA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA POR SISTEMA. CAPACIDAD INSTALADA EN CHILE: 15.196 MW (COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA CNE, 2009).....	154

FIGURA 28. ESQUEMA VERTIDO AL MAR, (PERALTA, 2011. ALHSUD. CIT., DGA (2003-2007). MINERÍA DGA 2008, EMBALSES SUPERFICIALES. CNR 2005, SII 2006, HABITANTES I – IX REGIONES, INE CENSO 2002.) .....	169
FIGURA 29. CUENCA DEL ELQUI. (CAZALAC, 2006) .....	172
FIGURA 30. ENFOQUE TOPOLÓGICO PARA LA CUENCA DEL ELQUI. (CAZALAC, 2006) .....	173
FIGURA 31. ÁREAS DE RESTRICCIÓN Y ZONA DE PROHIBICIÓN DE ACUÍFEROS CUARTA REGIÓN DE COQUIMBO. ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS. (DGA, 2010).....	176
FIGURA 32. SECTORIZACIÓN DE LOS ACUÍFEROS COMPRENDIDOS EN LA CUENCA DEL SECTOR ELQUI. (CAZALAC, 2006) .....	177
FIGURA 33. ACUÍFEROS SECTOR ELQUI. (CAZALAC, 2006) .....	178
FIGURA 34. DISTRIBUCIÓN DE LOS POZOS EN EL SECTOR ELQUI. (CAZALAC, 2006) .....	181
FIGURA 35. DISTRIBUCIÓN DE ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS EN LA CUENCA DEL ELQUI. (CAZALAC, 2006) .....	182
FIGURA 36. SECTORIZACIÓN DE LOS ACUÍFEROS COMPRENDIDOS EN LA CUENCA DEL SECTOR LIMARÍ. (CAZALAC, 2006) .....	193
FIGURA 37. ACUÍFEROS SECTOR LIMARÍ. (CAZALAC, 2006) .....	194
FIGURA 38. DISTRIBUCIÓN DE ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS EN LA CUENCA DEL LIMARÍ. (CAZALAC, 2006) .....	199
FIGURA 39. CUENCA DEL CHOAPA. (CAZALAC, 2006) .....	202
FIGURA 40. ENFOQUE TOPOLÓGICO PARA LA CUENCA DEL CHOAPA. (CAZALAC, 2006) .....	203
FIGURA 41. ACUÍFEROS SECTOR CHOAPA. (CAZALAC, 2006) ...	204
FIGURA 42. SECTORIZACIÓN Y SOLICITUDES DE DERECHOS CHOAPA. (DGA, 2010) .....	207
FIGURA 43. PRECIPITACIONES REGISTRADAS EN 2010. SISTEMA INFORMACIÓN GEOGRÁFICO (DGA, 2010).....	213
FIGURA 44. FOTOGRAFÍA DRENAJE ÁCIDO CERCA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE MINERALES DE COBRE DE PANULCILLO (IV REGIÓN) (OYARZÚN, 2004) .....	240

FIGURA 45. DETALLES DE LOS SEDIMENTOS ARRASTRADOS PANULCILLO (IV REGIÓN) (OYARZÚN, 2004) .....	241
FIGURA 46 PILA DE CIANURACIÓN ABANDONADA EN LAS INSTALACIONES DE PUNITAQUÍ (IV REGIÓN) (OYARZÚN, 2004) .....	241
FIGURA 47. Balsa de estériles abandonada en quebrada Marquesa. (IV REGIÓN) (OYARZÚN, 2004) .....	242
FIGURA 48. SEDIMENTOS ENRIQUECIDOS EN GOETHITA Y ARSÉNICO EN EL RÍO TORO (IV REGIÓN) (OYARZÚN, 2004) .....	242
FIGURA 49. CONSUMO DE AGUA MINERÍA DEL COBRE REGIÓN DE COQUIMBO (COCHILCO, 2008).....	245
FIGURA 50. ESQUEMA DE IMPACTO EN LAS COMUNIDADES EN EL ACCESO AL AGUA DE RIEGO. (CUMBRE MUNDIAL SOBRE EL DESARROLLO SOSTENIBLE, 2002. ADAPTACIÓN DE HUSSAIN Y HANJRA).....	247
FIGURA 51. SELECCIÓN DE UNA MUESTRA DE UNA POBLACIÓN. ESTIMADOR INSESGADO DEL ESTADÍSTICO RESPECTO AL PARÁMETRO. (ELABORACIÓN PROPIA. KAZMIER, 1998).....	272
FIGURA 52. MODELO JERÁRQUICO AHP.....	274
FIGURA 53. MODELO JERÁRQUICO CRITERIO-CENTRO DECISOR. ...	275

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. EXPORTACIONES POR SECTORES PRODUCTIVOS EN LA REGIÓN DE COQUIMBO. (CEPAL, 2009).....	4
GRÁFICO 2. PRINCIPALES DESTINOS DE LAS EXPORTACIONES DE LA REGIÓN DE COQUIMBO. (CEPAL, 2009).....	5
GRÁFICO 3. DISTRIBUCIÓN DE TIERRAS AÑO 1957 EN CHILE (ESTUDIO LEGISLATIVO FAO, 2006).....	64
GRÁFICO 4. GRÁFICA DE ESCORRENTÍA MEDIA TOTAL (ELABORACIÓN PROPIA. WORLD BANK, 2010) .....	73
GRÁFICO 5. DISPONIBILIDAD DE AGUA EN CHILE POR HABITANTE. (BANCO MUNDIAL A PARTIR DE DGA, 1987,1999; E INE, 1992 ,2003 Y 2009) ESCALA LOGARÍTMICA. ....	74
GRÁFICO 6. PORCENTAJE DE SECTORES DE ACUÍFEROS INSPECCIONADOS POR DGA. (DGA, 2010) .....	75
GRÁFICO 7. RECURSOS DISPONIBLES Y EXTRACCIONES PARA USOS CONSUNTIVOS (BANCO MUNDIAL 2011; <i>CIT.</i> DGA, 2011).....	78
GRÁFICO 8. PAÍSES CONSUMIDORES DE COBRE A NIVEL MUNDIAL (COCHILCO, 2010) .....	133
GRÁFICO 9. PARTICIPACIÓN DE COBRE POR REGIÓN AÑO. (COCHILCO 2010) .....	134
GRÁFICO 10. DERECHOS Y EXTRACCIONES DE AGUA SECTOR MINERO REGIONES CENTRO-NORTE DE CHILE. FIGURA EXTRACCIÓN DE AGUA POR REGIONES (COCHILCO, 2010).....	138
GRÁFICO 11. COMPARACIÓN DE USOS CONSUNTIVOS PARA AGUA ENTRE LOS PERÍODOS 1999 Y SU PROYECCIÓN 2017 POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (MOP, 1999).....	139
GRÁFICO 12. PRODUCCIÓN DE COBRE EN FUNCIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE AGUA FRESCA POR TONELADA. (BROWN UNIVERSIDAD DE CHILE, 2003).....	140
GRÁFICO 13. EXTRACCIÓN DE AGUA CUENCA (L/S) (COCHILCO, 2008).....	141

GRÁFICO 14. EVALUACIÓN DE LA LEY DE COBRE DE CHILE (BASE DE DATOS CENTRO DE MINERÍA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE PUC, 2007).....	144
GRÁFICO 15. RELACIÓN ENTRE AGUA FRESCA Y USO TOTAL DE AGUA ACUMULADA EN PLANTAS CONCENTRADORAS. (ELABORACIÓN COCHILCO, 2011).....	147
GRÁFICO 16. EVOLUCIÓN DE COSTOS UNITARIOS SECTOR MINERO AÑO 2000-2008 (COCHILCO, 2009).....	149
GRÁFICO 17. MODELACIÓN DEL ESCENARIO DE LARGO PLAZO SOBRE EL PLAN DE OBRAS. (COMISIÓN CHILENA DE ENERGÍA, 2009)	151
GRÁFICO 18. COEFICIENTES DE CONSUMO ELÉCTRICO Y DE COMBUSTIBLE EN MRA Y MS, EN MINERAS DE CHILE (ADAPTACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DE COCHILCO 2006).....	155
GRÁFICO 19. DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y SEGURIDAD Y ABASTECIMIENTO PARA LA MINERÍA DE COBRE. (CDEC-SIC, 2007).....	156
GRÁFICO 20. CONSUMO DE AGUA POR REGIONES (FAO, 1993) ..	168
GRÁFICO 21. EFICIENCIA EN LA APLICACIÓN DE DISTINTAS TÉCNICAS DE RIEGO EN LA CUENCA DEL ELQUI. (ADAPTACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS CAZALAC, 2006).....	184
GRÁFICO 22. EFICIENCIA EN LA APLICACIÓN DE MÉTODOS MIXTOS DE RIEGO EN LA CUENCA DEL ELQUI. (ADAPTACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS CAZALAC, 2006).....	185
GRÁFICO 23. COMPARACIONES DE EFICIENCIA DE PARA RIEGO POR MÉTODOS ÚNICO Y MIXTOS, CUENCA DEL ELQUI. (ADAPTACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS CAZALAC, 2006).....	186
GRÁFICO 24. EFICIENCIA EN LA APLICACIÓN DE DISTINTAS TÉCNICAS DE RIEGO EN LA CUENCA DEL LIMARI. (ADAPTACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS CAZALAC, 2006).....	200
GRÁFICO 25. PLUVIOMETRÍA EN LA REGIÓN DE COQUIMBO AÑOS 1972-2000. (ADAPTACIÓN PROPIA A PARTIR DE LOS DATOS CEAZA, 2006).....	210

GRÁFICO 26. PRECIPITACIONES, ENERGÍA ELÉCTRICA Y SUPERFICIES PLANTADAS. AÑOS 1973-2001. (ADAPTACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS CEAZA, 2006).....	211
GRÁFICO 27. PRECIPITACIONES EN REGIÓN DE COQUIMBO, POR HOYAS HIDROGRÁFICAS DE LOS RÍOS (ADAPTACIÓN PROPIA DGA, 2010) .....	212
GRÁFICO 28. DISTRIBUCIÓN DE SUPERFICIES REGADAS POR REGIÓN (ODEPA-CIREN, 2005) .....	219
GRÁFICO 29 PROYECCIÓN DE DEMANDA DE AGUA PARA LA PRODUCCIÓN TOTAL DE COBRE EN CHILE 2009-2020 (COCHILCO, 2008) .....	244
GRÁFICO 30. CONSUMO DE AGUA MINERÍA DEL COBRE REGIÓN COQUIMBO (FUENTE: INFORME:” DERECHOS Y EXTRACCIONES Y TASAS UNITARIAS DE CONSUMO DEL AGUA DEL SECTOR MINERO REGIONES CENTRO-NORTE DE CHILE, DGA- PROUST CONSULTORES, MARZO 2008”. COCHILCO, 2008) .....	246
GRÁFICO 31. ESTADO DE EMBALSES DESDE LA TERCERA REGIÓN A REGIÓN METROPOLITANA. (ADAPTACIÓN PROPIA; DGA, 2010) .....	248
GRÁFICO 32. ESTADO DE EMBALSES DESDE LA SEXTA A OCTAVA REGIÓN. (ADAPTACIÓN PROPIA; DGA, 2010) .....	249
GRÁFICO 33. DISTRIBUCIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS I A IX REGIÓN CHILE (ADAPTACIÓN PROPIA, A PARTIR DE (PERALTA F., 2011. ALHSUD.) <i>CIT.</i> , DGA (2003-2007). MINERÍA DGA 2008, EMBALSES SUPERFICIALES. CNR 2005, SII 2006, HABITANTES I – IX REGIONES, INE CENSO 2002.) .....	252
GRÁFICO 34. DISTRIBUCIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS I A IX REGIÓN CHILE POR SECTORES. (ADAPTACIÓN PROPIA, A PARTIR DE (PERALTA F., 2011. ALHSUD.) <i>CIT.</i> , DGA (2003-2007). MINERÍA DGA 2008, EMBALSES SUPERFICIALES. CNR 2005, SII 2006, HABITANTES I – IX REGIONES, INE CENSO 2002.) .....	253
GRÁFICO 35. DISTRIBUCIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS III Y IV REGIÓN CHILE POR SECTORES. (ADAPTACIÓN PROPIA, A PARTIR DE (PERALTA F., 2011. ALHSUD.) <i>CIT.</i> , DGA (2003-2007). MINERÍA DGA 2008, EMBALSES SUPERFICIALES. CNR	

2005, SII 2006, HABITANTES I – IX REGIONES, INE CENSO 2002.).....	254
GRÁFICO 36. NIVELES DE EMBALSE EN LA CUARTA REGIÓN (DGA, 2010).....	255
GRÁFICO 37. NÚMERO DE VECES QUE APARECE EL CENTRO DECISOR EN LOS CRITERIOS DE DECISIÓN. ....	276
GRÁFICO 38. RESULTADO DE LAS PREFERENCIAS ENTRE CRITERIOS, MEDIANTE EL MODELO JERÁRQUICO AHP. ....	282
GRÁFICO 39. PREFERENCIAS DE LOS CENTROS DECISORES RESPECTO AL CRITERIO POLÍTICO.....	283
GRÁFICO 40. PREFERENCIAS DE LOS CENTROS DECISORES RESPECTO AL CRITERIO ECONÓMICO. ....	284
GRÁFICO 41. PREFERENCIAS DE LOS CENTROS DECISORES RESPECTO AL CRITERIO SOCIAL. ....	285
GRÁFICO 42. PREFERENCIAS DE LOS CENTROS DECISORES RESPECTO AL CRITERIO AMBIENTAL.....	286
GRÁFICO 43. PREFERENCIAS DE LOS CENTROS DECISORES RESPECTO AL CRITERIO TÉCNICO. ....	287
GRÁFICO 44. PREFERENCIAS DE LOS CENTROS DECISORES RESPECTO AL CRITERIO DISPONIBILIDAD. ....	288
GRÁFICO 45. RESULTADOS POR CRITERIO RESPECTO A LAS ALTERNATIVAS PLANTEADAS EN LA PROBLEMÁTICA DE EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA CUARTA REGIÓN. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA APLICACIÓN DEL SOFTWARE EXPERT CHOICE.....	297
GRÁFICO 46. PREFERENCIAS EN LA VALORACIÓN DE ALTERNATIVAS EN FUNCIÓN DE LOS PESOS RELATIVOS DE LOS CRITERIOS DE DECISIÓN DECLARADOS EN LA PROBLEMÁTICA, MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE EXPERT CHOICE.....	298
GRÁFICO 47. TOMA DE DECISIÓN EN FUNCIÓN DE LOS CENTROS DECISORES INFLUIDOS POR LOS CRITERIOS DEL PROBLEMA. .	299
GRÁFICO 48. VALORACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS, EN FUNCIÓN DE LOS PESOS DE LOS CRITERIOS DE DECISIÓN Y EL CENTRO DECISOR DGA. APLICACIÓN DE EXPERT CHOICE. ....	300

GRÁFICO 49. VALORACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS, EN FUNCIÓN DE LOS PESOS DE LOS CRITERIOS DE DECISIÓN Y EL CENTRO DECISOR DOH. APLICACIÓN DE EXPERT CHOICE .....	301
GRÁFICO 50. VALORACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS, EN FUNCIÓN DE LOS PESOS DE LOS CRITERIOS DE DECISIÓN Y EL CENTRO DECISOR SAG. APLICACIÓN DE EXPERT CHOICE .....	302
GRÁFICO 51 VALORACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS, EN FUNCIÓN DE LOS PESOS DE LOS CRITERIOS DE DECISIÓN Y EL CENTRO DECISOR CNR. APLICACIÓN DE EXPERT CHOICE.....	304
GRÁFICO 52. VALORACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS, EN FUNCIÓN DE LOS PESOS DE LOS CRITERIOS DE DECISIÓN Y EL CENTRO DECISOR SISS. APLICACIÓN DE EXPERT CHOICE .....	304
GRÁFICO 53. VALORACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS, EN FUNCIÓN DE LOS PESOS DE LOS CRITERIOS DE DECISIÓN Y EL CENTRO DECISOR COREMA. APLICACIÓN DE EXPERT CHOICE.....	305
GRÁFICO 54. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD RESPECTO A LA SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS, SEGÚN CRITERIO POLÍTICO. APLICACIÓN DE EXPERT CHOICE. ....	306
GRÁFICO 55. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD RESPECTO A LA SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS, SEGÚN CRITERIO ECONÓMICO. APLICACIÓN DE EXPERT CHOICE.....	307
GRÁFICO 56. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD RESPECTO A LA SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS, SEGÚN CRITERIO AMBIENTAL. APLICACIÓN DE EXPERT CHOICE.....	308
GRÁFICO 57. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD RESPECTO A LA SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS, SEGÚN CRITERIO TÉCNICO. APLICACIÓN DE EXPERT CHOICE .....	309
GRÁFICO 58. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD RESPECTO A LA SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS, SEGÚN CRITERIO DISPONIBILIDAD. APLICACIÓN DE EXPERT CHOICE .....	309







## **Capítulo 0**

### **Antecedentes generales del trabajo**

#### **0.1. Objetivos del trabajo**

El presente trabajo tiene por objetivos:

- 1.- Realizar un estudio del arte en el tema de los recursos hídricos en el mundo, mediante la aplicación del proceso analítico jerárquico, (AHP) como herramienta para enfrentar y resolver la problemática en particular de cada zona y en los aspectos relevantes establecer similitudes y/o diferencias con Chile y/o la cuarta región del país.
- 2.- Realizar alcances jurídicos en el tratamiento y acceso a los derechos de aprovechamiento de agua en Chile, con la finalidad de presentar su evolución desde el antiguo código de aguas hasta la actualidad y las repercusiones que ha tenido en los actores que demandan el recurso.
- 3.- Presentar en base a definiciones, objetivos y funciones cada uno de los organismos públicos y privados que están relacionados al recurso hídrico en Chile, situación que se hereda a nivel regional
- 4.- Realizar un estudio en los sectores minero y agrícola de la cuarta región, de manera de conocer la problemática actual en la zona, y la importancia del manejo y/o utilización de los recursos hídricos como un bien escaso y necesario para el progreso de la zona.

5.- Construir una estructura multinivel relacionada con el problema de recursos hídricos en Chile, apuntando a resolver la problemática entorno a la obtención del recurso hídrico subterráneo, mediante el proceso analítico jerárquico. (AHP) apoyándose en el software Expert Choice.

6.- Realizar conclusiones respecto a los resultados obtenidos a partir de la solución del problema, mediante la aplicación de la metodología anteriormente descrita.

## **0.2. Contexto geográfico de la zona de estudio.**

Chile se encuentra ubicado en el extremo suroeste del continente sudamericano  $33^{\circ}26'16''$  S y  $70^{\circ}39'01''$  O, extendiéndose a lo largo en poco más de 4200 kilómetros y una superficie de  $1.382.291 \text{ kms}^2$ .

La división política administrativa de Chile considera 15 regiones, 53 provincias y 346 comunas. Se puede distinguir cuatro zonas en el país:

- Norte Grande.
- Norte Chico.
- Valle Central y,
- La Patagonia Chilena.

El caso de estudio está centrado en la cuarta región de Chile o región de Coquimbo, que de acuerdo a la zonificación se encuentra emplazada en el norte chico.

La región de Coquimbo se encuentra al sur del desierto de Atacama y abarca una superficie de 40.580 kms<sup>2</sup> que corresponde al 3,4 % de la superficie total de Chile.

La división política administrativa de la región de Coquimbo, está conformada por tres provincias: Elquí, Limarí y Choapa, además de quince comunas.

La región tiene una población total de 677.300 hab., que constituyen el 4% de la población nacional. El 78% corresponde a población urbana concentrándose la mayor cantidad de habitantes en la conurbación Coquimbo - La Serena.

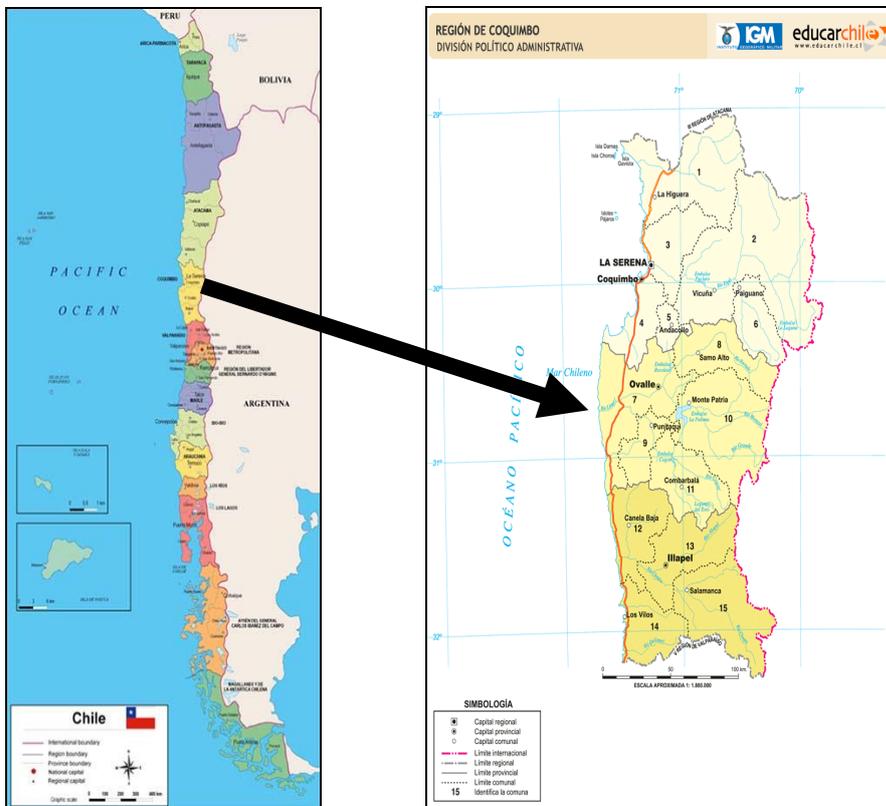
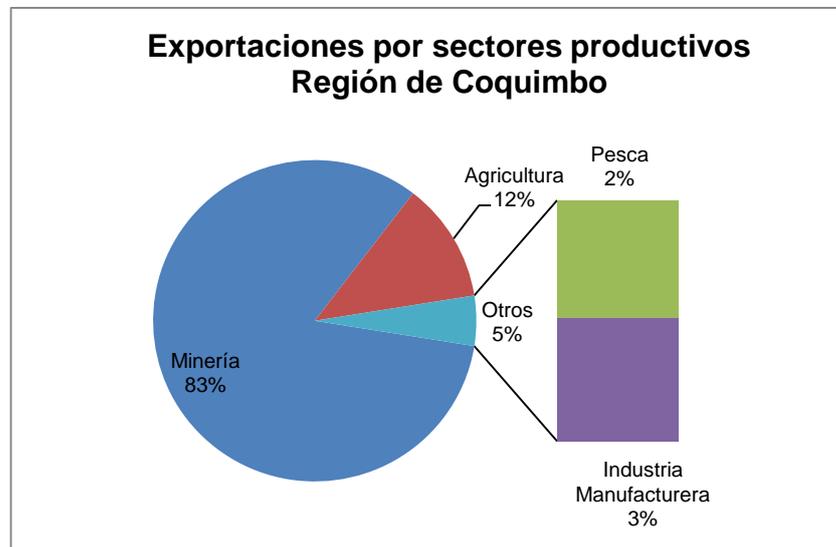


Figura 1. Mapa Político de Chile y mapa político administrativo de la cuarta región de Chile 2010. (Instituto Geográfico Militar IGM, 2011)

### 0.2.1. Actividades económicas en la región de Coquimbo

El aporte regional es un 2,2% del producto interno bruto a nivel país, donde los principales sectores que aportan a la producción son: Minería, servicios y turismo, construcción y actividades agropecuarias y silvícolas, aportando 24%,12%,11% y 10% al producto interno bruto de la región, respectivamente.

El sector exportador de la región en los últimos años ha aumentado significativamente cerca del 905%.



**Gráfico 1. Exportaciones por sectores productivos en la región de Coquimbo. (CEPAL, 2009)**

La minería y la agricultura son los sectores que más aportan a la región. Por tanto, ambos sectores contribuyen al empleo en

la región, permitiendo mejores condiciones de vida para todos los habitantes de la región.

Sin embargo, para cumplir con esta continuidad es necesario analizar los costos no solo económicos, sino además políticos, sociales, ambientales que permitan en el mediano y largo plazo mantener la sustentabilidad de los recursos sobre todo el hídrico principal problema en la región y que se aborda en este trabajo.

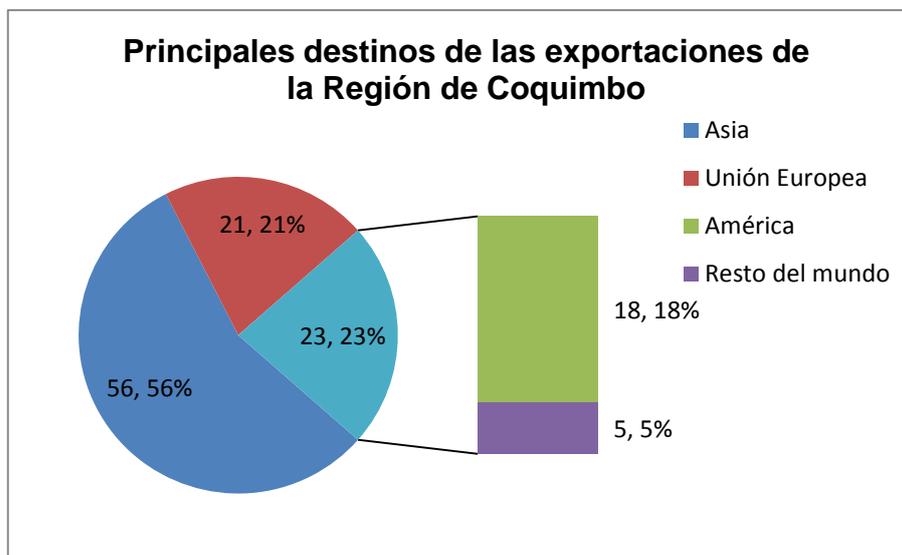


Gráfico 2. Principales destinos de las exportaciones de la región de Coquimbo. (CEPAL, 2009)

### 0.3. Presentación del trabajo

En los últimos años en Chile, en lo particular la zona norte, y específicamente en la cuarta región del país se han presentado registros poco favorables respecto a la capacidad hídrica en la zona, la cual ha sido percibida desde un

ciudadano normal hasta las autoridades encargadas de cautelar su tenencia, regulación, fiscalización, entre otras funciones que son inherentes al manejo de los recursos. Además la problemática también se ha establecido en los sectores minero y agrícola, los cuales representan un polo de desarrollo importante para la comunidad.

Por tal razón, el tema del agua no pasa solamente por satisfacer las demandas de los consumidores residenciales, sino que además es un insumo de primera necesidad para los sectores involucrados en este trabajo. En esa dirección este trabajo viene a establecer una estructura y solucionarla mediante lo que es una situación real y compleja valiéndose del proceso analítico jerárquico, en donde el resultado obtenido pueda sentar las bases para posteriores discusiones con una visión holística de la situación actual de los recursos hídricos en la cuarta región de Chile.

#### **0.4. Síntesis por capítulos**

El presente trabajo se realizó en la cuarta región de Chile, con la finalidad de encontrar respuesta a la constante falta de abastecimiento para cubrir la demanda en los sectores agrícola y minero de la región.

El desarrollo del trabajo se divide en nueve capítulos. A continuación se realizará una síntesis de cada uno de éstos.

*Capítulo 1:* Se describe el proceso jerárquico analítico (AHP) con la finalidad de utilizarlo aprovechando las bondades de

este en la resolución de problemas complejos; en este mismo capítulo se realizará una recopilación bibliográfica atendiendo a las aplicaciones de AHP al tema de los recursos hídricos en distintos países, tratando de ir mencionando la similitudes y diferencias según las hubiere con la realidad de Chile, y en lo posible con la realidad de la cuarta región.

*Capítulo II:* Se abordará la situación de los recursos hídricos en Chile, desde una perspectiva jurídica histórica y actual, además de entregar algunos antecedentes de índole cuantitativa para entender la problemática actual y futura que se prevé para los próximos períodos tanto a nivel país como regional.

*Capítulo III:* Estará dedicado a mencionar, definir y declarar las funciones, los objetivos y los alcances de cada uno de los organismos que intervienen en Chile en el tema de las aguas, tanto a nivel público, como las organizaciones privadas. La importancia de este capítulo radica en que a partir de este se comienza a esbozar la problemática que se declarará en los capítulos siguientes.

*Capítulo IV:* Este capítulo está enfocado al sector agrícola de Chile y en lo específico al comportamiento del sector en la cuarta región del país, sobre todo se orientará al tema de las aguas subterráneas que están emplazadas geográficamente en el lugar.

*Capítulo V:* Se realiza un estudio al otro sector del que forma parte este trabajo, el sector minero. Se explicará la importancia que ha tenido el sector en el desarrollo a nivel país como regional, y además los problemas que han surgido como

consecuencia de la demanda de agua y los efectos generados en el retorno de la misma a las comunidades pobladas y a los actores que también la demandan por formar parte de insumo imprescindible para las operaciones sobre todo en el sector agrícola.

*Capítulo VI:* Estará dedicado a explicar la problemática a nivel global, es decir, considerando ambos sectores tanto a nivel de sus demandas como los efectos ocasionados en su uso en cantidad y calidad de las devoluciones y su incidencia en las aguas a nivel superficial y muy particularmente a las subterráneas.

Por otra parte, será en este capítulo en donde se estructurará en la problemática para posteriormente ser resuelta mediante el Proceso Jerárquico Analítico (AHP), mediante la aplicación del software Expert Choice.

*Capítulo VII:* Se realizarán los análisis correspondientes de los resultados obtenidos en el capítulo precedente, y en lo general se formularán las conclusiones finales de este trabajo de una forma integral; además se formularán las propuestas de futuras líneas de investigación respecto al tema abordado en este estudio.

*Capítulo VIII:* Este capítulo, contiene las referencias bibliográficas consultadas en el trabajo.

*Capítulo IX:* Es un capítulo dedicado a los anejos, que estará conformado por tres apartados.

*Anejo I:* Formado por la encuesta inicial aplicada a los expertos que participaron en el proceso, mediante la cual fue posible lograr la mejor aproximación para estructurar la problemática.

*Anejo II:* Se presenta la encuesta realizada a los expertos una vez estructurada la problemática, la cual está estructurada en seis niveles.

Por último, el *anejo III*, compuesto por las tablas de resultados finales a partir de los juicios entregados por los involucrados en la encuesta del anejo II. Estas tablas contienen los resultados arrojados por el software Expert Choice utilizado en este trabajo.

#### **0.5. Referencias consultadas**

[1] CEPAL, *“Eco-eficiencia y desarrollo de infraestructura urbana sostenible en América Latina, El Caribe y Asia: Caso: Chile, Región de Coquimbo.”*, 2009, 12 pp.

[2] INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR (IGM), *“Mapa Político de Chile y mapa político administrativo de la cuarta región de Chile 2010.”*, 2011.



# **Capítulo I**

## **El Proceso Analítico Jerárquico (AHP) y casos de aplicación**

### **1.0. Propósito del capítulo**

El propósito de este capítulo es exponer la técnica del proceso analítico jerárquico de ayuda a la toma de decisiones multicriterio, aportando casos en donde se ha aplicado la técnica AHP en relación a la gestión de los recursos hídricos.

Se presenta en primer lugar, un resumen del análisis multicriterio de toma de decisiones, y posteriormente casos de aplicación que corresponden a Australia, Estados Unidos, Bolivia, Brasil, Corea del Sur, China, Jordania, India e Irán, y en los casos correspondientes se realiza una comparación con la realidad de Chile.

### **1.1. Introducción**

Los problemas de multicriterio se clasifican en dos grupos.

El primero de estos son denominados problemas continuos por tratarse de un conjunto infinito de alternativas consideradas por el centro decisor.

Por otra parte se encuentran los problemas de decisión de tipo discreto en los que el conjunto de alternativas a considerar por parte del centro decisor es finito y normalmente no muy

elevado. Siendo este último el que se abordará en el presente capítulo.

### **1.2. Decisión de multicriterio discreta**

Antes de abordar el tema de multicriterio discreto, es necesario definir y realizar alcances de atributo, objetivo, meta y criterio.

(Romero, 1993), indica que un atributo es sometido a evaluación por un centro decisor desde una óptica objetiva y sin apartarse de la realidad que está presente. Posteriormente se busca establecer un objetivo, que apunta a dar direccionalidad al atributo evaluado, buscando maximizar o minimizar el objeto de estudio, según lo perseguido en el mismo.

Sin embargo, el autor plantea que para alcanzar el próximo paso que es la meta, debe intermediar entre ésta y el objetivo planteado una aspiración, la cual pudiera ser o no alcanzada por el objetivo planteado. Finalmente un criterio engloba en su concepto a los tres anteriores, es decir, atributo, objetivo y meta.

El análisis multicriterio discreto comprende los casos donde el número de alternativas a considerar por el decisor es finito y normalmente no muy elevado.

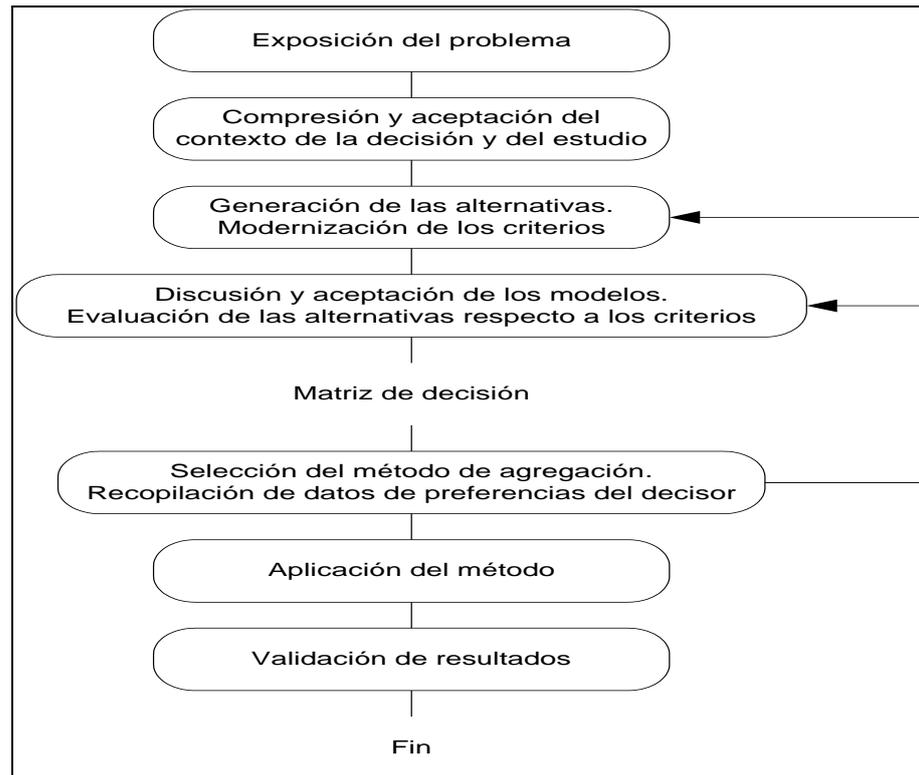
En (Pastor, 2007 *Cit.* Hwang y Yuan, 1981; Barba-Romero y Pomerol, 1997; Belton y Stewart, 2002; Tsoukiàs, 2003; Tsoukiàs, 2003. En cuanto a trabajos que recopilen diferentes técnicas cabe citar por ejemplo, Barba-Romero y Pomerol, 1997, Belton y Stewart, 2002; Figueira *et al.*, 2005; Bouyssou *et*

al., 2006) se recopilan algunos métodos de multicriterio discreto que se pueden utilizar:

- 1.- Métodos ordinales.
- 2.- Métodos basados en teoría de utilidad.
- 3.- Métodos basados en el concepto de sobreclasificación.
- 4.- Métodos de programación multiobjetivo.
- 5.- Métodos basados en distancias.
- 6.- Métodos basados en lógica difusa.

En lo específico para resolver un problema de decisión multicriterio, (Pastor, 2007; *Cit.* Nieto, 2001) propone abarcar las siguientes operaciones básicas para llegar a la solución de un problema de decisión:

- 1.- Análisis del problema.
- 2.- Identificación de alternativas
- 3.- Identificación de los criterios de decisión
- 4.- Contribución del modelo matemático que representen las preferencias del decisor.
- 5.- Resolución del modelo.
- 6.- Validación de los resultados.



**Figura 2. Fases del proceso de decisión (Pastor, 2007; Cit. Nieto, 2001)**

La contextualización de estas fases del proceso de decisión se presenta en el capítulo VI del presente trabajo para abordar el problema de toma de decisión de los acuíferos en la cuarta región de Chile, aplicando AHP.

### **1.3. Proceso Analítico Jerárquico (AHP)**

En (Saaty, 1980) se mencionan dos aspectos fundamentales para la resolución de un problema:

#### **1.- Presentación del problema**

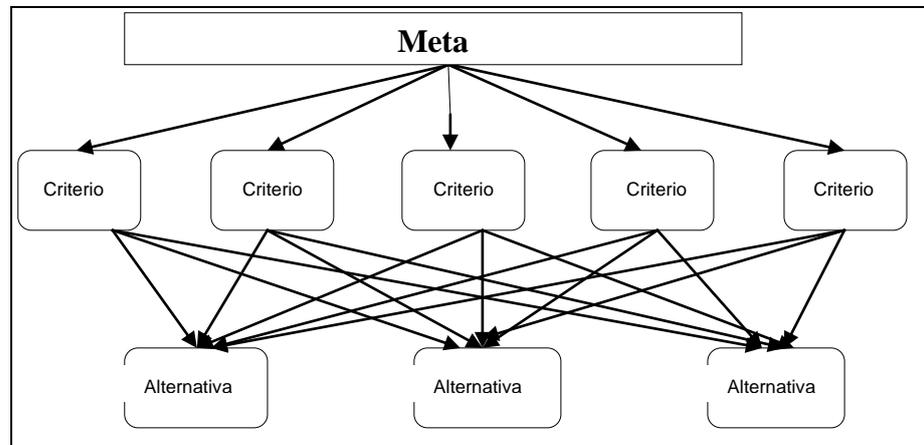
El problema se presenta mediante un arreglo jerárquico, en el cual a lo menos deben quedar definidos tres niveles, tal como se aprecia en la figura.

En el primer nivel (meta) se sitúa la problemática a resolver. En el segundo nivel los criterios pertinentes y relacionados a su vez con el problema.

En el tercer nivel están las alternativas para dar solución al problema, las que están subordinadas o jerárquicamente a continuación de los criterios, y además deben ser comparables entre sí, atendiendo a al criterio sobre las que se comparan entre sí, desde luego, no perdiendo la perspectiva de dar solución a la problemática planteada en el primer nivel.

El esquema que se presenta a continuación es un caso reducido para abordar un problema en particular. Sin embargo, el problema se puede presentar aún más complejo, para lo cual se necesitarán más niveles. Por ejemplo, el modelo propuesto para resolver la problemática que aborda este trabajo, se estructura en seis niveles. El problema propiamente tal, los criterios de decisión, un tercer nivel formados por los centros decisores, otro nivel con los grupos afectados, un quinto con los objetivos necesarios que persiguen estos grupos, desde luego, subordinados a los anteriores niveles jerárquicos ya

descritos, y por último las alternativas propuestas para dar solución al problema.



**Figura 3. Niveles de Proceso Analítico Jerárquico (Saaty, 1980)**

## **2.- Valoración de los criterios y alternativas de evaluación**

La valorización de los criterios de decisión busca estimar la importancia relativa entre la comparación de pares de criterios a partir del juicio de los expertos.

Por otra parte, se valoran las alternativas que se presentan en el problema para cada criterio, posteriormente mediante la utilización de suma ponderada y la normalización de la suma calcular la puntuación final de cada alternativa.

#### **1.4. Axiomas básicos del proceso jerárquico analítico**

Para abordar este apartado dedicado a los fundamentos de AHP, es necesario formular las bases respecto a este.

Según (Saaty, 1980), el AHP se sustenta en cuatro axiomas considerados como básicos: Comparación recíproca, homogeneidad, independencia y expectativas.

##### **1.4.1. Comparación recíproca**

El experto debe realizar comparaciones entre dos criterios en base a sus preferencias. Por ejemplo, ante la consulta:

¿Cuál de los siguientes criterios es el más importante, el más influyente o el que más pueda afectar para la selección del mejor tratamiento de los acuíferos.?

---- Social.

---- Disponibilidad.

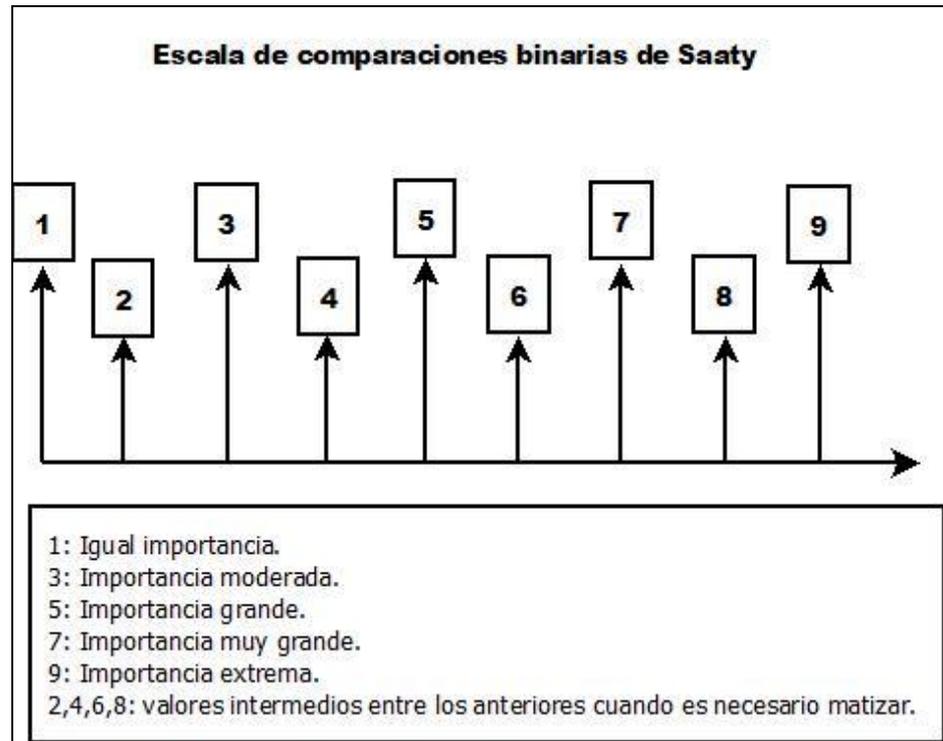
Si para el experto el criterio disponibilidad es X veces más preferido que el criterio social, entonces, el criterio social es preferido  $1/X$  veces respecto al criterio disponibilidad.

##### **1.4.2. Homogeneidad**

Las preferencias deberán expresarse en una escala conocida, es decir, limitada.

Volviendo al caso anterior, el experto deberá cuantificar o cualificar su preferencia, que en este caso corresponde a la escala de Saaty, (Saaty, 1980) con el fin de establecer sus

preferencias entre el criterio social y el criterio de disponibilidad para el tratamiento de los acuíferos.



**Figura 4. Comparaciones binarias de Saaty. (Elaboración propia; Saaty, 1980)**

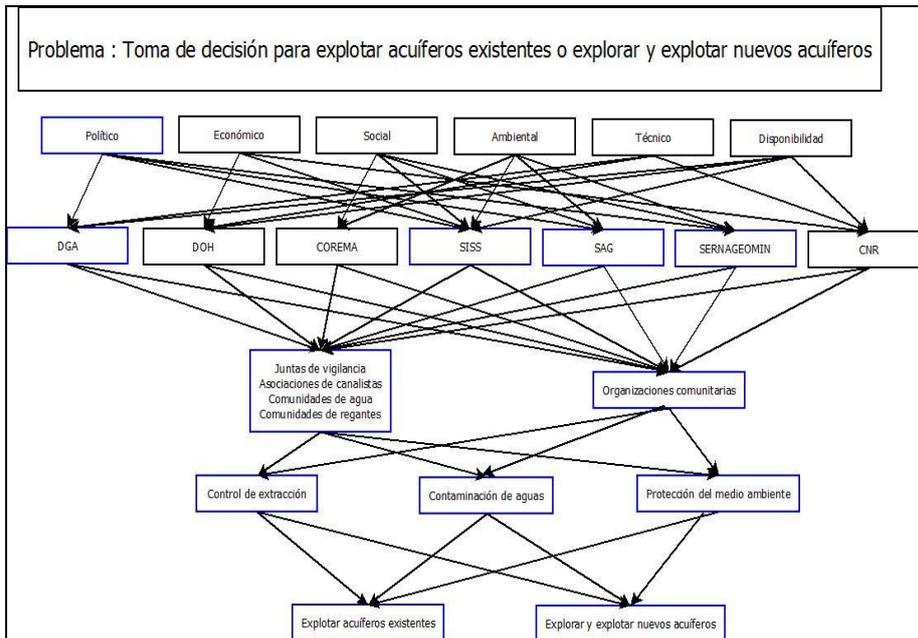
#### 1.4.3. Independencia

Los criterios son independientes de las propiedades de las alternativas. Sin embargo, se cuenta con una estructura con dependencia jerárquica o retroalimentada. (Garuti y Escudey,2005)

A modo de ejemplo, se presenta el esquema de toma de decisión para resolver en problema de acuíferos.

En el esquema se presenta de color azul la dependencia jerárquica del criterio político frente a los centro decisores los

grupos afectados, los objetivos que persigue el problema y las alternativas propuestas.



**Figura 5** Esquema de toma de decisión para el problema de los acuíferos, reflejando lo planteado por el axioma de independencia en el proceso analítico jerárquico.(AHP)

#### 1.4.4. Expectativas

Este último axioma, indica que la jerarquía debe ser completa entre los niveles que se presentan en la problemática, además para llevar a cabo las comparaciones de los elementos que conforman cada nivel, es necesario contar con una escala única adimensional que permita la comparación bajo una misma métrica.

Ejemplo: **problema:** Una empresa minera presenta un problema de transporte de material extraído de la mina a la siguiente operación de chancado. **Dos alternativas:** invertir en

un camión según el tonelaje a transportar, ó en una cinta transportadora?

Solo por nombrar **tres criterios** a considerar: costo de la inversión (unidades monetarias), tiempo de recepción (unidad de tiempo) y disponibilidad (unidades físicas), la unidad de comparación adimensional está dada por la escala de comparaciones binarias de Saaty.

### **1.5. Fundamentos del Proceso Analítico Jerárquico**

En relación a la fundamentación sobre el proceso jerárquico analítico, se tiene una amplia cantidad de referencias.

En (Pastor, 2007; *Cit.* (Saaty, 1980; Saaty, 1982; Saaty, 1994; Saaty, 1996; Saaty, 1997; Saaty, 2001)

La secuencia para abordar un problema de multicriterio discreto, utilizando el proceso jerárquico analítico, se nombra en cinco pasos:

1.- Jerarquizar el problema multicriterio según los niveles que corresponda en función de la problemática a resolver. (La jerarquización del problema de este trabajo se encuentra en el capítulo VI)

2.- Se realiza una comparación por pares entre lo criterios en base a la escala binaria de Saaty, y posteriormente se procede a comparar las alternativas entre sí respecto a la misma escala binaria, y respecto al criterio seleccionado. El procedimiento se realiza cuántas veces sea necesario en función de la cantidad de criterio y alternativas que formen parte del problema que se está estudiando. (Ver anejo VIII)

3.- Se construye la matriz de juicio para cada nivel. (Ver anejo VII)

4.- Calcular las prioridades para cada nivel, es decir para el nivel de criterios y alternativas del problema.

5.- Por último se determinan las prioridades globales correspondientes a cada una de las alternativas del problema.

La tabla propuesta por Saaty para comparaciones relativas es la siguiente:

Valor	Definición	Comentarios
1	Igual importancia	El criterio <b>A</b> es igual de importante que el criterio <b>B</b> .
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio <b>A</b> sobre el <b>B</b> .
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente al criterio <b>A</b> sobre el <b>B</b> .
7	Importancia muy grande	El criterio <b>A</b> es mucho más importante que el <b>B</b> , tal como se demuestra en la práctica.
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio <b>A</b> sobre el criterio <b>B</b> es irrefutable.
2,4,6,8	Valores intermedios entre los anteriores cuando es necesario matizar.	
Para expresar reciprocidad se usan los inversos de estos valores.		

**Tabla 1. Comparaciones binarias de Saaty (1980)**

En (Aznar, 2002) así como en la referencias indicadas al inicio de este apartado citadas por (Pastor, 2007), se abordan algunos procedimientos que son necesarios para mejor

compresión de la operatividad del proceso, sin entrar en demostraciones matemáticas, debido a que no forma parte del objetivo del presente trabajo.

Sean  $(c_1, c_2, c_3, \dots, c_j, \dots, c_n)$  criterios de decisión presentados para la solución de un problema y  $(A_1, A_2, A_3, \dots, A_i, \dots, A_m)$  posibles alternativas que se plantean para resolver el mismo.

En la comparación por pares de criterios, como asimismo en las comparaciones pareadas de alternativas subordinadas a un criterio en particular, cada experto o decisor asigna pesos relativos  $(w_1, w_2, w_3, \dots, w_j, \dots, w_n)$  de un criterio con respecto a otro, y también lo hace al comparar las alternativas entre sí en función de cada uno de los criterios que forman parte del problema, valiéndose de la escala binaria de Saaty.

Una vez que el experto a indicado sus preferencias en las comparaciones de criterio  $(c_1/c_2, c_1/c_3, \dots, c_1/c_j, \dots, c_1/c_n)$ , lo que está realizando es la comparación del peso asignado a un criterio respecto a otro criterio, es decir  $(w_1/w_2, w_1/w_3, \dots, \dots, w_1/w_j, \dots, w_1/w_n)$ , luego, se compara el criterio 2 con cada uno de los criterios, y así sucesivamente hasta llegar al criterio enésimo que se compara con cada uno.

Finalmente es posible obtener una matriz de proporciones como resultado de las comparaciones de todos los pesos de los criterios que forman parte del problema.

$$\begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_j & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_j & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_j/w_1 & w_j/w_2 & \dots & w_j/w_j & w_j/w_n \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_j & w_n/w_n \end{bmatrix}$$

Matriz I de proporciones formada por comparaciones de pesos desde el criterio 1 hasta el criterio n.

Anteriormente, no se hizo mención a una auto comparación de un criterio, debido a que su resultado es la unidad ( $w_1/w_1, w_2/w_2, \dots, w_j/w_j, \dots, w_n/w_n$ ).o bien en el caso que dos criterios tengan la misma importancia. ( $w_k/w_n$ ) =1

El mismo procedimiento se aplica para las alternativas con respecto a cada criterio que forme parte de un problema.

En (Garuti y Escudey, 2005), plantean dos reglas básicas para un cambio de notación de las respectivas proporciones registradas en la matriz con respecto a la comparación de un par de criterio ( $c_k/c_n$ ) y sus respectivos pesos bajo el mismo concepto de comparación ( $w_k/w_n$ )

(1) Si:

$$a_{ij} = a \rightarrow a_{ji} = \left(\frac{1}{a}\right) ; a \neq 0$$

Entonces la comparación de pesos entre ( $c_k/c_n$ ) que corresponde a ( $w_k/w_n$ ), se puede expresar como:

$$a_{kn} = \left( \frac{w_k}{w_n} \right) \rightarrow a_{nk} = \left( \frac{1}{\frac{w_k}{w_n}} \right) = \left( \frac{1}{a_{kn}} \right)$$

Si dos criterios comparados son igualmente importantes o preferibles para un experto, se cumple que:

(2) Si:

$$a_{ij} = a_{ji} = a_{ii} = 1; \forall a$$

A partir de 1 y 2 la expresión de la matriz de proporciones formada por comparaciones de pesos desde el criterio 1 hasta el criterio n, se puede expresar como:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2j} & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{j1} & a_{j2} & \dots & a_{jj} & a_{jn} \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nj} & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} & a_{1n} \\ 1/a_{12} & a_{22} & \dots & a_{2j} & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1j} & 1/a_{2j} & \dots & a_{jj} & a_{jn} \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1/a_{jn} & a_{nn} \end{bmatrix}$$

**Matriz II expresión de las proporciones en la forma  $(w_n/w_j=a_{nj})$  a partir de las comparaciones de los pesos de los criterios**

En ambos casos la diagonal es 1, y además cumple dos propiedades importantes. Por una parte, satisface el axioma de reciprocidad planteado en el apartado **1.4.1.**, y con matriz positiva

Por tanto, el valor del autovalor o valor propio ( $\lambda$ ) corresponde a la suma de los elementos de la traza o diagonal, además se cumplen las reglas propuesta por (Garuti y Escudey, 2005)

En general la expresión queda:

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1j} & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2j} & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{j1} & a_{j2} & \dots & 1 & a_{jn} \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nj} & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_j \\ w_n \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_j \\ w_n \end{bmatrix}$$

Construida la matriz de comparaciones pareadas se calcula el vector propio de la misma, donde la expresión en términos de ecuación es:

$$A * w = \lambda * w$$

Sea  $\lambda$  (lambda) un escalar considerado valor propio de la matriz **A**, asociado con el vector propio **w**, donde este vector indica el peso de cada uno de los criterios utilizados en el planteamiento del problema.

En cuanto al número de comparaciones necesarias para resolver el problema, estas podrán obtenerse de las comparaciones que están en la triangular superior o bien en la triangular inferior de la matriz de proporciones de pesos

relativos, pudiendo ser como mínimo (n-1) comparaciones y como máximo n(n-1)/2 comparaciones.

A nivel multi experto, se calcula la media geométrica entre los juicios emitidos.

El procedimiento opera de la siguiente manera:

Sea  $a_{ij}$  un elemento de la matriz de proporciones, resultante

de la comparación de dos criterios (i y j). Sea  $a_{ij1}, a_{ij2}, \dots, a_{ijn}$

las comparaciones realizadas por los expertos (1 al n), respecto a los criterios señalados. Los pesos relativos a las

comparaciones serán  $\left(\frac{w_i}{w_j}\right)_1, \left(\frac{w_i}{w_j}\right)_2, \dots, \left(\frac{w_i}{w_j}\right)_n$

respectivamente.

Por tanto, para conocer el peso relativo final entre la

comparación pareada de criterios ( $a_{ij}$ ) considerando el total de

los juicios emitidos por los expertos, se propone utilizar la siguiente expresión:

$$MG = (a_{ij1} * a_{ij2} * \dots * a_{ijn})^{1/n}$$

Donde MG es la media geométrica, y el resultado indica el valor obtenido considerando todos los juicios emitidos por los expertos.

### 1.5.1. Determinación del cálculo de la consistencia

La matriz A deberá ser normalizada:

$$A_n = \left[ \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}} \right]$$

Posteriormente se suman sus filas

$$\begin{aligned} \frac{a_{11}}{\sum_{n=1}^n a_{n1}} + \frac{a_{12}}{\sum_{n=1}^n a_{n2}} + \dots + \frac{a_{1n}}{\sum_{n=1}^n a_{nn}} &= b_1 \\ \frac{a_{21}}{\sum_{n=1}^n a_{n1}} + \frac{a_{22}}{\sum_{n=1}^n a_{n2}} + \dots + \frac{a_{2n}}{\sum_{n=1}^n a_{nn}} &= b_2 \\ &\cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \\ &\cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \\ \frac{a_{n1}}{\sum_{n=1}^n a_{n1}} + \frac{a_{n2}}{\sum_{n=1}^n a_{n2}} + \dots + \frac{a_{nn}}{\sum_{n=1}^n a_{nn}} &= b_n \end{aligned}$$

Obteniéndose el vector de prioridades globales

$$B = \left[ \frac{b_1}{n}, \frac{b_2}{n}, \dots, \dots, \frac{b_n}{n} \right]^T$$

Mediante el producto de la matriz original **A** por el vector de prioridades globales **B**, se obtiene una matriz columna **C**

$$C = [c_1, c_2, \dots, \dots, c_n]^T$$

Realizar la cociente entre el vector fila [C] y el vector de prioridades globales [B], para la obtención de un nuevo vector [D], que al sumar y promediar sus elementos dará el valor de  $\lambda_{m\acute{a}x.}$

$$\lambda_{m\acute{a}x.} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}$$

Luego, se obtiene el valor del índice de consistencia (CI):

$$CI = \frac{\lambda_{m\acute{a}x.} - n}{n - 1}$$

Finalmente se obtiene el Ratio de Consistencia (RC), que indica la consistencia del estudio realizado:

$$RC = \frac{CI}{CA}$$

Una tabla propuesta para la obtención del valor de consistencia aleatoria, en función del tamaño de la matriz es el siguiente:

Tamaño de la matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Consistencia aleatoria	0,00	0,00	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

**Tabla 2 Valores de la consistencia aleatoria en función del tamaño de la matriz (Saaty, 1980)**

Se considera que existe consistencia cuando los valores obtenidos no superan a los que aparecen en tabla

Tamaño de la matriz (n)	Ratio de consistencia
3	5%
4	9%
5 ó mayor	10%

Tabla 3 Porcentajes máximos del ratio de consistencia (Saaty, 1980.)

## **1.6. Aplicaciones de AHP en La gestión de Recursos**

### **Hídricos a nivel mundial**

En este apartado se presentan casos de aplicación en los países más representativos de cada uno de los continentes, en función de sus necesidades hídricas y/o población. Por otra parte, se irán comentando algunas similitudes y diferencias respecto a Chile y la cuarta región.

#### **1.6.1. Estudio de casos en Brasil**

En (Dietrich, 2008) El valle de Jequitinhonha ubicado en una región semi-árida en Brasil, presenta grandes problemas sociales y económicos impidiendo a los habitantes de la región tener mejores expectativas de vida y desarrollo, lo que conlleva a una migración hacia las zonas más pobladas del país generando mayor hacinamiento en las periferias de estas ciudades, tal situación ocurre principalmente por la escasa disponibilidad de agua potable y ausencia de monitoreo de este recurso.

(Garfi, et al, 2011) realizó una búsqueda previa (ONU, 2000; SCHR, 2004; Hazeltine y Toro, 2003; PNUD, 2008) que permitió conocer con mayor profundidad la zona de estudio. Para resolver el problema utilizó AHP, cuyos criterios de decisión los estableció en función de criterios previos considerados para el desarrollo de proyectos y las normas de los programas humanitarios, los cuales establecen las directrices específicas para la cooperación internacional. Estos criterios fueron el técnico, social, ambiental y económico. Además de algunos criterios específicos considerados para el agua.

#### **Criterios generales y técnicos para proyectos de desarrollo humano en el sector del agua**

---

##### **Criterios generales para proyectos de desarrollo humano**

- CG A Características técnicas.
- CG B Impacto ambiental.
- CG C Recursos naturales de consumo.
- CG D Administración.
- CG E Participación de la comunidad local.
- CG F El respeto a la cultura local.
- CG G La migración debido a la pobreza y la falta de acceso a los recursos.
- CG H Salud.
- CG I Acceso a la tecnología.
- CG L Ingresos y empleos.
- CG M Esperanza de vida.

##### **Criterios técnicos del uso del agua**

- C1 Compatibilidad con las características medioambientales y geológicas.
- C2 El cumplimiento de las normas para el agua potable.

C3 Mantenimiento de la calidad del agua en el tiempo.

C4 Mantenimiento de la calidad del agua de almacenamiento en el punto de suministro de agua.

C5 Propiedades organolépticas.

C6 Las normas de las necesidades de agua para el consumo humano.

C7 Distancia entre cualquier hogar y el punto más cercano del agua.

C8 Ubicación con fácil acceso para todos los miembros de la comunidad.

C9 El número máximo de personas por la fuente de agua.

C10 Acceso libre e independiente por la comunidad.

C11 Tiempo de espera a una fuente de agua.

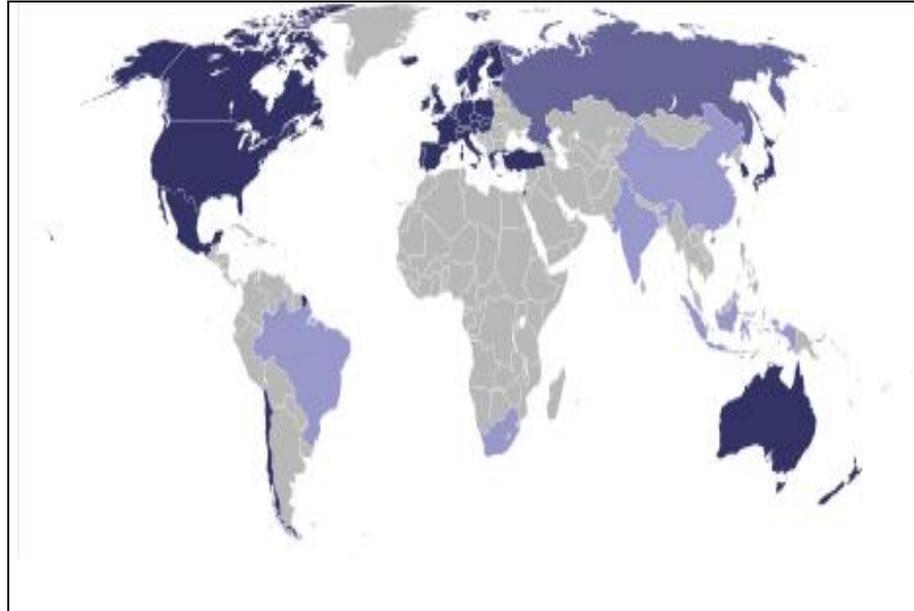
C12 La constancia en la disponibilidad de recursos durante el día y las estaciones.

---

**Tabla 4. (Garfí, et al, 2011; Cít. Ministerio y el Instituto Brasileño de geografía y estadística)**

En general, los países en vías de desarrollo están constantemente sometidos a cambios económicos y sociales, por tal razón la evaluación de estrategia ambiental constituye una herramienta ex ante que ayuda a la toma de decisión correcta y oportuna, brindando un nivel de objetividad apreciable, toda vez que permite la participación de la sociedad y de los actores directamente involucrados en un determinado proceso minimizando los posibles impactos ambientales.

Según (OCDE, 2006) el objetivo fundamental de este tipo de evaluación permite conocer anticipadamente los diferentes escenarios y los posibles resultados económicos.



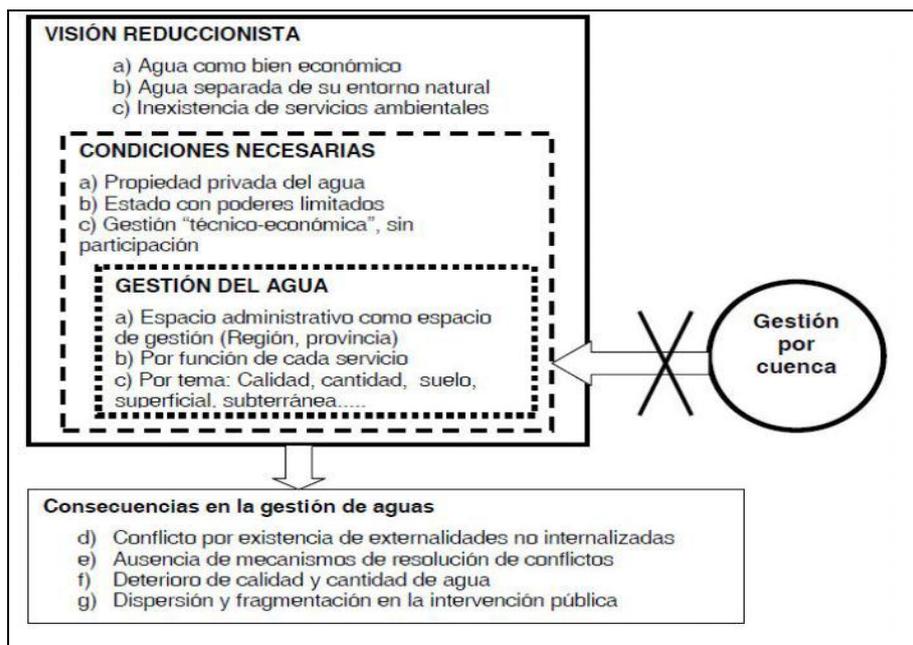
**Figura 6.** ■ Países miembros (34) ■ Países candidatos para adherirse (1) ■ Países con los que la OCDE ha incrementado sus relaciones (5) (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2006)

Comparativamente existe una coincidencia que radica en la cantidad promedio de precipitaciones anual entre la zona norte de Chile (800 m.m.) respecto a la zona de estudio (600 m.m. a 800 m.m).

Sin embargo, la diferencia está que en la zona norte de Chile comprendida desde la región metropolitana al norte la población es cercana a 10,5 millones de habitantes (INE, 2008) y en la zona de Joquitinhonha en Brasil cerca de 24 millones de habitantes. Se concluye que el recurso hídrico el per-cápita de la zona norte de Chile es superior.

No obstante, esta comparación disminuye su efecto ya que en Chile no existe en la actualidad un sistema de gestión integral de recursos hídricos. (Garcés, 2011 *Cit.* Peña, 2003;

Dourojeanni y Jouravlev, 1999) “En la base del modelo chileno, se encuentra la conceptualización del agua como un bien económico, el cual es separado de su entorno natural y transformado en un bien transable en el mercado. El ciclo hidrológico es fragmentado, gestionando el agua superficial y el agua subterránea, como recursos independientes, lo que conlleva a concluir que el modelo aplicado es reduccionista.”



**Figura 7. Esquema Relaciones entre la visión ecosistémica y la visión de cuenca (Garces, Revista REDESMA, 2011)**

Investigaciones indican que el común denominador en los problemas surgidos por el recursos hídrico son por fenómenos meteorológicos, situación socioeconómica, reglamentos deficientes, degradación ambiental y escasa participación de los interesados (Kampragov et al, 2007). Lo que deja en evidencia que la necesidad de establecer en la mayoría de los

países en vía de desarrollo una mejor gestión de los recursos hídricos desde una óptica integral.

En (Srdjevic ,2007) se realizó un estudio aplicando AHP en la cuenca de San Francisco en Brasil para mejorar la gestión de recursos hídricos y obtener planes estratégicos a un horizonte de 20 años.

Se reunió el comité de agua de la cuenca de San Francisco compuesta por 6 estados, se seleccionaron 60 miembros entre productores y autoridades de cada uno de los estados participantes en el proceso. Posteriormente, la problemática planteada fue encontrar el mejor plan estratégico, para tal efecto, se estableció una estructura multi-nivel compuesta por la problemática, cinco criterios (políticos, económicos, sociales, ambientales y técnicos) y cinco planes estratégicos (Equilibrio en el desarrollo industrial, abastecimiento urbano, irrigación, pagos de derechos de aprovechamiento, riego por usuarios).

#### **1.6.2. Estudio de casos en India**

En (Machiwal, et al 2011 *Cit.* Chi y Lee 1994; Krishnamurthy y Srinivas 1995; Kamaraju et al. 1995; Krishnamurthy et al. 1996, 2000; Sander et al 1996; Edet et al 1998; Saraf y Choudhury 1998; Shahid et al 2000; Jaiswal et al 2003; Rao y Jugran 2003; Sikdar et al 2004; SENER et al 2005; Ravi Shankar y Mohan 2006; Salomón y Quiel 2006; Madrucci et al, 2008; Chowdhury et al 2009; Jha et al 2010)

Realizó un estudio para evaluar el potencial de las aguas subterráneas en Rajasthan de Udaipur ubicada en una región

semi árida en India occidental, utilizando sistema remoto, sistema información geográfico y la técnica AHP.

Se recolectaron datos de 10 parámetros (elevación topográfica, pendiente de los terrenos, geomorfología, geología, suelo, profundidades de las aguas subterráneas de pre y post monzón, recarga neta anual de las aguas, precipitaciones anuales y proximidad a masas de aguas superficiales) considerados significativos para el estudio. Posteriormente utilizando sistema de información geográfica y de sensores remotos se construyó un mapa potencial de aguas subterráneas, y una vez verificado, identificado y delineado, se procedió a realizar el estudio en 39 pozos de bombeo de la zona en estudio.

La aplicación de AHP se utilizó una vez que fueron aplicadas las encuestas a geólogos e hidrogeólogos para comparar la incidencia de las variables geológicas respecto a las hidrológicas sobre aguas subterráneas. Con las aplicaciones combinadas de las tres herramientas se llegó a la conclusión que la capacidad potencial de aguas subterráneas en la zona es limitada.

Otros investigadores (Dunning, et al 2000; Flug, et al 2000; Joubert, et al 2003) y recientemente, (Hajkowicz y Higgins, 2008) aplicaron la técnica AHP en estudios relacionados con aguas subterráneas. Sin embargo, a juicio de los autores la dificultad surge al momento de establecer los criterios que aborden de la mejor manera la problemática.

En Chile el Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y El Caribe (CAZALAC, 2006) propuso modelamientos de acuíferos, pozos y canales mediante el sistema de información geográfica para delimitar las zonas de estudio e influencias de cada una en la provincia de Elquí, Limari y Choapa, todas forman parte de la región de Coquimbo y cada una de estas tiene su propia cuenca natural que es la cordillerana. Lo cual coincide con la revisión bibliográfica presentada por los investigadores mencionados en los párrafos anteriores.

En (Chowdhury, et al, 2010), se realizó un estudio similar en la misma zona de India, se utilizaron sensores remotos, sistema de información geográfico y AHP para estudiar los puntos de recarga artificial de aguas, ya sea mediante inundaciones, recarga de pozos o recarga de presas. En tal estudio se definieron 5 criterios por los expertos: geomorfología, geología, densidad de drenaje, pendiente y transmisividad de los acuíferos concluyéndose que estas técnicas (AHP, RS y GIS) ahorran tiempo, dinero y además ofrecen soluciones precisas.

En (Aabha, et al, 2011) se realizó una investigación en las sub cuencas del río Kanhan, distrito de Nagpur, estado de Maharashtra en India. Concluyó mediante las técnicas de AHP, que el criterio geomorfológico es el más importante a juicio de expertos para escoger un sitio de recarga natural de agua aprovechando la escorrentía como consecuencia del alto nivel de precipitaciones de la zona en estudio.

En (Henriquez, et al, 2006 *Cit.* Romero et al, 2003; Romero y Vásquez, 2005) concluye según estudios realizados en ciudades del sur de Chile y en Santiago que el crecimiento urbano afecta directamente la impermeabilización de las cuencas afectando al ciclo hidrológico. Se aplicó AHP considerando factores que permitieran dar el mejor resultado entre comportamiento de los patrones de crecimiento urbano y probabilidad de cambio de uso de suelo analizado.

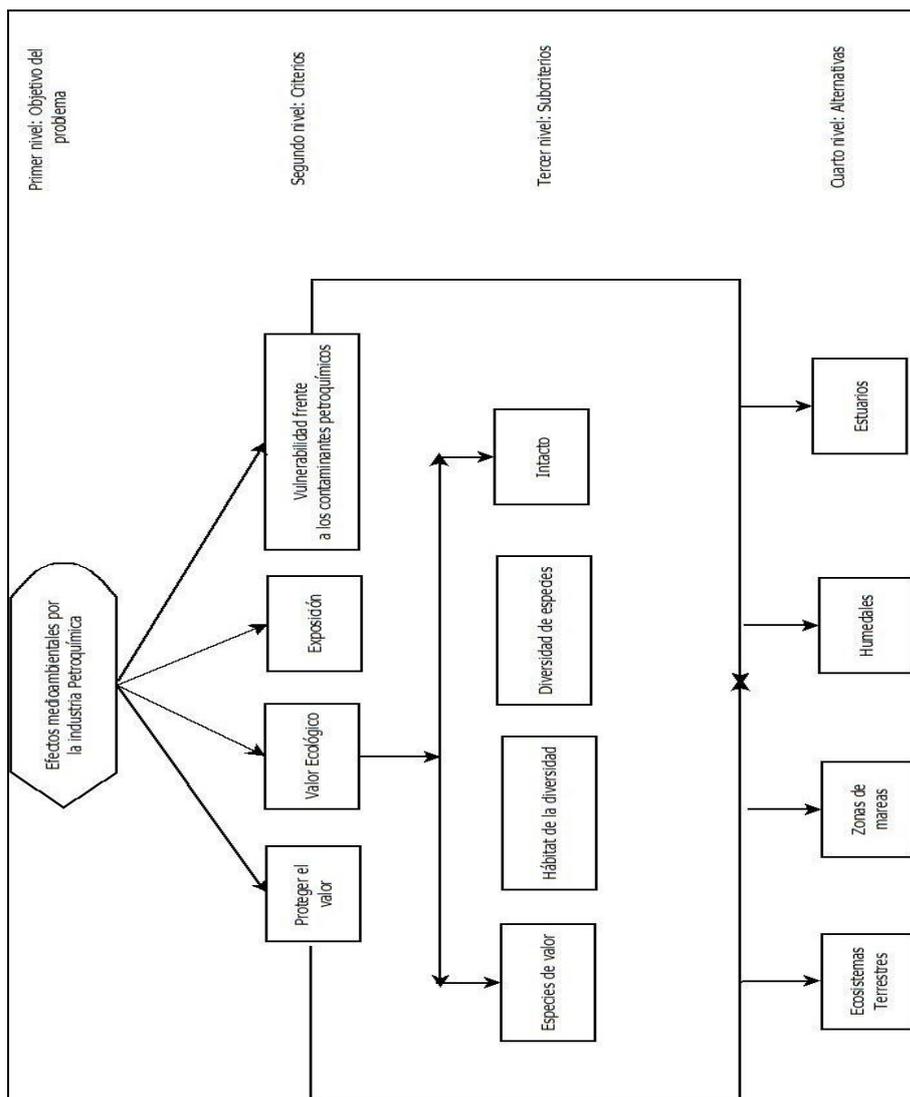
### **1.6.3. Estudio de casos en Irán**

En (Karbassi, et al, 2011) se realizó una investigación sobre la calidad de las aguas, mediante un índice de calidad de agua (WQI) evaluado bajo el estándar de calidad de agua National Sanitation Foundation (NSF) en el río Gorganrood que desemboca en el Mar Caspio.

El problema se centró en determinar el nivel de contaminación de las aguas como consecuencia de las influencias antropogénicas (urbano, industriales y agrícolas), y en los procesos naturales (precipitación, erosión, meteorización entre otras.).

Se seleccionaron expertos en base a sus experiencias y el nivel de información que manejaban respecto al tema. Fueron sometidos a encuestas sobre las preferencias de nueve parámetros en cinco puntos o estaciones en que se realizó el muestreo para el estudio. Finalmente el resultado fue comparado con la NSF, obteniéndose una alta concentración de DBO.

En (Malmasi, et al ,2010) se realizó un estudio de impacto ecológico sobre las industrias petroquímicas Mahshahr. Principalmente por las consecuencias de esta industria en la emisión de aguas residuales y de residuos peligrosos, contaminando la flora y fauna acuática y el subyacente impacto en la salud humana. Para el propósito se utilizó AHP para conocer el impacto ambiental del sector industrial petroquímico y clasificar los contaminantes emitidos. Los criterios abordados en el estudio: el valor de la protección del medioambiente, valor ecológico, valor de la exposición de la ciudadanía a la contaminación y vulnerabilidad a los contaminantes petroquímicos.



**Figura 8. Árbol de jerarquía para identificación los ecosistemas más afectados. (Malmasi, et al 2010)**

(Malmasi, et al ,2010) basaron la aplicación de AHP en base a la aplicación del mismo método en India en la evaluación del impacto socio-económico con la construcción de una planta de reciclaje, cuya consecuencia traía problemas de abastecimiento para la ciudadanía (Ramanathan, 2001).

La preservación del medio ambiente requiere de tecnologías necesarias para minimizar el impacto de los procesos industriales. Por tanto, este tema es transversal al nivel de inversión que destina cada empresa.

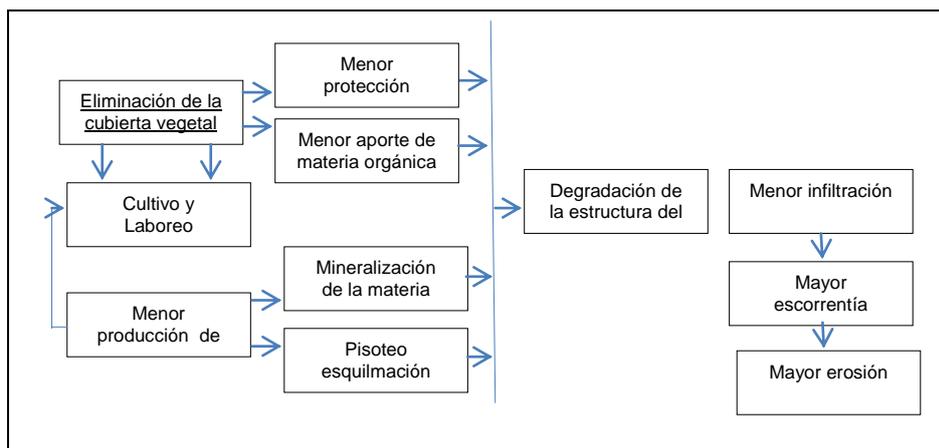
En (Malmasi, et al ,2010 *Cit.* Athanasios, et al, 2007), indica que en estudios realizados utilizando AHP a 10 plantas de energía, las plantas con menor impacto medioambiental son de energía nuclear, tratamiento de aguas, energía geotérmica y energía eólica.

#### **1.6.4. Estudio de caso en Corea del Sur**

Los metales pesados contribuyen significativamente a la contaminación medioambiental. Por ejemplo, los afluentes de los residuos mineros, producción de combustibles, prácticas agrícolas intensivas entre otras. (Foy *et al.* 1978; Salt *et al.*1998; Orcutt and Nilsen, 2000; Cseh, 2002; Pilon- Smits, 2005).

Sin embargo, el fenómeno de erosión también trae contaminación de las aguas. La situación se presenta según los factores presentes en el estudio, que dependerán de las lluvias, la topografía, las características físico-químicas del suelo entre otras variantes afectando finalmente la productividad de un proceso agrícola. (Moreno Caselles, J.; et al 2000).

(Moreno Caselles, 2000) esquematiza los mecanismos responsables de la erosión del suelo de la siguiente forma:



**Figura 9. Mecanismos responsables de la erosión del suelo. (Moreno Caselles et al., 2000).**

En la península de Corea del Sur, se realizó un estudio como consecuencia de la acelerada erosión de las cuencas hidrográficas, poniendo en riesgo el consumo de agua humano y la productividad de los cultivos.

El estudio se realizó con un horizonte temporal de 20 años a partir del año 2000. Las principales causas las precipitaciones y la rápida expansión urbanística.

Usando un índice de sostenibilidad del suelo, más el apoyo de frecuencia de radio, regresión de logística y AHP. (Park, et al 2011). Los criterios analizados fueron topográficos, geográficos y sociales.

#### **1.6.5. Estudio de caso en Bolivia**

En (Kampragou, et al 2007) *"los recursos hídricos han sido ampliamente discutido en los últimos años, la escasez de agua se ha convertido en un problema importante con el aumento de*

*las poblaciones que sufren deterioro debido a su calidad y escasez en la cuenca del lago Poopó."*

Este río se encuentra ubicado en el departamento de Oruro en Bolivia. La ausencia de una gestión integrada de los recursos hídricos a traído conflictos entre los agricultores y las empresas cuyos procesos requieren agua del lago Poopó

En (Calizaya, et al, 2010) realizaron una investigación relacionada con la contaminación de las aguas como consecuencia de los vertidos arrojados a lago por las empresas mineras de la zona principalmente. Se aplicó AHP, atendiendo tres criterios: económico, ambiental y social, debido a una baja productividad en los cultivos de la zona, alta salinidad y degradación de los suelos por derrame de petróleo afectando a los habitantes y agudizando aun más su condición de pobreza, cuyas actividades son la agricultura y ganadería, ambas en baja escala.

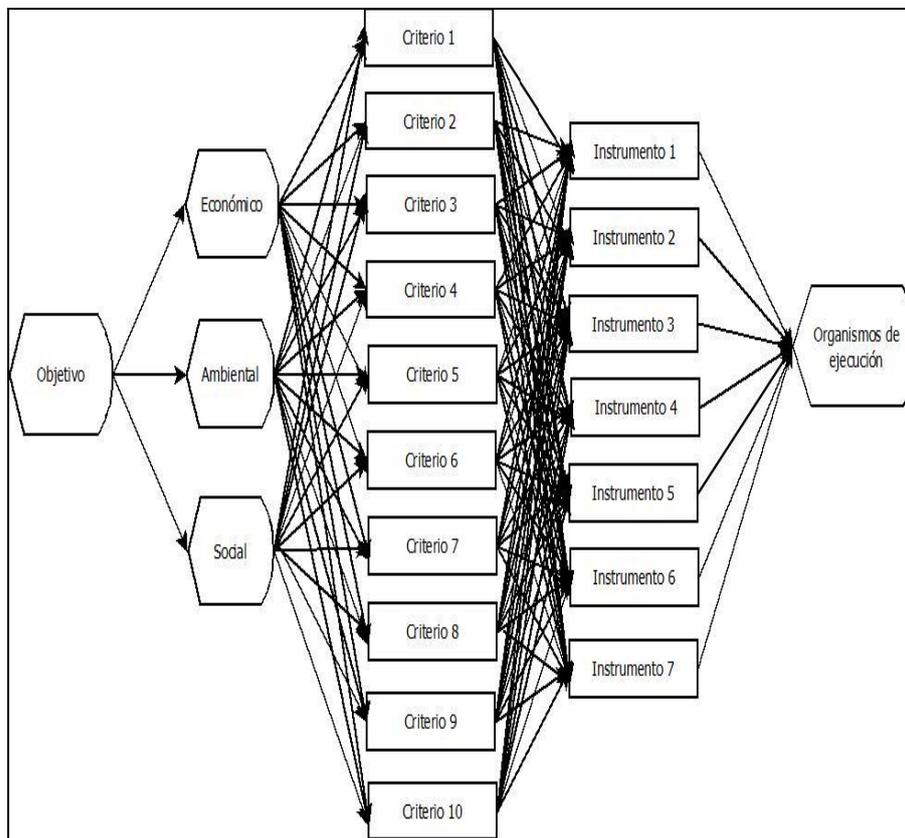
Para la solución del problema se plantearon 10 conflictos y 7 instrumentos o cursos de acción para su resolución.

Los conflictos considerados en el estudio fueron: fenómenos meteorológicos extremos, situación social y económica, aspectos culturales, participación de los interesados, regulaciones deficientes de los recursos hídricos, falta de información básica respecto al tema, ley de aguas y derechos de agua, división de la tierra y migración y polución. En cuanto a los instrumentos de evaluación fueron: monitoreo de los parámetros hidro meteorológico, línea base con participación de los interesados, implementación de infraestructura,

organizaciones locales para la administración de agua, educación y programas de entrenamiento para los afectados y las comunidades asociadas y auditoría ambiental.

Finalmente, los organismos encargados: autoridad, unidad operativa de Bolivia, gobierno regional, organizaciones sociales para administrar el agua y la conformación y coordinación para la defensa de la biota.

Los resultados arrojados: el criterio más importante fue el ambiental, y luego el social y el económico, respectivamente. El instrumento más importante fue la educación y el entrenamiento para los agricultores y los habitantes de la zona, y por último el organismo responsable se el gobierno regional.



**Figura 10. Estructura de Multicriterio. Modelo utilizado en el Lago Poopó (Calizaya, et al, 2010)**

(Hajkovicz et al, 2007) indican que en la actualidad se utilizan con éxito las técnicas de multicriterio, además de los conjuntos borrosos aplicado a la problemática de los recursos hídricos en el mundo. La experiencia se realizó en 113 casos, en un total de 34 países.

**1.6.6. Estudio de caso Jordania**

Jordania presenta diversas amenazas tanto por su localización geográfica, como por su alta tasa de crecimiento experimentado en los últimos años. Los factores considerados críticos son: climáticos, escasez de recursos hídricos, crecimiento demográfico, desertificación en la mayoría de las zonas del país, creciente urbanización y emergente crecimiento industrial.

Estas condiciones, han llevado a los investigadores a buscar alternativas de abastecimiento del recurso hídrico manejándose entre otras la desalación de aguas y tratamiento de aguas residuales.

Para resolver la problemática se aplicó AHP. Los criterios atendidos fueron: Técnicos, económico, disponibilidad, confiabilidad y sustentabilidad ambiental. El resultado aplicando la metodología indica que la conveniencia para resolver el problema es aplicar desalación de agua. (Jaber, et al, 2001)

En la ciudad de Qa Disi wellfield, se realizó un análisis de multicriterio de tecnologías no convencionales con la finalidad

de encontrar la mejor alternativa de desalinización de agua. Se evaluaron cuatro tipos de tecnologías: hidroeléctrica, solar, eólica y nuclear para cumplir con el objetivo propuesto. Los criterios sugeridos por los expertos fueron la productividad del agua y la sustentabilidad ambiental, con las alternativas de consumo doméstico, industrial y agrícola. La elección fue utilizar energía hidroeléctrica por las características físicas de la zona de estudio, y las alternativas seleccionadas consumo doméstico y uso agrícola. Las tres tecnologías restantes no aplican por las características de zona, la energía eólica por la insuficiencia de la velocidad del viento, la solar es utilizada para aguas salobres en otras zonas del país y la energía nuclear se podría utilizar, pero en un futuro. (Akash, et al, 1997)

En (Ramilo, et al, 2003) se explica la importancia de las tecnologías de desalinización del agua. El autor indica que este tipo de tecnologías ocupan un lugar importante en la obtención del recurso hídrico para el sector agrícola y principalmente para el consumo humano ayudando a minimizar los efectos de escasez.

Estas tecnologías están divididas principalmente en dos categorías por procesos térmicos y procesos por membranas. En los procesos térmicos, se encuentran la destilación flash multietapa, destilación múltiple efecto y la destilación de compresión por vapor. En cuanto a los procesos por membranas está la osmosis inversa y la electrodiálisis utilizada principalmente para aguas salobres.

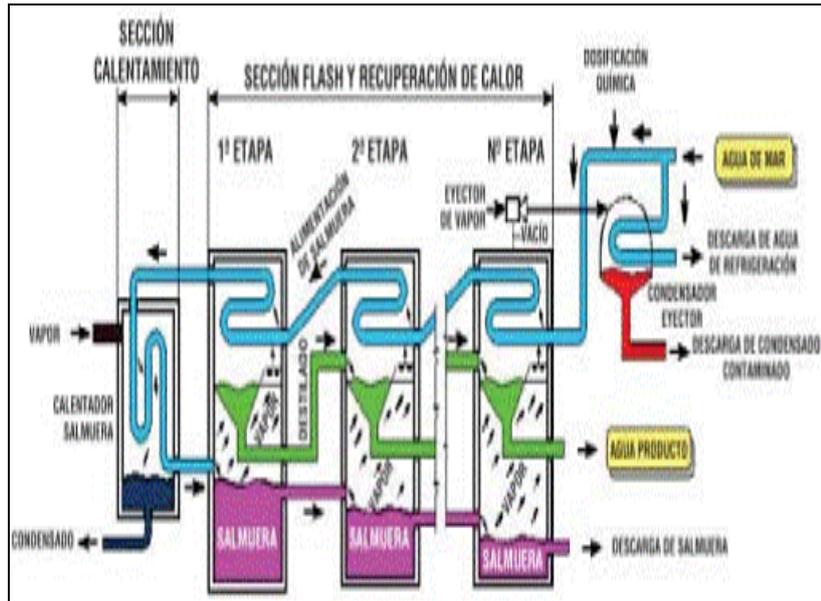


Figura 11. Proceso de Evaporación Súbita Múltiple Etapa (MSF) (Uche, et al, 2001)

Este proceso de desalinización súbita multi-etapa, se utiliza en la mayoría de los países del medio oriente por la calidad del agua alta en salinidad y contaminada. (Uche, et al, 2001)

Mar/Océano	Salinidad ppm (TDS)
Mar Báltico	28.000
Mar del Norte	34.000
Océano Pacífico	33.600
Océano Atlántico	35.000
Mar Mediterráneo	36.000
Mar Rojo	44.000
Golfo Pérsico	43.000-50.000
Mar Muerto	50.000-80.000
<b>Media Mundial</b>	<b>34.800</b>

Tabla 5. Salinidad media de los mares y océanos principales del planeta. Qdais A. (1999); Handburry, Hodgkiess y Morris (1993); Medina (2000) citado por (Uche, et al, 2001)

En Chile se han realizado esfuerzo en relación a la utilización de recursos hídricos en las operaciones mineras, de manera de generar alternativas de abastecimiento en la zona norte del país en donde se encuentra la mayoría de los grandes yacimientos de cobre y sus derivados.

Dos experiencias en Sudamérica en la utilización de aguas desalinizadas son la Minera Escondida en Chile y Minera Cerro Lindo en Perú.

Las empresas mineras que utilizan directamente aguas saladas en sus operaciones se tiene algunos casos como: Minera de Michilla, Lipesed, Las Luces, Mantos de Luna en Chile; BHP Nickel en Australia, Texada Mines en Canadá, Batu Hijau en Indonesia. Y algunos proyectos que están en fase de estudio y definición. (Philippe, 2010)

#### **1.6.7. Estudio de caso en Australia**

(Chen, et al 2010 *Cit.* Carver, 1991; Banai, 1993; Pereira and Duckstein, 1993; Jankowski and Richard, 1994; Jankowski, 1995; Tkach and Simonovic, 1997; Malczewski, 1999, 2004, 2006; Bojorquez-Tapia et al., 2001; Dai et al., 2001; Joerin et al., 2001; Makropoulos and Butler, 2005; Malczewski and Rinner, 2005; Boroushaki and Malczewski, 2008)

Indica que en la última década se han desarrollado aplicaciones de multicriterio a partir de datos del sistema de información geográfico citado por “La captación de Brook Macintyre”, está situada al sur de Queensland cerca de la frontera con Nueva Gales del Sur. Presenta una diversidad de suelos, con factores comunes como el clima, calidad de los

suelos, aguas subterráneas y riego. Este último factor sujeto a estudio mediante AHP basado en sistema de información geográfico aplicado a la agricultura de regadío de la zona. Los criterios utilizados fueron la pendiente geográfica, textura de suelo, profundidad del nivel freático, conductividad eléctrica del agua y conductividad hidráulica del suelo.

#### **1.6.8. Estudio de caso Estados Unidos**

(Young, et al, 2010) en la ciudad de Blacksburg, Virginia, Estados Unidos, se realizó un estudio mediante AHP orientado a establecer mejorías en la buenas prácticas de administración (*BMP*) de las aguas pluviales para establecer mejoras en la gestión. Las limitaciones que encontraron los investigadores fueron de carácter físico, tales como drenaje, tipo de suelo, topografía y factores geológicos y la otra limitación funcional como reducción de tasa máxima y eliminación de contaminantes.

#### **1.6.9. Estudio caso China**

En (Mei, et al, 1989) aplicó la técnica de AHP para establecer las políticas y gestión de los recursos hídricos en Beijing China. Los principales planteamientos del estudio apuntaron a responder las siguientes preguntas

- 1.- ¿Cuál es el requisito para resolver la crisis de escasez del agua?
- 2.- ¿Cómo serán evaluadas las políticas y cómo determinarán las prioridades?
- 3.- ¿Cuáles deberían ser los factores restrictivos a considerar?

Posteriormente, el problema fue planteado en cuatro niveles jerárquicos:

En el primer nivel el planteamiento del problema a resolver, el segundo nivel estaba compuesto por 8 estrategias, el tercer nivel por 8 criterios y el cuarto nivel por 24 estrategias.

Los mayores resultados por nivel resultados obtenidos: *estrategia*, garantizar el uso doméstico del agua; *criterio*, reutilizar las aguas para consumo humano *política* construir el embalse de Zhangfang.

Sin embargo, los estudios realizados apuntan que la población china experimentará un crecimiento entre un 25% a 30% durante este siglo, y el consumo de agua humano no debería expandirse más de doble que en la actualidad, lo que indica que el aumento de la demanda del agua será por el crecimiento económico que tendrá el país. (Jiaqi, 1999)

Para tal efecto, el código de aguas de ese país (1988) busca garantizar los siguientes puntos.

- 1- Planificación de los recursos hídricos, considerando aspectos tales como la repercusión en la economía nacional, el impacto a la sociedad, al ecosistema y al medioambiente, una vez aprobada la planificación pasa a una instancia legal la cual revisa los procedimientos y los va corroborando periódicamente.

- 2- Revisión de la utilización de los recursos hídricos utilizados, comprende lo siguiente
  - Planificación y gestión hidrológica
  - Evaluación de la relación cuantitativa entre recursos hídricos y el desarrollo de la macroeconomía, sociedad y determinación de la capacidad de los recursos hídricos en regiones sensibles.
- 3- En relación a la legislación debe incluir a los actores privado y públicos que están presentes en el desarrollo del país.
- 4- Investigaciones del recurso y sus aplicaciones que promuevan la sostenibilidad y la asignación óptima de estos.
- 5- Realizar de manera permanente proyectos de ingeniería que apunten a la preservación del recurso.
- 6- Establecimiento de los propósitos en la asignación y posterior utilización del agua y su impacto en el entorno.

### **1.7. Consideraciones finales al capítulo**

La técnica de AHP es útil en la solución de problemas que presentan complejidades por la cantidad de criterios, sub-criterios, decisores, factores y actores involucrados y/o afectados.

Su aplicación no tiene fronteras y atiende planteamientos de las más variadas situaciones y en todos los campos.

Este capítulo abordó la metodología y los alcances de la técnica, y además la aplicación de la misma a casos relacionados con los recursos hídricos en diferentes países en la mayoría de los continentes.

Se abordaron dos casos en Brasil, tres casos en India, dos casos en Irán, un caso en Corea del Sur, un caso en Bolivia, un caso en Jordania, un caso en Australia, un caso en Estados Unidos y un caso en China.

En Brasil, la técnica de multicriterio AHP se utilizó para resolver los problemas sociales y económicos en el valle de Jequitinhonha como consecuencia de la escasez de los recursos hídricos provocando un éxodo de estas personas a zonas urbanas. Otro caso de aplicación se realizó en la cuenca San Francisco para encontrar estrategias para manejar la gestión de los recursos hídricos en seis estados ribereños afectados.

En India, se buscó mediante sistema remoto, sistema de información geográfico más la aplicación de AHP estudiar el potencial de las aguas subterráneas, donde el resultado arrojó escasez de cuerpos subterráneos. Un estudio similar al anterior

para el estudio de capacidad de los acuíferos utilizando las mismas técnicas que en el caso anterior. La conclusión más relevante fue que AHP no solamente fue capaz de resolver la problemática sino que además generó diversos tipos de ahorros.

El último estudio referenciado de ese país en este capítulo fue en las sub cuencas del río Kanhan para encontrar la zona de recarga que evitará la contaminación de las aguas.

En Irán, fue utilizada como parte de la construcción de un índice de calidad de las aguas que posteriormente fue comparada con la norma internacional en la materia NS donde se encontró que no todos los parámetros cumplían con lo establecido internacionalmente en calidad de aguas.

En Corea del Sur, se estudió la rápida erosión de las cuencas como consecuencia entre otras de los vertidos de residuos provocando problemas en la productividad y eventualmente en la salud de las personas por consumo.

En caso del río Poopó en Bolivia se realizó el estudio para encontrar una mejor gestión del recurso, ante una evidente degradación y contaminación de los suelos afectando aun más la condición de pobreza en que viven los habitantes de esa zona.

En Jordania se resolvió la problemática de buscar alternativas de tecnologías no convencionales para la desalinización de las aguas. Los expertos recomendaron la tecnología de osmosis inversa, aun cuando la técnica más utilizada en el medio

orientes es la destilación flash multietapa, aunque tiene un costo superior a la elegida.

En Australia se aplicó en los sistemas de riego debido a la diversidad de suelo que se presenta.

En Estados Unidos la aplicación de la técnica AHP ayudo a establecer una mejor gestión de las aguas mediante las buenas prácticas agrícolas en donde se presentaban dos grandes limitaciones físicas y funcionales.

Por último en China la aplicación de AHP de tres niveles, se orientó al establecer políticas y la posterior gestión de los recursos hídricos.

Finalmente, el apoyo de AHP a casos asociados a recursos hídricos permitirá incorporar más variables en el problema con resultados más representativo y reales, según la zona en que se aplique.

#### **1.8. Referencias Consultadas**

[1] AABHA, P.; RATHI, B. y BAILE, A. *"Identifying potential sites for artificial groundwater recharge in sub-watershed of River Kanhan India Environ Earth, Sci.* 2011, vol. 62 pp.1099–1108.

[2] AKASHA, BA; AL-JAYYOUSI, O; y MOHSEN, EM., *"Análisis de criterios múltiples de las tecnologías no convencionales de energía para la desalación de agua en Jordania"*, Desalinización, 1997, vol.114, pp.1-12.

[3] AZNAR, J. y GUIJARRO, F.; “*Nuevos métodos de valoración modelos multicriterios.*”192 pp. Recurso disponible: [http://www.upv.es/miw/infoweb/vmultic/info/Nuevos\\_metodos\\_de\\_valoracion\\_Modelos\\_multicriterio.pdf](http://www.upv.es/miw/infoweb/vmultic/info/Nuevos_metodos_de_valoracion_Modelos_multicriterio.pdf)

[4] BARBA-ROMERO, S. y POMEROL, J.-C. "*Decisiones multicriterio. Fundamentos teóricos y utilización práctica.*" Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá de Henares, 1997. ISBN: 84-8138-180-2

[5] BELTON, V. y STEWART, T. J. "*Multiple criteria decision analysis: An integrated approach.*" 2ª edición London: Kluwer Academic Publishers, 2002. ISBN:0-7923-7505-X

[6] BOUYSSOU, D.; MARCHANT, T.; PIRLOT, M.; TSOUKIÀS, A. y VINCKE, P. "*Evaluation and decision models with multiple criteria. Stepping stones for the analyst.*" New York: Springer, 2006. ISBN:0-387-31098-3

[7] CALIZAYA, A.; MEIXER, O.; BENGTSSON, R. y BERNDTSSON, R. "*Multi-criteria Decision Analysis (MCDA) for Integrated Water Resources Management (IWRM) in the Lake Poopo Basin, Bolivia.*" Water Resource Manager. 2010, vol. 24, pp. 2267–2289.

[8] CENTRO DEL AGUA PARA ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CAZALAC). Asesorados por RHODOS Asesorías y proyectos Ltda. *“Informe de estudios y proyectos. Aplicación de metodologías para determinar la eficiencia del uso del agua.”* Estudio de caso Región de Coquimbo. 2006 Chile.

[9] CHEN, Y.; KHAN, S. y PAYDAR Z. *“to retire or expand? A fuzzy GIS- based spatial Multi-Criteria Evaluation Framework for irrigated agriculture Irrigation and drainage”*. 2009, vol. 59, pp. 174–188.

[10] CHOWDHURY, A.; JHA, M. y CHOWDARY, V.M. *“Delineation of groundwater recharge zones and identification of artificial recharge sites in West Medinipur district, West Bengal, using RS, GIS and MCDM techniques”*, Environmental Earth Science, 2010, vol. 59, pp.1209–1222.

[11] DIETRICH, A. *“Presenças e ausências do Vale do Jequitinhonha no jornal Estado de Minas.”* Revista Entre a carência social e a riqueza cultural. 2008, vol.4, 15 pp.

[12] FIGUEIRA, J.; GRECO, S. y EHRGOTT, M. *“Multiple criteria decision analysis. State of the art surveys”*. Boston: Springer Science + Business Media. Inc., 2005. ISBN: 0-387-23067-X.

[13] GARCÉS, J. "*Paradigmas del conocimiento y sistemas de gestión de los recursos hídricos: La gestión integrada de las cuencas hidrográficas.*" Revista REDESMA. 2011, vol.5, 13 pp.

[14] GARFÍ, M.; FERRER-MARTÍ, L.; BONOLI, A. y TONDELLI, S. "*Multi-criteria analysis for improving strategic environmental assessment of water programmes. A case study in semi-arid region of Brazil,*" Journal of Environmental Management, 2011, vol.92, pp. 665-675.

[15] GARUTI, C. y ESCUDEY, M. "*Toma de decisiones en escenarios complejos.*" Universidad de Santiago de Chile. 2005 ISBN: 956-303-003-6, 420 pp.

[15] HAJKOWICZ, S. "*A comparison of multiple criteria analysis and unaided approaches to environmental decision making.*" Environmental Science & Policy 2007, vol.10, pp.177-184.

[16] HENRÍQUEZ, C.; AZÓCAR, G. y AGUAYO, M. "*Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile.*" Revista de Geografía Norte Grande., 2006, vol.36, pp. 61-74.

[18] HWANG, C. y YOON, K. "*Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications.*" New York: Springer Verlag, 1981. ISBN: 0387105581

[19] INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS (INE) “*Población estimada por sexo 2000-2050*”; Chile; disponible en: [www.ine.cl](http://www.ine.cl) consultado enero 2012.

[20] JABER, J.O. y MOHSEN, M.S. “*Evaluation of non-conventional water resources supply in Jordan.*” *Desalination*. 2011, vol. 136, pp. 83-92.

[21] JIAQI, C. y JUN, X. “*Facing the challenge: barriers to sustainable water resources development in China*”, *Hydrological Sciences Journal*, 1999, vol. 44:4, pp. 507-516.

[22] KAMPRAGOU, E.; ELEFTHERIADOU, E. y MYLOPOULOS, Y. “*Implementing equitable water allocation in transboundary catchments: the case of river Nestos/Mesta.*” *Water Resource Management*, 2007, vol. 21, pp. 909–918.

[23] KARBASSI, A. R.; HOSSEINI, F.; BAGHVAND, A. y NAZARIHA, M. “*Development of Water Quality Index (WQI) for Gorganrood River*”. *Int. J. Environ. Res.* 2011, vol. 5, pp.1041-1046. ISSN: 1735-6865

[24] MACHIWAL, D.; MADAN, K. y BIMAL, C. “*Assessment of Groundwater Potential in a Semi-Arid Region of India Using Remote Sensing, GIS and MCDM Techniques*”. *Water Resource Manage.*, 2011, vol.25,pp. 1359–1386.

[25] MALMASI, S.; JOZI, S.A.; MONAVARI, S.M. y JAFARIAN, M.E. "*Ecological Impact Analysis on Mahshahr Petrochemical Industries Using Analytic Hierarchy Process Method.*" Int. J. Environ. Res., 2010, vol.4, pp.725-734, ISSN: 1735-6865.

[26] MEI, X. y ROSSO, R. "*Application of analytical hierarchy process to water resources policy and management in Beijing, China Closing the Gap Between Theory and Practice.*", (Proceedings of the Baltimore Symposium.1989.),IAHS., Publication n°.180.

[27] MORENO CASELLES, J.; MORAL HERRERO, R.; PÉREZ MURCIA, M. D. y PÉREZ ESPINOSA, A. "Fundamentos de Edafología y Climatología." Universidad Miguel Hernández España., 2000, 395 pp.

[28] NIETO, A. "*Contribución a la ponderación de criterios en problemas de toma de decisión en proyectos en ambientes difusos*" Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, 2001.

[29] ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OCDE) "*Member Countries*"., 2011, [www.oecd.org](http://www.oecd.org).

[30] ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OCDE), “*Guidelines and reference series .Applying strategic environmental assessment. Good practice guidance for development co-operation.*”, 2006, [www.oecd.org](http://www.oecd.org).

[31] PARK, S.; OHA, C.; JEON, S.; JUNG, H. y CHOI, C. “*Soil erosion risk in Korean watersheds, assessed using the revised universal soil loss equation.*” *Journal of Hydrology*, 2011, vol.399, pp. 263–273.

[32] PASTOR, J. “*Aplicación de las técnicas AHP y ANP, de análisis multicriterio de decisiones, a la selección y ponderación de criterios en las adjudicaciones de los contratos públicos de obra.*”, Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. 2007.

[33] PHILIPPE, R; “*Agua de mar para la Industria Minera*”, II Seminario Internacional de desalación. 2010, Antofagasta Chile.

[34] RAMANATHAN, R. A., “*note on the use of the analytic hierarchy process for environmental impact assessment.*”, *Journal of Environmental Management.*, 2001, vol. 63, pp. 27–35.

[35] RAMILO, L.; GÓMEZ, S. y COPPARI, N. “*Tecnologías de procesos para la desalinización de aguas*”, 2003, CNEA, año 3, n° 9/10, 27 pp.

[36] ROMERO, C. “*Teoría de la decisión multicriterio: Conceptos, técnicas y aplicaciones*”. 1993, ISBN: 84-206-8144-X., pp.130-134.

[37] TSOUKIÀS, A. "On the concept of decision aiding process". *DIMACS Technical report*. 2003, vol. 38

[38] SAATY, T. “*The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority, Setting and Resource Allocation*”, 1980, ISBN: 0-9620317-2-0.

[39] SAATY, T. “*Toma de decisiones para líderes. El proceso analítico jerárquico la toma de decisiones en un mundo complejo.*”, 1997, ISBN 0-888603-01-1, 423 pp.

[40] SRDJEVIC, B., “*Linking analytic hierarchy process and social choice methods to support group decision-making in water management*”. *Decision Support Systems*, 2007, vol.42, pp.2261–2273.

[41] UCHE, J.; SERRA, L.; VALERO, A. “*La desalación como alternativa al PHN. CIRCE Centro de Investigación y Consumos Energéticos*”, Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza, 2001.

[42] YOUNG, K.D.; YOUNOS, T.; DYMOND, R.L.; KIBLER, D.F. y LEE D.H. “*Application of the Analytic Hierarchy Process for Selecting and Modeling Storm water Best Management Practices*” Universities Council on Water Resources Journal of Contemporary Water Research & Education. 2010, Issue 146, pp.50-63.



## **Capítulo II**

### **Situación de los recursos hídricos en Chile**

#### **2.0. Propósito del capítulo**

Este capítulo tiene como propósito, establecer un marco de referencia en el cual se hará mención a cada una de las variables consideradas para el manejo de los recursos hídricos, su importancia e influencia a la toma de decisiones que finalmente repercutirán sobre el desarrollo productivo del país, y específicamente en la cuarta región que es donde será desarrollado el trabajo.

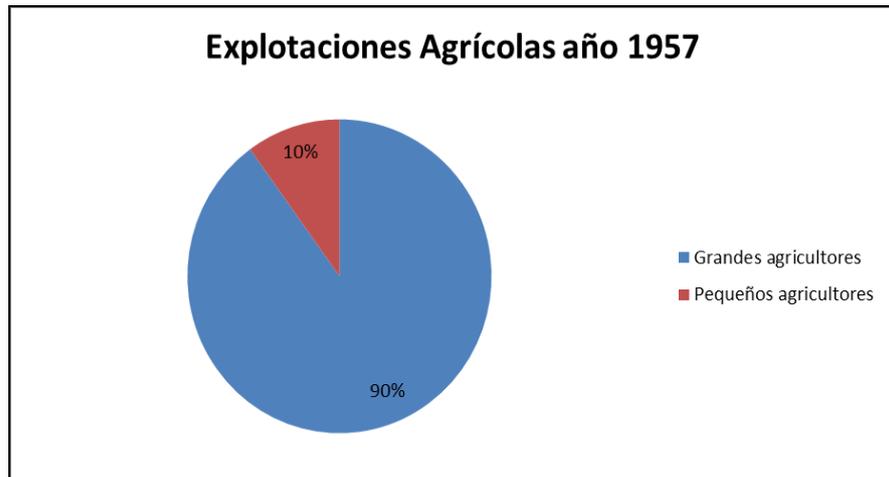
#### **2.1. Introducción**

El Código de Aguas de 1967 se destinó a otorgar poderes a los propietarios de tierras para que pudieran recibir agua e intentó redistribuir el agua como un componente de la estrategia de los gobiernos de reformar la política agraria (Mentor, 2001). El Código de Aguas de 1967 fortaleció el control gubernamental sobre el agua y permitió la redistribución de los grandes estados y la expropiación de tierras y derechos sobre el agua que se iban a reasignar, sin conceder ninguna indemnización a los anteriores titulares. La tierra expropiada antes de 1974 se dividió en pequeñas explotaciones agrícolas y se concedieron derechos sobre la tierra y el agua a los ocupantes actuales,

incluidos unos 48.000 pequeños agricultores. (Hearne, 2010) En parte debido a estas reformas, en parte por una situación económica en proceso de deterioro, en 1973 se produjo el golpe militar que depuso a Allende. El nuevo gobierno militar del general Augusto Pinochet comenzó a adoptar políticas económicas de libre mercado y, en 1980, se aprobó una nueva constitución. (Mentor, 2001). No hubo que esperar mucho para la llegada del Código de Aguas de 1981.

## 2.2. Desarrollo

A finales de los años 50' en Chile existía una gran concentración en la tenencia de las tierras y las aguas para explotarlas. El gran desequilibrio trajo consigo grandes presiones de movimientos sociales y un alto éxodo de la población rural a la urbana.



**Gráfico 3. Distribución de tierras año 1957 en Chile (Estudio legislativo FAO, 2006)**

De las casi 151.000 explotaciones agrícolas en no más del 4% de éstas a cargo de los grandes agricultores producían el 80%.

“.. hubo deterioro económico de la situación campesina, entre los años 1940 y 1952 los salarios reales en el campo disminuyeron alrededor de un 20%..” (Hernández, 2006; *Cit. Chonchol. Reforma Agraria en Chile, 1965*).

La primera reforma agraria se produjo en 1962, con la finalidad de redistribuir las explotaciones agrícolas en Chile. Por otra parte el sistema latifundista se extendió entre los siglos XVII hasta mediados del siglo XX.

Posterior a la reforma agraria de 1962, se realizó una segunda reforma la de 1967, que trajo consigo la creación de la Dirección General de Aguas (DGA).

Cuya función fue aplicar normas sobre el recurso, de la implementación de la política de aguas y del mantenimiento y desarrollo de los recursos hidráulicos del país. También se fundó la Empresa Nacional de Riego, a la que correspondía -de forma exclusiva-la planificación, estudio, proyecto, construcción y explotación de las obras de riego y drenaje de terrenos agrícolas, ejecutadas con fondos públicos (Artículos 262 y 277, ley nº 16.640, de 1967, sobre reforma agraria)

### **2.2.1. Código de aguas en Chile**

En la Constitución Política de 1980 se reforzó la garantía y protección de la propiedad privada y se aludió expresamente a los derechos de aprovechamiento que se otorgara a los

particulares sobre las aguas de propiedad pública. (Constitución Política de la República.1981).

En el año 1981, comienza operar un nuevo código de aguas que entre sus principales características se encuentran la siguiente.

- Separación del concepto Agua-Tierra, es decir, en adelante no existe la relación entre el agua y la tierra. Por tanto, se facultó para que puedan operar como negocio desde el punto jurídico independiente uno de otro.
- Asignación gratuita y sin asignación de necesidad, la autoridad debía conceder su uso, solamente bastaba con cumplir con las formalidades.
- Inexistencia de la obligación de uso efectivo y beneficioso, no sería necesario utilizarla y además aquello no constituiría una causal de caducidad del derecho.
- Libre disponibilidad y adquisición, quien adquiría los derechos tenía absoluta libertad para utilizarla según lo que estimará, de esta manera se intentaba promover el mejor uso en términos de mercado, es decir, apuntando siempre a la mejor rentabilidad.
- Solamente es necesario dar cumplimiento a la inscripción de la propiedad.

Otras características importantes son, el reconocimiento de los derechos preexistentes de acuerdo a la legislación anterior; la administración debe ser considerada en relación a las aguas superficiales y subterráneas que operan en la hoya hidrográfica

y por último, que el estado casi no interviene en la gestión del ejercicio efectivo de los derechos de aprovechamiento de aguas. Corresponde a las propias organizaciones de usuarios todo lo relativo a tomar las aguas, repartirlas entre los titulares de derechos y construir, explotar, conservar y mejorar las obras de captación, acueductos y otras necesarias para el aprovechamiento del recurso.

A partir de la reforma que se inició en 1992 y que no se hizo efectiva hasta sino el año 2005 Se estableció el pago de patentes anuales a beneficio fiscal por no uso del recurso, para cuando los titulares de más de 10 o 50 litros por segundo o más de 100 o 500, según la región del país y de si se trata de aguas que serán totalmente consumidas o serán devueltas al caudal después de su uso (En la terminología legal: derechos consuntivos y derechos no consuntivos. Artículos 13 y 14 del Código de Aguas). El gravamen aumenta con el transcurso de los años de inutilización. Se presume que sí lo usa quien ha construido las obras necesarias para aprovechar el recurso, y existen varias excepciones que eximen de la aplicación de la patente como, por ejemplo, los derechos de aprovechamientos usados, administrados y distribuidos por una organización de usuarios en un área en que no hay entorpecimientos a la libre competencia. (Artículos 129 bis 4, 129 bis 5 y 129 bis 9 del Código de Aguas, reformado por la ley nº 20.017 de junio de 2005). Los cambios legales también buscan impulsar el registro nacional de derechos de agua existentes. El avance del Catastro Público de Aguas es relativamente escaso, a pesar de

los años transcurridos. Se estableció varios requerimientos a los usuarios y sus organizaciones, así como a los notarios y al Registro de Aguas (El Registro de Aguas está a cargo del Conservadores de Bienes Raíces, también responsable del de la propiedad raíz), de forma de asegurar que ciertos trámites no se puedan realizar sin actualización del catastro (Artículos 112 y siguientes del Código de Aguas, reformado por la ley nº 20.017 de junio de 2005.). Asimismo, se buscó mejorar la reglamentación sobre organizaciones de usuarios de aguas. Se dotó de personalidad jurídica a las Comunidades de Aguas y se contempla la existencia de éstas entre quienes extraen aguas subterráneas desde un mismo acuífero. Además, se estableció expresamente que las Juntas de Vigilancia de los ríos sí tienen atribuciones importantes respecto de las aguas subterráneas y se simplifica su trámite de constitución (Artículos 186 y siguientes del Código de Aguas, reformado por la ley nº 20.017 de junio de 2005). Otro fin de la reforma fue el de mejorar las posibilidades de protección del medio ambiente asociado a los recursos hídricos. El sistema de asignación de derechos para el aprovechamiento del agua ha estado desligado del de protección ambiental, careciendo la autoridad de aguas de atribuciones significativas al respecto. A partir de la reforma, la autoridad tiene más facultades para la protección de las aguas y de los cauces. Así, puede ordenar detener ciertas obras o impedir que se extraiga aguas de ciertos cauces por quienes no tienen derechos legalmente constituidos. Incluso está facultada para reservar caudales ecológicos en los ríos, de

hasta un 20% del caudal medio anual, que puede llegar a 40% en casos especiales. (Artículos 129 bis 1, 147 inciso final, 299 c) y d) del Código de Aguas, reformado por la ley nº 20.017 de junio de 2005.). La nueva legislación persigue, además, dotar de mayores atribuciones a la autoridad para una mejor gestión del recurso. Además de las mencionadas, se dotó a la autoridad de aplicación de otras facultades, de las que carecía, como las destinadas a permitir extracciones excepcionales por emergencias en épocas de sequía. (Durante la reforma agraria la autoridad sí tenía este tipo de facultades. Artículo 101, ley 16.640, de 1967, sobre reforma agraria) y las que permitirán acelerar la regularización de las captaciones subterráneas de agua para consumo humano y de agua para riego que cumplan determinados requisitos y sean de un caudal inferior a 2 o 4 litros por segundo, según la zona de que se trate. (Artículos 314 del Código de Aguas, reformado por la ley nº 20.017 de junio de 2005. Artículo 4º transitorio de la ley nº 20.017 de junio de 2005).

### **2.2.2. Diagnóstico de los recursos hídrico en Chile**

En un estudio sobre principios y ejemplos para la asignación de los escasos recursos hídricos entre sectores de la economía (Lemoigne, et al 1997) se propuso 1) Una estrategia nacional que siga un desarrollo económico, 2) realizar una descripción detallada de los principios económicos en la asignación del recurso hídrico, 3) estimaciones de precios y costos marginales y una adecuada planificación social. Además se plantean

experiencias de países como Brasil, Chile, Francia, Jordania, Marruecos en este tema.

Sin embargo, (Wolf, 1999) indica que en la actualidad es importante trabajar el aspecto de gestión de los recursos hídricos en todos los países. No obstante, indica que no hay criterios aceptados internacionalmente para la asignación de recursos hídricos compartidos o de sus beneficios, lo que podría dificultar una gestión óptima en esta materia a nivel internacional.

Los recursos hídricos en América Latina y El Caribe aún pueden ser considerados a un nivel de satisfactorios, aun cuando su manejo sea limitado o insuficiente.

Al ritmo actual de crecimiento se espera que en 2020 el 40% del suministro de agua provenga de aguas subterráneas ya que constituyen alrededor del 97% del agua dulce en el mundo. No obstante, un uso indiscriminado y poco regulado terminará por contaminar este tipo de suministro.

En los continentes de África y Asia la situación es más compleja 31 países se encuentran en una situación próxima a la escasez. (Hinrichsen, et al, 2000), los autores consideran el parámetro de 1000-1700 (m<sup>3</sup>/ hab.) en el nivel de consumo de agua dulce.

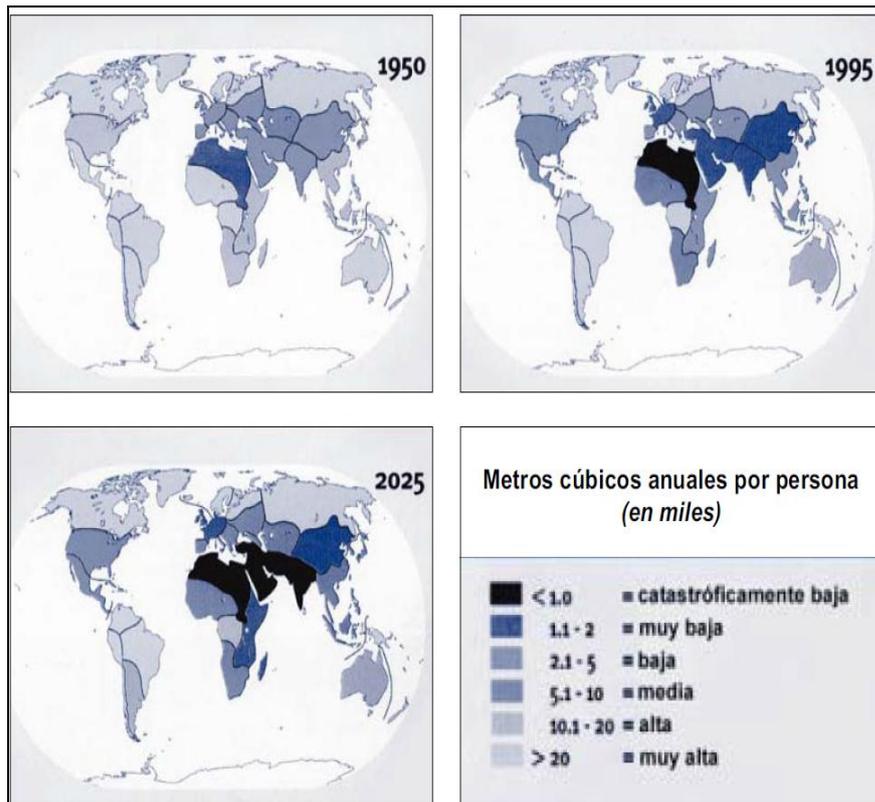
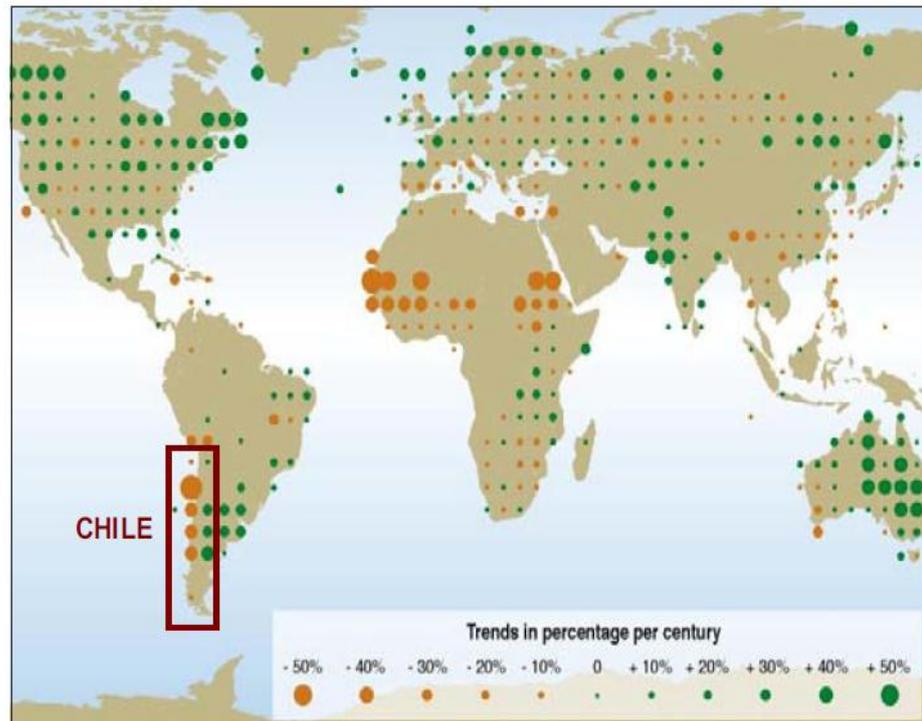


Figura 12. Mapa mundial de variación de disponibilidad de agua por habitante (Bórquez, et al ,2006; Cít. UNESCO 1999,)

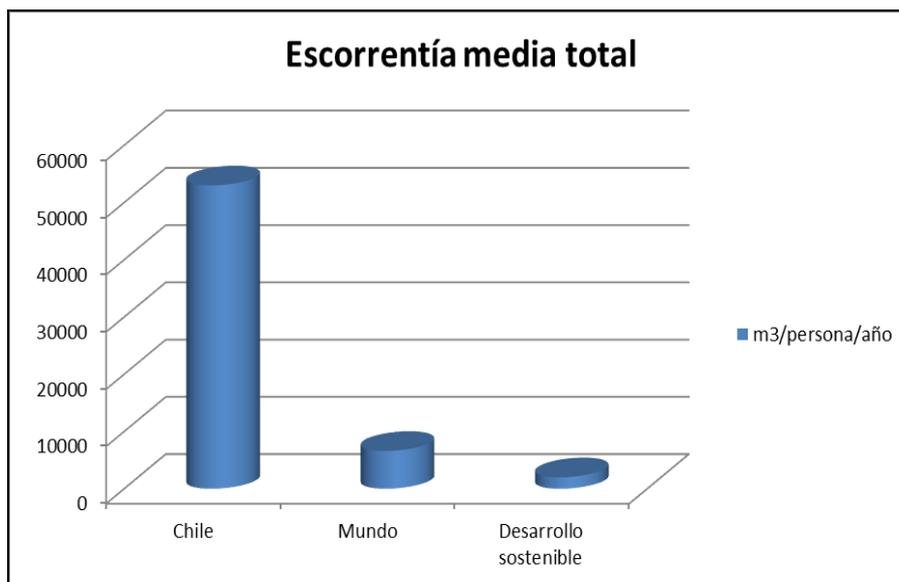
El siguiente esquema muestra el comportamiento de las precipitaciones a nivel mundial.

El comportamiento pluviométrico en Chile fue en descenso entre los períodos (1900-1999) situación que no ha variado a la fecha. Situación similar sucede en África y en China. Sin embargo, a nivel continental África presenta patrones climáticos sorprendentes antes y después de la línea del Ecuador, es decir, entre una disminución de las precipitaciones sobre el Ecuador, y un aumento bajo esta (Donkor, et al, 1999)



**Figura 13. Variación anual de precipitación (1900-1999).**(Donoso, 2003;  
*Cit. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2001).*

De igual manera en Chile el volumen de agua procedente de las precipitaciones que escurren por los cauce superficiales y subterráneos presenta una media de 53.000 metros cúbicos/persona/año (Word Bank, 2010).

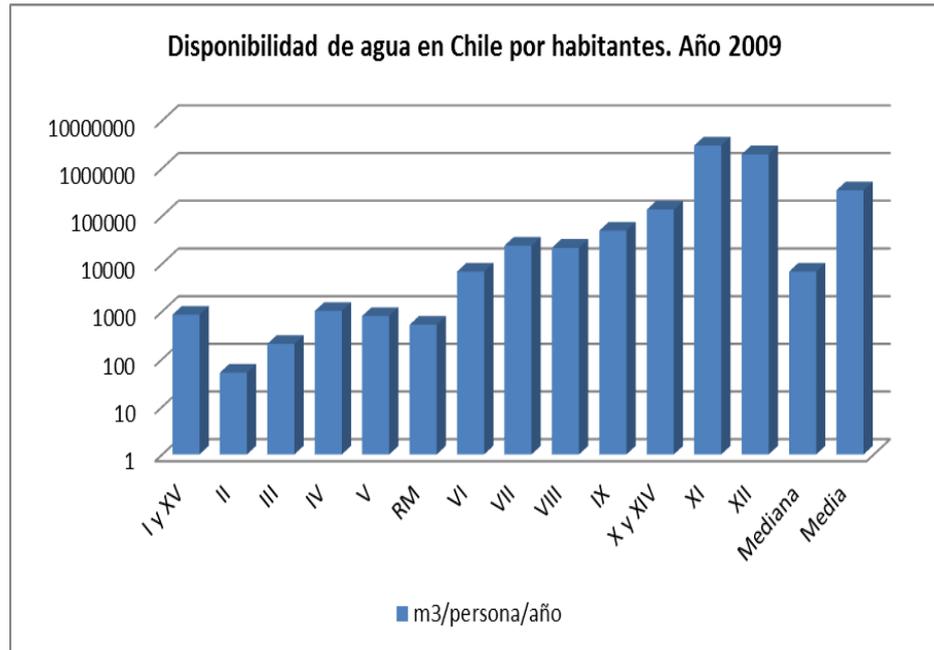


**Gráfico 4. Gráfica de Escorrentía media total (Elaboración propia. World Bank, 2010)**

La disponibilidad de recurso hídrico en Chile supera en casi 27 veces el volumen mínimo requerido para ser considerado internacionalmente con un nivel de desarrollo sostenible.

Sin embargo, al interior del país considerando las condiciones geográficas, climáticas y otras se aprecian realidades distintas, es decir, la alta variabilidad de la escorrentía entre las zonas norte y centro - sur del país produce dos escenarios diametralmente opuesto sequías e inundaciones respectivamente.

De las quince regiones consideradas en el estudio, solo 7 cumplen con la condición mínima para ser considerado su nivel de escorrentía como mínimo para un desarrollo sustentable.



**Gráfico 5. Disponibilidad de agua en Chile por habitante. (Banco Mundial a partir de DGA, 1987,1999; e INE, 1992 ,2003 y 2009) Escala Logarítmica.**

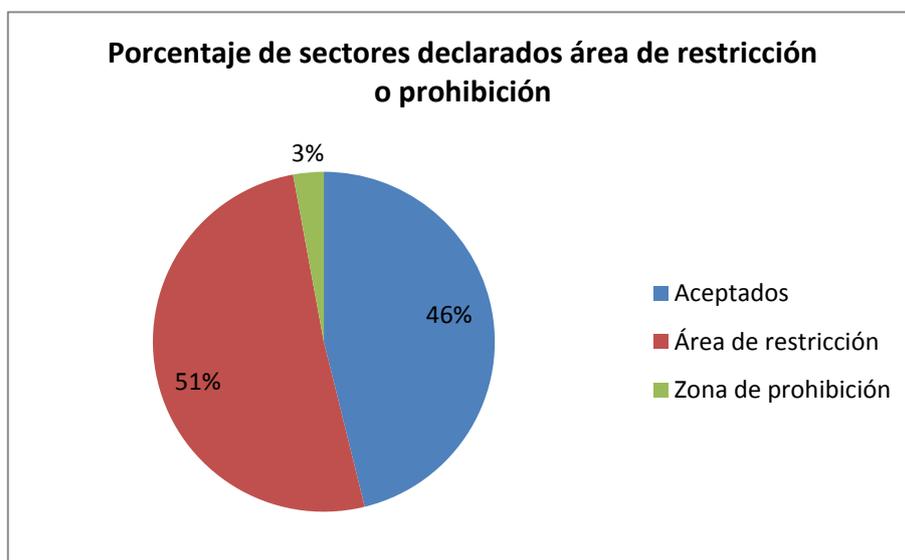
A partir de los registros que se tiene desde el año 1911 hasta el año 2009, los embalses construidos por el estado han alcanzado cerca de 4.460 Mm<sup>3</sup> destinados para el riego y 9.900 Mm<sup>3</sup> destinados para el almacenamiento para la hidroelectricidad, lográndose solo una captación de aguas bajo el concepto de esorrentía de 0,016%. (Banco Mundial 2011; *Cit. CDEC-SIC, 2005*).

Se estima que en Chile se tiene un importante volumen de recursos subterráneos (Ayala, 2010) y que la recarga media estimada alcanza a 55 m<sup>3</sup>/s desde la RM al norte (Salazar, 2003) y hacia al sur de 160 m<sup>3</sup>/s entre las regiones VII y X.

Hasta los años 90, la explotación de las aguas subterráneas eran poco significativa, pero es a partir de ahí cuando ante la ausencia de ejercer derechos a aguas superficiales en donde comienza a tomar fuerza la demanda por los derechos de la primera.

En el año 2003, la utilización efectiva de aguas subterráneas alcanzaba a 88 m<sup>3</sup>/s, donde el 49% se utilizaba en agricultura, 35% para abastecimiento poblacional y 16% para industria.

Entre la región de Arica y Parinacota y la sexta región se han definido 69 acuíferos genéricos, abarcados en 259 sectores hidrogeológicos.



**Gráfico 6. Porcentaje de sectores de acuíferos inspeccionados por DGA. (DGA, 2010)**

El 54% de los sectores hidrogeológicos en donde estaban ubicados los acuíferos fueron considerados por la DGA como áreas de restricción y zona de prohibición, con la finalidad de

proteger tanto al acuífero como a los derechos de los terceros constituidos con anterioridad a la cuenca.

En la siguiente tabla queda reflejado el desglose del número de sectores declarados área de restricción o prohibición entre las regiones XV y VI. El número de sectores declarados área de restricción y zona de prohibición entre las XV y VI regiones de Chile, en la siguiente tabla.

Región	Área de restricción	Zona de prohibición	Total
I Tarapacá	3	-	3
II Antofagasta	3	-	3
III Atacama	9	4	13
IV Coquimbo	24	-	24
RM	24	-	24
V Valparaíso	25	1	26
V Valparaíso +RM	1	-	1
VI Lib.Gral.Bdo.O'Higgins	17	-	17
XV Arica y Parinacota	-	1	1
<b>Total</b>	<b>106</b>	<b>6</b>	<b>112</b>

Tabla 6. Departamento de Estudio y Planificación (DGA 2010)

### 2.2.3. Uso de agua en Chile

En Chile de acuerdo al código de aguas, éstas son de uso público. Por tanto se les otorga a los particulares el derecho para su uso y goce en conformidad a la ley.

En particular lo anterior implica que un dueño de derechos de aprovechamiento está facultado para transferirlos, arrendarlos o venderlos a terceros.

Con lo que se pretende mediante este mercado de agua lograr un uso eficiente del recurso.

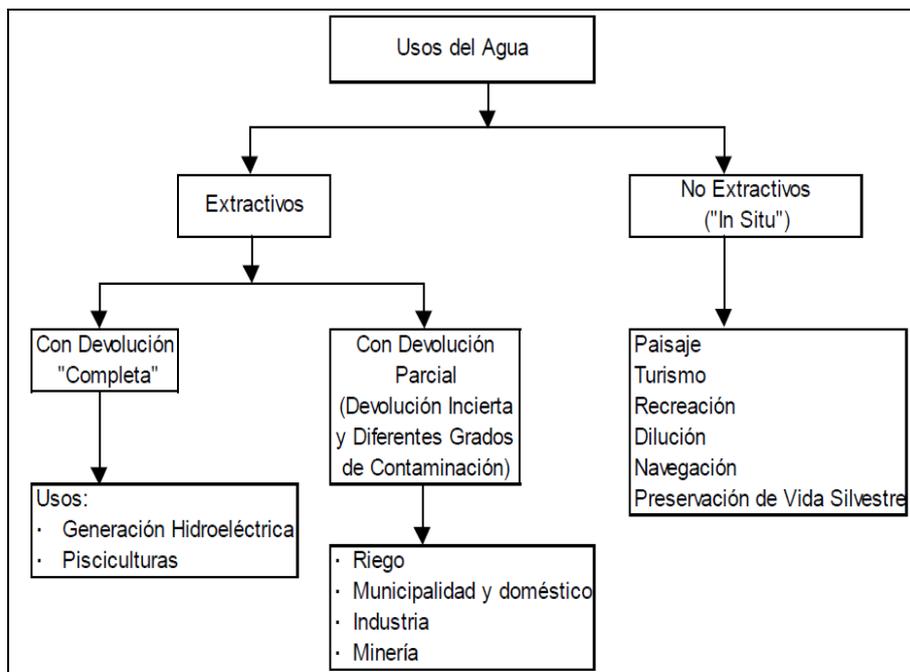
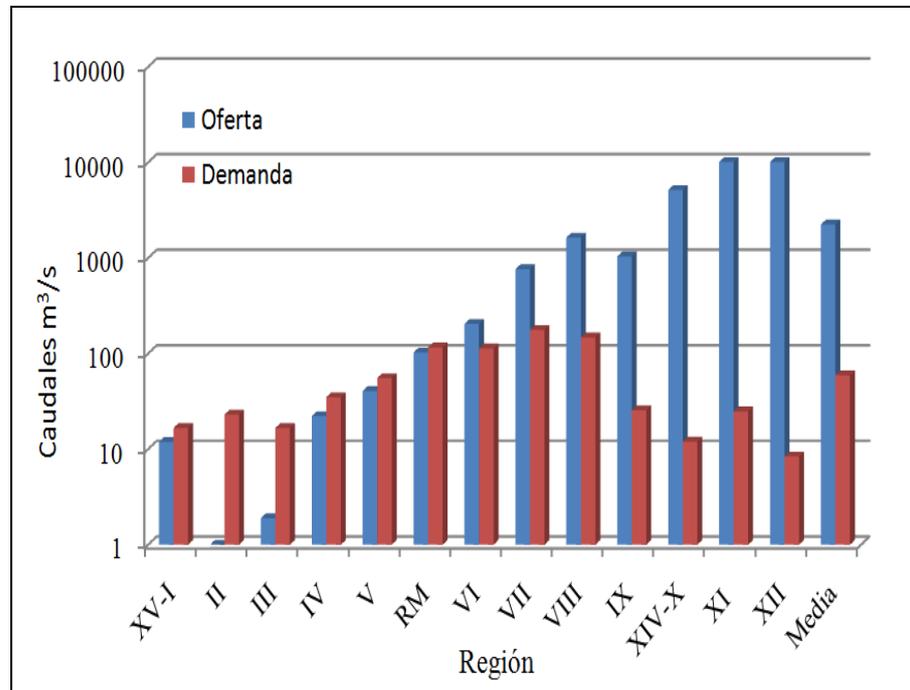


Figura 14. Tipos de usos de agua en Chile (Brown, 2009; Cit. DGA, 2003)

Según datos aportados por la UNESCO 2003 (Brown, 2009; Cit. UNESCO, 2003) la distribución en la utilización del recurso, se distribuye en 77,8% en riego; 9,1% en industria; 7,2% en minería y el restante en uso doméstico.

El crecimiento económico y social que ha experimentado el país durante las últimas décadas lleva a poner los énfasis sobre la capacidad de respuesta ante la demanda de recursos hídricos, importante para el crecimiento de los sectores productivos país (Ayala, 2010)

Desde la RM al norte del país el nivel de disponibilidad difiere al nivel de extracción. Por tanto, es una de la problemática que se deberá intentar resolver de manera de lograr utilizar el recurso de manera eficiente y que a su vez contribuya a optimizar los procesos y los costos involucrados en éstos toda vez que el recurso hídrico en la mayoría de los casos forma parte de fundamental del proceso.



**Gráfico 7. Recursos disponibles y extracciones para usos consuntivos (Banco Mundial 2011; Cit. DGA, 2011)**

La cuarta región presenta una demanda superior a la capacidad de oferta. Y en general, el promedio de oferta es prácticamente el doble de la capacidad de la demanda. No obstante, desde RM al norte está condición opera a la inversa, condición que dificulta los procesos productivos.

El uso del agua en el país alcanza 4.710 m<sup>3</sup>/s, de los cuales el 89% corresponde a los usos no consuntivos y 11% a usos consuntivos (Ayala, 2010).

El riego representa un 73% de las extracciones a nivel del país, donde 1,1 Mm<sup>3</sup>/s se utilizan entre las regiones IV y X (INE, 2007), y los usos mineros e industriales alcanzan 9 y 12% respectivamente.

#### **2.2.4. Calidad del agua**

Los sistemas hidrográficos chilenos se caracterizan por el reducido tamaño de las cuencas y el corto recorrido y fuerte pendientes de los ríos.

Para comprender las características de las cuencas hidrográficas de Chile, es necesario nombrar los componentes o elementos que deben estar presentes en una cuenca.

En (Parra, 2009) los componentes básicos de una cuenca, con presencia humana son:

- Componentes o elementos naturales
- Componentes o elementos antrópicos

Los elementos naturales presentes son: agua, suelo, vegetación y clima.

En cuanto a los elementos antrópicos, estos se dividen en dos sub-componentes. El primero de estos es el socio-económico, compuesto a su vez por infraestructura, tecnología y nivel de calidad de vida y el segundo de los sub-componentes es Jurídico –Institucional compuesto por las normas que regulan el uso de los recursos, políticas de desarrollo e instituciones involucradas (Parra, 2009).

Las características de las cuencas hidrográficas chilenas contribuyen a reducir la contaminación favoreciendo los procesos de auto purificación de los cauces.

Sin embargo, desde la RM al norte, la escasa disponibilidad de las aguas y la alta magnitud relativa de las extracciones, determina que la capacidad de dilución de contaminantes sea baja y que se tenga una mayor vulnerabilidad frente a los procesos de contaminación (Peña y Salazar, 1993). También son particularmente vulnerables a la contaminación, los lagos costeros que se comportan como sumideros de los contaminante que llegan desde aguas arriba (Contreras, 2010) Los acuíferos que en Chile son principalmente libres o semi-confinados, con baja presencia de finos y poco profundos en las partes medias y bajas de las cuencas (Salazar, 2003).

En (Orrego, 2002; *Cit.* Peña y Salazar, MOP/DGA, S.D.T. N°2,1993 “Calidad de las Aguas”)

Algunos investigadores indican que: *“En el Norte Grande frecuentemente los ríos muestran un notable deterioro de la calidad de sus aguas a lo largo de su recorrido, fenómeno que tiene causas naturales y antropogénicas. Entre las causas naturales se tiene la disolución de sales contenidas en formaciones geológicas que son interceptadas por el cauce, el aporte de aguas de inferior calidad y la existencia en los cursos medios e inferiores de áreas con niveles freáticos próximos a la superficie, lo que produce una concentración de las sales por evaporación desde el suelo húmedo. También desempeñan un papel significativo en el fenómeno las labores agrícolas, debido a la evaporación que ellas implican y a los procesos de lixiviación de las sales contenidas en los suelos”.*

La zona norte del país regiones I y II se han sido las más afectadas, en particular el sector minero, por el resguardo del balance hídrico con respecto las demandas hídricas, los caudales ecológicos mínimos necesarios y la protección de los humedales. (Atenas, et al ,2003)

Mismo autor (Orrego, 2002 *Cit.* Peña y Salazar, MOP/DGA, S.D.T. N°2,1993 “Calidad de las Aguas”,) El cuerpo receptor *“puede actuar de múltiples formas sobre la carga contaminante, entre ellas se puede señalar que produce un retardo en el impacto, diluye la concentración y transforma el contaminante a través de procesos físicos, químicos y biológicos”*

*“tales como la auto-purificación, atenuación, y bioacumulación, entre otros.”* (“Estado de las Aguas Continentales y Marinas de

Chile”, Nora Cabrera, en “Perfil Ambiental de Chile”, CONAMA, 1994).

No se caracterizan adecuadamente los ríos, lagos, estuarios y zonas costeras por la insuficiencia de estaciones en la red de monitoreo. Por tanto, resulta imposible conocer la calidad de las aguas. En la actualidad la red de monitoreo cuenta con una cantidad de parámetros limitados y además homogéneos no considerando los matices de la geografía chilena, dificultando la gestión de los recursos hídricos. (Contreras, 2010)

*Sector agricultura.* La contaminación química por los fertilizantes y pesticidas es preocupante, especialmente en los acuíferos. La reutilización de efluentes de aguas servidas para riego, puede transmitir, aun después del tratamiento secundario, y dependiendo de la capacidad de purificación de los suelos, una serie de organismos patógenos con riesgos para la salud pública y los ecosistemas. Esto es particularmente relevante dado que la persistencia de alguno de ellos puede llegar hasta un año. La práctica bastante frecuente del riego con aguas servidas tratadas en forma inadecuada en función de las características de los suelos subyacentes, en las zonas periurbanas puede generar la incorporación de nutrientes a las aguas subterráneas y/o superficiales.

Guía chilena para agua de riego	Número de ríos cuya concentración excede la guía
As ( $\mu\text{g/l}$ ) (100)	7
Cu ( $\mu\text{g/l}$ ) (200)	4
Cr ( $\mu\text{g/l}$ ) (100)	1
Hg ( $\mu\text{g/l}$ ) (1)	11/11
Cd ( $\mu\text{g/l}$ ) (10)	8/8
Mo ( $\mu\text{g/l}$ ) (10)	12
Sulfatos (mg/l) (250)	4

**Tabla 7. Ríos con concentraciones promedio por encima de las normas chilenas para riego (Pizarro, 2010)**

*Sector minería.* Los ríos en el Norte de Chile tienen en general una elevada concentración de metales pesados provenientes de polución natural y minera. Un estudio reciente (Pizarro, 2010) aborda la variación de concentración de metales pesados y sulfatos (subproducto de la minería) en 12 ríos del norte de Chile (Endorreica, Copiapó, Huasco, Los Choros, Elqui, Limarí, Choapa, Petorca, Ligua, Aconcagua, Maipo y Rapel). Este estudio muestra una elevada concentración de metales pesados y sulfatos, excediendo en muchos casos las guías chilenas de agua para irrigación para la contaminación media en los 12 ríos:

#### **2.2.5. Cambios climáticos**

El financiamiento que se necesita para mitigar los impactos adversos provocados por el cambio climático a nivel mundial será un 5% de lo que será necesario para el año 2030. El

impacto más significativo será sobre la calidad de los recursos hídricos (Informe Banco Mundial, 2010).

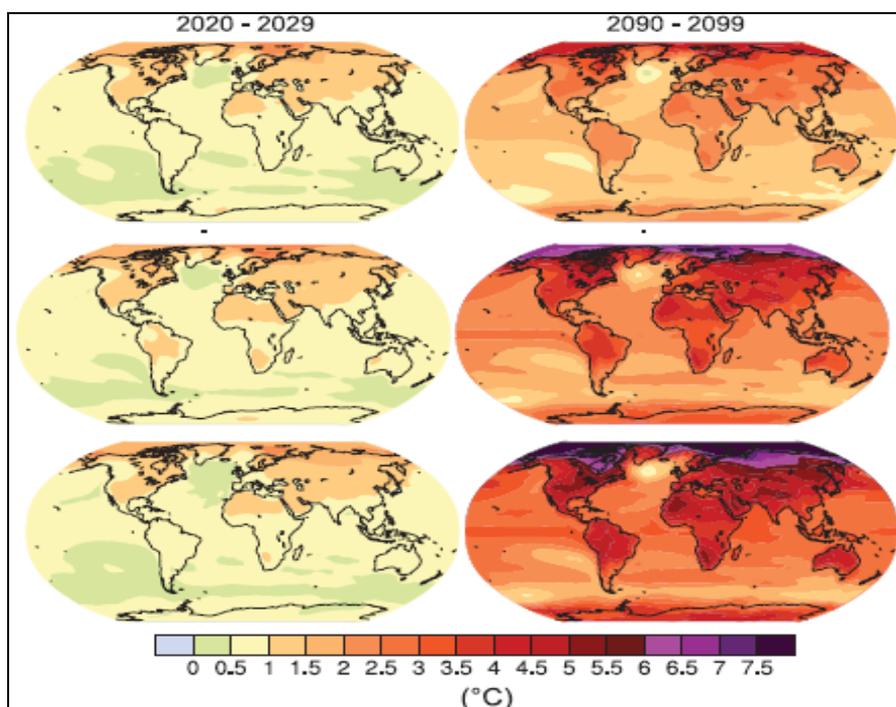
Al respecto el informe del Banco Mundial (Informe del Banco Mundial, 2010; *Cit.* De la Torre, Fajnzylber y Nash 2008; Fay, Block, y Ebinger 2010; Banco Mundial 2007; Banco Mundial 2007; Banco Mundial 2008; Banco Mundial 2009) muestra un análisis global de los alcances que tendrá un inminente cambio climático de seguir con las prácticas actuales en el sistema de los países del mundo.

En África al sur del Sahara, el cambio climático afectará la alta fragilidad natural, además. La biomasa representa el 80%. La agricultura de secano representa el 23% de PIB y da empleo al 70% de la población; Asia Oriental y el Pacífico, tiene una alta densidad poblacional y es dependiente de la agricultura y los recursos marinos; Europa Oriental y Asia Central históricamente han tenido mala calidad en la infraestructura y en la calidad de las viviendas, y una gestión ambiental deficiente. Asia Sudoriental afectaría recursos hídricos debido en el monzón aportan un 70%, subida del nivel del mar por derretimiento de los glaciares del Himalaya. En el Oriente Medio y Norte de África se estima una reducción de la disponibilidad per cápita hacia el 2050 afectando a la agricultura que aporta el 85% de los empleos y aumento en las tensiones políticas y sociales.

Por último, la proyección de América Latina y El Caribe se proyecta que desaparecerán los glaciares de los Andes en la

zona tropical generando estrés hídrico y por consiguiente problemas en la fuente de energía hidroeléctrica.

Otros estudios realizados consideran nueve zonas vulnerables a los cambios climáticos. El monzón de verano en India, el Sahara y el monzón del oeste de África, los deshielos en el verano ártico, la selva amazónica, los bosques boreales, la corrientes del niño, la capa de hielo de Groenlandia y la capa de hielo de Antártica Occidental (UNEP, 2009)

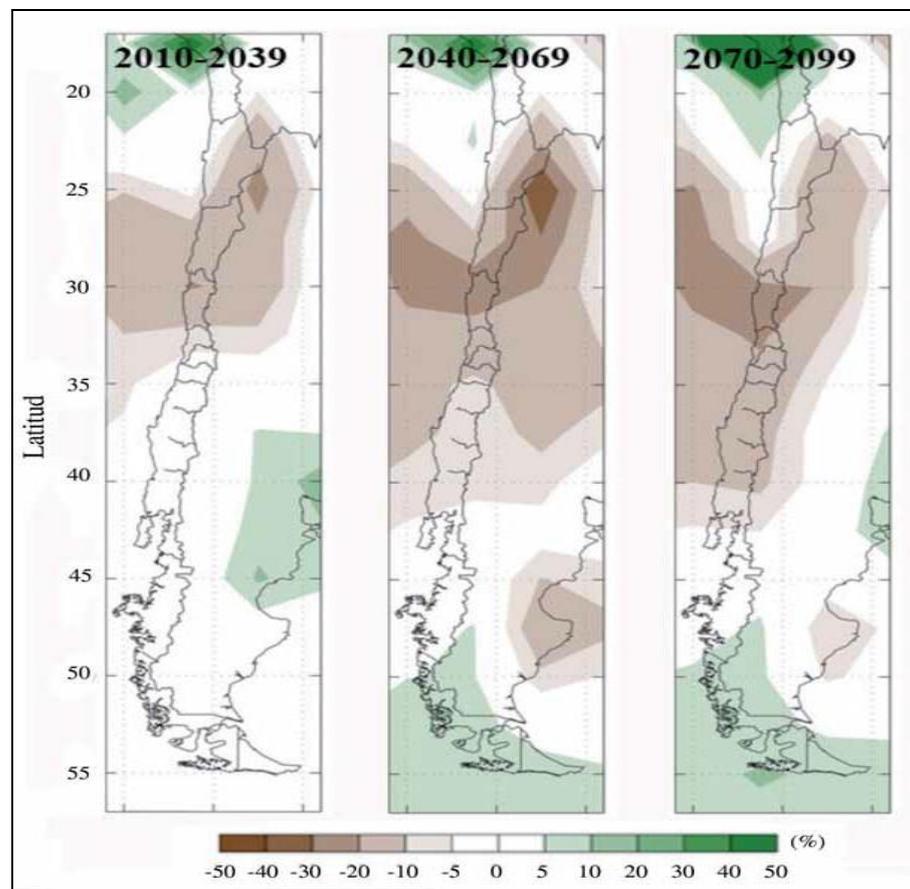


**Figura 15. Cambio de temperatura por regiones para dos períodos de tiempo y tres escenarios Gases de Efecto Invernadero (GEI) (CEPAL, 2009)**

La figura anterior muestra las repercusiones que podría traer el cambio climático por efecto de excesiva demanda energética a

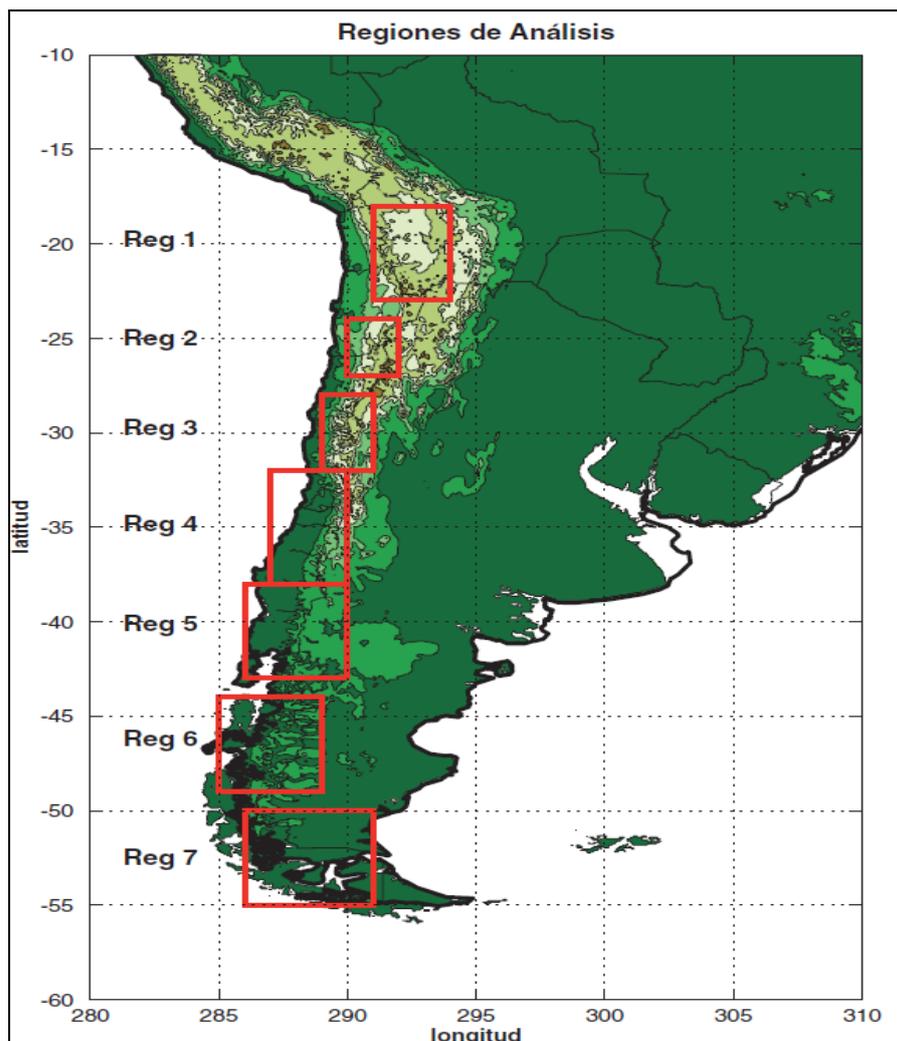
nivel mundial y el uso de combustibles fósiles entre otros factores.

El informe de la CEPAL (CEPAL, 2009) sobre el cambio climático en Chile, consideró tres tipos de proyecciones climáticas, entre los períodos 2010-2040; 2040-2070 y 2070-2100. Y dos escenarios de gases de efecto invernadero A<sub>2</sub> y B<sub>2</sub>, el primero considera un alto nivel de GEI, mientras que el segundo un nivel moderado. El estudio se realizó evaluando las variables temperaturas y precipitaciones.



**Figura 16. Proyecciones de precipitación para el escenario  $B_2$  (Cambios porcentuales sobre la base histórica) (CEPAL, 2009)**

Las regiones pertenecientes al norte chico (Atacama y Coquimbo) principalmente la región de Coquimbo, donde está centrado el estudio de esta tesis tendrá un descenso en el nivel de las precipitaciones entre 10% - 20% períodos 2010-2040, y los dos períodos siguientes el descenso será de 30% - 40%.



**Figura 17. Resumen de proyecciones de precipitación por región del país (CEPAL, 2009)**

Finalmente, mismo estudio presenta un consolidado de la proyección en el país.

Región	Robustez de la señal		
	Temprano	Intermedio	Tardío
Reg 1: Altiplano (18-23S)	No existe una señal clara en cambio de precipitación		
	Disminución: 0/-10%		Aumento: +5/+10%
Reg 2: Norte Grande (23-27S)	No existe una señal clara en cambio de precipitación		
	Disminución: -5/-10%		
Reg 3: Norte Chico (28-32S)	Leve señal de disminución de precipitaciones		
	Disminución: -5%	Disminución: -10/-20%	
Reg 4: Chile Central (32-38S)	Señal robusta de disminución de precipitaciones		
	Disminución: -5/-10%	Disminución: -10/-20%	Disminución: -20/-30%
Reg 5: Zona Sur (38-42S)	Señal robusta de disminución de precipitaciones		
	Disminución: -5/-10%	Disminución: -10/-20%	Disminución: -20/-30%
Reg 6: Patagonia (44-49S)	No existe una señal clara en cambio de precipitación		
	Neutro: -5/5%		
Reg 7: Magallanes (50-55S)	Señal robusta de disminución de precipitaciones		
	Neutro: -5/5%	Aumento: +5/+10%	

**Tabla 8. Presentación de resultados bajo incertidumbre y proyección de acuerdo al modelo HadCM3. (CEPAL, 2009)**

La proyección indica que la región de Coquimbo tendrá déficit del 5% entre los períodos 2010-2040, y en los años sucesivos hasta el 2100 horizonte de la proyección de un 10% a 20%.

Por otra parte, estudios realizados por la Dirección General de Aguas en 2009 acerca de la disponibilidad hídrica por región, considerando tres escenarios: pasado, presente y futuro.

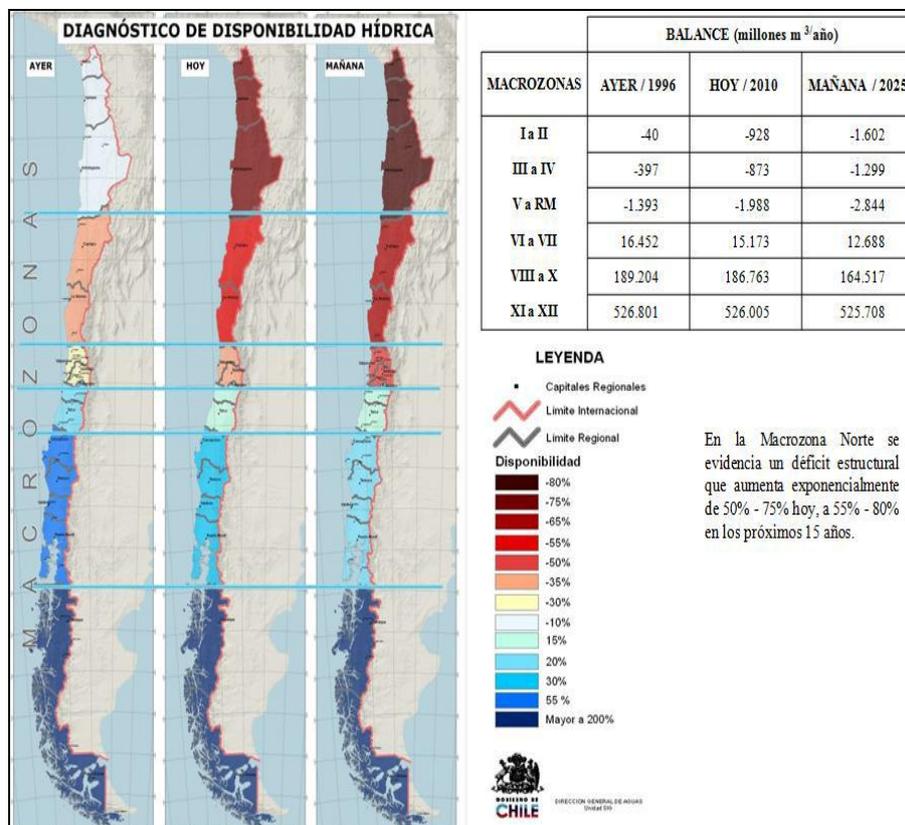


Figura 18. Balances hídricos estimados para Chile años 1996, 2010 y 2025. (DGA 2010)

Las precipitaciones medias anual ha ido disminuyendo en los últimos 70 años (Banco mundial, 2011; *Cit.* Santibañez, 2010) los que varían en un 20% en el caso de La Serena a un 15% en Concepción, además de aumentos en las temperaturas diarias generando déficit hídrico y disminución de la capacidad de retención natural de los glaciares.

Economics of Climate Change in Latin America and the Caribbean, (ECLAC, 2010) concluye que el impacto económico será del orden de US\$ 22 a US\$ 320 billones (dependiendo de la tasa de descuento utilizada)

En Chile el calentamiento global como consecuencia de los cambios climáticos experimentado ha tenido una repercusión contenida debido a océano que se extiende por todo el territorio y la corriente de Humboldt (BCN, 2007).

Sin embargo, el estudio realizado por el Centro de Estudio Científicos (CECS) de la Universidad de Austral de Valdivia indica que los glaciares retroceden hasta 30 metros por año, el nivel del mar aumenta 0,3 cms. al año.

En (Verbist, et.al, 2000), propusieron un estudio mediante técnicas downscaling estadística para explicar la variabilidad climática en zonas áridas y la disponibilidad de los recursos hídricos en la Cuarta región de Chile considerando los fenómenos de las corrientes del Niño y la Niña. El Niño Southern Oscillation (ENSO), en combinación de modelos predictivos de Modelos de Clima Global (GCM's), cuyos resultados preliminares arrojaron que mediante la inclusión de ENSO, las predicciones se podrían aproximar de buena manera entre los 6 a 12 meses antes, previendo los caudales y las sequías.

### **2.3. Consideraciones finales al capítulo**

El Código de Aguas que entró en vigor en 1981. En línea con la aún vigente Constitución de 1980, fomentaba fuertes derechos de agua privados, limitada regulación del Estado y fuerte poder judicial. Bajo el Código de Aguas, el Estado era responsable de asignar los derechos de agua de forma gratuita y permanente, y sin ningún límite en la cantidad demanda, a todos los individuos privados que los seleccionasen. También permitía la libre transferencia de DAA. Al dar seguridad legal a los derechos de agua y un mecanismo de reasignación, el Código de Aguas tuvo éxito en fomentar las inversiones relacionadas con el agua y con la mejora de su eficiencia de uso, pero también creó ciertos problemas. Las reformas al Código de Aguas aprobadas en 2005 buscaban tratar algunos de estos problemas, incluyendo la necesidad de reconciliar los incentivos económicos y la competencia con la protección de interés público; equilibrar la función del Estado en gestionar un recurso complejo, crucial para el desarrollo, con el fomento de la iniciativa privada y la transparencia en la gestión; y evitar la concentración de DAA. Aunque aún no se ha llevado a cabo un análisis completo del impacto de la reforma de 2005 (y puede que aún o sea posible), hay indicios de que sí fue capaz de solucionar ciertos problemas mientras que otros aún requieren atención. En 2010, se introdujeron reformas ambiciosas en el área de la gestión medioambiental, incluyendo una racionalización en las competencias para la gestión de la

calidad del agua en el país, y una mejora en la integración del marco regulatorio.

En el sector minero será necesario realizar nuevos estudios y evaluaciones de la contaminación generada por los desechos en las empresas mineras activas como en las abandonadas. Para tal efecto será necesario priorizar algunos criterios como seguridad ambiental y la sustentabilidad ecológica, minimizando los efectos adversos en los ecosistemas y sobre todo en aquellos en donde la escasez de agua sea la principal amenaza.

En el sector agrícola es necesario realizar un mayor control en el uso de los fertilizantes y pesticidas que por efecto de escurrimiento y lixiviación terminan deteriorando en suelo y los acuíferos. Por otra parte, un mayor impulso hacia nuevas y mejores técnicas de riego donde las consecuencias directas para los productores disminuyendo los costos de producción y por otra parte optimizando el recurso para disponer de este en otras actividades como consumo humano, actividades humanas y mejor auto regulación de los ecosistemas.

Evitar aumentar los gases de efectos invernadero ayudaría a preservar los recursos no solamente en la región y el país sino a nivel mundial, debido que el primer efecto en concreto será la economía de los países y acarreando problemas políticos y sociales, provocado por la escasez de alimentos.

## 2.4. Referencias consultadas

[1] ATENAS, M.; JOFRÉ, J.C. y FIGUEROA A. *“Taller-Nacional “Chile hacia un Plan Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. Agua y Medioambiente”*, DGA-CONAMA, 2003 Chile, 30pp.

[2] AYALA; CABRERA y ASOCIADOS LTDA., INGENIEROS CONSULTORES. *“Estimaciones de la demanda de agua y proyecciones futuras. Zona I regiones I a IV”*. Informe final (S.I.T. N°122). Dirección General de Aguas, 2007 Chile.

[3] AYALA, L. *“Aspectos técnicos de la Gestión Integrada de las Aguas (GIRH) Primera etapa de diagnóstico”*. Informe preparado para el diagnóstico de la Gestión de los Recursos Hídricos. 2010 Chile.

[4] BANCO MUNDIAL., *“Panorama general un nuevo clima para el desarrollo”* Informe sobre el desarrollo mundial, desarrollo y cambio climático. 2010. 60 pp.

[5] BANCO MUNDIAL *“Diagnóstico de la gestión de recursos hídricos en Chile”*. Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Región para Latino América y El Caribe, 2011. 92 pp.

[6] BELKHIRI, L.; BOUDOUKHA, A. y MOUNI; L., “A multivariate statistical Analysis of Groundwater Chemistry Data”. Int. J. Environ. Res., 2011, vol.5, pp.537-544, ISSN: 1735-6865.

[7] BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL DE CHILE-BCN “Cambio climático: Sus efectos en Chile y las acciones para combatirlo” 2007.

[8] BÓRQUEZ, R.; LARRAÍN, S.; POLANCO, R. y URQUIDI, J. “*Glaciares Chilenos: Reservas estratégicas de agua dulce para la sociedad, los ecosistemas y la economía*”, 2006, ISBN: 956-310-501-X.

[9] BROWN E., “Taller Nacional- Chile, hacia un plan de gestión integrada de los recursos hídricos: Uso eficiente de los recursos hídricos”, CEPAL Naciones Unidas en Santiago, 2003, 22 pp.

[10] CEPAL NACIONES UNIDAS, “La economía del cambio climático en Chile”, 2009, 68 pp.

[11] CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LA REPÚBLICA. Artículo 19 n° 24. Las aguas son bienes nacionales de uso público, de acuerdo al artículo 5 del Código de Aguas y al 595 del Código Civil, modificado por la ley n° 16.640, de 1967, sobre reforma agraria.

[12] COMISIÓN CHILENA DEL COBRE (COCHILCO), *“Inversión en la minería Chilena del cobre y del oro. Proyección del período 2010-2015”*, 2010 Chile. (Actualizada al cierre de mayo 2010 de /05/2010).

[13] COMISIÓN CHILENA DEL COBRE (COCHILCO), *“Gestión del recurso hídrico y a minería en Chile: proyección consumo de agua en la minería del cobre 2009-2020.”*, 2009 Chile.

[14] COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA (CNE). *“Capacidad instalada por sistema eléctrico nacional.”*, 2009 Chile.

[15] CONTRERAS, M. *“Calidad de aguas y contaminación: etapa diagnóstico. Informe preparado para el diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos.”* 2010 Chile.

[16] CHILE. Artículos 262 y 277, ley nº 16.640, de 1967, sobre reforma agraria. En agosto de 1967 se expidió el decreto nº 620, sobre facultades de la Dirección General de Aguas y de la Empresa Nacional de Riego. En enero de 1968 se estableció el Decreto con Fuerza de Ley nº 11, sobre adecuaciones del Código de Aguas.

[17] CHILE. Artículos 129 bis 4, 129 bis 5 y 129 bis 9, 112,186, 129 bis 1, 147 inciso final, 299 c) y d) y 314, y, siguientes del

Código de Aguas, reformado por la ley nº 20.017 de junio de 2005.

[18] DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA). *“Balance hídrico de Chile.”* DGA. 1987 Chile.

[19] DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA). *“Diagnóstico situación actual de las organizaciones de usuarios de aguas a nivel nacional”*. Informe Final, realizado por R.E.G. Ingenieros Consultores. Ministerio de Obras Públicas, 1999 Chile.

[20] DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA). *“Categorización de Estudios de Aguas Subterráneas en Sectores Acuíferos restringidos, ubicados entre las Regiones de Arica y Pertinacita y del Libertador General Bernardo O’Higgins.”* Informe DARH N° 265/ DGA., 2010 Chile.

[21] DONOSO, C. *“Componentes científicos clave para una política nacional sobre usos, servicios y conservación de los bosques nativos Chilenos”*, 2003, ISBN: 956-299-005-2.

[22] DONOSO, G. H.,. *“Water Markets: Case Study of Chile’s 1981 Code.”*, Pontificia Universidad Católica de Chile., Global Water Partnership South America, 2003 Chile.

[23] DONKOR S.M.K. y WOLDE Y.E. *“Integrated Water Management in Africa: Issues and options.”*, United Nations Economic Commission for Africa. 1999, 20 pp.

[24] ECONOMIC COMMISSION FOR LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN (ECLAC). *“Economics of Climate Change in Latin America and the Caribbean”*., Summary 2010. Naciones Unidas. CEPAL, 2010, Chile.

[25] HEARNE, R. Y DONOSO, G. “Water institutional reforms in Chile.” *Water Policy.*, 2010, vol.7, pp. 53-65.

[26] HERNÁNDEZ, R. *“Reforma Agraria y Evolución del Marco Jurídico en Chile.”* Estudio Legislativo de la FAO. 2006, 22 pp.

[27] HINRICHSEN, ROBEY Y UPADHYAY, 1998; Global Water Partnership-GWP, 2000

[28] INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS (INE). 2007. *Censo Agrícola*. Santiago, Chile.

[29] LE MOIGNE, G.; DINAR, A. Y GILTNER, S. *“Agriculture and natural resources department World Bank Washington, USA Principles and examples for the allocation of scarce water resource among economic sectors”* .Options Méditerranéennes, n°31, 1997 Séminaires Méditerranéennes

[30] MENTOR, J. JR. *“Trading Rading Water, Trading Water, Trading Places: Water Marketing in Chile and the Western United States”* 2001, 7 pp.

[31] ORGANIZACIÓN DE LA NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO) *“La FAO en Chile: 60 años de colaboración 1945-2005”*, 2006, 238 pp.

[32] ORREGO, J.P., *“El estado de las aguas terrestres en Chile. Cursos y aguas subterráneas. Democracia, ecología y políticas públicas”*.2002 Chile.69 pp.

[33] PARRA, O. *“Gestión integrada de cuencas. Control de Ciencias Ambientales, EULA-Chile”*. Universidad de Concepción. 2009. Chile, 15pp.

[34] PEÑA, H. *“20 años del Código de Aguas. Visión desde la administración”*. Dirección General de Aguas (DGA). 2001 Chile.

[35] PEÑA, H. y SALAZAR, C. *“Calidad de aguas”*. Serie de documentos técnicos. SIT no2. Dirección General de Aguas (DGA). 1993 Chile.

[36] SALAZAR, C. *“Situación de los recursos hídricos en Chile. Con el apoyo de la Fundación Nippon. Centro del Tercer*

*Mundo para el Manejo del Agua, A. C., México*". (DGA) 2003 Chile.

[37] UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. (UNEP), "Climate change.", Science Compendium. 2009. 72 pp.

[38] VERBIST, K. "*Pronósticos climáticos en la Región de Coquimbo usando técnicas de downscaling estadística*", 2000. CAZALAC Chile.

[39] WOLF, A., Criteria for equitable allocations: "*The heart of international water conflict*". Natural Resources Forum .1999, vol. 23, 30 pp.

[40] WORLD BANK. "Water Resources Management"., A World Bank Policy Paper. The World Bank, Washington D.C., 1993

[41] WORLD BANK. "*World Development Indicators 2010.*", The World Bank, Washington D.C. 2010



## **Capítulo III**

### **Organismos que intervienen en la toma de decisiones de uso de aguas.**

#### **3.0. Propósito del capítulo**

Este capítulo dará a conocer la totalidad de los organismos públicos y privados que están relacionados con los recursos hídricos, y sus distintas incidencias para la toma de decisiones.

Además contribuirá a sentar las bases de algunos de los organismos que serán considerados en el capítulo VI en donde se propone la metodología y desarrollo del problema de toma de decisiones mediante la técnica de multicriterio AHP, con el objetivo de encontrar la mejor fuente de abastecimiento de agua para los procesos propios que se desarrollan en la cuarta región de Chile.

#### **3.1. Introducción**

Los campos de hielo sur, hacen de Chile uno de los países con las mayores reservas de recursos hídricos.

Sin embargo, la heterogeneidad de condiciones físicas y climáticas muestra zonas con abundancia de recursos principalmente la zona sur y otra con escasa disponibilidad zona norte.

Chile ha sido uno de los países pioneros en la implementación de un régimen de libre mercado en el manejo de los recursos hídricos, reconociendo –simultánea y contradictoriamente-su carácter de bien público y bien económico. Sobre esta base, el agua ha pasado a ser considerada un recurso transable, regido por las normas de la propiedad privada y las premisas del comercio libre. Sin embargo, se trata de un mercado muy sui generis, donde el Estado concede los derechos de agua al sector privado gratuitamente y a perpetuidad, por lo cual no se ha generado un mercado de transacción de los mismos, sino una concentración de derechos en pocos actores y un uso ineficiente de los recursos.

### **3.2. Derechos de aprovechamiento**

En el capítulo anterior se realizó una revisión bibliográfica acerca del uso de los recursos hídricos, la calidad de estos y los problemas de escasez que se presentan en la actualidad y la eventual extensión como consecuencia del cambio climático. Quedo demostrado que Chile no es inmune a esta problema. Por tanto, es necesario que los organismos públicos así como el sector privado converjan en criterios, políticas, perspectivas económicas entre otras variable y/o factores promoviendo un efectivo control, fiscalización de calidad y cantidad suministrada y su utilización por parte de los actores involucrados minimizando los efectos negativos que pueden traer consecuencias insospechadas para los habitantes, el medio

ambiente y los procesos productivos que nutren sus operaciones con este vital elemento.

Al respecto (Donoso, 2006), indica algunas de las condiciones necesarias para entender el mercado de aprovechamiento de las aguas como eficiente:

- Escasez del recurso, debido a la heterogeneidad de este entre las distintas zonas geográficas que se presentan en Chile.
- Los derechos de aprovechamientos de las aguas, deben estar claramente declarados de manera de evitar interpretaciones erróneas
- Libre transacciones de los derechos.
- Regulaciones que apunten a las externalidades y prejuicios contra terceros.
- Inventario del recurso hídrico

En (Tisdell y Ward 2001) resaltan que desde una perspectiva institucional, la eficiencia de la política de asignación del recurso basado en un mercado dependerá de la estructura, conducta desarrollo de los mercados de agua.

En los estudios realizados por Garrido (1998-2000), indica que el mercado de las aguas es más atractivo en términos económicos ya sea para los vendedores o compradores en donde el valor marginal del recurso para el usuario sea más acentuado.

(Bjorlund, 2003), indica que los agricultores deben conocer la información, primero que esta esté disponible y segundo que

sea precisa, ya que es clave para una operación normal del mercado en lo referente a los derechos de aprovechamiento de aguas.

Otros estudios al respecto, se pueden resumir en un cuadro comparativo de los autores (Brennan y Scoccimarro 1999) y (Bjornlund y McKay 2002).

<b>Brennan y Scoccimarro</b>	<b>Bjornlund y McKay</b> <i>(países desarrollados)</i>
Derechos de agua poco claros e inseguros	Métodos de comunicación efectivos y estatutos de operaciones de mercados.
Fuente de agua variable o poco fiable	Remover los obstáculos para liberar los cauces
Impedimento de infraestructura	Se debiesen aclarar temas del caudal total de uso, de derechos de agua en desuso, además de contemplar las necesidades del cauce y medioambientales
Exceso de transacciones y costos de transferencias	Regulación del no uso de aguas
Evitar las especulaciones futuras	Se debe establecer el balance entre las fuerzas del mercado privado y las regulaciones gubernamentales para proteger los intereses de las terceras partes, incluyendo las

	preocupaciones ambientales.
Factores sociales y culturales limitantes.	Los derechos de agua deben ser específicos y claros, además de que deben estar registrados formalmente.
	Es importante que los procedimientos y condiciones de intercambio se hagan de manera explícita, y que estén diseñadas para realizar transferencias de manera rápida y a bajos costos.
	Identificar los valores sociales y culturales asociados al uso del agua e integrarlo dentro del mercado de aguas. Se pueden dar casos en que la sociedad, además de considerar al Recurso hídrico como un insumo productivo, le otorgue un valor adicional que amerite considerarlo dentro de la normativa o regulación del mercado.

**Tabla 9. Alcances de investigaciones realizadas en base a los Derechos de Aprovechamiento de Aguas (ODEPA, 2010)**

### 3.3. Políticas Internacionales para Derechos de Aprovechamiento de Aguas

Solo por nombrar algunos casos emblemáticos en la utilización de los derechos de aprovechamiento de aguas, se presentan casos extraídos de la revisión bibliográfica de realidades internacionales, respecto a este tema.

País	Variables que motivaron cambios institucionales	Cambios observados
Australia	Primeros cambios motivados por factores exógenos, mientras que los últimos cambios responden a los factores endógenos, como escasez, sequía y salinidad	Reformas multifacéticas
Marruecos	En un inicio los cambios eran gatillados por factores religiosos; luego de conflictos demográficos y socioeconómicos; para, finalmente ser producto de las sequías	Políticas de fomento a los mercados; infraestructura de riego y subsidios
Namibia	Desafío hídrico considerado importante desde el inicio	Problemáticas difíciles de sostener en un país con poco desarrollo como Namibia
Sudáfrica	Cambios políticos, sociales y económicas que nacen luego de grandes sequías, altos índices de pobreza, además de bajos niveles de salubridad y equidad	Políticas intentan reglamentar el uso del agua, establecer asociaciones de regantes y actualizar esquemas de riego de pequeños agricultores.

		Las reformas han incentivado la creación de mercados de derechos de agua
Sri Lanka	Motivadas por la necesidad de privatizar el bien, además de contar concón una visión de conservación de aguas y protección ambiental	Las reformas más importantes en temas de aguas, se alinean con definir las especificaciones de uso de agua privada y pública

**Tabla 10. Resumen de la Evolución de la políticas de aguas de distintos países que ya han establecidos Mercados de Aguas (Banco Mundial *Cit.* Donoso, 2010) a partir de la investigación sobre Mckay, 2005; Rachid, 2005; Heyns, 2005; Backerberg, 2005; Samad, 2005.**

### **3.4. Organismos públicos involucrados en los recursos hídricos**

En lo específico Chile cuenta con organismos que forman parte de la cautelar los recursos hídricos, a continuación se mencionan cada uno de estos considerando el nivel de incidencia de cada uno y su alcance en la situación de los recursos Hídricos.

(Garcés,2005) indica que los organismos públicos relacionados con el recurso hídrico son los siguientes:

<b>Organismo Público</b>	<b>Área de competencia</b>
Dirección General de Aguas	Derechos de agua. Regulación
Dirección de Obras Hidráulicas	Obras de riego y aguas lluvia
Superintendencia de Servicios Sanitarios	Agua potable y vertidos. Fiscalización
Ministerio de Salud	Calidad de agua diferentes usos. Fiscalización
Comisión Nacional de Energía	Sector eléctrico. Regulación
Comisión Nacional de Riego	Obras de riego; Regulación y desarrollo
Servicio Agrícola y Ganadero	Calidad. Fiscalización
Comisión Nacional Forestal	Deforestación, cuencas
Servicio Nacional de Geología y Minas	Calidad, vertidos. Fiscalización
Comisión Nacional de Medio Ambiente	Normas de calidad. Protección
Servicio Nacional de Pesca	Calidad. Fiscalización
Dirección del Territorio Marítimo	Calidad. Protección
Instituto Nacional de Desarrollo Agropecuario	Subsidios, apoyo sectores pobres
Municipios Ribereños	Vertidos de basura, Fiscalización

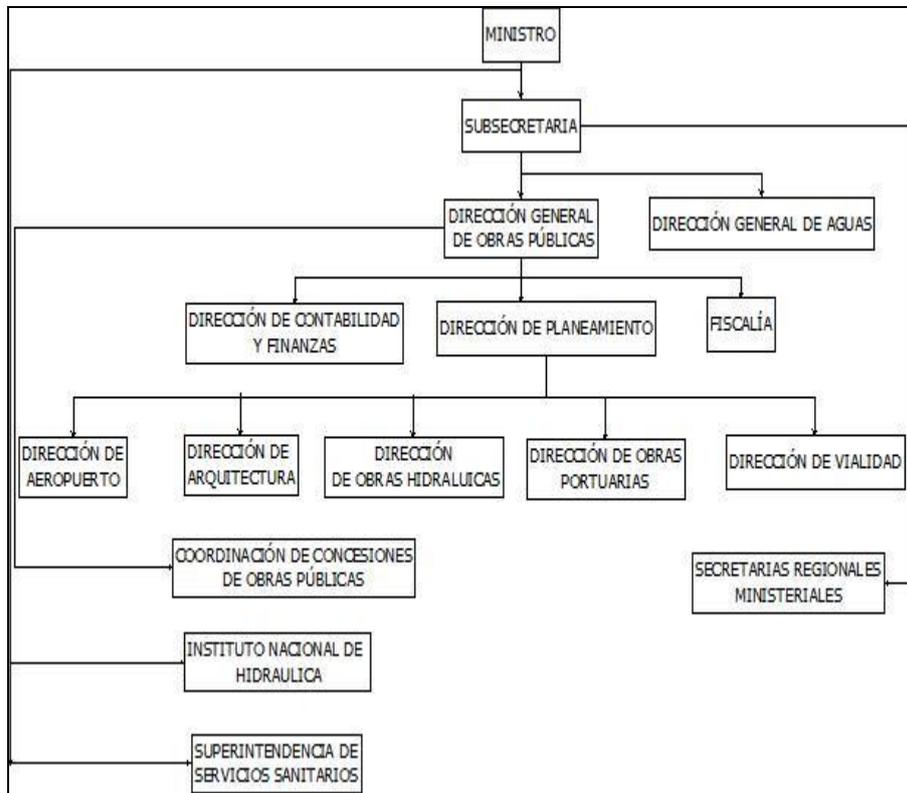
**Tabla 11. Instituciones chilenas en la gestión de agua (Garcés, 2005)**

Las áreas de participación e incidencia entre los distintos organismos públicos y privados involucrados.

#### **3.4.1. Dirección General de Aguas (D.G.A.)**

*“La Dirección General de Aguas (DGA) es el organismo del Estado que se encarga de promover la gestión y administración del recurso hídrico en un marco de sustentabilidad, interés público y asignación eficiente, como también de proporcionar y difundir la información generada por su red hidrométrica y la contenida en el Catastro Público de Aguas con el objeto de*

*contribuir a la competitividad del país y mejorar la calidad de vida de las personas.” (www.dga.cl)*



**Figura 19. Organigrama del Ministerio de Obras Públicas de Chile (MOP, 2011)**

Sus funciones son:

- 1.- Planificar el desarrollo del recurso hídrico en las fuentes naturales con el fin de formular recomendaciones para su aprovechamiento.
- 2.- Constituir derechos de aprovechamiento de aguas.
- 3.- Investigar y medir el recurso.
- 4.- Mantener y operar el servicio hidrométrico nacional, proporcionar y publicar la información correspondiente.

5.- Propender a la coordinación de los programas de investigación que corresponda a las entidades del sector público, así como de las privadas que realicen esos trabajos con financiamiento parcial del Estado.

6.- Ejercer la labor de policía y vigilancia de las aguas en los cauces naturales de uso público e impedir que en éstos se construyan, modifiquen o destruyan obras sin la autorización del Servicio o autoridad a quien corresponda aprobar su construcción o autorizar su demolición o modificación.

7.- Supervigilar el funcionamiento de las Juntas de Vigilancia, de acuerdo con lo dispuesto en el Código de Aguas.

#### **3.4.2. Dirección de Obras Hidráulicas (D.O.H.)**

*“La Dirección de Obras Hidráulicas del MOP tiene por misión proveer de servicios de infraestructura hidráulica que permitan el óptimo aprovechamiento del agua y la protección del territorio y de las personas, mediante un equipo de trabajo competente, con eficiencia en el uso de los recursos y la participación de la ciudadanía en las distintas etapas de los proyectos, para contribuir al desarrollo sustentable del País.”*  
([www.doh.cl](http://www.doh.cl))

Los objetivos estratégicos:

1.- Contribuir al desarrollo económico del país, a través de la provisión de servicios de infraestructura hidráulica que, considerando los efectos del cambio climático, respondan a las

necesidades de manera oportuna, confiable y con costos competitivos.

2.- Contribuir al desarrollo social mejorando el bienestar de la población, a través de la provisión de servicios de infraestructura hidráulica y el fortalecimiento de las organizaciones comunitarias beneficiadas.

3.- Propiciar el desarrollo ambiental sustentable del país, a través de la provisión de servicios de infraestructura hidráulica que cumplan con las políticas y normativas medioambientales.

4.- Lograr estándares de eficiencia en el uso de los recursos de inversión y operación de los servicios de infraestructura hidráulica, a través del desarrollo y mejoramiento continuo de los procesos claves de la Dirección de Obras Hidráulicas.

#### **3.4.3. Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS)**

*“La Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) es el organismo normativo y fiscalizador de las empresas concesionarias que prestan los servicios de agua potable y alcantarillado. También debe controlar y fiscalizar los residuos líquidos generados por establecimientos industriales y los vertidos de las plantas de tratamiento de aguas servidas.”*  
([www.siss.cl](http://www.siss.cl))

Las funciones de la Superintendencia de Servicios Sanitarios:

1.- Fijar las tarifas.

2.- Otorgamiento de concesiones.

3.- Fiscalización de empresas sanitarias.

4.- Controlar los residuos industriales líquidos.

5.- Participar en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

#### **3.4.4. Ministerio de Salud**

*“El Ministerio de Salud busca contribuir a elevar el nivel de salud de la población; desarrollar armónicamente los sistemas de salud, centrados en las personas; fortalecer el control de los factores que puedan afectar la salud y reforzar la gestión de la red nacional de atención. Todo ello para acoger oportunamente las necesidades de las personas, familias y comunidades, con la obligación de rendir cuentas a la ciudadanía y promover la participación de las mismas en el ejercicio de sus derechos y sus deberes.” ([www.minsal.cl](http://www.minsal.cl))*

Los objetivo y funciones:

1.- Ejercer la rectoría del sector salud, la cual comprende, entre otras materias:

a) La formulación, control y evaluación de planes y programas generales en materia de salud.

b) La definición de objetivos sanitarios nacionales.

c) La coordinación sectorial e intersectorial para el logro de los objetivos sanitarios.

d) La coordinación y cooperación internacional en salud.

e) La dirección y orientación de todas las actividades del Estado relacionadas a la provisión de acciones de salud, de acuerdo con las políticas fijadas.

2.- Dictar normas generales sobre materias técnicas, administrativas y financieras a las que deberán ceñirse los organismos y entidades del Sistema, para ejecutar actividades de prevención, promoción, fomento, protección y recuperación de la salud y de rehabilitación de las personas enfermas.

3.- Velar por el debido cumplimiento de las normas en materia de salud, a través de las Secretarías Regionales Ministeriales de Salud, sin perjuicio de la competencia que la ley asigne a otros organismos.

4.-Efectuar la vigilancia en salud pública y evaluar la situación de salud de la población.

5.- Tratar datos con fines estadísticos y mantener registros o bancos de datos respecto de las materias de su competencia.

6.- Formular el presupuesto sectorial.

7.- Formular, evaluar y actualizar el Sistema de Acceso Universal con Garantías Explícitas.

8.- Formular, evaluar y actualizar los lineamientos estratégicos del sector salud o Plan Nacional de Salud, conformado por los objetivos sanitarios, prioridades nacionales y necesidades de las personas.

9.- Fijar las políticas y normas de inversión en infraestructura y equipamiento de los establecimientos públicos que integran las redes asistenciales.

10.- Velar por la efectiva coordinación de las redes asistenciales, en todos sus niveles.

11.- Establecer los estándares mínimos que deberán cumplir los prestadores institucionales de salud, tales como hospitales, clínicas, consultorios y centros médicos, con el objetivo de garantizar que las prestaciones alcancen la calidad requerida para la seguridad de los usuarios.

12.- Establecer un sistema de acreditación para los prestadores institucionales autorizados para funciona.

13.- Establecer un sistema de certificación de especialidades y subespecialidades de los prestadores individuales de salud legalmente habilitados para ejercer sus respectivas profesiones, esto es, de las personas naturales que otorgan prestaciones de salud.

14.- Establecer, mediante resolución, protocolos de atención en salud. Para estos efectos, se entiende por protocolos de

atención en salud las instrucciones sobre manejo operativo de problemas de salud determinados. Estos serán de carácter referencial y sólo serán obligatorios, para el sector público y privado, en caso de que exista una causa sanitaria que lo amerite, lo que deberá constar en una resolución del Ministerio de Salud.

15.- Implementar, conforme a la ley, sistemas alternativos de solución de controversias sobre responsabilidad civil de prestadores individuales e institucionales, públicos o privados, originada en el otorgamiento de acciones de salud, sin perjuicio de las acciones jurisdiccionales correspondientes.

16.- Formular políticas que permitan incorporar un enfoque de salud intercultural en los programas de salud en aquellas comunas con alta concentración indígena.

#### **3.4.5. Comisión Nacional de Energía (CNE)**

*“Es un organismo público y descentralizado, con patrimonio propio y plena capacidad para adquirir y ejercer los derechos y obligaciones, que se relaciona con el Presidente de la República por intermedio del Ministerio de Energía. Su Ley Orgánica Institucional corresponde al DL N° 2.224 de 1978, modificado por ley Núm. 20.402 que crea el Ministerio de Energía.” ([www.cne.cl](http://www.cne.cl))*

*“La comisión será un organismo técnico encargado de analizar precios, tarifas y normas técnicas a las que deben ceñirse las*

*empresas de producción, generación, transporte y distribución de energía, con el objeto de disponer de un servicio suficiente, seguro y de calidad, compatible con la operación más económica.”*

#### **3.4.6. Comisión Nacional de Riego (CNR)**

*“Persona jurídica de derecho público, creada en septiembre de 1975, con el objeto de asegurar el incremento y mejoramiento de la superficie regada del país. A partir de 1985, se incorporó a sus funciones la administración de la Ley 18.450 que fomenta las obras privadas de construcción y reparación de obras de riego y drenaje y promueve el desarrollo agrícola de los productores de las áreas beneficiadas.” ([www.chileriego.cl](http://www.chileriego.cl))*

Los objetivos son:

- 1.- Contribuir a la formulación de la política de riego nacional.
- 2.- Mejorar la eficiencia del riego a través de proyectos de desarrollo y transformación productiva.
- 3.- Focalizar los esfuerzos hacia el desarrollo de regiones extremas del país y grupos de productores en situación vulnerable.
- 4.- Fomentar la inversión privada en obras de riego mediante la optimización de inversiones y asignación de subsidios en riego y drenaje.
- 5.- Evaluar la factibilidad técnica y económica de inversiones en obras rentables de riego de las cuencas hidrográficas del país.

### **3.4.7. Servicio Agrícola y Ganadero (SAG)**

Servicio Agrícola y Ganadero es el llamado sector silvoagropecuario nacional, el cual se entiende conformado por:

1.- Un subsector productor o primario de la economía, que incluye la agricultura, ganadería y silvicultura, orientado a la producción de semillas, cereales, hortalizas, frutas, forrajes, cultivos industriales, viñas, producción ganadera y de otros animales terrestres, productos forestales de bosques tanto nativos como plantaciones comerciales, entre otros.

2.- Un subsector transformador o secundario que incorpora valor agregado a los productos primarios, que incluye la producción de procesados como el vino, derivados lácteos, productos cárnicos, congelados, productos procesados no comestibles, entre otros; abarcando desde la elaboración de los productos, hasta su distribución para el consumo interno o para su exportación.

3.- También se consideran dentro del sector silvoagropecuario las actividades productoras y comercializadoras de los bienes y servicios necesarios para desarrollar la actividad silvoagropecuaria, como plaguicidas, fertilizantes, fármacos de uso veterinario, alimentos para animales, entre otros.  
([www.sag.cl](http://www.sag.cl))

#### **3.4.8. Comisión Nacional Forestal (CONAF)**

La misión de la Corporación Nacional Forestal (CONAF) es *Contribuir al desarrollo del país a través del manejo sostenible de los ecosistemas forestales y a la mitigación de los efectos del cambio climático, mediante el fomento, fiscalización de la legislación forestal - ambiental; la protección de los recursos vegetacionales; y la administración de las Áreas Silvestres Protegidas del Estado.* ([www.conaf.cl](http://www.conaf.cl))

Los objetivos son:

- 1.- Contribuir a la creación y desarrollo sostenible del recurso forestal, para la generación de bienes y servicios con énfasis en la mitigación y/o compensación ambiental, aportando al desarrollo económico, ambiental, y social del país, mediante el establecimiento y manejo de plantaciones, recuperación y fomento del bosque nativo e incremento del arbolado urbano.
- 2.- Proteger los ecosistemas forestales y el patrimonio ambiental de los agentes bióticos y abióticos, y procesos dañinos como plagas, prácticas ilegales de manejo forestal, incendios forestales y desertificación.
- 3.- Administrar eficaz y eficientemente el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado, para maximizar sus potencialidades ambientales, sociales y económicas.

#### **3.4.9. Servicio Nacional de Geología y Minas (SERNAGEOMIN)**

En el año 1980, SERNAGEOMIN fue creado a partir de la unión del Instituto de Investigaciones Geológicas y el Servicio de Minas del Estado, con el objetivo de ser el asesor técnico especializado del Ministerio de Minería en materias geológicas y mineras.

*“A través de estas instancias SERNAGEOMIN cumple con las tareas de revisar, evaluar y fiscalizar proyectos en el marco del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA); fiscalizar faenas mineras en operación; investigar y catastrar faenas mineras inactivas y gestionar proyectos de cooperación internacional para promover buenas prácticas ambientales en la actividad minera nacional.”* ([www.sernageomin.cl](http://www.sernageomin.cl))

#### **3.4.10. Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA)**

*“El Ministerio del Medio Ambiente de Chile, es el órgano del Estado encargado de colaborar con el presidente de la República en el diseño y aplicación de políticas, planes y programas en materia ambiental, así como en la protección y conservación de la diversidad biológica y de los recursos naturales renovables e hídricos, promoviendo el desarrollo sustentable, la integridad de la política ambiental y su regulación normativa.”* ([www.conama.cl](http://www.conama.cl))

**3.4.11. Servicio Nacional de Pesca (SERNAPESCA)**

*“Su misión es contribuir al desarrollo sustentable y a la competitividad del sector pesquero y acuícola nacional, a través de controlar el cumplimiento de la normativa pesquera, acuícola, sanitaria y ambiental que regulan la actividad y otorgar la garantía oficial de la inocuidad de los productos pesqueros de exportación.” ([www.sernapesca.cl](http://www.sernapesca.cl))*

**3.4.12. Dirección del Territorio Marítimo (DIRECTEMAR)**

*“DIRECTEMAR es el organismo de la Armada, mediante el cual el Estado de Chile cautela el cumplimiento de las leyes y acuerdos internacionales vigentes, para proteger la vida humana en el mar, el medio ambiente, los recursos naturales y regular las actividades que se desarrollan en el ámbito acuático de su jurisdicción, con el propósito de contribuir el desarrollo marítimo de la nación.” ([www.directemar.cl](http://www.directemar.cl))*

**3.4.13. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA)**

*El Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, es la principal institución de investigación agropecuaria de Chile, siendo una corporación de derecho privado, sin fines de lucro, dependiente del Ministerio de Agricultura. Cuenta con una cobertura geográfica nacional, la que está compuesta por 11 Centros Regionales de Investigación (CRI), ubicados en las regiones de Coquimbo, de Valparaíso, Metropolitana, del Libertador Bernardo O’Higgins, del Maule, del Bío Bío, de La Araucanía, de Los Lagos, del General Carlos*

*Ibáñez del Campo y de Magallanes. De los CRI dependen los centros experimentales.*

*La misión del INIA es "Generar y transferir conocimientos y tecnologías estratégicas a escala global para producir innovación y mejorar la competitividad en el sector silvoagropecuario." ([www.inia.cl](http://www.inia.cl))*

#### **3.4.14. Municipios**

*"Es el organismo que administra una comuna, encabezado por un Alcalde y un Concejo, todos elegidos por votación popular, que tiene por misión satisfacer las necesidades de la comunidad local y asegurar su participación en el progreso económico, social y cultural.*

*Elabora y ejecuta el plan comunal de desarrollo; un instrumento que contempla las acciones para satisfacer las necesidades de la comunidad y promover su desarrollo."*  
*([www.boletinlegislativo.bcn.cl](http://www.boletinlegislativo.bcn.cl))*

### **3.5. Instituciones privadas involucradas en los recursos hídricos**

#### **3.5.1. Comunidades de regantes y asociaciones**

Las comunidades de regantes y las asociaciones se integran por los titulares de derechos de aprovechamientos que las

constituyen y los que por cualquier título los substituyeran, sin que valga estipulación en contrario. (Solanes, 1981)

### **3.5.2. Juntas de vigilancia**

Las Juntas de Vigilancia se integran con las personas naturales, las asociaciones de canalistas, las comunidades de aguas u otras personas jurídicas que de cualquier forma aprovechen aguas de una misma cuenca y hoya hidrográfica.

Los roles provisionales de usuarios son integrados por las personas determinadas por el Estado.

Las Juntas de Vigilancia se constituyen a través de un procedimiento judicial similar al de las asociaciones de canalistas, pero no existe la posibilidad de constituir las extrajudicialmente como existen para estas últimas.

Los estatutos de la junta deben ser aprobados por el Presidente de Chile.

El ingreso a las mismas es obligatorio en aquellas áreas donde el estado haya financiado obras de embalse. (Solanes, 1981)

### **3.5.3. Asociaciones de canalistas**

Las asociaciones de canalistas demandan un procedimiento más complicado para su constitución.

Cuando las Asociaciones se constituyen por acuerdo este debe ser celebrado ante escribano e instrumentado en escritura pública. Este procedimiento requiere la unanimidad de todos los eventuales miembros.

En su defecto deberá constituirse judicialmente, mediante audiencia en la que se requiere mayoría, pero no unanimidad. La audiencia puede ser requerida por los usuarios o por el Director General de Aguas.

La constitución de la asociación, sus estatutos, y las modificaciones de los mismos deben ser aprobados por el Presidente de Chile, previo informe de la Dirección General de Aguas. (Solanes, 1981)

#### **3.5.4. Comunidades de agua**

Según el Código de Aguas las comunidades de aguas se forman por el solo hecho que dos o más personas aprovechen las aguas de un mismo cauce artificial, sin que entre ellas exista asociación de canalistas o se haya celebrado convención para el aprovechamiento de las aguas.

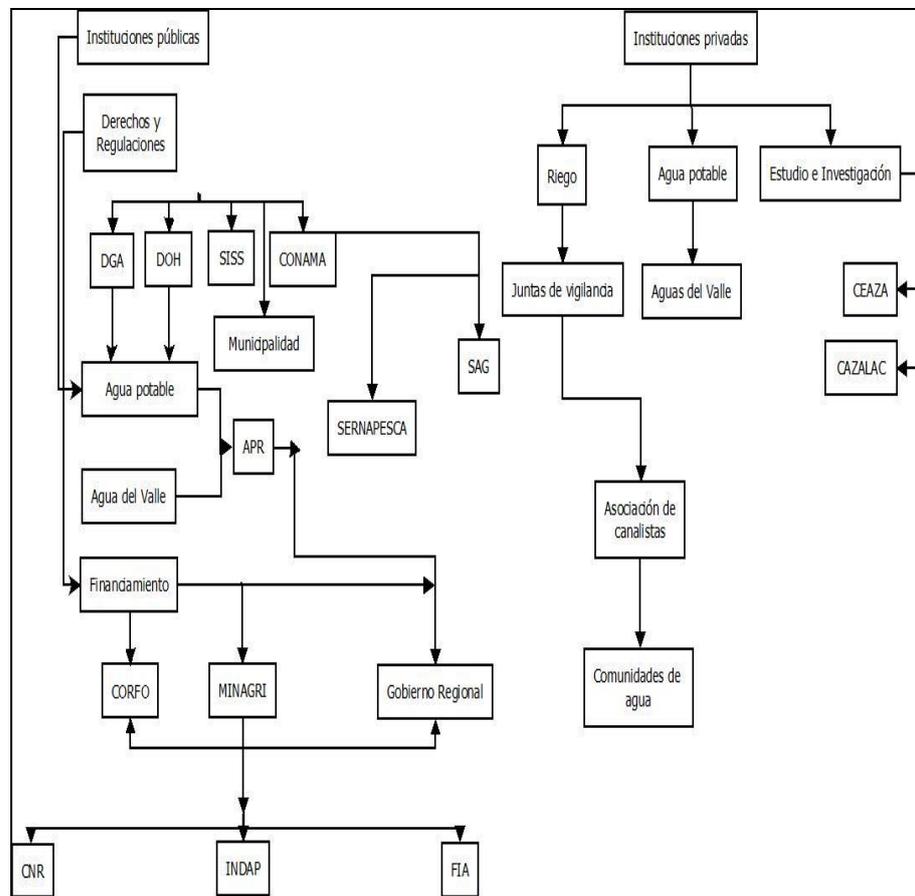
Se trata en consecuencia de entidades integradas por todos los usuarios de un cauce artificial, en razón del simple hecho de la comunidad de intereses sobre el canal de riego.

Eventualmente, y si se cumple con las obligaciones procedimentales pertinentes, se podrán convertir en asociaciones de canalistas. (Solanes ,1981)

### 3.5.5. Organizaciones comunitarias

No tienen competencia directa en el dominio de las aguas, pero pueden defender sus intereses o bien proponer soluciones para una mejor gestión a las autoridades.

En el siguiente esquema se presenta la estructura organizacional de las instituciones públicas y privadas que están involucradas en los recursos hídricos en la región de Coquimbo.



**Figura 20. Institucionalidad del agua en la Cuarta Región de Chile.**  
([www.uls-ur.cl/tier2](http://www.uls-ur.cl/tier2))

### **3.6. Consideraciones finales al capítulo**

La gestión de los recursos hídricos en el país presenta tres características esenciales, (1) el régimen de propiedad del agua garantiza a su dueño el uso y goce como cualquier otro bien susceptible de apropiación privada, es un bien principal y no accesorio a la tierra o industria por lo que se puede transferir libremente, (2) la aplicación de una economía de libre mercado, entregando a los privados la iniciativa en cuanto a la inversión y (3) la concepción de un Estado subsidiario aplicando determinadas normativas sectoriales o cumpliendo un rol de apoyo mediante subsidios al agua potable, electricidad y al riego, por mencionar algunos casos.

De las organizaciones de usuarios del agua, las juntas de vigilancia, por tener competencia en los cauces naturales, adquieren una importancia fundamental en la gestión de los recursos hídricos en una cuenca, por ello es importante promover instancias de discusión permanentes e integrales, que vaya de lo conceptual a lo práctico, de modo de facilitar la incorporación de elementos que denoten una GIRH en el accionar de estas organizaciones.

Por otro lado, es necesario mencionar que las organizaciones de usuarios del agua tienen serias limitaciones desde un punto de vista jurídico-institucional, principalmente en cuanto a las funciones que le corresponde realizar, a sus capacidades como

instancias de participación y a su representatividad en el ámbito ampliado de la cuenca, lo cual sugiere la creación de entidades de cuencas con un ámbito de acción mucho mayor, que sea representativa de todos los sectores presentes y que promueva la participación de los distintos actores sociales relevantes.

### 3.7. Referencias consultadas

[1] BJORN LUND, H. *“Farmer Participation in Markets for Temporary and Permanent Water in Southeast Australia.”* Revista Agricultural Water Management. 2003, n°63 pp. 57-76.

[2] BJORN LUND, H. y MCKAY, J. *“Aspects of Water Markets for Developing Countries: Experiences from Australia, Chile and the US.”*, Environment and Developing Economics. 2003, vol. 7, pp. 769-795.

[3] BRENNAN, D. y SCOCCIMARRO, M. *“Issues in Defining Property Rights to Improve Australian Water Markets”*. En the Australian Journal of Agricultural and Resource Economics .1999, n° 43, pp. 69-89.

[4] CHILE. Artículos 314 del Código de Aguas, reformado por la ley n° 20.017 de junio de 2005. Artículo 4° transitorio de la ley n° 20.017 de junio de 2005.

[5] CHILE. D.F.L. N° 1.122 se regula la propiedad y el derecho de aprovechamiento de las aguas. Las últimas modificaciones son; la Ley N° 20.017 de 2005 y la Ley N° 20.099 de 2006. República de Chile.

[6] CHILE. D.F.L. N° 850 de 1997 del Ministerio de Obras Públicas y referidas a las que confiere el Código de Aguas. República de Chile.

[7] CHILE. D.F.L. N° 1.122 de 1981 y el D.F.L. MOP N° 1.115 de 1969. República de Chile.

[8] CHILE. D.F.L. MOP N° 382 de 1988 - Publicado en el D.O. el 21-jun-1989. - Texto actualizado a dic-2008, incluye ley N°20.307.

[9] CHILE. D.F.L. N° 850 de 1997 determina la organización interna del Ministerio, sus funciones y lo faculta para actuar en el ámbito público. República de Chile.

[10] CHILE. Decreto N° 930 de 1967. República de Chile.

[11] CHILE. Decreto Supremo SEGPRES N°30/97, Art.N°2, Reglamento SEIA. República de Chile.

[12] CHILE. Ley N°18.902, Crea la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). República de Chile.

[13] CHILE. Ley N°19.300. Sistemas de tratamientos y disposición de RILES. Bases Generales de Medioambiente. República de Chile.

[14] CHILE. Ley N° 19.821, modificación ley n° 18.902 (SISS) república de Chile.

[15] DONOSO, G. 2006. "*Water Markets: Case Study Of Chile's 1981 Water Code*" Ciencia e Investigación Agraria 33 (2): 157-171.

[16] ESPINOZA, R. "*Guía de la institucionalidad del agua, en la Región de Coquimbo*", Revista "La Gaceta del agua", n°1. Disponible en: [www.uls-ur.cl/tier2](http://www.uls-ur.cl/tier2).

[17] GARCÉS, J. "*Gestión de recursos hídricos en Chile. Proposición de un modelo de Gestión Integrada para la cuenca Maipo Mapocho*" Universidad de Chile.2005, 160 pp.

[18] GARRIDO, A. "*A mathematical programming model applied to the study of water markets within the Spanish agricultural sector*", Annals of Operations Research, 2000, n° 94, pp.105 - 123.

[19] MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS DE CHILE  
“*Estructura organizacional del MOP*”, 2011; disponible:  
[www.mop.cl](http://www.mop.cl) Consultado Enero 2011.

[20] ODEPA. Resolución exenta N°803. “*Análisis del Mercado del Agua de Riego en Chile: Una Revisión Crítica a través del caso de la Región de Valparaíso,*” 142 pp.2010

[21] SOLANES, M. “*Las organizaciones de regantes en el derecho y la administración de algunos países de América Latina. Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas*”. Instituto de Economía, Legislación, y Administración de agua.1981 84 pp.

[22] TISDELL, J.G. y WARD, J.R. “*Attitudes Towards Water Markets: An Australian Case Study.*”, Revista Society and Natural Resources. 2001, n° 16, pp. 61-75.

Sitios Web Consultados

[23] [www.boletinlegislativo.bcn.cl](http://www.boletinlegislativo.bcn.cl)

[24] [www.conaf.cl](http://www.conaf.cl)

[25] [www.conama.cl](http://www.conama.cl)

[26] [www.cne.cl](http://www.cne.cl)

[27] [www.cnr.cl](http://www.cnr.cl)

[28] [www.directemar.cl](http://www.directemar.cl)

[29] [www.dga.cl](http://www.dga.cl)

[30] [www.doh.gov.cl](http://www.doh.gov.cl)

[31] [www.inia.cl](http://www.inia.cl)

[32] [www.mop.cl](http://www.mop.cl)

[33] [www.sag.cl](http://www.sag.cl)

[34] [www.sernageomin.cl](http://www.sernageomin.cl)

[35] [www.sernapesca.cl](http://www.sernapesca.cl)

[36] [www.siss.cl](http://www.siss.cl)

## **Capítulo IV**

### **Análisis del Sector Minero**

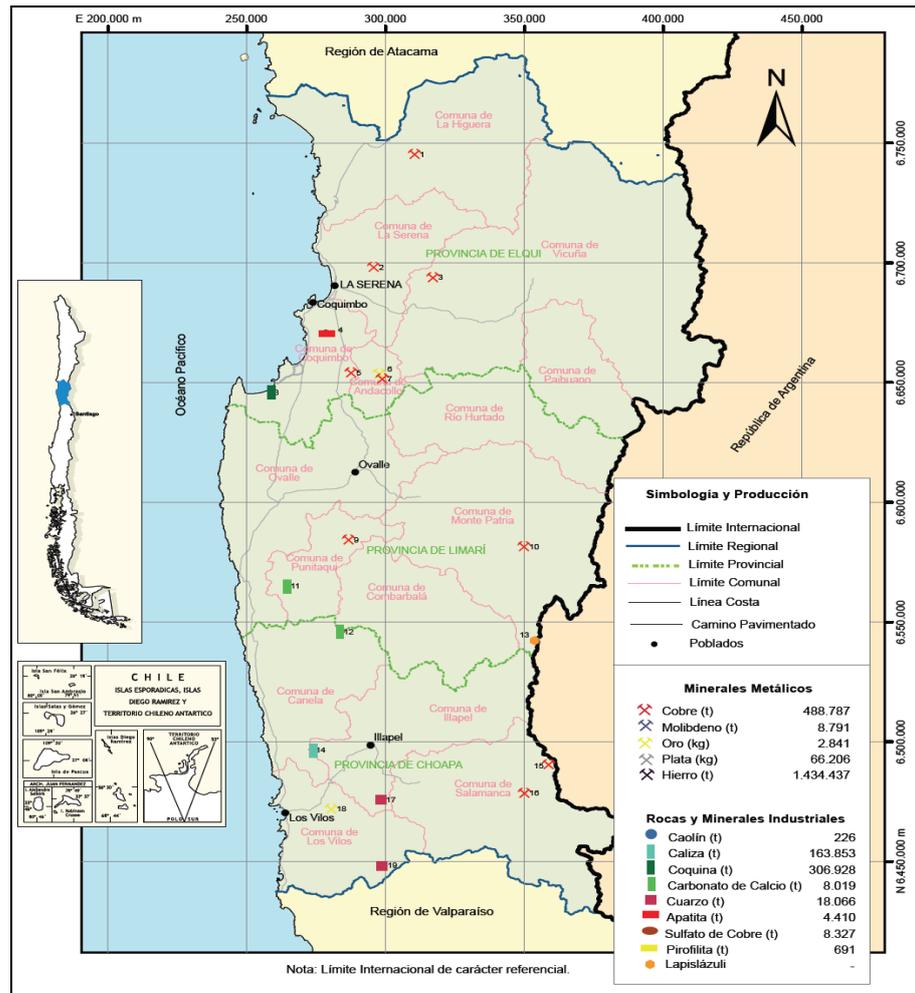
#### **4.0. Propósito del capítulo**

El propósito de este capítulo está centrado en recorrer antecedentes del sector minero de la región de Coquimbo.

El recurso hídrico es escaso no tan solo en la región y el país sino que a nivel mundial. Por tanto en este capítulo se analizan variables que son de importancia para las líneas que gerencian las empresas mineras, puesto que el recurso agua es clave en la obtención y reducción de los costos operacionales ya sea a nivel de minería a rajo abierto o en minería subterránea.

#### **4.1. Introducción**

La demanda del sector minero seguirá en expansión en los próximos años será necesario manejar eficiente y oportunamente la demanda de los recursos hídricos. Hoy se concentra el 8,75% de los derechos consuntivos desde la I a IV región de Chile (Ayala, et al, 2007).



**Figura 21. Ubicación de los principales yacimientos en explotación en la región de Coquimbo (SERNAGEOMIN, 2010)**

El 40% de las reservas mundiales de cobre están en territorio chileno, además del 23% de molibdeno, 15% de yodo y 40% de litio y renio (COCHILCO, 2010)

A pesar que se han realizado esfuerzos por aumentar la eficiencia en el uso de aguas en las faenas mineras del norte de Chile, los esfuerzos han llevado a alternativas de uso como la desalación o desalinización de aguas, ó bien comenzar a

adquirir derechos de aprovechamientos de aguas superficiales o subterráneas.

El sector minero presenta condiciones actuales bastante atractivas. Sin embargo, podrían cambiar por las condiciones de los mercados debido a la dependencia que tiene con las economías China y de Estados Unidos que en su conjunto son los puntos de llegada casi de la mitad de la producción nacional.

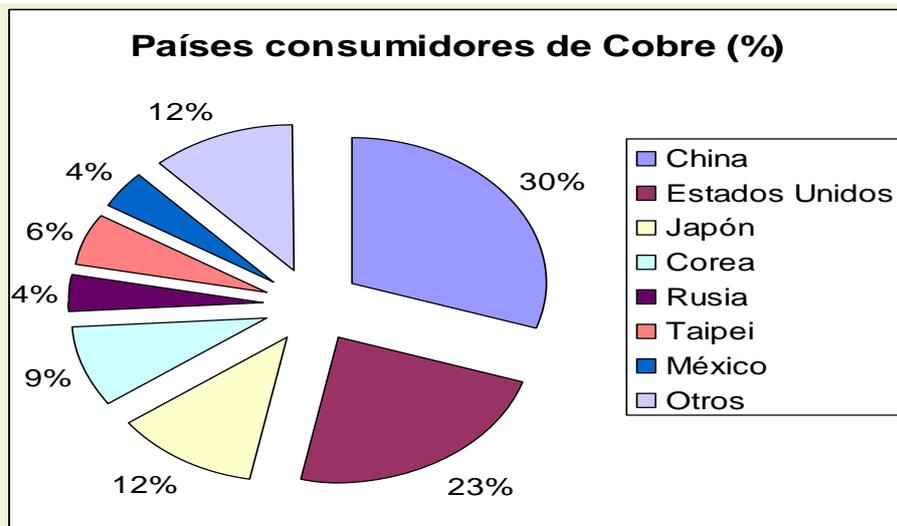


Gráfico 8. Países consumidores de cobre a nivel mundial (COCHILCO, 2010)

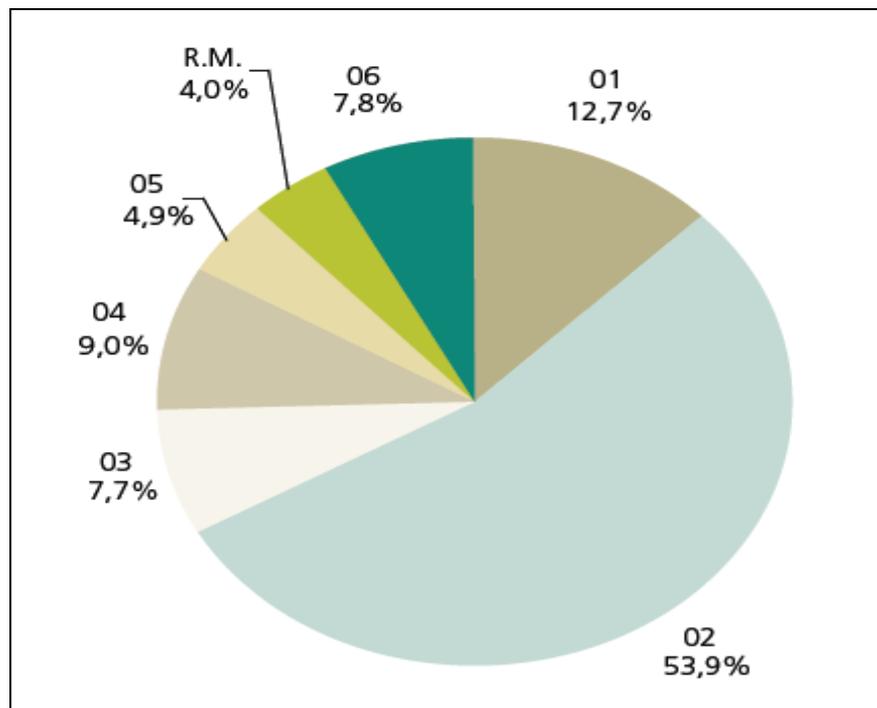
#### 4.2. Disponibilidad de agua para el sector minero

Las grandes empresas mineras están emplazadas en la segunda región del país, en la que existe un déficit hídrico al extremo. Por tanto, la idea de utilizar en los procesos del cobre agua desalinizada o directamente agua del mar sigue tomando fuerza, algunas empresas mineras la utilizan en sus

operaciones, en cambio otras están en la fase de experimentación.

Las plantas desalinizadora tienen una capacidad de tratamiento de poco más de 40 millones de metros cúbicos por día, de los cuales cerca del 90% se utiliza para el consumo humano y el restante para la industrial

Por lo cual resulta fundamental incursionar en los procesos de recirculación y desalinización del agua de mar para enfrentar la futura demanda (Revista Minería Chilena, 2008)



**Gráfico 9. Participación de Cobre por región año. (COCHILCO 2010)**

A pesar que el territorio chileno cuenta con reservas de recursos en dos zonas consideradas estratégicas campo de hielo norte y sur, (ambas ubicadas en la zona sur del Chile) estas son insuficientes debido a que su presencia es

asimétrica, es decir, abundancia en el sur y escasez en la zona norte.

Estudios de campo indican que la asignación de agua es de 500 metros cúbicos por (hab. /año) en la zona norte del país, y 1.600 metros cúbicos ( hab./ año) en la zona sur.

El consumo de agua en las empresas mineras de cobre, se utiliza en dos tipos de procesos: hidrometalúrgico y concentrado de cobre. Sin embargo, el recurso resulta escaso para la gran demanda de las empresas minera en el país.

En la tabla siguiente se muestra la demanda por regiones mineras para los períodos 2009-2020.

Reg.	Proyección demanda agua para la producción total de cobre en Chile (mil de m <sup>3</sup> )											
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
I	44	47	48	43	50	51	55	69	78	84	86	83
II	138	149	143	142	136	129	168	166	154	110	108	105
III	41	39	34	12	22	48	65	89	89	88	85	84
IV	18	33	34	12	22	48	65	89	89	88	85	84
V	28	30	35	38	37	34	55	84	87	100	110	104
VI	65	67	67	73	74	73	71	67	62	63	64	65
RM	24	22	22	23	37	40	43	43	43	41	41	41

**Tabla 12. Proyección por región del consumo de agua para la producción total de cobre en Chile período 2009-2020 (COCHILCO 2009)**

En el año 2008 la dirección general aguas reportó derechos consuntivos por un total de 26 metros cúbico por segundo de agua para utilizar en los procesos de la gran minería. Sin embargo, se espera que más allá del 2030 la demanda del recurso por parte de la mineras será de aproximadamente 61 metros cúbicos por segundo.

1.- El derecho consuntivo, es el derecho de aprovechamiento que no obliga a restituir las aguas después de ser utilizadas y el titular de este derecho puede consumir totalmente las aguas en cualquier actividad.

2.- El derecho no-consuntivo, es el derecho de aprovechamiento que obliga al usuario a restituir el recurso respetando ciertas exigencias según lo determine la constitución del derecho. El uso de los derechos de aprovechamiento no consuntivo debe efectuarse de manera que no impida o limite el ejercicio de los consuntivos existentes. En la minería chilena el 80% de los permisos de aguas son consuntivos, de los cuales 42% corresponden a derechos permanentes y eventuales de aguas superficiales y 58% derechos permanentes y provisionales de aguas subterráneas. Jerárquicamente la cuarta región de Coquimbo ocupa el segundo lugar en la utilización de aguas con derechos consuntivos, alcanzando un 17% de los cuales 4% de estos corresponden a derechos consuntivos permanentes (DGA, 2008)

IV Región	Empresa Minera	Castrato público de aguas (DGA)						Empresa Minera			
		Derechos consuntivos superficiales			Derechos consuntivos subterráneos			1	2	3	4
		Permanentes	Eventuales	Total	Permanentes	Provisionales	Total				
		(L/s)	(L/s)	(L/s)	(L/s)	(L/s)	(L/s)				
Minera El Indio	105	125	230	20	0	20	250	0	250	-	
Minera de Andacollo	0	0	0	0	0	0	0	0	768	58	
Minera Pelambres	0	456	456	133	0	133	589	0	4.216	381	
Minera del Pacífico	0	0	0	88	0	88	88	0	88	-	

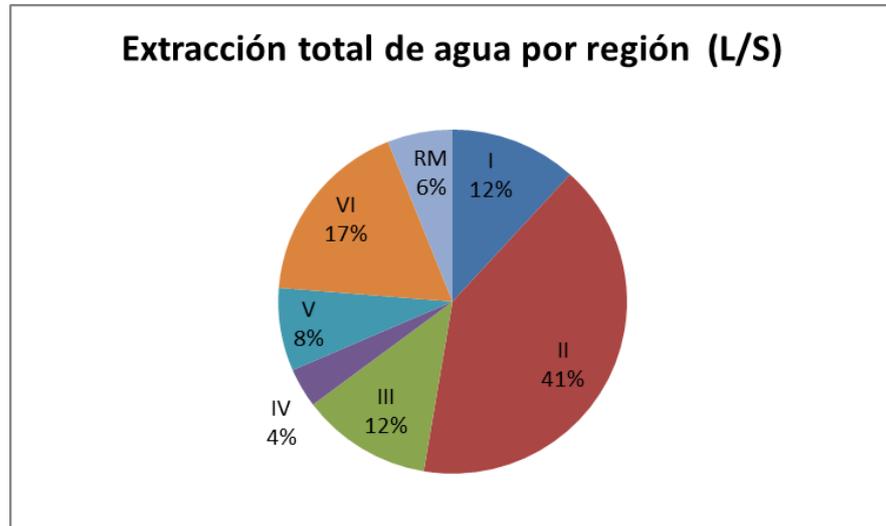
**Tabla 13. Derechos y extracciones de aguas región de Coquimbo, sector minero Chile. (DGA, 2008)**

- (1) Total derechos consuntivos (L/s)
- (2) Derechos no consuntivos (L/s)
- (3) Total derecho consuntivo informado (L/s)
- (4) Extracción informada (L/s)

Cuencas	Subcuencas	Empresa Minera	Total derecho consuntivo informado (L/s)	Extracción informada (L/s)
Choapa	Choapa	Cía. Minera Los Pelambres	4.216	381
El culebrón	El culebrón	Cía. Minera Carmen de Andacollo	42	56
Elquí	Elquí	Cía. Minera Carmen de Andacollo Cía. Del Pacífico. Cía. Minera el Indio	678	-

**Tabla 14. Derechos y extracciones por cuencas región de Coquimbo, Sector Minero. Chile (DGA, 2008)**

La demanda de agua por región, considerando cada una de las minas ubicadas en sus respectivas regiones se presenta en el siguiente gráfico.

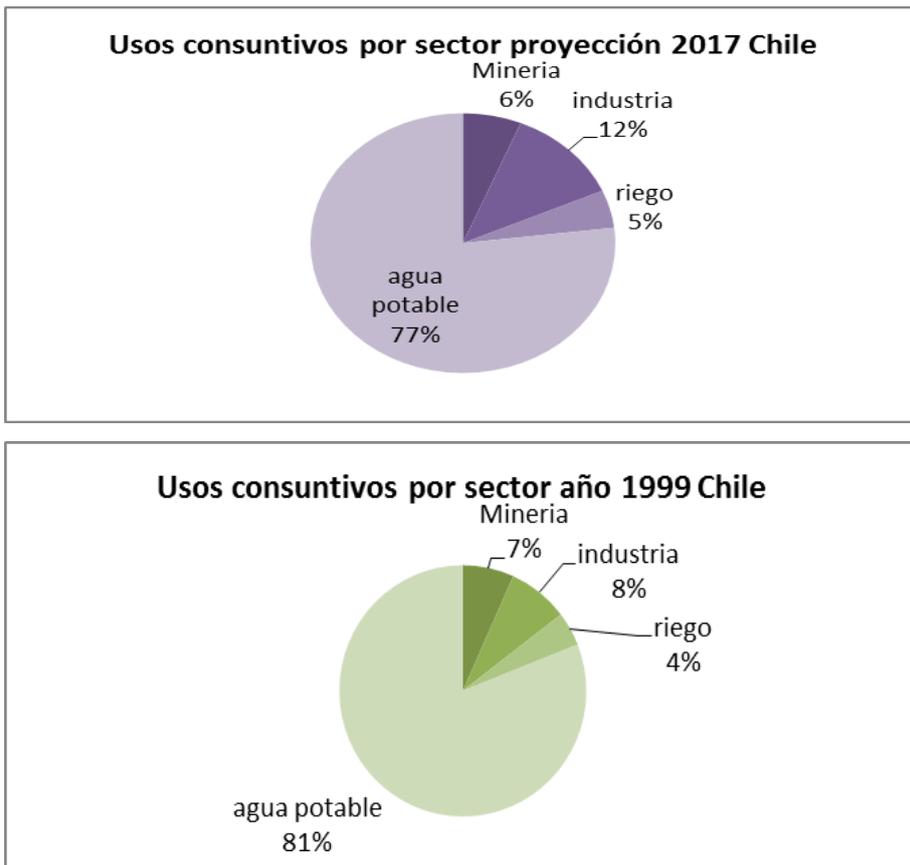


**Gráfico 10. Derechos y extracciones de agua sector minero regiones Centro-Norte de Chile. Figura Extracción de agua por regiones (COCHILCO, 2010)**

#### **4.3. Uso y costos de consumo energéticos en el sector minero**

El Código de Aguas vigente creó un nuevo tipo de derecho de aprovechamiento del agua: el derecho no consuntivo, el que está destinado al desarrollo hidroeléctrico y cuyas aguas no se consumen con el uso, debiendo éstas ser devueltas a los ríos sin perjudicar a los usuarios existentes aguas abajo. Por su parte, el derecho consuntivo corresponde a aquellas aguas que se consumen y no son reutilizables superficialmente; es el caso del agua para riego, minería, industria y uso doméstico. La diferencia con el uso no consuntivo es de naturaleza

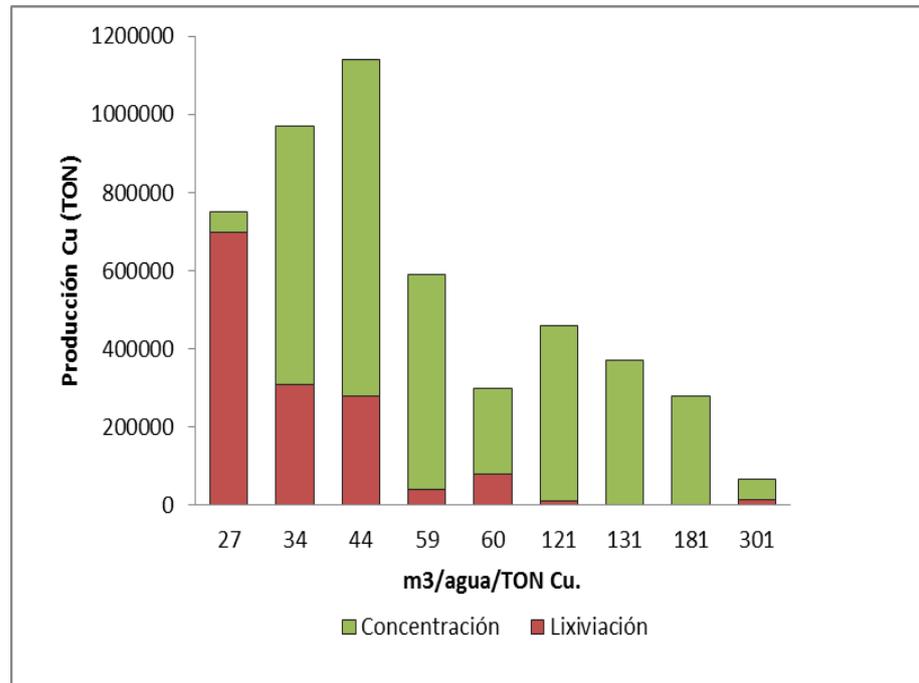
principalmente legal, y dice relación con la ausencia de un compromiso por parte del usuario de devolver un caudal al río. Para aclarar esta situación se considera la siguiente gráfica circular propuesta por un estudio realizado por el Ministerio de Obras Públicas de Chile en el año 1999 y su proyección a 2017, respecto a los derechos consuntivos y no consuntivos en el país.



**Gráfico 11. Comparación de usos consuntivos para agua entre los períodos 1999 y su proyección 2017 Política Nacional de Recursos Hídricos (MOP, 1999)**

Según estudios realizados por la Pontificia Universidad Católica de Chile, (PUC, 2000) la producción de cobre en función de la

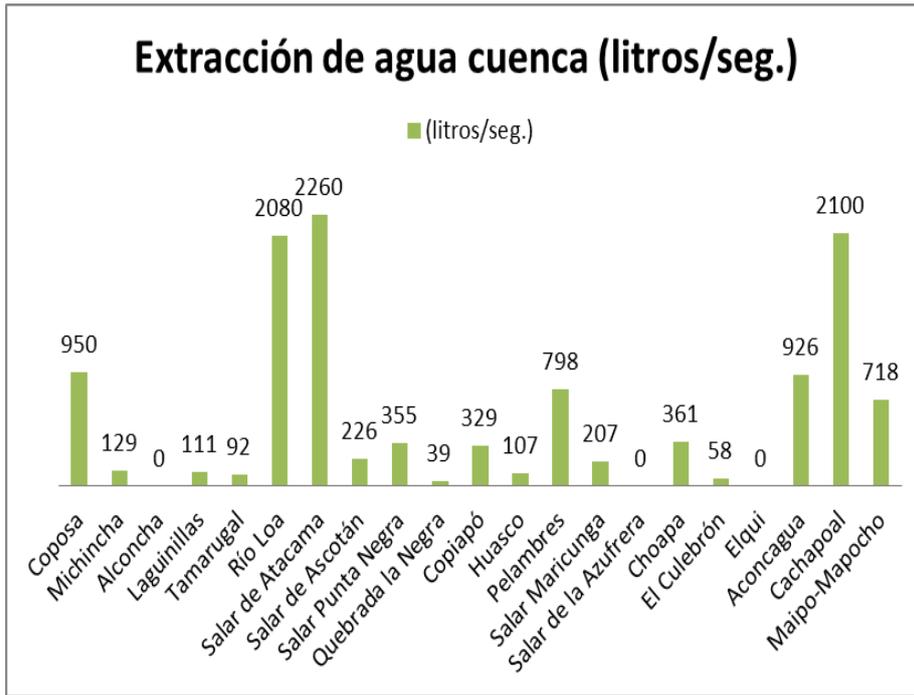
utilización de agua fresca por tonelada queda según la gráfica adjunta.



**Gráfico 12. Producción de cobre en función de la utilización de agua fresca por tonelada. (Brown Universidad de Chile, 2003)**

Los estudios realizados por la Comisión Chilena del Cobre, indican que el 33% de las aguas que necesitan en el proceso de concentración es agua fresca, el resto se reutiliza por recirculación del recurso (COCHILCO, 2010).

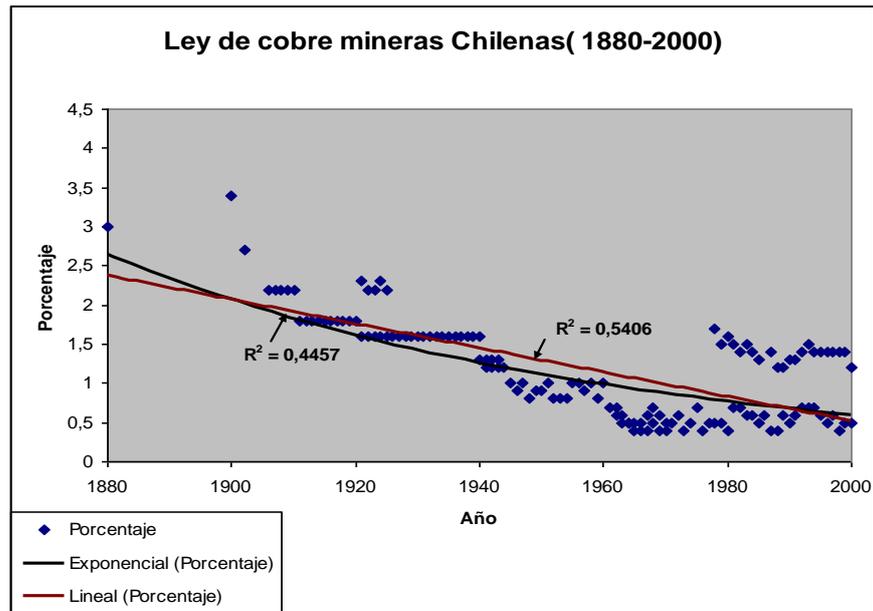
En el caso de la cuarta región, las mineras Carmen de Andacollo, Pelambres y CMP, tiene obtienen el agua de las cuencas del Elqui, El culebrón y el Choapa.



**Gráfico 13. Extracción de agua cuenca (L/S) (COCHILCO, 2008)**

Región	Operación	Mineral	Producción Cu (ton/año)	Material Rotación (ton/día)	Material Lixiviación (ton/día)	Fuente de Abastecimiento	Tipo	fresca lixiviación	Agua fresca total (m <sup>3</sup> /día)	Relación	Razón de circulación requeridos	de agua (litros)
I	Qda. Blanca	Cobre	68.615		18.500	Salar Mochinch						
I	Collahuasi	Cobre	457.00	60.000	14.500	coposa, salar de						
I	Cerro Colorado	Cobre	115.00		36.600	Rampa Laguinilla						
II	El Abra	Cobre	193.724		115.000	Salar de Ascotán						
II	El Tesoro	Cobre	75.000		25.000	Pozos						
II	Chuquimata	Cobre	630.119	165.000	16.000	vertiente, rios y pozos						
II	Radomiro Tomic	Cobre	190.100		98.500	Ojos de San Pedro						
II	Lomas Bayas	Cobre	51.000		25.000	RIO Loa, agua de riego						





**Gráfico 14. Evaluación de la ley de Cobre de Chile (Base de datos centro de Minería Pontificia Universidad Católica de Chile PUC, 2007).**

A partir de 1980 la leyes se han estabilizados en torno al 0,9% al 1,1%, condición que se evidencia en la práctica por la dinámica de desarrollo del sector. Haciéndose cada vez más costosa la extracción del mineral de cobre, ya que a mayor profundidad se encuentran los sulfuros, cuyo tratamiento requiere una 6 a 7 veces más el consumo unitario de un mineral lixiviable, ante esta se prevé que el costo del metro cúbico de agua será cada vez mayor.

A continuación se presentan los dos tipos de procesos para la obtención de cobre

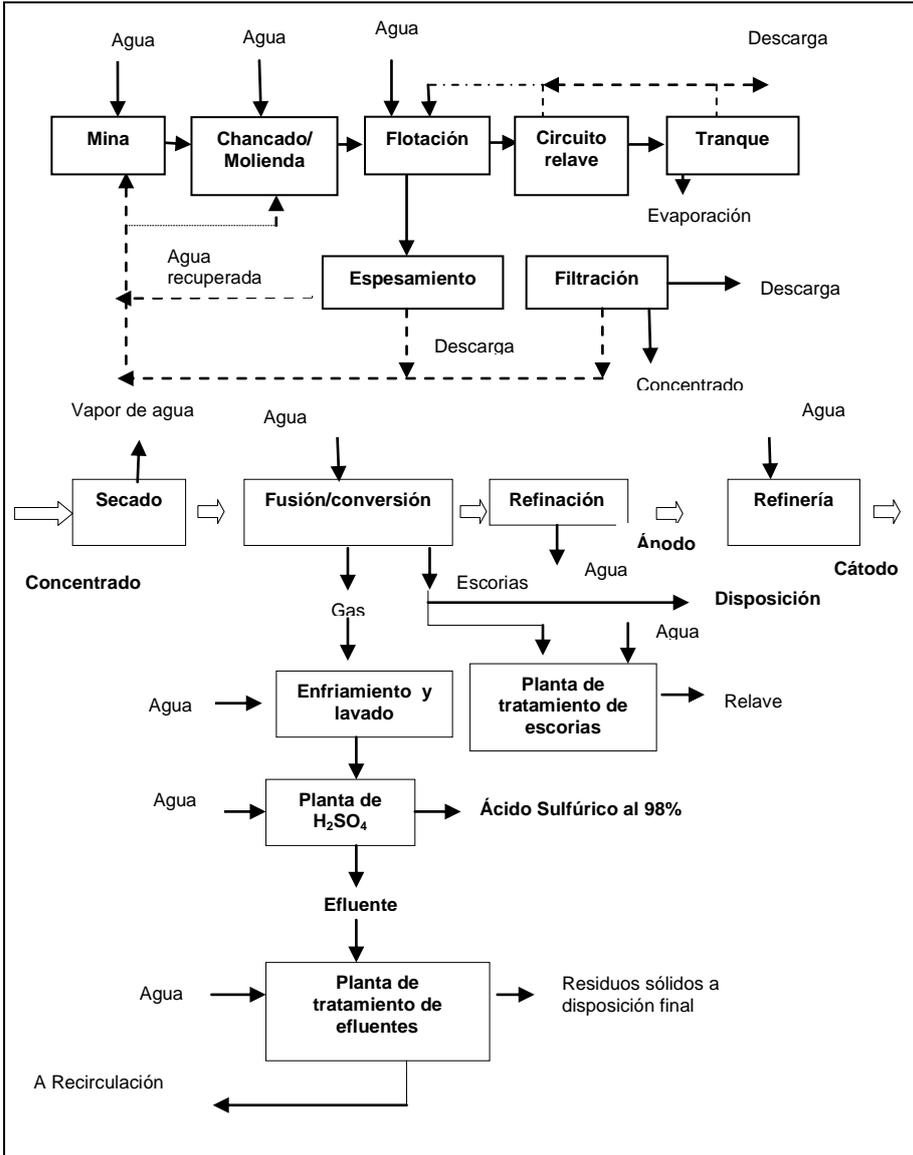


Figura 22. Procesamiento de minerales sulfurados por flotación (COCHILCO, 2009)

El proceso hidrometalúrgico, consiste básicamente en que el mineral extraído de la mina se chanca y posteriormente se aglomera con el objeto de que, al construir las pilas de

lixiviación, la solución lixiviante pueda percolar y entrar en contacto con las diversas partículas que contienen mineral. Durante la aglomeración el mineral se contacta con una solución que contiene ácido sulfúrico a fin de comenzar el proceso de disolución del cobre.

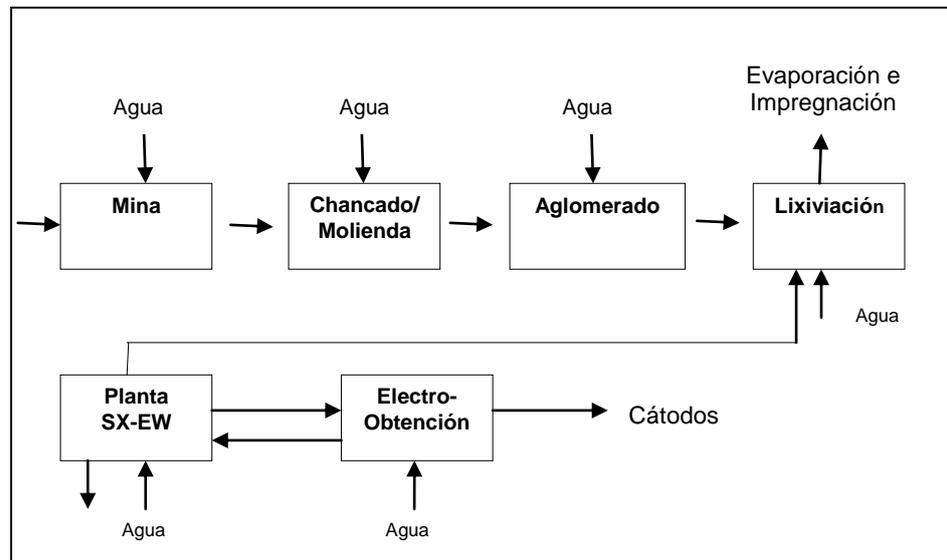
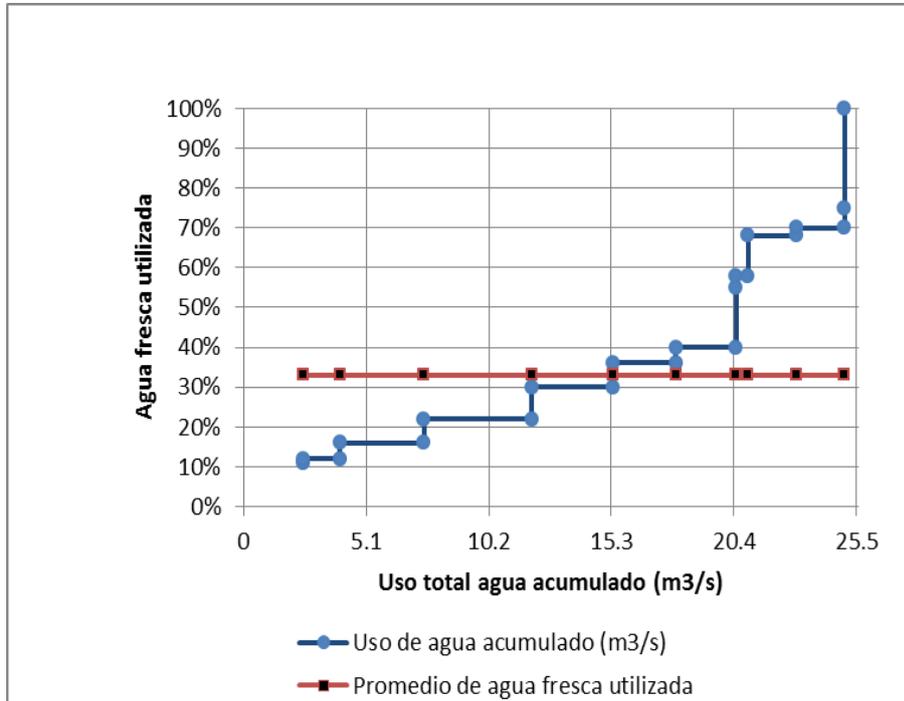


Figura 23. Proceso Hidrometalúrgico del cobre (COCHILCO, 2009)

No todas las aguas descargadas por los diferentes procesos pueden ser reinsertadas al circuito productivo. Por razones de distancia, características geográficas o del proceso mismo, muchas veces las faenas prefieren dar un uso alternativo a los excedentes, ya sea, manteniendo áreas verdes, devolviendo las aguas a cauces naturales de modo que puedan ser empleadas por terceros, o bien, disponiéndolas directamente en el medio ambiente. En todos los casos, los efluentes deben ser sometidos a una estricta evaluación y a un control periódico, que asegure que su calidad no impactará

negativamente en el medio en el cual serán descargados y que, efectivamente, pueden ser utilizados en el destino que se les ha asignado. (Buenas Prácticas Mineras *BPM COCHILCO*, 2005)



**Gráfico 15. Relación entre agua fresca y uso total de agua acumulada en plantas concentradoras. (Elaboración COCHILCO, 2011)**

La abscisa del gráfico contiene el uso total acumulado de agua en cada una de las plantas concentradoras ordenadas de menor a mayor % de extracción de agua fresca para su operación.

El uso total está dividido en 5 quintiles de 5,1 m<sup>3</sup>/seg., que constituye la base de cada rectángulo y la altura del representa el % promedio de extracción de agua en cada quintil.

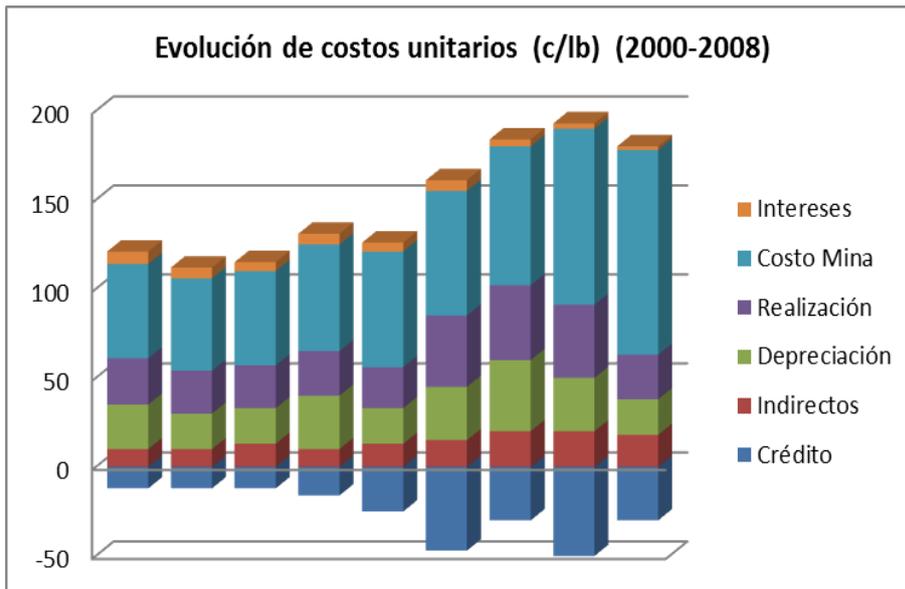
Se concluye que las empresas mineras que se encuentran en la zona norte de Chile se utilizan menor cantidad de agua debido a la escasez en la zona (I a IV), no existiendo ninguna otra consideración que apuntar al respecto.

En el proceso minero el recurso hídrico es vital para el desarrollo de las operaciones. Al respecto el estudio realizado por COCHILCO, concluyó que los consumos más significativos de agua en caso de las plantas concentradoras se presentaron en la flotación, transporte de concentrados, relaves y la evaporación e infiltración en los tranques.

A partir del año 2005, el crédito para las faenas mineras ha aumentado debido a las condiciones que enfrentan para obtener el mineral.

Sin embargo, la comisión chilena del cobre ha desarrollado estudios con la finalidad de evaluar la posibilidad de desarrollar los procesos mineros con agua desalada.

En el siguiente gráfico se aprecia la evolución de los costos unitarios, que entre otras variables esta considerada la escasez de agua para las operaciones.

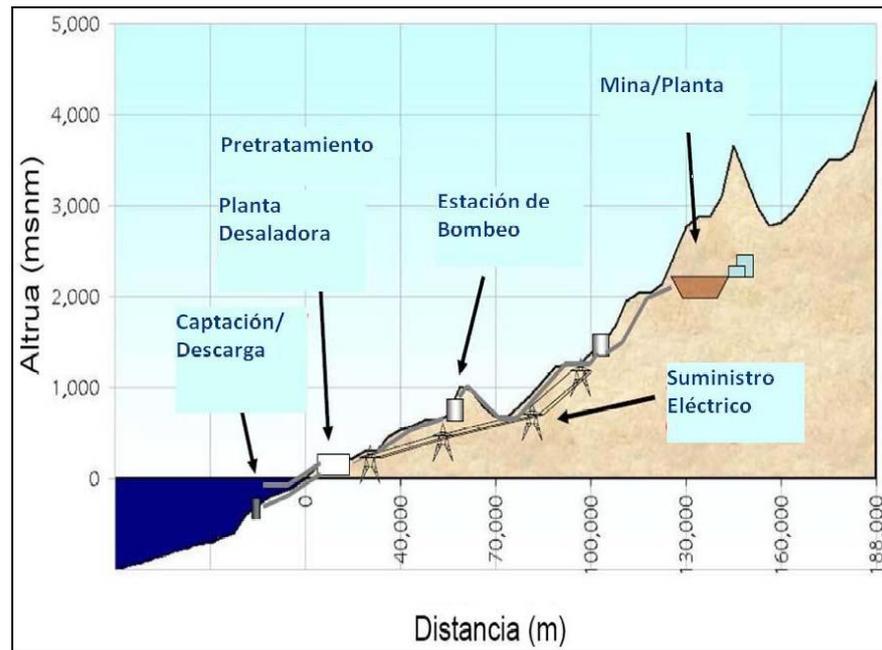


**Gráfico 16. Evolución de costos unitarios sector minero año 2000-2008 (COCHILCO, 2009)**

Considerando a las cuatro primeras regiones de Chile, solamente dos empresas mineras estarían en condiciones de utilizar como recurso hídrico agua desalinizada, lo que evidentemente aumentaría su costo unitario de metro cúbico casi a 2 dólares (COCHILCO, 2009).

El agua desalinizada representa cerca del 80% del costo total de desalinización.

Por otra parte, las características geográficas de la localización de las faenas chilenas son cortas distancias desde la costa (alrededor de 180 Km) y gran altitud respecto al nivel del mar (promedio 3000 m.s.n.m.) Para ello, se requieren -al menos-, 4 estaciones de bombeo que, en promedio, consumen 14 KWh/m<sup>3</sup> de energía, lo que equivale a 4 veces el consumo requerido para desalinizar el agua.



**Figura 24 Suministro de agua desalinizada a una faena minera (COCHILCO, 2011; Cit. Hatch Consultores, 2009)**

De lo anterior sumado a la consideración de un escenario de disponibilidad energética restrictivo en el país, es evidente el desafío en cuanto al consumo de energía que plantea la operación de plantas desalinizadoras y el transporte del agua desalinizada, ya que la suma de las demandas energéticas por parte de cada planta actualmente en operación más los nuevos proyectos, representarían una importante carga para el actual sistema de abastecimiento energético del norte del país SING y SIC.

En el año 2009 hubo un incremento en el consumo respecto del año 2008. Se reflejó en un aumento de 2,8 % en la generación bruta de energía y de 3,3 % en las ventas totales

de energía. Por tipo de cliente, el 89,6% corresponde a clientes libres (consumo industrial y minero) y 10,4% a clientes regulados (empresas distribuidoras) (CNE, 2008)

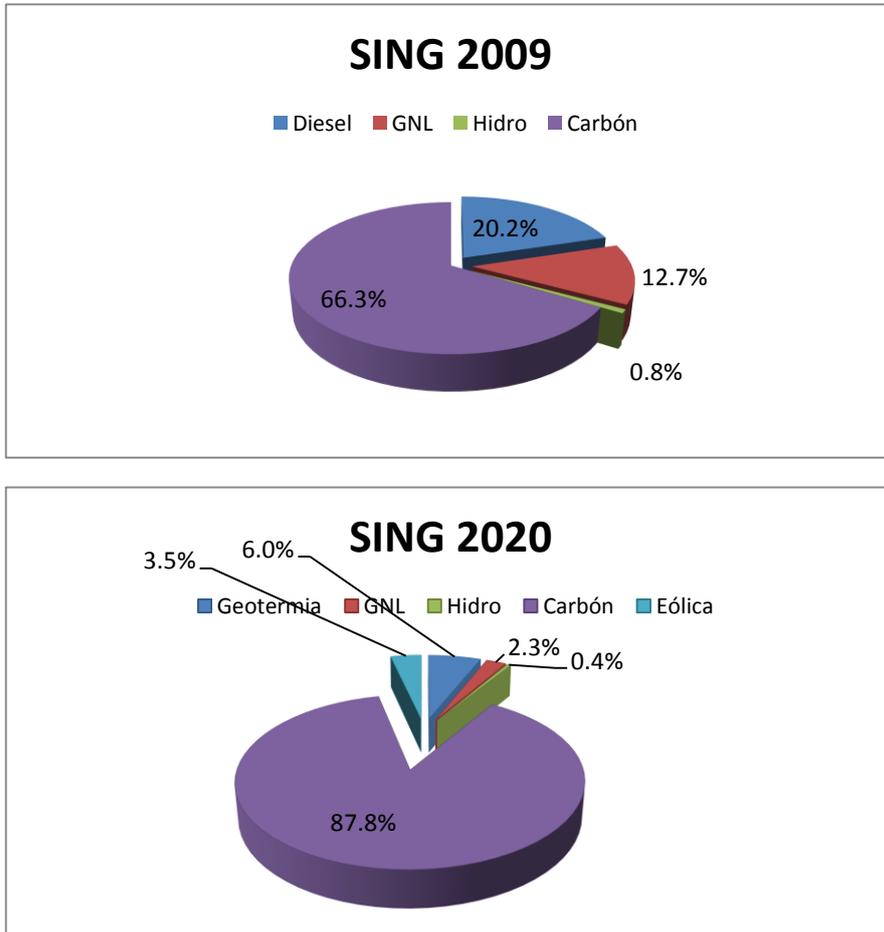


Gráfico 17. Modelación del escenario de largo plazo sobre el plan de obras. (Comisión Chilena de Energía, 2009)

La distribución del Sistema Interconectado del Norte Grande se muestra el siguiente mapa unilineal.

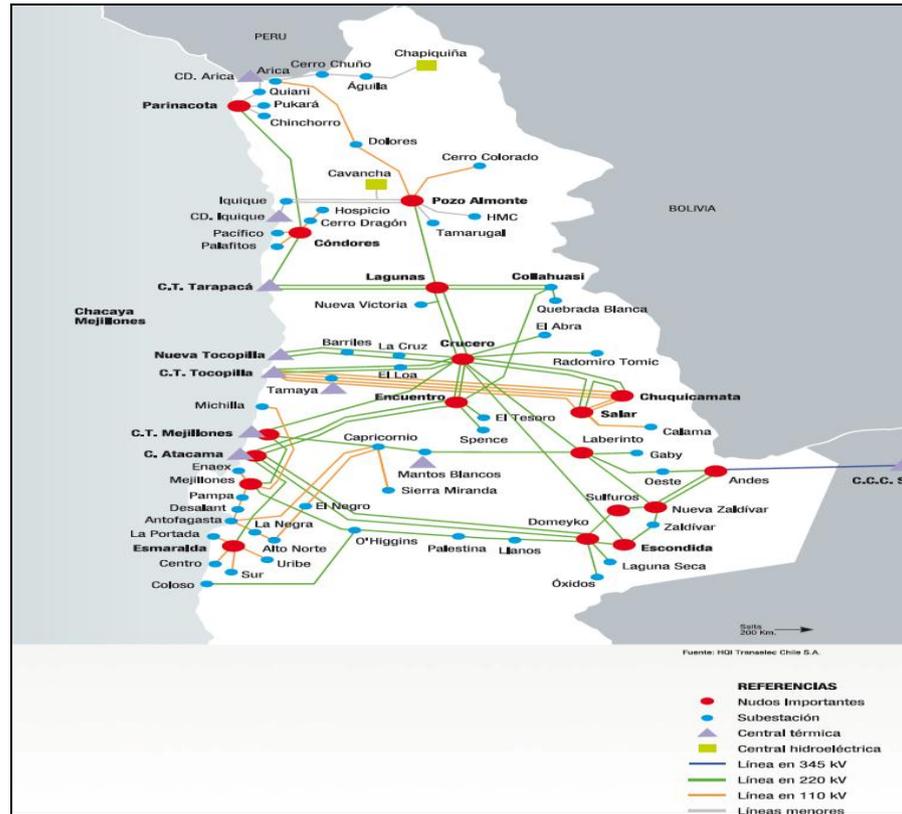


Figura 25. Diagrama unilineal simplificado del (SING) (CDEC-SING, 2009)



Distribución del Sistema Interconectado Central que abarca Taltal hasta la Isla grande de Chiloé.

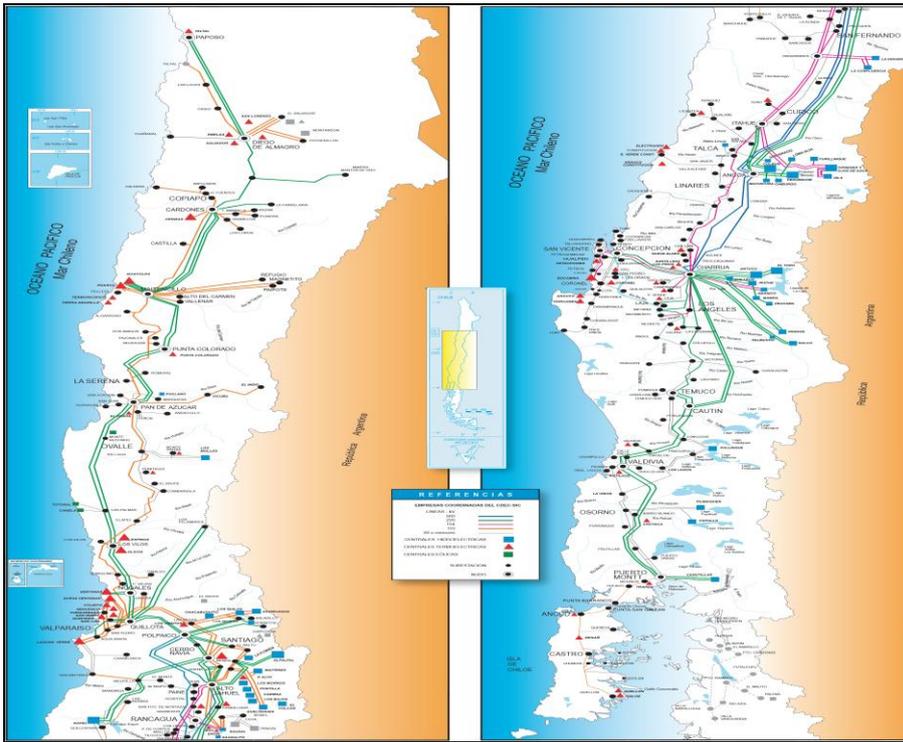
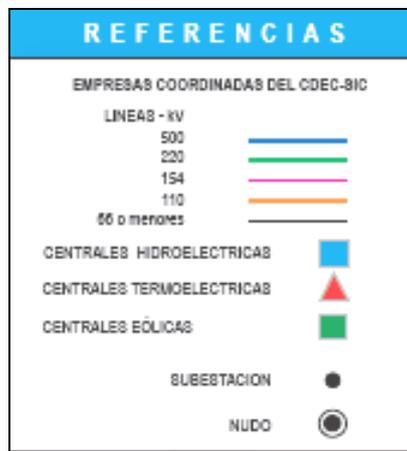


Figura 26. Sistema Interconectado Central (SIC) (CDEC-SIC, 2010 y Actualizado Mayo 2011)



Una planta desalinizadora con una capacidad de 500 l/s y que utiliza la técnica de la osmosis reversa, tiene un consumo promedio de energía de 3,4 KWh/m<sup>3</sup> (CNE, 2009)

En Chile el 99% de la matriz energética para la generación eléctrica se encuentra entre las regiones de Tarapacá y la región de Los Lagos.

En la actualidad solamente la región de Aysén, está operando con energías renovable no convencionales.

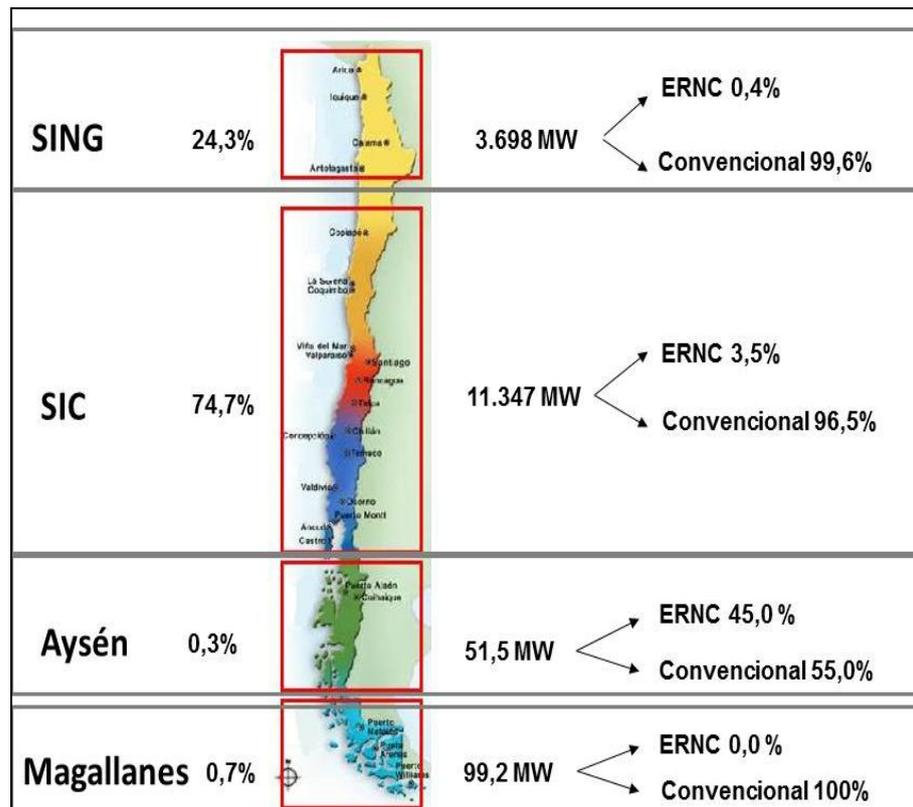
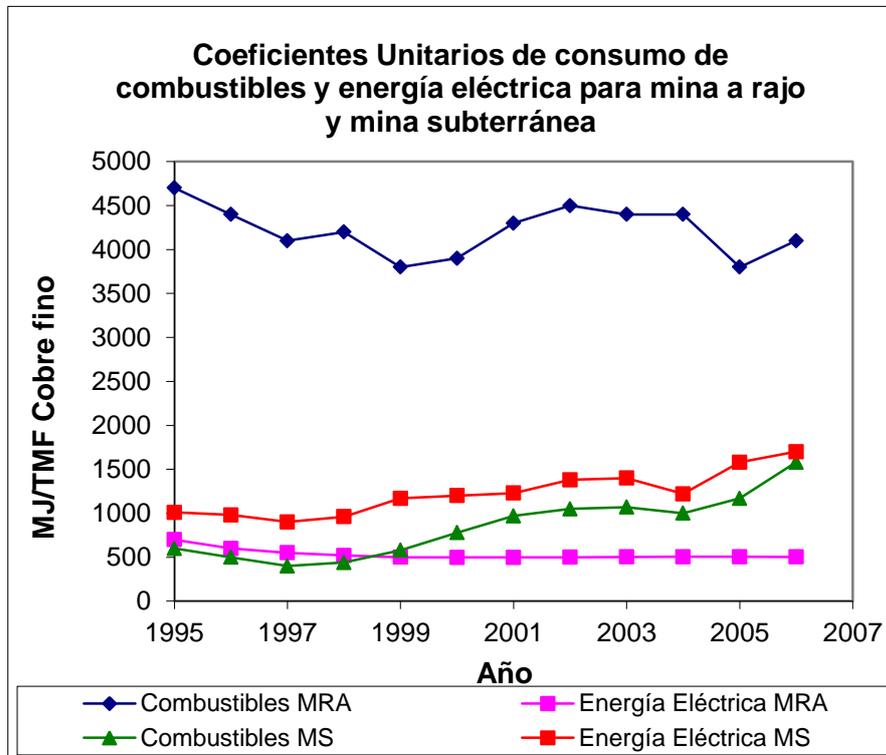


Figura 27. Capacidad Instalada de Generación Eléctrica por sistema. Capacidad instalada en Chile: 15.196 MW (Comisión Nacional de Energía CNE, 2009)

Los siguientes datos corresponden a las estimaciones de los coeficientes de consumo energético para faenas a rajo abierto y faenas subterráneas.

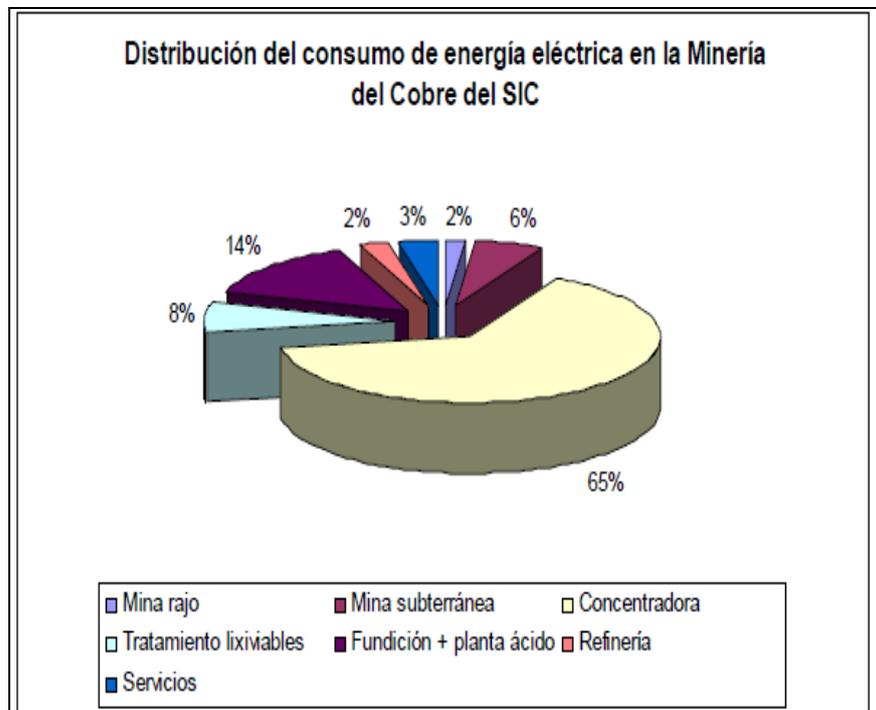


**Gráfico 18. Coeficientes de consumo eléctrico y de combustible en MRA y MS, en mineras de Chile (Adaptación propia a partir de datos de COCHILCO 2006)**

Entre los años 1996 y 2006 la demanda del consumo de combustible por parte de las mineras a rajo abierto en función de los coeficientes unitarios fue mayor que el consumo de energía eléctrica mismo período, algunas variables: distancia de transporte de mineral, la razón lastre/mineral que demanda de luego mayor actividad operativa en los equipos tanto de

perforación y sobre todo en los asociados a carguío y transporte.

Sin embargo, se da una condición inversa en las faenas mineras subterráneas puesto que el consumo de energía eléctrica es superior al de combustibles, situación que quedaría explicada por la demanda de este primer tipo de energético en la necesidad de cubrir los problemas de ventilación, aire comprimido y otras actividades asociadas a este tipo de faenas, y que en general en ambos casos muestran un alza entre los periodos 1996-2006.



**Gráfico 19. Demanda de Energía Eléctrica y Seguridad y Abastecimiento para la Minería de Cobre. (CDEC-SIC, 2007)**

En un estudio realizado en la minería del cobre se analizó los potenciales de mejoramiento de la eficiencia en el uso de la

energía, mediante el uso de indicadores energéticos para la definición de metas a partir del control en tiempo real de la operación de las distintas etapas del proceso de concentración de los minerales de cobre. (PRIEN, 2000)

El año 1994 se promulgo la Ley 19.300 que establece las Bases Generales de Medio Ambiente La ley N 19.300 sobre Bases Generales Del medio Ambiente en su título II, contiene siete párrafos que van del artículo 6° al 50° que establecen y regulan los instrumentos de gestión ambiental que pueden ser utilizados para lograr los objetivos de calidad ambiental deseados por la sociedad Chilena. Estos instrumentos son:

- La educación e investigación;
- El sistema de evaluación de impacto ambiental (SEIA);
- La participación de la comunidad;
- Las normas de calidad ambiental y sobre preservación de la naturaleza y conservación del patrimonio ambiental naturaleza y conservación del patrimonio ambiental;
- Las normas de emisión; los planes de manejo, prevención o descontaminación, y
- La participación ciudadana.

Estos instrumentos de gestión ambiental dotan al estado de mecanismos para administrar y regular el uso de los componentes del medio ambiente. De todos aquellos instrumentos es fundamental el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (artículos 8° al 31°) que se realizan a los

proyectos de inversión públicos y privados. Esta ley indica el tipo de proyectos que deberá someterse a evaluación de su impacto ambiental y señala los criterios para determinar si el proyecto deberá efectuar una Declaración de Impacto Ambiental (DIA), fórmula rápida aplicable a proyectos cuyas actividades están suficientemente reguladas por normas, o si deberá elaborar un Estudio De Impacto Ambiental (EIA), documento más complejo, aplicable fundamentalmente a grandes proyectos de inversión, que pueden tener un impacto en el medio ambiente y cuyos potenciales efectos no están regulados en su totalidad o dependen de apreciaciones de carácter subjetivos. Las disposiciones pertinentes indican la forma y el proceso para clarificar las DIA y los EIA, las instancias de participación ciudadana en dicho proceso, los plazos existentes para la autoridad para pronunciarse, la coordinación que es necesario aplicar para materializar el concepto de “ventanilla única” en el otorgamiento de los permisos de carácter ambiental, las condiciones que obligan a aprobar a rechazar una DIA o un EIA, los mecanismos de reclamación de las decisiones de la autoridad. Con todo, el SEIA no entrara en vigencia mientras no se dicte el reglamento que esta ley prevé.

Por otra parte, y atendiendo a lo establecido por el Estado en cuanto a la modernización de su legislación ambiental, el año 2010 entró en vigencia la Ley N° 20.417 que creó el Ministerio del Medio Ambiente, el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) y la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), y la Ley N°

20.473 que otorga transitoriamente las facultades fiscalizadoras y sancionadoras a la Comisión Evaluadora que en cada región es presidida por su respectivo intendente. En este sentido SERNAGEOMIN, además cuenta con la competencia ambiental, participa en evaluación de proyectos minero y no mineros sometidos al Sistema de Evaluación Ambiental, como la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) o Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA), y en el seguimiento de las Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA). Por tanto, ejerce las funciones tanto de evaluación como de fiscalización ambiental.

Año	Evaluaciones Generadas en el SEIA			
	EIA	DIA	Ad + ICE	Total Revisiones
2001	64	179	139	382
2002	42	178	173	393
2003	30	151	154	335
2004	20	222	174	416
2005	37	245	212	494
2006	28	289	212	529
2007	33	347	273	653
2008	44	341	302	687
2009	35	312	286	633
2010	27	302	313	642

**Tabla 16. Evaluaciones generadas por el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) 2001-2010. (SERNAGEOMIN, 2010)**

#### **4.4. Consideraciones finales del capítulo**

La minería del Cobre en Chile es gran demandante de los recursos hídricos. Particularmente en las regiones comprendidas entre la primera y cuarta por encontrarse en una zona árida-semi árida, bajo esta situación los indicadores del recuso no son auspiciosos, ya que la escasez hídrica es baja del orden de poco más de 800 m<sup>3</sup>/háb./año, muy por debajo del promedio a nivel país.

La región necesita al sector minero para su desarrollo, pero es una dificultad sostener los costos operativos por falta de insumo. Algunas alternativas que se están comenzando a estudiar es el uso de agua desalada, pero los costos son muy elevados. Otra complicación es que los yacimientos a medida que van evolucionando en sus niveles de extracción la ley del mineral comienza a disminuir cada vez, aproximándose a la ley de corte, por tal ley se entiende como aquella que es mínima para que el yacimiento pueda cubrir sus costos operacionales, además se debe considerar las distancias de transporte sobre todo en las empresas mineras que realizan sus operaciones a rajo abierto. Sin embargo, con la finalidad de disminuir el efecto de las variables disponibilidad de agua, transporte, entre otras variables operativas, las empresas más el norte trabajan en su plan piloto para utilizar directamente agua extraída del mar, condición que podría facilitar el acceso al agua en mayor volumen para los distintos tratamientos mineros que se realizan en las mineras de estas regiones.

#### 4.5. Referencias consultadas

[1] AYALA, CABRERA Y ASOCIADOS LTDA., INGENIEROS CONSULTORES *“Estimaciones de la demanda de agua y proyecciones futuras. Zona I Regiones I a IV”* 2007. Informe final (S.I.T. N° 122). Dirección General de Aguas, Chile.

[2] BROWN E., *“Taller Nacional- Chile, hacia un plan de gestión integrada de los recursos hídricos: Uso eficiente de los recursos hídricos”*, CEPAL Naciones Unidas en Santiago, 2003, 22 pp.

[3] CENTRO DE DESPACHO ECONÓMICO DE CARGA DEL SISTEMA INTERCONECTADO DEL NORTE GRANDE (CDEC-SING), *“Estadística de Operación 2000-2009.”*, 2010, 60 pp.

[4] CENTRO DE DESPACHO ECONÓMICO DE CARGA DEL SISTEMA INTERCONECTADO CENTRAL (CDEC-SIC), *“Estadística de Operación 2000-2009.”*, 2010, 127 pp.

[5] CEPAL Taller Nacional – Chile *“Hacia un plan de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos”*. 2003.

[6] COMISIÓN CHILENA DEL COBRE (COCHILCO). Gestión de recursos hídricos y la Minería en Chile. *“Proyección en el consumo de agua en la minería del cobre 2009-2020”*.

Dirección de políticas públicas 2009, Registro de propiedad intelectual n°185340, pp.10-15.

[7] COMISIÓN CHILENA DEL COBRE (COCHILCO) “*Gestión de Residuos Industriales Líquidos Mineros y Buenas Prácticas 2002*”. Acuerdo Marco de Producción Limpia Sector Gran Minería. 2002 Chile

[8] COMISIÓN CHILENA DEL COBRE. (COCHILCO). “*Anuario Estadísticas del Cobre y Otros Minerales 1986-2005*” 2006 Chile.

[9] COMISIÓN CHILENA DEL COBRE (COCHILCO), “*Buenas prácticas y uso eficiente del agua en la industria minera.*”, 2005, 73 pp.

[10] COMISIÓN CHILENA DEL COBRE (COCHILCO). “*Dirección de Estudios y Políticas Públicas, consumo de agua en la Minería del Cobre, 2010*”. Registro de Propiedad Intelectual n°21180, 2010 pp. 3-10.

[11] COMISIÓN CHILENA DEL COBRE (COCHILCO), “*Consumo de agua en la minería del cobre 2009.*”, 2010, RPI: N° 198544, 13 pp.

[12] COMISIÓN CHILENA DEL COBRE (COCHILCO), *“Consumo de agua en minería del cobre 2010.”*, 2011, RPI: N° 21180, 33 pp.

[13] COMISIÓN NACIONAL DE ENERGIA (CNE) *“Modelación sobre la base de escenarios de largo plazo, para el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) y el Sistema Interconectado Central (SIC)”*, 2009.

[14] COMISIÓN CHILENA DEL COBRE (COCHILCO), *“Consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero de la minería del cobre de Chile en 2005.”*, 2006, RPI: N° 181718, 45 pp.

[15] CHILE. Ley N°19.300. Bases Generales de Medio Ambiente.1994. Arts. 6°- 50°

[16] CHILE Ley N° 20.473.Art.n°9. Facultades sancionadoras y fiscalizadoras. Ministerio del Medio Ambiente. Chile.

[17] DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA) *“Derechos, extracciones y tasas unitarias de consumo de agua en el sector minero. Regiones Centro-Norte de Chile”*. Proust Consultores, 2008, S.I.T.N°146, pp.10-18.

[18] IAP. *“Estimación preliminar del potencial de la eficiencia en el uso de energía eléctrica al abastecimiento del sistema interconectado central”*. Universidad de Chile, 2008, pp.. 40-45.

[19] MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP) *“Análisis de iniciativas de plantas desalinizadoras dentro del sistema de concesiones”*. 2009 Chile.

[20] MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP), DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA), *“Política actual de los recursos hídricos en Chile, desafíos para la sustentabilidad”*, 1999, 172 pp.

[21] PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE (PUC). *“Economía de minerales, precio, costos, productividad en la minería del cobre”*, Centro de Minería PUC, 2007. 69 pp.

[22] PRIEN. *“Proceso de implementación del proyecto de uso eficiente de energía en CODELCO-Chile”* 2000 Chile.

[23] REVISTA MINERIA CHILENA, *“Generando ahorros en agua y energía”*, 2008, n°324.

[24] SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. (SERNAGEOMIN) *“Anuario de Minería de Chile 2010. Ministerio de Minería”*. 2010, pp.119-203.

## **Capítulo V**

### **Análisis del Sector Agrícola**

#### **5.0. Propósito del capítulo**

El presente capítulo tiene por propósito mostrar un análisis de la disponibilidad de recursos hídricos y la eficiencia para su uso en regadío en la región de Coquimbo.

Separado en las 3 cuencas cordilleranas Elqui, Limarí y Choapa y las demás cuencas costeras; las cuales cuentan con abastecimiento de ríos, embalses, canales de riego, pozos, zonas de desmarque y acuíferos.

En la región hay restricciones y prohibiciones en algunos acuíferos. La DGA ha otorgado derechos de aprovechamiento en las zonas con restricción, los cuales puede dejar sin efecto al constatar perjuicios. (Ley N° 1.112 art. 66,2010)

En el estudio los pozos considerados fueron todos los que tenían derechos comprometidos, derechos otorgados y derechos en trámite.

#### **5.1. Introducción**

La Región de Coquimbo posee un ecosistema muy frágil, debido a su condición de zona de transición entre el desierto y el área de clima mediterráneo, lo que la hace más vulnerable al cambio climático. De hecho, el Norte Chico, y en particular la Región de Coquimbo, junto a una zona del occidente africano

el área del mundo donde más han bajado las precipitaciones en el último siglo, con un descenso cercano al 50%. (<http://www.inia.cl>, 2007)

Esta condición no ha sido obstáculo para el sector agrícola de la región. La agricultura en la IV región desde hace siete años a la fecha ha desarrollado y diversificado considerablemente los grandes rubros agrícolas destinados a la producción. (viñas, cítricos, paltos, chirimoyos). Esta modernización ha favorecido a los pequeños agricultores en las provincias del Choapa, Limari y Elqui.

## **5.2. Disponibilidad de agua en el sector agrícola**

Las actividades humanas generan escasez de agua de tres maneras: por el crecimiento de la población, por la utilización errónea del agua y por la falta de equidad en el acceso a ella. (FAO, 2006) clasifica a nivel mundial cuatro zonas el para evaluar la escasez del agua, estas son poca o ninguna escasez del agua; escasez material del agua; proximidad a la escasez del agua y escasez económica del agua.

Cada país tiene una cantidad de recursos hídricos en teoría conocido, definido como el caudal medio anual de los ríos y acuíferos generados por la precipitación. Debido al crecimiento la repercusión sobre el per cápita sobre el recurso es notorio, solamente basta considerar algunas variables como la demanda para consumo humano y la demanda sobre alimentos y/o productos para la subsistencia cuyo principal es el agua. A partir de este punto se han generado conflictos y escenario

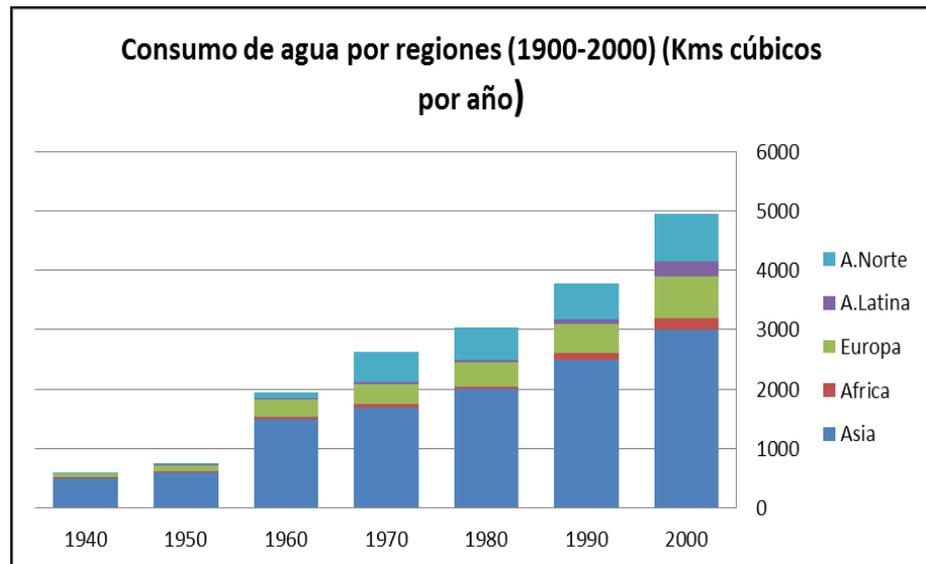
controversiales en busca de una utilización eficiente que sea capaz de equiparar el nivel de demanda en la actualidad. (Homer-Dixon, et.al, 1993)

Las nuevas tecnologías relacionadas con el tratamiento de aguas se presentan como una buena alternativa. Estas tecnologías aportan desarrollos basados en la innovación permitiendo obtener agua segura resguardando su composición química y microbiológica, además de un proceso de tratamiento de aguas residuales efectivo y de calidad. (INGENIARE, Revista chilena de Ingeniería, 2009)

Los recursos hídricos a nivel mundial son asignados en diversas actividades 38% para regadío, 18% producción hidroeléctrica, 14% abastecimiento de agua, 14% control de avenidas, 8% actividades recreativas, 3% navegación y pesquerías y el resto a otros fines (Berga, 2008)

La demanda de recursos hídricos en las últimas dos décadas se ha debido al explosivo crecimiento económico, acompañado de un crecimiento de la población en algunos países asiáticos; (China e India principalmente) además de Estados Unidos y los países de Europa.

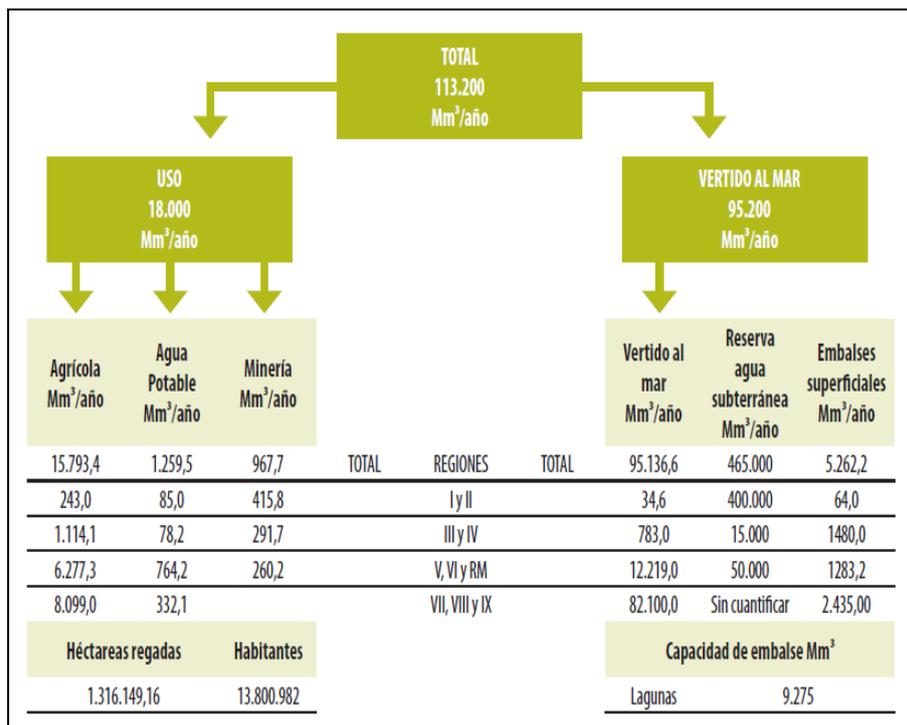
En Chile prácticamente todos los sectores involucrados coinciden que el abastecimiento de agua a nivel superficial es insuficiente y todos los derechos de aprovechamiento están asignados, quedando entonces disponible los cuerpos subterráneos para ser utilizados en los procesos.



**Gráfico 20. Consumo de agua por regiones (FAO, 1993)**

(Peralta, 2011) los acuíferos tienen recarga y descarga. La recarga se realiza por dos vías una natural, que comprende la infiltración por lluvias, la infiltración desde los lechos de los ríos y por escurrimiento subterráneo de acuíferos vecinos. La recarga artificial mediante sistema de riego.

En cuanto a la descarga, tiene las siguientes maneras: descarga subterráneas hacia un acuífero vecino, descarga hacia un cauce superficial, descarga localizada en vertiente y descarga subterránea directamente al mar.



**Figura 28. Esquema vertido al mar, (Peralta, 2011. ALHSUD. Cit., DGA (2003-2007). Minería DGA 2008, embalses superficiales. CNR 2005, SII 2006, Habitantes I – IX regiones, INE Censo 2002.)**

La cuarta región pertenece a un 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

Para conocer con exactitud la eficiencia del uso del agua, es necesario contar con tres herramientas técnicas de alto nivel. Un Sistema de Información Geográfico (SIG), un modelo

integrado superficial-subterráneo de simulación hidrológica y la evaluación económica, para cada una de las tres cuencas cordilleranas presentes en la región de Coquimbo. (DGA, 2010)

ESTADO DE EMBALSES Al 31 de Agosto 2010 (millones de m <sup>3</sup> )						
EMBALSE	REGION	CUENCA	CAPACIDAD MAXIMA	PROMEDIO AGOSTO	2009	2010
Lautaro	III	Copiapó	35	13	7.3	5.6
Santa Juana	III	Huasco	166	126	149	131
La Laguna	IV	Elqui	40	25	37	27
Puclaro	IV	Elqui	200	136	194	137
Recoleta	IV	Limarí	100	69	100	74
La Paloma	IV	Limarí	748	432	406	273
Cogotí	IV	Limarí	150	85	54	28
El Yeso	M	Maipo	256	176	165	186
Rapel	VI	Rapel	695	527	522	419
Colbún	VII	Maule	1544	1172	970	968
Lag. Del Maule	VII	Maule	1420	951	714	726
Bullileo	VII	Maule	60	54	60	48
Digua	VII	Maule	220	200	216	180
Ralco	VIII	Bio-Bio	1174	---	934	463
Lago Laja	VIII	Bio-Bío	5582	3323	1885	1202

**Tabla 17. Estado de los embalses III y VIII regiones de Chile, y comparación entre los períodos 2009-2010. (DGA, 2010)**

Los registros de la Dirección General de Aguas muestran que solamente el 13,3% de los embalses superaron el nivel del año 2009. El Yeso ubicado en la región metropolitana en 12% y El Maule en alrededor de un 2%; el resto de los embalses registraron niveles deficitarios principalmente debido a las escasas precipitaciones en aquellas regiones.

### **5.2.1. Disponibilidad de aguas Sector Elqui**

La cuenca de Elquí es una de las tres cuencas cordilleranas que se tiene en la región. Sin embargo, más allá de protegerla, ocurren impacto antrópicos sobre ésta, como por ejemplo: la

actividad minera, la extracción de áridos y la basura de los centros poblados. (Proyecto CAMINAR. U.E. Grupo de trabajo de cuencas, 2007)

Cuenca Río Elqui					Límites de los segmentos	
SubCuenca	Cauce	REF.	SubSeg.	Código	Inicia en :	Termina en:
0430	Río del Toro	TO	1	0430-TO-10	Confluencia Río Malo y Río Vacas Heladas	Confluencia Río de La Laguna
0430	Río Malo	MA	1	0430-MA-10	Naciente Río Malo	Est. Calidad Río Malo después tranque de relaves minera
0430	Río Malo	MA	2	0430-MA-20	Est. Calidad Río Malo después tranque de relaves minera	Confluencia Ríos Vacas Heladas
0430	Río Vacas Heladas	VA	1	0430-VA-10	Naciente Río Vacas Heladas	Confluencia Río Malo
0430	Río La Laguna	LL	1	0430-LL-10	Naciente en presa Embalse La Laguna	Confluencia Río Del Toro
0430	Río Incahuaz	IN	1	0430-IN-10	Naciente Río Incahuaz	Confluencia Río Turbio
0430	Río Turbio	TU	1	0430-TU-10	Confluencia Río del Toro y Río La Laguna	Confluencia Río Incahuaz
0430	Río Turbio	TU	2	0430-TU-20	Confluencia Río Incahuaz	Est. Calidad Río Turbio en Guanta
0430	Río Turbio	TU	3	0430-TU-30	Est. Calidad Río Turbio en Guanta	Est. Calidad Río Turbio en Varillar
0430	Río Turbio	TU	4	0430-TU-40	Est. Calidad Río Turbio en Varillar	Límite de subcuenca
0431	Río Cochiguaz	CO	1	0431-CO-10	Naciente Río Cochiguaz	Confluencia Río Claro
0431	Est. Derecho	ED	1	0431-ED-10	Naciente Estero Derecho	Est. Calidad Estero Derecho en Alcohuaz
0431	Río Claro	RC	1	0431-RC-10	Est. Calidad Estero Derecho en Alcohuaz	Confluencia Río Cochiguaz
0431	Río Claro	RC	2	0431-RC-20	Confluencia Río Cochiguaz	Confluencia Río Turbio
0432	Río Elqui	EL	1	0432-EL-10	Confluencia Río Claro y Turbio	Est. Calidad Río Elqui en Algarrobal
0432	Río Elqui	EL	2	0432-EL-20	Est. Calidad Río Elqui en Algarrobal	Entrada Embalse Puclaro
0432	Río Elqui	EL	3	0432-EL-30	Salida Embalse Puclaro	Est. Calidad Río Elqui en Almendral
0432	Río Elqui	EL	4	0432-EL-40	Est. Calidad Río Elqui en Almendral	Límite de Subcuenca
0433	Río Elqui	EL	1	0433-EL-10	Límite de Subcuenca	Est. Calidad Río Elqui en Puente las Rojas
0433	Río Elqui	EL	2	0433-EL-20	Est. Calidad Río Elqui en Puente las Rojas	Desembocadura

**Tabla 18. Segmentación adoptada en los cauces seleccionados de la cuenca del Río Elquí. (DGA, 2004)**

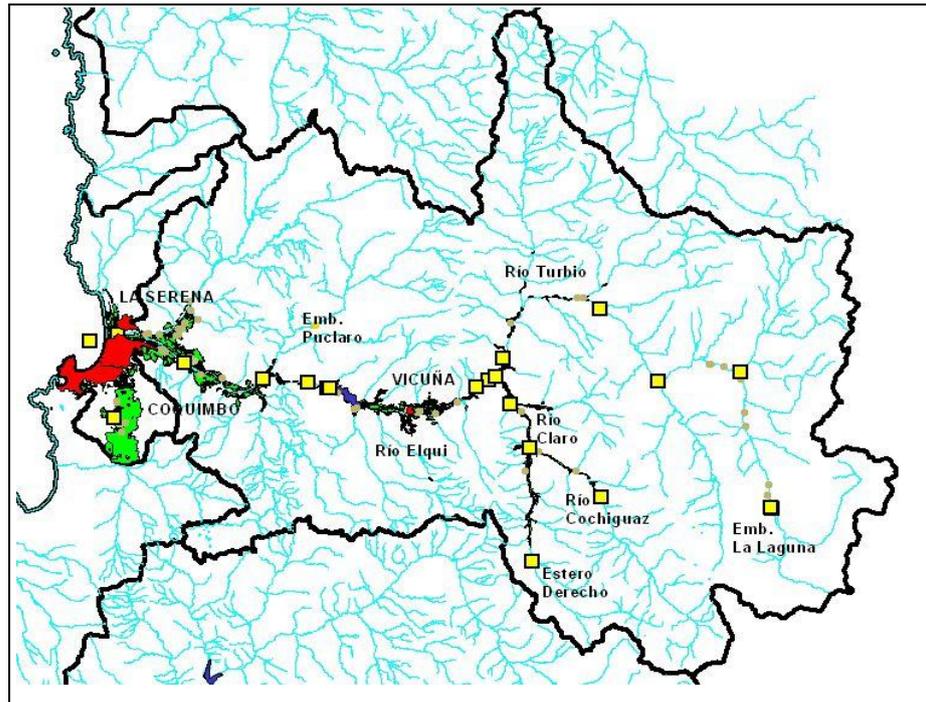


Figura 29. Cuenca del Elqui. (CAZALAC, 2006)

El Centro de Estudios para Zonas Áridas y Semiáridas para Latinoamérica y El Caribe (CAZALAC, 2006), realizó un estudio, considerando 47 matrices para la cuenca del Elqui.

El siguiente esquema representa la topología de hidrológica de la cuenca, tales como:

- 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



Además existen aportaciones de caudales a través de sub cuencas pluviales y nivales.

Subc	NA	AREA	Si	Ezi	A	B	Pmin	Hmax	K	FC	ALFA	Smin	Scrit	Sec
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 km <sup>2</sup> .
Si	Grado de Saturación Inicial en [%/1]
Ezi	Flujo Subterráneo Inicial en [m <sup>3</sup> /s]
A	Coefficiente que multiplica el dato de lluvia con el fin de obtener la lluvia media sobre la cuenca.
B	Coefficiente 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
Sec	Grado de humedad correspondiente a capacidad de campo.

**Tabla 19. Aportes de sub cuencas pluviales Sector Elqui. (CAZALAC, 2006)**

En relación a las aguas subterráneas disponible en este sector existen acuíferos, pozos, canales y zonas de desmarques que aportan suministros a los cultivos de la zona.

Sin embargo, en la actualidad existen áreas de restricción así como zonas de prohibición de algunos acuíferos pertenecientes a la cuarta región de Chile, según el siguiente mapa geográfico. La Dirección General de Aguas podrá otorgar provisionalmente derechos de aprovechamiento en aquellas zonas que haya declarado de restricción. En dichas zonas, la citada Dirección limitará prudencialmente los nuevos derechos pudiendo incluso dejarlos sin efecto en caso de constatar perjuicios a los ya constituidos. (Art. 66. Ley N° 1.112, 2010)

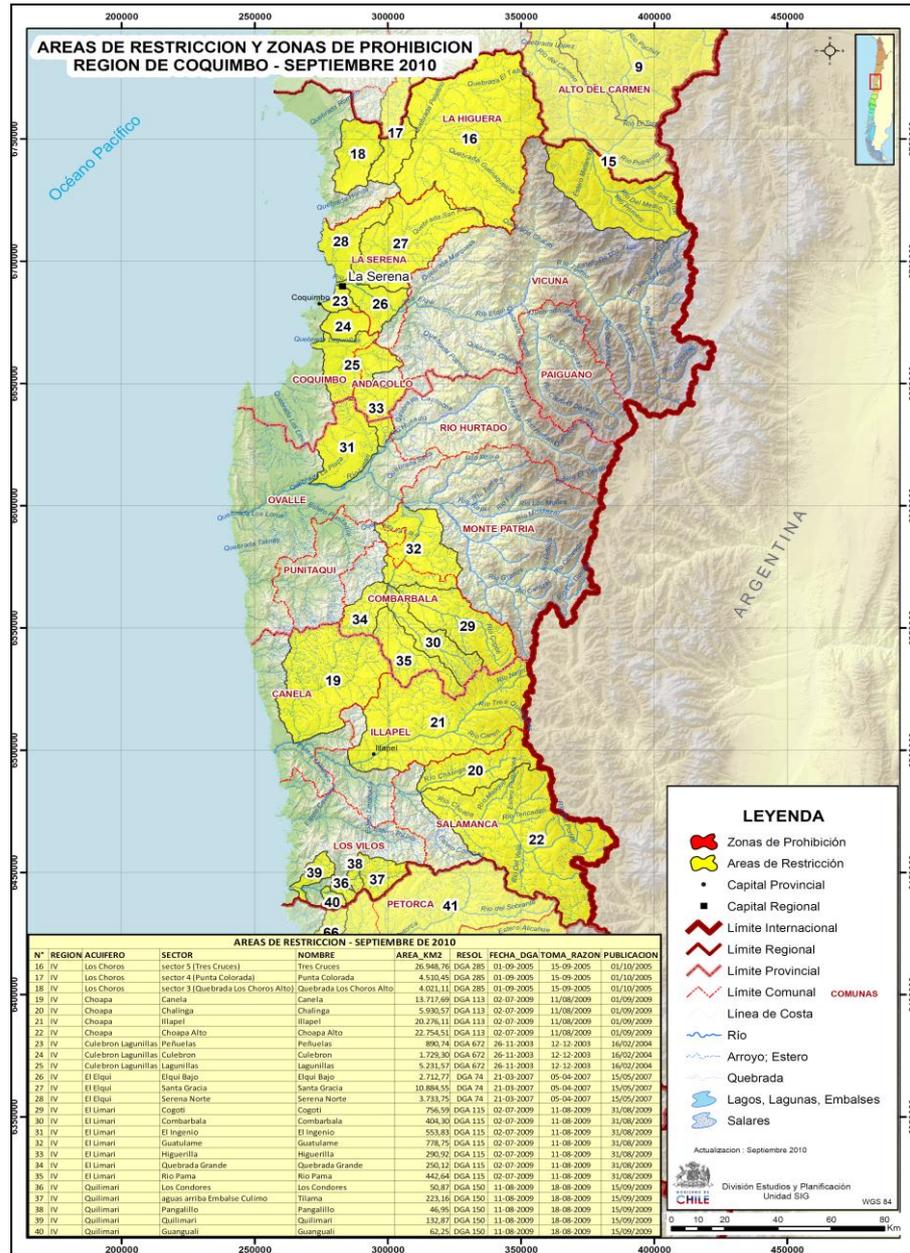
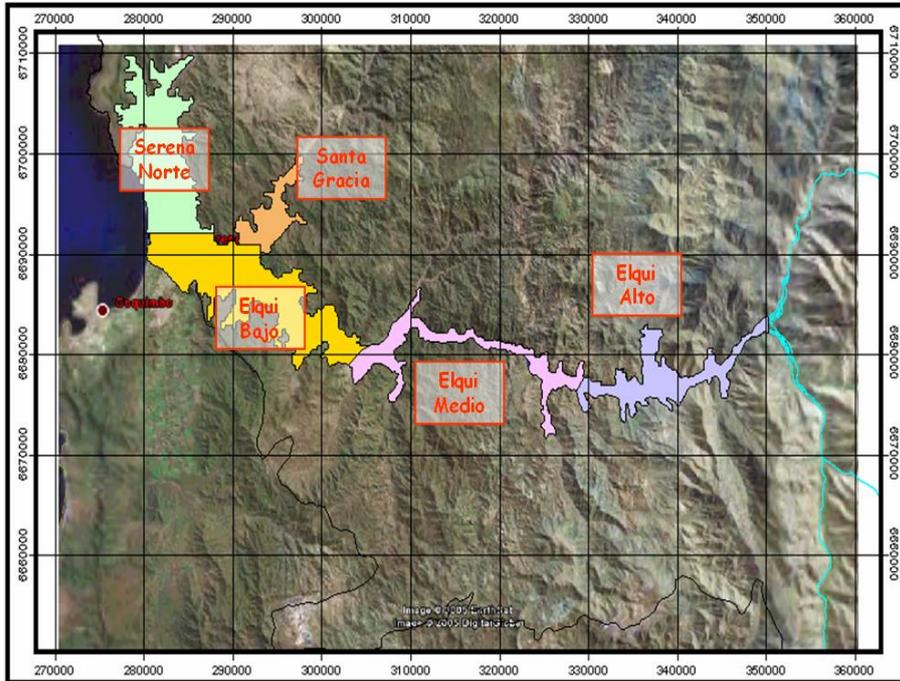


Figura 31. Áreas de restricción y zona de prohibición de acuíferos cuarta región de Coquimbo. Administración de Recursos Hídricos. (DGA, 2010)

Desde el punto de vista de zonificación hidrogeológica, se pueden encontrar las siguientes zonas: Serena Norte, Santa Gracia, Elqui Bajo, Elqui Medio y Elqui Alto.

La zonificación queda representada, según la siguiente figura.



**Figura 32. Sectorización de los acuíferos comprendidos en la cuenca del sector Elqui. (CAZALAC, 2006)**

En el caso de los *acuíferos* los límites fueron trazados definiendo el contacto roca-relleno, y fueron suavizados a partir de imágenes satelitales para asegurar que los contornos correspondieran a acuíferos relevantes (CAZALAC, 2006)

Los parámetros que permitieron caracterizar los acuíferos del sistema fueron obtenidos, mediante el Estudio Integral de Riego Valle de Elqui. INA Ingenieros Consultores, Ipla Ltda., Noguera y Asoc, Agroingeniería.

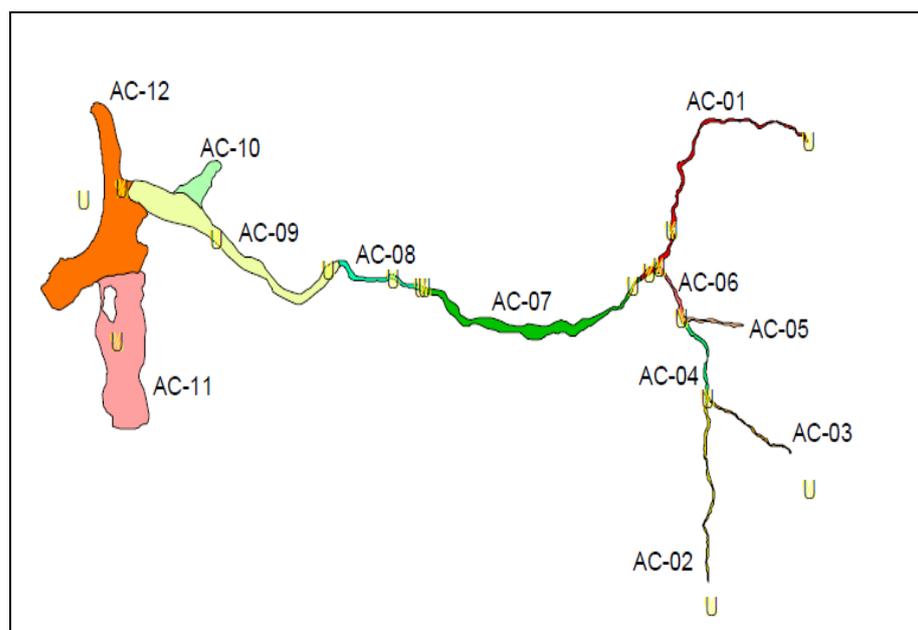


Figura 33. Acuíferos Sector Elqui. (CAZALAC, 2006)

La caracterización correspondiente a los acuíferos del sector es la siguiente:

Código del Acuíf	Nombre del Acuífero	Volumen Inicial de simulación (m3)	S (adimensional)	Espesor sat secc entrada (m)	Espesor sat secc salida (m)	Perm Entada Ke (m/mes)	Perm Salida Ks (m/mes)	Grado Entrada ie (°/l)	Grado Salidas is (°/l)	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	0333

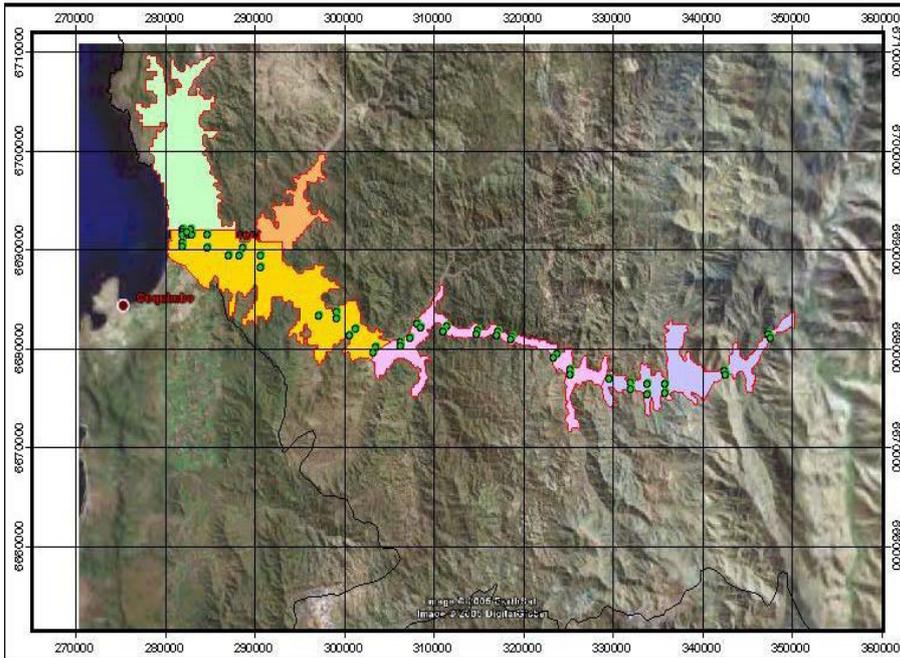
**Tabla 20. Caracterización de los acuíferos Sector Elqui. (CAZALAC, 2006)**

La información relacionada con los pozos del sistema de los registros de derechos otorgados y en trámite en 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 fueron todos aquellos que tiene derechos comprometidos, es decir, aquellos con derechos otorgados y los con derechos en trámite.

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
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	Unión de Centros Bíblicos
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 Transportes 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	0,039	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

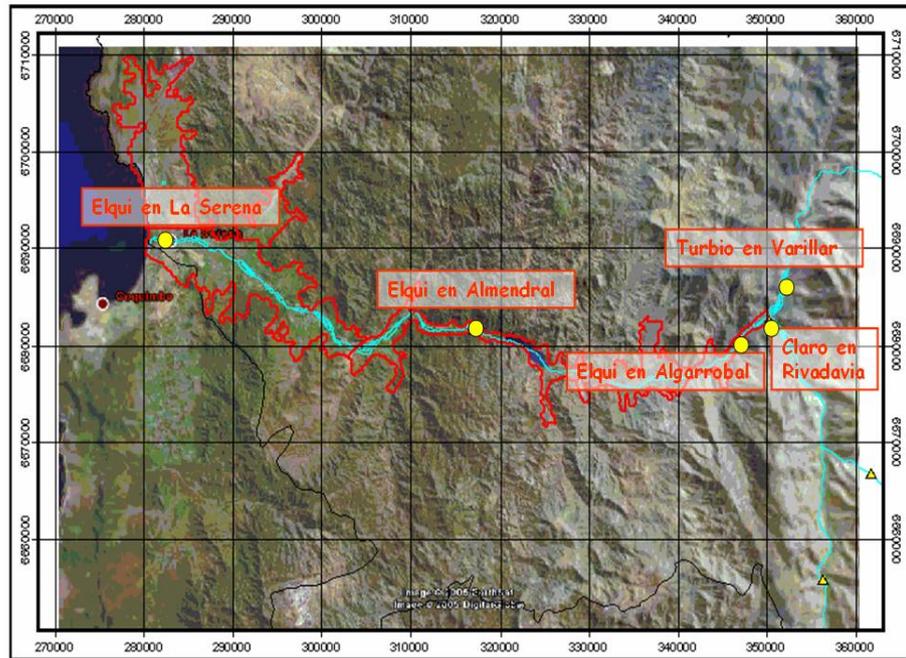
**Tabla 21. Pozos por tipo de uso y por acuífero Sector Elqui. (CAZALAC, 2006)**



**Figura 34. Distribución de los pozos en el Sector Elqui. (CAZALAC, 2006)**

Mediante la referencia del “Modelo de Simulación Mensual para la operación del sistema de recursos hidráulicos del río Elqui, Provincia del Elqui, Cuarta Región”, estudio encargado a la empresa consultora Luis Arrau del Canto Ingenieros Consultores.

En relación a las estaciones fluviométricas del sector de Elqui, se presentan las siguientes:



**Figura 35. Distribución de estaciones fluviométricas en la Cuenca del Elqui. (CAZALAC, 2006)**

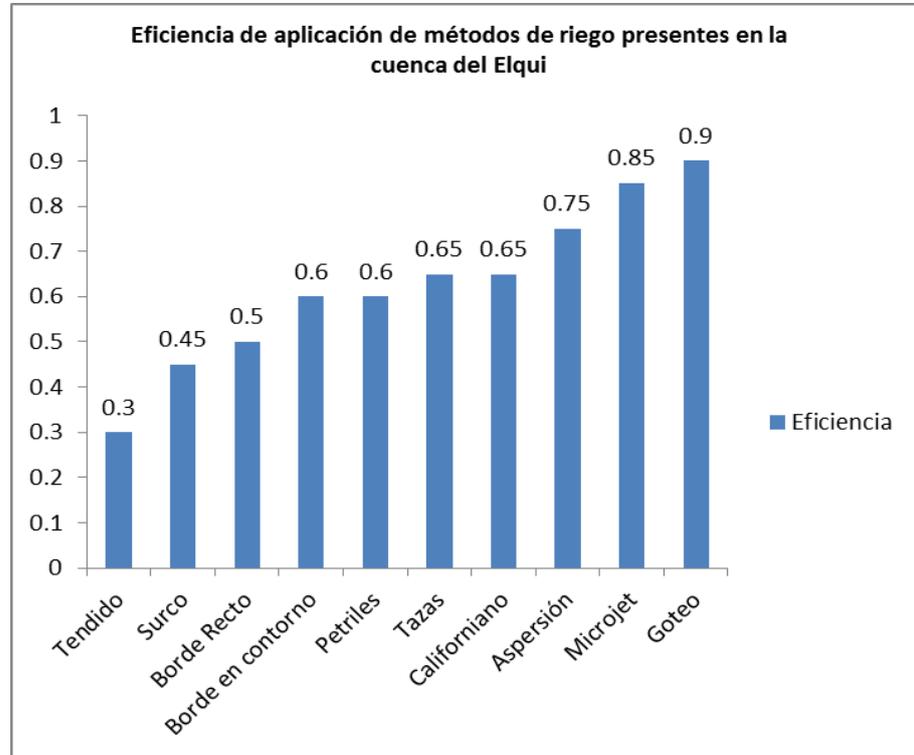
El sistema de riego del Río Elqui y sus afluentes está compuesto por dos embalses conectados entre sí y de una extensa red de 126 canales de riego que captan sus aguas por medio de 117 bocatomas y captaciones de elevación mecánica.

Las aguas superficiales de donde extraen gravitacionalmente los canales corresponde a los ríos Turbio, Cochiguaz, Claro y Elqui específicamente (Morales, 2005.)

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	Total, Sn Guillermo Bajo, Alto Q	981
CA-05	ZR06 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 Pangué	63
CA-010	ZR-08 y ZR-09 desde NO6-3	Maitén o Delirio	507
CA-011	ZR-09 desde NO6-3	Puclaro 1 y 2	38
CA-012	ZR-08 desde NO6-4	Quiscal y Polla Alta	35
CA-013	ZR-08 y ZR-09 desde NO6-4	Casuto y Marquesa	379
CA-014	ZR-09 desde NO6-4	La Calera	622
CA-015	ZR-09 desde NO6-5	Titón - Culcatán	2978
CA-016	ZR-09 y ZR-10 desde NO6-5	San Pedro Nolasco – El Romero	1900
CA-017	ZR-09 y ZR-11 desde NO6-5	Bellavista	3677
CA-018	ZR-09 y ZR-12 desde NO6-6-5	La Pampa	583
CA-019	ZR-12 desde NO6-5	Herradura	1150
CA-020	ZR-12 desde NO6-6	Callejas y Cruz del Molino	1479

**Tabla 22. Canales Matrices Sector Elqui. (CAZALAC, 2006)**

Algunos estudios realizados en la provincia del Elqui, en relación a la eficiencia de los métodos de riego mostraron que la mayor eficiencia se obtuvo en el goteo en cinta, según el siguiente gráfico.



**Gráfico 21. Eficiencia en la aplicación de distintas técnicas de riego en la cuenca del Elqui. (Adaptación propia a partir de datos CAZALAC, 2006)**



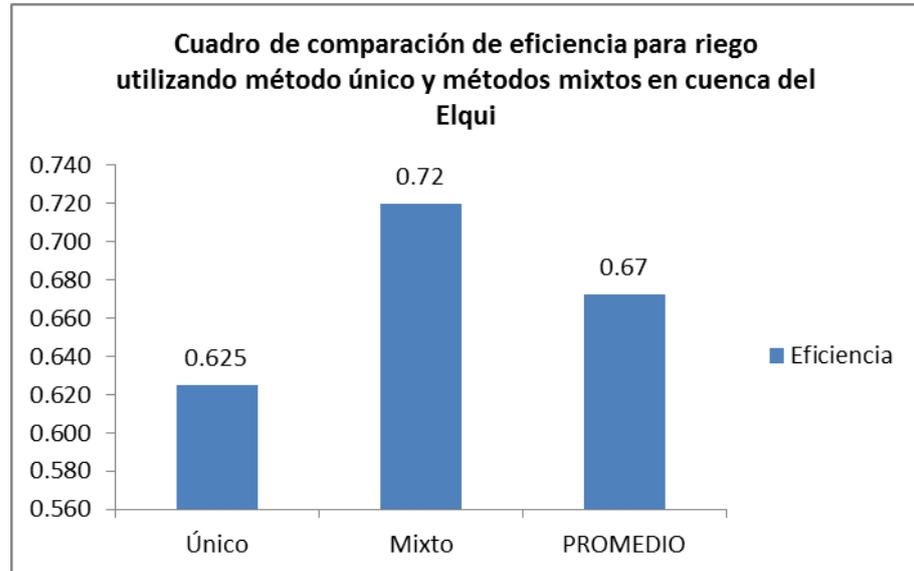
**Gráfico 22. Eficiencia en la aplicación de métodos mixtos de riego en la cuenca del Elqui. (Adaptación propia a partir de datos CAZALAC, 2006)**

En general, el promedio de eficiencia en los métodos de aplicación en la cuenca del Elqui es de 62,5%. Sin embargo, optar por una u otra aplicación depende de un análisis multifactorial previo.

Para este caso se realizó también por parte de expertos un análisis destinado a estudiar la eficiencia en la aplicación de técnicas de riego mixtas en la cuenca del Elqui, los resultados obtenidos en la gráfica siguiente, prácticamente la mitad de los métodos superan el promedio de eficiencia en la aplicación mixta de riego, cuyo promedio de eficiencia es de 72%.

Finalmente realizando una comparación entre la eficiencia promedio utilizando solamente un método determinado de

riego, con respecto a la aplicación de métodos mixtos para riego, este último mejora en casi un 10% la eficiencia de riego.



**Gráfico 23. Comparaciones de eficiencia de para riego por métodos único y mixtos, cuenca del Elqui. (Adaptación propia a partir de datos CAZALAC, 2006)**

El sector Agroindustrial hereda ciertas condiciones que son propias del comportamiento agronómico de la región, como son el clima, el recurso hídrico y el suelo.

En las regiones del norte de Chile, la minería extrae alrededor de 12 metros cúbicos por segundo, seguido de la empresas de agua para consumo residencial que alcanza 40 metros cúbicos, siendo la agricultura la que más demanda genera con cerca de 170 metros cúbicos por segundo.(Business Chile,2011)

Niveles de agua de los embalses de Chile(miles de metros cúbicos)					
Región	Capacidad	Promedio histórico mensual	Marzo		
			2011	2010	% variación
II	22	15	19	14	35,7
III	201	131	83	109	-23,8
IV	1.298	711	331	553	-40,2
V	95	22	3	7	-57,1
R.M.	258	200	144	227	-36,6
VI	932	579	596	483	23,4
VII	3.288	2.065	1.336	1.997	-32,4
VIII	6.839	4.102	1.838	2.664	-31,0

**Tabla 23. Niveles de agua de embalses de Chile. Regiones II hasta VIII. (Dirección General de Aguas. DGA, 2011)**

La ausencia de precipitaciones en la región ha dificultado la acumulación necesaria para regadíos de suelo de cultivo.

Los principales embalses regionales registraron volúmenes un 53% por debajo de sus niveles promedio. El Culimo y el Cogotí perdieron prácticamente toda el agua que almacenaban. La Paloma, el embalse más grande de la Región, perdió más de la mitad de su volumen, aumentándose la pérdida de volumen que se registraba durante el año pasado. El Puclaro y Corrales también perdieron volumen. El único que mantiene sus niveles históricos es el de La Laguna.

<b>Embalse</b>	<b>Uso principal</b>	<b>Promedio histórico mensual (Miles de metros cúbicos)</b>	<b>Marzo 2011 (Miles de metros cúbicos)</b>	<b>Diferencia entre Marzo 2011 y promedio</b>
La Laguna	Riego	24	24	0,00%
Puclaro	Riego	117	80	-31,62%
Recoleta	Riego	58	38	-34,48%
La Paloma	Riego	395	165	-58,23%
Cogotí	Riego	75	4	-94,67%
Culimo	Riego	2,8	0	-100,00%
Corrales	Riego	39	20	-48,72%

**Tabla 24. Niveles de agua de embalses de Chile en la Cuarta Región de Chile. (Dirección General de Aguas. DGA, 2011)**

Las condiciones de aridez y semi-aridez que prevalecen en gran parte del país aprox. 40% corresponden a regadío, muy por sobre el 13,7% en el conjunto de América latina.

Según estimaciones considerando los años 1901 a 2000, se estimó que las precipitaciones en el continente americano (América del Sur), irían disminuyendo. Situación que es comparable con mismas medidas tomadas por CEAZA. (IPCC, 2001)

Embalse	Capacidad Máxima x 10*6 (m3)	Volumen Embalsado x 10*6 (m3) 31-10-2011	Oct.-2010	% Embalsado de capacidad máxima	Entrada	Salida
					(m3/ seg)	(m3/seg )
LA LAGUNA(1)	40	30.33	30.06	76%	0.59	0.36
PUCLARO (1)	200	76.89	126.52	38%	2.06	4.80
RECOLETA (2)	100	46.01	71.15	46%	0.93	0.00
LA PALOMA (3)	750	215.46	256.20	29%	6.81	1.20
COGOTÍ (4)	140	41.50	26.36	30%	4.60	0.97
CULIMO	10	0.16	0.22	2%	S/I	S/I
CORRALES (3)	50	37.31	37.95	75%	3.46	0.16

**Tabla 25. Estado de embalses Región de Coquimbo (DGA,2010)**

**Nota:**

*La entrada y salida del Embalse La Laguna y de los Embalses Recoleta, La Paloma y Cogotí, son caudales instantáneos*

**Fuente**

*(1) Junta de Vigilancia del Río  
Elqui.*

*(2) Asociación de Canalistas del Embalse  
Recoleta.*

*(3) Dirección de Obras Hidráulicas*

*(4) Asociación de Canalistas del Embalse  
Cogotí.*

### **5.2.2. Disponibilidad de aguas Sector Limarí**

La cuenca hidrográfica del Río Limarí está ubicada en la cuarta región de Chile, la cual se sitúa al sur del Río Elqui y al norte del Río Choapa.

Los cauces que participan en ésta cuenca son los siguientes:

Rios: Limari, Cogotí, Grande, Mostazal, Hurtado, Punitaqui, Rapel, Guatulame, Tascadero, Los Molles, Pama y Combabalá.

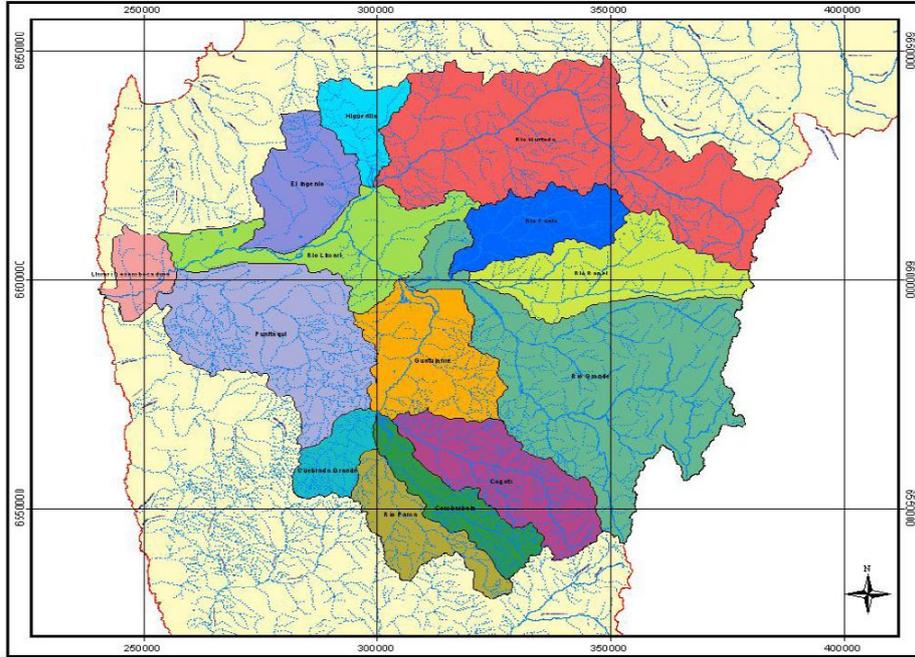
## Análisis del Sector Agrícola

Cuenca Río Limarí					Límites de los segmentos	
Subcuenca	Cauce	REF.	SubSeg	Código	Inicia en:	Termina en:
0450	Río Hurtado	HU	1	0450-HU-10	Naciente Río Hurtado	Est. Calidad Río Hurtado en San Agustín
0450	Río Hurtado	HU	2	0450-HU-20	Est. Calidad Río Hurtado en San Agustín	Est. Calidad Río Hurtado en Angostura de Pangue
0450	Río Hurtado	HU	3	0450-HU-30	Est. Calidad Río Hurtado en Angostura de Pangue	Entrada Embalse Recoleta
0450	Río Hurtado	HU	4	0450-HU-40	Entrada Embalse Recoleta	Confluencia Río Grande
0451	Río Grande	GR	1	0451-GR-10	Naciente Río grande	Est. Calidad Río Grande en Las Ramadas
0451	Río Grande	GR	2	0451-GR-20	Est. Calidad Río Grande en Las Ramadas	Confluencia Río Tascadero
0451	Río Grande	GR	3	0451-GR-30	Confluencia Río Tascadero	Confluencia Río Mostazal
0451	Río Grande	GR	4	0451-GR-40	Confluencia Río Mostazal	Confluencia Río Rapel
0451	Río Tascadero	TA	1	0451-TA-10	Confluencia Río Tascadero	Confluencia Río Grande
0451	Río Mostazal	MO	1	0451-MO-10	Naciente Río Mostazal	Est. Calidad Río Mostazal en Cuestecita
0451	Río Mostazal	MO	2	0451-MO-20	Est. Calidad Río Mostazal en Cuestecita	Confluencia Río Grande
0452	Río Los Molles	LM	1	0452-LM-10	Naciente de Los Molles	Est. Fluviométrica Río Los Molles en Ojos del Agua
0452	Río Los Molles	LM	2	0452-LM-20	Est. Fluviométrica Río Los Molles en Ojos del Agua	Est. Calidad Río rapel en El Palomo
0452	Río rapel	RA	1	0452-RA-10	Est. Calidad Río rapel en El Palomo	Confluencia del Río Grande
0452	Río Grande	GR	1	0452-GR-10	Confluencia del Río Rapel	Entrada Embalse La Paloma en Río Grande

0453	Río Combarbalá	CB	1	0453-CB-10	Naciente Río Combarbalá	Est. Calidad Río Combarbalá en Ramadilla
0453	Río Combarbalá	CB	2	0453-CB-20	Est. Calidad Río Combarbalá en Ramadilla	Confluencia Río Rama
0453	Río Pama	PA	1	0453-PA-10	Naciente Río Rama	Confluencia Río Combarbalá
0543	Río Pama	PA	2	0453-PA-20	Confluencia Río Combarbalá	Entrada Embalse Cogotí en Río Pama
0453	Río Cogotí	CO	1	0453-CO-10	Naciente Río Cogotí	Est. Calidad Río Cogotí en Fragueta
0453	Río Cogotí	CO	2	0453-CO-20	Est. Calidad Río Cogotí en Fragueta	Entrada Embalse Cogotí
0453	Río Cogotí	CO	3	0453-CO-30	Salida Embalse Cogotí	Junta Quebrada Cárcamo
0453	Río Guatulame	GU	1	0453-GU-10	Junta Quebrada Cárcamo	Entrada Embalse la Paloma
0454	Río Grande	GR	1	0454-GR-10	Salida Embalse La Paloma	Confluencia Río Hurtado
0455	Río Limarí	LI	1	0455-LI-10	Confluencia Río Hurtado y Río Grande	Confluencia Estero Punitaqui
0455	Río Limarí	LI	2	0455-LI-20	Confluencia Estero Punitaqui	Desembocadura
0455	Estero Punitaqui	PU	1	0455-PU-10	Naciente Estero Punitaqui	Est. Calidad Estero Punitaqui en Punitaqui
0455	Estero Punitaqui	PU	2	0455-PU-20	Est. Calidad Estero Punitaqui en Punitaqui	Confluencia con Río Limarí

**Tabla 26. Segmentación adoptada en los cauces seleccionados de la cuenca del Río Limarí. (DGA, 2004)**

Desde el punto de vista de zonificación hidrogeológica, se pueden encontrar las 13 zonificaciones, según la siguiente figura.



**Figura 36. Sectorización de los acuíferos comprendidos en la cuenca del sector Limarí. (CAZALAC, 2006)**

El estudio realizado identificó 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, 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.

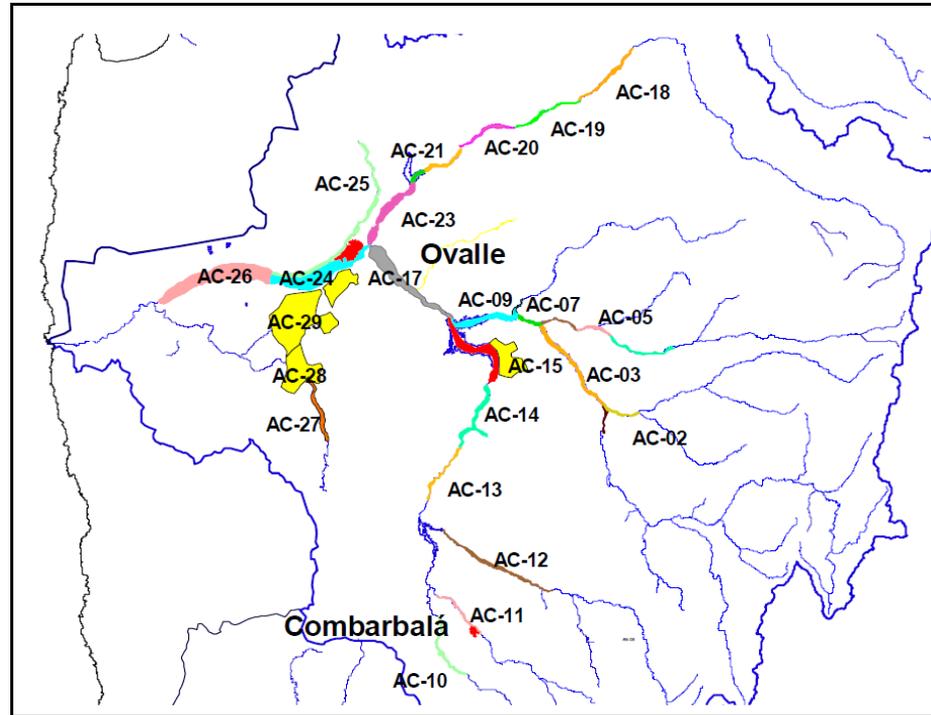


Figura 37. Acuíferos Sector Limarí. (CAZALAC, 2006)

La caracterización de los acuíferos es la siguiente:

Código	Nombre	Volumen inicial simulación (Mm3)	Coefficiente de alm. S (%1)	Espesor saturado estrato 1 (m)	Espesor saturado estrato 2 (m)	Espesor saturado total (m)	Coef. Perm. entrada ke (m/mes)	Coef. Perm. Salidas ks (m/mes)	Gradiente entrada ie (%1)	Gradiente salida is (%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

**Tabla 27. Caracterización de los acuíferos Sector Limarí. (CAZALAC, 2006)**

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.

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 Chafaral
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 Sotaqui
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

**Tabla 28. Pozos por tipo de uso y por acuífero Sector Limari. (CAZALAC, 2006)**

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.

## Análisis del Sector Agrícola

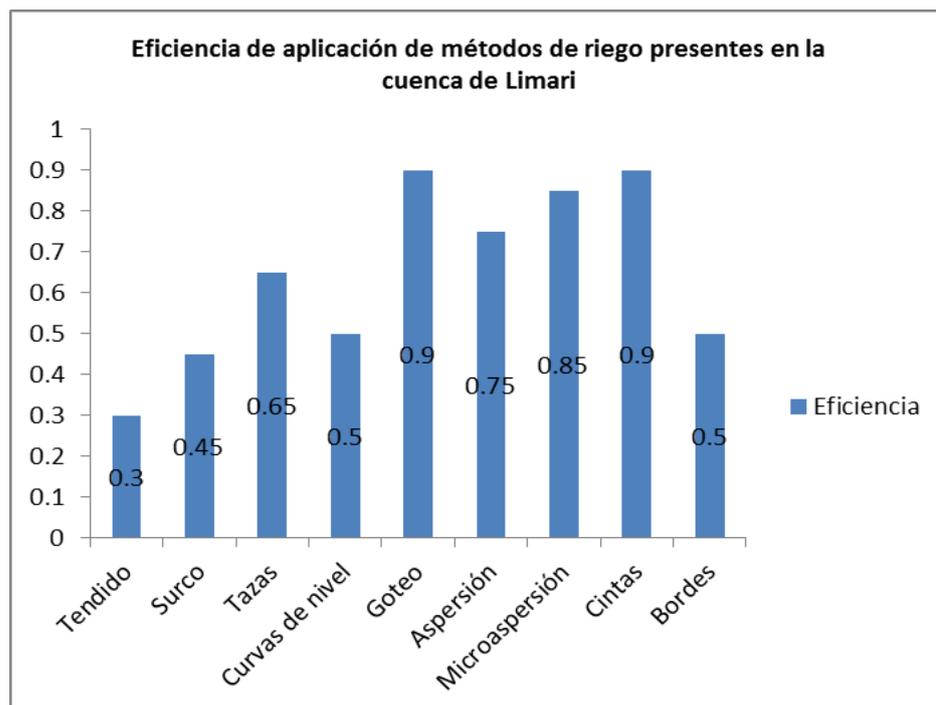
Canal	Nodo Origen	Objeto Final	Destino Percolaciones	Nº canales	Cap (m3/s)	Eficiencia (%/1)	Long (km)	Observaciones
CA-01	NO-0101	ZR-01	AC-01	10	0,680	1,00	15,312	
CA-02	NO-0201	ZR-02	AC-01	3	0,292	1,00	9,351	
CA-03	NO-0103	ZR-02	AC-01	34	2,922	0,70	76,567	
CA-04	NO-0301	ZR-03	AC-02	25	3,220	0,90	72,182	
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 Cogoti
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	

Capítulo V

Canal	Nodo Origen	Objeto Final	Destino Percolaciones	Nº canales	Cap (m3/s)	Eficiencia (%/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 Cogoti
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 Cogoti
CA-59	NO-1004	ZR-16	AC-16		0,500	1,00	0,250	Bombeo desde Paloma

Tabla 29. Canales Matrices Sector Limarí. (CAZALAC, 2006)





**Gráfico 24. Eficiencia en la aplicación de distintas técnicas de riego en la cuenca del Limari. (Adaptación propia a partir de datos CAZALAC, 2006)**

### 5.2.3. Disponibilidad de aguas Sector Choapa

La cuenca del Choapa es la tercera cuenca cordillerana, los cauces que son considerados son los siguientes ríos: Chopa, Chalinga, Illapel, Cuncumén. Y los esteros: Camisas y Auco.

Cuenca Río Choapa					Límites de los segmentos	
SubCuenca	Cauce	REF.	SubSeg.	Código	Inicia en:	Termina en:
0470	Río Choapa	CH	1	0470-CH-1	Naciente Río Choapa	Est. Calidad Río Choapa en Cuncumen
0470	Río Choapa	CH	2	0470-CH-2	Est. Calidad Río Choapa en Cuncumen	Confluencia Río Cuncumen
9470	Río Cuncumen	CU	1	0470-CH-1	Naciente Río Cuncumen	Confluencia Río Choapa
0471	Estero Camisas	CA	1	0471-CA-10	Salida Embalse Corrales	Confluencia Río Choapa
0471	Río Choapa	CH	1	0471-CH-10	Confluencia Río Cuncumen	Est. Calidad Río Choapa en Salamanca
0471	Río Choapa	CH	2	0471-CH-20	Est. Calidad Río Choapa en Salamanca	Confluencia Río Chalinga
0471	Río Choapa	CH	3	0471-CH-30	Confluencia Río Chalinga	Confluencia Estero Camisas
0471	Río Choapa	CH	4	0471-CH-40	Confluencia Estero Camisas	Confluencia Río Illapel
0471	Río Chalinga	CL	1	0471-CL-10	Naciente Río Chalinga	Est. Calidad Río Chalinga en Palmilla
0471	Río Chalinga	CL	2	0471-CL-20	Est. Calidad Río Chalinga en Palmilla	Est. Calidad Río Chalinga en Chalinga
0471	Río Chalinga	CL	3	0471-CL-30	Est. Calidad Río Chalinga en Chalinga	Confluencia Río Choapa
0472	Río Illapel	IL	1	0472-IL-10	Naciente Río Illapel	Est. Calidad Río Illapel en las Burras
0472	Río Illapel	IL	2	0472-IL-20	Est. Calidad Río Illapel en las Burras	Confluencia Estero Auco
0472	Río Illapel	IL	3	0472-IL-30	Confluencia Estero Auco	Confluencia Río Choapa
0472	Estero Auco	AU	1	0472-AU-10	Naciente Estero Auco	Confluencia Río Illapel
0473	Río Choapa	CH	1	0473-CH-10	Confluencia Río Illapel	Est. Fluviométrica Río Choapa antes Estero La Canela
0473	Río Choapa	CH	2	0473-CH-20	Est. Fluviométrica Río Choapa antes Estero La Canela	Est. Calidad Río Choapa en Huentelauquén
0473	Río Choapa	CH	3	0473-CH-30	Est. Calidad Río Choapa en Huentelauquén	Desembocadura

**Tabla 30. Segmentación adoptada en los cauces seleccionados de la cuenca del Río Choapa (DGA, 2004)**

Analizando el funcionamiento del sistema hídrico Choapa y los distintos elementos que lo conforman, se representó la cuenca que, de acuerdo con las interconexiones que 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.

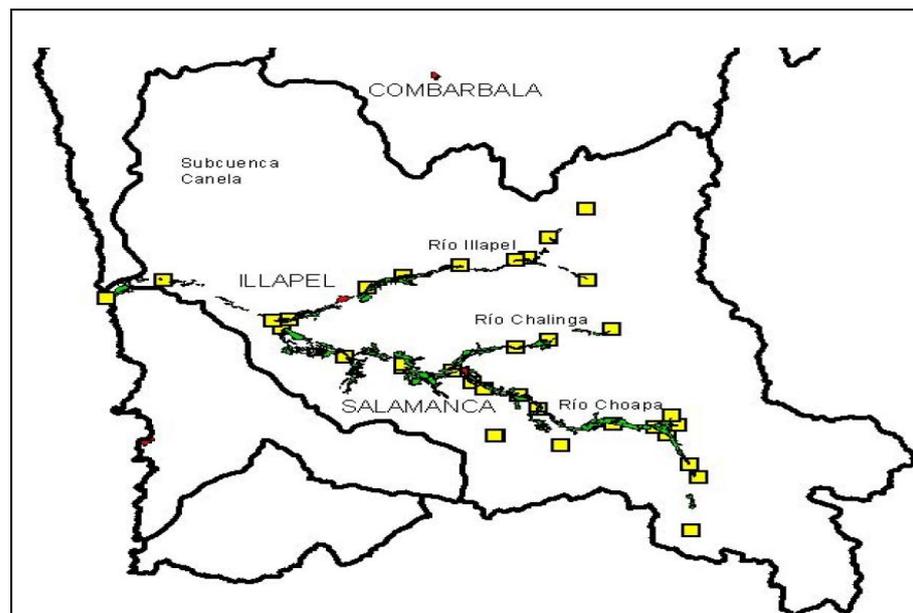
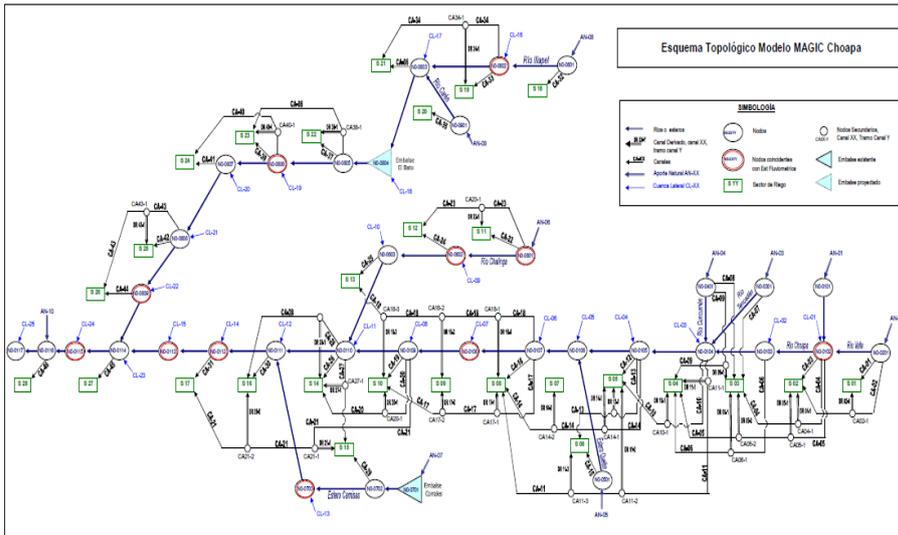


Figura 39. Cuenca del Choapa. (CAZALAC, 2006)



**Figura 40. Enfoque Topológico para la cuenca del Choapa. (CAZALAC, 2006)**

En cada subcuenca se reconocen sectores acuíferos, ríos, canales y zonas de riego. La definición se realiza teniendo en cuenta los principales ríos, los principales embalses existentes, la ubicación de las zonas de riego y de las bocatomas de canales.

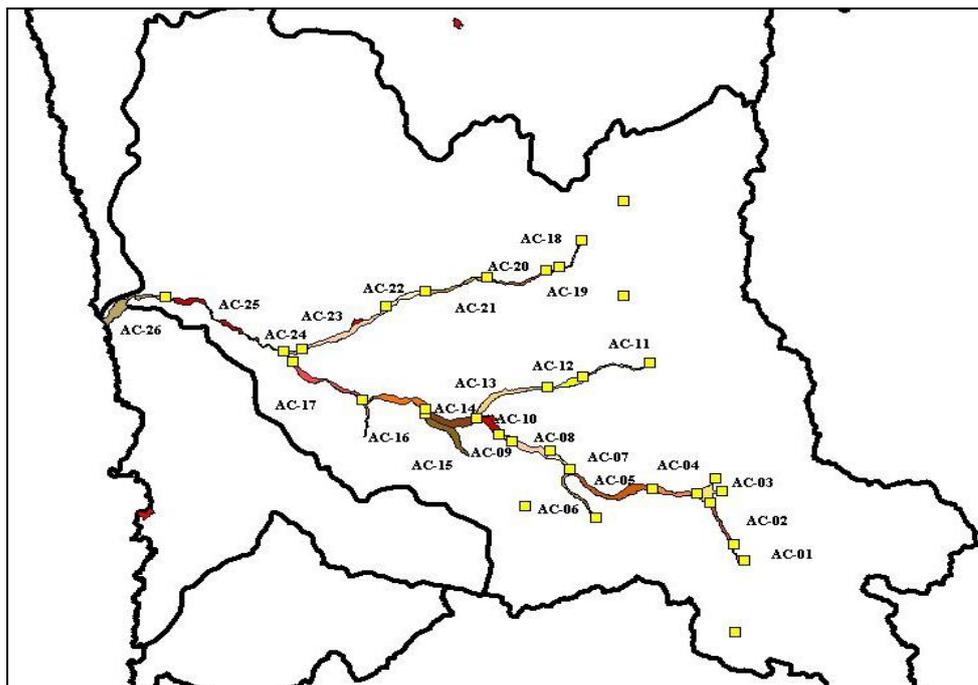


Figura 41. Acuíferos Sector Choapa. (CAZALAC, 2006)

La caracterización correspondiente a los acuíferos del sector es la siguiente:

Código	Nombre	Volumen Inicial [m3]	S (%)	Espesor de entrada (m)	Espesor de salida (m)	Coef perm entrada [m/mes]	Coef perm salida [m/mes]	Gradiente entrada [‰]	Gradiente salida [‰]	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 Panguelillo	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 (%)	Espesor de entrada (m)	Espesor de salida (m)	Coef perm entrada [m/mes]	Coef perm salida [m/mes]	Gradiente entrada [‰]	Gradiente salida [‰]	Caudal inicial entrada m3/s	Caudal inicial salida [m3/s]
AC-16	Choapa Limahuida	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

**Tabla 31. Caracterización de los acuíferos Sector Choapa. (CAZALAC, 2006)**

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.

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

Tabla 32. Pozos por tipo de uso y por acuífero Sector Choapa. (CAZALAC, 2006)

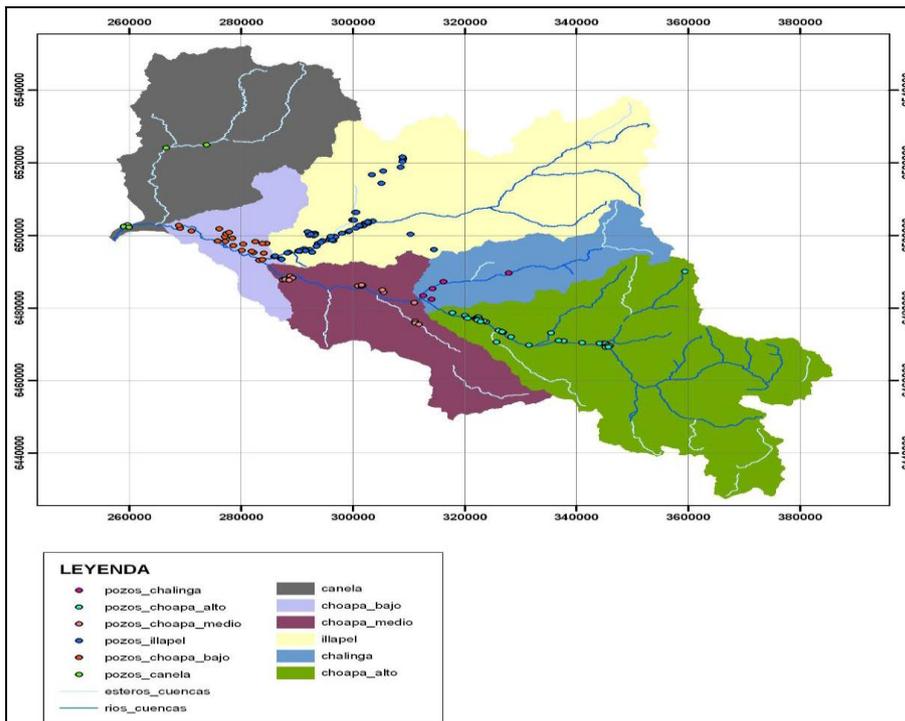


Figura 42. Sectorización y solicitudes de derechos Choapa. (DGA, 2010)

Los canales considerados en ésta zona son los siguientes:

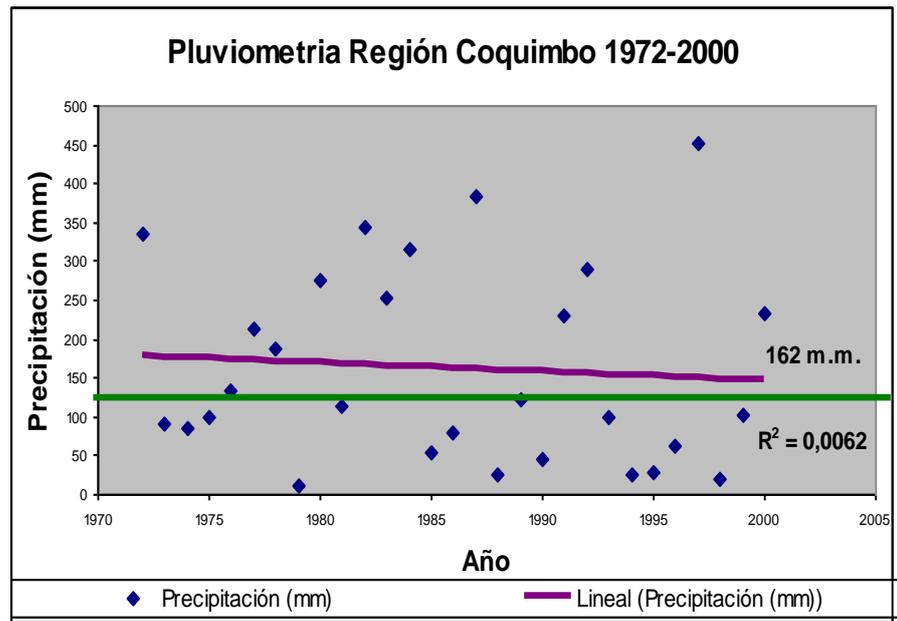
Código	Topología	Nombre	Acciones
CA-01	ZR-01 desde NO-0201	Los Morros, Cabecita de León, Eusebio, Huinganal, Los Blancos, El Valle	365.02
CA-02	ZR-01 y ZR-02 desde NO-0201	Piedrino	104.00
CA-03	ZR-02 desde NO-0102	Batuco, Manzano Derecho, Manzano Izquierdo	210.62
CA-04	ZR-02 y ZR-03 desde NO-0102	Rodadero 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 IIO-0601	Molino de Zapallar	59.00
CA-23	ZR-11 y ZR-12 desde IIO-0601	Batuco de Chalinga	300.00
CA-24	ZR-12 desde IIO-0602	Alameda, Maravillal o La Viña, Palquial o Molino de San Agustín, Valentino y Canelo	362.50
CA-25	ZR-13 desde IIO-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 IIO-0110	Tahuincano, Las Viudas	570.00
CA-27	ZR-14 y ZR-15 desde IIO-0110	Caracha	500.00
CA-28	ZR-14 y ZR-16 desde IIO-0110	El Boldo o Chuchiñí	800.00
CA-29	ZR-15 desde IIO-0702	Jote, Camisas o Batito	140.00
CA-30	ZR-16 desde IIO-0111	El Molino de Peratillo, Las Chacras, Los Loros o Del Medio	460.00
CA-31	ZR-17 desde IIO-0112	Pintacura Norte, Pintacura Sur o Alto	650.00
CA-32	ZR-18 desde IIO-0801	Los Gonzalez, Salinas, Las Burras Bajas, El Durazno Illapel, Los Perales Illapel, Las Burras Altas	96.45
CA-33	ZR-19 desde IIO-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 IIO-0802	Santa Margot	39.03
CA-35	ZR-20 desde IIO-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 IIO-0803	Santa Margarita, El Palqui Illapel	65.66
CA-37	ZR-22 desde IIO-0805	El Peumo, San Jorge, Santa Isabel, San Javier	113.23
CA-38	ZR-22 y ZR-23 desde IIO-0805	La Turbina	283.09
CA-39	ZR-23 desde IIO-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 IIO-0806	La Higuera, Cocinera	940.39
CA-41	ZR-24 desde IIO-0807	Vert. Luna, Hospital, Molino de Cárcamo, Potrero Nuevo	815.30
CA-42	ZR-25 desde IIO-0808	Zepedino, Cuz Cuz, Población Los Guindos, San Juan de Dios	588.90
CA-43	ZR-25 y ZR-26 desde IIO-0808	Inquilinos o Del Bajo, Molino El Peral, Bellavista o Del Alto, Del Medio o Bellavista Bajo	542.90
CA-44	ZR-26 desde IIO-0809	Junta El Maitén	7.50
CA-45	ZR-27 desde IIO-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 IIO-0115	Salinero, Millahue Uno o Lilenes, Millahue Dos o Los Patos, Los Rulos, San Antonio, Molino de Choapa	1246.00

**Tabla 33. Canales Matrices Sector Choapa. (CAZALAC, 2006)**

### 5.3. Calidad de las aguas

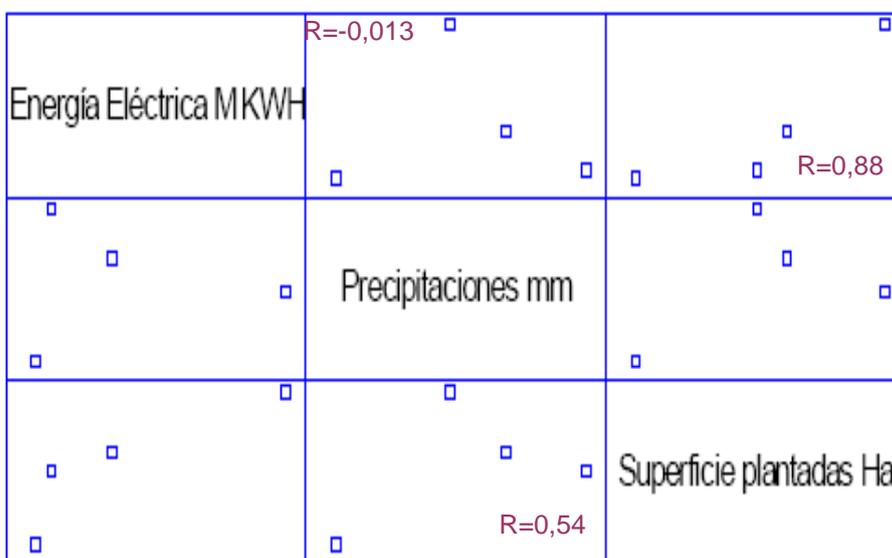
La pluviometría, medida durante los períodos 1972 y 2000, según datos obtenidos del Centro de Estudios Avanzados de Zonas Áridas (CEAZA), indica según proyección ajustada por regresión lineal simple que los niveles pluviométricos en la región tenderán a disminuir conforme avance el tiempo.



**Gráfico 25. Pluviometría en la Región de Coquimbo años 1972-2000. (Adaptación propia a partir de los datos CEAZA, 2006)**

La media de las precipitaciones entre los períodos comprendidos entre los años 1972 y 2000, fue de 162 m.m. Sin embargo, este valor no es representativo del total de la muestra obtenida, debido a la alta dispersión en el mapa.

Tal situación queda corroborada por el coeficiente de determinación, aún más si se calcula el coeficiente de correlación simple entre estas dos variables en estudio, a partir de un ajuste lineal el coeficiente en cuestión arroja  $r=0,079$ , en donde prácticamente se podría concluir que no existe correlación entre el tiempo transcurrido y las precipitaciones. Ahora será necesario analizar mediante un análisis multidimensional si existe correlación entre las variables consumo de energía eléctrica (MKWH), precipitaciones (m.m.) y superficies plantadas (Ha.)



**Gráfico 26. Precipitaciones, energía eléctrica y superficies plantadas. Años 1973-2001. (Adaptación propia a partir de datos CEAZA, 2006)**

Las precipitaciones tampoco presentan relación con el consumo de energía eléctrica. Sin embargo, las superficies plantadas muestran un alto grado de correlación con el

consumo energético, al igual que las precipitaciones en la respecto a las superficies plantadas.

Estas variables comprueban lo descrito por las referencias encontradas para este estudio.

Los costos asociados al consumo energético, más las condiciones hídricas del sector agro contribuirán a gestionar internamente los procesos y acomodarse a los cambios abordar del control de las variables externas de los mercados.

Otras variables que influyen en la agroindustria.

En la actualidad considerando los años 2010 al mes de Octubre del año 2011, MOP y DGA del Gobierno de Chile han registrado los siguientes datos de precipitaciones en la región según la hoya hidrográfica de los ríos Elquí, Limari y Choapa.

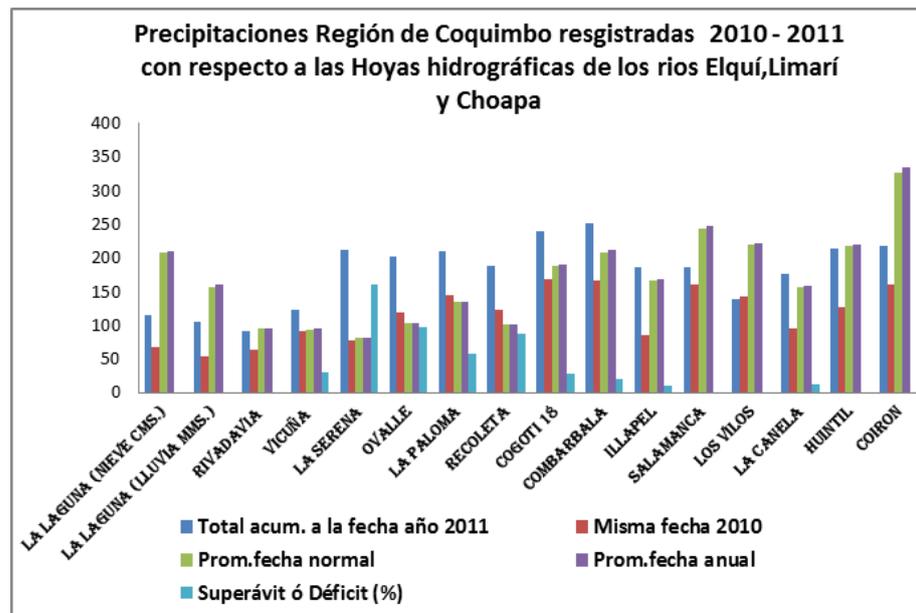


Gráfico 27. Precipitaciones en región de Coquimbo, por hoyas hidrográficas de los ríos (Adaptación propia DGA, 2010)

En la actualidad y debido al crecimiento de la población mundial, se ha hecho necesario salvaguardar la calidad de las aguas destinadas al riego.

A nivel nacional las precipitaciones han presentado variabilidades en las zona en que se realizó el estudio (DGA, 2010)

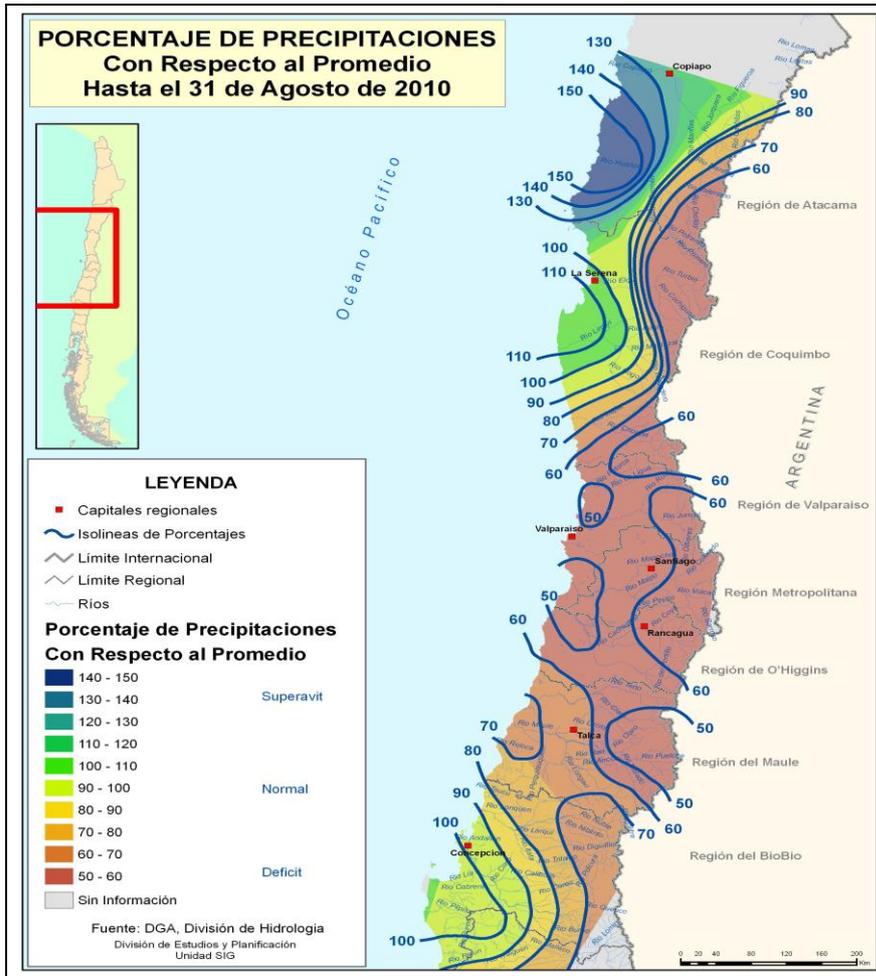


Figura 43. Precipitaciones registradas en 2010. Sistema Información Geográfico (DGA, 2010)

La calidad del agua va estar en función de características físicas, químicas y biológicas.

En el caso específico de agua para riego, los inconvenientes asociados son la salinidad, la dureza de aguas, tasa de infiltración, toxicidad, exceso de nutrientes en otros.

En el caso de la salinidad ésta se mide mediante la conductividad eléctrica y los sólidos disueltos totales.

Parámetro	Unidad	Grado de restricción en uso		
		Ninguno	Débil a moderado	Severo
CE	ds/m	< 0,7	0,7-3,0	>3,0
SDT	mg/l	< 450	450-2000	>2000

**Tabla 34. Restricción de uso de aguas para riego según CE y SDT (SAG, 2005)**

Los parámetros de calidad de agua que influyen la tasa de infiltración son la salinidad del agua (cantidad total de sales en el agua) y su contenido de Na relativo al contenido de Ca y Mg. Una reducción severa en la tasa de infiltración, debido a la calidad del agua, se puede relacionar con aguas de muy baja salinidad o con alta razón de adsorción de sodio (RAS).

Información sobre la restricción de uso de agua debido a reducción de la tasa de infiltración se presenta a continuación.

Parámetro			Grado de restricción de uso		
			Ninguno	Débil a moderado	Severo
<b>SAR</b>	0-3	<b>CE</b>	>0,7	0,7-0,2	<0,2
	3-6		>1,2	1,2-0,3	<0,3
	6-12		>1,9	1,9-0,5	<0,5
	12-20		>2,9	2,9-1,3	<1,3
	20-40		>5,0	5,0-2,9	<2,9

Tabla 35. Restricción de uso de aguas para riego según CE y SAR (SAG, 2005)

Los problemas de toxicidad se producen si ciertos constituyentes (iones) del agua son captados por la planta y acumulados hasta alcanzar concentraciones lo suficientemente altas para producir daño a las cosechas o reducción de rendimientos. El grado de daño dependerá de la duración de la exposición, creciente acción del ión tóxico, sensibilidad de la cosecha y volumen del agua transpirada por el vegetal.

	Unidades	Grado de restricción de uso		
		Ninguno	Débil a moderado	Severo
<b>Sodio (Na)</b>	SAR			
Riego superficial	me/ml	<3	3-9	>9
Riego por aspersión	me/ml	<3	>3	
<b>Cloruro (Cl)</b>				
Riego superficial	me/ml	<4	4-10	>10
Riesgo por aspersión	me/ml	<3	>3	
<b>Boro (B)</b>	mg/ml	<0,7	0,7-3,0	>3,0

Tabla 36. Restricción de uso de aguas según toxicidad por iones específicos (SAG, 2005)

En general, según la norma chilena 1333 (NCH1333, Of. N°78), indica un estándar que debe cumplirse para agua de riego.

<b>Elemento</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo</b>
pH		5,5-9,0
Aluminio	mg/l	5,00
Arsénico	mg/l	0,10
Bario	mg/l	4,00
Berilio	mg/l	0,10
Boro	mg/l	0,75
Cadmio	mg/l	0,010
Cianuro	mg/l	0,20
Cloruros	mg/l	200,00
Cobalto	mg/l	0,050
Cobre	mg/l	0,20
Cromo	mg/l	0,10
Flúoruro	mg/l	1,00
Hierro	mg/l	5,00

Litio	mg/l	2,50
Litio (cítricos)	mg/l	0,075
Manganeso	mg/l	0,20
Mercurio	mg/l	0,001
Molibdeno	mg/l	0,010
Níquel	mg/l	0,20
Plata	mg/l	0,20
Plomo	mg/l	5,00
Selenio	mg/l	0,020
Sodio porcentual	% de Na	35,00
Sulfatos	mg/l	250,00
Vanadio	mg/l	0,10
Zinc	mg/ml	2,00
Coliformes fecales	NMP/100ml	1000

**Tabla 37. Estándar para agua de riego (MOP, 2009)**

En lo particular, las aguas de los ríos y esteros presentan las siguientes características:

- El río Elqui presenta un incremento en la salinidad hacia aguas abajo, debido al uso agrícola y la actividad minera. El río Toro presenta una elevada salinidad y altas concentraciones de arsénico, boro, cobre y fierro.

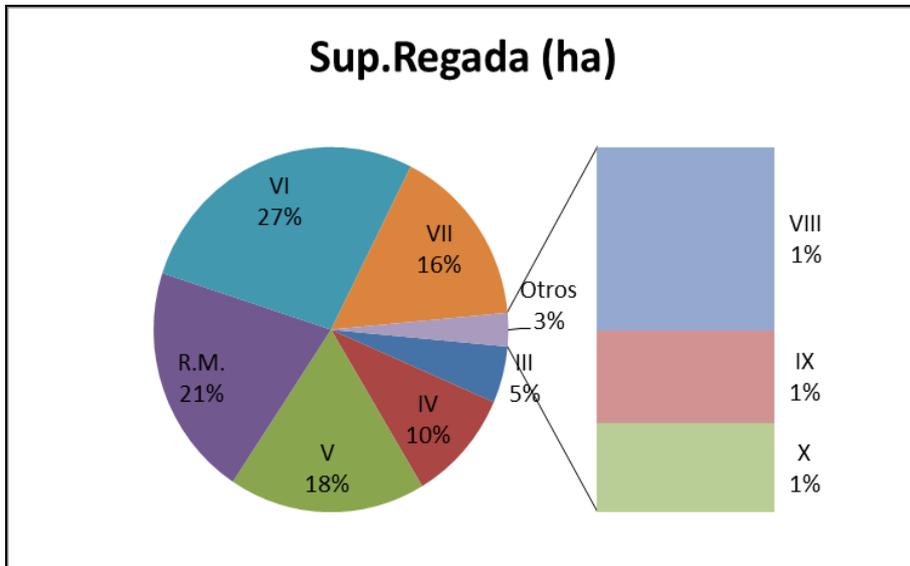
- El río Malo no presenta problemas de arsénico y boro, pero sí de cobre y fierro.
- El río Turbio presenta también valores relativamente altos en boro. Aguas abajo, se produce un mejoramiento de la calidad del río.
- Las aguas de la cuenca del río Limarí son de baja salinidad, con excepción del estero Punitaqui.
- Los esteros El Ingenio y Combarbalá presentan valores altos de elementos metálicos, aparentemente producidos por la actividad minera de la zona.
- Los ríos Choapa y Quilimarí no presentan problemas.

#### **5.4. Costos de aguas**

En la actualidad, a escala mundial, los recursos hídricos constituyen un factor de suma importancia para la actividad productiva. Como lo señala (Bonnis y Steenblik., 1997), en varios países se presentan problemas de disponibilidad de agua, tanto estacionales como no estacionales, además de sequías hidrológicas, y agotamiento de napas subterráneas. Por otra parte, la demanda creciente y la potencial ocurrencia de conflictos de uso del recurso hídrico, remarcan la necesidad de analizarlo como un bien escaso y que, si se desea lograr una asignación socialmente óptima, no puede ser tratado como un bien gratuito. Por esta razón las personas buscan intervenir en el desarrollo del ciclo hidrológico con el fin de almacenar, regular, desviar o drenar agua, en un intento de obtener algún grado de control sobre el recurso, y hacer que este se regule

netamente en torno a las necesidades humanas (Pigram, 2006).

En cuanto a la utilización de este recurso para riego de superficies cultivables, se puede apreciar el siguiente gráfico.



**Gráfico 28. Distribución de superficies regadas por región (ODEPA-CIREN, 2005)**

Una de la metodologías que ha logrado mayor efectividad en Chile en este último tiempo ha sido el riego mediante goteo, ya que permite incrementar la producción entre 1,6 a 3,0 toneladas por cada hectárea, además de aumentar la eficiencia en casi un 40% permite obtener un fruto de mejor calidad, repercutiendo en un mejoramiento de la rentabilidad y en un ahorro de agua.

Método de riego	SUPERFICIE HECTÁREA								
	III	IV	V	R.M.	VI	VII	VIII	IX	X
Surco	353,9	1680,2	13041,6	21259	37627	26362	2178	419	3,8
Tendido	736,8	81,2	679,5	1340,0	2852,5	363,7	337	102	0,0
Microaspersión	48,8	450,3	12289,9	4990,5	2499,3	4956,4	119	342	69,3
Goteo	9366,7	18787	12378,6	16577	15886	2536,6	420	658	849
Aspersión	3,0	130,9	122,2	212,1	267,8	111,3	19,6	35	479
Otros	373,6	290,9	288,0	399,5	199,8	882,7	156	57	167
Total	10882	21420	38799,9	44778	59333	34853	3232	1616	1569

**Tabla 38. Superficie por método de riego y región (ODEPA-CIREN, 2005)**

Los costos asociados a las superficie regadas, van a depender de un sistema multivariado, como tipo de suelo, clima, humedad, topografía, presión, localización entre otros.

En (Gajardo, 2005) Universidad Católica de Temuco Chile, se realizó una evaluación del crecimiento en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill mediante la utilización de tres sistemas de riego, estos fueron por surco, microaspersión y goteo; el estudio se realizó en Mulchen VIII región de Chile.

Los resultados se consolidan en la siguiente tabla:

Sistema de riego	US\$/H á	Ventajas	Desventajas
Micro-aspersión	6.312	-Eficiencia entre 80-85% -Sin restricciones topográficas -Aplicaciones de fertilizantes -Recomendable para suelos permeables -Recomendables para problemas de salinidad	-Elevado costo inicial. -Problemas fitosanitarios.
Surco bajo conducción californiano	3.621	-Evita enfermedades -Necesita un 25 a 50% de trabajo si se compara con riegos más tradicionales. -Bajo costo	-Eficiencia 50-65%. -Restricciones topográficas. -No es posible aplicar fertilizantes. -Pérdida de agua por evaporación. No aplicable a suelos arenosos. -Lentitud de riego y alto uso de mano de obra.
Goteo	4.495	-Eficiencia 80-90%. -Aprovechamiento del agua. -Sin restricciones topográficas. -Aplicaciones de fertilizantes. -Menor infestación de malezas	-Bulbo insuficiente en suelos ligeros o de alta permeabilidad. -Riesgo de salinización.

**Tabla 39. Evaluación de los sistemas de riego por sus resultados en crecimiento, análisis de costos y por sus características (Gajardo, 2005)**

### **5.5. Consideraciones finales del capítulo**

Para el sector agrícola el abastecimiento de agua a nivel superficial es insuficiente y los derechos de aprovechamiento están asignados. Mediante las herramientas técnicas para medir y evaluar la eficiencia del uso del agua se pudo llegar a la siguiente conclusión.

En el caso de la cuenca del Elqui se ve afectada por la ocurrencia de sucesos antrópicos como la actividad minera presente en la zona, la extracción de áridos y otros.

El estudio hecho por CAZALAC consideró en su topología hidrológica datos como: ubicación de los ríos principales con sus diferentes tramos, ubicación de los nodos, ubicación de los embalses mayores existentes, la ubicación de las subcuencas aportantes, definidas igualmente por la ubicación de los nodos, y los nodos de llegada de los recursos aportados, ubicación de los sectores de riego, origen y destino de los canales matrices y derivados (como sistemas por sector de riego) que riegan los diferentes sectores de riego y la ubicación de los sistemas acuíferos que se definieron en la cuenca.

El uso de las aguas subterráneas está condicionado por sectores de prohibición y restricción en los cuales la DGA ha otorgado derechos de aprovechamiento amparado en la Ley 1.112 art. 66 para los pozos, zonas de desmarques, canales y acuíferos que se encuentran en restricción y que aportan suministros a los cultivos de la zona.

Dos embalses conectados entre sí y sus 126 canales de riego y sus 117 bocatomas y captaciones de elevación mecánica conforman el sistema de riego del Valle de Elqui.

La mayor eficiencia en los métodos de riego fue goteo por cinta. Dato que se pudo obtener mediante un análisis multifactorial previo. El promedio de eficiencia es de un 62,5%.

El estudio realizado por expertos para medir la eficiencia del sistema de regadío mixto en la cuenca del Elqui arrojó como resultado que la mitad de los métodos supera el promedio de eficiencia en la aplicación mixta, cuyo promedio de eficiencia es de un 72%.

Se demostró que el uso de un sistema mixto de riego supera en un 10% a un sistema único.

La ausencia de precipitaciones ha dificultado la acumulación para suelos de cultivo, por tal motivo los embalses registraron un 53% menos en sus niveles promedio, el único que mantuvo sus niveles fue el embalse La Laguna.

Las condiciones de aridez y semi-aridez que prevalecen en el país corresponden al 40%. Se estimó que las precipitaciones en el continente americano (América del Sur), irían disminuyendo. Situación que es comparable con mismas medidas tomadas por CEAZA.

En el caso de la cuenca del Limarí los causes que participan son de los ríos: Limarí, Cogotí, Grande, Mostazal, Hurtado, Punitaqui, Rapel, Guatulame, Tascadero, Los Molles, Pama y Combabalá.

La geología de superficie y las características hidrogeológicas tienen características de acuíferos. Se asumieron como tales los depósitos fluviales actuales y los depósitos de terrazas fluvial interior de cuaternario reciente. Sin embargo como hay gran cantidad de norias y pozos en terrazas más antiguas también se consideraron.

En relación a la cuenca del Choapa, los causes que participan son los ríos: Choapa, Chalinga Chopa,, Illapel, Cuncumén. Y los esteros: Camisas y Auco

De acuerdo a las interconexiones.que representa la cuenca en su esquema topológico de la hidrología, consideró lo siguiente: ubicación de los ríos principales, definidos por la ubicación de los nodos, ubicación de los embalses mayores existentes o proyectados en la cuenca ubicación de las subcuencas aportantes, y los nodos de llegada de los recursos aportados, 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.

Por parte de la DGA no hay políticas de cierre por tanto se consideraron como derechos comprometidos todas las solicitudes en trámite y aprobadas.

En relación a la calidad de las aguas mediante proyección ajustada de regresión lineal se llegó a la conclusión que los niveles pluviométricos tenderán a disminuir con el paso del tiempo, datos obtenidos por CEAZA

Se hizo un estudio entre los años 1972-2000 el cual no fue representativo debido a la alta dispersión observada en el mapa. Lo que queda demostrado mediante el cálculo del coeficiente de correlación. Dicho resultado lleva a la conclusión que no existe relación entre el tiempo transcurrido y las precipitaciones.

Posteriormente entre los años 1973-2001 se demostró mediante un análisis multidimensional que tampoco había relación entre las precipitaciones y el consumo de energía eléctrica. Sin embargo en ese análisis quedó demostrado que hay una alta correlación entre las superficies plantadas y el consumo energético y las superficies plantadas y las precipitaciones.

Las condiciones hídricas y los costos asociados al consumo energético contribuirán a gestionar internamente los procesos y a adecuare a los cambios.

Debido al crecimiento de la población mundial se ha debido salvaguardar la calidad del agua para el riego. En la actualidad las precipitaciones han presentado variabilidad en las zonas donde se realizó el estudio.

La calidad del agua se presenta en función de las características físicas, químicas y biológicas.

En el caso del agua para riego los inconvenientes asociados son la salinidad, la dureza del agua, tasa de infiltración y exceso de nutrientes entre otros

En tablas se muestra los niveles de salinidad y toxicidad. Según la norma chilena 1333 (NCH1333, Of. N°78), indica un estándar que debe cumplirse para agua de riego.

En el Elqui se presenta más salinidad en las aguas río Elqui y río Toro, el río Malo presenta problemas de presencia de cobre y fierro, río Turbio presenta boro pero aguas abajo se mejora su calidad.

En el Limarí las aguas presentan baja salinidad excepto el estero Punitaqui. Los esteros El Ingenio y Combarbalá presentan elementos metálicos se cree debido a las actividad minera del sector.

Los ríos Choapa y Quilimarí no presentan problemas.

En relación al costo se dice que el recurso debe ser analizado como un recurso escaso y no como un bien gratuito dado la demanda creciente y la potencial ocurrencia de conflictos además de los problemas de disponibilidad de agua, tanto estacionales como no estacionales, las sequías hidrológicas, y agotamiento de napas subterráneas. de uso para lograr una asignación socialmente óptima.

En Chile la metodología más óptima ha sido el goteo, permite aumentar la producción, la eficiencia en casi 40%, obtener un fruto de mayor calidad lo que se representa en un mejoramiento de la rentabilidad y en ahorro de agua.

Los costos asociados a las superficies regadas dependerán de un sistema multivariado (topografía, tipo de suelo, humedad, etc.)

## 5.6. Referencias consultadas

[1] BERGA, L. *“Forma y función en presas y embalses.”* 2008, CICCOP, I.T.N°81,85 pp.

[2] BONNIS, G. y STEENBLIK, R. *“Overview of the Main Issues and Policies.”* En OECD Workshop on the Sustainable Management of Water in Agriculture.”; 1997, vol. 3, pp. 134-153.

[3] BUSINESS CHILE. *“Cambio Climático y Agua”*. Boletín de Medio Ambiente. 2011, año VI, n°1.223.

[4] CENTRO DEL AGUA PARA ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CAZALAC). Asesorados por RHODOS Asesorías y proyectos Ltda. *“Informe de estudios y proyectos. Aplicación de metodologías para determinar la eficiencia del uso del agua.”* Estudio de caso Región de Coquimbo.2006 Chile.

[5] CENTRO DE INFORMACIÓN DE RECURSOS NATURALES (CIREN), OFICINA DE ESTUDIOS Y POLÍTICAS AGRARIAS (ODEPA). *“Métodos de Riego.”*, Ministerio de Agricultura de Chile ([www.ciren.cl](http://www.ciren.cl);[www.odepa.cl](http://www.odepa.cl)), 2005.

[6] CONIC-BF Ingenieros Civiles Constructores. *“Levantamiento y Catastro de Bocatomas en Cauces Naturales.”* S.I.T.

N°75.2004. pp. 21-24. Ministerio de Obras Públicas (MOP).  
Dirección General de Aguas (DGA)

[7] CHILE. D.F.L. N°1.112, Art.66. Código de Aguas.  
Diagnóstico de fuentes de agua convencionales en el regadío  
Inter- Regional. Universidad de Concepción. Año 2010.

[8] DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. (DGA). MINISTERIO  
DE OBRAS PÚBLICAS. (MOP). *“Diagnóstico y clasificación de  
los cursos y cuerpos de agua según objetivo de calidad.  
Cuenca del Río Elquí”*. 2004. 143 pp.

[9] DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. (DGA). MINISTERIO  
DE OBRAS PÚBLICAS. (MOP). *“Diagnóstico y clasificación de  
los cursos y cuerpos de agua según objetivo de calidad.  
Cuenca del Río Limarí.”* 2004, CADE-IDEPE Consultores.137  
pp.

[10] DIRECCIÓN DE GENERAL DE AGUAS. (DGA).  
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS. (MOP). *“Diagnóstico y  
clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivo de  
calidad. Cuenca del Río Choapa.”* 2004, CADE-IDEPE  
Consultores.131 pp.

[11] DIRECCIÓN DE GENERAL DE AGUAS. (DGA).  
*“Evaluación de la explotación máxima sustentable del acuífero*

*del Valle del Elqui.*” Departamento de Administración de Recursos Hídricos. S.D.T. N°228, 2006. 69 pp.

[12] DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. (DGA) “*Evaluación de Recursos Hídricos Subterráneos de la cuenca del Río Limari.*” Dpto. de Recursos Hídricos. S.D.T. N°268, 2008. 147 pp.

[13]. DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. (DGA) “*Evaluación de Recursos Hídricos Subterráneos de la cuenca del Río Choapa.*” Dpto. de Recursos Hídricos. S.D.T. N°248, 2007. 80 pp.

[14] DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA). “*Categorización de Estudios de Aguas Subterráneas en Sectores Acuíferos restringidos, ubicados entre las Regiones de Arica y Pertinacita y del Libertador General Bernardo O’Higgins.*” informe: DARH N° 265/ DGA., 2010 Chile.

[15] EVALUACIÓN DEL GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO (IPCC). “*Cambio climático 2001: Resumen para responsables de políticas.*”, 2001,38 pp

[16] GAJARDO, P. “*Evaluación del crecimiento en plantaciones Eucalyptus globulus Labill. Sometidos a tres sistemas de riego:*

*surco, microaspersión y el goteo, en el Valle Central de la VIII Región.*” Universidad Católica de Temuco, 2005, 122 pp.

[17] HOMER-DIXON, T.F.; BOUTWELL, J.H. y RATHJENS G.H. “*Environmental Change and Violent Conflict Scientific American.*” 1993, vol.268, Issue: 2, pp. 38-45, ISSN: 00368733.

[18] INGENIARE. “*Recursos hídricos y desarrollo socioeconómico en zonas áridas: Importancia y perspectiva de nuevas tecnologías aplicadas al tratamiento de aguas naturales y/o residuales.*” Revista chilena de ingeniería, 2009, vol. 17,nº 3, pp. 285-287. versión On-line ISSN 0718-3305.

[19] INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN INN-CHILE. Norma chilena Oficial 1333.Of78, modificada en 1987. “*Requisitos de Calidad del Agua para Diferentes Usos*”. Segunda Edición, 1987, pp.3-5.

[20] MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP), DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. (DGA). “*Pronóstico de disponibilidad de agua, para temporada de riego períodos 2010-2011.*”, 2011. 23 pp.

[21] MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP). “*Calidad de agua de riego: Calidad de agua: marco teórico jurídico, institucional y tecnológico para la prevención y mitigación de la contaminación de las aguas de riego.*”, 2009, 47 pp.

[22] MORALES, L., *“Organizaciones de usuarios de agua de la cuenca del Río del Elqui”*. Universidad de La Serena, 2005. 21pp.

[23] ORGANIZACIÓN DE LA NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO) *“La FAO en Chile: 60 años de colaboración 1945-2005”*, 2006, 238 pp.

[24] ORGANIZACIÓN DE LA NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO) *“Los problemas del agua y la agricultura”*. 1993, ISBN: 9253033606.

[25] PERALTA, F., *“Desarrollo de las aguas subterráneas en Chile bajo el actual sistema legal y administrativo.”* Asociación Latinoamericana de Hidrología Subterránea para el Desarrollo (ALHSUD) Capítulo Chileno., 2011, edición n°12, pp.13-17.

[26] PIGRAM, J. *“Water Resources in Time and Space.”* In: Australian Water Resources from Use to Management., Published by CSIRO publishing. 2006, pp. 1-17.

[27] PROYECTO CAMINAR – UNIÓN EUROPEA GRUPO DE TRABAJO DE CUENCA. Caso Cuenca Elqui. Lanzamiento del Proyecto - Primera Reunión de Trabajo *“Actualización y Socialización de la información en Elqui orientada hacia la Gestión de Cuencas”*. 2007, 70 pp.

[28] SERVICIO AGRÍCOLA GANADERO (SAG) “Criterio de calidad de aguas o efluentes tratados para uso en riego.”, División de Recursos Hídricos y Medio Ambiente, Universidad de Chile. 2005, 32 pp

[29] [www.cazalac.cl](http://www.cazalac.cl)

[30] [www.ceaza.cl](http://www.ceaza.cl)

[31] [www.ciren.cl](http://www.ciren.cl)

[32] [www.ine.cl](http://www.ine.cl)

[33] [www.inia.cl](http://www.inia.cl)

[34] [www.odepa.cl](http://www.odepa.cl)

# **Capítulo VI**

## **Metodología aplicada a la problemática de recursos hídricos de la Cuarta Región Chile**

### **6.0. Propósito del capítulo**

En este capítulo se propone y se justifica la problemática del estudio, cuyo objetivo principal o goal es la selección de la mejor alternativa para la extracción de aguas en acuíferos en la cuarta región de Chile.

La resolución de la problemática se realizará mediante el proceso analítico jerárquico (AHP), cuya estructuración se realizará en base aplicación de encuestas a expertos.

### **6.1. Introducción**

Para abordar la problemática se utilizarán las operaciones básicas para resolver problemas de decisión, (Pastor 2007. Cit. Nieto 2001) según lo siguiente.

- 1.- Análisis del problema.
- 2.- Identificación de alternativas.
- 3.- Identificación de los criterios de decisión.
- 4.- Contribución del modelo matemático que representen las preferencias del decisor.
- 5.- Resolución del modelo.
- 6.- Validación de los resultados.

Además serán agregados los factores involucrados en la problemática, los grupos afectados y los objetivos, todos necesarios para la solución del problema propuesto.

Este trabajo se ha realizado como una manera de contribuir a la toma de decisiones en escenarios complejos, en lo particular a la decisión de optar entre alternativas eficientes y viables de suministro de recursos hídricos para las operaciones en los sectores minero y agrícola de la cuarta región de Coquimbo en Chile, utilizando la técnica de multicriterio AHP.

En la actualidad como se ha mencionado en los capítulos anteriores, el déficit hídrico en la región es notorio, aun cuando a nivel nacional los estudios arrojan valores auspiciosos comparativamente con algunos países.

Esta cifra si bien es cierta no es representativa de la realidad de algunas regiones del país, específicamente desde la zona metropolitana al norte, (primera región) ya que términos de promedio país el resultado presenta un sesgo debido a que la disponibilidad de agua y la demanda de esta es muy distinta entre la macro zona norte y el resto del país. En la zona norte del país están emplazadas las grandes, medianas y pequeñas mineras cuya demanda supera la cantidad real del suministro con que se cuenta en la actualidad.

Por otra parte, considerando las referencias de capítulos anteriores del presente trabajo, indican que las precipitaciones son escasas fundamentalmente en la cuarta región de Chile, amenazando al sector agrícola de la región considerado como polo estratégico para el desarrollo regional.

## **6.2. Análisis del problema**

En las últimas décadas se ha podido constatar un aumento en la demanda de aguas subterráneas como fuente de financiamiento (confirmado por la DGA) considerando la dificultad de obtener agua superficial. Estos derechos están en su mayoría otorgados y ha sido necesario recurrir a las aguas subterráneas para desarrollar proyectos e inversiones.

Para intentar proteger los derechos de otorgamiento, el Estado de Chile ha ido cerrando los acuíferos, sobre la base de estudios de tendencia del acuífero mediante modelos o balances hídricos. En una cuenca se ha institucionalizado el mecanismo de utilizar los acuíferos o espacio hídrico de una forma acotada y realizar estudios técnicos para determinar los recursos disponibles sobre la base de análisis estadísticos de variables.

La DGA determina las aguas subterráneas como volumen disponible en el acuífero aplicando los siguientes criterios: (Peralta, 2011)

**Criterio 1: Descensos sustentables en el tiempo en cada sector acuífero**, el promedio del volumen en 50 años no comprometa más del 5% del volumen total.

**Criterio 2: Interferencia río – acuífero**, si se realiza una mayor explotación de las aguas subterráneas de acuerdo al volumen y cantidad de aguas, se podrá aumentar la infiltración

de los cursos superficiales sin perjudicar a los tenedores de derechos de aguas superficiales más allá de un 10% del total de lo que escurre.

**Criterio 3: Satisfacción de la demanda**, que el derecho de cada titular esté asegurado de extraer por lo menos el 95% del histórico de su extracción.

**Criterio 4: Pozos secos**, condicionante para que no exista mas de un 5% de pozos secos del total que exista en la cuenca.

**Criterio 5: Afección a sectores abiertos**, aplicación que se realiza de un criterio restrictivo a la utilización de este en el tiempo y con recuperaciones periódicas, parciales y totales. Esto impide dar uso al acuífero como embalse de regulación subterránea e incrementa la recarga por inducción de crecidas de los escurrimientos superficiales que se pierden en el mar.

Al permitir que se otorguen derechos solo sobre el flujo, aun sabiendo que los modelos y la estadística utilizada está basada en 30 o 50 años de observación, la historia ha demostrado que en ciclos mayores el caudal se recupera. Además en la medida que se permita que el volumen del acuífero baje significativamente cuando los cursos de agua superficial tienen una mayor cantidad de agua de escurrimiento, se impide que una parte importante de esa agua que escurre se infiltre en forma natural.

Algunos aspectos jurídicos importantes en relación a este tema indican:

Un fallo de la Corte Suprema (año 2004) zanjó una pugna y diferencias entre criterios que discutía si los derechos de agua solo se podían constituir sobre el caudal del pozo o en función de la cuantificación y del conocimiento que se tuviera de los recursos que existían en el acuífero.

La DGA sostuvo que el caudal individual del pozo no era suficiente demostración para decir que estaba presente el recurso y la CS falló en ese sentido.

Anterior al 2005 se disponía de una parcialidad del volumen y hoy con un caudal instantáneo y un volumen asignado de acuerdo al uso, el volumen total pasa a ser un derecho que el Estado le protege al usuario.

En (Minagri, 2008) (Ministerio de Agricultura) quiere transformar a Chile en potencia agroalimentaria y para eso necesita 530 lts/seg para el riego de 500 mil hectáreas (há). La iniciativa implica crecer en un 50%. 370.000 mts<sup>3</sup> /seg de nuevos recursos para riego en base a aguas subterráneas complementarios a los recursos ya aportados. Esto es casi duplicar los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas constituidos por la DGA hasta el 2009. Por tanto en la aplicación del nuevo criterio (100% uso), pone en condición de cierre y otorgamiento a la mayoría de los acuíferos del país sin posibilidad de obtener nuevos derechos solamente da la opción de redistribuir los ya existentes.

#### **6.2.1. Sector minero**

En Chile el nivel de precipitaciones es heterogéneo entre el norte y el sur del país.

La Región de Coquimbo, forma parte de la zona norte de Chile, presentando niveles deficitarios en los últimos años quedando lo anterior reflejado por las estadísticas que se tienen de sus tres hoyas hidrográficas principales que son Elquí, Limarí y Choapa.

Por otra parte, desde el punto de vista productivo la región utiliza casi la mayor parte de los recursos hídricos presentes en la agricultura, y otro polo altamente productivo es la minería, que ante la escasez comienzan a generarse conflictos en la adjudicación de los derechos. El Código de Aguas que opera en el país desde 1981, ha sufrido una modificación sustancial sobre los derechos de aprovechamiento de las aguas, apuntando a una utilización más eficiente de ésta en los desarrollos productivos del país y en la región.

Además los organismos regionales competentes han ido en busca de bastantes soluciones, sólo por mencionar alguna por ser la más relevante es el caso de utilización de agua salada en el sector minero. Sin embargo, aun no se extiende su utilización al universo de las empresas del sector que operan en la macro zona norte, debido a lo incipiente en el uso de esta alternativa de suministro.

Experiencias de este tipo de aplicaciones en empresas del sector solo se han realizado en las que están ubicadas específicamente en la segunda región de Chile, con resultados satisfactorios en la calidad del producto obtenido.

Un caso similar a la problemática de utilización de aguas desaladas, se presentó en el capítulo II de este trabajo (Jaber ,

2001) presentando una investigación en Jordania en tratamiento de aguas obtenida directamente del mar, con la finalidad de cubrir las demanda sobre todo de consumo humano.

Este tipo de tratamiento también podría realizarse en Chile a mayor escala. No obstante, el propósito es distinto y las preguntas que surgen son: ¿Cuál sería el tratamiento de este tipo de agua antes de ser descartada?, ¿Se tienen medidas que garanticen la no contaminación de los vertidos?, ¿Cuál es la probabilidad de contaminar los cauces de los ríos y las aguas subterráneas por infiltración?, ¿Cuáles serían los efectos en las comunidades, salud y expectativas de vida?, ¿Qué efectos colaterales que generaría en la biomasa de la región?, ¿Cuál sería el impacto a la vida acuática?

En el caso de las mineras de la cuarta región de Coquimbo, los residuos mineros han contaminado algunos cauces naturales tanto superficiales como subterráneos.

En (Oyarzún, 2004) *“Los efectos ambientales de la minería en general comienzan con las excavaciones subterráneas o a cielo abierto. Las primeras, menos visibles, pueden en cambio aumentar en órdenes de magnitud la superficie de roca expuesta a reacciones químicas roca/agua/aire. En el caso de los yacimientos metálicos sulfurados, ello favorece la generación de drenaje ácido y la consiguiente solubilización de metales pesados, que pasan así al drenaje subterráneo y de este al superficial. Las excavaciones a cielo abierto, aunque exponen una superficie menor a las mismas reacciones,*

*pueden dar lugar formación de un pequeño lago al término de la vida de la mina, que también puede convertirse en un intermediario en la contaminación del drenaje subterráneo.”*

Algunas evidencias que presenta Oyarzún., en la región de Coquimbo:



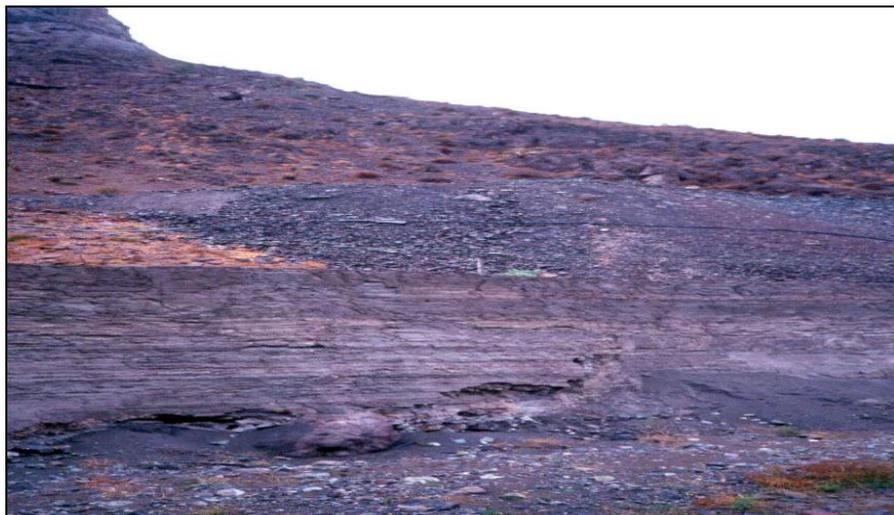
**Figura 44. Fotografía Drenaje ácido cerca de la planta de tratamiento de minerales de cobre de Panulcillo (IV Región) (Oyarzún, 2004)**



**Figura 45. Detalles de los sedimentos arrastrados Panulcillo (IV región) (Oyarzún, 2004)**



**Figura 46. Pila de cianuración abandonada en las instalaciones de Punitaqui (IV región) (Oyarzún, 2004)**



**Figura 47. Balsa de estériles abandonada en Quebrada Marquesa. (IV región) (Oyarzún, 2004)**

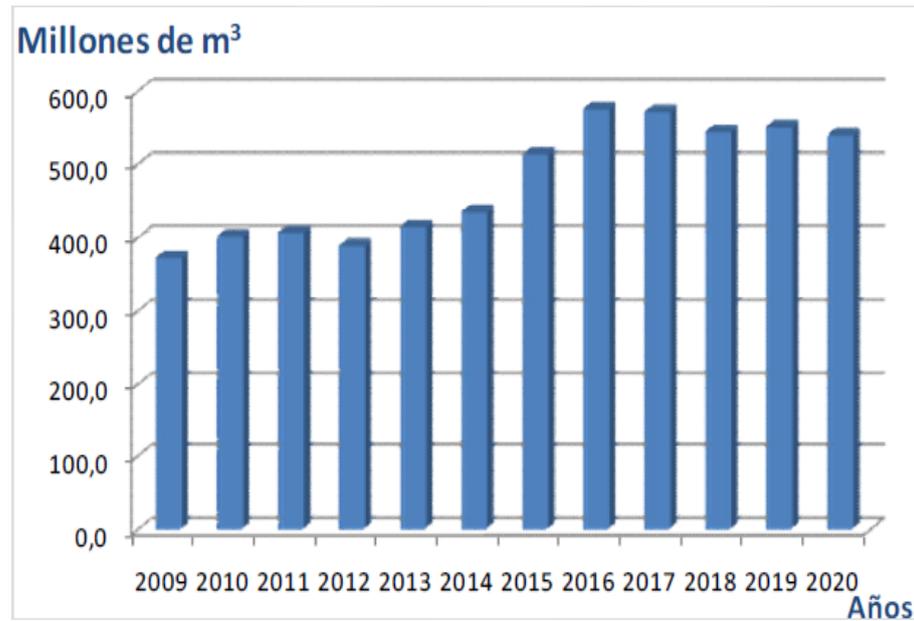


**Figura 48. Sedimentos enriquecidos en goethita y arsénico en el Río Toro (IV región) (Oyarzún, 2004)**

El nivel de contaminación y las repercusiones técnicas en lo específico no forman parte del análisis de este trabajo quedando formulada la inquietud a los especialistas vinculados a este tipo de fenómenos.

Hasta el momento se ha declarado el posible inconveniente que podría traer un eventual descontrol y seguimiento oportuno de las descargas de las empresas mineras que operan en la zona de estudio, además a nivel nacional

Por otra parte, la demanda de agua en el sector minero nacional ha sido estable desde el año 2009 y se prevé que seguirá hasta el año 2014. Sin embargo, según estudio realizado por la Comisión Chilena de Cobre (COCHILCO) entre los períodos comprendidos entre 2015 y 2020, la demanda aumentará. Resulta evidente concluir, si las empresas mineras han realizado esfuerzos para obtener un resultado más eficiente en la utilización del agua, ya sea mediante mejores técnicas y control de la recirculación de estas en los procesos propios de su actividad, entonces ¿A qué se debería el aumento en la proyección?, sólo una hipótesis: al crecimiento evidente que se espera para los períodos (2015-2020)



**Gráfico 29. Proyección de demanda de agua para la producción total de Cobre en Chile 2009-2020 (COCHILCO, 2008)**

Es cierto y reconocido el aporte del sector a la economía de Chile. Por tanto, hasta cierto punto justificables la gran demanda de agua. ¿Pero si hoy existe déficit, como se resolverá en el futuro el problema en la obtención de agua para las operaciones mineras? La única salida o al menos más viable es seguir en la línea de optimizar su utilización ya sea mediante los métodos actuales o algunos otros en estudio.

Resulta conveniente para intentar responder a la pregunta formulada citar estudios realizados (CEPAL, 2009. capítulo II del presente trabajo) sobre el incremento en las temperaturas entre los períodos 2020 a 2090 como consecuencia de las emisiones de gases de efecto invernadero a una escala global, y el mismo estudio señala el efecto que tendrá sobre las

precipitaciones en Chile considerando tres períodos de tiempo en dos escenarios, con niveles alto y moderado del GEI.

A nivel regional, están emplazadas dos grandes mineras, que demandan gran cantidad de agua, estas son: Minera Los Pelambres (n°5 a nivel nacional; n°1 nivel regional) y Compañía Minera Carmen de Andacollo. (n°25 a nivel nacional; n°2 a nivel regional)

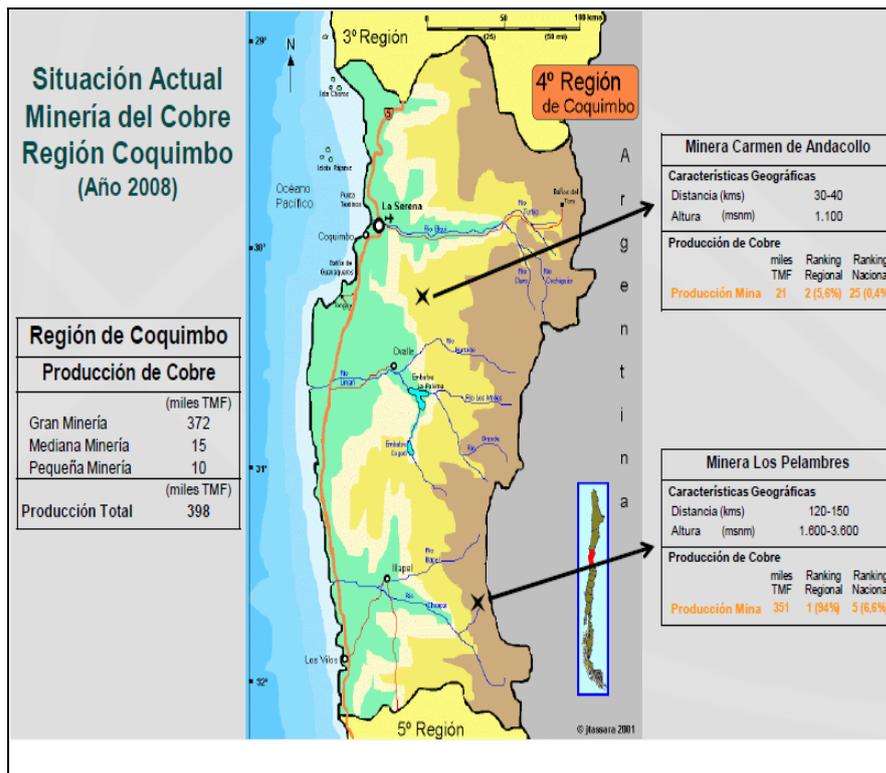
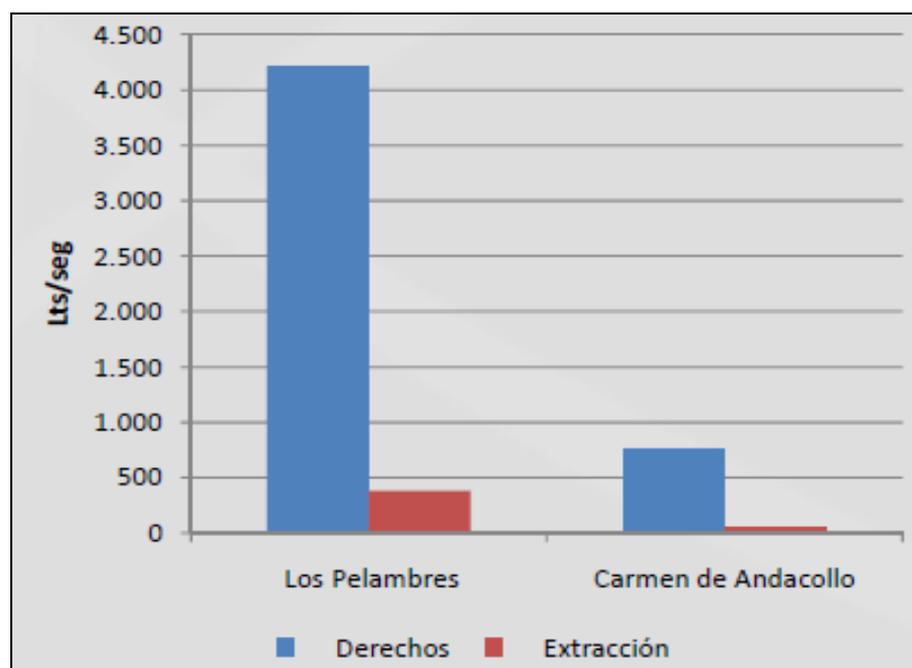


Figura 49. Consumo de agua minería del cobre Región de Coquimbo (COCHILCO, 2008)



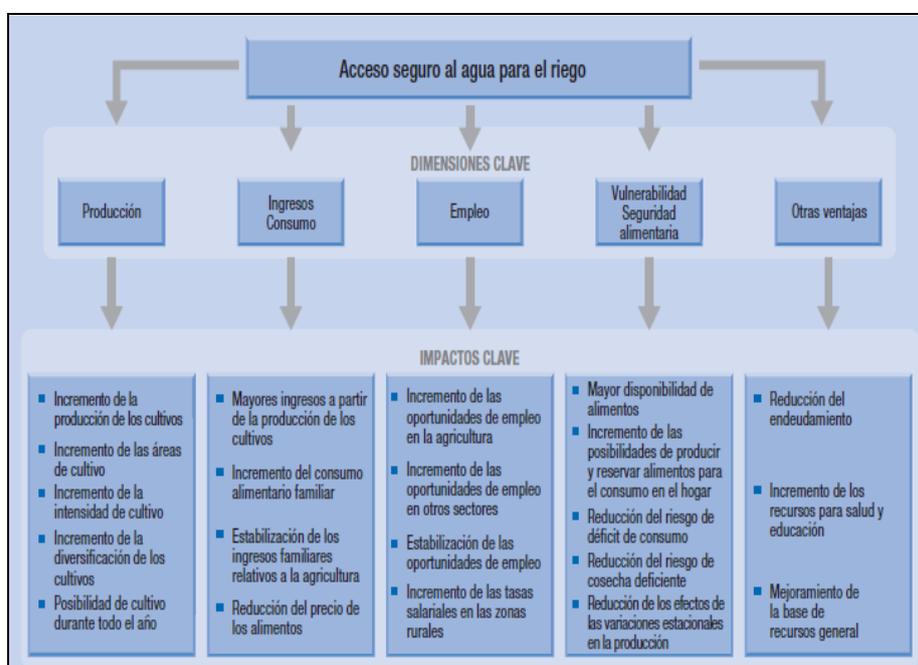
**Gráfico 30. Consumo de agua Minería del cobre Región Coquimbo (Fuente: Informe: "Derechos y extracciones y tasas unitarias de consumo del agua del sector minero regiones Centro-norte de Chile, DGA- Proust Consultores, Marzo 2008". COCHILCO, 2008)**

En ambos casos el nivel de extracción de agua es inferior a los derechos asignados a cada una de las empresas mineras.

### 6.2.2. Sector agrícola

En este apartado no es necesario comentar los mismos alcances iniciales del apartado anterior. Sin embargo, necesariamente para efectos de argumentativos se realizará un estudio de las cuencas hidrográficas presentes en la región de Coquimbo.

En la cumbre Mundial que se organizó el año 2002 se enfatizó respecto a la importancia del acceso al agua como motor impulsor para resolver los problemas más comunes que podrían generarse ante la ausencia de este recurso.



**Figura 50. Esquema de impacto en las comunidades en el acceso al agua de riego. (Cumbre Mundial sobre el desarrollo sostenible, 2002. Adaptación de Hussain y Hanjra)**

Chile en los últimos períodos ha registrado una balanza comercial favorable como consecuencia de las políticas

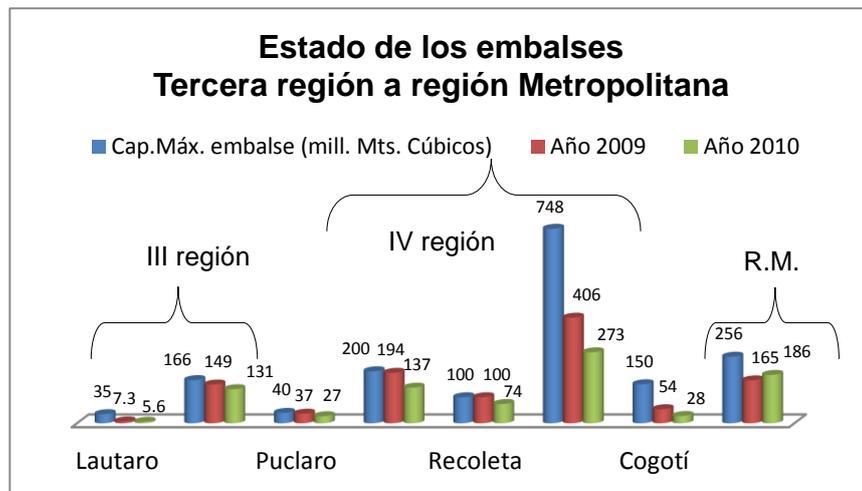
positivas por parte del estado, el ministerio de agricultura y los organismos que lo conforman, tanto a nivel central como regional.

Cerca del 75% de las explotaciones agrícolas cuenta con menos de 20 hectáreas, 19% entre 20 y 100 hectáreas y el resto sobre 100 hectáreas. (VII Censo agropecuario nacional, 2007)

El sector agrícola de Chile enfrenta el mismo problema del sector minero en relación a los recursos hídricos como consecuencia principalmente de las precipitaciones que han ido disminuyendo en los últimos períodos.

Basta con mencionar el nivel de embalsado según reportes de la Dirección General de Aguas en el año 2010 y realizar un análisis comparativo para reafirmar la situación.

Los siguientes gráficos muestran algunas comparaciones que resultan importantes para explicar la situación actual.



**Gráfico 31. Estado de embalses desde la Tercera región a región Metropolitana. (Adaptación propia; DGA, 2010)**

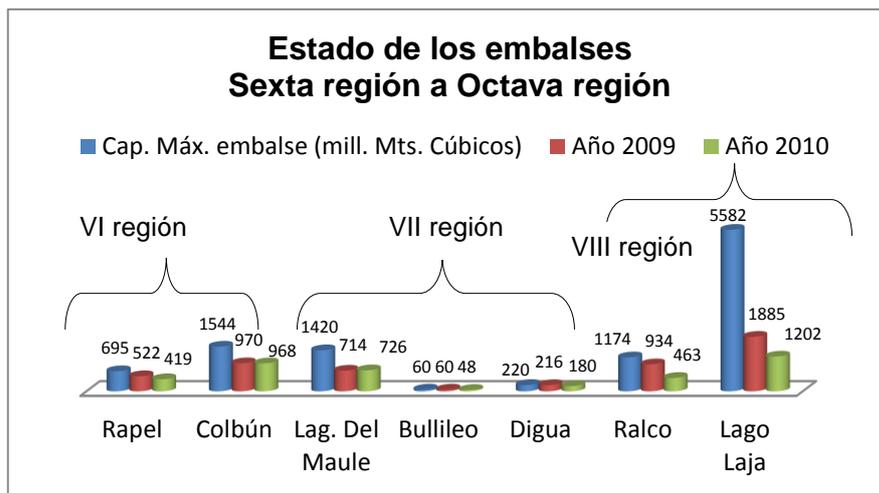


Gráfico 32. Estado de embalses desde la Sexta a Octava región. (Adaptación propia; DGA, 2010)

En general, los embalses emplazados en las zonas norte y sur han registrado déficit hídrico. El embalse La Paloma en los dos años de estudio solamente logró poco más del 50% de su capacidad máxima, situación parecida ocurrió en el embalse Lago Laja de la zona sur de Chile alcanzando un tercio de la capacidad.

Zona Norte				Zona Sur			
Promedio		Mediana		Promedio		Mediana	
2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010
139	108	125	103	757	572	714	463

Tabla 40. Consolidado de capacidades de agua embalsadas por zonas período 2009-2010. (Elaboración propia. DGA, 2010)

La capacidad contenida en los embalse en la zona norte disminuyó en 18% entre los períodos 2009 y 2010. Mismo

período la zona sur también sufrió un déficit en la capacidad de 19%. Sin embargo, al comparar las dos zonas en mismos períodos en 2009 la capacidad embalsada en la zona sur superó en más del 550% a la capacidad de recolección de embalses en el norte; en 2010 se estrecho la diferencia a 450%, aunque se puede seguir considerando muy significativa entre las zonas de estudio, con este análisis se comprueba que efectivamente existe una asimetría, desde luego, natural en la tenencia y acceso al recurso.

Las precipitaciones también generan dificultad para el sector agrícola

<b>INFORME DE PRECIPITACIONES</b>						
<b>Jueves, 02 de Febrero de 2012</b>						
<b>Ciudad</b>	<b>Últimas 24 horas</b>	<b>Total a la fecha</b>	<b>Normal a la fecha</b>	<b>Año pasado igual fecha</b>	<b>Déficit o Superávit</b>	<b>Normal Anual</b>
Arica	s/p	s/p	0	0	-100	0.5
Iquique	s/p	0.3	s/p	s/p	>100	0.6
Calama	s/p	0	1.6	s/p	-100	5.7
Antofagasta	s/p	0	0	s/p	0	1.7
Caldera	s/p	s/p	s/i	s/p	s/i	s/i
La Serena	s/p	s/p	0	0	-100	78.5
Valparaíso	s/p	0	0.4	0	-100	372.5
Pudahuel	s/p	0	0.4	s/p	-100	261.6
Santiago	s/p	s/p	0.4	s/p	-100	312.5
Tobalaba	s/p	0.5	0.5	s/p	0	347.2
Juan Fernández	s/p	29	29.2	29.2	-1	1041.5
Curicó	s/p	s/p	3.8	8.7	-100	701.9
Chillán	s/p	13.2	17.6	42.7	-25	1107
Concepción	s/p	15.4	21.4	20.2	-28	1110.1

Temuco	s/p	18.6	43.6	61.2	-57	1157.4
Valdivia	s/p	68.4	55.7	60.1	23	1871
Osorno	s/p	66.3	49.3	65.9	34	1331.8
Puerto Montt	s/p	70.2	91.5	121.2	-23	1802.5
Coyhaique	0	57.5	66.2	74.6	-13	1205.9
Balmaceda	s/p	23.7	28.6	29	-17	611.6
Punta Arenas	0.4	21	39.8	50.4	-47	375.7

**Tabla 41. Dirección Meteorológica de Chile (Dirección General de Aeronáutica. 2012)**

Según los registros de la Dirección Meteorológica en la mayoría de las estaciones del país, la mayoría presenta déficit y en la zona norte todas marcan déficit. En lo particular no hay contribución a los caudales de los ríos o algún depósito natural que permita cubrir las necesidades del sector.

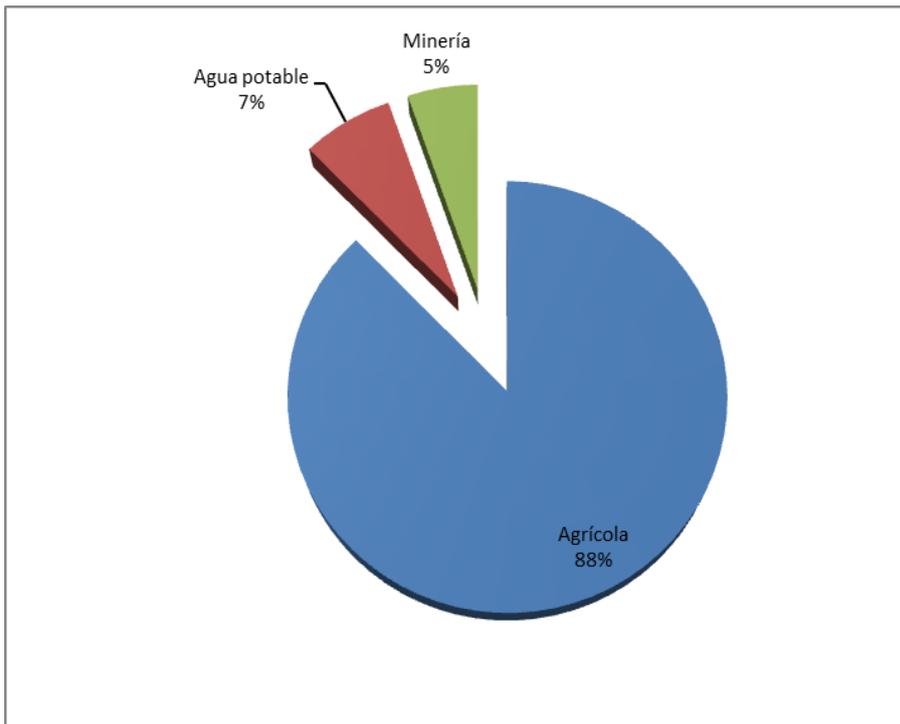
Es oportuno realizar algunos análisis respecto a lo planteado por el autor para complejizar aún más la problemática en el tema del agua. (Peralta F., 2011. ALHSUD.) *Cit.*, DGA (2003-2007). Minería DGA 2008, embalses superficiales. CNR 2005, SII 2006, Habitantes I – IX regiones, INE Censo 2002.)

Por falta de mecanismos naturales o falta de eficiencia y de control la mayor parte del agua disponible se pierde.



**Gráfico 33. Distribución de los recursos hídricos I a IX Región Chile (Adaptación propia, a partir de (Peralta F., 2011. ALHSUD.) Cit., DGA (2003-2007). Minería DGA 2008, embalses superficiales. CNR 2005, SII 2006, Habitantes I – IX regiones, INE Censo 2002.)**

A partir del porcentaje destinado para el uso de agua, (16%)  
La descomposición según las distintas aplicaciones por sectores se aprecia en la siguiente gráfica.



**Gráfico 34. Distribución de los recursos hídricos I a IX Región Chile por sectores. (Adaptación propia, a partir de (Peralta F., 2011. ALHSUD.) Cit., DGA (2003-2007). Minería DGA 2008, embalses superficiales. CNR 2005, SII 2006, Habitantes I – IX regiones, INE Censo 2002.)**

Que en términos de pesos ponderados con respecto al global sería 14.1% para agricultura, agua potable para consumo 1.12% y 0.8% en minería considerando todas las regiones en estudio.

Finalmente de total registrado en el estudio de los recursos hídricos (I – IX regiones) de 113.200 Mm<sup>3</sup>/año, la utilización global en los sectores de las regiones III y IV se reduce a 10.56% en agricultura, 0.06% para consumo y 0.16% para la minería.

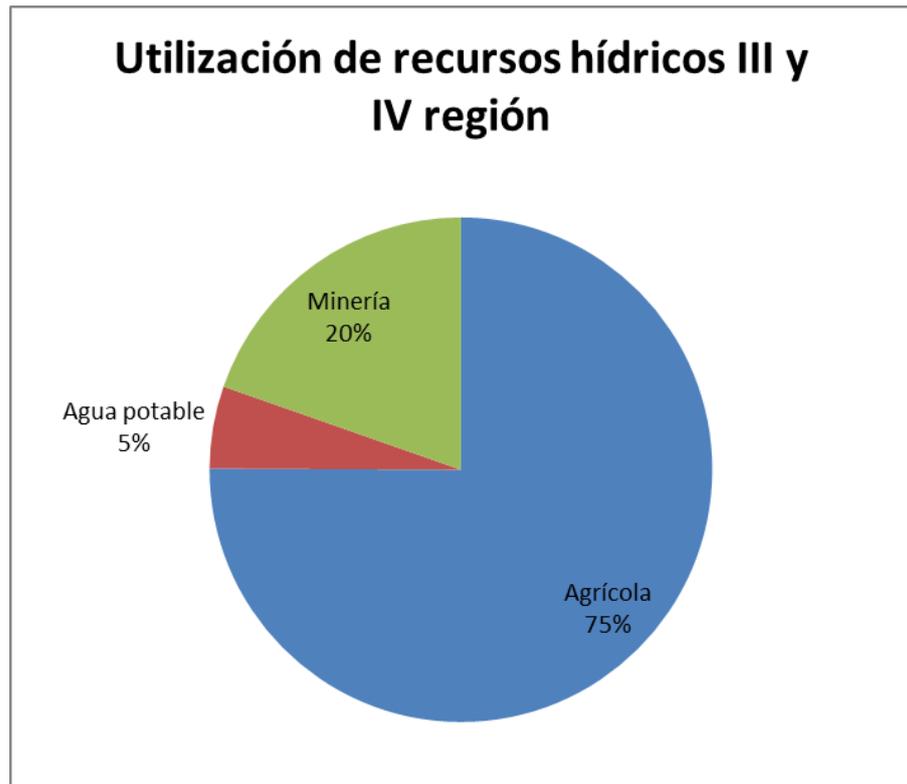


Gráfico 35. Distribución de los recursos hídricos III y IV Región Chile por sectores. (Adaptación propia, a partir de (Peralta F., 2011. ALHSUD.) *Cit.*, DGA (2003-2007). Minería DGA 2008, embalses superficiales. CNR 2005, SII 2006, Habitantes I – IX regiones, INE Censo 2002.)

### 6.3. Identificación de alternativas

En el apartado anterior se describió el problema que enfrentan los sectores minero y agrícola en la cuarta región.

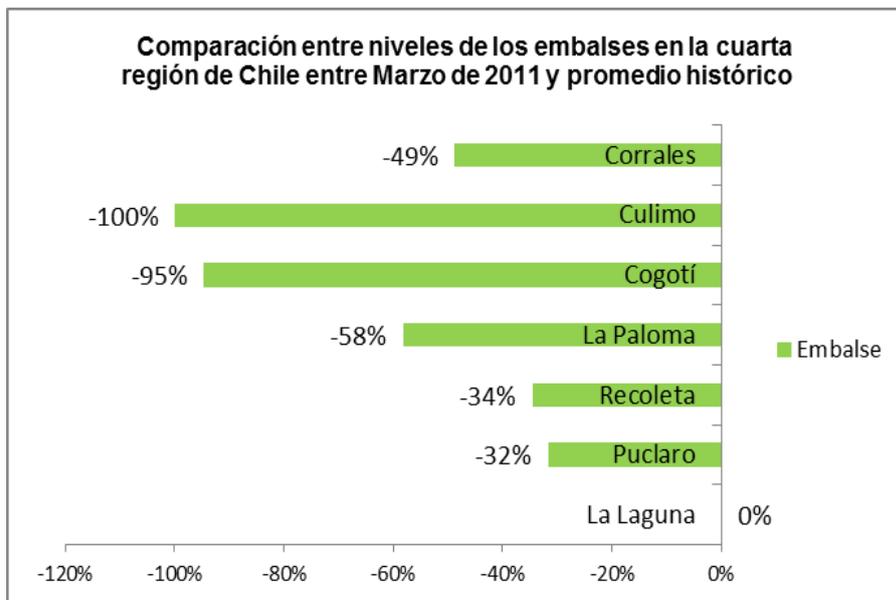
En este apartado se presentan las alternativas para encontrar una solución a los recursos hídricos, respecto a su obtención y utilización.

La escasez de este recurso, ya sea como una consecuencia de factores pluviométricos y/o climáticos, sobre explotación por parte de la empresas, han ido mermando el abastecimiento

superficial. No obstante, las fuentes subterráneas en este último tiempo han sido motivo de discusión de organismos regionales que representan al gobierno central, expertos en hidrología, hidrogeología, agronomía, hidráulica, minería, geología, abogados y profesionales de las más diversas especialidades, académicos y empresas sectoriales, comunidades pobladas, juntas de vigilancia, comunidades de regantes y público en general.

La cuarta región cuenta con tres provincias, en cada una de estas se emplaza una cuenca hidrográfica (capítulo V)

Los embalses ubicados en la región (DGA, 2011) han mostrados niveles deficitarios.



**Gráfico 36. Niveles de embalse en la cuarta región (DGA, 2010)**

La gráfica anterior indica que es necesario buscar otra opción de suministros que proviene de fuentes subterráneas, en la actualidad los acuíferos son explotados por empresas mineras principalmente, además de las empresas agrícolas y agricultores en general.

Sin embargo, conviene mencionar algunos aspectos que pueden resultar interesantes respecto al manejo de los acuíferos, desde una perspectiva legal más que desde la práctica.

La normativa vigente se refiere acerca de la explotación de aguas subterráneas, indicando que los caudales de estas serán concesionados en función de la recarga anual de los acuíferos. Algunos especialistas sostienen que es probable que los datos registrados en la medición de recargas no sean del todo exactas, ya que para el efecto de concesión se utiliza solamente el criterio de usos previsibles.

Otros sostienen que los modelos hidrogeológicos utilizados no aplican a la realidad de estas fuentes proponiendo la utilización de otros modelos capaces de atrapar su real condición, otra situación a destacar es el actual sobre otorgamiento de los derechos de aguas subterráneas. ¿Cuál es la razón?, las concesiones deben operar en función de un factor o coeficiente de uso. Sin embargo, resulta controversial cuando es otorgado a los agricultores y por otra parte, a las empresas mineras. En el primer caso el factor opera 8 horas al día durante cuatro meses, pero se descubrió que estos mismos derechos cuando

son transferidos a las empresas mineras, estas hacen uso las 24 horas del día y los 365 días del año.

En la actualidad en Chile no existe un balance hídrico, impidiendo con ello contar con información detallada y oportuna de los cuerpos de aguas subterráneos.

Los modelos hidrogeológicos estudian de manera discontinua, que lleva a algunos casos a entregar más caudal de lo que posee un acuífero, en general, por regla se puede otorgar un 25% más de lo solicitado, pudiendo llegar a 40% en caso excepcionales debidamente autorizados y justificados.

Algunas posibles soluciones planteadas por los expertos es externalizar los estudios hidrogeológicos a empresas privadas, ejemplos de aplicación España y México entre otros países, lugares donde los resultados han sido favorables, mediante modelamientos hidrogeológicos que representan la realidad de la fuente de extracción.

Las dos alternativas planteadas para abordar el problema son seguir con la extracción en los acuíferos existentes o bien explorar y explotar nuevos acuíferos.

No se estima necesario tener como alternativas la recirculación de aguas, puesto que esta alternativa es aplicable solamente en las empresas mineras, y es necesario tener la tecnología adecuada para llevar a cabo este proceso, así como el uso de agua de mar.

En el caso de los acuíferos la vulnerabilidad a la contaminación es baja en comparación a las aguas superficiales. No obstante, siempre esta presente el riesgo de contaminación de estos de

manera intrínseca o específica. En el primer caso la contaminación de carácter intrínseco, y va relacionada directamente con las características propias del acuífero como materiales geológicos o el suelo. En el caso específico pasa por usos de territorios o por lo contaminantes directamente.

La recopilación bibliográfica de este trabajo, específicamente en el capítulo V dejan en evidencia que la extracción bajo superficie es viable, pero que requiere un mayor control por parte de las autoridades competentes en la materia y una profundización técnica que explique el real alcance de estos cuerpos subterráneos.

Finalmente las reservas de aguas subterráneas pueden favorecer a cubrir la demanda de los recursos necesarios en los procesos productivos de la cuarta región, resguardando el control de extracción, la contaminación de las aguas y la protección al medioambiente, objetivos que serán tratados en el próximo apartado.

#### **6.4. Identificación de objetivos**

Los objetivos dentro de la problemática abordada atienden a la definición dada por *Romero C., 1993*. En donde menciona que los objetivos deben ser dirigidos a optimizar (maximizar o minimizar) los atributos los cuales son sometidos a una evaluación a nivel multi experto por los centros decisores.

Los tres objetivos considerados en este estudio, los cuales deben minimizar los impactos son: el control de extracción de

aguas de los acuíferos, evitar su contaminación y proteger en medio ambiente.

#### **6.4.1. Control de extracción**

En la actualidad no se conoce con exactitud que cantidad de agua es realmente extraída en función de los derechos asignados. Si bien es cierto se maneja un catastro de las concesiones, la capacidad operativa del organismo fiscalizador no es la suficiente para detectar si efectivamente se extrae lo que legalmente se celebra por parte de los usuarios en general y el organismo controlador.

Anteriormente se indicó que en ocasiones se inscribe un caudal pero en la práctica la explotación es diferente.

La falta de control en la extracción provoca un desbalance hídrico en el acuífero, en ocasiones se han apreciado diferencias importantes entre la recarga del acuífero respecto a la caudal de descarga, principalmente porque no existe un monitoreo oportuno y continuo para conocer lo existente “en tiempo real”.

#### **6.4.2. Contaminación de las aguas en acuíferos**

La contaminación de un acuífero puede suceder por diversas razones, en el caso del sector agrícola los agentes químicos utilizados en los cultivos causan impactos no solo al medio ambiente, sino que además mediante la infiltración de las

aguas de riego bajo la superficie las reacciones químicas producidas son la causal de la contaminación.

En el sector minero, los eventuales accidentes que lleven a verter los residuos y aguas pesadas a los cauces de los ríos como se apreció en la fotografías al comienzo de este capítulo no solamente afecta a los agricultores y a la comunidades pobladas, y comunidades establecidas cuyo objetivo común es el aprovechamiento de las aguas, sino que además al mundo acuático.

El exceso de salinidad también contamina las aguas, puntualmente en los sectores costeros debido a la intrusión de aguas marina en las aguas subterráneas, un caso emblemático en la cuarta región es el caso de Los Choros, debido a sobre explotación del acuífero se produjo un desbalance hídrico trayendo consecuencias para todos los sectores en general y a la población que vio afectado su forma de vida.

Algunas incidencias importantes:

Año 2009 el proyecto de expansión de la Minera del Carmen recibe la aprobación de la COREMA. El proyecto señala que se extraerán las aguas para el funcionamiento de la mina del Canal Bellavista, para lo cual la minera había comprado derechos de agua. Aguas del Valle realiza estudios y señala que si la minera utiliza el agua que le corresponde por los derechos de agua no alcanzaría el agua para otros usos. La oposición estuvo compuesta por una variedad de actores: Municipalidad de Coquimbo, comunidad de agricultores y habitantes de Pan de Azúcar, Comités de Agua Potable Rural

(APR), agrupaciones de Juntas de Vecinos Rurales, Empresa Sanitaria Aguas del Valle, Movimiento ciudadano por Coquimbo y el diputado de la región.

Las acciones de la comunidad de Paihuano en contra de la fumigación de los predios agrícolas llevan más de una década. En Octubre del año 2007, los niños de la escuela de Paihuano, junto a la Organización Elqui Sustentable, salieron a protestar por la exposición de pesticidas.

#### **6.4.3. Protección al medio ambiente**

Las empresas mineras de la región, específicamente Compañía Minera Carmen de Andacollo y Minera Los Pelambres, han enfrentado serias dificultades en temas de protección al medio ambiente por sus operaciones.

La expansión de la explotación cuprífera en la provincia de Choapa de la Minera Los Pelambres (MLP) Ltda., ha acarreado una serie de movilizaciones en diferentes sectores y convocando a variados actores regionales y extra regionales.

1997 a 1998. Un primer frente de conflictos se observó en la Comuna de Los Vilos, donde se instalaría un Terminal marítimo en Punta de Chungo. El principal oponente fue el Comité de Defensa de Los Vilos y el Alcalde de la época.

Algunos miembros del Comité de Defensa de Los Vilos, al ver como avanzaba la aprobación del EIA de la MLP, reciben el apoyo de las organizaciones ambientalistas: Observatorio Latinoamericano de Conflictos Ambientales (OLCA) y Greenpeace, en alianza con Instituto de Ecología Política (IEP)

y la Red Nacional de Acción Ecológica (RENACE). Estas organizaciones retiran su apoyo una vez que el Comité inicia conversaciones con Minera Los Pelambres.

En 1998 se firma un Convenio de Cooperación entre los pescadores de Los Vilos y Minera Los Pelambres. Este acuerdo pone fin al Comité de Defensa de Los Vilos.

*“En 1997, la Minera Los Pelambres Ltda., presenta el proyecto ‘Expansión Minera Los Pelambres 85.000 tpd’ al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental para su evaluación a través de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA). El proyecto consiste en la explotación de un yacimiento de cobre ubicado en el nacimiento del río Los Pelambres implicando la construcción de tres tranques de relaves, un concentrado de 120 Km. para el transporte de un concentrado de cobre mezclado con agua que recorre la cuenca del Choapa hasta la Bahía de Conchalí en Los Vilos y un Terminal marítimo en el sector. En octubre del 1997 recibe la aprobación de la COREMA.”*

2001 a 2002. Se desarrolla una serie de movilizaciones en oposición a la construcción anticipada de los tranques de relave ‘Las Lajas’ y ‘Quebrada seca’ sobre el Río Manque, los cuales tenían aprobada su construcción para los años 2007 y 2017 respectivamente. La oposición está compuesta no sólo por ciudadanía organizada (Comité de Defensa del Valle del Choapa y Junta de Vigilancia del Valle Choapa) sino que además se oponen las autoridades locales (de Salamanca). Tras varias movilizaciones la Minera decide

trasladar la construcción del tranque hacia el valle de Pupío (tranque 'El Mauro'), ubicado en otra comuna y afectando a una población menor. El movimiento ciudadano de Caimanes no recibirá apoyo de sus homónimos del valle del Choapa, quienes luego de oponerse a la minera, aprueban la construcción del tranque en el nuevo emplazamiento.

*“El 20 de Junio del 2001, Minera Los Pelambres ingresó al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, SEIA, una Declaración, DIA, con el proyecto “Optimización operación actual a 114 ktpd”. Esta Declaración busca regularizar la sobre explotación de la mina que llevó al colapso del primer tranque en dos años de operaciones, el cual tenía previsto una vida útil de 8 años. De acuerdo a la normativa vigente, la DIA no implica instancias de participación ciudadana. La oposición señala que dado que la ‘optimización’ corresponde a un 30% de la producción de la mina, correspondía ingresar un nuevo EIA y no una DIA.”*

2004 a 2009. La construcción de tranque de relave 'El Mauro' (el más grande de sudamérica y tercero más grande del mundo) a 10 kilómetros del pueblo Caimanes de 1.700 habitantes, suscita nuevas movilizaciones ciudadanas encabezadas por el Comité de Defensa del Valle del Pupío y por la Junta de Vecinos N° 4 de Caimanes. En el año 2004 el proyecto recibe aprobación de COREMA, CONAMA y DGA. Tras variadas movilizaciones con apoyo de un experto en medioambiente en noviembre de 2005 tienen una reclamación ante la Corte de Apelaciones contra la Dirección General de

Aguas por autorizar un tranque que vulnera normas del Código de Aguas al afectar el derecho de los reclamantes. Noviembre de 2006 la Corte de Apelación falló unánime en contra de la construcción del tranque. La minera presentó un recurso de casación en la Corte Suprema. En abril 2008, antes del fallo de la Corte Suprema llegan a acuerdo extrajudicial, donde se indemniza a pobladores que presentan la reclamación.

En (julio 2009), la MLP se querelló contra un grupo de abogados que están interponiendo otros recursos que buscan indemnizar a más familias.

Desde la aprobación del Estudio de Impacto Ambiental la explotación de oro de la Compañía Minera Dayton y la Compañía Minera Carmen de Andacollo (CDA), se han constatado contaminación ambiental por el mal tratamiento de residuos. En el año 2006 Las constantes tronaduras alertan a la población que denuncia problemas estructurales en casas y polvo en suspensión. Durante el año 2007 el Polvo en suspensión es evidente, existiendo un colchón de contaminación permanente que cubre toda la zona urbana, lo cual motiva la creación de la Agrupación para el Control del Medioambiente y Desarrollo Comunal de Andacollo (CMA). A partir de las gestiones de esta agrupación y la observación directa de los efectos de las tronaduras por parte de las autoridades regionales, comienzan las acciones para monitorear los niveles de contaminación del aire.

## **6.5. Grupos afectados**

Los grupos afectados considerados en este problema son las comunidades de regantes y asociaciones, juntas de vigilancia, asociaciones de canalistas, comunidades de agua y organizaciones comunitarias.

En (Solanes, 1981) *“Las comunidades de regantes y las asociaciones se integran por los titulares de derechos de aprovechamientos que las constituyen y los que por cualquier título los substituyeran, sin que valga estipulación en contrario. Las juntas de vigilancia se integran con las personas naturales, las asociaciones de canalistas, las comunidades de aguas u otras personas jurídicas que de cualquier forma aprovechen aguas de una misma cuenca y hoya hidrográfica.”*

Por tanto, según el autor estos grupos tienen un común denominador que es la cuenca hidrográfica que está emplazada geográficamente para su aprovechamiento de agua, entonces hay evidencias que indican que los efectos positivos o negativos repercuten en todos estos grupos por igual, exceptuando a las organizaciones comunitarias, ya que los integrantes de este grupo, no necesariamente tienen los mismos intereses de los demás grupos vinculados al tema.

En (Bonn, Alemania 2001; Cit. Mallea, 2011) en la conferencia “El agua: Una de las claves para el desarrollo sostenible” se sentenció “las cuenca hidrográficas son el marco de referencia indicado para la gestión de los recursos hídricos”; “cuencas hidrográficas, las cuencas fluviales, los lagos y los acuíferos

deben ser el marco de referencia primario para la gestión de los recursos hídricos”.

Finalmente, para efectos legales se establecen las diferencias entre los grupos afectados juntas de vigilancia, asociaciones de canalistas, comunidades regantes y comunidades de agua. Sin embargo, para efectos de recursos hídricos el impacto es el mismo. Luego, se clasifican en dos grupos de afectados. El primero formado por todos los anteriores y el otro son la organizaciones comunitarias.

La escasez de precipitaciones en la región, la sobre explotación de los recursos por parte de algunas de las empresas, y la contaminación de las aguas afectan a un grupo de personas vinculadas al sector agrícola y a comunidades pobladas en general.

Para reafirmar lo anterior se presentan algunos de los resultados en relación a la calidad de las aguas de sectores correspondientes a la provincia del Choapa en la cuarta región de Chile.

Elemento o compuesto	Nº de análisis	Nº de análisis sobre NCh 1333	% de análisis sobre NCh 1333
Manganeso	172	15	8,72
Aluminio	171	14	8,19
Conductividad Eléctrica	240	19	7,91
Hierro	172	13	7,56
Sodio porcentual	165	8	4,85
Cobre	172	8	4,65
Coliformes fecales	224	10	4,46
Sólidos Disueltos Totales	240	8	3,33
pH	240	8	3,33
Molibdeno	176	4	2,27
Sulfatos	211	3	1,42
Zinc	163	1	0,61
Cloruros	165	1	0,60

\* Incluye aguas de ríos, esteros y canales

**Tabla 42. Principales contaminantes de las aguas superficiales de la cuenca del Choapa. Cuarta Región Coquimbo-Chile. (Meza, 2009)**

La norma chilena Nch 1333 está orientada a establecer la calidad de las aguas.

Los usuarios que toman sus aguas provenientes de estos cauces ven perjudicados sus cultivos y el consumo, y eventualmente la productividad de sus operaciones.

Algunos de las variables que inciden en los procesos y fuentes involucrando y afectando a grupos, ente otras se encuentran la contaminación orgánica, se descomponen en el agua y disminuyen el oxígeno disuelto, induciendo la eutrofización, cuyas fuentes pueden ser industriales, domésticas y asentamientos humanos.

Por nutrientes, incluyen principalmente fosfatos y nitratos, su incremento en el agua induce a una eutrofización. Se originan de desechos humanos y animales, detergentes y escorrentía

de fertilizantes agrícolas, cuyas fuentes pueden ser domésticas, industriales, escorrentía agrícola.

Por metales pesados, se originan principalmente alrededor de centros industriales y mineros o través de lixiviados.

Por otra parte, la potencialidad económica supera la disponibilidad de los recursos hídricos, ante el aumento del uso de agua y de superficie, sumando la incapacidad del sistema institucional para generar un escenario sustentable, condición que también afecta a los grupos de interés no tan solo en la región sino que en toda la zona norte debido a la escasez. Por tal razón ha sido necesario buscar nuevas fuentes de extracción permitiendo una mejor dinámica económica principalmente reflejada en el aumento de extracciones de aguas subterráneas, en función del aumento de las superficies de riego.

Sobre el particular existen algunos casos de estudio que se realizaron en la zona norte de Chile. Casos como el estudio en la región de Copiapó inmediatamente al norte de la región de Coquimbo y el caso de estudio de pozos de extracción en la primera región para abastecimiento de los grupos interesados.

## **6.6. Centro decisores**

En el capítulo III se presentaron los organismos que intervienen y/o tienen relación con el tema de los recursos hídricos en Chile, por lo cual no serán definidos en este apartado. Sin embargo, el problema que se plantea en este trabajo y el contexto específico del mismo, queda circunscrito a temas de

derechos de aguas, regulación, fiscalización, obras de riego y su desarrollo, calidad y vertidos de residuos industriales por parte de empresas.

Los centros decisores que formarán parte de la solución serán: Dirección General de Aguas (DGA), Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), Comisión Nacional de Riego (CNR), Servicio Agrícola Ganadero (SAG), Comisión Regional de Medio Ambiente (COREMA) y Servicio Nacional de Geología y Minería. (SERNAGEOMIN)

### **6.7. Criterios de decisión**

Los criterios seleccionados para abordar la problemática de los recursos hídrico serán: políticos, económicos, sociales, ambientales y técnicos.

Criterio político, atiende el impacto en las cuencas hidrográficas de la región, productores en general que se beneficien de los recursos hídricos, organismos públicos y privados, y los grupos afectados.

Criterio económico, involucra la implementación de procesos que sean económicamente atractivos, costos de inversión, operación y mantenimiento que sean necesarios para garantizar la operatividad de los procesos y por último atenderá los beneficios resultantes.

Criterio social, apunta a conocer los cambios demográficos experimentados en la zona, la condición de la salud de los centros poblados que indirectamente reciben las

consecuencias favorables o no de los usos, utilización y posteriormente los vertidos.

Criterio ambiental, se ocupa de la calidad del agua, las condiciones sanitarias aceptables, principalmente de las poblaciones aledañas sin perjuicio de la población en general y de la preservación de sitios históricos (Ej.: los estudios arqueológicos que deben realizar las empresas mineras en el sitio que van establecer sus operaciones.)

Criterio técnico, cuya atención está centrada en las condiciones técnicas adecuadas para las operaciones, con tecnologías apropiadas y por último el criterio de disponibilidad orientado a satisfacer los requerimientos de todos los actores en cuyos procesos el agua es un insumo, y considerando además la demandas de las comunidades pobladas para su consumo.

## **6.8. Contribución del modelo matemático que representen las preferencias del decisor.**

### **6.8.1. Justificación de la muestra**

Un experimento estadístico involucra la observación de una muestra seleccionada de un conjunto mayor de datos, denominada población.

Las mediciones en la muestras se utilizan para realizar inferencias con respecto a las características de la población de estudio (Mendenhall, et al., 1994)

Los métodos de muestreos se dividen en dos grandes ramas, el muestreo probabilístico, que básicamente indica que los individuos de una misma población tienen la misma probabilidad de ser escogidos (Manzano, 1998), y por otra parte se encuentra el muestreo no probabilístico en donde los individuos no tienen la misma probabilidad de ser escogidos. Por tanto, generar a partir de este punto un estudio inferencial resulta difícil.

En este estudio se realizó un muestreo probabilístico, en donde la población objeto de estudio estuvo conformada por profesionales y expertos de todos los organismos involucrados, (ver apartado centros decisores) además de académicos y profesionales vinculados al tema de recursos hídricos en la cuarta región de Chile.

Los estratos están plenamente identificados, no así la cantidad de individuos que lo conforman. Por tanto, se hizo indispensable realizar un estudio a base de inferencia estadística. (Kazmier, 1998)

Por otra parte, tomando en consideración las siguientes propiedades de inferencia estadística.

$$E[X]=\mu \quad [1]$$

La fórmula anterior, indica que el estadístico de la media muestral es en valor muy cercano a parámetro  $\mu$ , que es la media poblacional:

$$E[\theta] = \hat{\theta} \quad [2]$$

Es decir, que el estadístico es una buena aproximación del parámetro.

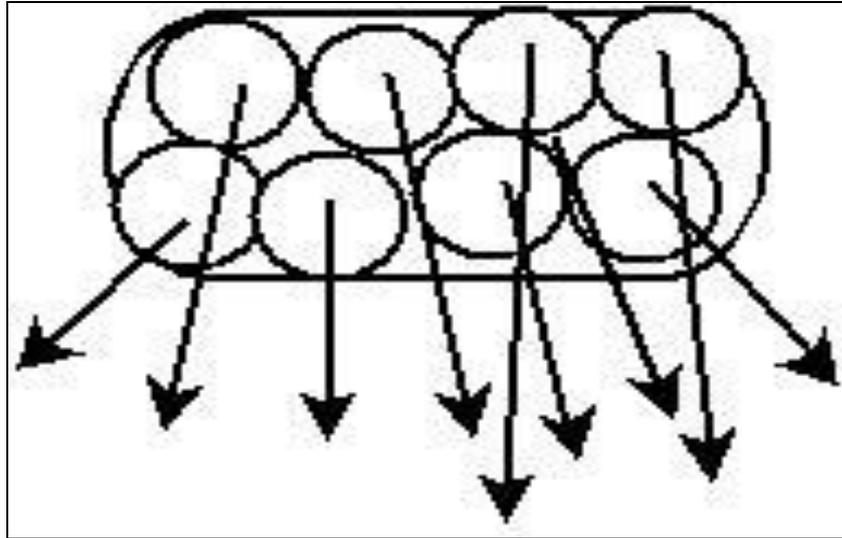


Figura 51. Selección de una muestra de una población. Estimador insesgado del estadístico respecto al parámetro. (Elaboración propia. Kazmier, 1998)

Luego, se cumple la siguiente expresión:

$$\bar{x}_1 = \bar{x}_2 = \bar{x}_3 \dots \dots \dots = \bar{x}_{n-1} = \dots \dots \dots \bar{x}_n = \mu \quad [3]$$

### 6.8.2. Encuestas

Según la ecuación [2], indica que en un muestreo probabilístico previamente estratificado, el valor del estadístico escogido mediante todas las posibles combinaciones que se puedan dar en el universo pre establecido, se obtienen valores promedios muestrales aproximadamente similares entre sí, y a su vez se aproximan al valor del parámetro. (Warkerly et al, 2002)

Se encuestaron a veinte expertos, estos fueron: un hidromensor, cinco académicos, (tres especialistas en minería y dos en agricultura) un meteorólogo, dos gerentes de empresas agrícolas, un técnico en construcción, un ingeniero ambiental, dos hidrogeólogos, un supervisor de operaciones minas, un experto en riego, un ingeniero agroindustrial, un ingeniero en minas y un ingeniero agrícola. Todos vinculados a los organismos que son llamados centros decisores, exceptos los académicos; con el nivel de conocimiento necesario para establecer los criterios más importantes, los centros decisores que influyen en la toma de decisión, los grupos afectados del problema, los objetivos necesarios y las alternativas. (Refiérase Anejo I)

A partir, de los resultados obtenidos de esta encuesta preliminar, se confeccionó la segunda encuesta, (Refiérase Anejo II) donde se realizaron 331 comparaciones por cada uno de los 20 expertos, según lo siguiente: 15 en criterios; 30 en centros decisores; 22 en grupos afectados; 132 en objetivos y 132 en alternativas.

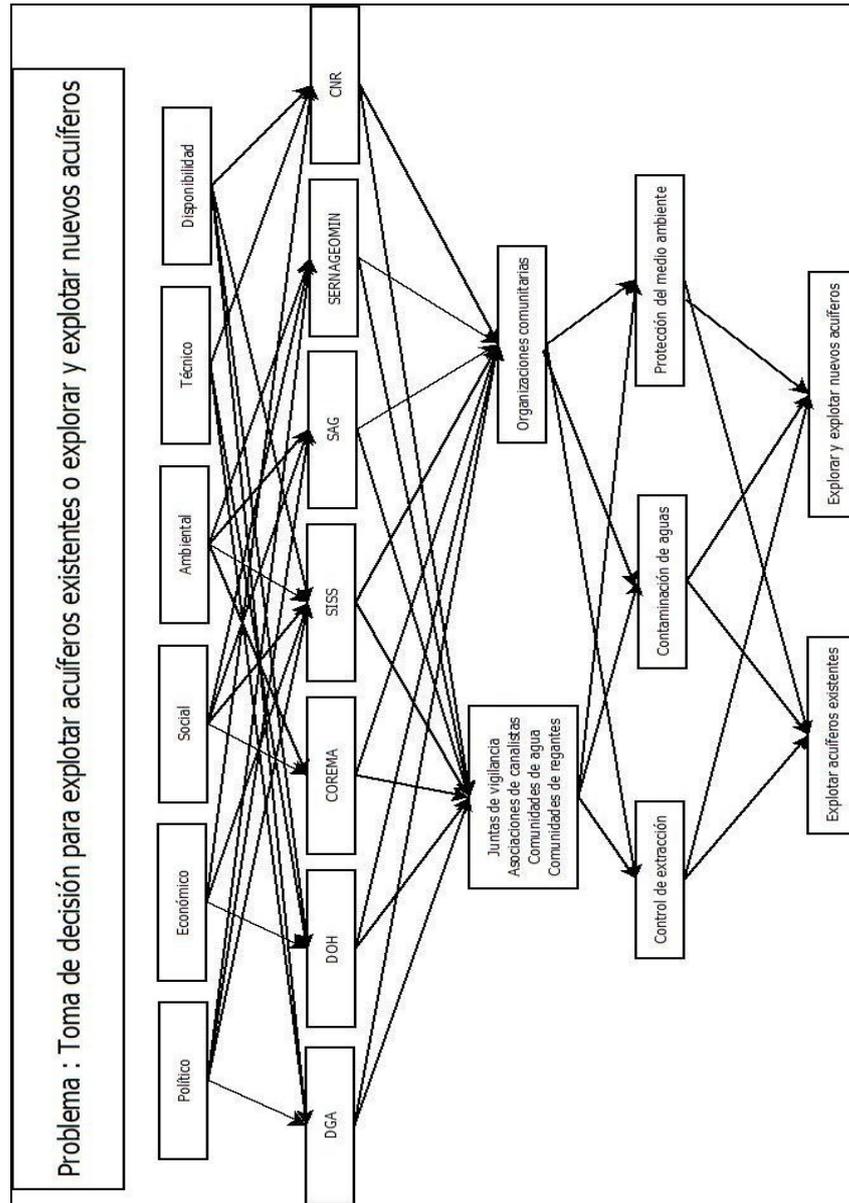
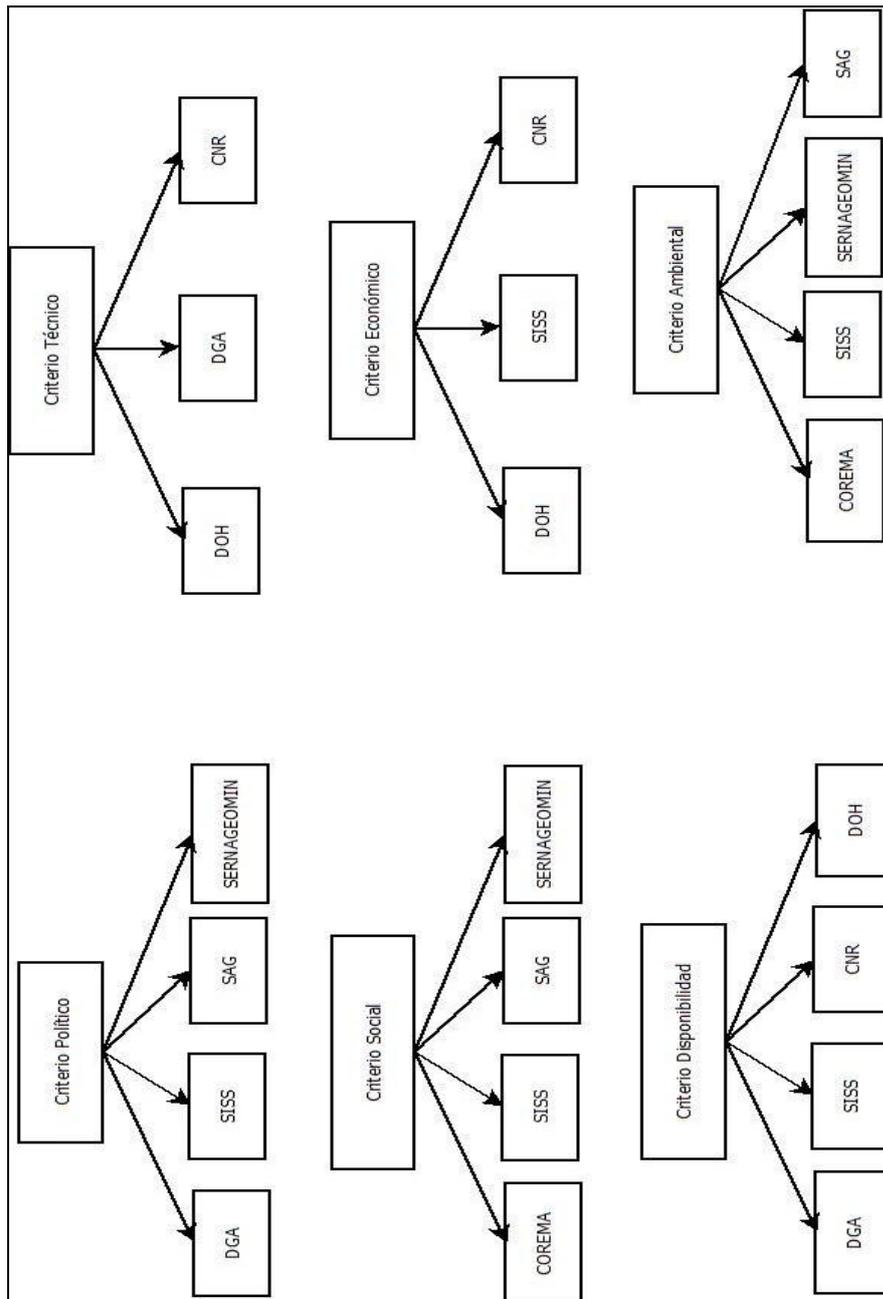


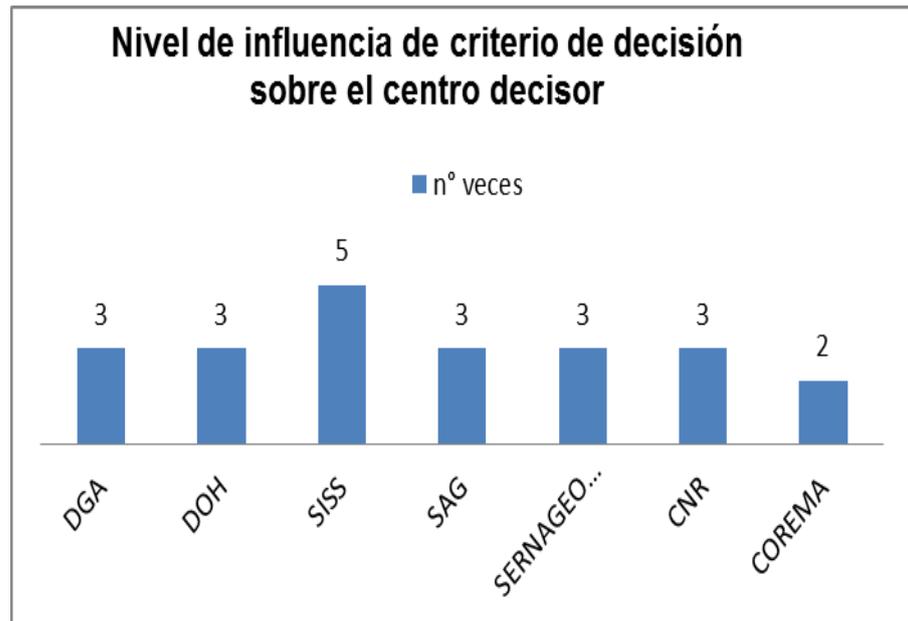
Figura 52. Modelo Jerárquico AHP.

Un mayor detalle de los criterios de decisión y su influencia en los centros decisores planteados en este modelo.



**Figura 53. Modelo jerárquico criterio-centro decisor.**

La figura anterior muestra la complejidad de la problemática, los centros decisorios son influenciados por más de un criterio de decisión.



**Gráfico 37. Número de veces que aparece el centro decisor en los criterios de decisión.**

La Superintendencia de Servicios Sanitarios es considerada en el 83,3% de los criterios de decisión de la problemática, por su parte la Comisión Regional de Medio Ambiente (COREMA) solamente es influenciada en un 33% de los criterios. No obstante, es necesario conocer el peso específico de la comparación de pares de criterios, y posteriormente su influencia mediante la misma medida en los centros decisores.

### **6.9. Resolución del modelo**

El problema de extracción de agua en la cuarta región del país se realizará mediante se resolverá mediante el método multicriterio AHP. (Capítulo I)

En (Saaty, 1980) se presentan los pasos a seguir para la solución del método multicriterio AHP: Estructurar la jerarquía de la decisión; recolectar los datos a partir de comparaciones de pares; comprobar las consistencias de los juicios; aplicar el método de vector propio para calcular los pesos y sumar los pesos para obtener una jerarquía de las alternativas.

Luego, se realiza un análisis de sensibilidad para estudiar la alteración de los pesos y los efectos sobre las jerarquías de las alternativas individuales presentes en el estudio.

Particularmente en este trabajo los pasos realizados fueron los siguientes.

#### **6.9.1. Procedimiento para el análisis jerárquico**

Para determinar la mejor decisión, el método AHP requiere:

##### **1. Definición del problema.**

El objetivo principal es encontrar la mejor alternativa de suministro de recursos hídricos en la cuarta región de Chile. Las dos alternativas presentadas son explotar los acuíferos existentes o explorar y explotar nuevos acuíferos.

Los actores involucrados en el problema son los organismos públicos como DGA, SISS, CNR, DOH, SAG, SERNAGEOMIN y COREMA. Además de grupos los grupos afectados, un grupo lo forman juntas de vigilancia, asociación de canalistas, comunidades regantes, comunidades de agua y el otro grupo es organizaciones comunitarias.

En cuanto a las características socio-económicas, ambientales, políticas entre otras del lugar en donde se realizó el estudio están explicadas al comienzo del presente capítulo.

#### 2. Definición de actores.

Los participantes involucrados en el proceso de decisión, fueron profesionales relacionados con la problemática, expertos, académicos y funcionarios de los organismos involucrados deben ser cuidadosamente seleccionados.

#### 3. Estructuración el problema de decisión del modelo de jerarquía.

El problema a resolver se plantea en 5 niveles.

Primer nivel: objetivo principal del problema que es la toma de decisión en acuífero.

Segundo nivel: Los criterios de decisión: político, económico, social, ambiental, técnico y disponibilidad. Todos explicados al comienzo del capítulo.

Tercer nivel: Los centros decisores nombrados en el punto 1 de este apartado y explicados en el capítulo III del presente trabajo.

#### 4. Identificación de las alternativas factibles.

Las alternativas planteadas son explotar acuíferos existentes y explorar y explotar nuevos acuíferos.

El fundamento queda expresado en todos los capítulos precedentes, pero una razón fundamental para el planteamiento de estas alternativas es la escasez notoria de las aguas de superficie. Antecedentes que se presentan como el nivel de los embalses en la actualidad, los registros de las

precipitaciones y un eventual cambio en las condiciones climáticas en los últimos años en la zona del norte chico de Chile.

Según los modelos hidrogeológicos aplicados en el estudio concluyen que existen reservas de agua subterráneas, viables técnica y económicamente (Peralta, 2011). Por tanto, las alternativas propuestas son alcanzables desde ambos puntos de vista.

#### 5. Construcción del modelo jerárquico.

Para la construcción del modelo jerárquico se realizó una etapa previa, que consistió en una reunión con cada experto participante del proceso, en donde se aplicó la encuesta detallada en el anejo I, posteriormente se comenzó a recopilar la información para análisis y posterior confección de los niveles del modelo en criterios, centro decisores, grupos afectados por la problemática, objetivos y las alternativas viables.

#### 6. Ingreso de los juicios.

En base a la información obtenida o a la percepción de los actores del proceso se ingresan los juicios para cada par de elementos. Se comienza del primer nivel, dónde se encuentran los criterios, se comparó su importancia relativa con respecto del logro del objetivo general, luego se descendiendo en los niveles jerárquicos, siempre realizando comparaciones de a pares referidos al nivel inmediatamente superior, hasta llegar al último nivel donde se encuentran las alternativas, las que fueron evaluadas en base a criterios.

#### 7. Síntesis de los resultados.

Como se explicó en los párrafos anteriores, por medio de comparaciones entre pares de elementos con respecto a su nivel inmediatamente superior y, gracias a la propiedad de transitividad entre los elementos, es posible establecer un ranking de prioridades para las diferentes alternativas, ranking que, dependiendo de la problemática, enfrentada representa la decisión a adoptar.

#### 8. Validación de la decisión.

Por último se realizó un análisis de sensibilidad en base al resultado obtenido con la finalidad de establecer rangos de variación en los pesos relativos de los criterios propuestos por los expertos, para otorgar una mayor confiabilidad a los resultados, y por otra parte, abordar la problemática en distintos escenarios.

### **6.10. Obtención de resultados y comentarios**

En este apartado se mostrarán los resultados obtenidos del modelo mediante la aplicación del software Expert Choice.

Las dos alternativas propuestas para la solución del problema fueron explotar los acuíferos existentes, y por otra parte, explorar y explotar nuevos acuíferos. (Refiérase punto 4, apartado 6.9.).

A juicio de los expertos, quienes participaron en la confección de problemática (Refiérase anejo I), que terminó con la estructuración de las jerarquías, aplicación de las encuestas según proceso analítico jerárquico (Refiérase anejo II) y

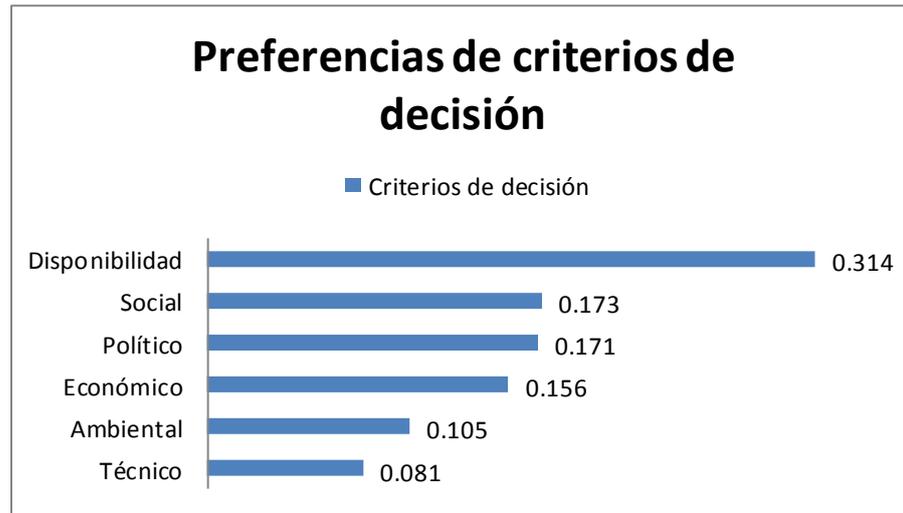
posterior vaciado de las respuestas de cada experto en el software Expert Choice, el resultado arroja que en la cuarta región de Chile la alternativa mejor valorada es la de explotar los acuíferos existentes.

A continuación se presentan los resultados arrojados por Expert Choice en cada nivel (criterios, centros decisores, grupos afectados, objetivos y alternativas) de la estructura jerárquica.

#### **6.10.1. Preferencias de criterios de decisión**

Las prioridades de los criterios de primer nivel se muestran en el gráfico 38. De ellos el más importante ha resultado el criterio de disponibilidad del recurso hídrico, garantiza no solamente la continuidad del consumo de los centros poblados, sino que además, el insumo para los procesos propio de cada sector en la cuarta región.

Por otra parte, el criterio técnico preocupa menos a los encuestados, ya que la aplicación de tecnologías y condiciones óptimas para el aprovechamiento del agua en los procesos se considera una consecuencia luego de cautelar los criterios anteriores.



**Gráfico 38. Resultado de las preferencias entre criterios, mediante el modelo jerárquico AHP.**

#### **6.10.2. Preferencias de los centros decisores, respecto a los criterios de decisión**

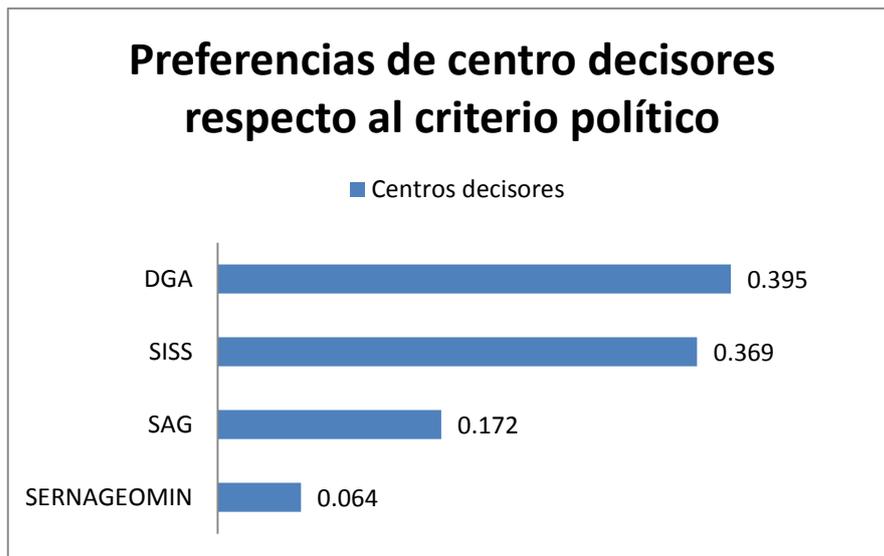
Respecto a los centros decisores que figuran en el segundo nivel del modelo, resulta interesante ver como han sido priorizados por lo expertos, respecto a los criterios de primer nivel.

A continuación se presentan los resultados de los centros decisores considerando cada uno de los criterios de decisión de la problemática.

##### **6.10.2.1. Preferencias de los centros decisores respecto al criterio político**

A juicio de los expertos, los centros decisores más importantes respecto al criterio político son DGA y SISS, principalmente por el impacto que afectaría a las cuencas hidrográficas de la región, y el consiguiente efecto a los productores y los grupos relacionados al agua (grupos afectados), debido a las posibles

disminuciones de los caudales que cuya consecuencia de se traduciría en escasez de agua para satisfacer los requerimientos de las juntas de vigilancias, asociaciones de regantes, comunidades de agua, asociaciones de canalistas y sobre todo prevenir una posible baja en la cobertura hacia los centros poblados.

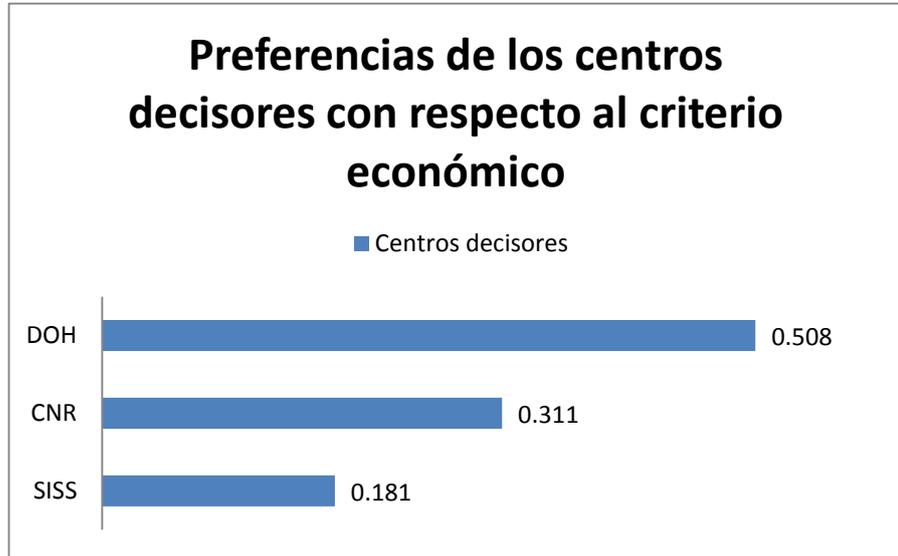


**Gráfico 39. Preferencias de los centros decisores respecto al criterio político.**

#### **6.10.2.2. Preferencias de los centros decisores respecto al criterio económico**

Los expertos consideran que la función de la Dirección de Obras Hidráulicas, debe estar en la dirección de proveer los servicios de infraestructura a costos competitivos, resguardando los costos de inversión, operación y mantenimiento, además de los beneficios asociados en externalidades.

Por otra parte, la Comisión Nacional Riego está considerada como un organismo que debe encargarse de la eficiencia del riego a partir de desarrollos de proyectos para lograr transformaciones productivas en todas las regiones del país.

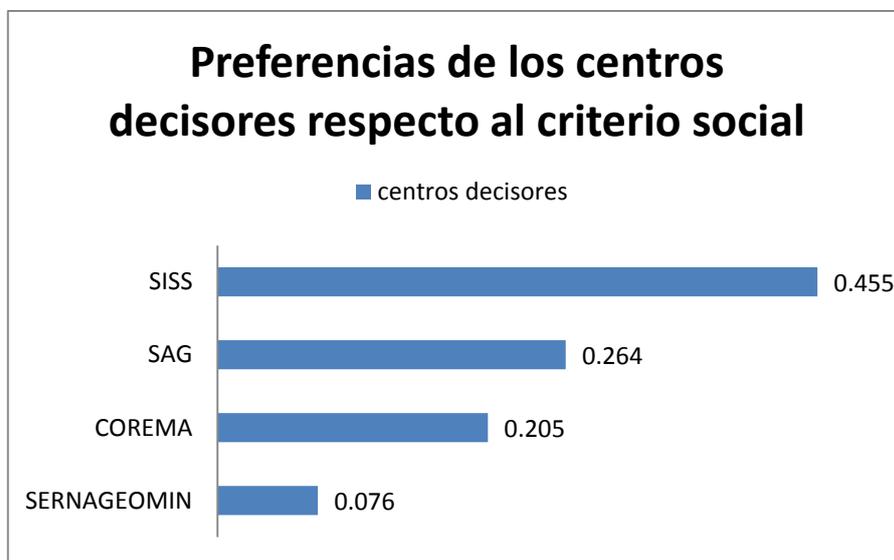


**Gráfico 40. Preferencias de los centros decisores respecto al criterio económico.**

#### **6.10.2.3. Preferencias de los centros decisores respecto al criterio social**

La Superintendencia de Servicios Sanitarios, entre sus funciones de velar por el suministro de agua potable para la población, participa como ente fiscalizador de los vertidos en general, participa activamente en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), como un órgano de la administración del estado con competencia ambiental, de ciertos proyectos que contemplan descargar efluentes que podrían requerir un sistema de tratamiento de residuos industriales líquidos.

Sin embargo, el Servicio Nacional de Geología y Minería, a pesar de los esfuerzos realizados en lo social, además de la participación activa en SEIA, ha sido preferido en último lugar por los expertos. Estos reconocen la importancia del servicio y el control efectivo con respecto a los proyectos mineros orientado a minimizar los efectos generados por estos hacia la comunidad. Sin embargo, los expertos consideran que su importancia es menor en este criterio respecto a los otros centros decisores SISS, SAG y COREMA.

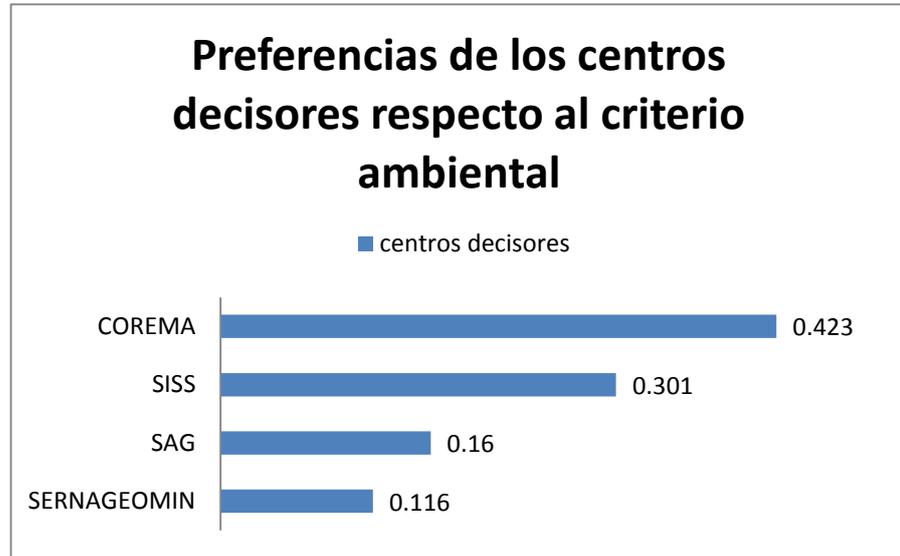


**Gráfico 41. Preferencias de los centros decisores respecto al criterio social.**

#### **6.10.2.4. Preferencias de los centros decisores respecto al criterio ambiental**

Prácticamente la totalidad de los expertos respecto a este criterio, se inclinan por las acciones de la Comisión Regional de Medio ambiente y la Superintendencia de Servicio Sanitarios, por las contribuciones realizadas a favor de la protección de la

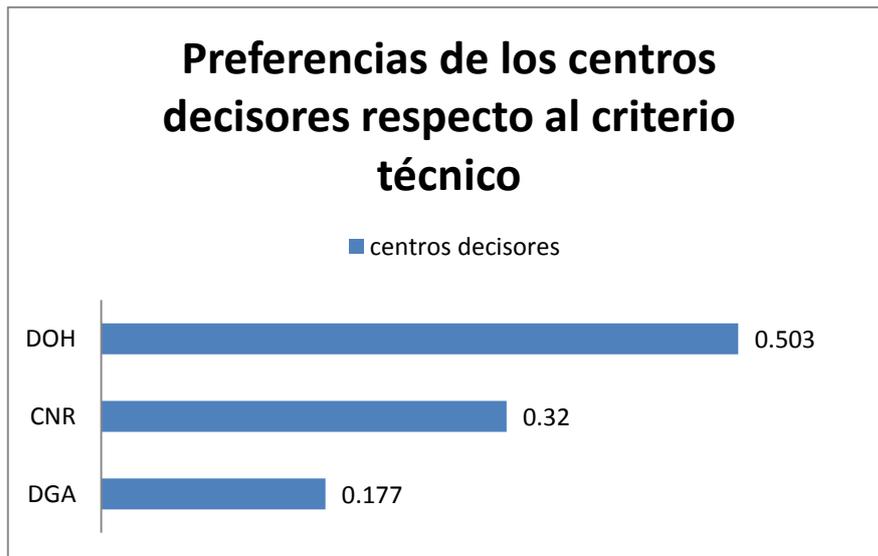
calidad de las aguas, condiciones sanitarias aceptables y en la preservación del ecosistema regional, por tratarse de los organismos competentes en esta materia.



**Gráfico 42. Preferencias de los centros decisores respecto al criterio ambiental.**

#### **6.10.2.5. Preferencias de los centros decisores respecto al criterio técnico**

El centro decisor menos preferido por los expertos fue la Dirección General de Agua, por su restringida incidencia en temas relacionados con operaciones de infraestructura o fomento de la inversión privada en obras de riego, funciones propias de DOH y CNR, respectivamente. Los expertos relacionan a la DGA con la investigación y medición del recurso hídrico, la planificación de este y la constitución de los derechos de aprovechamientos entre otras funciones de similares características.



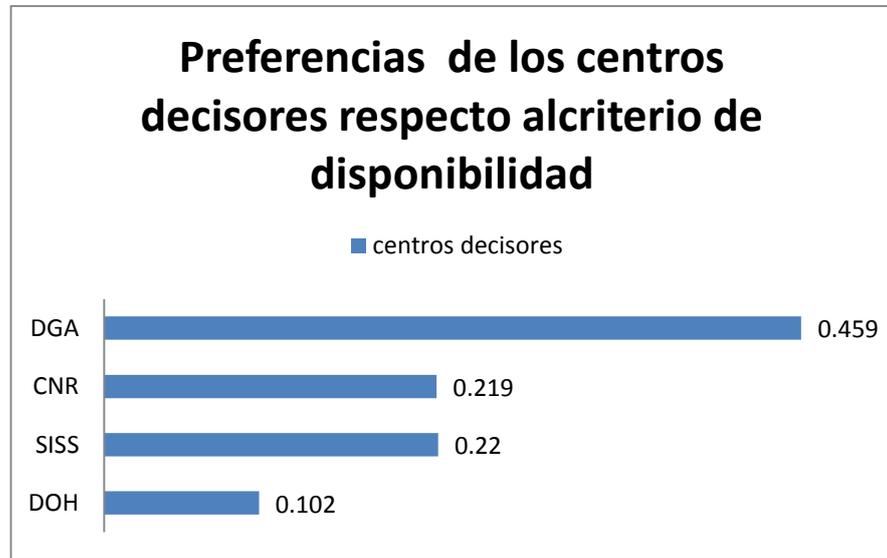
**Gráfico 43. Preferencias de los centros decisores respecto al criterio técnico.**

#### **6.10.2.6. Preferencias de los centros decisores respecto al criterio disponibilidad**

A juicio de expertos, DGA es el organismo que más atención debe prestar a la disponibilidad de los recursos hídricos.

Sin embargo, proponen establecer nuevos modelos hidrogeológicos a fin de conocer con exactitud la cantidad de recursos que se encuentran disponibles tanto para el consumo, como para los procesos productivos requeridos. Por otra parte, sus respuestas reflejan que esta disponibilidad también debe involucrar a los organismos SISS y CNR, ya que garantizan el suministro a la población como es el caso de SISS, y por otro el interés de ayudar a los agricultores para obtener sus cultivos que les permita contar con una fuente de alimentación en el caso de los pequeños agricultores, además de garantizar el

suministro del recurso hídrico para la producción principalmente realizada por empresas del sector.



**Gráfico 44. Preferencias de los centros decisores respecto al criterio disponibilidad.**

### **6.10.3. Preferencias de los grupos afectados, respecto a los criterios de decisión y los centros decisores**

Este apartado muestra las preferencias de los expertos respecto a los grupos afectados, influidos por los criterios de cesión y los centros decisores.

#### **6.10.3.1. Preferencias de los grupos afectados, respecto al criterio político y centros decisores**

Las organizaciones comunitarias es el grupo más afectado a juicios de los expertos, respecto al criterio de decisión político y los centros decisores.

<b>Criterio político/centros decisores/grupos afectados (G.A.)</b>							
<b>DGA</b>		<b>SISS</b>		<b>SAG</b>		<b>SERNAGEOMIN</b>	
<i>G.A.</i>	<i>%</i>	<i>G.A.</i>	<i>%</i>	<i>G.A.</i>	<i>%</i>	<i>G.A.</i>	<i>%</i>
(1)	33.7	(1)	22.1	(1)	50.1	(1)	47.8
(2)	62.3	(2)	77.9	(2)	49.9	(2)	52.2

**Tabla 43. Preferencias de los expertos respecto de los grupos afectados/centros decisores/criterio político. (1): juntas de vigilancia, asociaciones de canalistas, comunidades de agua y comunidades de regantes; (2) organizaciones comunitarias.**

Principalmente respecto a los centros decisores DGA y SISS. Organismos que a juicio de expertos más allá de garantizar el consumo para diversas actividades, la regulación de los derechos de aprovechamiento (DGA) y el control de los vertidos (SISS) resultan variables fundamentales para las organizaciones comunitarias.

#### **6.10.3.2. Preferencias de los grupos afectados, respecto al criterio económico y centros decisores**

Los expertos destacan en este punto que el grupo más afectado es la comunidad en general, la mayoría de las personas que la conforman no dedican en su totalidad a la agricultura, y los impactos económicos que les golpean como consecuencia de manejos ambientales por parte de las empresas repercute en su estándar económico ya mermado. Sin embargo, al ser consultado sobre la incidencia del centro decisor CNR las comunidades relacionadas al riego serían las

más afectadas en su desarrollo económico principalmente los corresponde a pequeños agricultores.

<b>Criterio económico/centros decisores/grupos afectados (G.A.)</b>					
<b>DOH</b>		<b>SISS</b>		<b>CNR</b>	
<i>G.A.</i>	<i>%</i>	<i>G.A.</i>	<i>%</i>	<i>G.A.</i>	<i>%</i>
(1)	49.1	(1)	25.1	(1)	63.5
(2)	50.9	(2)	74.9	(2)	36.5

**Tabla 44. Preferencias de los expertos respecto de los grupos afectados/centros decisores/criterio económico. (1): juntas de vigilancia, asociaciones de canalistas, comunidades de agua y comunidades de regantes; (2) organizaciones comunitarias.**

#### **6.10.3.3. Preferencias de los grupos afectados, respecto al criterio social y centros decisores**

Las organizaciones comunitarias son las más afectadas, principalmente con respecto a los centros decisores SERNAGEOMIN y SISS, que a juicio de los expertos, estaría vinculado a un eventual deterioro en la salud de las personas y por consiguiente retroceso en la calidad de vida. Por otro lado, con respecto al centro decisor SAG, el efecto sería mayor para lo demás grupos por una condición de calidad de las aguas que afectaría su productividad y pondría en riesgo la capacidad de producción repercutiendo en problemas sociales y eventual abandono hacia otras actividades para las cuales no necesariamente están preparados para enfrentar.

<b>Criterio social/centros decisores/grupos afectados (G.A.)</b>							
<b>COREMA</b>		<b>SISS</b>		<b>SAG</b>		<b>SERNAGEOMIN</b>	
<b>G.A.</b>	<b>%</b>	<b>G.A.</b>	<b>%</b>	<b>G.A.</b>	<b>%</b>	<b>G.A.</b>	<b>%</b>
(1)	49.1	(1)	30.0	(1)	68.5	(1)	32.6
(2)	50.1	(2)	70.0	(2)	31.5	(2)	67.4

**Tabla 45. Preferencias de los expertos respecto de los grupos afectados/centros decisores/criterio social. (1): juntas de vigilancia, asociaciones de canalistas, comunidades de agua y comunidades de regantes; (2) organizaciones comunitarias.**

#### **6.10.3.4. Preferencias de los grupos afectados, respecto al criterio ambiental y centros decisores**

Según los expertos el centro decisor SERNAGEOMIN termina afectando a ambos por igual, principalmente por la ausencia de un manejo sistémico de las condiciones ambientales. Consideran además que la fuerte presencia de SERNAGEOMIN en el SEIA debería garantizar un control efectivo de los contaminantes en todas sus representaciones por parte de los actuales proyectos mineros y futuros que se pretendan desarrollar.

Por otra parte, los expertos presentan la misma postura respecto a los centros decisores Superintendencia de Servicios Sanitarios y el Servicio Agrícola Ganadero. El primero considera que a mediano y largo plazo los afectados son los habitantes de las comunidades.

Por otra parte, los juicios emitidos por los expertos indican que el SAG centra en los efectos negativos de la escasez de

recursos hídricos en el grupo conformado por la junta de vigilancia, comunidades de agua, asociaciones de canalistas y comunidades de regantes.

Finalmente los juicios y comentarios realizados por los expertos respecto al SISS y SAG se realizaron en referencia a la calidad de las aguas.

<b>Criterio ambiental/centros decisores/grupos afectados (G.A.)</b>							
<b>COREMA</b>		<b>SISS</b>		<b>SAG</b>		<b>SERNAGEOMIN</b>	
<b>G.A.</b>	<b>%</b>	<b>G.A.</b>	<b>%</b>	<b>G.A.</b>	<b>%</b>	<b>G.A.</b>	<b>%</b>
(1)	28.2	(1)	30.9	(1)	72.6	(1)	50
(2)	71.8	(2)	69.1	(2)	27.4	(2)	50

**Tabla 46. Preferencias de los expertos respecto de los grupos afectados/centros decisores/criterio ambiental. (1): juntas de vigilancia, asociaciones de canalistas, comunidades de agua y comunidades de regantes; (2) organizaciones comunitarias.**

**6.10.3.5. Preferencias de los grupos afectados, respecto al criterio técnico y centros decisores**

Las organizaciones comunitarias son menos afectadas respecto a los otros grupos, ya que la orientación de los organismos (centro decisores) bajo el criterio técnico considera aspectos más relacionados con riego, su regulación y el desarrollo de infraestructura, DGA, DOH y CNR, respectivamente.

<b>Criterio técnico/centros decisores/grupos afectados (G.A.)</b>					
<b>DOH</b>		<b>DGA</b>		<b>CNR</b>	
<i>G.A.</i>	<i>%</i>	<i>G.A.</i>	<i>%</i>	<i>G.A.</i>	<i>%</i>
(1)	51	(1)	66	(1)	72.2
(2)	49	(2)	34	(2)	27.8

**Tabla 47. Preferencias de los expertos respecto de los grupos afectados/centros decisores/criterio técnico. (1): juntas de vigilancia, asociaciones de canalistas, comunidades de agua y comunidades de regantes; (2) organizaciones comunitarias.**

#### **6.10.3.6. Preferencias de los grupos afectados, respecto al criterio disponibilidad y centros decisores**

Según este criterio, y atendiendo los centro decisores SISS y CNR, presentan a juicio de los expertos consideraciones opuestas, mientras que SISS se ocupa de garantizar el suministro a la comunidad del suministro y garantía en general, para CNR la falta de disponibilidad afectaría mayormente a los grupos que la utilizan como insumos en sus procesos. Conclusión que resulta obvia por las características, funciones y objetivos que realiza cada uno de estos organismos, cuyos detalles se abordaron en capítulos anteriores.

<b>Criterio disponibilidad/centros decisores/grupos afectados (G.A.)</b>							
<b>DGA</b>		<b>SISS</b>		<b>CNR</b>		<b>DOH</b>	
<b>G.A.</b>	<b>%</b>	<b>G.A.</b>	<b>%</b>	<b>G.A.</b>	<b>%</b>	<b>G.A.</b>	<b>%</b>
(1)	48.6	(1)	32.6	(1)	68.6	(1)	44.9
(2)	51.4	(2)	67.4	(2)	31.4	(2)	55.1

**Tabla 48. Preferencias de los expertos respecto de los grupos afectados/centros decisores/criterio disponibilidad. (1): juntas de vigilancia, asociaciones de canalistas, comunidades de agua y comunidades de regantes; (2) organizaciones comunitarias.**

**6.10.4. Preferencias de objetivos respecto a los criterios de decisión, centros decisores y grupos afectados**

Los objetivos del problema son control de extracción, contaminación de las aguas y protección al medio ambiente.

A juicio de expertos consultados sobre el criterio político, respecto a los centros decisores Dirección de General de Aguas (DGA), Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), Servicio Agrícola Ganadero (SAG) y Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) y a los grupos afectados juntas de vigilancia, asociación de canalistas, comunidades de agua, comunidades de regantes y organizaciones comunitarias como otro grupo aparte. La preferencia más baja apunta al objetivo protección del medio ambiente. Sin embargo, se destaca la importancia que tiene la contaminación de agua y las consecuencias negativas que trae al ser utilizada en el

consumo humano y en los procesos en que se requiere como insumo.

Sobre el criterio económico, en relación a los centros decisores Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), SISS y la Comisión Nacional de Riego (CNR), considerando los grupos afectados mencionados anteriormente, el objetivo más importante es controlar la extracción actual del recurso, por parte, de los agricultores y de las mineras.

Sobre el criterio social, respecto a los centros decisores SISS, SENAGEOMIN, Comisión Regional del Medio Ambiente (COREMA) y SAG, todos respecto a los grupos afectados, los juicios de expertos apuntan a resguardar los objetivos control de extracción, contaminación de las aguas y protección al medio ambiente, debido al impacto que tienen sobre la ciudadanía, independientemente de los tipos de ocupaciones en que se desempeñen sus habitantes.

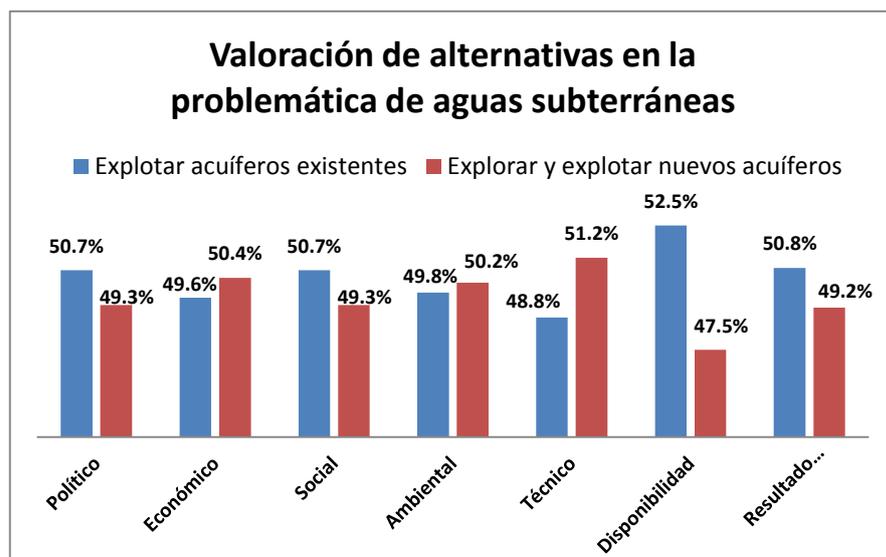
El objetivo de control de extracción es el que más influencia tiene sobre los grupos todos los grupos afectados, respecto al centro decisor SERNAGEOMIN y en relación al criterio ambiental. Según sus juicio y análisis de la situación, indican que SERNAGEOMIN mediante una fuerte campaña orientada a la empresas mineras nacionales y regionales ha enfatizado la importancia de utilizar el agua eficientemente en los procesos de la minería, tales como la recirculación de aguas, desalación y en algunas empresas del norte del país la utilización directa de agua salada.

Este mismo objetivo, es el más valorado por los expertos respecto a los grupos afectados, atendiendo al centro decisor Dirección de Obras Hidráulicas en el criterio técnico. Por último las preferencias de los expertos indican que según el criterio de disponibilidad, respecto a los centros decisores DGA, SISS, CNR y DOH, y además a los grupos afectados, el objetivo más importante es el control de extracción de manera de garantizar el suministro para todos los habitantes.

**6.10.5. Alternativa seleccionada respecto a los criterios de decisión, centros decisores, grupos afectados y objetivos.**

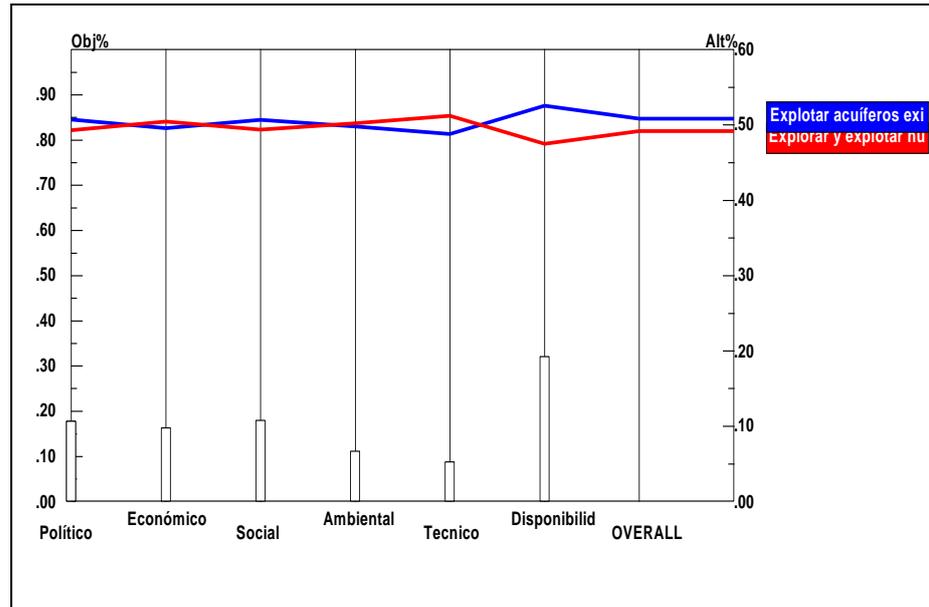
En este problema se presentaron dos alternativas ya declaradas previamente, la alternativa de explotar acuíferos existentes y la otra explorar y explotar nuevos acuíferos.

Para analizar el resultado obtenido en base a la meta u objetivo general, Expert Choice presenta los siguientes resultados en el gráfico siguiente. Se puede apreciar respecto a cada criterio la mejor opción de las alternativas propuestas.



**Gráfico 45. Resultados por criterio respecto a las alternativas planteadas en la problemática de extracción de aguas subterráneas en la cuarta región. Resultados obtenidos de la aplicación del software Expert Choice.**

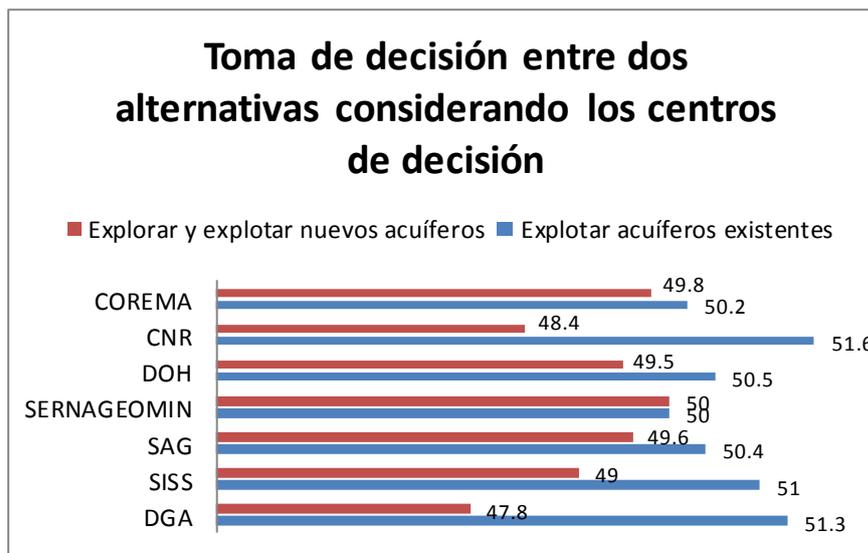
Otro gráfico que representa las preferencias respecto a las alternativas propuestas en el problema, es el siguiente:



**Gráfico 46. Preferencias en la valoración de alternativas en función de los pesos relativos de los criterios de decisión declarados en la problemática, mediante la utilización de Expert Choice.**

Los criterios político, social y disponibilidad a juicio de los expertos son los que contribuyen a seleccionar la alternativa de continuar con los acuíferos existentes en la zona para el suministro de agua. En cambio los otros criterios según evaluación de expertos apuntan a buscar nuevas alternativas de obtención del recurso.

Se ha realizado un análisis adicional, en el que se han eliminado todos los centros decisores excepto uno. De esta forma, se han obtenido modelos diferentes, con un único decisor. Los resultados de estos modelos indican cuál sería la solución que, según los expertos, apoya cada centro decisor. Los resultados muestran:



**Gráfico 47. Toma de decisión en función de los centros decisores influidos por los criterios del problema.**

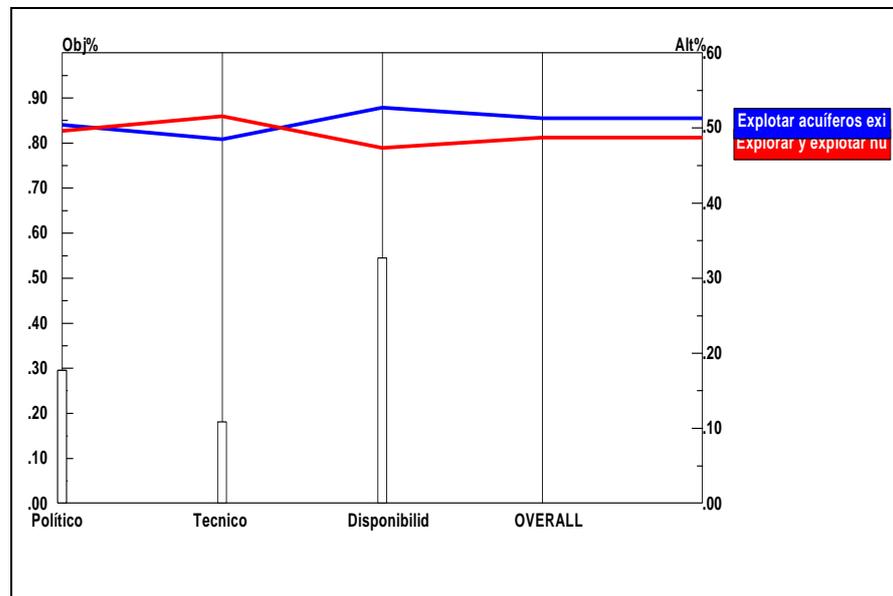
Por ejemplo, si la Dirección General de Aguas (DGA) fuera el centro decisor encargado de tomar la decisión respecto a las alternativas propuestas en problemática resolvería seguir explotando los acuíferos existentes en la cuarta región

En general, los centros decisores apoyan la alternativa de seguir obteniendo los recursos hídricos desde los acuíferos existentes en la zona. Sin embargo, por una condición de necesidad para satisfacer la demanda de las empresas mineras en la actualidad y en los futuros proyectos, SERNAGEOMIN ve una buena alternativa la exploración de nuevos puntos de extracción subterráneos, debido a que las proyecciones indican que a partir del año 2014 en adelante la demanda de agua por parte del sector minero en la región se elevará a casi un 700%.

Otros análisis de sensibilidad importante, sería analizar el efecto de cada uno de los criterios que influyen en el centro

decisor para comprender más pormenorizadamente los resultados presentados en el gráfico anterior.

El siguiente gráfico muestra la preferencia de cada centro decisor operando individualmente en la selección de una u otra alternativa, aislando el efecto de los demás centros decisores. Bajo esta lógica, si la decisión solamente dependiera de la Dirección General de Aguas, la alternativa más atractiva sería explotar los acuíferos existentes.

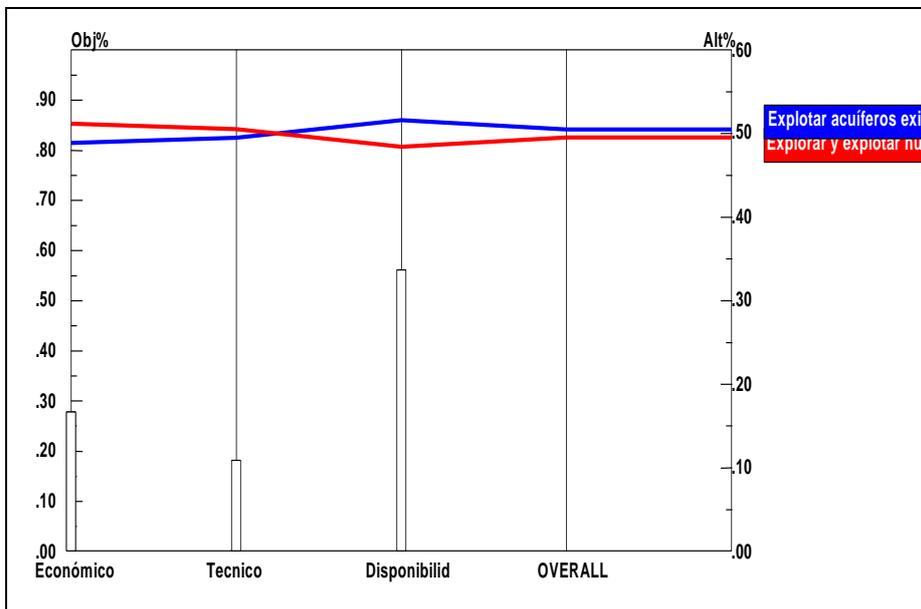


**Gráfico 48. Valoración de las alternativas, en función de los pesos de los criterios de decisión y el centro decisor DGA. Aplicación de Expert Choice.**

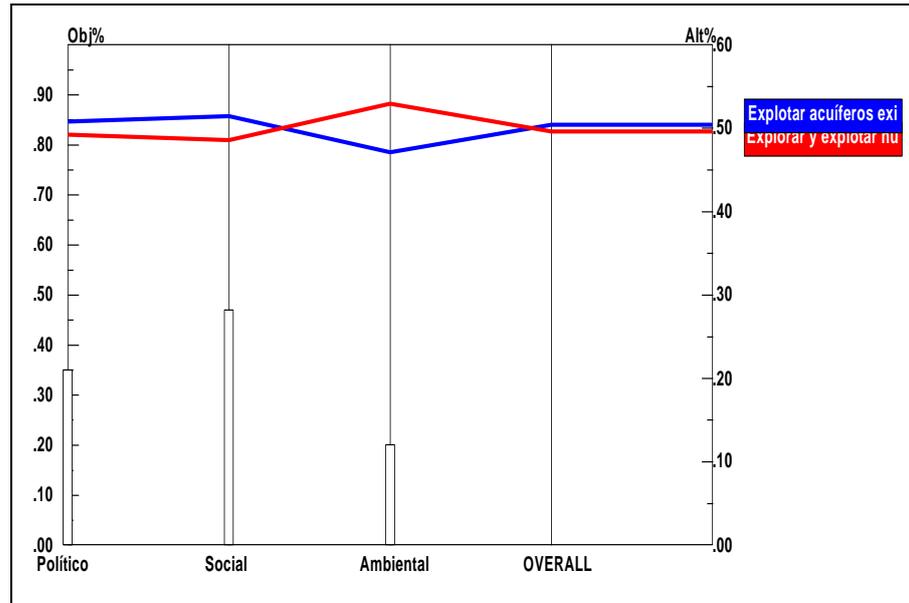
A juicio de los expertos consideran que existe suficiente nivel de agua a nivel subterráneo, aunque sobre el particular surjan dos vertientes contrarias. Por una parte, estudios realizados

tanto por DGA, y por otro lado estudios realizados por expertos no vinculados al organismo.

Por las condiciones técnicas que tiene la Dirección de Obras Hidráulicas y la tecnologías aplicadas en la construcción de las mismas y además considerando los beneficios a los sectores los expertos indican que no habría inconvenientes en realizar estudios exploratorios en nuevos lugares para posibles extracciones. Pero aún sostiene que la por disponibilidad con las fuentes existentes se pueden cubrir las necesidades.



**Gráfico 49. Valoración de las alternativas, en función de los pesos de los criterios de decisión y el centro decisor DOH. Aplicación de Expert Choice**

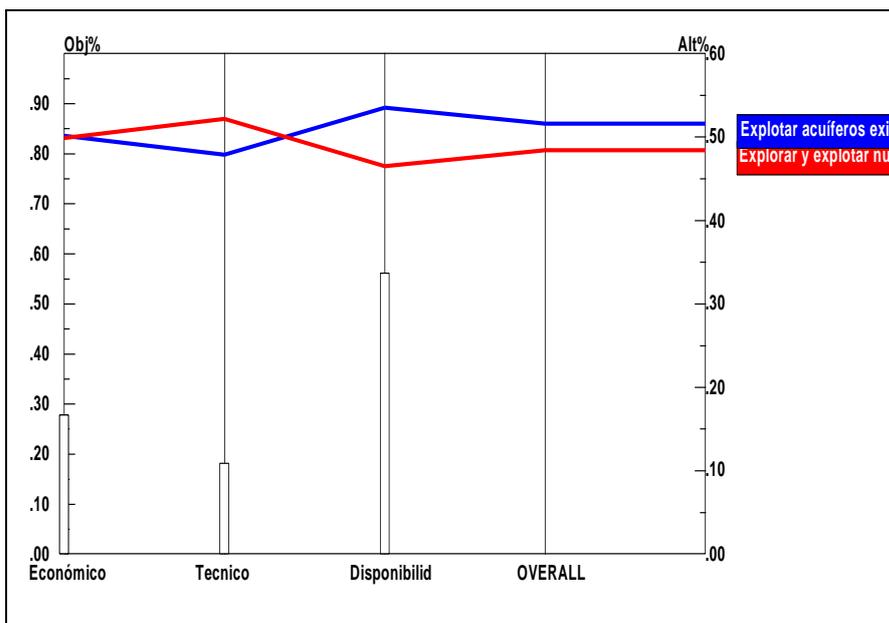


**Gráfico 50. Valoración de las alternativas, en función de los pesos de los criterios de decisión y el centro decisor SAG. Aplicación de Expert Choice**

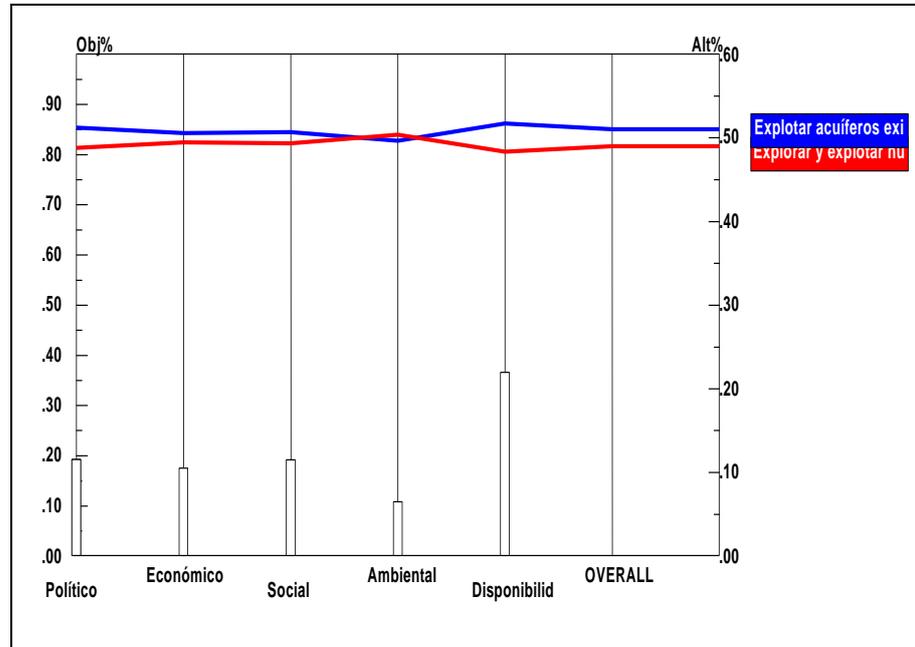
Explorar nuevas fuentes subterráneas sería lo más conveniente desde el punto de vista del SAG por el control que tiene este organismo en el control de la calidad de las aguas y a como ente fiscalizador, en los dos subsectores que atiende, que incluye la agricultura, ganadería y silvicultura, orientado a la producción de semillas, cereales, hortalizas, frutas, forrajes, cultivos industriales, viñas, producción ganadera y de otros animales terrestres, productos forestales de bosques tanto nativos como plantaciones comerciales, entre otros; y el segundo que incluye valor al primario que incluye que incluye procesados como el vino, derivados lácteos, productos cárnicos, congelados, productos procesados, entre otros. Sin embargo, atendiendo a los otros criterios no explorar en la búsqueda de nuevas fuentes sería provechoso para evitar

comprometer las cuencas hidrográficas presentes que puedan comprometer la calidad de salud y de vida de las personas.

En el caso del centro decisor CNR. Los expertos consultados desde los criterios técnico y económico. El organismo está en condiciones de capacitar más a los agricultores en las técnicas de riego de manera de dar un mejor tratamiento al recurso al momento que eventualmente se exploten otras fuentes subterráneas, considerando además la capacidad de regulación y desarrollo que el organismo podría imprimir para beneficiar a los demandantes del recurso. Desde el criterio económico prácticamente los expertos muestran indiferencia considerando que no corresponde atender al organismo atender a este criterio. Sin embargo, el criterio de disponibilidad indica que actualmente se tienen los recursos necesarios para enfrentar todas las necesidades.

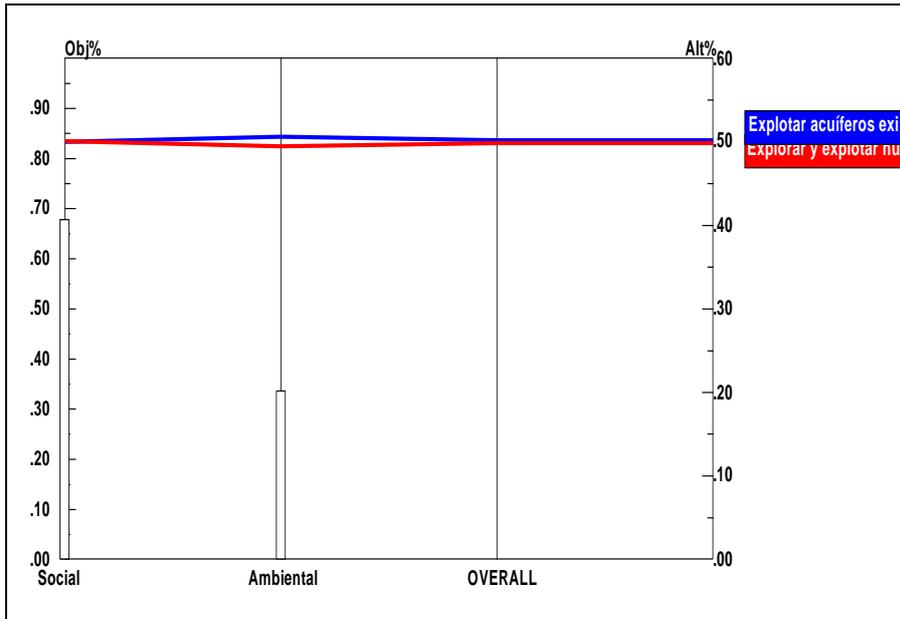


**Gráfico 51. Valoración de las alternativas, en función de los pesos de los criterios de decisión y el centro decisor CNR. Aplicación de Expert Choice**



**Gráfico 52. Valoración de las alternativas, en función de los pesos de los criterios de decisión y el centro decisor SISS. Aplicación de Expert Choice**

El criterio ambiental marcaría un punto de indiferencia entre las dos alternativas sobre todo en lo que respecta al control de los residuos industriales líquidos, los que proviene fundamentalmente de los vertidos de las empresas mineras, que implicaría aumentar los costos de los tratamientos posteriores para potabilizar el agua de consumo humano.

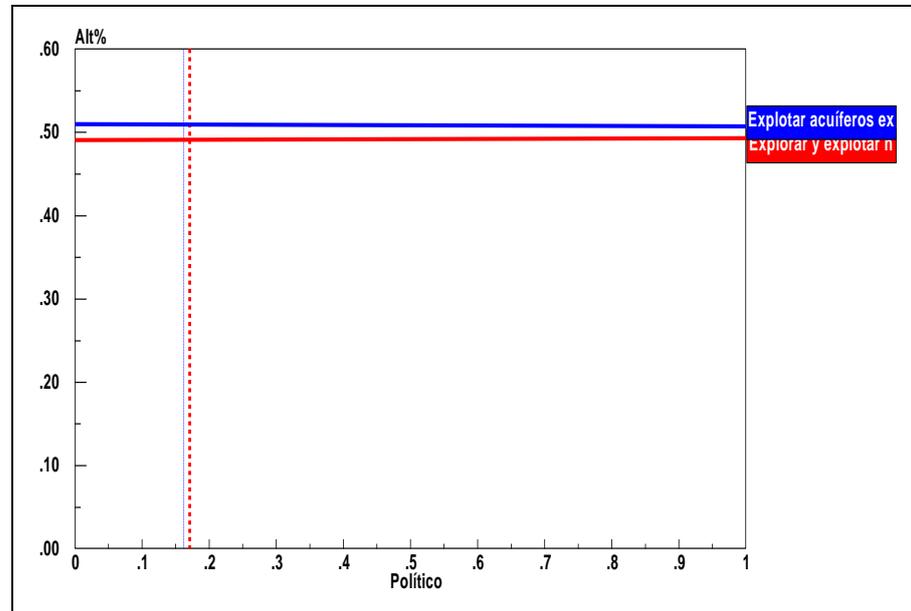


**Gráfico 53. Valoración de las alternativas, en función de los pesos de los criterios de decisión y el centro decisor COREMA. Aplicación de Expert Choice**

A juicio de los expertos, este organismo debe velar por el posible impacto ambiental que ocasionen nuevas exploraciones y posterior utilización de los recursos en procesos productivos de los dos sectores en estudio. Pero por otra parte, resguardar el derecho que tienen no solamente las comunidades colindantes o cercanas a los proyectos mineros, sino que además a garantizar a toda la comunidad que existe una efectiva protección al medio ambiente.

### 6.11. Análisis de sensibilidad de la problemática

En este apartado se presentarán algunas de las múltiples combinaciones que pueden realizarse a partir de los resultados obtenidos por Expert Choice, algunos de éstos son los siguientes:

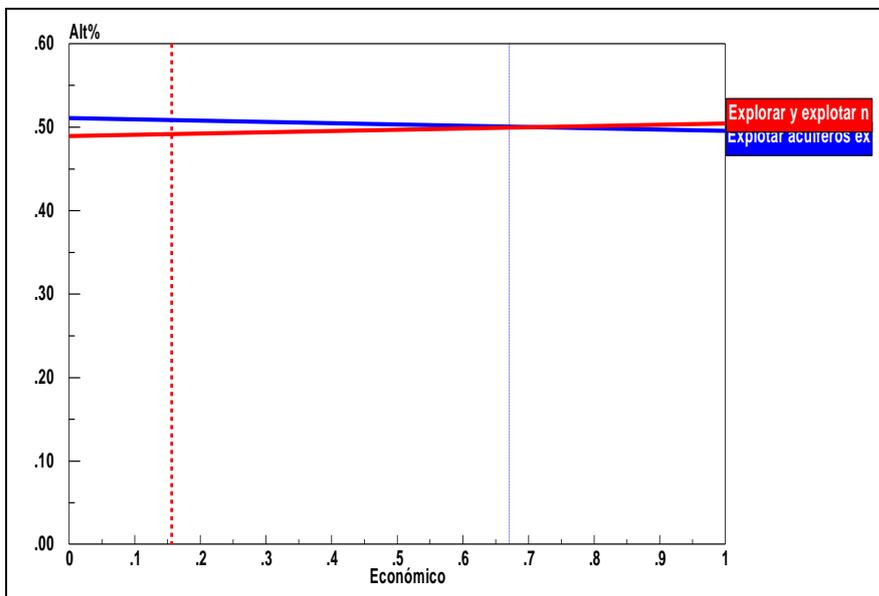


**Gráfico 54. Análisis de sensibilidad respecto a la selección de las alternativas, según criterio político. Aplicación de Expert Choice.**

En el criterio político la alternativa mejor valorada es seguir con la explotación de los acuíferos existentes, independiente del peso relativo que se asigne como medida de conservar las características de cada una de las tres cuencas hidrográficas emplazadas en la región. De igual manera se señala que el criterio social muestra la misma situación, es decir, ante cualquier valor en el peso relativo en este criterio la respuesta seguirá siendo continuar con las actuales fuentes de extracción subterráneas, debido principalmente a una posible amenaza

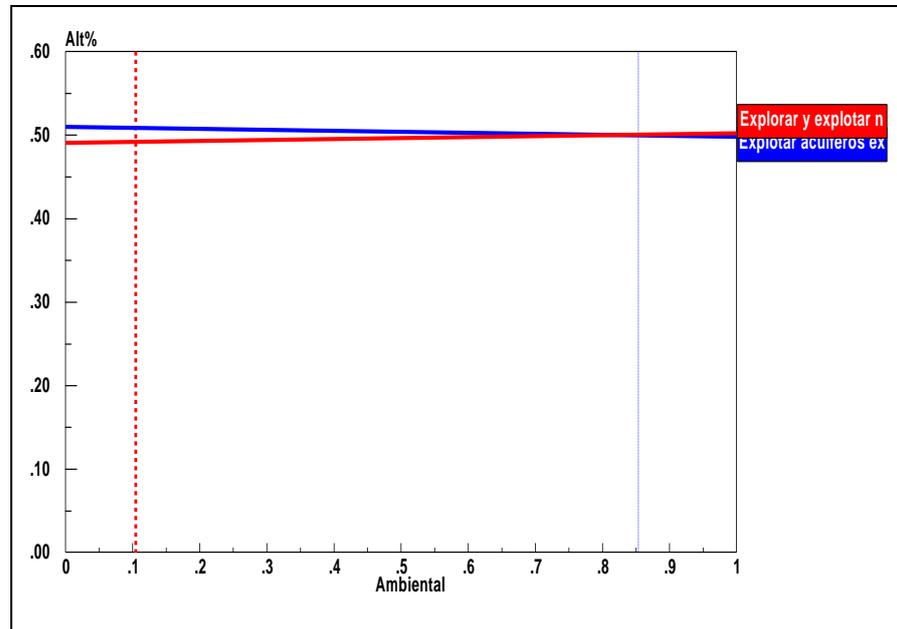
por buscar alternativa de nuevas exploraciones, la que finalmente concluyan en una sobre explotación, eventual contaminación del recurso hídrico que se vería reflejado en las condiciones de vida, trabajo y sostenibilidad de las comunidades presentes.

El análisis de sensibilidad indica que respecto al criterio económico a resulta indiferente optar por cualquiera de las alternativas cuando los pesos relativos asignados fluctúan entre un 68% a cerca del 74%, posterior a este último valor la alternativa seleccionada es explorar y explotar nuevos acuíferos.



**Gráfico 55. Análisis de sensibilidad respecto a la selección de las alternativas, según criterio económico. Aplicación de Expert Choice.** Sensibilizando el criterio ambiental, la alternativa de explorar y explotar nuevos acuíferos comienza a ser atractiva levemente respecto a la otra cuando el peso relativo de este criterio se

sitúa sobre el 85%. Bajo 77% la alternativa seleccionada sería seguir con la explotación de los actuales acuíferos.



**Gráfico 56. Análisis de sensibilidad respecto a la selección de las alternativas, según criterio ambiental. Aplicación de Expert Choice.**

El criterio técnico muestra una zona de transición entre las dos alternativas de no más de 4% respecto a la fluctuación del peso relativo.

Sin embargo, por las respuestas obtenidas por los expertos es improbable que se asigne un peso cercano al 44% debido a que fue el criterio menos preferido con un 8.1% de peso relativo en el problema.

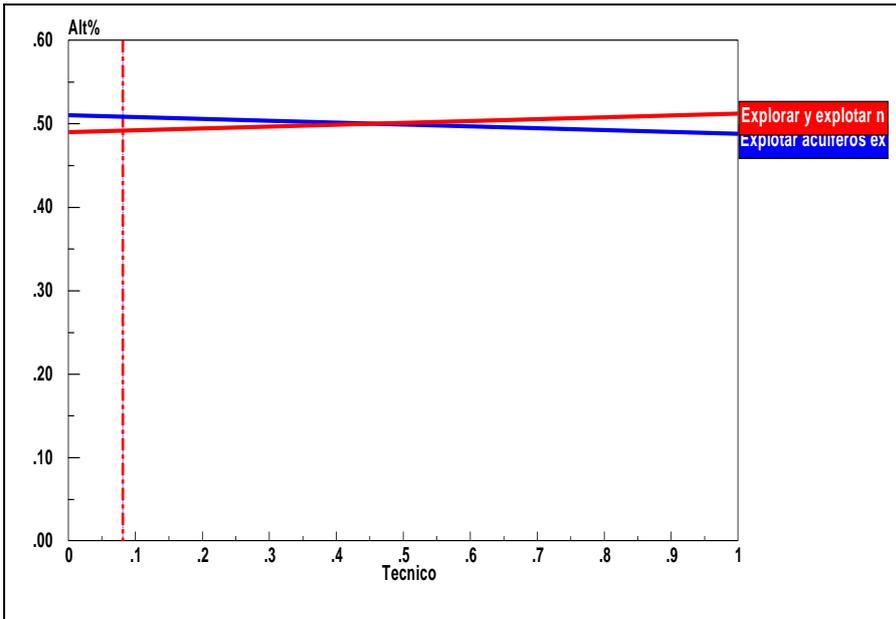


Gráfico 57. Análisis de sensibilidad respecto a la selección de las alternativas, según criterio técnico. Aplicación de Expert Choice

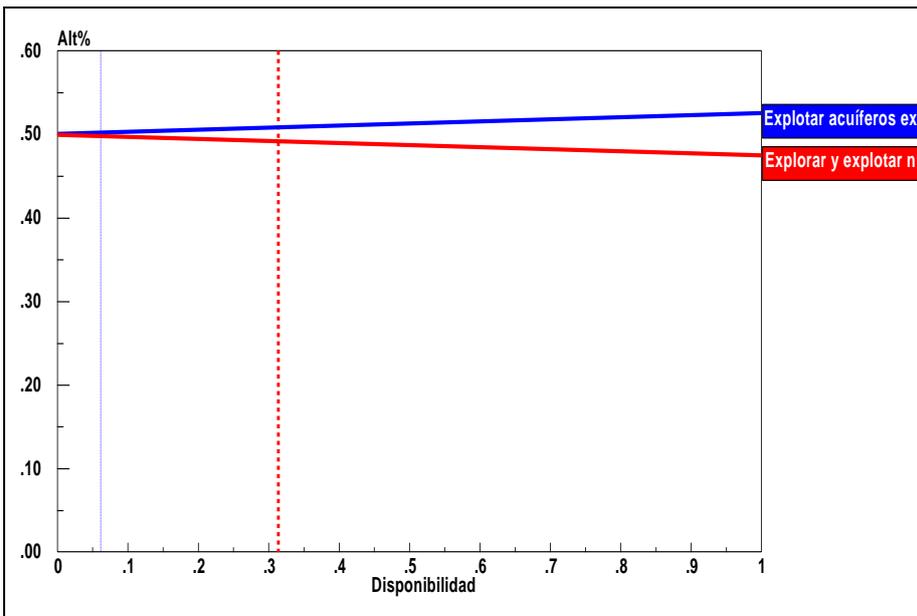


Gráfico 58. Análisis de sensibilidad respecto a la selección de las alternativas, según criterio disponibilidad. Aplicación de Expert Choice

El criterio de disponibilidad es el más importante a juicio de los expertos, de las dos alternativas propuestas en el problema, solamente es más atractiva la de explorar y explotar nuevos acuíferos, cuando el peso relativo del criterios es inferior al 5%, situación imposible debido a la importancia que reviste la disponibilidad del recurso hídrico.

#### **6.12. Consideraciones finales del capítulo**

La problemática presentada y desarrollada en el presente capítulo, se realizó en la cuarta región de Chile, con la finalidad de resolver el problema que está presente ya durante tiempo respecto a las fuentes de abastecimiento alternativas a la superficial, se propusieron dos alternativas, respecto a la modalidad de obtener aguas subterráneas, para el caso fue necesario estructurar una jerarquía, que se obtuvo a partir de consultas a expertos como académicos, profesionales relacionados con la problemática aquí discutida, y profesionales vinculados a estos organismos.

El primer nivel de la jerarquía se construyó a partir de seis criterios de decisión, el segundo con siete organismos vinculados a los recursos hídricos en Chile, y por supuesto presentes en la región de estudio, además de considerar dos grandes grupos de afectados, más tres objetivos propuestos por los expertos que urgente atención, para terminar en el último nivel con los dos alternativas: explotar más aun la capacidad de agua subterráneas de la región en oposición a establecer una alternativa que permita explorar nuevas fuente

en el mismo contexto de la anterior. Finalmente, los resultados arrojaron que la mejor alternativa es seguir con los actuales acuíferos presentes en la zona, y no prosperar en la exploración de nuevos, fundamentalmente para resguardar la capacidad actual que posee la región con una mirada estratégica y de sostenibilidad para el desarrollo de la misma.

### **6.13. Referencias consultadas**

[1] CUMBRE MUNDIAL SOBRE EL DESARROLLO SOSTENIBLE. “Competencia por el agua en la agricultura, año 2002.” 171 pp.

[2] DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA) “Estado de los embalses III y VIII regiones de Chile, y comparación entre los períodos 2009-2010”. 2010 Chile.

[3] DIRECCIÓN DE METEOROLOGÍA DE CHILE. “*Informe de precipitaciones por estaciones de monitoreo en Chile*”. 2012 Chile.

[4] ESTADÍSTICAS “VII Censo Agropecuario Nacional.” 2002, pp. 200, Chile.

[5] KAZMIER L., “*Estadística Aplicada a la Administración y Economía*.” 1998, Editorial Mc Graw-Hill, Edición tercera, ISBN: 970-10-1963-6. pp 411.

[6] MALLEA M., *“Protección ambiental de las aguas en Chile: Avances hacia una gestión integrada de los recursos hídricos.”* Universidad de Chile 2011.

[7] MEZA F., *“Desarrollo de un modelo de gestión integral para el resguardo de la calidad de las aguas en los valles Huasco, Limarí y Choapa”.* Instituto de Investigación Agropecuaria. 2009.

[8] OYARZÚN, J., *“Minería y contaminación del agua. ¿Cuándo es necesario preocuparse?”* Departamento de Minas, Universidad de La Serena y CEAZA, 2004.

[9] PERALTA, F., *“Desarrollo de las aguas subterráneas en Chile bajo el actual sistema legal y administrativo.”* Asociación Latinoamericana de Hidrología Subterránea para el Desarrollo (ALHSUD) Capítulo Chileno. 2011, edición n°12, pp.13-17.

[10] SAATY, T. *“The Analytic Hierarchy Process”*, editorial McGraw-Hill International, 1980.

[11] WARKERLY, D.; MENDENHALL, W. y SHEAFFER R. *“Estadística Matemática con aplicaciones.”* 2002, Editorial Thomson editores una división de Thomson Learning Inc. Edición sexta.

## **Capítulo VII**

### **Conclusiones finales y trabajos futuros**

#### **7.0. Propósito del capítulo**

Este capítulo estará dedicado a extraer las conclusiones finales de este trabajo e indicar trabajos futuros que podrían ser desarrollados en el ámbito de recursos hídricos en la cuarta región de Chile.

#### **7.1. Introducción**

Las conclusiones finales se desglosarán en cuatro apartados. Conclusiones del contexto de la problemática tratada, de procedimientos y aplicación de encuestas, y por último de resultados.

Por último en otro apartado se presentaran las líneas futuras de investigación.

#### **7.2. Conclusiones finales**

Antes de comenzar con el desglose de las conclusiones de este trabajo, es pertinente mencionar que en la región de Coquimbo no se han realizado estudios de estas características que involucren una cantidad importante de actores y variables en general que permitan graficar una realidad cierta y contingente en la región, y menos aun aplicando técnicas de

multicriterio, en lo específico mediante el proceso analítico jerárquico.

Los resultados obtenidos podrán ser utilizados como referencia a organismos públicos competentes en lo relacionado a temas de recursos hídricos y privados de similares intereses, ya que los involucrados en el desarrollo de esta problemática sobre la selección de la mejor alternativa de extracción de aguas subterráneas en la región forman parte de las filas de organismos directamente involucrados en el tema, como asimismo otros expertos que si bien no forman parte directa de los centros decisores, si manejan una perspectiva científica respecto a la materia que se ha tratado en este trabajo.

Por tanto, las conclusiones en base a los resultados obtenidos recogen un abanico de miradas respecto al tema de los recursos hídricos en la zona de estudio, que mediante la aplicación del proceso analítico jerárquico se consolida una mirada de la actualidad respecto a una problemática establecida en el último tiempo, y que ha sido tema de debate entre los distintos sectores empresariales, políticos, sociales, medioambientalistas y la comunidad en general.

#### **7.2.1. Conclusiones de contexto**

- El cambio climático experimentado en los últimos años ha sido una variable importante que ha influido sobre la escasez de agua a nivel mundial, en la cual Chile y específicamente la cuarta región no ha quedado exenta

de las consecuencias, poniendo en riesgo el normal desarrollo de las actividades humanas e industriales en la zona de estudio.

- Estudios indican que en la actualidad la aplicación del proceso jerárquico analítico, ha ayudado a resolver temas relacionados con la gestión de recursos hídricos, proponiendo alternativas en la dirección de solucionar problemáticas en distintas zonas que presentan insuficiencia y/o conflictos respecto al tema de recursos hídricos.
- Existe una asimetría en los niveles de precipitaciones en Chile. No obstante, el promedio de disponibilidad del país está sobre el promedio que establece el umbral para sostenibilidad. Sin embargo, esa situación ocurre en la zona sur del país. La zona norte no alcanza el umbral, situación que se agudiza más debido a los emplazamientos de grandes empresas mineras.
- Según registros entregados en 2001 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) las zonas del mundo más afectadas por el tema de la escasez de recursos es la zonas norte y sur del continente africano, Asia oriental y la zona sur del continente sudamericano, específicamente desde el norte de Perú a al sur de Chile. En la zona norte se prevé una reducción de las precipitaciones de casi el 50% respecto a lo normal.

- La disponibilidad de agua por habitante por año en la cuarta región de Chile ocupa el lugar número 12 de un total de 15 regiones en que se divide el país.
- Los efectos de la escasez de agua ha llevado a la Dirección General de Aguas (DGA) a declarar el 51% de los acuíferos como área de restricción y un 3% en zona de prohibición.
- En Chile existen 2 tipos usos de agua que se dividen en no extractivos y en extractivos. Este último tipo de uso es el que preocupa a las autoridades debido a una posible devolución de las aguas residuales con diferentes grados de contaminación.
- En la Cuarta Región la oferta de caudales ( $m^3/s$ ), es levemente inferior a su demanda, siendo que a nivel país la oferta casi dobla a la demanda.
- Respecto al sector agrícola tanto en el país como en regiones preocupa la contaminación de las aguas subterráneas por las contaminaciones provenientes del uso de fertilizantes y pesticidas.
- Los embalses principales proveedores de agua para regadío han experimentado una baja importante en su capacidad de oferta entre los períodos 2009-2010, entre la tercera y la octava región del país. En lo particular los ubicados en la cuarta región presentan bajas significativas en comparación con el año inmediatamente anterior.

- En sector agrícola se han realizado estudio respecto a la eficiencia en la aplicación de técnicas de riego para intentar compensar la falta del recurso hídrico. Sin embargo, no se ha logrado superar la crisis, según informe emitido por CAZALAC en el año 2006.
- Respecto al sector minero, la contaminación es preocupante debido a los vertidos de metales pesados y algunos tipos de sulfatos en las aguas superficiales y la posterior infiltración hacia aguas subterráneas.
- En Chile siete regiones desarrollan el sector minero. La cuarta región ocupa el tercer lugar en la producción con un 9% de la producción nacional, pero más al norte en la segunda región el aporte nacional asciende al 52% de la producción. Por tanto, el estrés hídrico es mayor respecto al que se presenta en la zona de estudio. (cuarta región).
- Es necesario buscar alternativas a tiempo para cubrir las demandas hídricas del sector minero, puesto que según las proyecciones realizadas en 2009 por la Comisión Nacional del Cobre (COCHILCO) a partir del año 2016 la demanda del sector solamente en la cuarta región se incrementará en un 700% debido a la exploración y explotación de nuevos proyectos mineros.
- En Chile existen 14 organismos públicos dedicados o vinculados a la gestión de recursos hídricos. Sin embargo, no existe una gestión integrada de los recursos hídricos en el país, y por tanto, la información

que maneja cada uno de los organismos competentes es parcial, y no necesariamente es coincide con los otros.

- La Dirección General de Aguas y la Comisión Nacional de Riego, concluyen que en la cuarta región el 75% del uso de agua se destina al sector agrícola, 20% a la minería y solamente 5% al consumo de agua potable.
- La disminución en la capacidad de los embalses y los caudales de los ríos en la región, llevó a considerar como alternativa la obtención de aguas desde los acuíferos, situación un tanto controversial a juicio de los expertos, puesto que no se conocen con exactitud las reservas de recurso, debido a la información parcial que maneja la Dirección General de Aguas y los modelos hidrogeológicos que aplica para calcular los caudales de entrada y recarga de los acuíferos.

#### **7.2.2. Conclusiones de procedimientos y aplicación de encuestas**

- Seleccionar a los expertos dispuestos a responder las encuestas ha sido complejo, por dos razones. La primera fue asegurarse de que tuvieran antecedentes y experiencia respecto a la problemática, ya que no necesariamente el nivel de profundidad respecto al manejo del tema es el mismo en cada uno de ellos. La segunda razón, fue pedirles la opinión personal y profesional al respecto, de manera de minimizar el sesgo existente conforme al cargo o a la posición que

desempeñaba en un organismo en particular o en una determinada institución. Por tanto, la confidencialidad fue un factor importante para proporcionar la información.

- La explicación de la problemática era conocida por los entrevistados, por lo cual no presentó mayor dificultad para comprenderla.
- Para la selección de los criterios de decisión fue necesario realizar algunos alcances de cada uno de éstos principalmente los que aparecen en la estructura de este trabajo, con la finalidad de trabajar con las mismas definiciones y los alcances de cada uno. Sin embargo, si algún experto aportaba algún otro criterio se le pedía que lo definiera y mencionará algunos alcances para ver si clasificaba en los ya definidos por el encuestador.
- El tema de los centros decisores estaban establecidos, y además eran conocidos por los expertos, por lo cual solamente el problema radicaba en la selección de éstos precisando que el trabajo estaba orientado a los sectores minero y agrícola en la región, y que el estudio no consideraba otros sectores presentes a nivel regional por no formar parte del estudio.
- La cuenca hidrográfica del Elquí es una de las más reconocidas a nivel nacional, por la organizada junta de vigilancia que tiene. Los expertos tenían conocimiento sobre su importancia, y además claramente tenían identificados los grupos que eventualmente serán los

afectados. Por su parte, la mayoría de los encuestados sugirieron trabajar con dos grupos, uno conformado por las juntas de vigilancia, comunidades de aguas, asociaciones de canalistas y comunidades de regantes; y otro grupo de interés era la comunidad en general cuya participación se sentía a través de las organizaciones comunitarias. Para confirmar lo sugerido por los expertos se recurrió a la búsqueda de referencias respecto a la conformación de los grupos afectados, y efectivamente se concluyó que los efectos en el manejo de los recursos hídricos afectan de igual manera al primer grupo, y por ende sólo para efectos netamente legales existen configuraciones distintas, y desde luego, el otro grupo tiene la posibilidad de ser afectado de manera distintas al anterior.

- Para encontrar los objetivo de que formarían parte de la estructura del proceso, se tuvo que definir la importancia de este en la problemática, y en la mayoría de los casos se expuso un ejemplo para mejor comprensión por parte de algunos expertos.
- Finalmente las alternativas eran bastantes conocidas por todos los expertos participantes en el proceso.
- Para el caso de la aplicación de la segunda encuesta ya con la estructura formada para resolver la problemática mediante el Proceso Analítico Jerárquico (AHP).el principal obstáculo observado fue el de la escala binaria de Saaty, fundamentalmente en la proporcionalidad.

- Respecto de la asignación de pesos para realizar las comparaciones, los expertos basan sus juicios en base a los conocimientos en el tema y sus respectivas experiencias. No obstante, no aseguran que en la realidad algunas empresas de los sectores involucrados en el problema estén desarrollando a cabalidad la totalidad de los compromisos contraídos.

### **7.2.3. Conclusiones respecto a los resultados de los criterios, centros decisores y alternativas**

- El criterio de disponibilidad es el más importante a juicio de los expertos, y el más influyente para concluir sobre la alternativa de continuar con la explotación de recursos desde acuíferos existentes que regularmente están siendo técnicamente evaluados.
- El criterio técnico tiene el menor de los pesos entre todos los criterios que forman parte de la problemática abordada, debido a que puede ser considerado una consecuencia de los otros, en el sentido que las capacidades técnicas, tecnológicas y de infraestructura están presentes. Por tanto, no es un tema que preocupe mayormente en relación a los otros criterios de mayor asignación de pesos.
- Los criterios político y social procuran resguardar las condiciones óptimas de las cuencas hidrográficas de la región, minimizando los efectos sobre las comunidades en general o grupos que se verían afectados al

movilizarse a buscar otras nuevas alternativas de extracción de aguas subterráneas.

- Los resultados arrojados indican que el centro decisor más preferido respecto a los criterios de disponibilidad y político es la Dirección General de Aguas. Por tanto, el organismo refleja una preocupación respecto a los impactos en las tres cuencas hidrográficas, además de estar en constante preocupación por la cautela de los derechos de aprovechamientos de agua.
- La Dirección de Obras Hidráulicas organismo perteneciente al Ministerio de Obras Públicas al igual que la DGA, es el centro decisor más influyente atendiendo los criterios técnicos y económicos.
- Los criterios social y ambiental tiene como los centros decisores más influyentes a la Superintendencia de Servicios Sanitarios y la Comisión Regional del Medio Ambiente, respectivamente.
- A juicio de los expertos el grupo más afectado es el conformado por la comunidad en su totalidad.
- Si la alternativa a elegir fuera tomada por cada centro decisor, dejando de lado la influencia de los otros centros, aun en estas condiciones lo preferible sería los acuíferos existentes, exceptuando al Servicio Nacional de Geología y Minería, que ve la alternativa de nuevas exploraciones por las necesidades actuales y futuras de los proyectos mineros en la zona.

- A pesar de que en la región han sido decretadas veinticinco zonas en restricción de un total de cuarenta. Los expertos manifiestan ciertas discrepancias en la forma en que se han realizado los estudios hidrogeológicos por parte del organismo competente.
- Otros estudios indican que existen diferencias en los niveles de infiltración hasta de un 6%, situación que marca la diferencia entre establecer si la demanda supera a la oferta o viceversa.
- Sólo por mencionar un caso abordado por los expertos la disponibilidad de agua subterránea supera en casi un 50% a la capacidad existente en las zonas acuíferas, como consecuencia de los aportes de las tres cuencas hidrográficas emplazadas en la región, cuenca del Elquí, Limarí y Choapa.
- Deberían aplicarse estudios más rigurosos y acabados, en donde se incluyan estudios de aguas superficiales, geológicos, geofísicos, sondajes, pruebas de bombeo, algunos coeficientes técnicos relacionados a la medición de las aguas y sobre todo modelos de simulación, que permitan claramente despejar la incógnita acerca de las capacidades de aguas subterráneas en la actualidad en la región.

### 7.3. Trabajos futuros

A continuación se presentan algunas futuras líneas de investigación respecto a la problemática tratada en el presente trabajo, con la finalidad de ampliar el conocimiento científico - técnico regional, que además pueda ayudar a establecer los mecanismos necesarios que vayan en la dirección de mejorar la calidad de vida de las personas y los distintos sectores empresariales de la región, mediante la aplicación del proceso analítico jerárquico.

- Establecer un modelo hidrogeológico único que permita obtener los mismos resultados respecto a las capacidades reales de los acuíferos.
- Estudio sobre la gestión integrada de las cuencas que considere el total de las aguas superficiales, subterráneas y nivales que permita obtener información real hidrológica e hidrogeológica para conocimiento sobre las dinámicas hídricas en la región.
- Estudiar como afectan las alternativas propuestas en este estudio a otros sectores no considerados en el presente estudio tales como: sector pesca, manufacturero, construcción y servicios en general, y a los respectivos grupos de interés presentes.
- En la región se ha constituido la Corporación Minera de Coquimbo (CORMINCO) formada por las principales empresas de la cuarta región. en la actualidad se pretende llevar a cabo un estudio relacionado con la

obtención, uso y control de las aguas que se utilizan en los procesos productivos en estas empresas. Por tanto, desde esta perspectiva podría ser de utilidad aplicar el proceso analítico jerárquico para encontrar la mejor alternativa, que proteja el medioambiente, a los grupos afectados y resulte eficiente desde el punto de vista económico para las empresas en cuestión.

Para finalizar, indicar que, por supuesto, la primera actividad posterior a la presente tesis, será la divulgación de resultados en revistas y congresos relacionados con el ámbito de la misma.



## Capítulo VIII

### Referencias consultadas en el desarrollo de la tesis

[1] AABHA, P.; RATHI, B. y BAILE, A. *“Identifying potential sites for artificial groundwater recharge in sub-watershed of River Kanhan India Environ Earth, Sci.* 2011, vol. 62 pp.1099–1108.

[2] AKASHA, BA; AL-JAYYOUSI, O; y MOHSEN, EM., *“Análisis de criterios múltiples de las tecnologías no convencionales de energía para la desalación de agua en Jordania ”*, Desalinización, 1997, vol.114, pp.1-12.

[3] ATENAS, M.; JOFRÉ, J.C. y FIGUEROA A. *“Taller-Nacional “Chile hacia un Plan Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. Agua y Medioambiente”*, DGA-CONAMA, 2003 Chile, 30pp.

[4] AYALA, L. *“Aspectos técnicos de la Gestión Integrada de las Aguas (GIRH) Primera etapa de diagnóstico”*. Informe preparado para el diagnóstico de la Gestión de los Recursos Hídricos.2010 Chile.

[5] AYALA; CABRERA y ASOCIADOS LTDA., INGENIEROS CONSULTORES. *“Estimaciones de la demanda de agua y*

*proyecciones futuras. Zona I regiones I a IV*". Informe final (S.I.T. N°122). Dirección General de Aguas, 2007 Chile.

[6] AZNAR, J. y GUIJARRO, F.; *"Nuevos métodos de valoración modelos multicriterios."*192 pp. Recurso disponible: [http://www.upv.es/miw/infoweb/vmultic/info/Nuevos\\_metodos\\_de\\_valoracion\\_Modelos\\_multicriterio.pdf](http://www.upv.es/miw/infoweb/vmultic/info/Nuevos_metodos_de_valoracion_Modelos_multicriterio.pdf)

[7] BANCO MUNDIAL., *"Panorama general un nuevo clima para el desarrollo"* Informe sobre el desarrollo mundial, desarrollo y cambio climático. 2010. 60 pp.

[8] BANCO MUNDIAL *"Diagnóstico de la gestión de recursos hídricos en Chile"*. Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Región para Latino América y El Caribe, 2011. 92 pp.

[9] BARBA-ROMERO, S. y POMEROL, J.-C. *"Decisiones multicriterio. Fundamentos teóricos y utilización práctica"*. Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá de Henares, 1997. ISBN:84-8138-180-2

[10] BELKHIRI, L.; BOUDOUKHA, A. y MOUNI; L., "A multivariate statistical Analysis of Groundwater Chemistry Data". Int. J. Environ. Res., 2011, vol.5, pp.537-544, ISSN: 1735-6865.

[11] BELTON, V. y STEWART, T. J. "*Multiple criteria decision analysis: An integrated approach*". 2ª edición London: Kluwer Academics Publishers, 2002. ISBN:0-7923-7505-X

[12] BERGA, L. "*Forma y función en presas y embalses.*" 2008, CICCOP, I.T.N°81,85 pp.

[13] BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL DE CHILE-BCN "Cambio climático: sus efectos en Chile y las acciones para combatirlo" 2007.

[14] BONNIS, G. y STEENBLIK, R. "*Overview of the Main Issues and Policies.*" En OECD Workshop on the Sustainable Management of Water in Agriculture."; 1997, vol. 3, pp. 134-153.

[15] BÓRQUEZ, R.; LARRAÍN, S.; POLANCO, R. y URQUIDI, J. "*Glaciares Chilenos: Reservas estratégicas de agua dulce para la sociedad, los ecosistemas y la economía*", 2006, ISBN: 956-310-501-X.

[16] BOUYSSOU, D.; MARCHANT, T.; PIRLOT, M.; TSOUKIÀS, A. y VINCKE, P. "*Evaluation and decision models with multiple criteria. Stepping stones for the analyst*". New York: Springer, 2006. ISBN:0-387-31098-3.

[17] BUSINESS CHILE. "*Cambio Climático y Agua*". Boletín de Medio Ambiente. 2011, año VI, n°1.223.

[18] BJORNLUND, H. *“Farmer Participation in Markets for Temporary and Permanent Water in Southeast Australia.”* Revista Agricultural Water Management. 2003, n°63 pp. 57-76.

[19] BJORNLUND, H. y MCKAY, J. *“Aspects of Water Markets for Developing Countries: Experiences from Australia, Chile and the US.”*, Environment and Developing Economics. 2003, vol. 7, pp. 769-795.

[20] BRENNAM, D. y SCOCCIMARRO, M. *“Issues in Defining Property Rights to Improve Australian Water Markets”*. En the Australian Journal of Agricultural and Resource Economics 1999, n° 43, pp. 69-89.

[21] BROWN E., *“Taller Nacional- Chile, hacia un plan de gestión integrada de los recursos hídricos: Uso eficiente de los recursos hídricos”*, CEPAL Naciones Unidas en Santiago, 2003, 22 pp.

[22] CALIZAYA, A.; MEIXER, O.; BENGTSSON, R. y BERNDTSSON, R. *“Multi-criteria Decision Analysis (MCDA) for Integrated Water Resources Management (IWRM) in the Lake Poopo Basin, Bolivia”*. Water Resource Manager. 2010, vol. 24, pp. 2267–2289.

[23] CDEC-SING. *“Estadística de operación períodos 2000-2009”*. 2010, pp. 26-28.

[24] CENTRO DEL AGUA PARA ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CAZALAC). Asesorados por RHODOS Asesorías y proyectos Ltda. *“Informe de estudios y proyectos. Aplicación de metodologías para determinar la eficiencia del uso del agua.”* Estudio de caso Región de Coquimbo.2006 Chile.

[25] CEPAL Taller Nacional – Chile *“Hacia un plan de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos”*. 2003.

[26] CEPAL, *“Eco-eficiencia y desarrollo de infraestructura urbana sostenible en América Latina, El Caribe y Asia: Caso: Chile, Región de Coquimbo.”*, 2009, 12 pp.

[27] CEPAL NACIONES UNIDAS, *“La economía del cambio climático en Chile”*, 2009, 68 pp.

[28] CENTRO DEL AGUA PARA ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CAZALAC). Asesorados por RHODOS Asesorías y proyectos Ltda. *“Informe de estudios y proyectos. Aplicación de metodologías para determinar la eficiencia del uso del agua.”* Estudio de caso Región de Coquimbo.2006 Chile.

[29] CENTRO DE DESPACHO ECONÓMICO DE CARGA DEL SISTEMA INTERCONECTADO DEL NORTE GRANDE

(CDEC-SING), *“Estadística de Operación 2000-2009.”*, 2010, 60 pp.

[30] CENTRO DE DESPACHO ECONÓMICO DE CARGA DEL SISTEMA INTERCONECTADO CENTRAL (CDEC-SIC), *“Estadística de Operación 2000-2009.”*, 2010, 127 pp.

[31] CENTRO DE INFORMACIÓN DE RECURSOS NATURALES (CIREN), OFICINA DE ESTUDIOS Y POLÍTICAS AGRARIAS (ODEPA). *“Métodos de Riego.”*, Ministerio de Agricultura de Chile ([www.ciren.cl](http://www.ciren.cl); [www.odepa.cl](http://www.odepa.cl)), 2005.

[32] COMISIÓN CHILENA DEL COBRE (COCHILCO) *“Gestión de Residuos Industriales Líquidos Mineros y Buenas Prácticas 2002”*. Acuerdo Marco de Producción Limpia Sector Gran Minería. 2002 Chile.

[33] COMISIÓN CHILENA DEL COBRE (COCHILCO), *“Gestión del recurso hídrico y a minería en Chile: proyección consumo de agua en la minería del cobre 2009-2020.”*, 2009 Chile.

[34] COMISIÓN CHILENA DEL COBRE (COCHILCO), *“Inversión en la minería Chilena del cobre y del oro. Proyección del período 2010-2015”*, 2010 Chile. (Actualizada al cierre de mayo 2010 de /05/2010).

[35] COMISIÓN CHILENA DEL COBRE (COCHILCO). *“Dirección de Estudios y Políticas Públicas, consumo de agua*

en *la Minería del Cobre, 2010*". Registro de Propiedad Intelectual n°21180, 2010 pp. 3-10.

[36] COMISIÓN CHILENA DEL COBRE (COCHILCO). Gestión de recursos hídricos y la Minería en Chile. *"Proyección en el consumo de agua en la minería del cobre 2009-2020"*. Dirección de políticas públicas 2009, Registro de propiedad intelectual n°185340, pp.10-15.

[37] COMISIÓN CHILENA DEL COBRE. (COCHILCO) *"Buenas prácticas y uso eficiente del agua en la Industria Minera"*. 2005, 71 pp. Chile.

[38] COMISIÓN CHILENA DEL COBRE. (COCHILCO). *"Anuario Estadísticas del Cobre y Otros Minerales 1986-2005"* 2006 Chile.

[39] COMISIÓN CHILENA DEL COBRE (COCHILCO), *"Consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero de la minería del cobre de Chile en 2005."*, 2006, RPI: N° 181718, 45 pp.

[40] COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA (CNE). *"Capacidad instalada por sistema eléctrico nacional."*, 2009 Chile.

[41] COMISIÓN NACIONAL DE ENERGIA (CNE) *"Modelación sobre la base de escenarios de largo plazo, para el Sistema*

*Interconectado del Norte Grande (SING) y el Sistema Interconectado Central (SIC)*”, 2009.

[42] COMISIÓN CHILENA DEL COBRE (COCHILCO), “*Consumo de agua en la minería del cobre 2009.*”, 2010, RPI: N° 198544, 13 pp.

[43] COMISIÓN CHILENA DEL COBRE (COCHILCO), “*Consumo de agua en minería del cobre 2010.*”, 2011, RPI: N° 21180, 33 pp.

[44] CONIC-BF Ingenieros Civiles Constructores. “*Levantamiento y Catastro de Bocatomas en Cauces Naturales.*” S.I.T. N°75.2004. pp. 21-24. Ministerio de Obras Públicas (MOP). Dirección General de Aguas (DGA)

[45] CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LA REPÚBLICA. Artículo 19 n° 24. Las aguas son bienes nacionales de uso público, de acuerdo al artículo 5 del Código de Aguas y al 595 del Código Civil, modificado por la ley n° 16.640, de 1967, sobre reforma agraria.

[46] CONTRERAS, M. “*Calidad de aguas y contaminación: etapa diagnóstico. Informe preparado para el diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos.*” 2010 Chile.

[47] CUMBRE MUNDIAL SOBRE EL DESARROLLO SOSTENIBLE. “Competencia por el agua en la agricultura, año 2002.” 171 pp.

[48] CHEN, Y.; KHAN, S. y PAYDAR Z. *“to retire or expand? A fuzzy GIS- based spatial Multi-Criteria Evaluation Framework for irrigated agriculture Irrigation and drainage”*. 2009, vol. 59, pp. 174–188.

[49] CHILE Artículo 9. Facultades sancionadoras y fiscalizadoras, ley 20.473. Ministerio del Medio Ambiente. Chile.

[50] CHILE. Artículos 112, 129 bis 1, 147 inciso final, 299 c) y d), 129 bis 4, 129 bis 5 y 129 bis 9 y 186, 314. y, siguientes del Código de Aguas, reformado por la ley nº 20.017 de junio de 2005.

[51] CHILE. Artículos 262 y 277, ley nº 16.640, de 1967, sobre reforma agraria. En agosto de 1967 se expidió el decreto nº 620, sobre facultades de la Dirección General de Aguas y de la Empresa Nacional de Riego. En enero de 1968 se estableció el Decreto con Fuerza de Ley nº 11, sobre adecuaciones del Código de Aguas.

[52] CHILE. D.F.L. MOP N° 382 de 1988 - Publicado en el D.O. el 21-jun-1989. - Texto actualizado a dic-2008, incluye ley N°20.307.

[53] CHILE. D.F.L. N° 1.122 de 1981 y el D.F.L. MOP N° 1.115 de 1969. República de Chile.

[54] CHILE. D.F.L. N° 850 de 1997 del Ministerio de Obras Públicas y referidas a las que confiere el Código de Aguas. República de Chile.

[55] CHILE. D.F.L. N° 850 de 1997 determina la organización interna del Ministerio, sus funciones y lo faculta para actuar en el ámbito público. República de Chile.

[56] CHILE. Decreto N° 930 de 1967. República de Chile.

[57] CHILE. Decreto Supremo SEGPRES N°30/97, Art.N°2, Reglamento SEIA. República de Chile.

[65] CHILE. Ley N° 19.821, modificación ley n° 18.902 (SISS) república de Chile.

[58] CHILE. Ley N°18.902, Crea la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). República de Chile.

[59] CHILE. Ley N°19.300. Bases Generales de Medio Ambiente.1994. Arts. 6°- 50°.

[60] CHOWDHURY, A.; JHA, M. y CHOWDARY, V.M. “*Delineation of groundwater recharge zones and identification of artificial recharge sites in West Medinipur district, West Bengal, using RS, GIS and MCDM techniques*”, Environmental Earth Science, 2010, vol. 59, pp.1209–1222.

[61] DIETRICH, A. “*Presenças e ausências do Vale do Jequitinhonha no jornal Estado de Minas.*” Revista Entre a carência social e a riqueza cultural. 2008, vol.4, 15 pp.

[62] DIRECCIÓN DE GENERAL DE AGUAS. (DGA). “*Evaluación de la explotación máxima sustentable del acuífero del Valle del Elqui.*” Departamento de Administración de Recursos Hídricos. S.D.T. N°228, 2006. 69 pp.

[63] DIRECCIÓN DE GENERAL DE AGUAS. (DGA). MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS. (MOP). “*Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivo de calidad. Cuenca del Río Chopa.*” 2004, CADE-IDEPE Consultores.131 pp.

[64] DIRECCIÓN DE METEOROLOGÍA DE CHILE. “*Informe de precipitaciones por estaciones de monitoreo en Chile.*” 2012 Chile.

[65] DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA) *“Derechos, extracciones y tasas unitarias de consumo de agua en el sector minero. Regiones Centro-Norte de Chile”*. Proust Consultores, 2008, S.I.T.Nº146, pp.10-18.

[66] DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA) *“Estado de los embalses III y VIII regiones de Chile, y comparación entre los períodos 2009-2010”*. 2010 Chile.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA). *“Balance hídrico de Chile.”* DGA. 1987 Chile.

[67] DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA). *“Categorización de Estudios de Aguas Subterráneas en Sectores Acuíferos restringidos, ubicados entre las Regiones de Arica y Pertinacita y del Libertador General Bernardo O’Higgins.”* Informe DARH N° 265/ DGA. 2010 Chile.

[68] DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA). *“Diagnóstico situación actual de las organizaciones de usuarios de aguas a nivel nacional”*. Informe Final, realizado por R.E.G. Ingenieros Consultores. Ministerio de Obras Públicas, 1999 Chile.

[69] DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA). *“Manual de normas y procedimientos para la administración de recursos hídricos.”* Serie de Informes Técnicos (SIT) N° 156. DGA. 2008 Chile.

[70] DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA). *“Manual de normas y procedimientos para la administración de recursos hídricos”*. Serie de Informes Técnicos (SIT) N° 156. DGA. 2008 Chile.

[71] DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. (DGA) *“Evaluación de Recursos Hídricos Subterráneos de la cuenca del Río Limari.”* Dpto. de Recursos Hídricos. S.D.T. N°268, 2008. 147 pp.

[72] DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. (DGA) *“Evaluación de Recursos Hídricos Subterráneos de la cuenca del Río Choapa.”* Dpto. de Recursos Hídricos. S.D.T. N°248, 2007. 80 pp.

[73] DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. (DGA). MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS. (MOP). *“Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivo de calidad. Cuenca del Río Elquí”*. 2004. 143 pp.

[74] DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. (DGA). MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS. (MOP). *“Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivo de calidad. Cuenca del Río Limarí.”* 2004, CADE-IDEPE Consultores.137 pp.

[75] DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA). *“Categorización de Estudios de Aguas Subterráneas en Sectores Acuíferos restringidos, ubicados entre las Regiones*

*de Arica y Pertinacita y del Libertador General Bernardo O'Higgins.*" Informe DARH N° 265/ DGA., 2010 Chile.

[76] DONKOR S.M.K. y WOLDE Y.E. "*Integrated Water Management in Africa: Issues and options.*", United Nations Economic Commission for Africa. 1999, 20 pp.

[77] DONOSO, G. "*Water Markets: Case Study Of Chile's 1981 Water Code*" Ciencia e Investigación Agraria, 2006.vol.33, pp. 157-171.

[78] DONOSO, G. "*Water Markets: Case Study of Chile's 1981 Code.*", Pontificia Universidad Católica de Chile., Global Water Partnership South America, 2003 Chile.

[79] DONOSO, C. "*Componentes científicos clave para una política nacional sobre usos, servicios y conservación de los bosques nativos Chilenos*", 2003, ISBN: 956-299-005-2.

[80] ECONOMIC COMMISSION FOR LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN (ECLAC). "*Economics of Climate Change in Latin America and the Caribbean*"., Summary 2010. Naciones Unidas. CEPAL, 2010 Chile.

[81] ESPINOZA, R. "*Guía de la institucionalidad del agua, en la Región de Coquimbo*", Revista "La Gaceta del agua", n°1. Disponible en: [www.uls-ur.cl/tier2](http://www.uls-ur.cl/tier2)

[82] ESTADÍSTICAS “VII Censo Agropecuario Nacional.” 2002, pp. 200, Chile.

[83] EVALUACIÓN DEL GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO (IPCC). “Cambio climático 2001: Resumen para responsables de políticas.”, 2001, 38 pp.

[84] FIGUEIRA, J.; GRECO, S. y EHRGOTT, M. "*Multiple criteria decision analysis. State of the art surveys*". Boston: Springer Science + Business Media. Inc., 2005. ISBN: 0-387-23067-X

[85] GAJARDO, P. “*Evaluación del crecimiento en plantaciones Eucalyptus globulus Labill. Sometidos a tres sistemas de riego: surco, microaspersión y el goteo, en el Valle Central de la VIII Región.*” Universidad Católica de Temuco, 2005, 122 pp.

[86] GARCÉS, J. “*Gestión de recursos hídricos en Chile. Proposición de un modelo de Gestión Integrada para la cuenca Maipo Mapocho*” Universidad de Chile. 2005, 160 pp.

[87] GARCÉS, J. “*Paradigmas del conocimiento y sistemas de gestión de los recursos hídricos: La gestión integrada de las cuencas hidrográficas.*” Revista REDESMA. 2011, vol.5, 13 pp.

[88] GARFÍ, M.; FERRER-MARTÍ, L.; BONOLI, A. y TONDELLI, S. “*Multi-criteria analysis for improving strategic environmental assessment of water programmes. A case study in semi-arid region of Brazil,*” *Journal of Environmental Management*, 2011, vol.92, pp. 665-675.

[89] GARRIDO, A. “*A mathematical programming model applied to the study of water markets within the Spanish agricultural sector*”, *Annals of Operations Research*, 2000, nº 94, pp.105 - 123.

[90] GARUTI, C. y ESCUDEY, M. “*Toma de decisiones en escenarios complejos.*” Universidad de Santiago de Chile. 2005 ISBN: 956-303-003-6, 420 pp.

[91] HAJKOWICZ, S. “*A comparison of multiple criteria analysis and unaided approaches to environmental decision making*”. *Environmental Science and Policy*; 2007, vol.10, pp.177-184.

[92] HEARNE, R. Y DONOSO, G. “*Water institutional reforms in Chile.*”, *Water Policy*. 2010, vol.7, pp. 53-65.

[93] HENRÍQUEZ, C.; AZÓCAR, G. y AGUAYO, M. “*Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile.*” *Revista de Geografía Norte Grande.*, 2006, vol.36, pp. 61-74.

[94] HERNÁNDEZ, R. *“Reforma Agraria y Evolución del Marco Jurídico en Chile.”* Estudio Legislativo de la FAO. 2006, 22 pp.

[95] HINRICHSEN, ROBEY Y UPADHYAY, 1998; Global Water Partnership-GWP, 2000

[96] HOMER-DIXON, T.F.; BOUTWELL, J.H. y RATHJENS G.H. *“Environmental Change and Violent Conflict Scientific American.”* 1993, vol.268, Issue: 2, pp. 38-45, ISSN: 00368733.

[97] HWANG, C. y YOON, K. *“Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications”* . New York: Springer Verlag, 1981.ISBN: 0387105581

[98] IAP. *“Estimación preliminar del potencial de la eficiencia en el uso de energía eléctrica al abastecimiento del sistema interconectado central”*. Universidad de Chile, 2008, pp.. 40-45.

[99] INGENIARE. *“Recursos hídricos y desarrollo socioeconómico en zonas áridas: Importancia y perspectiva de nuevas tecnologías aplicadas al tratamiento de aguas naturales y/o residuales.”* Revista chilena de ingeniería, 2009, vol. 17, n° 3, pp. 285-287. versión On-line ISSN 0718-3305.

[100] INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR (IGM), *“Mapa Político de Chile y mapa político administrativo de la cuarta región de Chile 2010.”*, 2011.

[101] INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS (INE). *“Censo Agrícola”*.2007 Chile. [www.ine.cl](http://www.ine.cl)

[102] INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS (INE) *“Población estimada por sexo 2000-2050”*; Chile; disponible en: [www.ine.cl](http://www.ine.cl) consultado enero 2012.

[103] INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN INN-CHILE. Norma chilena Oficial 1333.Of78, modificada en 1987. *“Requisitos de Calidad del Agua para Diferentes Usos”*. Segunda Edición, 1987, pp.3-5.

[104] JABER, J.O. y MOHSEN, M.S. *“Evaluation of non-conventional water resources supply in Jordan.”* Desalination. 2011, vol.136, pp. 83–92.

[105] JIAQI, C. y JUN, X. *“Facing the challenge: barriers to sustainable water resources development in China”*, Hydrological Sciences Journal, 1999, vol. 44:4, pp. 507-516.

[106] KAMPAGOU, E.; ELEFTHERIADOU, E. y MYLOPOULOS, Y. *“Implementing equitable water allocation in*

*transboundary catchments: the case of river Nestos/Mesta.*”

Water Resource Management, 2007, vol. 21, pp. 909–918.

[107] KARBASSI, A. R.; HOSSEINI, F.; BAGHVAND, A. y NAZARIHA, M. “*Development of Water Quality Index (WQI) for Gorganrood River*”. Int. J. Environ. Res. 2011, vol. 5, pp.1041-1046.ISSN: 1735-6865.

[108] KAZMIER L., “*Estadística Aplicada a la Administración y Economía.*” 1998, Editorial Mc Graw-Hill, Edición tercera, ISBN: 970-10-1963-6.pp 411.

[109] LE MOIGNE, G.; DINAR, A. Y GILTNER, S. “*Agriculture and natural resources department World Bank Washington, USA Principles and examples for the allocation of scarce water resource among economic sectors*” .Options Méditerranéennes, n°31, 1997 Séminaires Méditerranéennes

[110] MACHIWAL, D.; MADAN, K. y BIMAL, C. “*Assessment of Groundwater Potential in a Semi-Arid Region of India Using Remote Sensing, GIS and MCDM Techniques*”. Water Resource Manage., 2011, vol.25,pp. 1359–1386.

[111] MALLEA M., “*Protección ambiental de las aguas en Chile: Avances hacia una gestión integrada de los recursos hídricos.*” Universidad de Chile 2011.

[112] MALMASI, S.; JOZI, S.A.; MONAVARI, S.M. y JAFARIAN, M.E. *“Ecological Impact Analysis on Mahshahr Petrochemical Industries Using Analytic Hierarchy Process Method.”* Int. J. Environ. Res., 2010, vol.4, pp.725-734, ISSN: 1735-6865.

[113] MEI, X. y ROSSO, R. *“Application of analytical hierarchy process to water resources policy and management in Beijing, China Closing the Gap Between Theory and Practice.”*, (Proceedings of the Baltimore Symposium.1989.), IAHS., Publication n°.180.

[114] MENTOR, J. JR. *“Trading Rading Water, Trading Water, Trading Places: Water Marketing in Chile and the Western United States”* 2001, 7 pp.

[115] MEZA F., *“Desarrollo de un modelo de gestión integral para el resguardo de la calidad de las aguas en los valles Huasco, Limarí y Choapa”*. Instituto de Investigación Agropecuaria. 2009.

[116] MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP), DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA), *“Política actual de los recursos hídricos en Chile, desafíos para la sustentabilidad”*, 1999, 172 pp.

[117] MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP) “*Análisis de iniciativas de plantas desalinizadoras dentro del sistema de concesiones*”. 2009 Chile.

[118] MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP). “*Calidad de agua de riego: Calidad de agua: marco teórico jurídico, institucional y tecnológico para la prevención y mitigación de la contaminación de las aguas de riego.*”, 2009, 47 pp.

[119] MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP), DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. (DGA). “*Pronóstico de disponibilidad de agua, para temporada de riego períodos 2010-2011.*”, 2010. 23 pp.

[120] MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS DE CHILE “*Estructura organizacional del MOP*”, 2011; disponible: [www.mop.cl](http://www.mop.cl) Consultado Enero 2011

[121] MORALES, L., “*Organizaciones de usuarios de agua de la cuenca del Río del Elqui*”. Universidad de La Serena, 2005. 21pp.

[122] MORENO CASELLES, J.; MORAL HERRERO, R.; PÉREZ MURCIA, M. D. y PÉREZ ESPINOSA, A. “*Fundamentos de Edafología y Climatología.*” Universidad Miguel Hernández España., 2000, 395 pp.

[123] NIETO, A. *"Contribución a la ponderación de criterios en problemas de toma de decisión en proyectos en ambientes difusos"* Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, 2001.

[124] ODEPA. Resolución exenta N°803. Análisis del Mercado del Agua de Riego en Chile: Una Revisión Crítica a través del caso de la Región de Valparaíso, 142 pp. 2010.

[125] ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OCDE) *"Member Countries"*, 2011, [www.oecd.org](http://www.oecd.org).

[126] ORGANIZACIÓN DE LA NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO) *"Los problemas del agua y la agricultura"*. 1993, ISBN: 9253033606.

[127] ORGANIZACIÓN DE LA NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO) *"La FAO en Chile: 60 años de colaboración 1945-2005"*, 2006, 238 pp.

[128] ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OCDE), *"Guidelines and reference series .Applying strategic environmental assessment. Good practice guidance for development co-operation."*, 2006, [www.oecd.org](http://www.oecd.org).

[129] ORREGO, J.P., “*El estado de las aguas terrestres en Chile. Cursos y aguas subterráneas. Democracia, ecología y políticas públicas*”.2002 Chile.69 pp.

[130] OYARZÚN, J., “*Minería y contaminación del agua. ¿Cuándo es necesario preocuparse?*” Departamento de Minas, Universidad de La Serena y CEAZA, 2004.

[131] PARK, S.; OHA, C.; JEON, S.; JUNG, H. y CHOI, C. “*Soil erosion risk in Korean watersheds, assessed using the revised universal soil loss equation.*” Journal of Hydrology, 2011, vol.399, pp. 263–273.

[132] PARRA, O. “*Gestión integrada de cuencas. Control de Ciencias Ambientales, EULA-Chile*”. Universidad de Concepción. 2009. Chile, 15pp.

[133] PASTOR, J. “*Aplicación de las técnicas AHP y ANP, de análisis multicriterio de decisiones, a la selección y ponderación de criterios en las adjudicaciones de los contratos públicos de obra.*”, Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. 2007.

[134] PEÑA, H. “*20 años del Código de Aguas. Visión desde la administración*”. Dirección General de Aguas (DGA). 2001 Chile.

[135] PEÑA, H. y SALAZAR, C. *“Calidad de aguas”*. Serie de documentos técnicos. SIT n°2. Dirección General de Aguas (DGA). 1993 Chile.

[136] PERALTA, F., *“Desarrollo de las aguas subterráneas en Chile bajo el actual sistema legal y administrativo.”* Asociación Latinoamericana de Hidrología Subterránea para el Desarrollo (ALHSUD) Capítulo Chileno., 2011, edición n°12, pp.13-17.

[137] PIGRAM, J., *“Water Resources in Time and Space”* In: Australian Water Resources from Use to Management. Published by CSIRO publishing 2006, pp. 1-17.

[138] PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE (PUC). *“Economía de minerales, precio, costos, productividad en la minería del cobre”*, Centro de Minería PUC, 2007. 69 pp

[139] PHILIPPE, R; *“Agua de mar para la Industria Minera”*, II Seminario Internacional de desalación. 2010, Antofagasta Chile.

[140] PRIEN. *“Proceso de implementación del proyecto de uso eficiente de energía en CODELCO-Chile”* 2000 Chile.

[141] PROYECTO CAMINAR – UNIÓN EUROPEA GRUPO DE TRABAJO DE CUENCA. Caso Cuenca Elqui. Lanzamiento del Proyecto - Primera Reunión de Trabajo *“Actualización y*

*Socialización de la información en Elqui orientada hacia la Gestión de Cuencas.*” 2007, 70 pp.

[142] RAMANATHAN, R. A., “*note on the use of the analytic hierarchy process for environmental impact assessment.*”, Journal of Environmental Management., 2001, vol. 63, pp. 27–35.

[143] RAMILO, L.; GÓMEZ, S. y COPPARI, N. “*Tecnologías de procesos para la desalinización de aguas*”, 2003, CNEA, año 3, n° 9/10, 27 pp.

[144] REVISTA MINERIA CHILENA, “*Generando ahorros en agua y energía*”, 2008, n°324.

[145] ROMERO, C. “*Teoría de la decisión multicriterio: Conceptos, técnicas y aplicaciones*”. 1993, ISBN: 84-206-8144-X., pp.130-134.

[146] SAATY, T. “*The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority, Setting and Resource Allocation*”, 1980, ISBN: 0-9620317-2-0.

[147] SAATY, T. “*Toma de decisiones para líderes. El proceso analítico jerárquico la toma de decisiones en un mundo complejo.*” 1997, ISBN 0-888603-01-1, 423 pp.

[148] SAATY, T., *“The Analytic Hierarchy Process.”* Editorial McGraw-Hill International, 1980.

[149] SALAZAR, C. *“Situación de los recursos hídricos en Chile. Con el apoyo de la Fundación Nippon. Centro del Tercer Mundo para el Manejo del Agua, A. C., México”.* 2003, Chile.

[150] SERVICIO AGRÍCOLA GANADERO (SAG) “Criterio de calidad de aguas o efluentes tratados para uso en riego.”, División de Recursos Hídricos y Medio Ambiente, Universidad de Chile. 2005, 32 pp.

[151] SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA (SERNAGEOMIN), *“Anuario de la Minería de Chile”*, Ministerio de Minería de Chile, 2010, 213 pp.

[152] SOLANES, M. *“Las organizaciones de regantes en el derecho y la administración de algunos países de América Latina. Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas”.* Instituto de Economía, Legislación, y Administración de agua. 1981 84 pp.

[153] SRDJEVIC, B., *“Linking analytic hierarchy process and social choice methods to support group decision-making in water management.”*, Decision Support Systems, 2007, vol.42, pp.2261–2273.

[154] TISDELL, J.G. y WARD, J.R., "*Attitudes Towards Water Markets: An Australian Case Study.*", Revista Society and Natural Resources. 2001, n° 16, pp. 61-75.

[155] TSOUKIÀS, A., "On the concept of decision aiding process". *DIMACS Technical report*, 2003, vol. 38.

[156] UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. (UNEP), "Climate change.", Science Compendium. 2009. 72 pp.

[157] UCHE, J.; SERRA, L.; VALERO, A. "*La desalación como alternativa al PHN. CIRCE Centro de Investigación y Consumos Energéticos*", Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza, 2001.

[158] VERBIST, K. "*Pronósticos climáticos en la Región de Coquimbo usando técnicas de downscaling estadística*", 2000, CAZALAC, Chile.

[159] WARKERLY, D.; MENDENHALL, W. y SHEAFFER R. "*Estadística Matemática con aplicaciones.*" 2002, Editorial Thomson editores una división de Thomson Learning Inc. Edición sexta.

[160] WOLF, A., Criteria for equitable allocations: "*The heart of international water conflict*". Natural Resources Forum .1999, vol. 23, 30 pp.

[161] WORLD BANK. “*Water Resources Management*”, A World Bank Policy Paper. The World Bank, Washington D.C., 1993.

[162] WORLD BANK. “*World Development Indicators 2010.*”, The World Bank, Washington D.C. 2010

[163] YOUNG, K.D.; YOUNOS, T.; DYMOND, R.L.; KIBLER, D.F. y LEE D.H. “*Application of the Analytic Hierarchy Process for Selecting and Modeling Storm water Best Management Practices*” Universities Council on Water Resources Journal of Contemporary Water Research & Education. 2010, Issue 146, pp.50-63.

Sitios Web Consultados

[164] [www.boletinlegislativo.bcn.cl](http://www.boletinlegislativo.bcn.cl)

[165] [www.cazalac.cl](http://www.cazalac.cl)

[166] [www.ceaza.cl](http://www.ceaza.cl)

[167] [www.ciren.cl](http://www.ciren.cl)

[168] [www.conaf.cl](http://www.conaf.cl)

[169] [www.conama.cl](http://www.conama.cl)

[170] [www.cne.cl](http://www.cne.cl)

[171] [www.cnr.cl](http://www.cnr.cl)

[172] [www.directemar.cl](http://www.directemar.cl)

[173] [www.dga.cl](http://www.dga.cl)

[174] [www.doh.gov.cl](http://www.doh.gov.cl)

[175] [www.ine.cl](http://www.ine.cl)

[176] [www.inia.cl](http://www.inia.cl)

[177] [www.mop.cl](http://www.mop.cl)

[178] [www.odepa.cl](http://www.odepa.cl)

[179] [www.sag.cl](http://www.sag.cl)

[180] [www.sernageomin.cl](http://www.sernageomin.cl)

[181] [www.sernapesca.cl](http://www.sernapesca.cl)

[182] [www.siss.cl](http://www.siss.cl)



## **ANEJOS**

En éste bloque se presentan tres anejos según lo siguiente:

Anejo I (página 359) Contiene la encuesta preliminar entregadas a los expertos. La utilización de está encuesta sirvió para establecer los criterios de decisión, centros decisores, grupos afectados, objetivos y las alternativas, para la solución del problema de toma de decisión sobre la forma de extracción de agua en los acuíferos de la región de Coquimbo.

Anejo II (página 363) Contiene las preguntas de comparación de criterios, criterios con respecto a centros decisores, a grupos afectados, a los objetivos y a las alternativas.

Las preguntas fueron realizadas en atención a la técnica del Proceso Analítico Jerárquico (AHP), en los seis niveles considerados para los efectos de éste trabajo.

Anejo III (página 559) Contiene las valoraciones de las alternativas (Explotar acuíferos existentes o explorar y explotar nuevos acuíferos)

