

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ**  
**FACULTADES DE CIENCIAS QUÍMICAS,**  
**INGENIERÍA Y MEDICINA**  
PROGRAMA MULTIDISCIPLINARIO DE POSGRADO  
EN CIENCIAS AMBIENTALES

Y

**COLOGNE UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES**  
**INSTITUTE FOR TECHNOLOGY AND RESOURCES**  
**MANAGEMENT IN THE TROPICS AND SUBTROPICS**  
INTERNATIONAL POSTGRADUATE PROGRAM OF TECHNOLOGY AND  
RESOURCES MANAGEMENT IN THE TROPICS AND SUBTROPICS  
FOCUS AREA: ENVIRONMENT AND RESOURCES MANAGEMENT

**PLAN INTEGRADO PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DE**  
**AGUAS SUBTERRÁNEAS:**  
**EL CASO DE LA CUENCA DEL RÍO RAPEL,**  
**VI REGIÓN DE CHILE**

**TESIS PARA OBTENER EL DOBLE TÍTULO DE**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**  
GRADO OTORGADO POR LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ  
Y  
**MASTER OF SCIENCE**  
GRADO OTORGADO POR LA COLOGNE UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

**PRESENTADO POR:**  
**Mara Carina Hoffmeister**

**CO-DIRECTOR DE TESIS PMPCA**  
Dr. Antonio Cardona

**CO-DIRECTOR DE TESIS ITT**  
Prof. Lars Ribbe

**ASESOR**  
Prof. Eduardo Salgado

PROYECTO FINANCIADO POR:  
**DEUTSCHER AKADEMISCHER AUSTAUSCH DIENST (DAAD)**

PROYECTO REALIZADO EN:  
**COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE  
RANCAGUA, CHILE**

LA MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES RECIBE APOYO A TRAVÉS DEL  
**DEUTSCHER AKADEMISCHER AUSTAUSCH DIENST (DAAD)**  
**PROGRAMA NACIONAL DE POSGRADOS (PNP - CONACYT)**

## Declaración de tesis

Erklärung / *Declaración:*

Name / *Nombre:* **Mara Carina Hoffmeister**

Matri.-Nr. / *N° de matricula:* **11067397 (CUAS), 0169621 (UASLP)**

Ich versichere wahrheitsgemäß, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten und nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, sind als solche kenntlich gemacht.

*Aseguro que yo redacté la presente tesis de maestría independientemente y no usé referencias y medios auxiliares a parte que los indicados. Todas las partes, que están referidas a escritos o a textos publicados o no publicados, están realizadas en el reconocimiento como tales.*

Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch nicht als Prüfungsarbeit eingereicht worden.

*Hasta la fecha, un trabajo como éste, igual o similar no fué entregado como trabajo de prueba.*

San Luis Potosí, den /el \_\_\_\_\_

Unterschrift / *Firma:* \_\_\_\_\_

Ich erkläre mich mit einer späteren Veröffentlichung meiner Masterarbeit sowohl auszugsweise, als auch Gesamtwerk in der Institutsreihe oder zu Darstellungszwecken im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des Institutes einverstanden.

*Estoy de acuerdo con una publicación posterior de mi tesis de maestría en forma completa o parcial por instituciones o con la intención de exponerlos en el contexto del trabajo público del instituto.*

Unterschrift / *Firma:* \_\_\_\_\_

## Agradecimientos

Me gustaría expresar mi gratitud a todas las personas que me dieron la posibilidad de completar esta tesis. Quiero dar mi agradecimiento especial a la oficina de la CONAMA en Rancagua y su personal, igual que a la oficina del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO Montevideo, que me dieron espacio y apoyo para conducir esta tesis en el marco del programa de maestría “Ambiente y Manejo de Recursos”.

Agradezco honestamente a mis supervisores, Dr. Antonio Cardona y Prof. Lars Ribbe, y mi asesor Prof. Eduardo Salgado, por su apoyo y motivación en el desarrollo de la metodología y la redacción de esta tesis.

Me siento en deuda con todos que me dieron la oportunidad de entrevistarlos. Especial agradecimiento para Verónica González y Milissen Cantin de la CONAMA Rancagua, que apoyaron este trabajo con discusiones útiles y recomendaciones prácticas, quiénes me proveyeron información y contestaron a todas mis preguntas. Quiero dar mi apreciación honesta a Víctor Pochat, Sandra Martínez y Zelmira May de la UNESCO Montevideo, quiénes me apoyaron durante la investigación local en Uruguay.

Me gustaría agradecer al DAAD por el apoyo financiero durante mi estancia de investigación en Montevideo y Rancagua. Quiero dar mi gratitud a la Universidad Autónoma de San Luis Potosí en México, la Cologne University of Applied Science en Alemania, el DAAD de México y Alemania, y el CONACYT de México por haberme dado la gran oportunidad de realizar esta maestría y vivir muchos momentos muy interesantes y lindos en Mexico, Alemania, Uruguay y Chile.

Finalmente quiero decir "gracias" a todos mis amigos que me apoyaron y acompañaron durante toda la maestría. Quiero dar mi agradecimiento cariñoso a mis queridos padres, hermano y familia, que siempre me apoyan con todo lo que tienen.

## Resumen

Cerca del 70% del planeta está cubierto con agua, la sustancia más abundante de la tierra, pero solamente el 2,53% es agua dulce. 97% del agua dulce disponible es agua subterránea, cuya explotación ayudó a varios países latinoamericanos en su desarrollo económico y social. Deficiencias en la gestión del recurso llevaron a cabo por ejemplo en la cuenca Rapel, central Chile (VI Región), una sobre explotación del recurso hídrico con creciente impacto a las aguas subterráneas. Para evitar un agotamiento a largo plazo se requiere una gestión sostenible del recurso. Para eso la Comisión Nacional del Medio Ambiente en cooperación con la Sociedad Alemana de Corporación Técnica (Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit) elaboró un proyecto sobre la implementación de una política nacional de aguas sobre la gestión integrada del recurso hídrico en cuencas hidrográficas, que se experimentan en tres cuencas pilotos en Chile, una de ellas la cuenca Rapel. El presente estudio forma parte de este proyecto, analizando el manejo de las aguas subterráneas en la cuenca, definiendo sus deficiencias y proponiendo posibles soluciones a largo plazo hacia una gestión sostenible del recurso. A parte se realizó una comparación de los marcos regulatorios entre Chile y Uruguay, con soluciones nacionales y recomendaciones generales para lograr una gestión integrada del recurso hídrico subterráneo.

**Palabras claves:** *Recurso hídrico, agua subterránea, sustentabilidad, plan de gestión.*

## Abstract

70% of the planet is covered with water, the most abundant substance of the world, but only 2,53% is fresh water. 97% of the available fresh water is a groundwater. Its exploitation helps several Latin-American countries to economical and social development. Shortcomings in the management of the resource contributes to the over exploitation of the water resource with higher impact on the groundwater, like for example in the watershed Rapel, central Chile (VI Region). Therefore, a sustainable management of the resource is needed to avoid a long-term depletion. For that, the National Commission of the Environment (Comisión Nacional del Medio Ambiente) in cooperation with the German Organization of Technical Corporation (Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit) are developing a project on the implementation of a national water policy in the framework of the integrated management of the resource in hydrographic watersheds; which is been tested in three pilot watersheds in Chile, one of them the Rapel watershed. The present study is part of this project; it analyzes the management of the groundwater in the watershed, identifies its deficiencies and proposes possible long-term solutions towards a sustainable management of the resource. Moreover, it includes a comparison of the regulative frames between Chile and Uruguay, proposing national solutions and general recommendations to achieve an integrated management of the groundwater resource.

**Key words:** *Water resource, groundwater, sustainability, management plan.*

## Zusammenfassung

70% des Planeten sind mit Wasser bedeckt, die reichhaltigste Substanz der Welt, aber nur 2,53% davon ist Süßwasser. 97% des verfügbaren Süßwassers ist Grundwasser, dessen Ausbeutung mehreren lateinamerikanischen Ländern zur wirtschaftlichen und sozialen Entwicklung verhilft. Mängel im Management der Ressource führen, zum Beispiel in dem Wassereinzugsgebiet Rapel, Zentral-Chile (VI Region), zur Übernutzung der Wasserressource, mit zunehmenden Einfluss des Grundwassers. Um eine langfristige Erschöpfung zu vermeiden, ist ein nachhaltiges Management der Ressource erforderlich. Dafür erarbeitete die Nationale Umweltbehörde (Comisión Nacional del Medio Ambiente) in Kooperation mit der Deutschen Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit ein Projekt zur Durchführung einer nationalen Wasserpolitik im Rahmen eines integrierten Wassermanagements in hydrografischen Einzugsgebieten. Diese wird in drei Pilot-Wassereinzugsgebieten in Chile, u.a. Rapel, erprobt. Die vorliegende Studie ist ein Teil dieses Projektes und analysiert das Management des Grundwassers im Einzugsgebiet, definiert die Mängel und schlägt mögliche, langfristige Lösungen für ein nachhaltiges Management der Ressource vor. Desweiteren wurde ein Vergleich des regulierenden Rahmens zwischen Chile und Uruguay durchgeführt, um nationale Lösungen und allgemeine Empfehlungen für ein integriertes Management der Grundwasserressource vorzuschlagen.

**Schlüsselwörter:** *Wasserressource, Grundwasser, Nachhaltigkeit, Managementplan.*

## Índice

Índice .....	1
Índice de Figuras.....	3
Índice de Cuadros .....	4
Abreviaturas .....	5
1. INTRODUCCIÓN .....	6
2. PROPUESTA DE TESIS.....	7
2.1. Justificación .....	7
2.2. Objetivos.....	9
3. MARCO TEÓRICO .....	10
3.1. Conceptos utilizados.....	10
3.1.1. Gestión Integrada de los Recursos Hídricos .....	10
3.1.2. Gestión Integrada de Aguas Subterráneas.....	13
3.2. Gestión actual del recurso hídrico en Chile.....	15
3.2.1. Instituciones .....	16
3.2.2. Política .....	19
3.2.3. Legislación .....	21
3.3. Gestión actual del agua subterránea en Chile.....	23
4. ÁREA DE ESTUDIO.....	25
4.1. Datos generales .....	25
4.2. Uso de suelo .....	26
4.3. Datos hidro(geo)lógicos.....	28
4.3.1. Agua subterránea .....	28
4.3.2. Uso de agua .....	31
4.3.3. Vulnerabilidad del recurso hídrico subterráneo .....	33
5. METODOLOGÍA.....	37
5.1. Método de análisis de la Gestión Integrada de Aguas Subterráneas.....	37



5.2. Método de análisis para definir propuestas para una gestión sostenible de aguas subterráneas en la cuenca Rapel, Chile .....	39
5.3. Método de obtención de información y de comparación de la gestión de aguas (subterráneas) entre Chile y Uruguay .....	39
6. RESULTADOS.....	41
6.1. Desafíos de una Gestión Integrada de Aguas Subterráneas .....	41
6.1.1. El agua superficial y subterránea .....	41
6.1.2. La gestión.....	43
6.1.3. Integración al concepto de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos .....	45
6.2. Propuestas para una gestión sostenible de las aguas subterráneas en la cuenca Rapel, Chile	47
6.2.1. Problemática en la gestión .....	47
6.2.2. Propuestas.....	61
6.3. Comparación de la gestión de aguas (subterráneas) entre Uruguay y Chile .....	66
6.3.1. República Oriental del Uruguay .....	66
6.3.2. Comparación .....	71
7. DISCUSIÓN .....	75
7.1. Análisis de los desafíos en la implementación de la Gestión Integrada del Agua Subterránea	75
7.2. Desafíos en la implementación de las propuestas para una gestión sostenible de las aguas subterráneas en la cuenca Rapel, Chile.....	76
7.3. Análisis de la comparación de la gestión de aguas (subterráneas) entre Uruguay y Chile.....	78
8. CONCLUSIÓN .....	81
9. REFERENCIAS .....	82
10. ANEXO.....	89
10.1. Mapa de acuíferos en la cuenca Rapel, Chile [DGA 2005] .....	89
10.2. Cuestionario de entrevistas.....	90
10.3. Entrevistas realizadas .....	95

## Índice de Figuras

Figura 1: Componentes de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos [Davis 2007].....	12
Figura 2: Instituciones relevantes en la Gestión del Agua [Davis 2007] .....	12
Figura 3: Estrategia de planificación de la gestión del agua subterránea [modificado de Garduño et al. 2006].....	14
Figura 4: Instituciones relacionadas a la gestión del agua en Chile hasta 2009 [Nauditt et al. 2002, Gentes 2001, Malz & Scheele 2005, CONAMA 2009b, DGA 2009, MOP 2009] .....	16
Figura 5: Mapa de la Cuenca Rapel, VI Región Chile [CONAMA 2010b] .....	26
Figura 6: Cuenca del río Rapel en la VI Región de Chile con sus acuíferos [DGA 2005].....	29
Figura 7: Usos del agua subterránea en la cuenca Rapel, VI Región Chile [DGA 2009b] .....	33
Figura 8: Mapa de vulnerabilidad de la Cuenca Rapel, Chile [CONAMA 2003].....	35
Figura 9: Interacciones entre las aguas superficiales y subterráneas [Search.com 2010] .....	42
Figura 10: Características del agua subterránea [Dripps 2005] .....	42
Figura 11: Fronteras de cuencas hidrográficas superficiales y subterráneas [Dripps 2005].....	44
Figura 12: Gestión de las aguas subterráneas, integrada al concepto general de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos [modificado de Davis 2007].....	45
Figura 13: Sectores analizados en la gestión del recurso hídrico subterráneo.....	47
Figura 14: Mapa de los estados de los acuíferos de la cuenca Rapel, Chile [DGA 2009b].....	49
Figura 15: Mapa de los pozos de monitoreo de la Dirección Nacional de Aguas en la cuenca Rapel, Chile (línea negra central) [Molina 2010].....	54
Figura 16: Distribución superficial de las placas litosféricas [IES Cascales 2010].....	60
Figura 17: Epicentro del terremoto Chileno en Febrero 2010 [U.S. Geological Survey 2010].....	61
Figura 18: Ubicación geográfica de países analizados .....	67
Figura 19: Ocurrencia de agua subterránea en Uruguay y la distribución de pozos [RENARE 2004] .....	70

## Índice de Cuadros

Cuadro 1: Definiciones del concepto de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos [modificado de Davis 2007] .....	11
Cuadro 2: Funciones relacionadas a la gestión del agua y las instituciones operadoras en Chile [DGA 1999].....	17
Cuadro 3: Subcuencas superficiales y sus acuíferos en la cuenca Rapel, VI Región Chile [DGA 2009b].....	30
Cuadro 4: Lista de entrevistados, instituciones y personas relevantes en la gestión del agua subterránea en la VI Región de Chile, con sus intereses, relaciones con el problema, capacidades y motivaciones .....	38
Cuadro 5: Lista de entrevistados, instituciones y personas relevantes en la gestión del agua subterránea en Uruguay, con sus intereses, relaciones con el problema, capacidades y motivaciones ...	40
Cuadro 6: Disponibilidad hídrica de los acuíferos en la cuenca Rapel [DGA 2009b, DGA 2006] .....	48
Cuadro 7: El estado de los acuíferos de la cuenca Rapel, Chile [DGA 2009b].....	50
Cuadro 8: Comparación de los instrumentos críticos de la gestión de aguas subterráneas entre Uruguay y Chile.....	73
Cuadro 9: Coincidencias y diferencias en los instrumentos de la gestión de aguas subterráneas en Uruguay y Chile.....	79

## Abreviaturas

APR	Comité del Agua Potable Rural (Chile)
CNE	Comisión Nacional de Energía (Chile)
CNR	Comisión Nacional de Riego (Chile)
CONAF	Corporación Nacional Forestal (Chile)
CONAMA	Comisión Nacional del Medio Ambiente (Chile)
DGA	Dirección General de Aguas (Chile)
DIN	Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemán de Estandarización)
DINAMA	Dirección Nacional del Medio Ambiente (Uruguay)
DINAMIGE	Dirección Nacional de Minería y Geología (Uruguay)
DINASA	Dirección Nacional de Aguas y Saneamiento (Uruguay)
DIRECTEMAR	Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante (Chile)
DOH	Dirección de Obras Hidráulicas (Chile)
GIAS	Gestión Integrada de Aguas Subterráneas
GIRH	Gestión Integrada de Recursos Hídricos
GTZ	Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (Sociedad de Cooperación Técnica) (Alemania)
GWP	Global Water Partnership
IMFIA	Instituto de Mecánica de los Fluídos e Ingeniería Ambiental (Uruguay)
INE	Instituto Nacional de Estadísticas de Chile
MOP	Ministerio de Obras Públicas (Chile)
MVOTMA	Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (Uruguay)
OSE	Obras Sanitarias del Estado (Uruguay)
PGC	Plan de Gestión de Cuenca
PNB	Producto Nacional Bruto
RENARE	Dirección General de Recursos Naturales Renovables (Uruguay)
SAG	Servicio Agrícola y Ganadero (Chile)
SISS	Superintendencia de Servicios Sanitarios (Chile)
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde un punto de vista internacional, el modelo chileno de manejo del agua representa una respuesta a la crisis global del agua. Esta crisis está basada en la combinación de varias tendencias internacionales en el uso y la gestión de este recurso, las cuales se fundamentan en el aumento ilimitado de la necesidad de agua para el crecimiento en cuestiones, tanto sociales y económicas, como ambientales, siendo acelerado a causa del crecimiento económico [Rosegrant et al. 2002, Bauer 2004].

El incremento de la cantidad de agua necesaria para satisfacer las necesidades de la población, ha provocado problemas en el abastecimiento y una competencia entre los diversos usos del agua, lo que ha elevado su valor económico. Esto ha intensificado los niveles de competencia y el conflicto entre diversos usuarios, magnificando los impactos sobre el medio ambiente derivados del uso del agua. Los problemas de abastecimiento de agua no son solamente relativos a la cantidad, sino también incluye a la calidad del agua. Una insuficiente calidad del agua generalmente se transforma en un problema social. Los dos aspectos del manejo de agua siempre se correlacionan físicamente [Bauer 2004, Foster & Garduño 2009].

Para lograr un manejo y desarrollo sostenible del agua subterránea junto con la vegetación y el suelo, es necesario establecer proyectos científicos en una región limitada para conseguir información y desarrollar un plan de gestión adecuado sostenible de los recursos y su uso [Foster & Garduño 2009].

## 2. PROPUESTA DE TESIS

En este capítulo se presenta el trabajo de tesis en la cuenca Rapel, VI Región Chile, y sus objetivos.

### 2.1. *Justificación*

La cuenca Rapel se eligió como cuenca piloto representativa para Chile central, en el proyecto de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) junto con la Sociedad de Corporación Técnica de Alemania (Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit-GTZ), sobre la implementación de la Estrategia Nacional de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas (desde 2008). Las cuencas pilotos seleccionadas para el norte y sur son Copiapó y Baker respectivamente [CONAF et al. 2009].

El agua subterránea tiene una gran importancia en la cuenca por su utilización en el abastecimiento de agua a la población, en el riego y en la agroindustria. El 62% del agua abastecida a la población a nivel urbano es captada por medio de pozos, mientras que a nivel rural alcanza casi 100% [Jara 2010].

La inadecuada gestión del recurso hídrico subterráneo proyectó en mediano plazo problemas en su cantidad y calidad. Un problema es que la información sobre las aguas subterráneas de la cuenca es limitada porque los estudios disponibles no establecen de manera integral el funcionamiento de los sistemas de flujo, o porque las observaciones realizadas por medio de pozos de monitoreo no son frecuentes (tiempo y espacio). Por esa razón no existe una suficiente cantidad de datos confiables que puedan ser analizados estadísticamente. El registro histórico de la calidad y cantidad es incompleto, lo cual no permite una adecuada toma de decisiones para su intervención [CONAMA 2009a].

Otra problemática identificada en la cuenca se relaciona con la contaminación del agua subterránea como consecuencia de la contaminación puntual y difusa generada a partir de diversas fuentes (retornos agrícolas, infiltración de aguas residuales sin tratamiento, etc.). Eso ha generado problemas en la población limitando además el uso de agua cuando las concentraciones de los contaminantes rebasan los límites permisibles. Por lo tanto, es

importante determinar los procesos de contaminación del agua subterránea de la cuenca y la ubicación de sus fuentes para poder mitigarlos. Con la finalidad de proteger la calidad del agua, se ha demostrado históricamente que es más efectivo prevenir la contaminación del agua subterránea que tratar su remediación. Lamentablemente hasta ahora no hay control ni información sobre esos contaminantes y su concentración [Muñoz 2004].

Por estas razones la CONAMA de la VI Región tiene el propósito de realizar una red de monitoreo de la calidad del agua subterránea en la cuenca Rapel para determinar su calidad en escala temporal territorial, y generar información de valor para mejorar y optimizar la toma de decisiones en un programa de gestión concensuado con los usuarios [CONAMA 2009a].

Luego de la evaluación del agua subterránea en la cuenca es imprescindible definir una metodología para un plan integrado de gestión que permita lograr un uso sostenible a largo plazo. Una parte de dicho plan se plantea en esta tesis, analizando a nivel institucional, legal y político su gestión actual, determinando sus deficiencias y proponiendo soluciones hacia una gestión sostenible [GWP 2008].

Una comparación con otro país latinoamericano puede ayudar en concluir recomendaciones generales e internacionales para optimizar la gestión de las aguas subterráneas. Para eso se eligió la República Oriental del Uruguay. Los dos países son ejemplos del gran desarrollo económico y social relacionado al uso del agua subterránea que produjo una expansión urbana e incremento de áreas para cultivos bajo riego [Bauer 2004, DINASA 2010].

Uruguay y Chile son privilegiados debido a la cantidad de agua que tienen en su territorio, aunque en Chile una gran parte del agua no se encuentra a la mano por estar congelados en forma de glaciares. El mayor consumo de agua en ambos países se encuentra en el sector agrícola para riego y las tendencias muestran cada vez mayores extracciones de agua subterránea. Aunque ambos países pertenecen al mismo continente, presentan diferentes sistemas en la gestión del agua pero con deficiencias similares lo cual hace interesante su comparación [CONAMA 2009k, DINASA 2010].

## **2.2. Objetivos**

El objetivo general de esta tesis de maestría es proponer parte de un plan integrado sobre una gestión sostenible de los recursos hídricos, desarrollado por la CONAMA en la VI Región Chile, con énfasis en las aguas del subsuelo en la cuenca del río Rapel.

### **Obejtivos específicos:**

1. Integrar el concepto de la gestión de aguas subterráneas en el contexto de una gestión integrada del recurso hídrico.
2. Desarrollar parte de un plan integrado destinado a una gestión sostenible de aguas subterráneas que forme parte de un plan superior de la cuenca Rapel.
3. Comparar la gestión de las aguas (subterráneas) en sus aspectos legales, políticos e institucionales entre Chile y Uruguay.

El estudio se realizó en el marco de los conceptos de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos y en específico, de las Aguas Subterránea, los cuales se presentan a continuación. También se presenta información sobre la gestión del agua (subterránea) en Chile.



### **3. MARCO TEÓRICO**

Para esta tesis se usaron dos conceptos metodológicos, la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) y la Gestión Integrada de Aguas Subterráneas (GIAS). El estudio se realiza en el marco de la gestión del recurso hídrico (subterráneo) en Chile, que también se presenta a continuación.

#### **3.1. Conceptos utilizados**

Se presentan los conceptos de la GIRH y la GIAS. Se usó básicamente el concepto de la información disponible del Global Water Partnership (GWP).

##### **3.1.1. Gestión Integrada de los Recursos Hídricos**

Un planteamiento de la gestión integrada de los recursos de agua puede ser la GIRH. Hasta ahora no existe una definición, ni una aceptación universal (Cuadro 1). La GIRH se puede describir como un proceso desarrollado por los actores para promover actividades coordinadas en la búsqueda de objetivos comunes en un universo objetivos múltiples para un desarrollo y una gestión del agua basada en sistemas de recursos hídricos sostenibles. Los sistemas sostenibles de los recursos hídricos apoyan objetivos sociales en el futuro indefinido sin menguar la integridad hidrológica y ecológica. La GIRH, cuando es presentada en foros internacionales, está fuertemente relacionada con los conceptos inasociados con el desarrollo sostenible [Davis 2007].

**Cuadro 2: Definiciones del concepto de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos [modificado de Davis 2007]**

<b>Organización</b>	<b>Definiciones y conceptos de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos</b>
Banco Mundial, 2003	La perspectiva que asegura que las dimensiones sociales, económicas, ambientales y técnicas son consideradas en el manejo y desarrollo de los recursos hídricos.
Unión Mundial de Conservación (World Conservation Union), 2003	No existe una definición acordada universalmente. Una manera - la gestión integrada de todos los recursos hídricos (es decir, agua superficial, agua subterránea, aguas marítimas, etc.). Segunda manera - integración del agua con la gestión de otros recursos naturales (como suelo y vegetación nativa y hasta vinculada con cuestiones de gestión relacionadas, como especies invasoras exóticas). La Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza (UICN) afirma que sólo a través de la integración de la conservación en el concepto de una Gestión Integrada de los Recursos Hídricos puede asegurarse el mantenimiento continuo de la amplia gama de servicios proporcionada por los ecosistemas y sustentos que dependen de ellos.
Sociedad Mundial de Agua (Global Water Partnership), 2000	Un proceso que promueve el desarrollo y la gestión coordinados del agua, la tierra y los recursos relacionados para maximizar el bienestar social y económico resultante, de una manera equitativa, sin comprometer la sustentabilidad de ecosistemas vitales.
Agencia de Protección del Medio Ambiente Estadounidense (U.S. Environmental Protection Agency), 2005	Un enfoque en las cuencas es un marco flexible para el manejo de la calidad y cantidad de los recursos hídricos dentro de los áreas de drenaje especificadas, incluyendo la participación de los grupos de interés y las acciones de manejo respaldadas por una ciencia sólida y tecnología apropiada.
Cuerpo de Ingenieros Estadounidenses (U.S. Corps of Engineers), 2004	La coordinación de actividades en búsqueda de un grupo de objetivos comunes para el desarrollo y el mantenimiento de los recursos hídricos.

Para los organismos internacionales de asistencia, la defensa renovada de la GIRH está basada en los siguientes principios de Dublín de 1992 [Solanes & Gonzáles-Villarreal 1999]:

- a) El agua dulce es un recurso vulnerable y finito, esencial para sostener vida, desarrollo y medio ambiente;
- b) El desarrollo y la gestión de los recursos hídricos deberían estar basadas en el enfoque de participación que implica a usuarios, planificadores y políticos en todos los niveles;
- c) Las mujeres juegan un papel central en la provisión, gestión y ahorro del agua; y
- d) El agua tiene un valor económico en todos sus usos competitivos y debería ser reconocido como tal.

La GIRH es un proceso integrado compuesto por objetivos, instituciones, su realización, y adaptación (Figura 1).

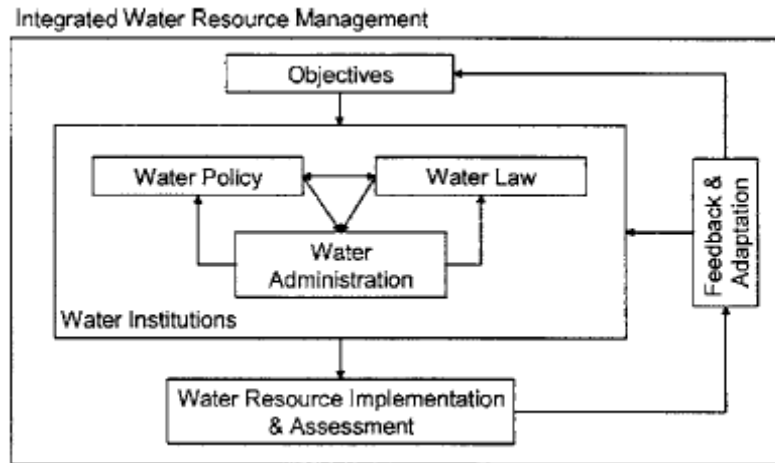


Figura 1: Componentes de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos [Davis 2007]

Los objetivos dirigidos a las instituciones relacionadas con el agua son de tipo político, legislativo y administrativo (Figura 2) y son las encargadas de poner en práctica la implementación del manejo de agua [Davis 2007].

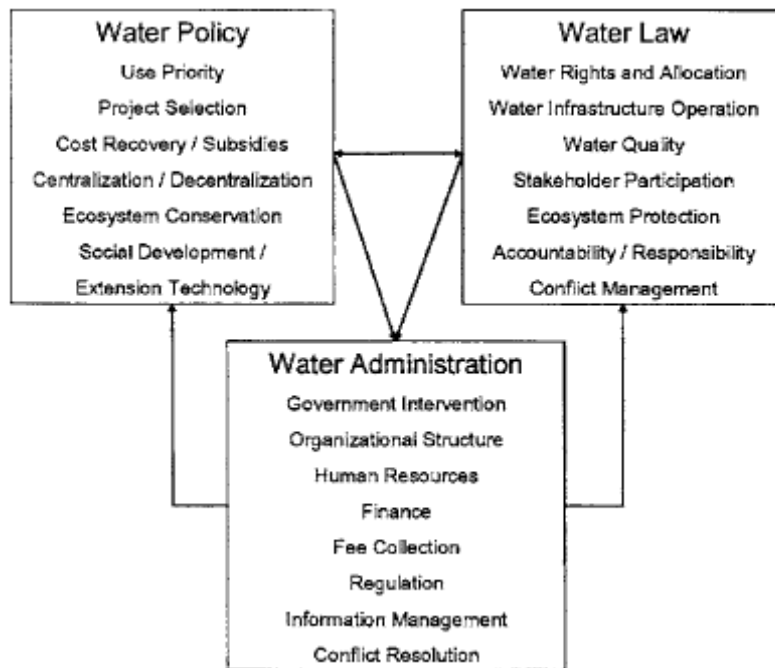


Figura 2: Instituciones relevantes en la gestión del agua [Davis 2007]

Muchas veces los objetivos estratégicos son más amplios que los objetivos particulares como por ejemplo las doce metas del milenio que fueron identificadas como una llave para el desarrollo sostenible. Con la evaluación del agua se puede llevar a cabo la realización de acciones sobre los recursos, y el diagnóstico institucional puede establecer un proceso de

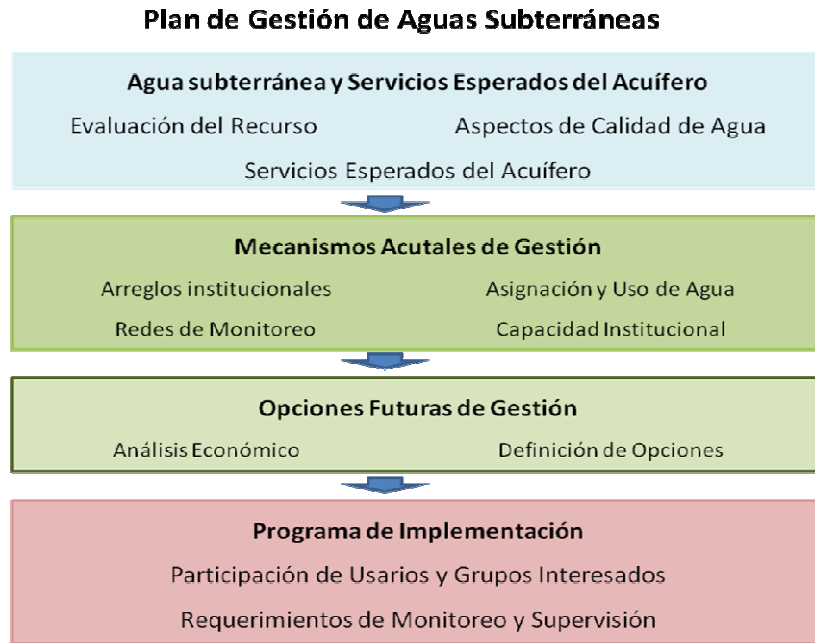
gestión adaptable (Figura 1). En su representación más simple, esto implica cuatro pasos: 1) la identificación del inventario del recurso y del problema; 2) la planificación; 3) la realización (acciones); y 4) la evaluación y adaptación del concepto. Entonces una gestión adaptable implica evaluar la eficacia de la implementación de los objetivos, realizar un análisis de las deficiencias, entender el conocimiento científico y técnico profundizado y su desarrollo, establecer una reacción y finalmente modificar las instituciones relacionadas con el agua o los objetivos, para mejorar la realización de los objetivos [Guerquin et al. 2003, Davis 2007].

La GIRH se entiende como un proceso de cambio que busca mejorar los sistemas de gestión y del desarrollo hídrico desde sus formas actuales. Una gestión integrada pone su enfoque principalmente en la respuesta y no solamente, en un manejo desde arriba hacia abajo. Esto implica tomar en cuenta a las partes interesadas y su demanda, a la gestión de la misma, a formas operativas más cooperativas o distributivas y a organizaciones más abiertas, transparentes y comunicativas, que no sean manejadas solamente por expertos. Esto representa el gran desafío de la GIRH que aspira cambiar la naturaleza del manejo del agua, que no tiene ningún comienzo fijo y probablemente nunca se fijará un final [GWP 2008].

### **3.1.2. Gestión Integrada de Aguas Subterráneas**

La GIAS es una parte de la GIRH por lo que es importante reconocer la íntima relación entre las aguas superficiales y subterráneas, que forman parte del mismo ciclo hidrológico (vea 6.1.1.) [Gobierno de Chile 2004, GWP 2008].

Según Garduño et al. (2006) un plan de gestión de aguas subterráneas se presenta en cuatro pasos: i) estudios sobre el agua subterránea y capacidad esperada del acuífero, ii) mecanismos actuales de gestión, iii) opciones futuras y iv) programa de implementación (Figura 3).



**Figura 3: Estrategia de planificación de la gestión del agua subterránea [modificado de Garduño et al. 2006]**

Un primer paso hacia una gestión sostenible integrada del agua subterránea presenta un proyecto básico sobre su calidad de la CONAMA en la cuenca Rapel en la Región de O'Higgins con una duración de dos años. Este proyecto se denomina "Diagnóstico y Plan de Gestión sobre Aguas Subterránea de la Cuenca Hidrográfica Rapel" y tiene por objetivo establecer gradualmente una gestión integrada de agua en la misma cuenca y lograr la conservación del agua y la sustentabilidad de su explotación [CONAMA 2009a].

La tesis que se presenta se enfoca en un segundo paso que consiste en el análisis de los mecanismos actuales de gestión, para poder planear los siguientes pasos, a desarrollar y crear un plan que implique futuras acciones para lograr un desarrollo sustentable de los recursos. Ello significa que se llevó a cabo un análisis de la organización institucional existente, la asignación y uso del agua, las redes de monitoreo y la capacidad institucional.

### **Organización Institucional**

Un análisis del marco de referencia de las instituciones y de la legislación implica una evaluación del marco legal, los acuerdos consuetudinarios y el sistema de permisos de agua, como asimismo, una evaluación de las responsabilidades de todos los organismos involucrados. Además es necesario identificar los criterios y las prioridades para asignar un derecho o permiso de agua, y un diseño de la política de cargos o reglamentos por el uso de agua y la forma de asegurar su cumplimiento [Garduño et al. 2006].

### **Asignación y Uso del Agua**

Para una evaluación de las asignaciones y el uso del agua es importante hacer un resumen de la situación actual mediante gráficas sectoriales y considerar los antecedentes del uso del agua. Asimismo es necesario establecer un inventario de pozos de agua y de los perfiles de los usuarios [Garduño et al. 2006].

### **Redes de Monitoreo**

El análisis de las redes de monitoreo implica una evaluación del sistema de medición y la estimación de extracciones, como asimismo las descargas de aguas residuales que afectan al agua subterránea y establecer acuerdos y/o programas para un monitoreo de calidad y cantidad (nivel) del agua subterránea [Garduño et al. 2006].

### **Capacidad Institucional**

Para el análisis de la capacidad institucional es importante evaluar la capacidad para hacer cumplir la legislación ambiental y de uso del suelo, y analizar el alcance de la participación de usuarios y otros grupos interesados [Garduño et al. 2006].

En la tesis se dividen estos cuatro aspectos en los sectores del marco legal, político, institucional y el uso del recurso.

## ***3.2. Gestión actual del recurso hídrico en Chile***

Chile por ser un país en desarrollo ha generado una elevada demanda del agua superficial y subterránea con la que cuenta. A pesar de que es un país privilegiado a nivel global en su disponibilidad, está generando una presión importante sobre las diferentes fuentes disponibles (acuíferos, ríos, lagos entre otros). Esta situación se agrava con la pérdida de agua aprovechable por deficiencia de calidad causada por un aumento de la contaminación y por la incertidumbre en su disponibilidad en el futuro debido al cambio climático que muestran precipitaciones reducidas sobre todo en la parte norte del país. A continuación se presenta el marco de la gestión hídrica que se forma por las instituciones relevantes, la política y legislación [Nauditt et al. 2002, DGA 1999, Madaleno & Gurovich 2007].

### 3.2.1. Instituciones

Entre las principales instituciones en la gestión del recurso hídrico se encuentran la Dirección General de Agua (DGA) que es la institución responsable de la administración hídrica en Chile, fue creada por la Ley de la Reforma Agraria en 1967 y depende del Ministerio de Obras Públicas (MOP). La DGA participa en cercana cooperación en cuestiones ambientales con la CONAMA, que fue creada por la Ley de las Bases Ambientales en 1994, después de la conferencia de las Naciones Unidas en Río 1992. El desarrollo de obras hidráulicas es realizado por la Comisión Nacional de Riego (CNR) y la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH). La calidad del agua también esta controlada por Servicios Públicos. La Figura 4 muestra las instituciones nacionales relacionadas con la gestión de agua en Chile y sus funciones (Figura 4, Cuadro 2) [Nauditt et al. 2002, Gentes 2001, Malz & Scheele 2005, CONAMA 2009b, DGA 2009, MOP 2009, CNR 2010].

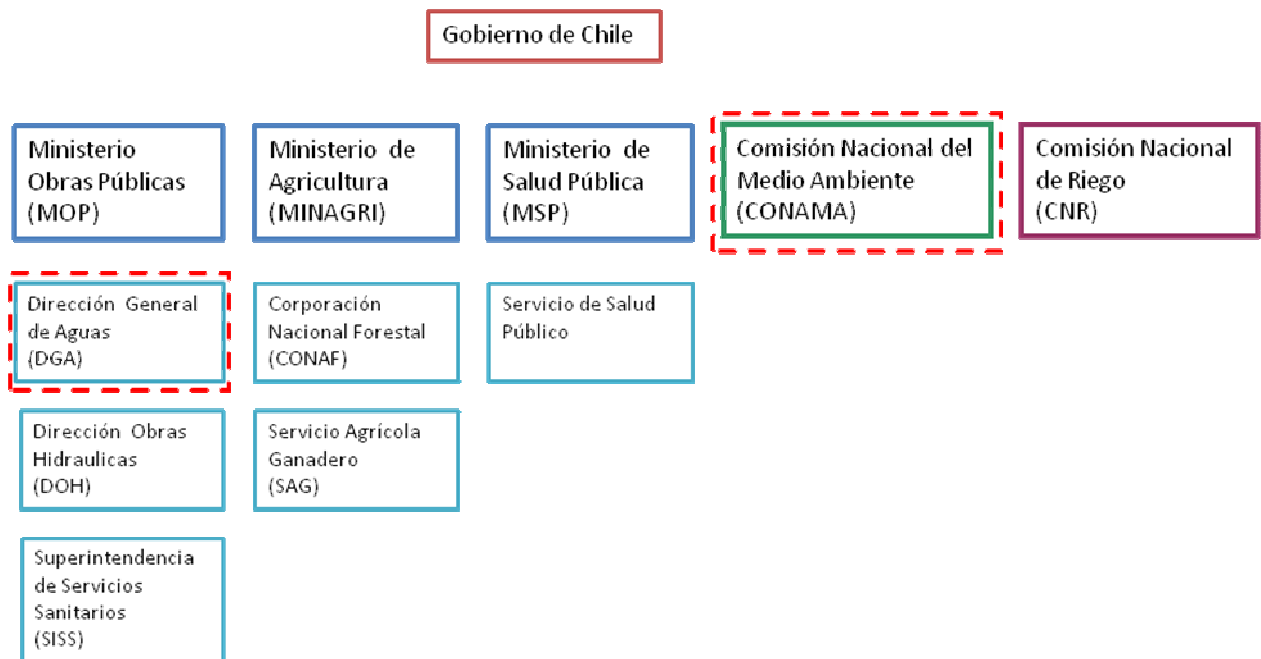


Figura 4: Instituciones relacionadas a la gestión del agua en Chile hasta 2009 [Nauditt et al. 2002, Gentes 2001, Malz & Scheele 2005, CONAMA 2009b, DGA 2009, MOP 2009]

**Cuadro 2: Funciones relacionadas a la gestión del agua y las instituciones operadoras en Chile [DGA 1999]**

<b>Funciones</b>	<b>Entidades</b>
1. Regulación del recurso hídrico	1. Dirección Nacional de Aguas (DGA)
2. Protección y conservación ambiental	2. Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), DGA, Dirección General del Terrotorio Marítimo y Marina Mercante (DIRECTEMAR)
3. Regulación de los servicios prestados	3. Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), Comisión Nacional de Energía (CNE)
4. Las labores de desarrollo y fomento	4. Comisión Nacional de Riego (CNR), Dirección de Obras Hidráulicas (DOH)
5. Las labores de apoyo a los sectores más pobres	5. Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), Municipalidades, Fondo de Solidaridad implementado a través del Ministerio de Planificación y Cooperación
6. Fiscalización y control de la calidad del recurso en sus fuentes naturales	6. DGA
7. Fiscalización y control de la calidad de las aguas para fines específicos	7. Servicio Agrícola Ganadero (SAG), Servicio de Salud, Servicio Nacional de Pesca, Subsecretaría de Pesca
8. Fiscalización y control de efluentes	8. SISS, Servicio de Salud
9. Elaboración de Normas Primarias y Secundarias de calidad ambiental y Normas de Regulación de Emisiones a cuerpos de agua	9. CONAMA, Servicio de Salud, DGA, SAG, DIRECTEMAR

Las instituciones responsables de la regulación, fiscalización y el control sobre la cantidad y calidad del recurso hídrico son las DGA regionales, mientras que para los criterios ambientales y sobre todo en la calidad del recurso las CONAMA regionales están a cargo [CONAMA 2009b, DGA 2009].

La CNR es una persona jurídica de derecho público (desde 1975) y está organizada en un Consejo de Ministros integrado por los titulares de Agricultura, Economía, Fomento y Reconstrucción, Hacienda, Obras Públicas y Planificación y Cooperación, por lo cual no se encuentra bajo un ministerio específico. La CNR tiene el objeto de asegurar el incremento y mejoramiento de la superficie regada del país [CNR 2010].

La CONAMA es un servicio público con personalidad jurídica y patrimonios propios, y cuenta con representantes de diferentes ministerios, por lo cual no está bajo de uno específico. Está organizada por un Consejo Directivo que está representado por los Ministros de Economía, Fomento y Reconstrucción, Obras Públicas, Transportes y Telecomunicaciones, Agricultura, Vivienda y Urbanismo, Bienes Nacionales, Salud, Minería, Planificación y Cooperación Educación, Defensa, Relaciones Exteriores y Secretaría General de la



Presidencia. A parte cuenta con un Consejo Consultivo, el órgano de consulta y apoyo de un Consejo Directivo, y un Director Ejecutivo [CONAMA 2009b].

En el marco de la implementación de la Estrategia Nacional de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas (vea política) se creó en el 2009 un Ministerio del Medio Ambiente, un Servicio de Evaluación Ambiental y una Superintendencia de Investigación Ambiental [CONAMA 2009c].

El Ministerio del Medio Ambiente tiene poder en las políticas ambientales, cuestiones normativas y en la conservación de la biodiversidad y los recursos naturales renovables. La CONAMA pertenece hoy en día a este ministerio [CONAMA 2009c, CONAMA 2009b].

El Servicio de Evaluación Ambiental será responsable de la administración del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) que se aplica a nivel de proyecto [CONAMA 2009c].

El objetivo de la Superintendencia es investigar el logro de los cuatro instrumentos de la gestión ambiental, es decir, la resolución de la clasificación ambiental, planes de prevención y/o control de la contaminación, normas ambientales y planes de gestión [CONAMA 2009c].

Para garantizar la transmisión de los temas ambientales a la ejecución interior, se creó un Consejo de Ministerios de Sostenibilidad para la discusión política sobre cuestiones ambientales y resoluciones de las regulaciones ambientales [CONAMA 2009c].

El uso de agua superficial con fines de riego está controlado por las Juntas de Vigilancia regionales, que administran y distribuyen las aguas. En la cuenca Rapel existen 7 de estas organizaciones. Relacionados con las Juntas de Vigilancia están las Asociaciones de Canalistas y Comunidades de Aguas, los cuales para Rapel son 90. No obstante existen 5 Asociaciones de Canalistas y 142 Comunidades de Agua no asociados a Juntas de Vigilancia, pertenecientes a la Cuenca Rapel, esencialmente asociadas a captaciones de quebradas activas en primavera [CONAMA 2009k, Hilliard 2010].

Además existen en el área de estudio, la cuenca Rapel, Mesas de Agua, las cuales fueron conformadas para la subcuenca Cachapoal y Tinguiririca, y están coordinadas por las CONAMA regionales. Estas están representadas por empresas públicas y privadas con el

objetivo de mejorar la gestión sobre la calidad del agua. En la subcuenca Cachapoal existe el “Consejo Directivo de Cachapoal” que nació en el año 2001 como resultado de un proyecto de “Diagnóstico de Calidad del Agua del Río Cachapoal”, desarrollado durante los años 2000 a 2002. Mientras que en la subcuenca Tinguiririca existe la mesa “Aguas limpias para Colchagua” la cual se constituyó el año 2005 también a partir de un proyecto el cual se desarrolló durante los años 2004 a 2006 y se denominó “Diagnóstico y Plan de Gestión para la Calidad del Agua del río Tinguiririca y Estero Zamorano” [CONAMA 2009k].

El abastecimiento público para agua potable en la VI Región lo realiza la empresa concesionada para este objetivo, la cual es actualmente la empresa público-privada Essbio en las zonas urbanas. Para el agua potable en las áreas rurales están a cargo los Cooperativos del Agua Potable Rural (APR), los cuales cuentan con el apoyo técnico de la empresa sanitaria Essbio. Cada comuna posee con una asesoría del APR y en la región existen 213. Essbio y los APR garantizan la calidad del agua que se distribuye a la población, por lo cual se realiza cada 15 días un análisis bacteriológico del agua en cada pozo y una vez por año un análisis físico-químico. El Servicio de Salud supervisa su trabajo por medio de muestreos y análisis para determinar la calidad del agua [Alvarez 2010, Cantin 2010].

En el marco de la Estrategia Nacional de Gestión Integrada en Cuenca Hidrográficas se creó en 2009 en cada cuenca piloto un Organismo de Cuenca independiente, conformado por representantes de empresas privadas y públicas relacionados con el consumo y la gestión del recurso hídrico [CONAF et al. 2009].

### **3.2.2. Política**

La propuesta de una política nacional para los recursos hídricos fue preparada por primera vez por la DGA en 1999, después de 30 años de numerosos estudios. Esta propuesta incluye, en primer lugar, una descripción clara de los desafíos de una política hidrológica en Chile que son básicamente el desafío de la demanda, del ambiente y la variabilidad climática [DGA 1999].

En 1998 la directiva del consejo de la CONAMA votó la primera política ambiental, que explica la necesidad de políticas públicas ambientales sostenibles, armonizando la política ambiental con la política económica y social. Un propósito del esfuerzo institucional es reforzar la responsabilidad de las organizaciones públicas, de incorporar los principios de la

sostenibilidad ambiental en la gestión de los sectores relevantes [CONAMA 2002, CONAMA 2009b].

En 2006 se incorporó la Estrategia Nacional de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas al nuevo programa gubernamental (2006-2010) en concordancia con la nueva política ambiental, aprobada por el Gobierno Chileno en 2007. El objetivo general de esta estrategia es proteger el agua en su calidad y cantidad para asegurar el consumo humano y armonizar los objetivos de conservación de ecosistemas con un uso sostenible del recurso por actividades económicas. Las actividades principales son: 1) crear una institución para la implementación estratégica; 2) adecuar y optimizar los instrumentos públicos como estándares según los objetivos estratégicos; 3) mejorar la base de información para la toma de decisión en asuntos relevantes para la gestión de los recursos hídricos y naturales; y 4) poner en práctica una experiencia piloto que permita instalar gradualmente el enfoque del objetivo de la gestión y ajustar al diseño posterior si fuese necesario [CONAMA 2007].

La CONAMA (nacional y regional) en cooperación con la GTZ elaboró una Guía para la Elaboración de un Plan de Gestión de Cuenca (PGC) desde la Perspectiva del Recurso Hídrico, que tiene el objetivo de sugerir pautas y consideraciones para su elaboración. La Guía está definida en la Estrategia Nacional de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas, como el instrumento que permite trazar una ruta de navegación para ir avanzando en la gestión integrada de los recursos hídricos, considerando los aspectos ambientales, sociales y económicos. El PGC será desarrollado por una Secretaría Técnica, compuesta por la DGA y la CONAMA, tanto en el nivel central como regional. El nivel central de la Secretaría Técnica da asesoría y definiciones técnicas para las regionales, cuales son los encargados directos de la elaboración del PGC. También influyen la consulta con la ciudadanía y otros actores locales relevantes a través del Organismo de Cuenca. La Secretaría Técnica de la cuenca Rapel elaboró en este contexto el Plan de Gestión para la implementación de la estrategia, la cual no ha sido publicada dado que durante el año 2010 la CONAMA se encuentra desarrollando el cambio de la institucionalidad. La estrategia es motivo de revisión de las competencias que el Ministerio del Medio Ambiente tiene en la actual propuesta del Plan de Gestión de la Estrategia de Cuencas [CONAF et al. 2009].

En el marco de la implementación de la Estrategia Nacional de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas fue incorporada una nueva estrategia de evaluación de cuestiones ambientales (Evaluación Ambiental Estratégica-EAE) para evaluar la política sectorial en incidencia y

sostenibilidad ambiental. Este proyecto también implica nuevas acciones como el acceso a la información ambiental y permite adecuar los instrumentos de una gestión ambiental (planes de gestión) [CONAMA 2009c].

El siguiente paso debería ser presentar esta estrategia al Parlamento de la República, pero hasta el momento Chile no cuenta con una política aplicada sobre sus recursos hídricos [CONAMA 2009c].

### **3.2.3. Legislación**

Chile es visto a menudo como un país pionero por su mercado neoliberal de agua. La gestión de los recursos hídricos en Chile se basa en el Código de Aguas de 1981, Decreto con fuerza de Ley que se dictó por el poder ejecutivo del gobierno 1973-1988. Este código entrega lineamientos claros sobre las facultades que tiene cada institución pública en el manejo del agua, potenciando el mercado de agua como base de su gestión. Lo anterior fomentó la monopolización de los recursos hídricos en manos privadas, sin posibilidades de realizar gestión pública sobre estos en caso de necesidad [Gobierno de Chile 1981, Bauer 2004].

Entre los puntos destacables del Código está la eliminación de la priorización en el uso del agua y el otorgamiento de derechos de uso como un bien transable y privado a perpetuidad, y expresado como una garantía constitucional. Una vez que un derecho de agua fue adjudicado, la forma y dimensión del uso está limitadamente controlada por el Estado. Los derechos de agua se dan en unidades de tiempo y cantidad después de una solicitud y un examen técnico de la disponibilidad hidrológica. En el caso de la agricultura estos derechos son independientes de los derechos de tierra. Si la cantidad de agua disminuye, la disponibilidad de agua de todos sus usuarios relacionados se reduce proporcionalmente. Mientras que cuando la cantidad de agua aumenta, derechos adicionales pueden ser adjudicados por la DGA. Este texto se refiere a la naturaleza de los derechos y a como se distribuye el agua [Nauditt et al. 2002, Malz & Scheele 2005, Gentes 2001, Gobierno de Chile 1981, Paz 2009].

Se diferencia entre derechos consuntivos, cuando la mayor parte del agua es consumida de acuerdo a la naturaleza de su uso, y no-consuntivos, cuando el agua después de su uso está todavía disponible tanto en cantidad como en calidad como p.e. en centrales hidroeléctricas. Con respecto a las aguas subterráneas también hay una diferencia entre los derechos permanentes y provisionales. Los acuíferos presentan un volumen sustentable por sus

características de recarga. Se calculó un volumen total con un 25%, sumido al volumen sustentable, de posibles errores en el cálculo. Hasta el agotamiento del volumen sustentable se dan derechos permanentes, es decir, con vigencia perpetua. Después, hasta el alcance del agotamiento del volumen total del acuífero, se dan derechos provisionales. Estos derechos se pueden transformar en derechos permanentes, una vez transcurridos cinco años ejercicio efectivo en los términos concendidos, y siempre que los titulares de los derechos ya constituidos no demuestran haber sufrido daños. Otra opción es, cuando el dueño de los derechos provisionales ejecute obras de recarga artificial que incorporen un caudal equivalente o superior a la extracción que efectúe [Gobierno de Chile 1981].

En el 2005 se aprobó una modificación del Código de Aguas. La DGA incorporó funciones adicionales para la toma de decisiones. En zonas declaradas como áridas y para un período de seis meses de duración, la DGA puede autorizar extracciones de agua superficial y subterránea de cualquier lugar sin la necesidad de constituir el derecho y sin respetar el caudal ecológico. En el caso de dos o más aplicaciones para derechos de las mismas aguas (dentro de un período de seis meses después de la primera aplicación) y si la disponibilidad de agua es insuficiente para satisfacer todas las solicitudes, la DGA está autorizada para realizar un remate de estos derechos [DGA 2006].

Nuevamente junto con la solicitud para un derecho de agua, se debe presentar un informe técnico (memoria explicativa), que justifique los requisitos definidos según su uso previsto. En caso de obras para el aprovechamiento de agua subterránea y derechos no-consuntivos se deben realizar las obras respectivas de restitución. En caso del no-uso de agua superficial y subterránea, el pago de patente (Art. 1, Ley 20.017) fue aprobado en 2008, y fue valorada en cantidad fija de dinero por litro por segundo. La modificación constituye una gestión del agua superficial y subterránea más integrada, pero todavía están manejadas por separado [DGA 2006, DGA 2008, MOP 2006].

El recurso hídrico está protegido por la Ley de Bases del Medioambiente 19.300, modificada por la Ley 20.417, donde se definen los proyectos, que ingresados al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, deberán realizar un Estudio o una Declaración del Impacto Ambiental. Existen dos tipos de normas sobre la calidad del agua; las Normas Primarias y Secundarias (Art. 2 & 3 del Reglamento de la Ley 19.300). Las Primarias tienen el objetivo de proteger la salud pública y son igualmente aplicadas por todo el Estado. Mientras las Secundarias protegen los recursos naturales y otros, como cultivos, ecosistemas, especies de fauna y flora,

monumentos nacionales o sitios con un valor arqueológico. A parte de estas existen diferentes Normas de Emisión para controlar la cantidad de contaminantes emitidos al aire y agua, y establecer cuales son causados por instalaciones industriales u otras fuentes de emisión (Art. 4 del Reglamento de la Ley 19.300) [CONAMA 2009d, Matus et al. 2004, CONAMA 2009g].

Desde 1999 sucedieron varios cambios en las normas de calidad y de emisión principalmente en el establecimiento de nuevas Normas Secundarias, para una gestión mejorada de la calidad de agua. Recién desde 2004 se aprobó la primera Norma de Emisión con el objetivo de proteger el agua – aguas superficiales continentales y marítimas – en las cuencas hidrográficas. Además de esto la Resolución Libre N° 1381/2000 fue aprobada sobre la norma provisoria técnica del servicio sanitario (SISS) para la regulación de contaminantes asociados a la descarga de residuos industriales líquidos a cuerpos acuáticos superficiales continentales [CONAMA 2009f, CONAMA 2009g].

El Decreto Supremo N° 90/2000 controla toda clase de descargas a aguas superficiales incluso efluentes de aguas residuales de plantas de tratamiento. El Decreto Supremo N° 46/2002 determina las concentraciones máximas de contaminantes permitidas en los residuos líquidos que son descargados por la fuente emisora, a través del suelo, a las zonas saturadas de los acuíferos [CONAMA 2009f, CONAMA 2009g, CONAMA 2009b, Ingeniería Civil y Medio Ambiente 2001, Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República 2002].

La Norma Chilena Oficial de Calidad del Agua Potable NCh 406/1. Of. 2005 se establece en el Decreto Supremo N° 446/2006. Esta norma establece los requisitos de calidad que debe cumplir el agua potable en todo el territorio nacional [SEIA 2006].

### ***3.3. Gestión actual del agua subterránea en Chile***

La reforma del Código de Aguas, la aplicación de Normas Secundarias de la calidad de agua y la Estrategia Nacional de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas son cambios importantes para la gestión sostenible del agua, aunque hay que tomar en cuenta que todavía no fueron aplicadas en su totalidad. La modificación del Código de Aguas incluye aspectos importantes para el ajuste de los errores en el sistema de la privatización neoliberal del agua. Con las Normas Secundarias aplicadas y la Estrategia Nacional de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas se quiere mejorar la protección sobre todo de las aguas continentales

superficiales, pero aún así la protección del agua subterránea todavía es insuficiente [CONAMA 2009k].

A continuación se presenta el área de estudio, la cuenca Rapel, donde se realizó el estudio de tesis.

## 4. ÁREA DE ESTUDIO

El siguiente capítulo presenta el área de estudio, la cuenca Rapel en la VI Región de Chile con datos generales, uso de suelo y datos sobre el agua subterránea.

### 4.1. Datos generales

La cuenca hidrográfica del río Rapel está ubicada en la VI Región de Chile, General Libertador Bernardo O'Higgins. Se sitúa entre los paralelos 33°53' y 35°01' de latitud sur con una superficie total de 13.695 km<sup>2</sup>. La división político-administrativa de la VI Región de Chile determina que la cuenca del río ocupe aproximadamente el 89% de la misma (Figura 5) [Gobierno de Chile 2004].

El clima predominante en la cuenca coincide con el Clima Templado Mediterráneo con estación seca prolongada en verano, la cual se caracteriza por variaciones por efectos en la topografía local, y un invierno bien marcado con temperaturas extremas que pueden estar por debajo de cero grados [Biblioteca del Congreso Nacional 2009].

La geomorfología de la cuenca del río Rapel presenta un territorio con tres grandes unidades de relieve: la Cordillera de Los Andes, la depresión intermedia y la Cordillera de La Costa [Universidad de Chile 1999].

En Rancagua, la capital regional, la temperatura media anual es de 14,2°C (con grandes variaciones) y en verano las temperaturas máximas llegan a más de 28°C. Existe mayor precipitación en la costa y en la Cordillera de Los Andes [Gobierno de Chile 2004].

La precipitación anual media en la costa alcanza valores aproximados de 638 mm/año y temperaturas de 14°C. En el centro (Rancagua), por el relieve hay áreas con mayor sequedad y una precipitación menor de aproximadamente 406 mm/año. En las áreas más elevadas de la cuenca, la precipitación se incrementa a valores medios anuales de aproximadamente 686 mm/año y temperaturas medias anuales de 9,6°C. En general las precipitaciones son mayores durante la temporada de invierno en junio, julio y agosto [Biblioteca del Congreso Nacional 2009, Universidad de Chile 1999, DGA 1987, Dames & Moore 1993, CONAMA 2009k].



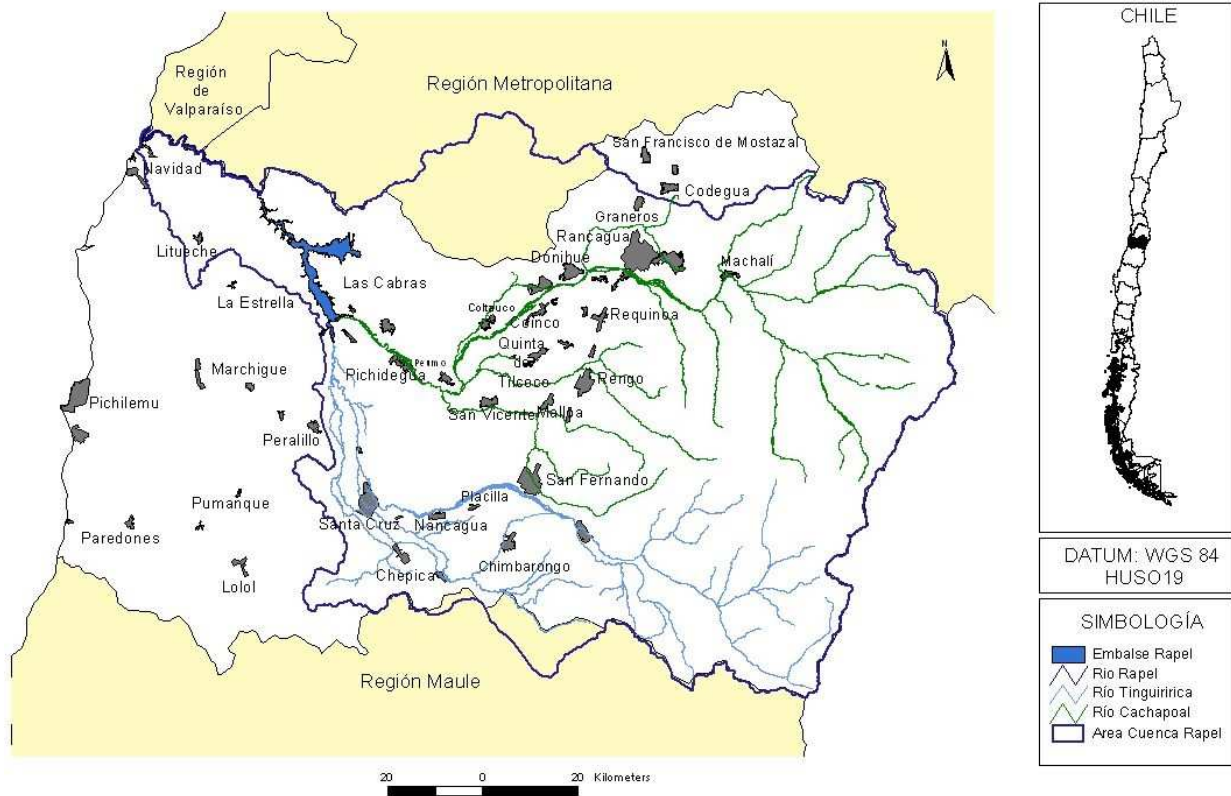


Figura 5: Mapa de la Cuenca Rapel, VI Región Chile [CONAMA 2010]

Por el promedio de lluvias y la alta humedad en algunas épocas del año, la VI Región presenta suelos aptos para la agricultura y la cría de diversos tipos de ganado [Dames & Moore 1993].

#### 4.2. *Uso de suelo*

El uso de suelo en la VI Región se divide en el sector urbano, industrial, agrícola y minero que se detalla a continuación:

##### **Sector urbano**

La población de esta región alcanzó en el año 2002 a 509.894 habitantes. La densidad de la población es de 44,6 hab/km<sup>2</sup>. La mayor población se encuentra en los principales centros urbanos Rancagua (214.344 hab) y San Fernando (63.732 hab), y equivalen al 36% del total de la población de la cuenca [Muñoz 2004, INE 2002].

## **Sector industrial**

Existe en la región un sector industrial diverso con actividades en la minería, industrias de alimentos, conservas, caldos concentrados (y otros alimentos deshidratados), industria avícola, fabricación de productos metálicos, fabricación de artículos de pulpa, papel y cartón, fabricación de vinos y servicio de saneamiento. También existe la fabricación de productos químicos industriales y frigoríficos relacionados con la conservación de todo tipo de carnes [Arcadis Geotecnica 2001].

## **Sector agrícola y minero**

En las últimas décadas, Chile ha experimentado cambios fundamentales sociales, políticos y económicos y en este contexto la apertura al comercio exterior ha sido un factor importante en el desarrollo del país. Una razón de la dinámica en la economía chilena y su desarrollo desde los mediados de la década de los 1980's es la exportación, donde el sector silvoagropecuario ocupa una posición muy importante [INE 2007a, Gobierno de Chile 2007].

La agricultura tiene una importancia creciente en la economía nacional de Chile. Las principales actividades económicas son la silvoagropecuaria y la minería. De la Reforma Agraria en 1962 hasta 2007 el Producto Nacional Bruto (PNB) de los sistemas silvoagropecuarios fue casi quintuplicado. La zona central de Chile es empleada intensivamente para la producción agrícola debido a sus buenas características climáticas y geomorfológicas [INE 2007a].

En la VI Región la actividad agrícola se dedica al cultivo de trigo, legumbres y cultivos industriales (colza, maravilla y remolacha), a los cultivos anuales maíz y trigo, y en superficies menores se cultivan papa, frijol y arroz. También existe el cultivo de frutas (duraznos, manzanas y peras) y la producción de uva para exportación. En la actividad pecuaria la producción avícola y porcina son las principales [INE 2002, Gobierno de Chile 2004, Arcadis Geotecnica 2001].

En el sector silvoagropecuario las exportaciones de la VI Región desempeñan un papel significativo porque es la región principal de producción frutícola, masa de cerdos y producción avícola. La Región de O'Higgins presenta (desde 2007 hasta 2009) principales exportaciones de frutas secas o frescas (22 % de la exportación regional total) y de vino de uvas (16 %) [INE 2007b, CONAMA 2009b].

Desde el punto de vista de la superficie ocupada, las áreas de uso agrícola son las más importantes en esta región con 1.133.449,57 ha (70 % del área total) en el año 2007. Por la caracterización topográfica la mayor parte de esta superficie está localizada en la depresión central [CONAF & Universidad Austral de Chile 2006, INE 2007b, CONAMA 2009h].

En la minería el sector metálico es el más importante con la mina de cobre más grande el mundo, El Teniente, que también explota el molibdeno con una producción creciente de 355.664 (cobre) y 5.188 (molibdeno) toneladas en el año 2000 [INE 2002, Gobierno de Chile 2004, Arcadis Geotecnica 2001].

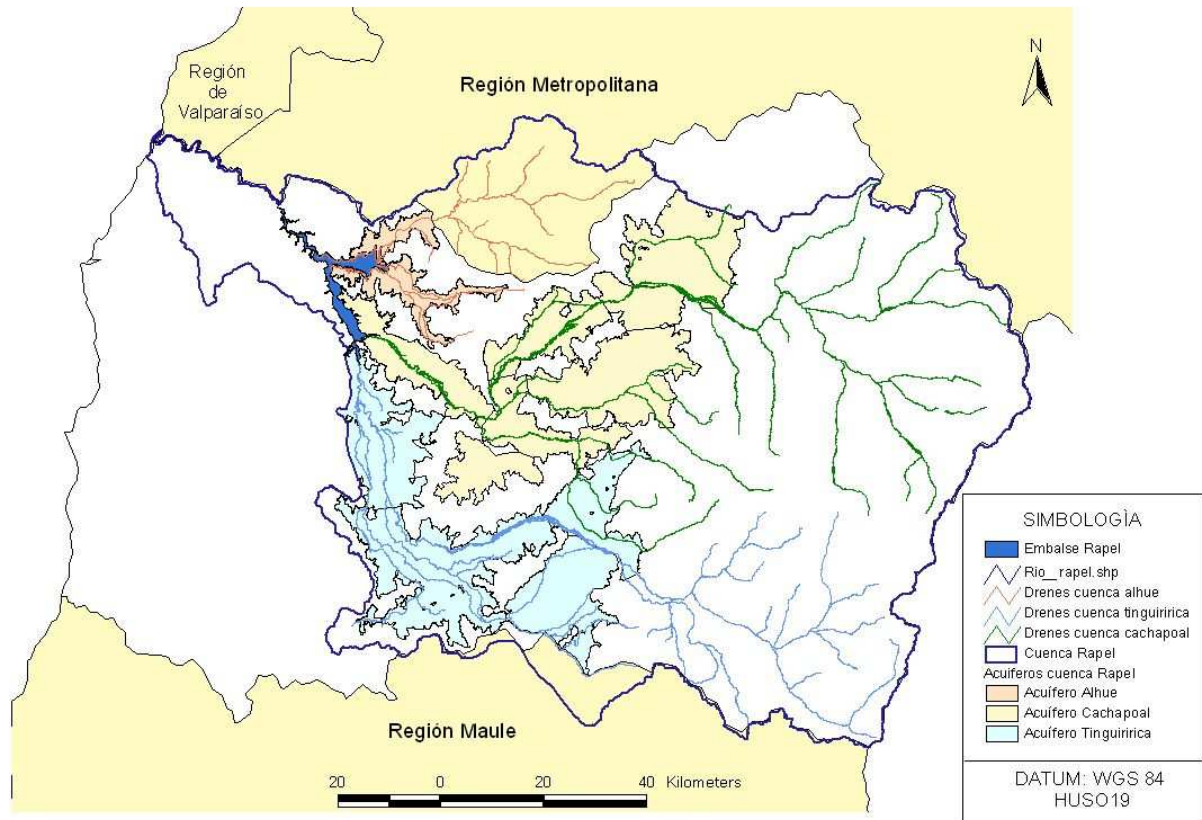
### **4.3. Datos hidro(geo)lógicos**

Por la íntima relación entre las aguas superficiales y subterráneas, ambas se reflejan en los siguientes datos, pero el enfoque está puesto en las aguas subterráneas. Se presentan datos de la VI Región sobre el agua subterránea, su vulnerabilidad y uso.

La cuenca está compuesta principalmente por las subcuencas de los ríos Cachapoal y Tinguiririca, y el río Rapel se forma de la unión de esos dos ríos. Dichos ríos se juntan en la Cordillera de La Costa, que se encuentra hoy inundada por las aguas del embalse Rapel (capacidad de 680 millones de m<sup>3</sup>). El río Rapel corre hacia el noreste y desemboca en el mar en la comuna de Navidad (Figura 6) [Gobierno de Chile 2004].

#### **4.3.1. Agua subterránea**

En la cuenca Rapel se observan tres subcuencas superficiales que han sido asociados con tres acuíferos superiores denominados con el mismo nombre (Figura 6). El acuífero Cachapoal con dirección este-oeste frente a Rancagua, que fluye paralelamente al río Cachapoal y después se junta con ese mismo río a mayor profundidad hasta el Embalse Rapel. El acuífero Alhué va con dirección norte-sur y baja por el Cachapoal hasta el Embalse Rapel. El acuífero Tinguiririca drena la cuenca del río Tinguiririca de sur a norte por el área de San Fernando y va paralelamente al Cachapoal en las cercanías de la comuna de Peumo [DGA 2005].



**Figura 6: Cuenca del río Rapel en la VI Región de Chile con sus acuíferos [DGA 2005]**

Las tres subcuencas se dividen en total en 14 acuíferos (Anexo 10.1.) y se evalúan por sector del valle del estero Alhué, Cachapoal y Tinguiririca (Cuadro 3).

**Cuadro 3: Subcuencas superficiales y sus acuíferos en la cuenca Rapel, VI Región Chile [DGA 2009b]**

<b>Subcuenca</b>	<b>Acuífero</b>
Alhué	Borde del Embalse Rapel
	Estero Las Palmas
	Estero Alhué
Cachapoal	Doñihue-Coínco-Coltauco
	Graneros-Rancagua
	Olivar
	Pelequén-Malloa-San Vicente de Tagua Tagua
	Peumo-Pichidegua-Las Cabras
	Requínoa-Rosario-Rengo-Quinta de Tilcoco
	Laguna San Vicente
Tinguiririca	San Fernando
	Chimbarongo
	Tinguiririca Inferior
	Tinguiririca Superior

En los acuíferos se observa una variabilidad geológica grande que va de sedimentos con una granulometría gruesa a fina, de alta a baja permeabilidad que constituyen acuíferos confinados y libres [DGA 2005].

En el sector de la Cordillera de Los Andes, con propiedades hidrogeológicas escasamente conocidas, es posible considerar a la mayor parte del agua subterránea aprovechable, como aquella que se desplaza por los valles principales de grandes ríos, y otros. A las rocas en tanto se asignó baja a nula conductividad hidráulica [CONAMA 2003].

En la depresión central y el valle de Cachapoal se ubican los principales acuíferos de la región que son de tipo libre a semiconfinado y en sectores muy restringidos de tipo confinado. Los niveles son someros (5-20 m: San Francisco, Pelequén, Peumo al oeste) a muy profundos (98-107 m: Rancagua). En el curso medio del río Cachapoal (Coínco, Peumo) se presentan sectores con niveles freáticos muy someros (menos a 5 m) [CONAMA 2003].

En la depresión central y el valle del Tinguiririca se encuentran acuíferos libres a semiconfinados de importancia regional con depósitos muy permeables (arenas y gravas finas) y un nivel freático variable, que llega a menos de 4 m en toda la parte baja del sector (Nancagua, Santa Cruz) [CONAMA 2003].

Los valles intra-Cordillera de La Costa presentan acuíferos de importancia local, frecuentemente desconectados hidráulicamente, con nivel freático (o piezométrico, donde está confinado) entre 1,5 y 10 m. La aparición de sedimentos de menor energía (limos y arcillas) condiciona la permeabilidad de estos depósitos [CONAMA 2003].

En la Cordillera de La Costa los relieves elevados en el área muestran comportamiento hidrogeológico diferenciado, con áreas de rocas más fracturadas y de mayor espesor de suelo que pueden contener agua y por lo tanto poseen un potencial hidrogeológico ligeramente mayor que el resto de las litologías presentes en el área, pero indudablemente menor que el conjunto de acuíferos en medios porosos. La ocurrencia de agua es local y los niveles son muy variables, aunque someros [CONAMA 2003].

La recarga de los acuíferos ocurre por la infiltración de precipitaciones directas sobre el acuífero, infiltración del riego agrícola y la pérdida desde canales; por recarga lateral por precipitación indirecta sobre las sub- y microcuencas que drenen hacia el acuífero; la recarga desde los ríos y esteros, y la recarga subterránea. Considerando las posibles descargas de los acuíferos existen descargas hacia el embalse Rapel, hacia ríos y esteros, hacía otros acuíferos y desde pozos [DGA 2005].

#### **4.3.2. Uso de agua**

El agua de la cuenca Rapel se utiliza para riego, agua potable, hidroelectricidad, actividades industriales, actividades mineras y biodiversidad, y se han diferenciado en los siguientes grupos (agua superficial) [Gobierno de Chile 2004, INE 1998-2002, DGA 1996]:

- In-situ:
  - a) Acuicultura
  - b) Pesca deportiva y recreativa
- Usos extractivos:
  - a) Riego
  - b) Captación de agua para abastecimiento por ciudad (año 2000):
 

Rancagua	0,5 m <sup>3</sup> /s
San Fernando	0,09 m <sup>3</sup> /s
Rengo	0,05 m <sup>3</sup> /s
Santa Cruz	0,04 m <sup>3</sup> /s
Graneros	0,03 m <sup>3</sup> /s
San Vicente	0,03 m <sup>3</sup> /s
Machalí	0,02 m <sup>3</sup> /s
  - c) Generación de energía eléctrica
  - d) Actividad industrial: demanda total de agua industrial en el año 2000 de 23.742.790 (m<sup>3</sup>/año)
  - e) Actividad minera
- Biodiversidad
- Ancestrales

El sector agro-industrial requiere más del 75% de la demanda hídrica superficial total en esta región [Gobierno de Chile 2004].

Enfocando las aguas subterráneas el mayor uso con 49% (321.714.655 m<sup>3</sup>/año) se presenta por el riego, seguido por el abastecimiento público de 45% (287.849.631 m<sup>3</sup>/año). Menor uso hay por las industrias y minería (Figura 7). El número de pozos se estima en 514 pozos en el acuífero Cachapoal, 407 en el Tinguiririca y 108 en el Alhué con el mayor caudal en el Tinguiririca. Las demandas en trámite son de 46 pozos adicionales en el Cachapoal, 36 en el Tinguiririca y tres en el Alhué [INE 2002, Gobierno de Chile 2004, DGA 2009b, DGA 2005].



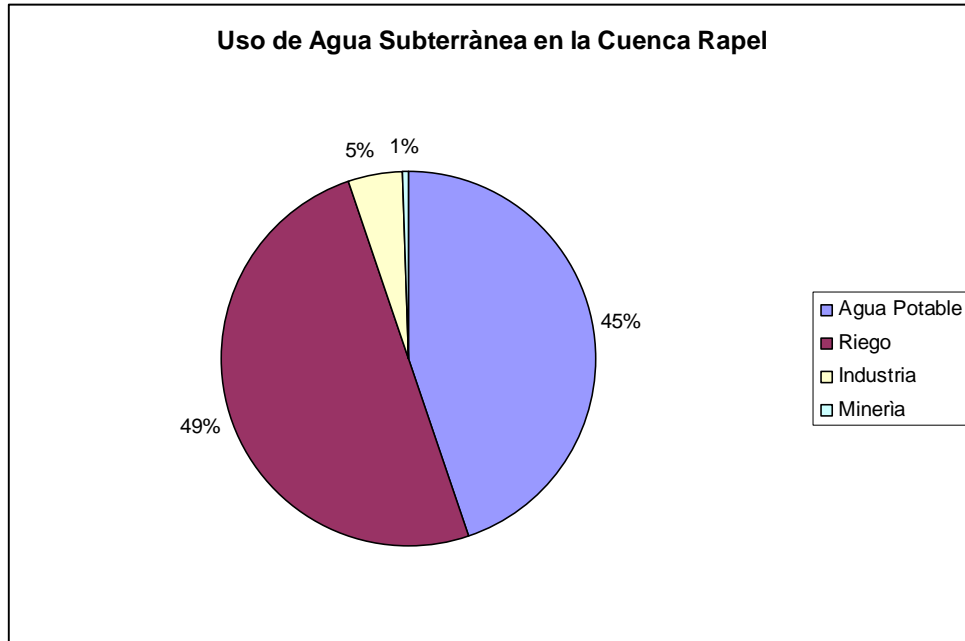


Figura 7: Usos del agua subterránea en la cuenca Rapel, VI Región Chile [DGA 2009b]

#### 4.3.3. Vulnerabilidad del recurso hídrico subterráneo

Existe una cantidad de agua subterránea que se infiltra por medio de distintos procesos y mecanismos y que constituye la reserva de agua de la VI Región. Adicionalmente, existen tres tipos de fuentes de contaminación que ocasionan problemas de calidad en el agua subterránea [CONAMA 2003]:

- Localizada: es el daño específico en un área restringida (volumen sustentable agotado), que se puede generar por infiltración de residuos industriales, percolación desde tranques de relave, lagunas de estabilización de aguas servidas y rellenos sanitarios.
- Difusa: está asociada al uso intensivo de fertilizantes y pesticidas en la actividad agrícola. Su uso ha crecido notablemente en los últimos años a niveles de 64% los herbicidas, 221% los acaricidas; 81% los productos especiales y 137% los fertilizantes nitrogenados en un sólo año. Otra fuente es el riego con aguas servidas y que tiene la problemática que es sustancialmente más difícil de controlar que la localizada.
- Salina: se produce a partir de la extracción intensiva y localizada en porciones locales de un acuífero costero o próximo a aguas salobres, y crea las condiciones para que se produzca el ingreso de agua salina a la zona de captación de los pozos.

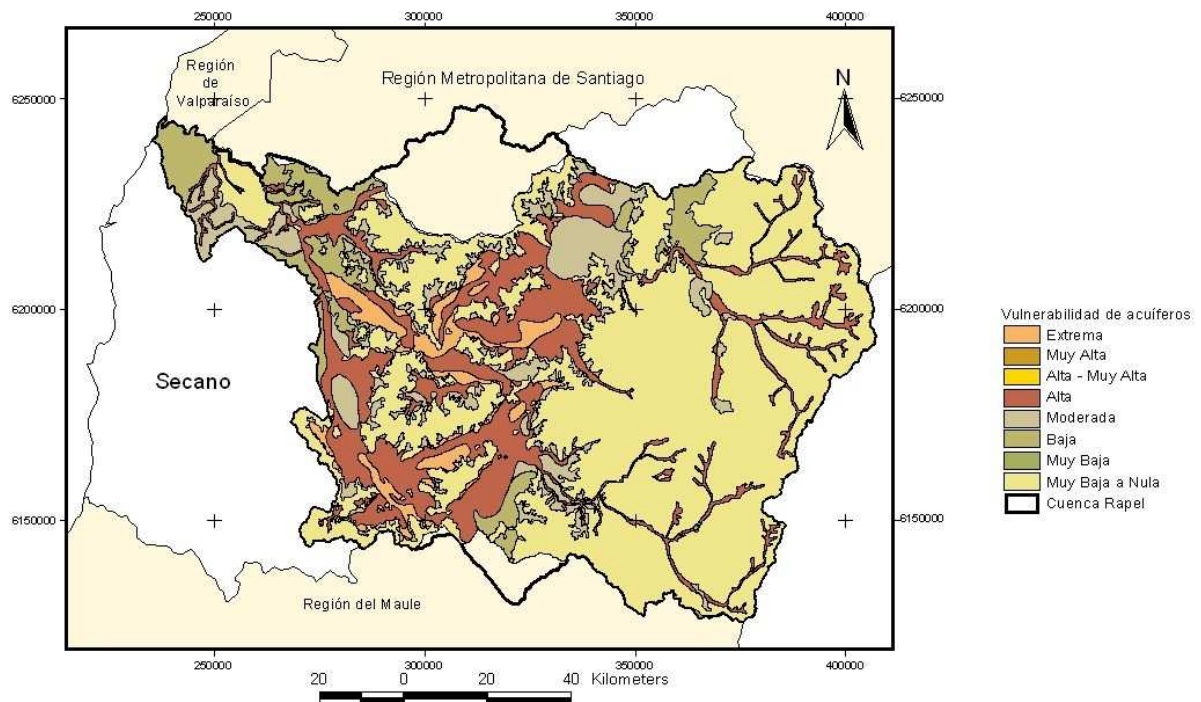


La vulnerabilidad de las aguas subterráneas es una propiedad intrínseca de un acuífero que depende de la sensibilidad de aquel sistema a los impactos humanos y naturales. La vulnerabilidad intrínseca depende sólo de factores hidrogeológicos y es necesario diferenciarla de una vulnerabilidad específica a un determinado contaminante [Vrba & Zaporozec 1994].

El objetivo del estudio sobre la vulnerabilidad en la VI Región, realizado por la CONAMA en 2003, fue caracterizar la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación. Este trabajo no constituye un estudio detallado y la zonificación de vulnerabilidad sólo presenta una guía para la priorización de zonas, donde deben realizarse estudios de detalle y/o para el establecimiento de condiciones a nuevos desarrollos. La vulnerabilidad en un sistema hídrico es muy compleja y para poder predecir con exactitud los impactos a éste o determinar su respuesta ante eventos de contaminación, son necesarios muchos más datos que los que una orientación regional puede entregar [CONAMA 2003].

Se han desarrollado varios métodos para estimar la vulnerabilidad cualitativa a la contaminación del agua subterránea. Un buen método debería tomar en cuenta el tiempo de residencia de un contaminante en la zona no saturada (antes de alcanzar el nivel del agua subterránea). Este factor es intrínseco al medio geológico (entendido este como aquél que es capaz de contener, transportar y ceder agua). Este tiempo no se puede obtener como un dato directo y, más aun, es variable temporalmente y con el tipo de contaminante. Dos variables de mayor importancia a considerar son la litología de la zona no saturada y su espesor. A estas, se pueden agregar las características de la recarga y la eventual capacidad de atenuación que muestre el suelo con presencia de biota [Vrba & Zaporozec 1994].

El método utilizado en el estudio de vulnerabilidad corresponde al método GOD, desarrollado específicamente para la evaluación regional con escasos datos. El método estima la vulnerabilidad del agua subterránea multiplicando tres parámetros que representan tres tipos de información espacial; sin embargo, por tratarse de un parámetro de muy difícil estimación la recarga neta al acuífero no es considerada como uno de los factores en la ecuación. Los parámetros son G (Groundwater occurrence), el modo de ocurrencia del agua subterránea o tipo de acuífero; O (Overlying lithology), la litología de la zona no saturada y D (Depth to groundwater), la profundidad a la zona saturada de agua subterránea [Foster 1987, Foster & Hirata 1988].



**Figura 8: Mapa de vulnerabilidad de la cuenca Rapel, Chile [CONAMA 2003]**

El resultado del estudio muestra (Figura 8) que la vulnerabilidad es alta en los valles del sector de la cordillera, moderada en los depósitos de remoción en masa (Tinguiririca) y baja en los depósitos de cenizas (Machalí, Chimbarongo) [CONAMA 2003].

En la depresión central y los valles del Cachapoal la vulnerabilidad es baja en los sectores de depósitos más bien finos o de cenizas (Machalí, Rancagua), moderada en sectores de acuíferos profundos o con litologías menos permeables (Rancagua, Codegua). Alta y extrema en cursos medios-bajos de los ríos Cachapoal (Olivar, Coinco hacia aguas abajo) y Claro (Rengo hacia aguas abajo) [CONAMA 2003].

En la depresión central y el valle del Tinguiririca la vulnerabilidad en general es alta, con valores extremos en áreas de nivel freático somero (Peumo, San Vicente). En Las Cabras, la aparición de estratos menos permeables en el centro del valle implica vulnerabilidad moderada. En los valles intra- Cordillera de La Costa la vulnerabilidad es alta en valles,

moderada en terrazas altas de los valles, alta a baja en riberas del embalse Rapel (cenizas) [CONAMA 2003].

En la Cordillera de La Costa la vulnerabilidad es muy baja a nula en las rocas con potencial menor, baja en rocas con espesor meteorizado importante (“maicillo”, horizontes de suelo derivado de roca in situ, zonas fracturadas), moderada en sectores con presencia de cobertura de gravas y arenas (costa al sur de Pichilemu), y alta a extrema en depósitos de valles y terrazas costeras bajas (Ñilahue, centro oeste) [CONAMA 2003].

El próximo capítulo describe la aplicación de los conceptos teóricos a los objetivos y describe los métodos para lograr su realización.

## 5. METODOLOGÍA

En este capítulo se describen los métodos que se utilizaron para desarrollar cada uno de los objetivos específicos. Los métodos empíricos se basan en entrevistas semi-estructuradas con expertos en cuestiones de la gestión de aguas subterráneas.

### ***5.1. Método de análisis de la Gestión Integrada de Aguas Subterráneas***

Para llevar a cabo el primer objetivo se hizo una profunda revisión bibliográfica sobre los conceptos de manejo de agua en general y en especial del manejo de aguas subterráneas. Para eso se usó el concepto de la GIRH. Además se analizó por medio de entrevistas semi-estructuradas la situación actual en la gestión de aguas subterráneas en la VI Región de Chile (Cuadro 4).

Las entrevistas semi-estructuradas están enfocadas en una problemática, orientadas a un objetivo y proceso, por lo que las preguntas sirven como guía en una conversación. Se usó un cuestionario, una grabadora y notas. Las preguntas fueron formuladas y elegidas por subparámetros relacionados con el objetivo de un análisis de los mecanismos actuales de gestión de agua subterránea (ANEXO 10.2.).

Los ejes temáticos de las entrevistas corresponden a subparámetros de la GIAS, que son el recurso hídrico subterráneo, la política, el marco legal, las instituciones y los usuarios, los cuales se analizan para este objetivo en la situación actual de la gestión de aguas subterráneas.

**Cuadro 4: Lista de entrevistados, instituciones y personas relevantes en la gestión del agua subterránea en la VI Región de Chile, con sus intereses, relaciones con el problema, capacidades y motivaciones.**

<b>Interesados y características básicas</b>	<b>Intereses y relación con el problema</b>	<b>Capacidad y motivación para cambiar</b>
DGA nacional, Santiago de Chile, Conservación y Protección de Recursos Hídricos, María Eugenia Molina	Datos disponibles sobre el agua subterránea; proyectos, programas relevantes; redes de monitoreo	Poder ejecutivo; mejorar y facilitar el sistema regulatorio
CONAMA regional, Rancagua, Milissen Cantin	Coordinación; datos sobre la calidad de agua; educación ambiental; legislación sobre calidad de agua	Coordinación entre instituciones y proyectos; mejorar cooperación y comunicación entre las instituciones relevantes; asegurar la calidad de agua
DGA regional, Rancagua, Eduardo Atilio	Adjudicación de permisos de extracción; explotación de aguas subterráneas; protección de aguas subterráneas aplicada en la legislación; redes de monitoreo; catastro de pozos; control de uso de agua; restricción de acuíferos	Poder ejecutivo regional; mejorar y facilitar el sistema regulatorio regional
Junta de Vigilancia regional, Rancagua, Robert Hilliard	Manejo de agua superficial para riego local; distribución y control de agua para riego local; junta las Asociaciones de Canalistas locales	Control de uso de agua subterránea; mejorar el control
Agua Potable Rural, Rancagua, Sergio Alvarez	Abastecimiento de agua potable regional en zonas rurales	Única empresa de abastecimiento de agua potable; garantizar calidad del agua potable
DOH, Unidad de Agua Potable Rural, Rancagua, Maria Jose Beltran	Coordinación del agua potable en la zona rural por medios de los APRs, contratan Essbio para asesorías en los Comites APR	Asesoría de Essbio y APRs; garantizar calidad del agua potable; mejorar revisión de obras hidráulicas
Gesellschaft fuer Technische Zusammenarbeit – CONAMA nacional, Santiago de Chile, Arnold Quadflieg	Proyecto piloto en la cuenca Rapel sobre implementación de la Estrategia Nacional para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos	Estrecha cooperación entre las instituciones GTZ y CONAMA-DGA nacional; implementación exitosa de la Estrategia Nacional para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos

## **5.2. *Método de análisis para definir propuestas para una gestión sostenible de aguas subterráneas en la cuenca Rapel, Chile***

Con ayuda del concepto de una gestión integrada de aguas subterráneas y del análisis de las entrevistas con instituciones y personas relevantes en la gestión, se elaboró una parte de un plan destinado a una gestión sostenible del agua subterránea en la cuenca Rapel.

Se llevaron a cabo los siguientes métodos empíricos en forma de entrevistas con instituciones acerca de la gestión, de uso y forma de reparto del recurso, monitoreo de contaminación y condiciones ambientales, vigilancia y responsabilidad en la revisión, monitoreo de la sostenibilidad de la administración del recurso, etc.

Las entrevistas realizadas (Cuadro 4) permitieron identificar las problemáticas existentes en la gestión del agua subterránea en Chile y los entrevistados tuvieron la posibilidad de proponer posibles soluciones para su mejoramiento. Los resultados se presentan en el sector técnico, organizacional y legal.

## **5.3. *Método de obtención de información y de comparación de la gestión de aguas (subterráneas) entre Chile y Uruguay***

Para tener la posibilidad de comparar ventajas y desventajas de los instrumentos regulatorios en dos países latinoamericanos, se realizó un análisis de la gestión del agua subterránea en Uruguay, además de la realizada en Chile. El objetivo de la comparación es desarrollar recomendaciones internacionales y generales para optimizar la gestión de aguas subterráneas. Se compararon aspectos considerados como críticos en la gestión del recurso que son el poder ejecutivo (instituciones regulatorias, organismos de acuíferos, permisos, otorgamiento y administración de permisos, vigilancia y control), el poder legislativo (dominio, legislación de agua), la política y el marco económico (cobranza por el uso del agua o vertido de aguas residuales).

Para lograr este objetivo se realizaron entrevistas con instituciones relevantes del estilo como se presentaron para los objetivos I y II (Cuadro 5).

**Cuadro 5: Lista de entrevistados, instituciones y personas relevantes en la gestión del agua subterránea en Uruguay, con sus intereses, relaciones con el problema, capacidades y motivaciones**

<b>Interesados y características básicas</b>	<b>Intereses y relación con el problema</b>	<b>Capacidad y motivación de cambiar</b>
Facultad de Ciencias, Grupo Geología, Dr. Jorge Montaña	Investigación de aguas subterráneas	Profesionales; instrumentos y conocimientos técnicos; investigación del recurso
Facultad de Ingeniería, Instituto de Mecánica y Fluídos Sección Hidrología-Clima, Luis Silveira	Investigación del ciclo hidrológico	Profesionales; instrumentos y conocimientos técnicos; investigación del recurso
Facultad de Ingeniería, Instituto de Mecánica y Fluídos, Sección Aguas Subterráneas, Jorge de los Santos	Investigación de aguas subterráneas	Profesionales, instrumentos y conocimientos técnicos; investigación del recurso
DINAMA, Consultoría en aguas subterráneas, Alberto Manganelli	Administrador de calidad de agua subterránea	Poder ejecutivo; protección ambiental y de la calidad del recurso y su gestión sostenible
DINASA, División de aguas subterráneas, Ximena Lacués	Administrador de cantidad de agua subterránea; adjudicación de permisos de extracción; registro de pozos; control de construcción de pozos	Poder ejecutivo; gestión adecuada y integrada y control sobre extracciones del recurso
DINAMIGE, División Geología, Sección Hidrogeología, Roberto Carrión & Enrique Massa	Datos hidrogeológicos; mapas de acuíferos y pozos	Instrumentos técnicos; recopilación de datos; investigación
OSE, División de aguas subterráneas, Pablo Decoud	Abastecimiento de agua potable; monitoreo de calidad de agua.	Empresa principal del abastecimiento público; protección de calidad y cantidad del recurso

## 6. RESULTADOS

Los resultados del estudio de tesis se presentan, según los objetivos específicos, en la integración del concepto GIAS a la GIRH, las propuestas para una gestión sostenible de las aguas subterráneas en la cuenca Rapel que forma parte de un plan integrado y la comparación de los instrumentos regulatorios del recurso entre los países Chile y Uruguay.

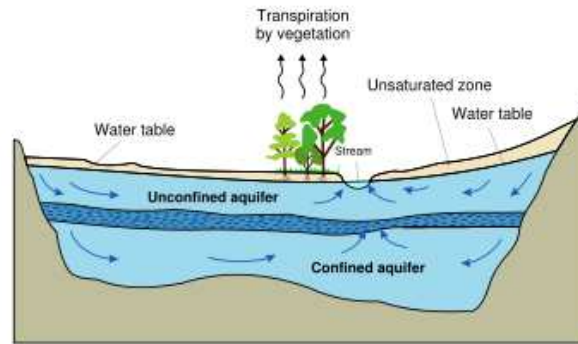
### 6.1. *Desafíos de una Gestión Integrada de Aguas Subterráneas*

Se integra la gestión del recurso hídrico subterráneo al concepto superior de la GIRH a través de definiciones hidrogeológicas, la descripción de las interacciones entre aguas superficiales y subterráneas y un análisis de su gestión.

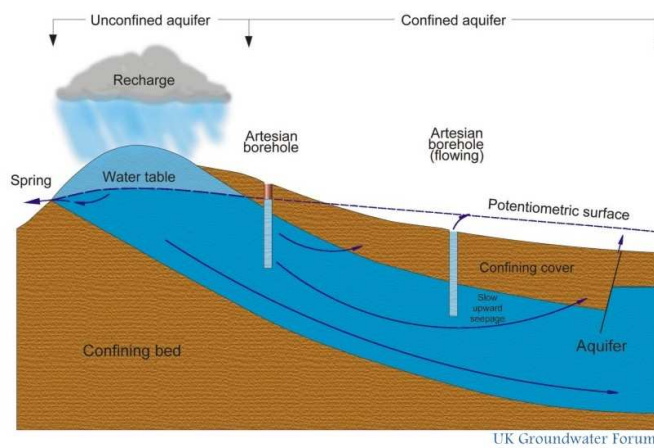
#### 6.1.1. El agua superficial y subterránea

El agua con diferentes orígenes se une a nivel global y regional en el ciclo hidrológico y es clasificada como agua superficial y subterránea. Los conceptos de la hidrología están definidos por el DIN (Instituto Alemán de Estandarización) N° 4049. De acuerdo a ello, el agua superficial es la que se encuentra en su forma libre y a cielo abierto en la superficie de la tierra; y el agua subterránea es el agua que se encuentra en el subsuelo y saturando parcial o totalmente los huecos de la corteza terrestre, cuyo movimiento es determinado exclusivamente o casi exclusivamente por la gravitación y las fuerzas de fricción producidas por el mismo movimiento [DIN 1992, Balairón 2002].





**Figura 9: Interacciones entre las aguas superficiales y subterráneas [Search.com 2010]**



**Figura 10: Características del agua subterránea [Dripps 2005]**

El agua subterránea se mueve en el subsuelo en materiales geológicos que pueden tener diferente grado de permeabilidad. La presencia de agua subterránea en el suelo depende de los materiales geológicos existentes. La recarga natural de agua subterránea se lleva a cabo a partir de la precipitación y/o infiltración de aguas superficiales. En función de la distribución de las cargas hidráulicas en el subsuelo y de las condiciones geológicas de los materiales, se lleva a cabo una interacción recíproca entre el agua superficial y subterránea (Figura 9, Figura 10). Por esa misma razón las aguas superficiales y subterráneas están íntimamente ligadas y es necesario tratarlas como un todo en su gestión [Schöniger et al. 2010].

Esta interacción juega un papel importante en la contaminación del agua subterránea, ya que permite la distribución al subsuelo de los contaminantes presentes en la superficie del terreno. De acuerdo con las características de acumulación de (algunos) contaminantes en el suelo, el agua subterránea puede presentar una vulnerabilidad alta a la contaminación [International Association of Hydrogeologists 2010].

### 6.1.2. La gestión

Cerca del 70% del planeta está cubierto con agua, la sustancia más abundante de la tierra, pero el privilegio de este recurso engaña, porque solamente el 2,53% es agua dulce y de esto una parte pequeña es apta para el ser humano y los ecosistemas debido a que de este total, 2/3 se encuentran en forma congelada (glaciares, nieve). Cuando se habla de agua dulce disponible, es necesario tomar en cuenta que el 97% se encuentra debajo del subsuelo, y es conocida como agua subterránea [Bundesministerium für Bildung und Forschung 2005, International Association of Hydrogeologists 2010]

Un desafío de la gestión de aguas en general es que hay una distribución desigual del agua en el mundo. Aunque hay muchas regiones que son privilegiadas por las lluvias y grandes cantidades de aguas superficiales la mayoría de los países dependen del agua subterránea. En muchos países estas aguas son la fuente principal para el uso diario. El agua subterránea tiene muchas ventajas, es barata en su utilización y su desarrollo es relativamente sencillo. También es confiable en los tiempos de sequía debido a los grandes almacenamientos bajo la superficie y además se encuentra (relativamente) protegida contra la contaminación antropogénica, catástrofes naturales y guerras. Pero algunas áreas cerca de la superficie no se encuentran saturadas y tienen un suministro intermitente del agua, por lo cual es necesario extraer el agua con ayuda de pozos de zonas saturadas más profundas [International Association of Hydrogeologists 2010].

La protección del agua subterránea en forma sostenible implica decidir cuanto es posible extraer sin arriesgar en forma permanente su calidad y cantidad. Por lo general, una visión que se considera implica captar las reservas de acuerdo con las condiciones que se presentan en la recarga natural. Uno de los métodos más importantes para proteger el agua subterránea es a través de la educación de aquellos que la usan. Para ello, cada gobierno, ayuntamiento, industrial o agricultor que extrae agua subterránea o toma decisiones sobre el uso de la tierra y el destino de los desechos tiene un papel importante en la protección del recurso [International Association of Hydrogeologists 2010].

En las últimas décadas muchos países modificaron su gestión del agua desde el tratamiento a nivel de río hacia el concepto a nivel de cuenca hidrográfica. Una cuenca hidrográfica es el espacio delimitado por la unidad de las cabeceras, que forman un territorio drenado por un único sistema de drenaje natural. Este desarrollo fue muy importante debido a la necesidad de

manejar el agua en su unidad natural y que los ríos solamente forman partes de esta unidad [CONAMA 2007, Clark et al. 2005].

Las líneas divisorias de aguas superficiales son generalmente delineadas a partir mapas topográficos con curvas de nivel. Las líneas divisorias de las aguas subterráneas son conceptualmente similares a las líneas divisorias de aguas superficiales, porque los flujos van desde puntos altos (se dividen) a puntos bajos (salidas, áreas de descarga). Sin embargo, los límites del agua superficial y líneas divisorias de aguas subterráneas no siempre coinciden (Figura 11). El movimiento de agua subterránea se produce a través de materiales geológicos con características diferentes y se caracteriza por las siguientes propiedades: 1) hidráulicas del acuífero; 2) zonas de recarga, tránsito y descarga del sistema de flujo; y 3) presencia y distribución en el subsuelo de características geológicas heterogéneas, que condicionan el desarrollo de sistemas de flujo complejos [Minnesota Department of Natural Resources 2010].

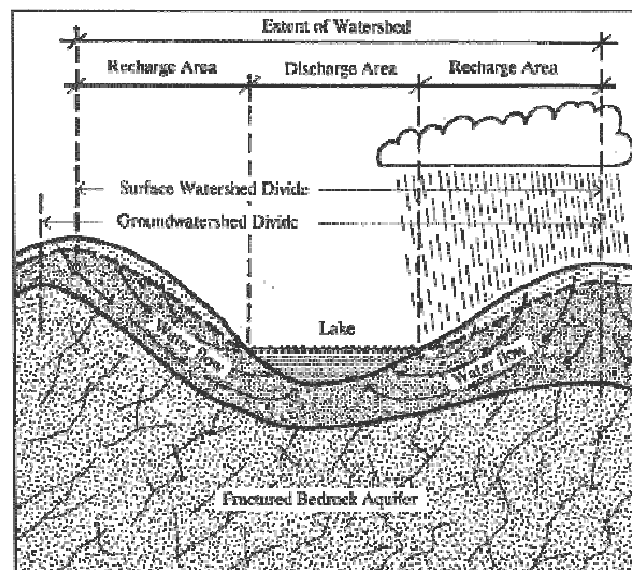


Figura 11: Fronteras de cuencas hidrográficas superficiales y subterráneas [Dripps 2005]

### 6.1.3. Integración al concepto de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos

En el concepto de la GIRH, la gestión de aguas subterráneas tiene por objetivo de equilibrar la extracción del agua y su relación con otros recursos naturales, basando el incremento de la demanda del agua al desarrollo económico sustentable y la subsistencia. A largo plazo habrá que encontrar el balance entre la eficiencia, equidad y sostenibilidad, para lograr mantener la calidad y cantidad a nivel deseado [GWP 2008].

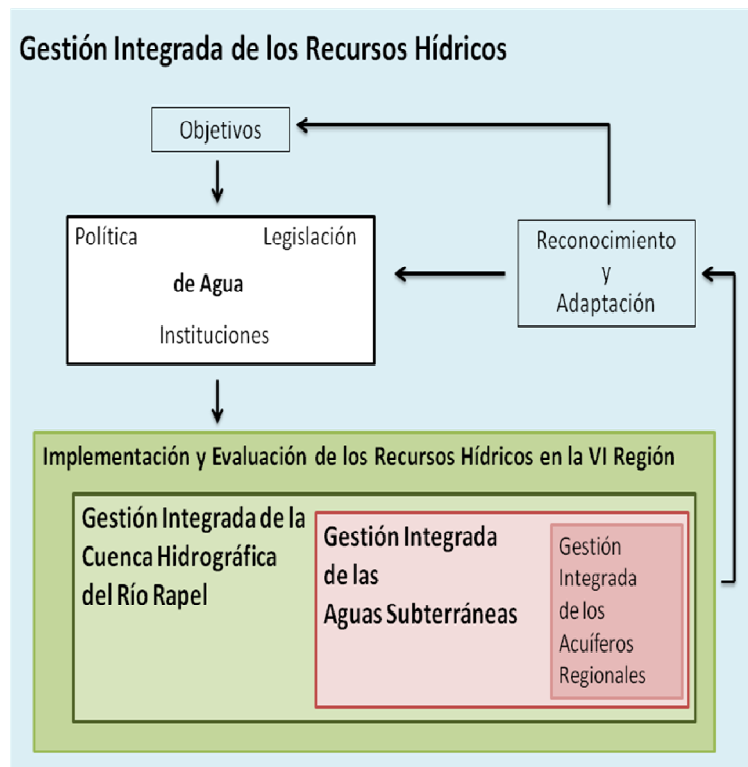


Figura 12: Gestión de las aguas subterráneas, integrada al concepto general de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos [modificado de Davis 2007]

Aunque las aguas superficiales y subterráneas pertenecen al mismo ciclo hidrológico y ambas necesitan una gestión integrada, es necesario establecer el grado de importancia y protección de cada una, teniendo en cuenta su propia singularidad (Figura 12).

Es importante tomar en cuenta que en la gestión a nivel de cuencas hidrográficas es necesario considerar la gestión a nivel de acuífero para optimizar la gestión del agua subterránea. Los acuíferos representan unidades de transmisión y almacenamiento de agua que por sus propiedades pueden ser utilizados para captación de agua por medio de pozos y otros tipos de aprovechamientos. Algunos de ellas están en contacto con otros acuíferos, mientras que otros solo están en contacto con materiales geológicos de menor permeabilidad que no se pueden

considerar como acuíferos. Por su singularidad en las características de materiales geológicos, tasas de recarga y extracción, etc., cada acuífero necesita su propio plan de gestión. Por lo tanto es necesario conseguir información sobre cada acuífero en una cuenca, especialmente cuando se considera un acuífero transfronterizo, y ajustar el plan de gestión a ello. Estos planes de gestión de acuíferos constituirán parte de un plan de gestión integral de la cuenca.

La gestión del agua (subterránea) en Chile con sus problemáticas y posibles soluciones hacia un manejo sostenible se presenta en el siguiente subcapítulo.

## 6.2. *Propuestas para una gestión sostenible de las aguas subterráneas en la cuenca Rapel, Chile*

Debido a problemas que se han identificado recientemente en la región de interés se considera necesario proponer diferentes alternativas de solución posibles dirigidas destinado a una gestión sostenible del agua subterránea. Para eso se realizó un análisis de los problemas actuales en la gestión del recurso, para después proponer soluciones concretas. Se diferencia entre el sector técnico, organizacional y legal (Figura 13).



Figura 13: Sectores analizados en la gestión del recurso hídrico subterráneo [elaboración propia]

### 6.2.1. Problemática en la gestión

Los siguientes aspectos se consideraron como problemas actuales e importantes que precisan solución en un futuro cercano.

#### 1. Problemas técnicos

Las problemáticas técnicas se dividen en, a) la incertidumbre de la disponibilidad del agua, b) la degradación de la calidad del agua subterránea y c) una red de monitoreo deficiente.

### a) Incertidumbre de la disponibilidad hídrica

Según el catastro de derechos de aprovechamiento de aguas de la DGA, los derechos en aguas subterráneas de la cuenca Rapel son de aproximadamente 99% consuntivos [DGA 2009b].

**Cuadro 6: Disponibilidad hídrica de los acuíferos en la cuenca Rapel [DGA 2009b, DGA 2006]**

Subcuenca	Acuífero	Volumen total m <sup>3</sup> /año	Volumen sustentable m <sup>3</sup> /año	Volumen utilizado m <sup>3</sup> /año	% del Vol. util. del Vol. tot.	% del Vol. util. del Vol. sus.
Alhué	Borde del Embalse Rapel	6.701.400	5.361.120	1.716.820	26	32
	Estero Las Palmas	23.454.900	18.763.920	3.111.909	13	17
	Estero Alhué	34.689.600	27.751.680	75.296.961	217	271
Cachapoal	Doñihue-Coínco-Coltauco	34.295.400	27.436.320	19.604.068	57	71
	Graneros-Rancagua	61.889.400	49.511.520	53.591.690	87	108
	Olivar	22.075.200	17.660.160	19.788.536	90	112
	Pelequén-Malloa-San Vicente de Tagua Tagua	40.208.400	32.166.720	37.323.871	93	116
	Peumo-Pichidegua-Las Cabras	55.503.360	44.402.688	35.962.853	65	81
	Requínoa-Rosario-Rengo-Quinta de Tilcoco	66.619.800	53.295.840	72.140.080	108	135
	Laguna San Vicente	20.498.400	16.398.720	9.791.484	48	60
Tinguiririca	San Fernando	65.334.300	52.507.440	21.505.503	33	41
	Chimbarongo	32.639.760	26.111.808	15.800.317	48	61
	Tinguiririca Inferior	88.497.900	70.798.320	63.573.100	72	90
	Tinguiririca Superior	110.809.620	88.647.696	78.399.565	71	88

Cuadro 6 muestra los caudales anuales del volumen sustentable y total (definición en 3.2.3.), y los caudales otorgados (volumen utilizado) a los usuarios hasta noviembre 2009, pero no incluye los solicitados que están en trámite o ya se dieron desde entonces. Con esos datos se calcularon los porcentajes utilizados del volumen total y sustentable. En los acuíferos Alhué y Requínoa se está utilizando más del 100% del volumen total, y en los acuíferos Graneros, Olivar y Pelequén se agotó el volumen sustentable [DGA 2009b].

Un acuífero se considera como área restringida en el momento que se agota el volumen sustentable. Los criterios de sustentabilidad de cierres de acuíferos de los acuíferos abiertos (con disponibilidad de derechos) quiere decir, que no se otorgan más derechos de agua, son: 1. Una estabilización de los niveles de agua subterránea, respaldada por recarga suficiente, en un tiempo de 50 años; 2. Una evaluación de la interacción entre aguas superficiales y

subterráneas que de acuerdo con las condiciones hidrogeológicas se considere mínima, quiere decir que no afecta a los recursos superficiales ya comprometidos; 3. El aumento de extracciones desde un sector, no tiene ningun efecto a la disponibilidad sustentable de otro sector aguas abajo [DGA 2006b].

En noviembre del 2009 para cinco de los 14 acuíferos ya fueron entregados todos los derechos permanentes disponibles (acuíferos cerrados): Estero Alhué, Graneros-Rancagua, Pelequén, Tinguiririca superior, Tinguiririca inferior. Los acuíferos Estero Alhué y Requínoa demuestran un valor alto de su utilización y en los dos casos tampoco hay disponibilidad de derechos provisionales, mejor dicho se entregaron derechos de agua que equivalen a un volumen de agua mayor que el establecido para la disponibilidad del acuífero. En relación a toda la cuenca Rapel, el volumen sustentable de 530.813.952 m<sup>3</sup>/año está agotado con un volumen utilizado de 643.970.060 m<sup>3</sup>/año, y solamente quedan 3% del volumen total de 663.517.440 m<sup>3</sup>/año para derechos provisionales [DGA 2009b].

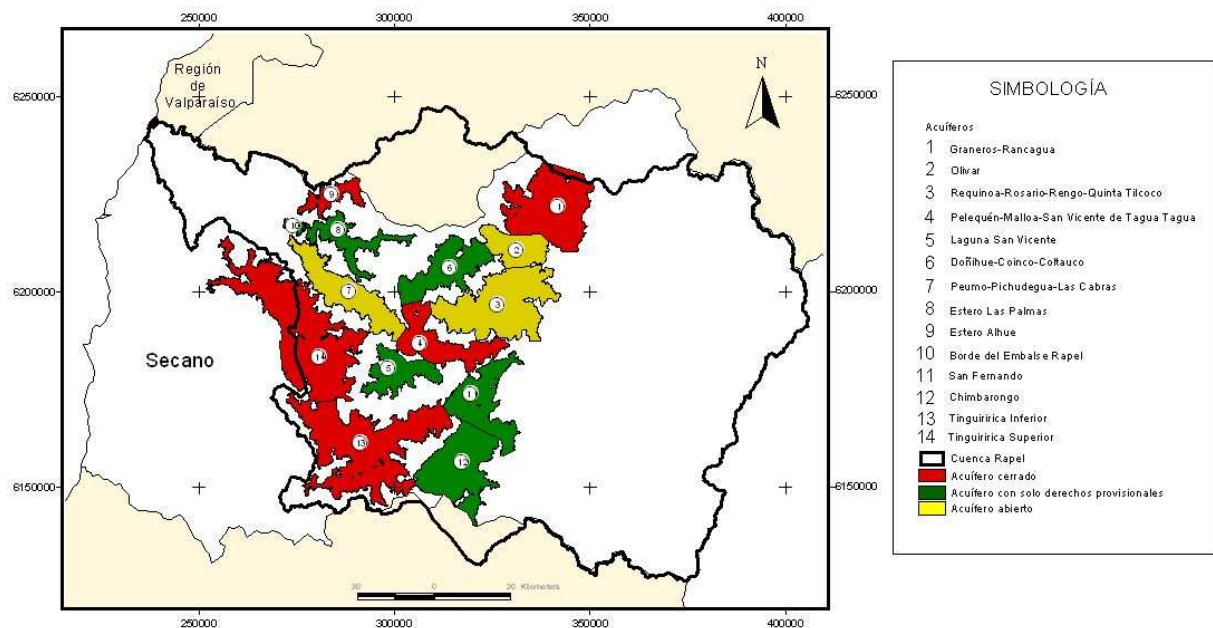


Figura 14: Mapa de los estados de los acuíferos en la cuenca Rapel, Chile [DGA 2009b]



Considerando también los caudales solicitados se puede concluir el estado de los acuíferos, según seis acuíferos ya están cerrados y no obtienen más la disponibilidad de derechos. En tres acuíferos todavía existe la disponibilidad de derechos provisionales (Figura 14, Cuadro 7).

**Cuadro 7: El estado de los acuíferos en la cuenca Rapel, Chile [DGA 2009b]**

<b>Sub-cuenca superficial</b>	<b>Aquífero</b>	<b>Estado</b>
Alhué	Borde del Embalse Rapel	Disponibilidad de derechos permanentes y provisionales
	Doñihue-Coínco-Coltauco	Disponibilidad de derechos permanentes y provisionales
	Estero Alhué	Sin disponibilidad de derechos
Cachapoal	Estero Las Palmas	Disponibilidad de derechos permanentes y provisionales
	Graneros-Rancagua	Sin disponibilidad de derechos
	Olivar	Disponibilidad de derechos provisionales
	Pelequén-Malloa-San Vicente de Tagua Tagua	Sin disponibilidad de derechos
	Peumo-Pichidegua-Las Cabras	Disponibilidad de derechos provisionales
	Requínoa-Rosario-Rengo-Quinta de Tilcoco	Disponibilidad de derechos provisionales
	Laguna San Vicente	Disponibilidad de derechos permanentes y provisionales
Tinguiririca	San Fernando	Disponibilidad de derechos permanentes y provisionales
	Chimbarongo	Disponibilidad de derechos permanentes y provisionales
	Tinguiririca Inferior	Sin disponibilidad de derechos
	Tinguiririca Superior	Sin disponibilidad de derechos

El control de extracción de pozos es insuficiente por la falta de medidores totalizadores de flujo instalados en los pozos y por la educación que tienen los usuarios en cuanto a respetar los caudales concesionados. Solamente industrias grandes cuentan con medidores totalizadores de flujo, pero en la gran mayoría de los pozos no están instalados, por lo que no se sabe la cantidad real que se extrae de ellos [Antileo 2010].

## **b) Degradación de la calidad del agua subterránea**

El Gobierno chileno describe en un análisis de diferentes programas de monitoreo entre los años 1980 a 2003 la calidad de aguas superficiales en la VI Región. El uso intensivo de la agricultura y la minería son los factores principales que ocasionan problemas en la calidad del agua subterránea, además de que son los mayores consumidores en esta región. Por la distribución de las corrientes superficiales, es común que las aguas residuales de las industrias mineras descarguen directamente en ríos, canales y otras aguas superficiales que se utilizan – entre otras - para el riego de agricultura [Gobierno de Chile 2004].

La VI Región de Chile muestra concentraciones altas de metales en las aguas superficiales, fenómeno que se atribuye a impactos de tipo natural y antropogénico. Para entender la distribución de los contaminantes es importante observar en primera instancia la ubicación de las fuentes de contaminación, la distribución topográfica de los sistemas hidrológicos superficiales y subterráneos, así como sus corrientes y la distribución de los materiales geológicos. Las regiones más altas están dominadas por aguas superficiales pero hacia la costa las aguas subterráneas alimentan a las aguas superficiales [Gobierno de Chile 2004].

Es muy frecuente la contaminación de las aguas locales debido a procesos de minería, los drenajes del agua minera, drenajes difusos del segundo lavado de minerales, lixiviación de vertederos de materiales mineros, contaminación difusa causada por actividades industriales, aplicación de fertilizantes y pesticidas y contaminación difusa causada por la ganadería. Las contaminaciones naturales son causadas por caracterizaciones geomorfológicas [Gobierno de Chile 2004, CONAF et al. 2009].

La presencia de la mina denominada El Teniente en la subcuenca del río Cachapoal, constituye un factor principal en el efecto de la calidad de la cuenca (superficial) Rapel, porque las actividades relacionadas con la extracción y beneficio del mineral, liberan grandes cantidades de metales en solución, que irreversiblemente seguirá afectando las aguas y suelos locales [Gobierno de Chile 2004].

La calidad natural hídrica superficial de la cuenca Rapel muestra influencias reducidas de metales hacia el sur, que se puede explicar por la distribución espacial de las franjas metalogénicas existentes en el país. La diferencia es muy significativa entre el acuífero Cachapoal (elevadas concentraciones de metales) y el Tinguiririca que por lo contrario es un río con una concentración muy inferior de metales, lo que es un fenómeno muy común de

todas las cuencas en esta latitud hacia el sur. La calidad natural se caracteriza por la presencia de cobre, aluminio, manganeso y molibdeno en casi todas las corrientes de la cuenca [Gobierno de Chile 2004].

Los valores altos de coliformes fecales y los sólidos suspendidos encontrados se presentan en las aguas provenientes de los líquidos residuales de asentamientos urbanos, industrias y agricultura [Gobierno de Chile 2004].

A partir de la infiltración de aguas superficiales contaminadas, las sustancias pueden incorporarse al agua subterránea. La presencia de agua contaminada que posteriormente es consumida por el ser humano, puede provocar enfermedades graves, como por ejemplo el nitrato que en concentraciones superiores de la norma a largo plazo se asocia con la generación de cáncer [Gobierno de Chile 2004, CONAMA 2009i].

Aun no existe suficiente conciencia sobre la importancia que posee una gestión adecuada de las aguas subterráneas y de lo que ello involucra en términos de usos del territorio. La calidad de las aguas subterráneas no ha sido abordada de forma integrada por ningún servicio en especial. En el tema de la calidad de aguas subterráneas para consumo humano, las empresas sanitarias en los sectores urbanos y los Comités de Agua Potable Rural realizan mediciones mensuales y anuales de los parámetros de la norma NCh 409/05. De las estadísticas del grado de cumplimiento de dicha norma de calidad del agua para consumo humano no existe información oficial publicada [CONAMA 2009k].

Una evaluación realizada en 1990 por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) arrojó que de 395 servicios de agua potable entre las regiones I y XII, en 102 localidades había problemas con la calidad del agua subterránea. De ellas, 45 presentaban compuestos nitrogenados (nitrato, nitrito); en 40 había niveles de hierro superiores al límite permisible, en la mayoría de los casos en conjunto con manganeso, y en 17 se detectaron problemas diversos, por lo general sólidos disueltos, cloruros y magnesio [CONAMA 2003].

En la cuenca Rapel se ha identificado un importante impacto a las aguas subterráneas por nitratos derivados de residuos provenientes de la actividad porcina. Por el aumento del consumo interno y las exportaciones, el mercado nacional de carne de cerdo ha crecido en los últimos años. La industria porcina genera grandes volúmenes de residuos sólidos y líquidos concentrados (purinas) y provocan graves problemas en el suelo y agua, ya que son

directamente aplicados en el campo como fertilizantes. Puntualmente en la cuenca, cercano a las aplicaciones de purinas, las concentraciones de nitratos superan la norma de agua potable sobre todo en verano y primavera, después que los suelos han sido lavados por la lluvia de invierno [CONAMA 2009i, SEIA 2006].

Las concentraciones de zinc y cobre en las aguas subterráneas en general en la cuenca son bajas, pero son altas las concentraciones de hierro y manganeso de origen geogénico, sobre todo en la parte costera [CONAMA 2009i, Beltran 2010, Alvarez 2010].

Con la finalidad de cumplir con las normas establecidas, la totalidad del agua subterránea utilizada para distribuir a la población en la VI Región está tratada. Tratamientos con permanganoso están realizados en las zonas costeras, donde se encuentran altas concentraciones de hierro y manganeso. Por razones de atractividad y la expectativa social de un “agua limpia” la turbiedad del agua subterránea está tratada con métodos electrostáticos, y valores bacteriológicos mediante la adición de cloro [SEIA 2006, Alvarez 2010].

Como el estudio de vulnerabilidad de la CONAMA en 2003 se ha realizado en base a información existente, recopilada de los archivos públicos relevantes, fue posible identificar, que no se presentan en forma adecuada o no son suficientes. Para alcanzar el ideal de información necesaria para gestionar adecuadamente una cuenca, se requiere de la realización de estudios adicionales.

Considerando los problemas de calidad del agua y sus fuentes, se puede calcular el grado de vulnerabilidad de los acuíferos. El mapa de vulnerabilidad de la cuenca Rapel muestra alta vulnerabilidad en la depresión central de la cuenca, cerca de los ríos y ciudades principales, como Rancagua. Zonas de vulnerabilidad son [CONAMA 2009k]:

La vulnerabilidad se toma en cuenta limitadamente en el proceso de otorgamiento de derechos de agua.

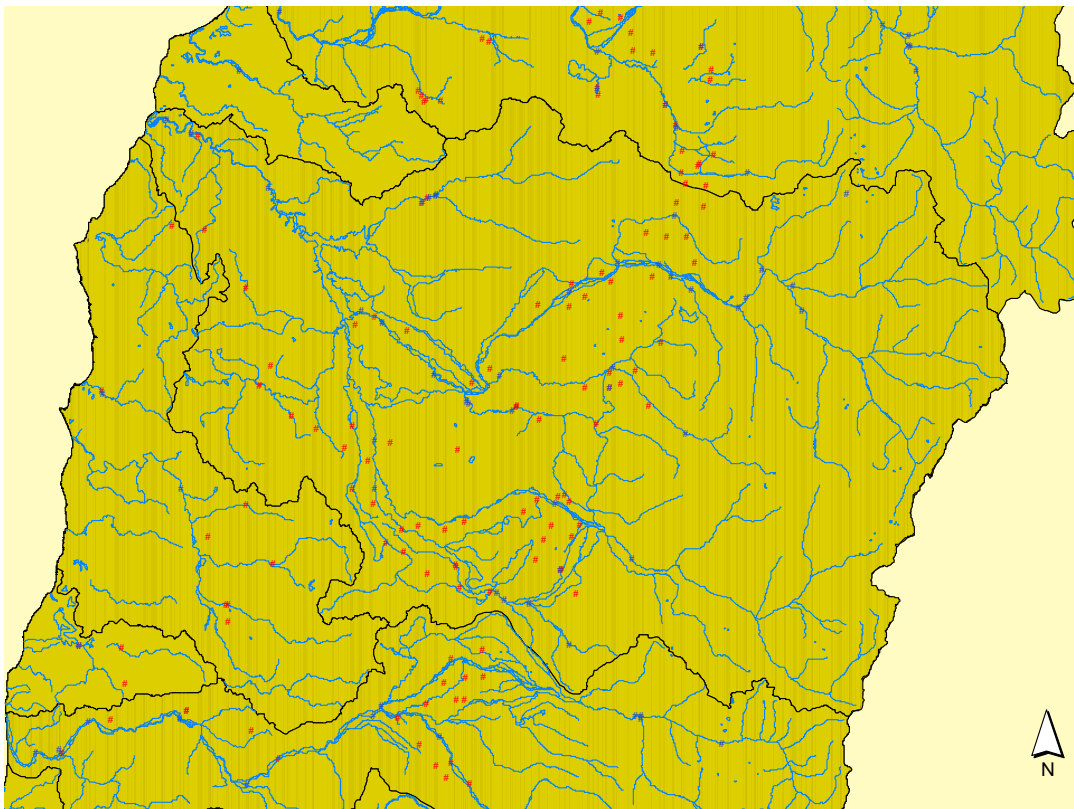
### **c) Déficit de monitoreos**

La disponibilidad hídrica subterránea es estimada por la DGA a partir de estudios, que para el caso de la cuenca de interés, cuenta con una red de estaciones de monitoreo formada por 178 puntos de observaciones de los niveles estáticos y dinámicos. Esos están implementados de

forma diferida desde el año 1960 y las mediciones de nivel se realizan a través de piezómetros (Figura 15) [CONAMA 2009k].

El análisis de la información piezométrica indica que estos datos de niveles de agua no son confiables. Es común que los pozos que se encuentran sin derecho de agua, son utilizados ilegalmente, por lo cual los valores de nivel no son reales [Hilliard 2010, Antileo 2010].

Por otro lado, con respecto a los monitoreos de calidad del agua actualmente no se cuenta con información sistemática, debido a que la calidad del agua subterránea no ha sido abordada de forma integrada por ningún servicio en especial. La DGA cuenta solamente con tres estaciones de monitoreo en la cuenca, en donde se realiza un análisis químico básico de la calidad del agua subterránea [CONAMA 2009k, Antileo 2010].



**Figura 15: Mapa de los pozos de monitoreo de la Dirección Nacional de Aguas en la cuenca Rapel, Chile (línea negra central) [Molina 2010]**

## **2. Problemas organizacionales**

Las problemáticas organizacionales se presentan en, d) la inexistencia de un Comité de Aguas Subterráneas, e) la limitada transmisión de información entre las instituciones, f) la irregularidad del Factor de Uso y g) la inadecuada conducta del Catástro Público de Agua y el déficit de su control.

### **d) Inexistencia de un Comité de Aguas Subterráneas**

El Código de Agua establece que cuando se terminó la entrega de derechos permanentes, es necesaria la formación de comunidades de aguas integradas por todos los usuarios del agua subterránea en las áreas declaradas como de restricción. Hasta ahora, aunque en algunos acuíferos se ha terminado la entrega de derechos permanentes, no se ha formado ninguna comunidad de aguas subterráneas en la cuenca y tampoco cuentan con otro organismo de gestión. Esta situación sin duda debilita la adecuada gestión del agua en la cuenca de interés.

### **e) Limitada transmisión de información entre las instituciones**

En general se puede decir que existe información suficiente, pero desafortunadamente está distribuida entre las instituciones relacionadas al uso y la gestión del agua. Por la fragmentación en las funciones sobre el agua, las distintas instituciones poseen con sus datos obtenidos y/o generados por los estudios desarrollados u otras fuentes; sin embargo, el intercambio de información entre instituciones es muy limitado.

Por otro lado, un factor adicional que agrava la problemática, está relacionado con el hecho de que los monitoreos realizados por la DGA sobre el agua subterránea en la cuenca son insuficientes, y que los datos de calidad frecuentemente obtenidos por instituciones como Essbio y sus APRs no son accesibles para otras instituciones [Alvarez 2010].

Las asesorías de las APRs locales no están obligadas de informar sobre la calidad del agua. Por lo cual ocurrió en una comunidad, que tres años los valores de nitrato del agua potable estaban superiores de la norma y no hubo el intento de transmitir la información de los análisis de calidad a los superiores, ni realizar un tratamiento [Alvarez 2010, Cantin 2010].

### **f) Irregularidad del Factor de Uso**

La DGA otorga caudales de agua en unidades de m<sup>3</sup> por año. Pero la DGA calcula, que el caudal otorgado por año no se usa en su totalidad, por lo cual implementó el concepto de un Factor de Uso, que se expresa como la relación entre el agua que realmente se utilizará con respecto al volumen total de agua otorgado por año, expresado como porcentaje. Para los diferentes usos significa eso, que en el sector de riego se estima, que se usan solamente un 25% del agua otorgada por año, para el agua potable 75%, la industria 30% y la minería 75%. Hasta el año 2005 se entregaron todos los derechos de agua tomando en cuenta el factor de uso [Libertad y Desarrollo 2010].

Un problema es que no se menciona en el escrito del derecho de agua que se estima un Factor de Uso para el volumen de agua otorgado. Entonces el propietario es informado del caudal de agua otorgado por año, pero no tiene conocimiento sobre la cantidad estimada por la DGA, que sería el volumen que se debe usar realmente.

Por esta razón, en el caso de la venta de los derechos de agua, no hay la seguridad, si solamente se usa el agua otorgado con el Factor de Uso. Por esta razón, a partir del año 2005 se decidió no considerar el Factor de Uso; sin embargo, pero hasta Junio 2010 la DGA sigue entregando (irregularmente) derechos de agua con Factor de Uso, como por ejemplo para el agua potable. Esta situación condiciona que a la fecha los registros de los derechos de agua se volvieron complicados y el cálculo sobre la cantidad del agua subterránea extraída es muy confuso [DGA 2009b].

### **g) Inadecuada conducta del Catastro Público y déficit en su control**

Después que la DGA constituye un derecho de agua, según el Código de Aguas, registra el derecho en el Catastro Público. En el caso de venta o actualización, el propietario está obligado de informar a la DGA. Muchos usuarios no cumplen con su deber, por lo cual el Catastro Público no está actualizado y no representa a todos propietarios de derechos de agua. Peor aún, es que existen muchos pozos generales, que están en uso sin que sus usuarios cuentan con un derecho de agua [Cantin 2010, Hilliard 2010].

### **3. Problemas en el marco legal**

Las problemáticas en el marco legal se presentan en h) la inexistencia de una prioridad de uso, i) la indefinida descripción de la interacción entre aguas superficiales y subterráneas, j) los problemas causados por el Pago de Patente y k) la falta de consideración de posibles cambios en el agua subterránea por terremotos.

#### **h) Inexistencia de prioridad de uso**

El Código de Aguas no posee una prioridad de uso que provoca actualmente un problema muy grande, y que probablemente se incrementará en el futuro. El aumento de demanda genera que el agua subterránea sea un bien cada vez más valioso y en algunas áreas un bien difícil de obtener. Las consecuencias son las crecientes ocurrencias de remates por derechos de agua. En esos casos, gana el que ofrece más dinero, lo que hace otorgar ventajas a industrias ricas con respecto a granjeros o pequeños empresarios.

#### **i) Indefinida descripción de la interacción entre aguas superficiales y subterráneas**

El agua subterránea está definida por el Código de Agua como agua terrestre que está oculta en el seno de la tierra. Como en el Código señalado no considera la interacción entre el agua subterránea con el agua superficial, se han generado varios problemas. Pozos someros por ejemplo, que están principalmente influidos por aguas superficiales, que se puede evaluar por sus características y respuestas a los cambios en el agua superficial cercana o lluvia, siempre son vistos como pozos de agua subterránea.

Falta en el Código de Aguas mencionar correctamente las diferencias entre las aguas superficiales y subterráneas, y considerar al mismo tiempo su unidad en el mismo ciclo hidrológico.

#### **j) Problemas causadas por el Pago de Patente**

Las crecientes demandas de agua crean impactos ambientales imprevisibles por lo que es muy importante su adecuada utilización de acuerdo con el uso al que se destina; sin embargo, hasta el año 2008 ninguna multa fue aplicada en caso del mal uso del agua. La implementación del Pago de Patente trató de mejorar esa situación implementando multas a los usuarios que no utilicen en su totalidad el volumen de agua entregado, pero generó otra clase de conflicto. Las



grandes empresas que solicitaron derechos de aguas en una cantidad mayor a que realmente utilizarían, para evitar el pago de la multa, empezaron a vender derechos de agua con las cantidades no utilizadas. La consecuencia es que ahora se está usando más agua que el volumen calculado en el momento que fue entregado el derecho principal a cada usuario. En el momento que se vendieron los derechos, el estado no tiene información sobre su futuro uso. Los estudios que se hicieron sobre los efectos a los sistemas de flujo subterráneo, considerando que los propietarios no utilizarían la totalidad de sus aguas entregadas, ahora no son válidos así como sus pronósticos, ya que se cuenta con un consumo mayor al esperado.

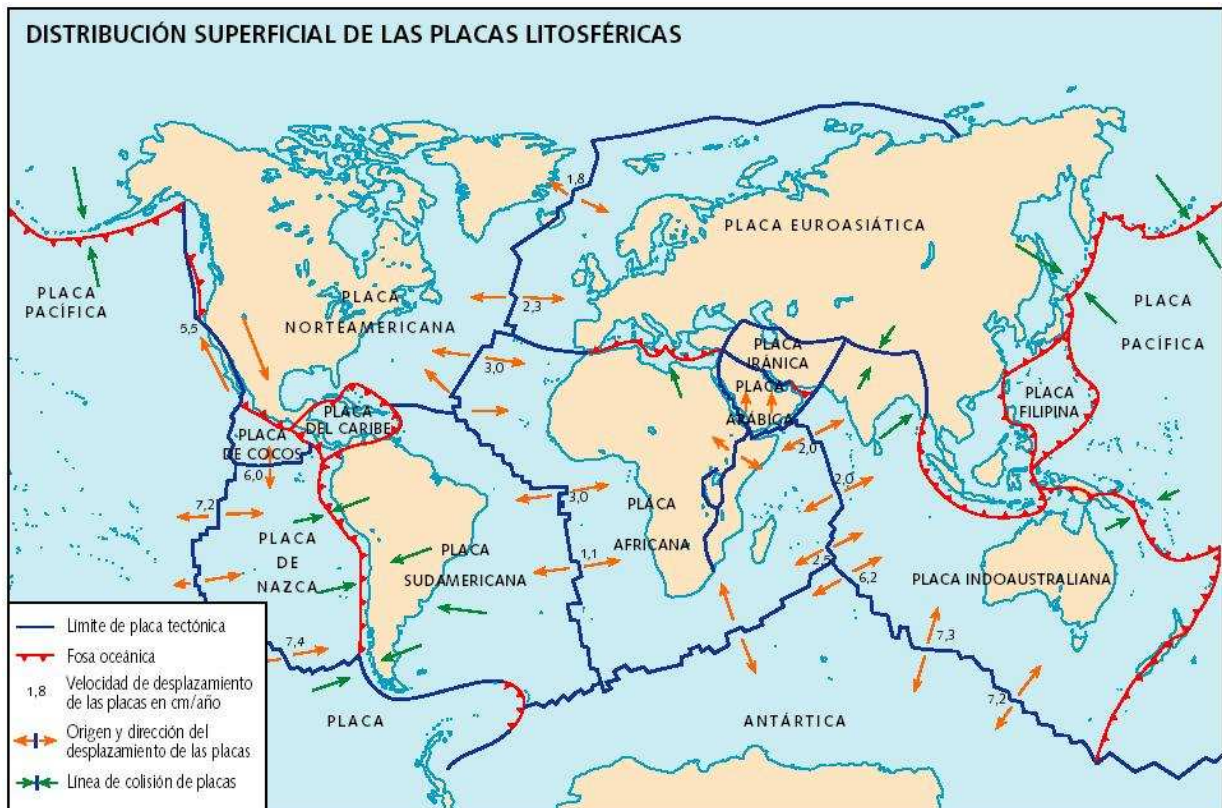
#### **k) Falta de consideración de posibles cambios en el agua subterránea por terremotos**

Uno de los mayores riesgos naturales en Chile son los terremotos, causados por características geológicas de las placas tectónicas, la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana, que chocan produciendo la subducción de la primera bajo la segunda y generando la cordillera andina del país (Figura 16). Las placas tectónicas se encuentran en movimiento y pueden causar vibraciones en la corteza terrestre lo que da lugar a los terremotos. Los peligros causados por terremotos no son solamente las vibraciones primarias sino también las réplicas, terremotos secundarios, que pueden ocurrir hasta meses después, y los tsunamis [Universidad de Chile 2007, U.S. Geological Survey 2010].

Aparte de los daños materiales y humanos también los ecosistemas y hábitat son afectados. Animales terrestres y marinos, tanto como plantas, pueden morir y perder su hábitat como ya ha pasado en terremotos anteriores, por ejemplo en Sichuan China y Alaska. También la salud humana puede estar afectada por los impactos ambientales en la agricultura, fuentes de agua y drenajes de aguas residuales [Adams 2010].

Desde 1570 se registran los terremotos en Chile y de acuerdo con la información del Servicio Sismológico de la Universidad de Chile en el siglo XX se registraron 74 terremotos con una magnitud mayor o igual a 7 en la escala de Richter. El terremoto que ocurrió en la parte central-sur del país el 27 de Febrero 2010 tuvo una magnitud de 8,8 (escala Richter), con el epicentro ubicado en el mar frente a las ciudades de Concepción y Cobquecura (Figura 17). Las regiones más afectadas fueron las de Valparaíso, Metropolitana de Santiago, Libertador General Bernardo O'Higgins, Maule, BíoBío y la Araucanía. Hasta junio del 2010 siguen las réplicas con valores de hasta 6,9 en las zonas afectadas y tsunamis que provocaron graves daños en las costas chilenas. Sobre todo las réplicas afectaron la Región de O'Higgins donde

llegaron hasta la magnitud de 6,9 [U.S. Geological Survey 2010, Universidad de Chile 2007, Oficina Nacional de Emergencia-Ministerio Interior 2010].



**Figura 16: Distribución superficial de las placas litosféricas [IES Cascales 2010]**

El nivel de agua subterránea cambia continuamente. En el caso de un terremoto, las fluctuaciones del nivel de agua dependen de sus características (intensidad, movimiento, etc.) y de las condiciones de los materiales geológicos que forman parte del acuífero y/o unidades confinantes. El agua subterránea responde tanto a terremotos con epicentros lejanos como a cercanos, como ocurre por ejemplo en el área de Florida del Sur, Estados Unidos. Varias características físicas, químicas e isotópicas del agua subterránea pueden ser afectadas como consecuencia de la actividad de los terremotos. La actividad sísmica puede inducir efectos diferentes según las particularidades geológicas e hidrogeológicas específicas de un área. Por ejemplo, los pozos en un área pueden exponer diferentes variabilidades temporales y espaciales en las propiedades hidroquímicas y termales de agua subterránea en respuesta a actividades tectónicas regionales y terremotos [Parker & Stringfield 1950, O'Neill 1951, Guangcai et al. 2005].

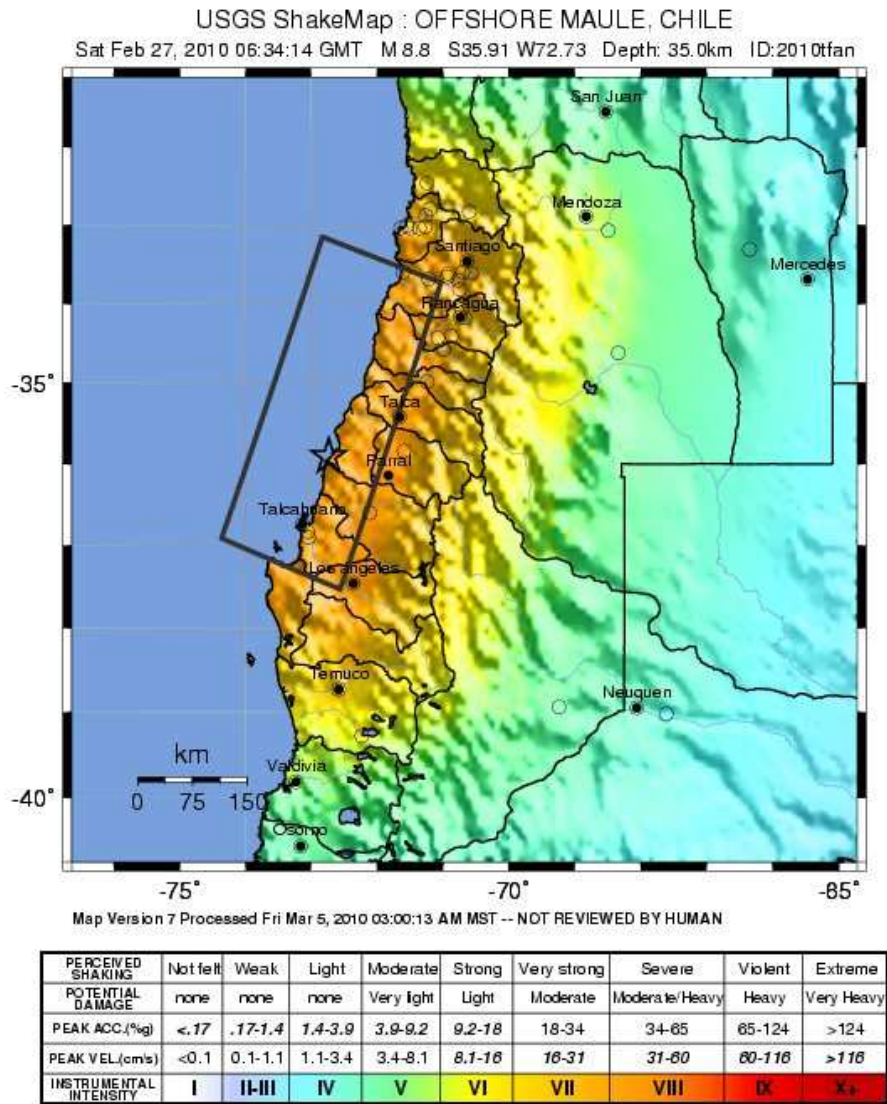


Figura 17: Epicentro del terremoto Chileno en Febrero 2010 [U.S. Geological Survey 2010]

El terremoto de febrero 2010 ocurrido en Chile y sus réplicas pueden haber afectado los niveles y la calidad del agua subterránea de la cuenca Rapel. Hasta ahora, Chile no considera en su legislación hídrica, posibles cambios hidrogeológicos por terremotos y sus consecuencias a derechos de agua [U.S. Geological Survey 2010, Universidad de Chile 2007, Oficina Nacional de Emergencia-Ministerio Interior 2010].

## 6.2.2. Propuestas

El subcapítulo de las propuestas describe posibles soluciones para las problemáticas anteriormente explicadas; ya que se pueden responder a nivel técnico, organizacional y legal.

### 1. Propuestas técnicas

Las propuestas a los problemas técnicos son, a) mejorar la eficiencia del uso, b) mejorar la calidad hídrica y c) crear una red de monitoreo.

#### a) Mejorar la eficiencia del uso

Hay tres opciones como se podría mejorar la eficiencia del uso del agua subterránea:

##### A: Terminar la entrega de derechos provisionales

Es muy importante que en la cuenca Rapel se termine la entrega de los derechos provisionales. El cálculo del volumen total con la suma de un 25% al volumen sustentable, es muy dudoso e irreal, y no es sostenible a largo plazo. Aplicando significa eso que se tendrían que cerrar los acuíferos Olivar y Peumo, y que los acuíferos abiertos solamente pueden otorgar derechos hasta que se agota el volumen sustentable del acuífero.

##### B: Pagar para la devolución de derechos de agua, compra estatal de derechos de agua

Los dos acuíferos Alhué y Requínoa están sujetos a una extracción intensiva, ya que se entregaron más caudales que lo disponible; esta situación muy probablemente generará, a largo plazo, impactos ambientales no deseados como la reducción de los niveles del agua en los pozos y cambios en la calidad del agua. Una vez que los niveles de agua disminuyan notablemente en un acuífero, no se pueden recuperar, ya que generalmente se producen cambios en sus características geológicas. Una solución podría ser que el Estado compre a los propietarios de estos dos acuíferos los derechos de agua, el volumen de agua necesario para recuperar por lo menos el volumen total y disminuir las extracciones efectivas del agua subterránea.

##### C: Utilización de aguas grises

En el contexto del Convenio de Colaboración establecido entre el Programa País de Eficiencia Energética y la CONAMA en el 2007, se realizó un proyecto sobre la utilización de las aguas grises de lavamanos, en establecimientos educacionales. El agua gris o también llamada agua

servida no cloacal, es aquella resultante del lavado de manos, duchas y lavaplatos. Con un sistema de filtración por membranas o arenas, se pueden reducir las concentraciones de jabones, grasas y detergentes biodegradables en el agua. Después de la filtración se almacenan las aguas grises en estanques para poder utilizarlas en un sistema regadío por aspersión o por goteo para regar plantas y áreas verdes en los colegios, liceos y escuelas. El costo se determina por los materiales para la construcción del sistema de recuperación de aguas de \$ 1.017.053, instalación del sistema de recuperación de aguas de \$ 150.000 y la coordinación técnica de \$ 420.000. Adicionalmente si se tiene que implementar la reforestación se necesitan para sus materiales \$ 345.100. Más un 10% del monto de provisión por gastos no previstos se estima un costo total de \$ 2.125.383 [Gobierno de Chile 2007].

La idea que se da con ese estudio es implementar filtros en los caños del lavamanos, las duchas y los lavaplatos, almacenar el agua gris en estanques y construir un sistema que el agua se usa para el riego doméstico y sobre todo para el baño.

#### **b) Mejorar la calidad del agua**

El reconocimiento de áreas con valores de distinta vulnerabilidad implica que necesariamente debe existir en el futuro un grado de compromiso entre el uso que se pretende dar a dicha área y la gestión del agua subterránea.

##### A: Pago de Contaminación

Una solución puede ser que las empresas e industrias que producen contaminantes, pagan cierto dinero por la cantidad y calidad de sus aguas residuales que descargan en cuerpos de agua superficiales o subterráneos.

##### B: Prohibir descarga directa a acuíferos

Es necesario que sin menoscabo de la calidad del agua subterránea, se evite completamente la descarga directa de aguas residuales a los sistemas de flujo subterráneo, con lo se limita el incremento de la cantidad de agua de mala calidad.

##### C: Considerar vulnerabilidad de los acuíferos

Se debe contar con mecanismos de evaluación, que consideran metodologías robustas, simples, de bajo grado de refinamiento y lo más generalizadas posibles, para elaborar la cartografía de la vulnerabilidad de los acuíferos. En el proceso de otorgamiento de derechos



de agua y la construcción de plantas industriales, asentamientos urbanos o actividades agrícolas, se tiene que considerar la vulnerabilidad de los acuíferos como un factor limitante, lo que permitiría controlar el aumento de los problemas de calidad del agua subterránea.

### **c) Crear una red de monitoreo**

La información sobre el agua no es satisfactorio actualmente, por lo cual es necesario un plan general para la investigación y una modernización de redes de monitoreo. La implementación de redes de monitoreos confiables sobre la cantidad y calidad del agua subterránea es imprescindible para una gestión sostenible. La CONAMA está trabajando en este asunto y quiere crear una red de 25 estaciones de monitoreo en la cuenca, sobre la calidad del agua. Sería importante ver la necesidad de observar junto con la calidad también la cantidad del recurso, ya que las dos características son esenciales para una adecuada gestión. Para la investigación del nivel del agua subterránea, para obtener el valor real del nivel estático, es necesario utilizar pozos de observación que no tengan equipo de bombeo instalado y funcionando.

## **2. Propuestas organizacionales**

Propuestas organizacionales a las problemáticas pueden ser, d) la implementación del Comité de Aguas Subterráneas en la Juntas de Vigilancia, e) crear una base de datos compartida y accesible, f) regular el Factor de Uso y g) actualizar y controlar el Catastro Público.

### **d) Implementar Comité de Aguas Subterráneas en Juntas de Vigilancia**

Como ha sido señalado en el Código de Aguas del 1981, para el control del uso del agua se tiene que poner en acción la implementación de Comités del Agua Subterránea en las Juntas de Vigilancia. Dichos Comités necesariamente tendrían que estar organizados por acuíferos. Aunque sus oficinas pertenecen a Juntas de Vigilancia que están organizadas por características hidrológicas superficiales, es importante que la gestión del agua subterránea sea a nivel de acuíferos. Una gran ayuda para eso sería la base de datos compartida.

### **e) Crear base de datos compartida y accesible**

Es necesario implementar una base de datos, donde la información de monitoreos, análisis y otros estudios de todas las instituciones relevantes en la gestión del agua esté compartida y sea accesible para cada una de ellos.

### **f) Regular el Factor de Uso**

Es importante que el Factor de Uso se regula claramente. Para eso hay dos posibles soluciones:

#### A: Desarticular de inmediato el Factor de Uso

De acuerdo con la reglamentación vigente, a partir del 2005 no se debe utilizar más el factor de uso; sin embargo hasta ahora en algunos casos se mantiene, como por ejemplo para el agua potable. Es necesario ser consecuente en la desarticulación para todos los usos del agua subterránea.

#### B: Mencionar en cada derecho de agua el Factor de Uso utilizado

Otra opción sería acentuar claramente en el documento del derecho de agua, cuál es la cantidad de agua que se calculó que se utilizaría realmente. Así el propietario estaría conciente del Factor de Uso que se utilizó de acuerdo con su derecho de agua y sabe claramente que cantidad puede usar.

### **g) Actualizar y controlar el Catastro Público**

Una forma de mejorar la actualización del Catastro Público es implementar un decreto, que obligue a cada usuario a actualizar su derecho de agua cada cierto tiempo (por ejemplo cada 5 años). En el caso que un propietario no cumple con su deber se podrían implementar multas.

## **3. Propuestas en el marco legal**

En el ámbito legal las propuestas están relacionadas principalmente con modificaciones al Código de Aguas, como, h) incorporar prioridad de uso, i) actualizar la definición del agua subterránea y su interacción con el recurso superficial, j) limitar la vigencia de derechos de agua y k) incorporar posibles cambios en el recurso hídrico subterráneo por terremotos.

### **h) Incorporar Prioridad de Uso**

Según lo descrito en la problemática, tanto en situación de precipitación menor a la media anual como en condiciones promedio, el mecanismo actual de protección para el agua que se destinará para consumo humano y prioritadamente para otros usos es muy limitado. Por lo anterior, es necesario implementar en el Código de Aguas prioridades en el uso del agua para asegurar el abastecimiento de agua a la comunidad, ya que la extracción para el desarrollo económico (uso industrial) muestra tendencias crecientes. Un ejemplo reciente de esta problemática es el caso de los remates de agua, en los cuales la comunidad queda en desventaja por su poder adquisitivo frente a una empresa.

### **i) Actualizar la definición de aguas subterráneas y sus interacciones con el recurso hídrico superficial**

Es importante mencionar correctamente las diferencias entre las aguas superficiales y subterráneas y considerar al mismo tiempo su unidad y relación dentro del ciclo hidrológico.

### **j) Limitar la vigencia de derechos de aguas**

La vigencia de los derechos tendría que estar acotada a una cierta duración, con posibilidad de renovación por solicitud. Es necesario que al implementar esta medida, se genere una fuerte fiscalización y clausura de los puntos de captación, y así lograr un mayor control sobre la extracción y utilización del agua.

### **k) Incorporar efecto por terremotos**

La gestión de los recursos hídricos subterráneos tiene que ser flexible y ajustada a los cambios por fenómenos naturales. Se precisa incorporar al Código de Aguas una regulación específica para el caso de ocurrencia de terremotos. La cuenca Rapel ha experimentado cambios en el agua subterránea por terremotos y es necesario tomar medidas antes de su ocurrencia.



### 6.3. Comparación de la gestión de aguas (subterráneas) entre Uruguay y Chile

Este capítulo presenta la comparación de los instrumentos de gestión de aguas subterráneas entre dos países de América del Sur, la República de Chile y la República Oriental del Uruguay (Figura 18).



Figura 18: Ubicación geográfica de los países analizados, Chile y Uruguay

#### 6.3.1. República Oriental del Uruguay

En primer lugar se describe la República Oriental del Uruguay y sus condiciones hidrogeológicas generales.

##### Datos generales

La República Oriental del Uruguay está localizada en América del Sur entre Brasil y Argentina con una extensión de 176.215 km<sup>2</sup> (175.015 km<sup>2</sup> tierra, 1.200 km<sup>2</sup> agua) y está dividida en 19 departamentos. Su población es de 3.494.382 (Julio 2009) y la mayoría está localizada en la capital, Montevideo [Banco Mundial 2010].

El suelo es llano con pequeños cerros, cuyo punto más alto es el Cerro Catedral con 514 msnm. El clima es caliente templado. Los recursos naturales del país lo constituyen su tierra fértil, la hidroelectricidad, algunos minerales y la pesca [Universidad de la República 2010].

La economía del Uruguay está caracterizada por un sector agrícola orientado a la exportación, una población instruída, y niveles altos de gastos sociales. Después de un promedio de crecimiento anual del 5% durante 1996-98 y la economía sufrió un descenso producido principalmente por los efectos de la crisis económica de sus vecinos Argentina y Brasil durante 1999-2002. El PBI cayó en cuatro años casi un 20% y el 2002 fue el peor año. El crecimiento económico del Uruguay continuó a un promedio anual del 8% en el período 2004-08 y se redujo al 0,6% en 2009 debido a la crisis mundial. Las políticas fiscales y monetarias aplicadas impidieron que Uruguay entrara en recesión [Banco Mundial 2010].

Entre las catástrofes naturales que se pueden presentar en el país, se mencionan las relacionadas con vientos fuertes estacionales (el pampero es un viento frío violento y ocasional que viene desde el norte de la Pampa Argentina), otras son sequías e inundaciones. Debido a la ausencia de montañas que actúan como barreras meteorológicas, todos los lugares son vulnerables a los cambios rápidos de los frentes meteorológicos. Los eventos climáticos fuertes que afectan puntualmente las aguas subterráneas en el país son las sequías. Los sectores más afectados por sequías son el agropecuario y el energético [Universidad de la República 2010, Silveira 2010b, de los Santos 2010].

### **Uso de suelo**

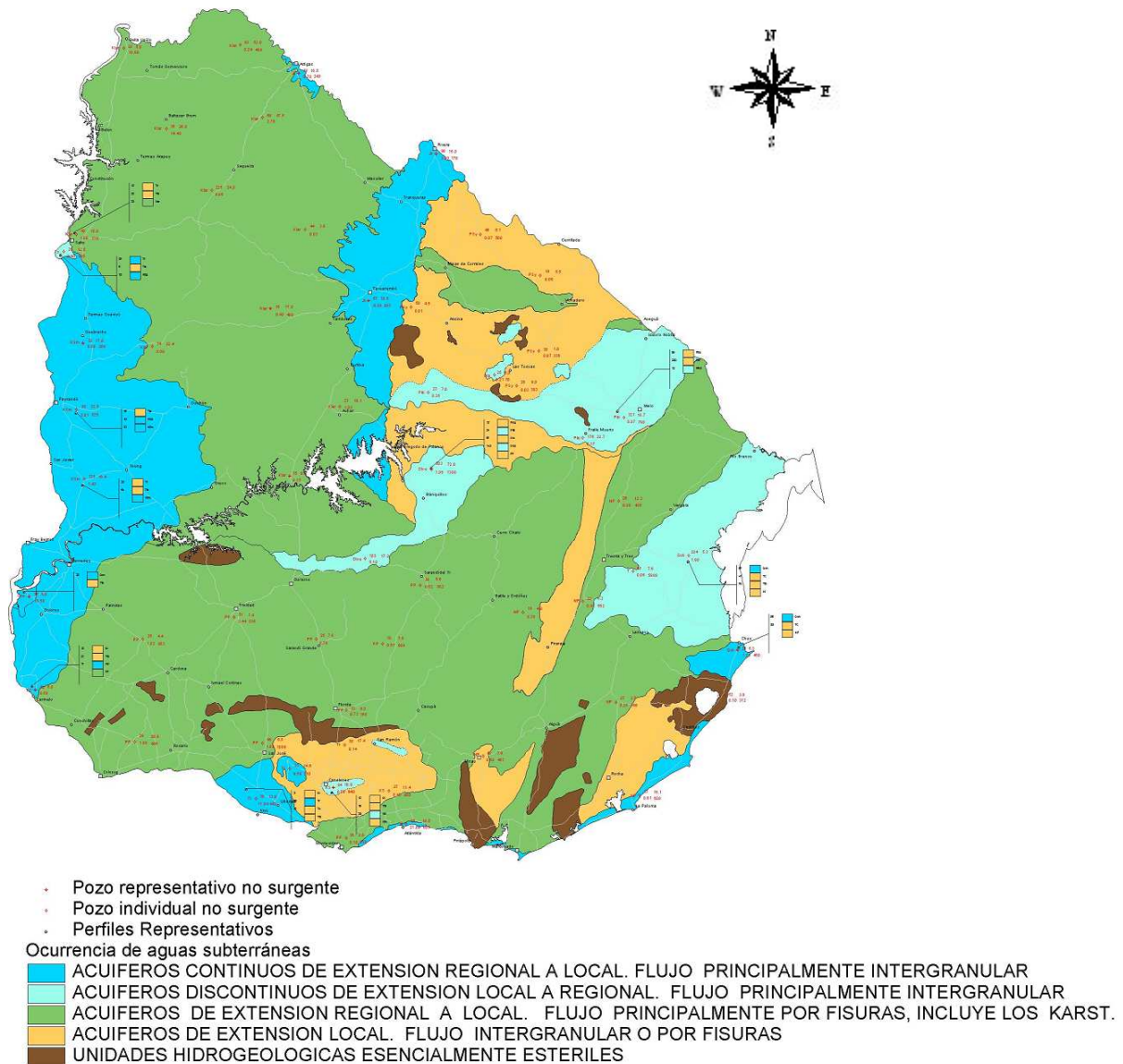
Para el año 2000 la distribución de actividades de acuerdo con el uso de suelo son por 84% ganadería, 7,6% agricultura y por 8,4% otras actividades. Los productos agrícolas son arroz, trigo, soja, cebada, ganado, carne de vaca, pescado y la silvicultura. Una actividad que se desarrolló en la década de los 1980's fue la forestación industrial. Del año 1990 aumentaron las plantaciones con *Eucalyptus* y *Pinus*, en sustitución de pasturas naturales para uso ganadero, de una expansión 45.000 ha a 1.000.000 ha en 2009. Las empresas principales que indican forestaciones son de países norteamericanos y europeos y los usos principalmente para papel o para aserradero [Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca 2010, Silveira 2010].

### **El agua subterránea**

El 60-70% de los acuíferos en Uruguay son fisurados con porosidad secundaria. En el norte se encuentran acuíferos, que se desarrollan en roca basáltica, donde el agua se acumula y circula principalmente en fracturas, y en el sur acuíferos en rocas graníticas. Los acuíferos fisurados

tienen indicadores muy variables dependiendo de la forma de flujo subterráneo que se presenta por el tipo de fracturamiento que tiene la roca. El resto son acuíferos en medios porosos de diversa categoría en función a su porosidad y almacenamiento. Se desarrollan sobre todo en el oeste, en la zona sur en las áreas costeras, y en algunas de las zonas del noreste del Uruguay (Figura 19) [Decoud 2010, Montaña 2010].

En Uruguay existen cuatro acuíferos básicos con diferentes grados de importancia. En el noreste el acuífero Guaraní que llega a profundidades en algunos lugares de aproximadamente 1000 m y que se extiende también a los países de Argentina, Brasil y Paraguay. En el noroeste del Uruguay se encuentra el acuífero Salto con profundidades de captación de aproximadamente 40 m. En el sur-oeste el acuífero Mercedes con profundidades máximas de 200 m y en el sur-central el acuífero Raigon con aproximadamente 50 m de profundidad. Además existen algunos acuíferos constituidos por materiales geológicos del Cretácico, que por su ubicación adyacente al mar pueden ser clasificados como costeros y que llegan a profundidades del orden de 100 m con caudales importantes que permiten el abastecimiento de las zonas turísticas de la costa. El acuífero de origen sedimentario del Chuy (noreste del país en la frontera con Brasil), de espesor variable y buenos potenciales de agua, tiene entre 30-60 m de profundidad de captación [Montaña 2010, de los Santos 2010, Decoud 2010].



**Figura 19: Ocurrencia de agua subterránea en Uruguay y la distribución de pozos [RENARE 2004]**

En cuanto a los acuíferos en medios porosos, hay dos acuíferos que se destacan fuertemente. El acuífero principal en importancia, por área y por cantidad de agua que puede entregar, es el acuífero Guaraní. El Guaraní ocupa en Uruguay 45.000 km<sup>2</sup> de un total de 1.200.000 km<sup>2</sup> y prácticamente el 90-95% del área (en Uruguay) está cubierto por basaltos en profundidades que van desde 50 m hasta 1.100 m. Solamente un 5% es la parte aflorante del Guaraní que va de la ciudad Rivera (norte central) hasta Paso de los Toros (Rio Negro, central). Avanzando hacia el oeste del acuífero empieza a ser cubierto por sucesivos derrames de roca basáltica. En el área del Guaraní en Uruguay se pueden encontrar profundidades entre 20-50 m en la interconexión entre la parte que aflora y hasta 1.100 m en la parte confinada, de espesor de basalto en la zona de Salto (nor-oeste). Es una cubeta inclinada y la misma roca que se

encuentra en la zona aflorante aparece a 1.100 m bajo suelo en Salto. Al estar tan cubierto por basalto las captaciones no captan el espesor total del acuífero, sobre todo en ciudades capitales del norte como Rivera, Artigas y Salto [Montaño 2010, Decoud 2010].

En segundo lugar de importancia desde el punto de vista sedimentario y en el primer lugar en la utilización, es el acuífero Raigón, que se ubica al oeste de la ciudad Montevideo. La zona es muy productora desde el punto de vista agrícola y de producción lechera muy importante e intensiva, por lo tanto la cantidad y densidad de obras de captación es muy elevada [Montaño 2010, Decoud 2010].

### **Uso de aguas subterráneas**

Para el año 2000, la distribución del consumo de agua superficial en Uruguay fue de 9% doméstico, 3% industrial, 86% agrícola y 2% de otros usos (recreativo, abrevadero de ganado, combate de incendios, etc.). La extensión de suelo bajo riego fue de 2.100 km<sup>2</sup> en el 2003. El consumo de agua dulce per capita fue estimado de 910 m<sup>3</sup> en el año 2000. Con respecto a las fuentes para el abastecimiento público, el 73% de los servicios provienen de fuentes de aguas subterráneas, 12% de aguas superficiales y 15% de ambas. El 86% del agua superficial y el 75% del agua subterránea están utilizados para cubrir el mayor uso en el sector agrícola. El segundo valor se refiere a las solicitudes de perforaciones para fines de riego en el Uruguay y no incluye pozos no registrados [DINASA 2010, Lacués 2010].

Los usuarios principales del agua subterránea son, las Obras Sanitarias del Estado (OSE) para abastecimiento público, las compañías de riego para la irrigación de maíz, las industrias, empresas turísticas para centros termales y en el sector agropecuario para el abrevadero de ganado [de los Santos 2010, Lacués 2010].

La mayoría del abastecimiento público está sustentado por aguas superficiales, sobre todo en Montevideo por el río Santa Lucía, y las capitales del interior. Como sucede en diversas regiones de Latinoamérica, el interior del país depende del agua subterránea, aunque tiene una gran oferta de aguas superficiales. En Uruguay casi el 70% del interior del país está abastecido por aguas subterráneas [Montaño 2010, República Oriental del Uruguay 1978].

Las OSE abastecen a nivel urbano a poblaciones de más de cinco mil habitantes con una cobertura de servicio de agua potable del 99%, lo que significa con una conexión domiciliar

con suministro de agua por red y de calidad, las 24 horas del día. OSE, por si en primera instancia y por el Estado después, garantiza la calidad de agua, y el servicio tiene continuidad en el tiempo (24 horas del día/365 días del año). A nivel rural la empresa tiene una cobertura entre el 97-98 % de servicio de agua potable, generando servicios de abastecimiento público colectivos, que abarcan cuatro o cinco casas, pero no responde a pedidos puntuales [Decoud 2010].

### **6.3.2. Comparación**

Con los datos del capítulo pasado se puede hacer una comparación de los instrumentos de gestión del agua subterránea (Cuadro 8), para concluir soluciones generales e internacionales en la gestión del agua a nivel global.

**Cuadro 8: Comparación de los instrumentos críticos de la gestión de aguas subterráneas entre Uruguay y Chile [elaboración propia]**

		<b>URUGUAY</b>	<b>CHILE</b>
<b>Poder Ejecutivo</b>	Instituciones regulatorias	MVOTMA: <ul style="list-style-type: none"> <li>• DINASA: Administración, cantidad de agua</li> <li>• DINAMA: Calidad de agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MOP: DGA: Administración, cantidad de agua</li> <li>• CONAMA: Coordinación, Calidad de agua</li> </ul>
	Organismos de acuíferos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Junta Asesora del Acuífero Infrabasáltico Guaraní (2003): Integrada con representantes públicos y privados</li> <li>• No hay comités de cuencas, ni asociaciones de usuarios con ingerencia directa en la gestión de aguas subterráneas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Organismo de Cuenca (Rapel, Copiapó, Baker)</li> </ul>
	Permisos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para usar aguas superficiales y aguas subterráneas se requiere permiso o concesión otorgado por la DINASA, bajo ciertas condiciones (Código de Aguas). Vigencia de 10 años.</li> <li>• Decreto 214/00: Para el Acuífero Infrabasáltico Guaraní se otorgan permisos de estudio y de extracción y uso previa audiencia pública, por plazo determinado y bajo condiciones.</li> <li>• Decreto 253/79: Permiso para vertido de efluentes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para usar aguas superficiales y aguas subterráneas se requiere permiso o concesión otorgado por la DGA, bajo ciertas condiciones (Código de Aguas). Vigencia perpetúa.</li> </ul>
	Otorgamiento y administración de permisos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Registro Público de Aguas: Se inscriben derechos de uso mediante permisos</li> <li>• Otorgamiento de licencia de perforador a empresas perforadoras</li> <li>• Control de a) cumplimiento de los permisos, b) condiciones técnicas de los perforadores por geólogo, c) sanciones en caso de contravención</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Catastro Público de Aguas: Se inscriben derechos de uso mediante permisos, en el cual no es obligatorio la inscripción</li> </ul>
	Vigilancia y control	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control preventivo por declaraciones juradas de perforadores y usuarios del agua</li> <li>• Control correctivo mediante denuncias</li> <li>• Inspecciones</li> <li>• Aplicación de multas, revocación de permisos, remoción de obras en vía judicial, previa vista al interesado en caso de incumplimiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control por multas en caso de no usar el agua, pero la DGA no tiene la facultad de caducar un derecho una vez entregado</li> <li>• Control de calidad por APR</li> <li>• Control de calidad de pozos de las APR por el Servicio de Salud</li> </ul>



		<b>URUGUAY</b>	<b>CHILE</b>
<b>Poder Legislativo</b>	<b>Dominio</b>	Art. 47 de la Constitución (2004): Las aguas superficiales, así como las subterráneas, con excepción de las pluviales, integradas en el ciclo hidrológico, constituyen un recurso unitario, subordinado al interés general, que forma parte del dominio público estatal, como dominio público hidráulico.	Art. 5 del Código de Aguas 1981: Las aguas son bienes nacionales de uso público y se otorga a los particulares el derecho de aprovechamiento de ellas en conformidad a las disposiciones del Código de Aguas.  Cap. 3, Art. 24 de la Constitución 1980: Los derechos de los particulares sobre las aguas, reconocidos o constituidos en conformidad a la ley, otorgarán a sus titulares la propiedad sobre ellos.
	<b>Legislación de aguas</b>	<p><b>LEYES:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Código de Aguas Ley 14.589 (1978): Comprende aguas superficiales y subterránea</li> <li>• Ley 15.239 (1981): Conservación de Suelos y Aguas</li> <li>• Ley 16.466 (1994): Evaluación de Impacto Ambiental</li> <li>• Ley 16.858 (1997): De Riego</li> <li>• Ley 17.234 (2000): Áreas Naturales Protegidas</li> <li>• Ley 17.283 (2000): Protección Ambiental</li> </ul> <p><b>DECRETOS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Decretos 442/70 y 128/03: Juntas Asesoras de Riego</li> <li>• Decreto 253/79: Permisos de vertido de efluentes</li> <li>• Decreto 123/99: Sanciones por contravención al Código de Aguas (multas)</li> <li>• Decreto 214/00: Plan de Gestión del Acuífero Infrabasáltico Guaraní</li> <li>• Decreto 460/03: Registro Público de Aguas</li> <li>• Decreto 86/04: Normas Técnicas de Perforación de pozos profundos</li> <li>• Decreto 335/04: Distribución de competencias en materia de aguas</li> <li>• Decreto 349/05: Evaluación de Impacto Ambiental</li> <li>• Decreto 450/06: Comisión Asesora de Aguas y Saneamiento</li> </ul> <p><b>RESOLUCIONES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 769/01: Junta Asesora del Acuífero Infrabasáltico Guaraní</li> </ul>	<p><b>LEYES:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Código de Aguas: Decreto con Fuerza de Ley 1.122 (1981): Comprende aguas superficiales y subterránea</li> <li>• Ley 20.017 (2005): Modificación del Código de Aguas</li> <li>• Ley 20.099: Otras modificaciones del Código de Aguas</li> <li>• Ley 19.300 (1994): Bases del Medio Ambiente: Incluye proyectos sobre Estudios de Impacto Ambiental, Normas de calidad ambiental, Normas de emisión</li> </ul> <p><b>DECRETOS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Decreto Supremo 90/2000: Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales</li> <li>• Decreto Supremo 46/2002: Concentraciones máximas de contaminantes permitidas en los residuos líquidos que son descargados por la fuente emisora, a través del suelo, a las zonas saturadas de los acuíferos</li> </ul> <p><b>RESOLUCIONES:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 425/2007: Normas de exploración y explotación de aguas subterráneas</li> <li>• Resolución Libre 1381/2000: Regulación de contaminantes asociados a la descarga de residuos industriales líquidos a cuerpos acuáticos superficiales continentales</li> </ul>



		<b>URUGUAY</b>	<b>CHILE</b>
<b>Política</b>		Ley 18.610 (2009): Política Nacional de Aguas	No existe
<b>Marco económico</b>	Cobranza por el uso del agua o vertido de aguas residuales	Código de Aguas contempla posibilidad de cobrar canon por agua, pero hasta el momento no se ha implementado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Código de Aguas: El derecho de aprovechamiento de agua dado por la DGA es gratuito.</li> <li>• Mercado liberal de derechos de agua</li> </ul>

## 7. DISCUSIÓN

La discusión del estudio se presenta, según los resultados, en el análisis de los desafíos en la implementación de la Gestión Integrada del Agua Subterránea, los desafíos en la implementación de las propuestas para una gestión sostenible de las aguas subterráneas en la cuenca Rapel, Chile, y el análisis de la comparación de la gestión de aguas (subterráneas) entre Uruguay y Chile.

### ***7.1. Análisis de los desafíos en la implementación de la Gestión Integrada del Agua Subterránea***

El concepto de la GIRH es una estrategia reciente que hasta la fecha no ha sido implementada con frecuencia, por lo cual su éxito no ha sido probado en los diferentes contextos de aplicación. La tendencia mundial aspira a su implementación, como es el caso de Chile. Uno de los problemas que se presenta, es la incorporación de las GIAS dentro de la GIRH, dado que está enfocada principalmente a cursos de aguas superficiales.

Por lo anterior se hace difícil la integración de los acuíferos en el concepto de cuenca, ya que un acuífero no necesariamente coincide con una cuenca superficial y por lo tanto el manejo corresponde a varios organismos de cuencas colindantes.

En general resulta difícil implementar una gestión de acuíferos en países en desarrollo, ya que, como por ejemplo en Uruguay, todavía no se realizan estrategias de gestión a nivel de cuenca. Uno de los puntos importantes de considerar en este proceso es la diferencia e interrelación entre el agua superficial y subterránea en el momento que se planea la implementación de la GIRH.

Para lograr una realización exitosa del concepto, al momento de planificar es relevante considerar las capacidades técnicas y organizativas de las instituciones involucradas (públicas como privadas). En especial los usuarios de las aguas subterráneas deberían estar representados en los organismos de cuenca a través de organizaciones, como por ejemplo comunidades de agua.

## ***7.2. Desafíos en la implementación de las propuestas para una gestión sostenible de las aguas subterráneas en la cuenca Rapel, Chile***

Las propuestas planteadas se enmarcan principalmente en base a la realización del segundo paso de la propuesta de la GIAS por la GWP, el cual es la evaluación del sistema regulatorio de los recursos hídricos subterráneos. Estas proposiciones se basan en la problemática existente en la cuenca Rapel y algunas son específicamente para la región, pero como Chile es un país unitario la mayoría son propuestas generales.

### **Sector técnico**

En primer lugar la implementación de redes de monitoreo es uno de los temas principales de un plan de gestión de aguas subterráneas, dado que entregan información muy valiosa para conocer su estado y la realización de una gestión sostenible.

Lo que se nota claramente que se necesita urgentemente, es una regulación sobre la captación del agua. El aumento de demanda, crecientes problemas de calidad y los efectos del cambio climático provocan problemas en la captación del agua necesaria.

La calidad del agua subterránea puede empeorar por ser afectada por la contaminación de las aguas superficiales, dado a la posibilidad de infiltración de los contaminantes a través del suelo. Esta situación será de forma lenta en los acuíferos de la región, ya que la mayoría se encuentra confinado bajo materiales impermeables.

En el caso de la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos estudiados en la región, se debe interpretar con una precaución. No es posible, por ejemplo, sólo en base a esta caracterización regional, tomar decisiones definitivas de localización de actividades potencialmente contaminantes. En cambio, es posible orientar estudios sobre ciertas áreas que podrían ser más aptas que otras para recibir dichas actividades o desarrollos. La perfecta definición de la vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación es un problema muy complejo y para poder predecir con exactitud los impactos a la calidad o determinar la respuesta ante eventos de contaminación, son necesarios muchos más datos que los que una orientación regional puede entregar, a pesar de la utilidad de ésta [CONAMA 2009k].

Las condiciones climáticas en el norte del país le trajeron graves problemas a la población relacionado al agotamiento del agua. Antes de llegar a ese punto crítico, se puede aprender de

las consecuencias de una gestión inadecuada como se ha trabajado en las regiones del norte. En la cuenca Rapel todavía existe la posibilidad de cambiar y garantizar la disponibilidad del agua subterránea a largo plazo. Aunque en la actualidad dos de los acuíferos en esta región están sujetos a una extracción intensiva, existe todavía para el resto la posibilidad de implementar soluciones y reacciones hacia una gestión sostenible.

### **Sector organizacional**

Una gestión sostenible e integrada necesita el respaldo de una organización estructurada y bien definida en sus funciones sobre el agua. Un paso importante es la implementación de los Comités del Agua Subterránea, para que se controle la captación y extracción, y se consiguen datos confiables en el tiempo para pronósticar y otorgar adecuadamente los derechos. Un mejoramiento de la transmisión de información inter-institucional, sin duda que constituiría un gran avance para la gestión.

### **Sector legal**

El proceso de modificación de leyes ya existentes es lento y complicado, por lo cuál es difícil lograr las propuestas recomendadas en un futuro cercano. Por esta razón, es importante empezar con propuestas concretas de modificación para garantizar la disponibilidad del recurso a largo plazo.

Finalmente, es importante destacar que luego de implementar el segundo paso de la GIAS se deberían seguir las siguientes etapas para lograr una gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos subterráneos. La próxima fase sería una evaluación y elección de las posibles opciones futuras de la gestión a través de un análisis económico. Por último se tendría que realizar un programa de implementación, donde se debería analizar la participación de los usuarios y grupos interesados, los requerimientos del monitoreo y la supervisión del plan de gestión [Garduño et al. 2006].

### 7.3. *Análisis de la comparación de la gestión de aguas (subterráneas) entre Uruguay y Chile*

Las personas e instituciones entrevistadas vinculadas con la gestión del agua subterránea en Uruguay y Chile se mostraron abiertos y dispuestos a dar información sobre su participación en la gestión de los recursos hídricos.

En el cuadro siguiente se presentan las coincidencias y diferencias en la gestión de las aguas subterráneas en los dos países analizados (Cuadro 9). Se analizaron en las temáticas del recurso hídrico, la legislación, la política, las instituciones y los usuarios.

**Cuadro 9: Coincidencias y diferencias en los instrumentos de la gestión de aguas subterráneas en Uruguay y Chile [elaboración propia]**

	<b>Coincidencias</b>	<b>Diferencias</b>
Instituciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>Existencias de organismos regulatorios generales</li> <li>Fragmentación de funciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Organización: Instituciones centralizada con organismos regionales (Chile), Instituciones centralizados (Uruguay)</li> </ul>
Legislación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Principios fundamentales de gestión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Efectividad de implementación: Falta de herramientas (Uruguay)</li> </ul>
Política		<ul style="list-style-type: none"> <li>No existe (Chile)</li> <li>Efectividad de implementación: Falta de herramientas (Uruguay)</li> <li>Mercado liberal de derechos de agua (Chile)</li> </ul>
Recursos Hídricos Subterráneos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conocimiento básico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudios científicos extendidos realizados (Chile)</li> </ul>
Sociedad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Falta de conocimiento</li> </ul>	
Usuarios		<ul style="list-style-type: none"> <li>Conflictos: No hay conflictos importantes (Uruguay), Remate de derechos de agua en caso de conflictos (Chile)</li> <li>Prioridad: Consumo humano (Uruguay), no hay prioridad (Chile)</li> <li>Posibilidades de participación en toma de decisiones sobre sus derechos de aprovechamiento (Chile)</li> </ul>

La comparación de los dos países puede concluir diferentes soluciones generales que pueden mejorar la gestión del recurso hídrico subterráneo a nivel internacional. Muchas veces el marco legislativo está suficientemente desarrollado, pero su implementación está limitada por deficiencias institucionales y carencia de recursos económicos y personales. En países en desarrollo el factor económico es muy importante, ya que es limitante para la implementación de medidas por lo cual se buscan soluciones con bajo costo con instrumentos disponibles en el país.

La gran diferencia entre los países es, que Chile tiene un mercado libre de los derechos de agua, el cual está regulado de forma limitada y los derechos de aprovechamiento de los recursos está en manos de privados. En Uruguay no existe el mercado de los derechos de aguas, pero aún así muestra características de privatización, ya que los derechos de agua están limitadamente controlados por el Estado después de su entrega. El mercado de los derechos de agua es una buena solución, pero solamente si se encuentra regulado y si se conoce detalladamente la información de los propietarios de derechos.

Aunque en los dos países existen instituciones regulatorias generales para la gestión del agua, se nota una fragmentación de sus funciones. En Chile se divide la gestión sobre cantidad y calidad a dos instituciones que no pertenecen al mismo ministerio. Aún así este país tiene la ventaja, que las instituciones están representadas en cada región. Las instituciones responsables en Uruguay están bajo de un ministerio, pero su función está muy centralizada a la capital del país, Montevideo. Para mejorar la gestión de los recursos hídricos subterráneos es importante que los aspectos de cantidad y calidad se manejen considerando su íntima relación. La gestión tendría que ser realizada por una institución o por lo menos por un ministerio a través de organismos regionales en todo el país.

Los principios fundamentales de la gestión se encuentran en un marco legal suficientemente desarrollado (con excepción de algunas leyes), pero existe una falta de capacidad en los recursos humanos y financieros, sobre todo en Uruguay, para la ejecución de la legislación. Uruguay presenta muy poca regulación y control sobre el uso de sus recursos hídricos subterráneos. El apoyo por parte del Estado en cuestiones del recurso hídrico a las instituciones es esencial para lograr una gestión adecuada.

Una desventaja grande tiene Chile por no contar con una política nacional de agua, aunque ese problema se trata de solucionar con la implementación de la Estrategia Nacional de una Gestión Integrada en Cuencas Hidrográficas. Uruguay recién hace pocos meses que público su política nacional sobre la gestión de sus recursos hídricos y todavía no cuenta con su implementación. Es importante aplicar una política sobre la gestión del recurso, que guíe el sistema de regulación con acciones concretas a una gestión sostenible.

Los usuarios en Chile tiene a través de formas organizacionales (APRs, Juntas de Vigilancia, etc.) la posibilidad de participar en la toma de decisiones sobre la gestión de sus derechos de aprovechamiento de aguas, lo que existe limitadamente en Uruguay. Uruguay todavía no

presenta conflictos entre usuarios, mientras en Chile existen conflictos, cuando se entregan los últimos derechos de agua de un acuífero o río, lo cuál se realiza a través de remates al mejor postor. Una gran ventaja de Uruguay es que tiene como prioridad de uso el consumo humano, lo que asegura el abastecimiento público a largo plazo. La prioridad de uso es un factor esencial en la gestión sostenible.

## 8. CONCLUSIÓN

En esta tesis se elaboró una propuesta para un plan integrado de gestión sobre aguas subterráneas en la cuenca Rapel, VI Región de Chile, para lograr a largo plazo su manejo sustentable. En la cuenca Rapel el agua subterránea presenta una gran importancia por ser usadas principalmente para el abastecimiento a la población, a nivel rural por casi 100% y a nivel urbano por 62%.

Las acciones realizadas para el logro de estas propuestas fueron el análisis de información disponible sobre el agua subterránea, un estudio de la gestión sobre el agua a nivel institucional, político y legal, y por último una evaluación de la participación por parte de los usuarios sobre el recurso, incluyendo la toma de decisiones en su gestión.

En países en desarrollo el factor económico es muy importante, ya que es un factor muy limitante, como se muestra en Chile y sobre todo en Uruguay. Por lo cual se buscaron soluciones con bajo costo con instrumentos disponibles en el país.

Para mejorar la gestión de los recursos hídricos subterráneos es importante que los aspectos de cantidad y calidad se manejen en consideración de su íntima relación. La gestión tiene que ser realizada por una institución o por lo menos por un ministerio a través de organismos regionales en todo el país.

El apoyo por parte del Estado en cuestiones regulatorios del recurso hídrico a las instituciones es esencial para lograr una gestión adecuada. Es importante aplicar una política sobre la gestión del recurso, que guíe el sistema de regulación con acciones concretas a una gestión sostenible.

El mercado de los derechos de agua es una solución buena, si se encuentra regulado y si la información de los propietarios de derechos es conocida, que no se refleja en Chile. La prioridad de uso es un factor esencial en la gestión sostenible para garantizar el abastecimiento público a largo plazo en caso de escasez de agua.



## 9. REFERENCIAS

- Adams, A. (2010) *The Environmental Impact of Earthquakes*. Sustainability Committee. American Public University System
- Alvarez, S. (2010) Entrevista personal: Análisis de la gestión de aguas subterráneas en la Cuenca Rapel, Chile. Entrevistado por autor. Rancagua, 19.05.10
- Antileo, E. (2010) Entrevista personal: Análisis de la gestión de aguas subterráneas en la Cuenca Rapel, Chile. Entrevistado por autor. Rancagua, 25.05.10
- Arcadis Geotécnica (2001) *Diagnóstico de Calidad del Agua del río Cachapoal*. Informe Final Etapa I.
- Banco Mundial (2010) Uruguay. [www.bancomundial.org](http://www.bancomundial.org). 20.03.2010
- Balairón, L. (2002) *Gestión de recursos hídricos*. 2ª Edición. 490 págs. Rústica. Castellano. Libro
- Beltran, M. J. (2010) Entrevista personal: Análisis de la gestión de aguas subterráneas en la Cuenca Rapel, Chile. Entrevistada por autor. Rancagua, 17.05.10
- Bauer, C. J. (2004) *Siren Song: Chilean Water Law as a Model for International Reform*. Resources for the Future. Washington, DC, USA. ISBN 1-891853-79-1
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (2009) [www.bcn.cl](http://www.bcn.cl)
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (2005) *Globaler Wandel des Wasserkreislaufes*. Bonn
- Cantin, M. (2010) Entrevista personal: Análisis de la gestión de aguas subterráneas en la Cuenca Rapel, Chile. Entrevistada por autor. Rancagua, Mayo-Junio 2010
- Clark B. T., Burkardt N., King M. D. (2005) *Watershed management and organizational dynamics: Nationwide findings and regional variation*. Environmental Management 36:297–310
- Comision Nacional del Medio Ambiente (2002) *Evaluación ambiental estratégica (EAE)*.
- Comision Nacional del Medio Ambiente (2003) *Fortalecimiento de la Componente Ambiental en los PRDU Mediante la Identificación de Prioridades Ambientales Territoriales*. Línea de Base Ambiental y definición de Prioridades Ambientales VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins. Documento interno no publicado.
- Comision Nacional del Medio Ambiente (2007) *Estrategia Nacional de Gestión Integrada de Cuencas Hidrograficas*.
- Comision Nacional del Medio Ambiente (2009a) *Estudio básico postulado al fondo de desarrollo regional Región de O'Higgins*

- Comision Nacional del Medio Ambiente (2009b) [www.conama.cl](http://www.conama.cl). 10.2009
- Comision Nacional del Medio Ambiente (2009c) *Cámara de Diputados aprobó creación del Ministerio de Medio Ambiente*. <http://www.conama.cl/portal/1301/article-45607.html>
- Comision Nacional del Medio Ambiente (2009d) *Normas de Calidad Ambiental y Emisión*. Sistema Nacional de Información Ambiental
- Comision Nacional del Medio Ambiente (2009f) *Normas de Calidad Ambiental y Emisión: Cuadro publicada Sep 2009*. Sistema Nacional de Información Ambiental. [http://www.sinia.cl/1292/articles-46703\\_CuadroPublicaNormaSep09.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-46703_CuadroPublicaNormaSep09.pdf)
- Comision Nacional del Medio Ambiente (2009g) *Programa de Desarrollo de Normas Secundarias de Calidad de Agua*. <http://www.conama.cl/portal/1301/article-34855.html>
- Comision Nacional del Medio Ambiente (2009h) *Situación agropecuaria de la región de O'Higgins*.
- Comision Nacional del Medio Ambiente (2009i) *Diagnóstico de Impacto Sobre Suelos y Aguas Subterráneas de Residuos Provenientes de la Actividad Porcina*. Informe final. GeoHidrología Consultores LTDA.
- Comision Nacional del Medio Ambiente (2009k) *Plan de Gestión Para la Implementación de la Estrategia de Gestión Integrada de la Cuenca Rapel*. Estrategia de Gestión Integrada de Cuenca Hidrográfica. Secretaria Técnica Organismo de cuenca. Documento interno no publicado.
- Comision Nacional del Medio Ambiente (2010) Mapa de la Cuenca Rapel, VI Región Chile.
- Comisión Nacional de Riego (2010) Información sobre la Comisión Nacional de Riego. [www.cnr.gob.cl](http://www.cnr.gob.cl). 18.06.2010
- Corporación Nacional Forestal, Universidad Austral de Chile (2006) *Informe Final Catastro Bosque Nativo y uso del suelo*. VI region. Laboratorio de Geomatica. Instituto Manejo Forestal. Mayo. Banco central, 2008. Ficha: Producto Interno Bruto Regional 2003-2006, base 2003 <http://www.bcentral.cl/publicaciones/estadisticas/actividad-economica-gasto/aeg07.htm>
- Corporación Nacional Forestal, Comisión Nacional del Medio Ambiente, Dirección General de Aguas, Gesellschaft fuer Technische Zusammenarbeit (2009) *Guía para la Elaboración de un Plan de Gestión de Cuenca desde la Perspectiva del Recurso Hídrico*. Secretaría Técnica CONAMA-DGA.
- Dames & Moore (1993) *Análisis de la Información Histórica, Hidrológica y de la calidad del Agua para la Evaluación de Descargas de Aguas Residuales e Industriales en la cuenca del río Rapel*.

- Davis, M. D. (2007) *Integrated Water Resource Management and Water Sharing*. Journal of Water Resources Planning and Management. ASCE. DOI: 10.1061/ 0733-9496 133:5 (427)
- Decoud, P. (2010) Entrevista personal: Análisis de la gestión de aguas subterráneas en Uruguay. Entrevistado por autor. Montevideo, 14.04.10.
- Deutsches Institut für Normung (1992) *DIN-4049*. Grundbegriffe der Hydrologie.
- Dirección General de Aguas (1987) *Balance Hídrico de Chile*.
- Dirección General de Aguas (1996) *Análisis Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile*. Informe Final. PLA Ltda.
- Dirección General de Aguas (1999) *Política Nacional de Recursos Hídricos*. Santiago
- Dirección General de Aguas (2005) *Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos de la VI Región*. Modelación Hidrogeológica de los Valles Alhué, Cachapoal y Tinguiririca. Departamento de Administración de Recursos Hídricos. Santiago
- Dirección General de Aguas (2006) *Nuevo Código de Aguas*. Preguntas frecuentes.
- Dirección General de Aguas (2006b) *Evaluación de la Explotación Máxima Sustentable de los Acuíferos de la VI Región*. Modelación Hidrogeológica de los Valles Alhué, Cachapoal y Tinguiririca. Informe Técnico del Departamento de Administración de Recursos Hídricos. S.D.T. N° 229. Santiago de Chile.
- Dirección General de Aguas (2008) *Listado de Derechos de Apovechamiento de Aguas Afectos al Pago de Patente a Beneficio Fiscal por No Utilización de las Aguas*. República de Chile. Ministerio de Obras Públicas. AVZ/ESB/CCH. N° de Proceso: 2603742
- Dirección General de Aguas (2009) [www.dga.cl](http://www.dga.cl). 10.2009.
- Dirección General de Aguas (2009b) Datos hidrogeológicos. Noviembre 2009. No publicado.
- Dirección General de Recursos Naturales Renovables (2004) Mapa de Ocurrencia de agua subterránea en Uruguay y distribución de pozos. Información Geográfica disponible en el Sistema. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca.
- Dirección Nacional de Aguas y Saneamiento (2010) *Hacia un Plan Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos: Agenda para la Acción*. Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
- Dripps, W. (2005) *Applied Hydrogeology*. Lecture Power Point Presentation. Furman University. Department of Earth and Environmental Sciences
- Foster, S. (1987) *Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy*. Proc. Interl Conf. "Vulnerability of soil and groundwater to pollutants" Noordwijk, The Netherlands.

- Foster, S., Hirata, R. (1988) *Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data*. WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical manual, Lima, Peru.
- Foster, S., Garduño, H. (2009) *Gestión Apropiable del Recurso Hídrico Subterráneo en América Latina*. Lecciones de Experiencias Internacionales. Revista Aqua-LAC - Año 1 – No. 1. UNESCO
- Garduño H., Foster S., Nanni M., Kemper K., Tuinhof A., Koundouri P. (2006) *Gestión Sustentable del Agua Subterránea: Conceptos y Herramientas*. Serie de Notas Informativas Nota 10: El Agua Subterránea en la Planificación Hídrica Nacional y de Cuencas, promover una estrategia integral. 2002-2006. Banco Mundial. Programa Asociado de la GWP. GW MATE
- Gentes, I. (2001) *Zur Rechtsgeschichte der Wasserverwaltung in Iberoamerika*. HU-Berlin
- Global Water Partnership (2008) *Toolbox para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos*. [www.gwptoolbox.org](http://www.gwptoolbox.org)
- Gobierno de Chile (1981) *Decreto con Fuerza de Ley No. 1.122 Código de Aguas*. Ministerio de Justicia.
- Gobierno de Chile (2004) *Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad*. Cuenca del río Rapel. Gobierno de Chile: Ministerio de Obras Públicas: Dirección general de aguas. Cade-Idepe Consultores en ingeniería.
- Gobierno de Chile (2007) *Guía para la Utilización de Aguas Grises de Lavamanos en establecimientos educacionales*. Dirección Regional CONAMA-Región de Tarapacá, Unidad de Educación Ambiental y Participación Ciudadana; CONAMA, Departamento de Educación Ambiental y Participación Ciudadana; Ministerio de Educación, División de Educación General, Departamento de Educación Extraescolar. Santiago,
- Guangcai, W., Zuochen, Z., Min, W., Cravotta III, C. A., Chenglong, L. (2005) *Implications of Ground Water Chemistry and Flow Patterns for Earthquake Studies*. *Groundwater*, V. 43, N. 4, pp. 478–484.
- Guerquin, F., Ahmed, T., Hua, M., Ikeda, T., Özbilen, V., Schuttelaar, M. (2003) *World water actions: Making water flow for all*. World Water Council. Marseille, France.
- Hilliard, R. (2010) Entrevista personal: Análisis de la gestión de aguas subterráneas en la Cuenca Rapel, Chile. Entrevistado por autor. Rancagua, 10.05.10.
- IES Cascales (2010) *Placas tectónicas*. Departamento de Matemáticas. Biología y Geología. <http://depmatcascales.com/content/view/80/76/>. 27.03.2010
- Ingeniería Civil y Medio Ambiente (2001) *Decreto Supremo N°90/2000*. Ministerio Secretaría General de La Presidencia. DO DE 07-03-01. <http://www.miliarium.com/Páginas/Leyes/Internacional/Chile/Aguas/Decreto90-00.asp>

- International Association of Hidrogeologists (2010) *The Worldwide Groundwater Organization*. About Groundwater. [www.iah.org](http://www.iah.org). 27.03.2010
- Instituto Nacional de Estadísticas de Chile (1998-2002) *Estadísticas del Medio Ambiente 1998-2002*
- Instituto Nacional de Estadísticas de Chile (2002) <http://www.censo2002.cl>
- Instituto Nacional de Estadísticas de Chile (2007a) *Cambios Estructurales en la Agricultura Chilena*. Análisis Intercensal 1976-1997-2007. [www.ine.cl](http://www.ine.cl)
- Instituto Nacional de Estadísticas de Chile (2007b) *Censo agropecuario 2007*. [www.censoagropecuario.cl/noticias/08/6/10062008.html](http://www.censoagropecuario.cl/noticias/08/6/10062008.html)
- Jara, L. (2010) Taller: Primera reunión Comité sobre Aguas Subterráneas, 27.05.10. Plan de Gestión de Recursos Hídricos de la Cuenca Hidrográfica Rapel
- Lacué, X. (2010) Entrevista personal: Análisis de la gestión de aguas subterráneas en Uruguay. Entrevistado por autor. Montevideo, 15.04.10
- Libertad y Desarrollo (2010) *Los Errores en el Debate y la verdadera Agenda en Materia de Agua*. Temas Públicos. ISSN-D717-1528
- Madaleno, I. M., Gurovich, A. (2007) *Conflicting Water Usages in Northern Chile*. Boletín de la A.G.E.N.° 45-2007, pags. 439-443
- Malz, S., Scheele, U. (2005) *Handelbare Wasserrechte – Stand der internationalen Debatte*. NetWorks-Papers. Heft 16. Deutsches Institut für Urbanistik. ISBN 3-88118-398-1
- Matus, N., Fernández, B., Paz, M., Larraín, S. (2004) *Recursos Hídricos en Chile: Desafíos para la Sustentabilidad*. Programa Chile Sustentable. Primera Edición. ISBN: 956-7889-20-1
- Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (2010) Estadísticas Agropecuarias del Uruguay.
- Ministerio de Obras Públicas (2006) *Ley N° 20.017 Modifica el Código de Aguas. Última Versión*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile
- Ministerio de Obras Públicas (2009) [www.mop.cl](http://www.mop.cl). 09.11.2009
- Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República (2002) *DS 46: Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas*
- Minnesota Department of Natural Resources (2010) *Surface Watersheds vs. Groundwater Watersheds*. [http://www.dnr.state.mn.us/watersheds/surface\\_ground.html](http://www.dnr.state.mn.us/watersheds/surface_ground.html). 05.04.2010
- Molina, M. E. (2010) Datos hidrogeológicos. No publicado.
- Montaño, J. (2010) Entrevista personal: Análisis de la gestión de aguas subterráneas en Uruguay. Entrevistado por autor. Montevideo, 09.04.2010

- Muñoz Ahumada, R. (2004) *Peligro de Contaminación de Acuíferos y Perímetros de Protección de Pozos. Aplicación al Valle del Cachapoal*. Universidad de Chile.
- Nauditt, A., Ribbe, L., Gaese, H. (2002) *Wasserressourcenmanagement in Chile*. Technology Ressource Management & Development. Scientific Contributions for Sustainable Development. Vol.2
- Oficina Nacional de Emergencia-Ministerio Interior (2010). Noticias. Gobierno de Chile. 26.03.2010
- O'Neill, J. J. (1951) *Earthquake may change water level*. The Driller, V. 25 N. 12; pp. 16-17, 23, 26.
- Parker, G. G., Stringfield, V. T. (1950) *Effects of earthquakes, trains, tides, winds and atmospheric pressure changes on water in the geologic formations of Southern Florida*. Society of Economic Geologists, Inc.. Economic Geology, V. 45, pp. 441-460.
- Paz, M. (2009) *Wasser, Demokratie und Menschenrechte: das chilenische "Modell"*. Heinrich Böll Stiftung. [www.boell.de/downloads/MariaPazAedo\\_Wasser\\_dt.pdf](http://www.boell.de/downloads/MariaPazAedo_Wasser_dt.pdf)
- República Oriental del Uruguay (1978) *Decreto-Ley N° 14.859: Código de Aguas*
- República Oriental del Uruguay (1997) *Ley N° 16.858: Riego con destino agrario*.
- República Oriental del Uruguay (2004) *Decreto N° 86/004: Norma Técnica de Construcción de Pozos Perforados para Captación de Agua Subterránea*. Secretaría de Prensa y Difusión.
- Rosegrant, M. W., Cai, X., Cline S. A. (2002) *Global Water Outlook to 2025: Averting an Impending Crisis*. A 2020 Vision for Food, Agriculture and the Environment Initiative. International Food Policy Research Institute. International Water Management Institute.
- Santos, J. de los (2010) Entrevista personal: Análisis de la gestión de aguas subterráneas en Uruguay. Entrevistado por autor. Montevideo, 08.04.2010
- Schöniger, M., Dietrich, J., Pfützner, B., Hesse, P., Mey, S., Klöcking, B. (2010) *Hydro Skript*. Hydrologie. [www.hydroskript.de](http://www.hydroskript.de). 03.04.2010
- Search.Com Reference (2010) [http://img.search.com/thumb/0/04/Aquifer\\_en.svg/360px-Aquifer\\_en.svg.png](http://img.search.com/thumb/0/04/Aquifer_en.svg/360px-Aquifer_en.svg.png). 03.02.2010
- Silveira, L. (2010) Entrevista personal: Análisis de la gestión de aguas subterráneas en Uruguay. Entrevistado por autor. Montevideo, 13.04.2010
- Silveira, L. (2010b) *Apuntes para un Plan Nacional de Mitigación de Emergencias Hidrológicas*. Proyecto URU/98/011. Hidrología. Informe Final.
- Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (2006) *Identificación de la Norma: D.S. N° 446/2006*. Archivos. [www.e-seia.cl](http://www.e-seia.cl)



Solanes, M., González-Villarreal, F. (1999) *The Dublin principles for water as reflected in a comparative assessment of institutional and legal arrangements for integrated water resource management*. TAC background paper No. 2. Global Water Partnership. Stockholm, Sweden.

Universidad de Chile (1999) *Informe País, Estado del Medio Ambiente en Chile*. Ediciones Lom.

Universidad de Chile (2007) *Sismos importantes y/o destructivos*. Departamento de Geofísica. Servicio sismológico.

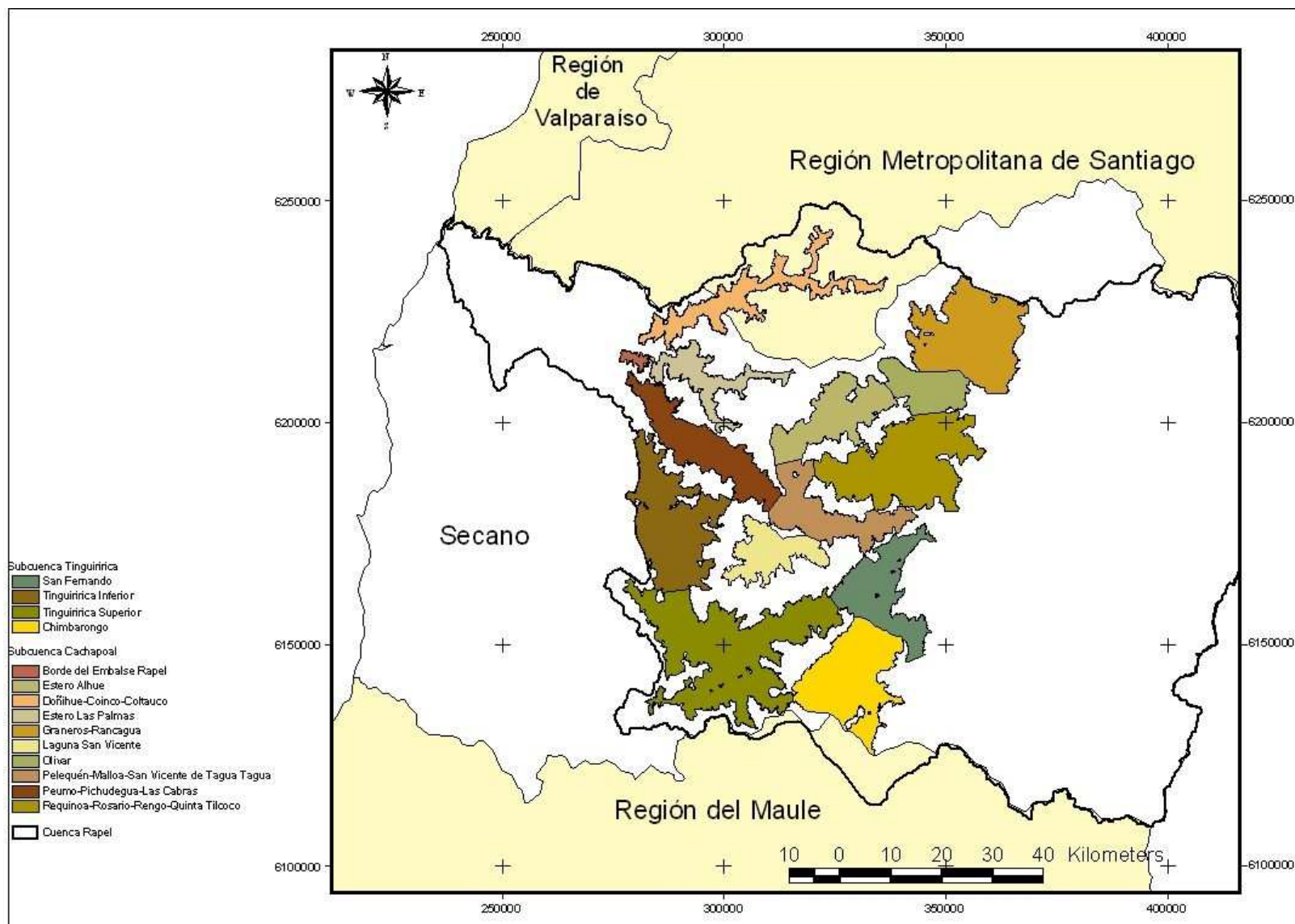
Universidad de la República (2010) Red Académica Uruguaya. *Uruguay*.  
<http://www.rau.edu.uy/>. 20.03.2010

U.S. Geological Survey (2010) *Shakemap Offshore Maule, Chile*. Earthquake Hazards Program.

Vrba, J., Zaporozec, A. (1994) *Guidebook on mapping groundwater vulnerability*. IAH. Vol. 16: 1-131. Verlag Heinz Heise. Hannover.

## 10. ANEXO

### 10.1. Mapa de acuíferos en la cuenca Rapel, Chile [DGA 2005]





## 10.2. Cuestionario de entrevistas

### Análisis de la Gestión de Aguas Subterráneas

Evaluación del marco legal e institucional en Uruguay y la VI Región, Chile

#### Protocolo

Nombre del entrevistador	Mara C. Hoffmeister
Nombre del entrevistado	
Agencia	
Fecha	
Hora	
Lugar	
Idioma	

#### Introducción

##### Estructura gubernamental local/provincial

1. ¿Cuál es la función o el mandato de su oficina en la gestión o reglamento de los recursos hídricos a nivel de cuenca? *(Especifique si la función es reforzamiento, regulación, autorización, toma de decisiones, investigación, etc.)*
2. ¿Cuales son los instrumentos legales que le dan a su institución este mandato? *(Especifique cual ley, política, decretos, etc.)*
3. En específico, ¿cual cuenca/acuífero está en su supervisión? *(Especifique los recursos, minerales, areas, terrenos, usos de suelo, zona costera, agua dulce/salada)*
4. ¿Cuál es el área geográfico cubierto por el mandato de su instituto? *(Especifique la cobertura geográfica de ríos, terreno, oceano, distancias entre rios y costa, etc.)*

## **Situación actual**

### Recurso Hídrico Subterráneo

5. ¿Existe conocimiento básico sobre el agua subterránea? (*Especifique información disponible: Mapas, estudios, proyectos realizados/en desarrollo*)
6. ¿Existe un programa de modelación/simulación del agua subterránea? (*Especifique programa, área de modelación*)
7. ¿Existe una evaluación de los impactos ambientales? (*Especifique programa, área de modelación*)
8. ¿Existen programas de control o monitoreo de calidad (y cantidad) del agua? (*Especifique información disponible: Mapas de estaciones de monitoreo, institución que realiza monitoreo, etc.*)

### Usuarios

9. ¿Puede indentificar los usuarios principales del agua subterránea?
10. ¿Puede indentificar los usos del agua subterránea?

### Instituciones, marco legal y política nacional y/o provincial

11. ¿Puede indentificar otros grupos o estructuras con mandatos regulatorios/protectorios en el área? (*Especifique comites consultivos, grupos de defensa, grupos de resolución de conflictos, comites intergubernamentales o multinacionales*)
12. En su opinión, ¿cuales son las principales criticas al marco legal de una gestión de los recursos hídricos (subterráneos)? (*Especifique nivel de cumplimiento y capacidad de reforzamiento, coincidencias y/o diferencias, protección y calidad del recurso*)
13. ¿Cuales son los reglamentos mas comunes para el uso privado y público del recurso? (*Especifique aspectos tales como practicas de agricultura, reglamentos de turismo, normas de construcciones, uso/extracción de agua, impuestos, permisos/derechos, etc.*)
14. ¿Su institución cumple con la implementación del marco legal? ¿Con cuales y como se realizan? Si este no es el caso, en su opinión, ¿cuales son los reglamentos mas importantes para considerar?

## Problemáticas en la gestión

### Recurso Hídrico Subterráneo

15. ¿Que problemática existe (*Especifique entre escasez de agua, extracción excesiva, deterioro de la calidad de agua (para ecosistema, salud humana; información sobre contaminación y sus fuentes), aumento de las amenazas causadas por eventos climáticos anormales, falta de acceso de agua limpia y un adecuado saneamiento, faltas de datos hidrológicos y del uso del recurso, falta de financiamiento para invertir en servicios de agua esenciales*)
16. ¿Cuales son los criterios basicos (si hay) para definir un área protegida? ¿Como se definen? ¿Quién define los criterios y como? (*Especifique criterios arbitrarios, criterios de ecosistema, criterios jurisdireccional, etc.*)
17. En su opinión, ¿existen áreas que tendrian que ser consideradas como áreas sensibles/vulnerables para proteger? ¿Cuales actualmente no se encuentran protegidas por ley? Porqué? (*Especifique área*)

### Usuarios

18. ¿Sabe de conflictos entre usuarios? ¿Existe competencia del recurso?
19. ¿Los usuarios participan en la toma de decisiones?

### Instituciones, marco legal y política nacional y/o provincial

20. En su opinion, ¿cuales son las restricciones y limitaciones actuales mas importantes (si hay) de los siguientes aspectos para lograr una gestión integrada de los recursos hídricos (subterráneos)?:
- Mercado:  
Incapacidad para corregir distorsiones del mercado.  
  
Regulación inadecuada de precios.  
  
Subsidios que van en detrimento de los usuarios de los recursos y de quienes los contaminan.  
  
Impuestos inapropiados a los incentivos y creditos.
  - Conflictos:  
Presencia de externalidades y conflictos recurrente (ambientales, económicos y sociales).
  - Instrumentos de regulación:  
Excesiva o poca regulación.  
  
Regímenes reguladores de conflictos.

Carencia de independencia y de imparcialidad de los organismos de regulación.

Suministros de servicios de agua como monopolios naturales.

- Consumo:

Reflexión imprecisa sobre las preferencias del consumidor.

Falta de previsión.

- Toma de decisiones:

Falta de conocimiento de los electores e información imperfecta.

Efectos de interés especial que incluyen debilidad política e intereses creados.

- Capacidad institucional:

Falta de capacidad del gobierno para controlar y regular uso sostenible del agua subterránea.

Falta de pago de los servicios relacionados con el agua subterránea.

Obstáculos burocráticos o inercia.

Falta de autoridad responsable general.

Pocos incentivos empresariales para la eficiencia interna.

- Conocimiento:

Carencia de conocimiento eficaz sobre el recurso, sobre las demandas impuestas a este y sobre los usos actuales que se le dan al agua.

Falta de conocimiento y de certeza sobre los mercados del agua, las sequías, las inundaciones, etc. Que conducen a la incapacidad de fijar correctamente precios.

- Legislación:

Derechos de propiedad definidos deficientemente, falta de claridad sobre quiénes son los propietarios.

Ausencia de una legislación o legislación inapropiada.

Falta de claridad sobre las personas que poseen los derechos de propiedad.

21. En su opinión, ¿cuales son los conflictos de autoridades/mandatos mas importantes con otras agencias gubernamentales a nivel gubernamental local o central en la gestión de los recursos hídricos (subterráneos)? (*Especifique nivel de integración en la toma de decisiones, distribución de fondos, áreas geográfica y temáticas bajo autoridad, duplicación de esfuerzos, competición de los recursos*)

22. En su opinión, ¿cuales son las limitaciones mas importantes en la capacidad del planeamiento de su institucion en la gestión de los recursos hídricos (subterráneos)? *(Especifique aspectos tales como capacidad de personal y formación, presupuesto, reforzamiento, programas de monitoreo/investigación, etc.)*

## **Propuesta de mejoramiento de la gestión**

### Recurso Hídrico Subterráneo

23. En su opinión, ¿como se podrian solucionar los problemas relacionados al recurso hídrico subterráneo? *(Especifique sus ideas: Que programas, proyectos, monitoreo, etc)*

24. En su opinión, ¿existen los recursos necesarios (finanzas, personal, tecnología, etc) para implementar su propuesta? *(Especifique que exactamente hay y que falta)*

### Usuarios

25. En su opinión, ¿como se podrian solucionar los problemas relacionados a los usuarios? *(Especifique sus ideas)*

26. En su opinión, ¿existen los recursos necesarios (finanzas, personal, etc) para implementar su propuesta? *(Especifique que exactamente hay y que falta)*

### Instituciones, marco legal y política nacional y/o provincial

27. En su opinión, ¿como se podrian solucionar los problemas relacionados a una implementación adecuada de una gestión integrada de los recursos hídricos subterráneos por parte del marco institucional, legal y político? *(Especifique sus ideas)*

28. En su opinión, ¿existen los recursos necesarios (finanzas, personal, etc) y la voluntad política para implementar su propuesta? *(Especifique que exactamente hay y que falta)*

### 10.3. Entrevistas realizadas

#### URUGUAY

Nombre	Organización	Sección	Función	Dirección	Entrevista
Dr. Luis Silveira	Fac. Ingeniería	IMFIA-Hidrología	Prof. Titulado	J. Herrera y Reissig 565, C.P. 11200, Montevideo	13.04.10 10:30
M.Sc. Jorge de los Santos	Fac. Ingeniería	IMFIA-Hidrología	Prof. Agregado en hidrología	J. Herrera y Reissig 565, C.P. 11200, Montevideo	08.04.10 13:00
Carlos Iglesias, Lic. Guillermo Goyenola	Fac. Ciencias	Grupo de Investigación en Ecología y Rehabilitación de Acuáticos	Investigador, docente	Iguá 4225 Esq. Mataojo C.P. 11400, 11° piso, Montevideo	24.03.10
Jorge Montaña	Fac. Ciencias	Instituto Geología y Paleontología, Recursos Hídricos Subterráneos y Geoquímica	Prof. Adjunto	Iguá 4225 Esq. Mataojo C.P. 11400, 12° piso, Montevideo	09.04.10 10:00
Alberto Manganelli	DINAMA	Consultoría de gestión de aguas subterráneas	Hidrogeólogo	Galicia 1133 esquina Av. Rondeau, 1° piso, Montevideo,	16.04.10 13:00
Roberto Carrion, Enrique Vasso	DINAMIGE	Hidrogeología	Director	Hervidero 2861, Montevideo	21.04.10 10:30
Ximena Lacues	DINASA	Recursos Hídricos	Geologa	Rincon 575, 2° piso, Montevideo	15.04.10 11:00
Zelmira May, Soledad Benitez, Sandra Martinez	UNESCO	PHI		Montevideo Luis Piera 1992 - CP 11200. Montevideo	Marzo-Abril 2010
Pablo Decoud	OSE	División Aguas Subterráneas	Jefe de División	Carlos Roxlo 1275 4to. piso Of. 25, Edif. Cordon, Montevideo	14.04.10 10:30

**CHILE**

<b>Nombre</b>	<b>Organización</b>	<b>Sección</b>	<b>Función</b>	<b>Dirección</b>	<b>Entrevista</b>
Milissen Cantin	CONAMA	VI Región		Hermano Claudio 364, Rancagua	Mayo-Junio 2010
Eduardo Antileo	DGA	VI Región	Director	Campos 301, Piso 1, Edificio Interior, Rancagua	25.05.10 10:00
Robert Hilliard	Junta de Vigilancia	VI Región Chile, Primera sección del río Cachapoal	Gerente	Gamero 367, Rancagua	10.05.10 11:00
Maria Jose Beltran	DOH	VI Región	Directora	Faustino Sarmiento 1070, Rancagua	17.05.10 10:00
Sergio Alvarez	Comité de Agua Potable Rural	VI Región	Gerente	Avenida Membrillar 499, Rancagua	19.05.10 15:30
Arnold Quadflieg	GTZ-CONAMA	Nacional	Hidrogeólogo, experto en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos	Teatinos 254/258, Santiago	20.05.10
Maria Eugenia Molina	DGA	Nacional	Encargada, Ing. Civil	Augustinas 1141, Santiago	20.05.10 11:00

## Participación en Talleres

<b>Taller</b>	<b>Organisator</b>	<b>Participantes</b>	<b>Tema</b>	<b>Fecha</b>
Participación Ciudadana	CONAMA, departamento de Educación y Participación Ciudadana	Empresas afectadas por las Normas 46/92 y 90/00	Modificaciones de las Normas 46/02 y 90/00	26.05.10, 9:30-12:30
Primera reunión Comité sobre Aguas Subterráneas	CONAMA	SISS, DOH, Essbio, DGA, CNR, SAG	Plan de Gestión de Recursos Hídricos de la Cuenca Hidrográfica Rapel	27.05.10, 9:30-14:00

