



Mejor Riego  
para Chile





Mejor Riego  
para Chile

yo  
cuido  
el agua

# DIAGNÓSTICO RECARGA DE ACUÍFEROS GESTIONADA REGIÓN DE O'HIGGINS



## RESUMEN EJECUTIVO

2023





Mejor Riego  
para Chile

yo  
cuido  
el agua

# Diagnóstico Recarga de Acuíferos Gestionada Región de O'Higgins

Resumen Ejecutivo

REALIZADO POR



2023



Mejor Riego  
para Chile

yo  
cuido  
el agua

**Dirigido por:**

**COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO**

Equipo participante:

**Gastón Valenzuela L.**

Coordinador de la Unidad de Estudios

**Tamara García Q.**

Coordinadora del Estudio

**Felipe Salamanca P.**

Especialista Área Legal

**Leonardo Machuca S.**

Especialista Área Agronómica

**María Jesús Llambías U.**

Especialista Ambiental

**Norberto Werner S.**

Especialista en Recursos Hídricos

**Claudia Lizana Z.**

Participación Ciudadana

**Patricio Espinoza C.**

Especialista Área Geomensura

**Elaborado por:**

**UTP GCF Ingenieros Ltda. Y AQUATERRA Ingenieros Ltda.**

**Equipo participante:**

**Guillermo Cabrera F.**

Ingeniero Civil, Jefe y Coordinador del Estudio

**Jaime Vargas P.**

Ingeniero Civil

**Iván Rivera R.**

Ingeniero Civil

**Patricio Murúa S.**

Ingeniero Agrónomo

**Sergio Matus G.**

Ingeniero Civil

**Eugenio Tobar A.**

Ingeniero Civil

**Sergio Rozas V.**

Ingeniero Civil en Geografía

**Bárbara Cuadra Q.**

Socióloga

**Claudia Craig P.**

Abogada

**Camila Teutsch B.**

Ingeniera en Recursos Naturales Renovables

**Felipe Ahumada V.**

Ingeniero Civil

**Juan Pablo Ulloa D.**

Ingeniero Civil

**Eliana de Amesti de A.**

Ingeniera Agrónomo

**Juan Ignacio Zárate S.**

Ingeniero Civil (E)



Mejor Riego  
para Chile

yo  
cuido  
el agua

## **ÍNDICE GENERAL DEL ESTUDIO**

### **ÍNDICE VOLUMEN 1**

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS
2. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO
3. PROPOSICIÓN DE SITIOS A EVALUAR PARA RECARGA GESTIONADA DE ACUÍFEROS

### **ÍNDICE VOLUMEN 2**

4. EVALUACIÓN DE LOS 20 SITIOS RAG PRESELECCIONADOS

### **ÍNDICE VOLUMEN 3**

5. SELECCIÓN DE LOS 10 SITIOS RAG
6. MODELO DE GESTIÓN Y OPERACIÓN
7. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS PROYECTOS RAG SELECCIONADOS
8. ASPECTOS NORMATIVOS ASOCIADOS A LOS PROYECTOS RAG
9. PROGRAMA DE RELACIONAMIENTO COMUNITARIO Y PARTICIPACIÓN CIUDADANA
10. PRESENTACIÓN FINAL DE LA INFORMACIÓN EN PLATAFORMA SIG
11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
12. REFERENCIAS

**ÍNDICE RESUMEN EJECUTIVO**

	Pág
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS .....	1
2. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	2
2.1 Caracterización General del Área.....	2
2.2 Caracterización Ambiental del Territorio .....	5
2.3 Caracterización Hidrológica.....	6
2.3.1 Pluviometría.....	7
2.3.2 Fluviometría.....	7
2.3.3 Temperatura, Evaporación, Humedad Relativa, Velocidad del Viento y Radiación.....	8
2.4 Caracterización Hidrogeológica .....	9
2.4.1 Geología de Superficie .....	9
2.4.2 Hidrogeología .....	9
2.5 Caracterización de la Calidad de Aguas.....	12
2.5.1 Calidad de Aguas Superficiales.....	12
2.5.2 Calidad de Aguas Subterráneas.....	13
2.6 Análisis de la Situación Legal de Derechos de Agua.....	14
2.6.1 Restricciones de la DGA para Fuentes Hídricas de la Zona.....	14
2.6.2 Derechos de Aguas Superficiales .....	15
2.6.3 Derechos de Aguas Subterráneas .....	15
2.6.4 Organizaciones de Usuarios .....	16
3. PROPOSICIÓN DE SITIOS A EVALUAR PARA RECARGA GESTIONADA DE ACUÍFEROS	16
3.1 Introducción .....	16
3.2 Identificación y Proposición de 20 Sitios para Recarga Gestionada de Acuíferos	.18
4. EVALUACIÓN DE LOS 20 SITIOS RAG PRESELECCIONADOS.....	19
4.1 Trabajos de Terreno en los 20 Sitios Seleccionados .....	19
4.1.1 Calidad de Aguas .....	19
4.1.2 Geofísica.....	20
4.1.3 Mecánica de Suelos.....	20
4.1.4 Topografía .....	20



Mejor Riego  
para Chile

yo  
cuido  
el agua

4.1.5	Medición de Niveles de Napa.....	21
4.2	Derechos de Aguas y Organizaciones de Usuarios en los 20 Sitios.....	21
4.2.1	Derechos de Agua .....	21
4.2.2	Organizaciones de Usuarios de Agua.....	21
4.3	Levantamiento de los Usos de Agua en los 20 Sitios Seleccionados.....	21
4.4	Demandas de Agua en los 20 Sitios Seleccionados.....	22
4.5	Análisis Ambiental en los 20 Sitios Seleccionados.....	23
5.	SELECCIÓN DE LOS 10 SITIOS RAG .....	24
5.1	Criterios de Selección.....	24
5.2	Criterios de Diseño .....	26
5.3	Análisis Ambiental de los 10 Proyectos RAG .....	28
5.3.1	Características Ambientales .....	28
5.3.2	Pertinencia de Ingreso al SEIA.....	28
6.	MODELO DE GESTIÓN Y OPERACIÓN.....	29
6.1	Diseño del Modelo de Gestión –Operación.....	29
6.1.1	Introducción y Alcances de la Modelación.....	29
6.1.2	Calibración y Validación del Modelo Superficial .....	31
6.1.3	Calibración y Validación del Modelo Hidrogeológico .....	31
6.2	Modelación de las Alternativas.....	32
6.2.1	Escenarios de Modelación y Resultados .....	32
6.2.2	Análisis de sensibilidad por cambio climático .....	34
7.	EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS PROYECTOS RAG SELECCIONADOS.....	35
7.1	Determinación de los Beneficios de los Proyectos RAG .....	35
7.1.1	Efectos de los 10 Proyectos RAG sobre los Niveles de la Napa Circundante.....	35
7.1.2	Determinación de los Beneficios para los SSR.....	35
7.1.3	Determinación de Beneficios Agrícolas.....	36
7.1.4	Determinación de Beneficios Ambientales.....	37
7.2	Evaluación Económica de los Proyectos RAG.....	38
8.	ASPECTOS NORMATIVOS DE LOS PROYECTOS RAG .....	40
9.	PROGRAMA DE RELACIONAMIENTO COMUNITARIO Y PARTICIPACIÓN CIUDADANA .....	43
10.	PRESENTACIÓN FINAL DE DATOS EN PLATAFORMA SIG .....	45

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	45
--	----

## TABLAS

	Pág.
Tabla 2-1. Resumen con las Principales Características SHAC.....	12
Tabla 2-2 Distribución de DAA subterráneas en SHAC de la zona de estudio.....	15
Tabla 3-1 Veinte sitios mejor evaluados.....	18
Tabla 4-1 Resultados de ensayos de permeabilidad en 20 sitios.....	20
Tabla 5-1 Listado Priorizado de Sitios para Proyectos RAG.....	24
Tabla 5-2. Características Principales de los 10 Proyectos RAG Seleccionados.....	27
Tabla 6-1. Superposición de Áreas de Influencia de Sitios RAG Seleccionados.....	34
Tabla 6-2. Variación en precipitación y temperatura para horizontes futuros .....	35
Tabla 7-1 Caudales y Arranques Adicionales por SSR, al Implementar Proyectos RAG.....	36
Tabla 7-2 Caudales y Superficies de Riego Adicionales por Sector .....	37
Tabla 7-3 Resultados de la Evaluación Económica a Precios de Mercado .....	39
Tabla 7-4 Resultados de la Evaluación Económica a Precios Sociales .....	39

## FIGURAS

	Pág.
Figura 2-1. Área de Estudio y SHAC's de acuíferos Cachapoal y Tinguiririca .....	4
Figura 2-2. Estaciones hidrometeorológicas usadas en este estudio.....	6
Figura 2-3. Distribución de la precipitación media anual en la zona de estudio.....	7
Figura 5-1. Ubicación de los 10 proyectos seleccionados.....	25
Figura 5-2. Plano tipo de proyecto RAG mixto con zanjas y pozos de infiltración.....	27
Figura 6-1 Distribución final de permeabilidades .....	32
Figura 8-1. Modelo de Gestión para Proyectos RAG .....	42



Mejor Riego  
para Chile

yo  
cuido  
el agua

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La Comisión Nacional de Riego (CNR), a través de la creación de un Plan Nacional de Recarga de Acuíferos para la Agricultura, ha estado promoviendo iniciativas relacionadas con la recarga artificial gestionada, dada la disminución de los niveles de aguas subterráneas producida por la aguda sequía a la que afecta a gran parte del país, junto a los efectos del cambio climático, a extracciones ilegales de agua subterránea y a las crecientes demandas de este elemento.

En la Región del Libertador Bernardo O'Higgins los acuíferos asociados a los ríos Cachapoal y Tinguiririca son explotados para usos como agua potable, agricultura e industria, pero en los últimos 10 años la recarga natural ha disminuido y las actividades agrícolas y las demandas de la población han aumentado, existiendo una mayor presión sobre estos.

El principal beneficio de la recarga de acuíferos, para proporcionar mayor seguridad hídrica, es que estos poseen capacidades de almacenaje similares a las de embalses superficiales, y generan menores impactos sociales y medio ambientales para disponer de agua en los períodos del año con mayores demandas.

El presente estudio tuvo por objeto estudiar sitios apropiados para implementar obras de recarga dentro de las cuencas de los ríos Cachapoal y Tinguiririca, considerando los efectos sinérgicos que tendrían estos proyectos con otras obras en la zona de estudio, como, por ejemplo, en los pozos de los regantes y de los Servicios Sanitarios Rurales (SSR). Se definieron 10 sitios apropiados para implementar obras RAG y se desarrollaron los diseños a nivel de perfil de estos proyectos, entendiendo que el principal objetivo de estos es fomentar la gestión integrada de los recursos hídricos de la cuenca y la sustentabilidad del acuífero, apuntando más a beneficios colectivos que individuales. Eso significa que con estos proyectos se puede lograr aumentar la seguridad hídrica de quienes tienen derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, particularmente en este caso, para usos en riego y agua potable, donde los SHAC que involucran a los proyectos son áreas de restricción o zonas de prohibición.

Los objetivos específicos y actividades desarrollados por esta iniciativa han incluido la revisión de estudios de hidrología, hidrogeología, calidad de aguas, caracterización ambiental y aspectos legales respecto a derechos de agua existentes en el área de estudio. A partir de esto, se propuso 20 sitios a evaluar para proyectos RAG, donde se realizaron labores de prospección de terreno que,

junto con atributos de seguridad de fuente, existencia de CAS, pozos comunitarios o SSR, usuarios cercanos con Derechos de Aprovechamiento de Agua subterránea (DAA), hidrogeología del área, calidad de las aguas superficial y subterránea, sensibilidad ambiental y costos de obras, sirvieron para priorizarlos y llegar a los 10 sitios seleccionados. En forma paralela se ha efectuado un proceso de participación ciudadana, que ha considerado a distintos actores relevantes en la gestión de la recarga de acuíferos.

Los perfiles desarrollados consisten en zanjas de infiltración y pozos de infiltración, o una combinación de ambos, utilizando caudales invernales provenientes de Asociaciones de Canalistas que captan sus aguas desde la 1º sección de los ríos Cachapoal y Tinguiririca. La recarga se contempla realizar de forma continua durante 4 meses, de mayo a agosto, considerando lo establecido en la Circular DGA N°2 del año 2019, la cual permite mantener en operación las bocatomas de los canales de regadío que deban servir a cultivos de invierno, recarga o infiltración artificial de acuíferos, entre otras causas.

Las zanjas de infiltración considerados consisten en canales de 4 m de profundidad excavados en tierra que, a través de su fondo y paredes permiten la infiltración del agua que conducen hasta la napa subterránea. Por otro lado, los pozos de infiltración contemplan una perforación hasta por debajo del nivel de la napa y se habilitan con cribas desde cerca de la superficie hasta bajo el nivel freático para permitir la salida del agua que se les agrega hacia la napa subterránea.

Finalmente, para comprobar la efectividad de los proyectos, se construyeron modelos de simulación superficial y subterráneo, los cuales permitieron cuantificar los aumentos de napa subterránea para estimar los beneficios sobre los pozos de riego y SSR localizados en el área de influencia de los proyectos. Con estos beneficios, se efectuaron evaluaciones económicas a partir de análisis agroeconómicos y aporte a los Servicios Sanitarios Rurales, las cuales permitieron determinar la rentabilidad de los proyectos y definir su viabilidad para su construcción futura.

## **2. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

### **2.1 Caracterización General del Área**

El área de estudio la componen la cuenca del río Cachapoal, y la cuenca del río Tinguiririca, abarcando la mayor parte del Valle Central de la Región de O'Higgins con 27 comunas, dentro de las cuales en 7 de ellas se han diseñado proyectos RAG (Codegua, Graneros, Rancagua, Olivar, Requínoa, San Fernando y Chimbarongo).

La población en la región supera el millón de habitantes, de los cuales cerca del 48% pertenecen a las 7 comunas del área de estudio. Menos del 10% del total no dispone de servicios básicos, siendo la comuna de Chimbarongo la que presenta la mayor tasa de pobreza (15,86%, respecto del 10% regional de 2021, según el Ministerio de Desarrollo Social y Familia).

En toda el área de estudio existe infraestructura de caminos de buena calidad. De igual manera la infraestructura de Salud es adecuada, ya que cuenta con establecimientos en todos los niveles de complejidad, los cuales cuentan con infraestructura adecuada. De los 687 establecimientos educacionales de la Región, 290 funcionan en las 7 comunas del área analizada, lo que corresponde al 42,2% del total.

Se efectuó una caracterización agroclimática de las cuencas de Cachapoal y Tinguiririca para fijar las posibilidades que ofrece al desarrollo agropecuario usando el Atlas Agroclimático de Chile (2017). De acuerdo con las características agroclimáticas de cada distrito en las áreas de interés de este trabajo, ubicadas mayoritariamente en los distritos de Rancagua, San Vicente de Tagua Tagua y San Fernando, existe potencialidad para el desarrollo de las siguientes especies frutales: arándano, cerezo, carozos, kiwi, nogal y vides, además de almendro, frutillas, y pomáceas como peras y manzanas.

En la cuenca del río Cachapoal de 182.600 ha, el 54 % posee capacidades de uso I y II, sin restricciones para el riego, mientras que los suelos III y IV son casi el 30%, y los no cultivables el 15,2%. En cuanto a problemas de drenaje, el 40% no presentan limitaciones para el riego y el mismo porcentaje tendría un drenaje imperfecto. Respecto a la categoría de riego, cerca del 55% de los suelos son apropiados para estas prácticas. Por su parte, el 70% de ellos muestra una aptitud frutal dentro de los que una parte, el 40% del total, posee moderadas limitaciones.

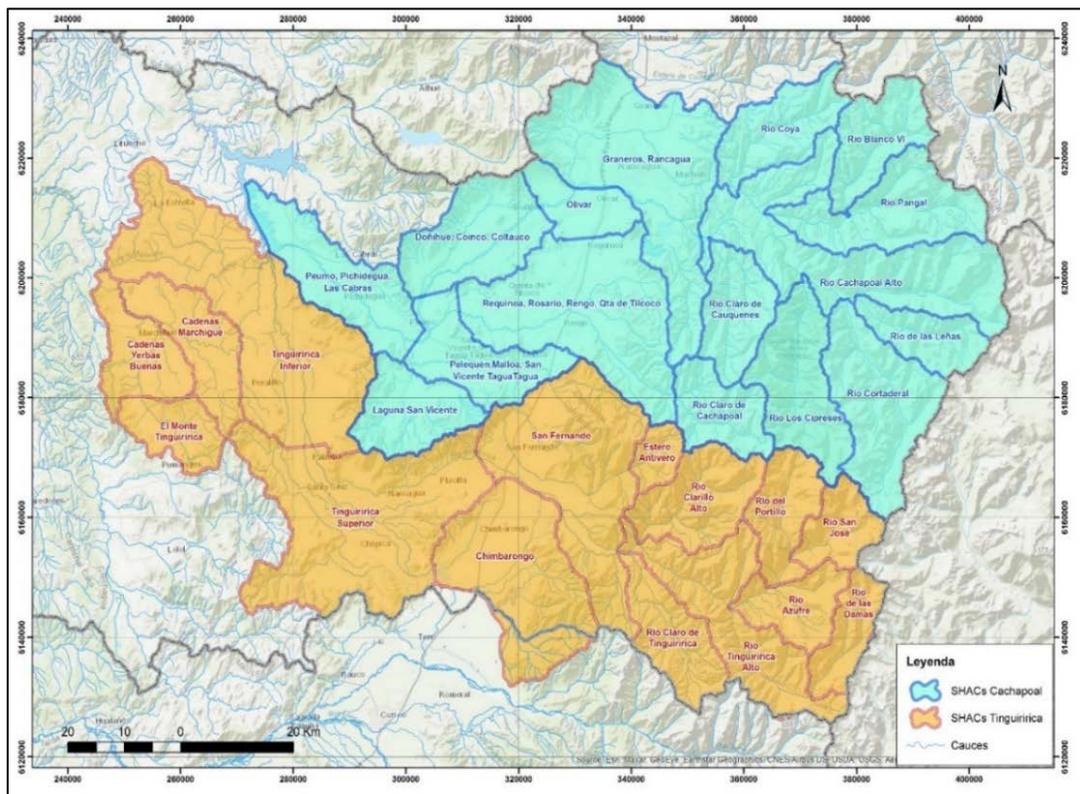
En la cuenca del río Tinguiririca por su parte, el total de los suelos es de 272.975 ha, de las cuales menos del 7% presenta capacidades de uso I y II para el riego, en comparación con un 47% de capacidades III y IV y los no cultivables que son importantes, el 36,7%. En este caso el 53% presentan problemas de drenaje, mientras que sólo el 20% estarían bien drenados. En cuanto a la categoría de riego, sólo cerca del 7% de los suelos poseen limitaciones moderadas o no tienen limitaciones para estas prácticas. A su vez, respecto a la aptitud para el desarrollo de frutales, el 17% serían aptos, incluyendo aquellos que presentan moderadas limitaciones, mientras que otro 17% muestra severas limitaciones.

Respecto a la distribución predial, la cuenca del río Cachapoal suma 17.714 predios y 279.116 ha, en que el estrato de tamaño que contiene el mayor número de propiedades es el entre 1,01 y 5 ha, con 5.963 unidades. En superficie, el estrato de más de 50 ha, representa el 60,9% de la superficie, con 169.991 ha.

El total de la cuenca del Tinguiririca suma 15.686 predios y 326.442 has totales. El estrato de tamaño predominante es el menor, entre 0,01 a 1 ha, con 4.398 unidades. En superficie, el estrato de más de 50 ha, es el 66,4% de la superficie total con 216.608 ha.

Existen 31 Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC) en la zona de estudio, siendo 16 pertenecientes al acuífero de Cachapoal y 15 al acuífero de Tinguiririca. En la Figura 2-1 se muestra el área de estudio, donde se han destacado los SHAC ubicados en los acuíferos de Cachapoal y de Tinguiririca.

En cuanto a la hidrografía, los caudales de los ríos Cachapoal y Tinguiririca, junto con sus afluentes, son controlados en 16 estaciones fluviométricas de la DGA, como se muestra más adelante en la Figura 2-2.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 2-1. Área de Estudio y SHAC's de acuíferos Cachapoal y Tinguiririca**

## 2.2 Caracterización Ambiental del Territorio

El análisis ambiental desarrollado se enfocó en la descripción de ecosistemas e identificación de formaciones y pisos vegetacionales en el territorio en general y en el área de estudio, especificando la flora factible de encontrar. Se agregó a ello, la identificación de especies de fauna presente o potencialmente presente en el área de estudio, abordando los grupos aves, anfibios, reptiles, mamíferos y peces.

En cuanto a la caracterización de las formaciones vegetacionales en el área de estudio, se han identificado 5 formaciones y 19 pisos vegetacionales. Entre las formaciones se tienen bosques caducifolio, esclerófilo y espinoso, herbazales de altitud y matorrales de baja altitud, donde predominan los bosques esclerófilos mediterráneo andino e interior, que superan las 450.000 has, seguidos por los matorrales bajos mediterráneos, con más de 200.000 has. En cada una de las formaciones existe una abundante flora; particularmente en el bosque esclerófilo mediterráneo andino se han identificado 39 especies, mientras que, en el otro extremo, en el herbazal mediterráneo andino, solamente 11.

De las 165 especies de flora presentes o potencialmente presentes, 15 se encuentran en alguna categoría de conservación (9%); 1 en peligro, 7 vulnerables, 2 casi amenazadas y 5 con preocupación menor. A su vez, de las 272 especies de fauna presentes, 104 están en alguna categoría de conservación (38%); de estas, 3 especies están en peligro crítico (1 anfibio y 2 reptiles), 14 en peligro (1 anfibio, 3 peces, 4 aves y 6 reptiles), 20 vulnerables, 24 en categoría casi amenazada, 42 especies con preocupación menor y 1 sin datos.

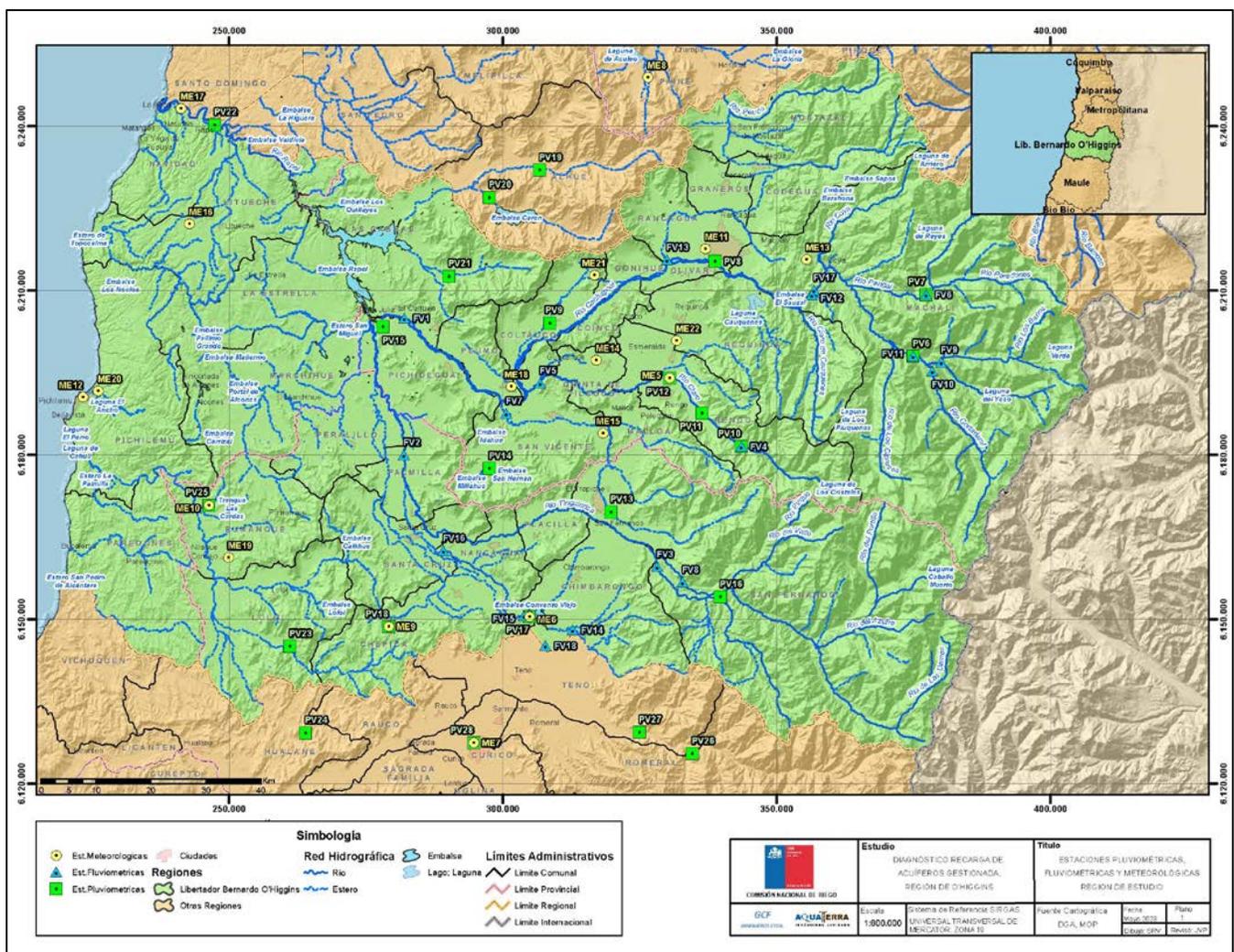
En cuanto a la fauna, se han identificado cerca de 190 especies de aves en el área de estudio, 9 especies de anfibios en que la mitad serían especies endémicas, 23 especies de reptiles, también con un 50% de endémicas, y 32 de mamíferos. A su vez, en cuanto a fauna íctica, existirían 17 especies de peces, de los cuales la mitad serían endémicas.

Las áreas protegidas en la zona, son las del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), al igual que otras figuras de protección, que en conjunto comprenden una superficie de 331.781 ha, equivalentes a un 29,3% del área. Las áreas silvestres protegidas están fuera del área de estudio y las más cercanas corresponden a la Reserva Nacional Río Cipreses y Parque Nacional Palmas de Cocalán. Además, está el Santuario de la Naturaleza Alto Huemul, el Santuario de la Naturaleza Cerro

Poqui, 2 Sitios Prioritarios (Ley 19.300 Art. 11, letra d), 17 Sitios Prioritarios (Estrategia Regional de Biodiversidad) y 5 humedales urbanos (4 declarados y 1 en proceso).

### 2.3 Caracterización Hidrológica

Para los efectos de la caracterización hidrológica, se ha utilizado información de precipitaciones, caudales y otras variables agroclimáticas de distintas estaciones de medición. En la Figura 2-2 se presenta un mapa del área de estudio en el cual se han identificado las estaciones pluviométricas, pluviométricas y meteorológicas usadas en las evaluaciones.



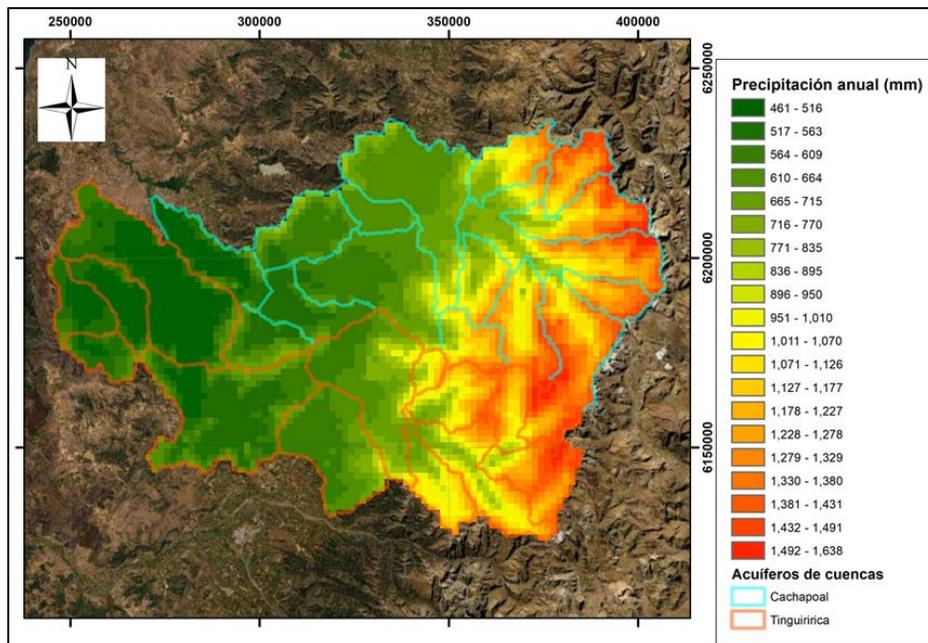
Fuente: Elaboración propia

**Figura 2-2. Estaciones hidrometeorológicas usadas en este estudio**

### 2.3.1 Pluviometría

Se utilizó información de 28 estaciones meteorológicas, del período 1970 a 2021, todas a cargo de la DGA. Luego del relleno, extensión y validación de la información pluviométrica, se generaron las series de precipitación anual y mensual del mismo período. Se generaron dos curvas de precipitación media anual con altura: la primera para la zona de altitudes bajas y valles en el área de estudio, y la segunda para las zonas de mayor altura. Con esos ajustes se definió la distribución espacial de la precipitación media anual en la zona (Figura 2-3.).

Se hicieron análisis de frecuencias a las series de precipitaciones máximas diarias anuales y se obtuvo valores para un período de retorno 10 años. Se definió una relación  $P_{m\acute{a}x24}$  versus altura.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-3. Distribución de la precipitación media anual en la zona de estudio

### 2.3.2 Fluviometría

Se recopilaron registros de 19 estaciones fluviométricas pertenecientes a la DGA con caudales medios diarios y caudales máximos instantáneos, en el período de abril de 1970 a marzo del 2021, para construir las series de caudales medios mensuales de la Tabla 2-1, a las que se les sometió a análisis

de frecuencias, y se generaron curvas de variación estacional, para probabilidades de excedencia entre 5% y 95%.

De estas estaciones fluviométricas, Río Cachapoal en Puente Arqueado es la que presenta los mayores caudales medios mensuales, con magnitudes que superan los 170 m<sup>3</sup>/s en el mes de diciembre, mientras que Estero Chimbarongo en Ruta 5 tiene los caudales mínimos, que no sobrepasan los 2 m<sup>3</sup>/s en el periodo febrero-mayo. El detalle de los análisis y resultados se incluyen en el capítulo 2.4 del informe principal y sus respaldos en el Anexo 2.4-2.

Se efectuó un análisis de crecidas a fin de obtener caudales máximos en los puntos de interés donde pudiera ser necesario instalar bocatomas como captación para proyectos RAG, de requerirse. Se utilizaron los caudales máximos diarios anuales de 17 estaciones fluviométricas, para generar series de caudales máximos anuales instantáneos, a las se les aplicó un análisis de frecuencias. De ello se obtuvieron valores para períodos de retorno entre 2 y 100 años, cuyos resultados se detallan en el acápite 2.4.2 del informe principal.

### **2.3.3 Temperatura, Evaporación, Humedad Relativa, Velocidad del Viento y Radiación**

De la información de estaciones meteorológicas se generaron valores promedio mensuales de cada una de las variables, cuyos resultados se presentan en el capítulo 2.4 del informe y en los Anexos 2.4-4 a 2.4-8.

En el caso de la temperatura y la evaporación media mensual se utilizó la información de 7 estaciones pertenecientes a la red de monitoreo nacional, de la DGA y la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), entre 1971 y 2020. Por su parte, para humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar se usó los datos de 12 estaciones de AGROMET perteneciente al Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), con información entre 2011 y 2021.

En cuanto a los resultados, cabe señalar que las temperaturas medias mensuales en la cuenca varían entre 9°C y 16°C, a diferencia de la estación El Yeso Embalse donde bajan hasta menos de 4°C entre junio y septiembre. A su vez, la evaporación desde bandeja varía entre menos de 20 mm/mes y 220 mm/mes en el área de estudio. La humedad relativa y la velocidad del viento son consistentemente parejas en el valle central a lo largo del año, con valores entre 60% y 80% de humedad relativa y velocidad del viento entre 3,0 y 5,5 km/h. Finalmente, la radiación solar no supera los 30 MJ/m<sup>2</sup> en el área, como promedio mensual.

## 2.4 Caracterización Hidrogeológica

### 2.4.1 Geología de Superficie

Se identifican unidades de roca en zonas precordilleranas de Los Andes y la Costa, mientras que en el valle central hay una secuencia volcanoclástica que forma serranías intermedias.

Los depósitos sedimentarios corresponden a Depósitos Fluviales y Fluvio Aluvionales, que, en conjunto, cubren más del 50% del área de depósitos no consolidados. Los sedimentos fluviales (Qf) están relacionados con las zonas marginales de los cauces principales, siendo de gravas y gravas arenosas con esporádicos niveles arcillosos. A su vez, los fluvioaluvionales (Qfal) se asocian a depositaciones por repetidas crecidas temporales, siendo de gravas y gravas arenosas con frecuentes niveles arcillosos y compacidad moderada a alta.

A su vez, existen Depósitos Fluvio Lacustres (Qfl) en sectores de rinconadas y/o terrenos donde los cauces serpentean producto de relieves irregulares; se caracterizan por terrenos de baja pendiente y suelos arcillosos, con drenaje restringido. Además, están los Depósitos Cineríticos (Qc), en la zona este de la cordillera de la Costa, con secuencias de sedimentos con mala selección, aspecto tobáceo, duro, compacto y baja permeabilidad.

Existen también otras unidades como Abanicos Aluviales (Qaa), Fluviales de Valles Costeros e Interserranos (Qfi), y serranías intermedias, Depósitos Gravitacionales (Qg) y Flujos Detríticos (Qfd), que son escombros de falda, coluvios y conos de deyección, que rellenan quebradas de fuerte pendiente, de material variado, en una matriz fina limo-arcillosa.

### 2.4.2 Hidrogeología

#### 2.4.2.1 Unidades Hidrogeológicas

Existen 3 Unidades Hidrogeológicas mayores en las cuencas del Cachapoal y del Tinguiririca:

- Unidad Hidrogeológica (UH1), formada por rocas metamórficas y cuerpos intrusivos, que afloran en la Cordillera de la Costa, bastante meteorizadas, y consistencia semejante a la de un suelo, en que el material suelto que se identifica como "maicillo", con incisiones de hasta 10 a 12 m,

por los flujos del agua en laderas empinadas. Esta unidad no es relevante, por su baja permeabilidad.

- Unidad Hidrogeológica (UH2), constituida por rocas sedimentarias y secuencias volcánicas expuestas por erosión y/o tectónica, ubicada en ambas cordilleras. Habría pozos perforados, hasta 40 a 60 m, con caudales bajos (menores a 7 l/s).
- Unidad Hidrogeológica (UH3), asociada a depósitos no consolidados de la Depresión Intermedia, limitados por secuencias volcánicas y sedimentarias de la UH2, y por el basamento de la Cordillera de la Costa.

En los SHAC de la cuenca del Cachapoal, se distinguen dos tipos:

- UH3\_C1: Con sedimentos gruesos del tipo bolones, gravas, ripios y arena, susceptibles de contener acuíferos, y que alcanza su mayor espesor en torno a Rancagua, donde puede llegar hasta los 150 m. Hacia el norte, tiene espesores entre 5 y 10 m, con algún grado de confinamiento, por un estrato con abundante matriz arcillosa y limosa. Hacia el sur, llega a cerca de 100 m, y hacia el poniente, tiene un espesor variable de 60 a 100 m, siendo un acuífero libre. En la confluencia del Cachapoal con el Claro, y luego con el estero Zamorano, se presenta alternado entre gruesos y presencia de arcillas.
- UH3\_C2: Se ubica bajo la anterior, y está formada por sedimentos más finos, teniendo una alternancia de niveles arenosos y abundante arcilla, de baja permeabilidad y espesor que podría alcanzar 150 m.

A su vez, en la cuenca del Tinguiririca, la UH3 presenta tres tipos de depósitos:

- UH3\_T1: Constituida por sedimentos de granulometría gruesa, como ripios, gravas y arenas, con escaso contenido de material fino, cubriendo gran parte del relleno de la cuenca de Tinguiririca, con espesores que varían de 20 a 50 m.
- UH3 T2: Subyace a la anterior y presenta una componente arcillosa importante en la Depresión Intermedia, donde alcanza una potencia máxima cercana a 30 m.
- UH3 T3: Está compuesta de materiales medios a gruesos, en la Depresión Intermedia. Posee un semi confinamiento, siendo mayor en Chimbarongo, donde llega a 15 m.

Para caracterizar la unidad UH3, que es la más importante, se usaron antecedentes de estudios geofísicos existentes y ejecutados en este trabajo. Se pudo concluir que su mayor presencia está en los SHAC Graneros-Rancagua, Olivar y Tinguiririca Superior, y en menor medida en Requínoa-Rosario-

Rengo-Quinta de Tilcoco y Chimbarongo; no aparece en el resto ni en potencia ni con alta permeabilidad.

#### 2.4.2.2 **Parámetros Hidrogeológicos**

Se utilizó la información del catastro de captaciones realizado, antecedentes de expedientes de derechos de agua y planos de construcción de pozos que pudieron obtenerse. El catastro se realizó dando importancia a pozos SSR y de riego; se catastraron 478 pozos y 10 norias, en que 205 son utilizados para el riego (42%), exclusivamente o combinados con otros (potable e industrial); 272 captaciones pertenecen a SSR o ESSBIO (55,7%), y otras son captaciones de privados, usadas principalmente para consumo humano. Entre estas captaciones, están los pozos que pertenecen a comunidades de agua subterránea (11 pozos en 7 comunidades) y pozos comunitarios (2 pozos).

Se analizaron 131 pruebas de bombeo en el área de estudio, para obtener valores de permeabilidad o transmisividad. A su vez, del coeficiente de almacenamiento varían entre 3% y 15%, definidos de la granulometría de los rellenos.

#### 2.4.2.3 **Niveles de Agua Subterránea**

Se usó la información de 59 pozos de la red de monitoreo DGA para este análisis, con datos hasta mayo de 2021. De allí, se obtuvieron tasas de descenso promedio desde 1990 a 2010, que alcanzaron a 0,07 m/año, las cuales se incrementaron hasta 0,30 m/año en promedio entre 2010 y 2021 por efectos de la sequía. El detalle y desarrollo de este tema se incluye en el capítulo 2.5.2.3 y Anexo 2.5-4.

Se midió la profundidad de napa en 469 captaciones, para generar curvas equipotenciales y, así, identificar la dirección del flujo subterráneo. Se instalaron además 6 sondas transductoras de presión, de medición continua de niveles, 3 en la cuenca del Cachapoal y 3 en la cuenca del Tinguiririca.

En la Tabla 2-1 se presenta un resumen con las características hidrogeológicas promedio de los SHAC del área de estudio.

**Tabla 2-1. Resumen con las Principales Características SHAC**

Acuífero	SHAC	Espesores UH3 (m)			Parámetros			N.E. 2021
		1	2	3	K (m/s)	T (m <sup>2</sup> /s)	S (%)	(mbnt)
Cachapoal	Graneros-Rancagua	10-150	50-130	-	4,40E-04	1,17E-02	15	7-130
	Olivar	100-150	10-100	-	5,50E-04	2,29E-02	15	39-130
	Doñihue - Coinco - Coltauco	50-80	20-50	-	1,20E-03	2,18E-02	15	1-10
	Requinoa - Rosario - Rengo - Qta. De Tilcoco	40-150	20-100	-	7,70E-04	1,67E-02	15	0-79
	Pelequén - Malloa - San Vicente de Tagua Tagua	75	20-75	-	3,20E-04	8,03E-03	10	1-21
	Peumo - Pichidegua - Las Cabras	70-100	25-30	-	1,50E-04	4,97E-03	8	1-19
	Laguna San Vicente	-	50-70	-	1,70E-05	6,48E-04	3	0-25
Tinguiririca	San Fernando	150-200	10-30	-	1,90E-04	1,27E-02	10	1-25
	Chimbarongo	50-125	15-70	30-160	1,40E-04	5,23E-03	8	2-70
	Tinguiririca Superior	50-200	15-75	20-150	2,80E-04	8,69E-03	10	1-25
	Tinguiririca Inferior	-	100	70-180	1,30E-04	3,54E-03	8	0-59
	Cadenas - Yervas Buenas	-	50-75	50-75	5,10E-05	1,19E-03	3	5-24
	Cadenas Marchigüe	-	75-125	50-60	1,20E-04	4,48E-03	5	5-67
	El Monte Tinguiririca	-	50	50	3,70E-05	1,68E-03	3	9-16

Fuente: Elaboración propia

## 2.5 Caracterización de la Calidad de Aguas

### 2.5.1 Calidad de Aguas Superficiales

Se utilizó datos de la red hidrométrica de la DGA con información desde el año 2000, además de la información de la SISS a través del PR-18 de ESSBIO. Se compararon los contenidos de distintos parámetros con los que señalan las Normas para uso de agua en riego, NCh1333 of 78 y para uso de agua potable, NCh409 of 2005. Se contó con información desde el año 2000 de 10 estaciones de calidad controladas por la DGA en la cuenca de Cachapoal y con 3 de ESSBIO en la misma cuenca. A su vez, en la cuenca de Tinguiririca existen 4 estaciones de la DGA operando y sólo 1 estación de ESSBIO. Las conclusiones respecto a la calidad de aguas superficiales en el área se resumen así:

- En agua potable los parámetros fuera de norma en ambas cuencas son: Arsénico, Plomo, Mercurio, Hierro y Manganeso.
- En la cuenca del Cachapoal, estos elementos se encuentran en exceso cerca de Rancagua, Coya, Santa Julia, Doñihue, San Vicente de Tagua Tagua y Olivar Alto.

- El Hierro está excedido en la mayoría de las localidades, y el manganeso en una parte no menor de ellas (Peumo, Rengo, Laguna Cauquenes, Coya).
- En las localidades Puente Negro y San José del Carmen del Tinguiririca, Arsénico, Plomo, Mercurio, Hierro y Manganeso están en exceso; sólo en Palmilla y Chimbarongo el Arsénico no está excedido.
- Con relación a la norma de riego, NCh1333, los parámetros fuera de norma son: Molibdeno, Mercurio, Boro, Hierro, Manganeso y Aluminio.
- En la cuenca del río Cachapoal, se encuentran en exceso cerca de Rancagua, Coya, Santa Julia, Doñihue y Olivar Alto.
- El Cobre se encuentra en exceso sólo en la localidad de Coya.
- Sólo algunos elementos de estos se detectan en exceso al sureste de Rengo, San Vicente de Tagua Tagua, Laguna Cauquenes y Coya.
- En la cuenca del río Tinguiririca se repite la situación de la cuenca del río Cachapoal en las localidades de Puente Negro y San José del Carmen, y en menor medida cerca de Palmilla y de Chimbarongo

Adicionalmente a lo anterior, debe destacarse que no habría contaminación antrópica, ya que en las aguas superficiales no se producen excesos de Nitratos, en estas cuencas (Análisis Diagnóstico de la Calidad de las Aguas Subterráneas de la Región Libertador Bernardo O'Higgins, DGA, mayo 2015). A su vez, según información secundaria de calidad, no habría indicios de contaminación puntual o difusa en las cuencas de estudio, ni eutrofización de lagunas, embalses o humedales (Eutrofización en Humedales: Medidas de Control y Abordaje a Distinta Escala, 2021, SEREMI Medio Ambiente O'Higgins).

De acuerdo con los diagramas de Piper y Stiff, se determinó que las aguas superficiales de ambas cuencas tienen composiciones similares. En el Cachapoal se tienen aguas Sulfatadas Cállicas mayoritariamente, que cambian en torno a San Vicente de Tagua Tagua-Rengo a Bicarbonatada Cállica, lo que se repite en Tinguiririca, donde varía cerca de Chimbarongo.

### **2.5.2 Calidad de Aguas Subterráneas**

En la red hidrométrica de calidad de aguas subterráneas de la DGA se tienen datos desde el año 2000, y en la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) a través del PR-18 de ESSBIO, desde 2004; existe también información de estudios en que se comparan los distintos parámetros con los que señalan las Normas para uso de agua en riego (NCh 1.333) y en agua potable (NCh 409). Se contó con información

de 3 puntos de la red DGA en cada una de las cuencas de Cachapoal y de Tinguiririca, y datos de 58 puntos del PR-18 en la cuenca del Cachapoal y 27 en la cuenca del Tinguiririca. Las conclusiones en el área se resumen así:

- Es posible concluir que sólo es posible identificar algunos elementos en exceso.
- En el acuífero del Cachapoal Molibdeno, Boro y Manganeso, presentan mediciones por sobre la norma de riego, cerca de las localidades de Lo Miranda, San Vicente y Rengo.
- En cuanto a la norma de agua potable NCh 409 of 2005, se identificó que el Hierro y Nitrato presentaron mediciones por sobre los límites en algunas captaciones.
- En el acuífero de Tinguiririca, Arsénico, Fierro y/o Manganeso aparecen en exceso, en las cercanías de San José del Carmen, Santa Cruz, Peralillo y Nancagua.
- En cuanto a la norma de riego, Molibdeno, Boro y Manganeso la exceden en zonas cercanas a San José del Carmen, Santa Cruz y Cunaco.
- Caso especial son los nitratos que aparecen en Santa Cruz, Chimbarongo, Chépica y Población por sobre los 50 mg/l, debido al uso de abonos en la agricultura y la ganadería.

## **2.6 Análisis de la Situación Legal de Derechos de Agua**

### **2.6.1 Restricciones de la DGA para Fuentes Hídricas de la Zona.**

El área de estudio se ha visto afectada en los últimos años por decretos de escasez hídrica, de los cuales el último fue durante parte del año 2022. A su vez, existen 3 declaraciones de agotamiento de aguas superficiales declaradas por la DGA que corresponden al río Tinguiririca y sus afluentes (marzo 1983), estero Chimbarongo y sus afluentes (noviembre 1999) y Primera Sección del río Claro de Rengo (2016).

A su vez, la zona de estudio posee reservas de caudales para el SHAC de Tinguiririca Inferior (Decreto octubre 2013) y para el SHAC de Cadenas de Marchigüe (Decreto marzo 2014), como reservas de aguas subterráneas y extractivas para subsistencia y preservación ecosistémica.

Por otra parte, todos los SHAC en las subcuencas Cachapoal Bajo y Tinguiririca Bajo son Áreas de Restricción o Zonas de Prohibición para nuevas extracciones de aguas subterráneas.

## 2.6.2 Derechos de Aguas Superficiales

Según la información levantada en la DGA, existen 2.027 DAA superficiales catastrados entre 1907 a 2021, los cuales suman un caudal total de 211.598,4 m<sup>3</sup>/s. De este caudal, 13.325,4 m<sup>3</sup>/s son de la provincia de Cachapoal, 539,1 m<sup>3</sup>/s de Colchagua y 517,3 m<sup>3</sup>/s de Cardenal Caro.

Sobre los usos de las aguas, la distribución es: 0,01% bebida/uso doméstico/ saneamiento, 4,16% energía hidroeléctrica, 0,45% riego, 0,59% uso industrial, 0,1% uso minero y 0,29 % otros usos. Sin embargo, existe un 94,4% para el cual no se reporta algún uso en la DGA.

Los derechos no consuntivos concentran los mayores caudales (99% de 14.382,1 m<sup>3</sup>/s).

Existe además un número importante de otros derechos en trámite, por 680,3 m<sup>3</sup>/s. De estos, el 43,5% son nuevos derechos, el 0,2% son regularizaciones y más del 50%, son traslados de su ejercicio. Casi un 99% están destinados a hidroelectricidad.

## 2.6.3 Derechos de Aguas Subterráneas

Según el Catastro Público de Aguas, hasta abril de 2022 había 6.033 derechos otorgados entre los años 1958 y 2021, que suman 86.634,1 l/s. De esto, 46.288,8 l/s estarían en la provincia de Cachapoal, 35.127,9 l/s en Colchagua y 5.217,4 l/s en Cardenal Caro. De ellos, 5.490 corresponden a derechos definitivos y 543 a derechos provisionales, mayoritariamente en los SHAC Tinguiririca Superior y Cachapoal Graneros.

El 30,35% se destina a bebida/uso doméstico/ saneamiento, el 0,16% a energía hidroeléctrica, 50,85% a riego, 1,80% a uso industrial, 0,31% a uso minero y 0,47% a otros usos reportados.

En el área de estudio propiamente tal habrían 4876 DAA subterráneas constituidos, cuyo resumen por SHAC se presenta en la Tabla 2-2.

**Tabla 2-2 Distribución de DAA subterráneas en SHAC de la zona de estudio**

SHAC	Número DAA	Caudal (l/s)	% Caudal
Cadenas Marchigüe	400	4.668,0	5,94%
Cadenas Yerbas Buenas	182	634,2	0,81%
Chimbarongo	195	2.309,9	2,94%
Doñihue-Coinco-Coltauco	291	2.316,1	2,95%
El Monte - Tinguiririca	169	817,4	1,04%
Graneros - Rancagua	251	6.646,1	8,46%
Laguna San Vicente	132	1.409,5	1,79%
Olivar	87	4.776,5	6,08%

SHAC	Número DAA	Caudal (l/s)	% Caudal
Peleq-Mall-S Vic TaguaTagua	278	3.582,7	4,56%
Peumo-Pichid-Las Cabras	389	4.261,3	5,43%
Req-Ros-Rengo-Q Tilcoco	475	17.271,8	21,99%
Rio Cachapoal Alto	2	6,0	0,01%
Rio Cortaderal	1	0,1	0,00%
Rio Coya	6	120,6	0,15%
Rio Pangal	2	45,0	0,06%
San Fernando	212	2.957,9	3,77%
Tinguiririca Inferior	810	7.402,7	9,43%
Tinguiririca Superior	994	19.303,7	24,58%
<b>Total General</b>	<b>4.876</b>	<b>78.529,5</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: Elaboración Propia

Existen 891 tramitaciones pendientes para nuevos derechos, los cuales suman un caudal total de 18.865,7 l/s (56,6% en la provincia de Cachapoal, 41,9% en Colchagua y solo 1,5% en Cardenal Caro).

En cuanto a los SSR, hay 192 servicios con derechos inscritos, de los cuales 112 (1.918,7 l/s) son localidades de la provincia de Cachapoal, 69 (1.150,4 l/s) de Colchagua y 11 (97,6 l/s) de Cardenal Caro.

#### 2.6.4 Organizaciones de Usuarios

Para la identificación de las 422 organizaciones de usuarios en el área de estudio, se utilizó la información de la DGA y el Diagnóstico de las Organizaciones de Usuarios (U. de Chile 2018), además de las inscripciones conservatorias. Se determinó la existencia de 19 Juntas de Vigilancia (12 de Derecho, 7 de Hecho y 6 en vías de formación), 44 Asociaciones de Canalistas 353 Comunidades de Agua y 6 Comunidades de Agua Subterránea.

### 3. PROPOSICIÓN DE SITIOS A EVALUAR PARA RECARGA GESTIONADA DE ACUÍFEROS

#### 3.1 Introducción

El procedimiento para seleccionar los sitios se basó en antecedentes hidrogeológicos, hidrológicos, ambientales y de posibilidades de aprovechamiento de las aguas de recarga para comunidades y organizaciones de usuarios. En cuanto a lo hidrogeológico, se consideró la profundidad de la napa y la calidad del acuífero en la zona no saturada para admitir la recarga. En lo hidrológico, la disponibilidad de agua de cauces cercanos y canales de riego como potenciales fuentes de agua. En lo ambiental, la ubicación de los sitios de proyectos, alejadas en lo posible de áreas sensibles o sujetas a protección oficial. Finalmente, relacionado con las comunidades se buscó que fueran cercanos a pozos comunitarios, Comunidades de Agua o Sistemas Sanitarios Rurales (SSR).

Para efectuar la proposición misma de sitios donde se estima que proyectos RAG serán efectivos, a partir del procedimiento descrito, se utilizaron antecedentes de tipo técnico, administrativos y legales.

Los de tipo técnico fueron catastros de pozos comunitarios, de CAS y captaciones de SSR, llegándose a 490 en total; cartas hidrogeológicas de Sernageomin; caudales de pozos con derechos; perfiles estratigráficos de pozos; estudios geofísicos y sus interpretaciones, limnigramas de pozos de la red de control de la DGA y antecedentes hidrológicos de estaciones fluviométricas para estimar disponibilidad de aguas en invierno para ser aprovechadas en recarga de acuíferos, al igual que unifilares de canales para conducir agua.

Respecto a los antecedentes administrativos, se analizó posibilidad de una asociatividad entre potenciales beneficiarios de los proyectos RAG, operando en torno a las CAS ya constituidas, a pozos comunitarios o apoyándose en organizaciones formadas como los SSR, para constituir con algunos de los integrantes de esos Comités las CAS que se requerirán.

Por ello, los antecedentes de tipo legal a ser considerados son el Reglamento sobre normas de exploración y explotación de aguas subterráneas (DGA, 2013) y las Circulares N°1, sobre obras hidráulicas permeables en la recarga de acuíferos (DGA,2019), y N° 2, sobre exceptuarse de cumplir orden de cierre de bocatomas ante avenidas de invierno (DGA 2019).

En definitiva, se revisó en detalle los siguientes factores para proponer los sitios:

- Hidrología
- Hidrogeología general. Niveles de napa (históricos y actuales) y Permeabilidades
- Caudales de explotación factibles de extraer
- Ubicación respecto a cauces naturales y a canales de riego
- Ubicación respecto a áreas sometidas a protección oficial
- Ubicación respecto a puntos con calidad de aguas que exceden normas

De 47 sitios preseleccionados con antecedentes secundarios como los señalados, se procedió a elegir los 20 con mejores características para realizarles ensayos de terreno, para finalmente seleccionar los 10 sitios con mejor potencial para la recarga.

### 3.2 Identificación y Proposición de 20 Sitios para Recarga Gestionada de Acuíferos

La selección y priorización de los sitios en esta etapa, consideró los siguientes parámetros a los que se les asignó diferentes puntajes: Profundidad del nivel estático, Caudal de explotación factible desde pozos de bombeo, Presencia de pozos comunitarios o SSR, Cantidad de predios que pudieran beneficiarse para regar con pozos, Cantidad de usuarios con derechos de agua en el entorno.

En los 20 sitios preseleccionados se realizaron pruebas de terreno con el objeto de tener información adicional que permitiera seleccionar los 10 sitios con mejor potencial para la recarga. En la Tabla 3-1 se presenta la ubicación de los 20 sitios preseleccionados.

**Tabla 3-1 Veinte sitios mejor evaluados**

Orden de Precedencia	Sitio RAG	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Fuente	Superficie (has)	Comuna	SHAC
1º	TIN6	320.239	6.171.889	Canal M El Tambo Angostura	0,5	San Fernando	San Fernando
2º	TIN1	323.810	6.161.640	Canal Matriz Común	1,2	Chimbarongo	Chimbarongo
3º	TIN14	323.147	6.162.750	Canal Matriz Común	0,9	Chimbarongo	Chimbarongo
4º	CCH6	337.679	6.221.597	Canal Ribera Norponiente	0,5	Rancagua	Graneros-Rancagua
5º	TIN5	321.075	6.171.523	Canal Matriz Barriales	0,5	San Fernando	San Fernando
6º	TIN2	320.725	6.161.433	Canal Matriz Almarza	0,6	Chimbarongo	Chimbarongo
7º-	CCH28	332.268	6.211.285	Ramales Canal Asoc. Ribera Sur	0,7	Olivar	Olivar
8º	CCH22	332.380	6.202.809	Ramales Canal Asoc. Ribera Sur	1,0	Requínoa	Cachap-Requín-Rosario-Rengo-Qta. Tilcoco
9º	CCH17	334.640	6.203.886	Ramales Canal Asoc. Ribera Sur	1,5	Requínoa	Cachap-Requín-Rosario-Rengo-Qta. Tilcoco
10º	CCH19	330.307	6.202.163	Ramales Canal Asoc. Ribera Sur	1,0	Rengo	Cachap-Requín-Rosario-Rengo-Qta. Tilcoco
11º	CCH26	336.508	6.205.266	Ramales Canal Asoc. Ribera Sur	0,4	Requínoa	Cachap-Requín-Rosario-Rengo-Qta. Tilcoco
12º	Río Cachap1	344.720	6.213.080	Canal San Joaquín	1,0	Machalí	Graneros-Rancagua
13º	CCH15	330.870	6.217.884	Ramales Canal Ribera Norponiente	1,1	Rancagua	Graneros-Rancagua
14º	CCH18	335.140	6.214.860	Canal Olivar	1,0	Olivar	Olivar
15º	CCH29	326.128	6.211.808	Canal Matriz Copequén	0,5	Olivar	Olivar
16º	TIN16	320.022	6.158.986	Canal Matriz Llantén	1,0	Chimbarongo	Chimbarongo

Orden de Precedencia	Sitio RAG	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Fuente	Superficie (has)	Comuna	SHAC
17°	CCH23	329.763	6.200.065	Ramales Canal Asoc. Ribera Sur	0,6	Rengo	Cachap-Requín-Rosario-Rengo-Qta. Tilcoco
18°	Río Tingui 1	325.090	6.163.440	Canal Perejil	0,7	Chimbarongo	San Fernando
19°	Río Tingui 8	323.554	6.164.493	Canal Maturana	1,0	San Fernando	San Fernando
20°	Río Tingui 4	319.087	6.167.639	Canal Mat. La Palma Com. Los Palacios	1,0	San Fernando	San Fernando

Fuente: Elaboración Propia

#### 4. EVALUACIÓN DE LOS 20 SITIOS RAG PRESELECCIONADOS

##### 4.1 Trabajos de Terreno en los 20 Sitios Seleccionados

###### 4.1.1 Calidad de Aguas

Para evaluar la calidad físico química y bacteriológica de aguas superficiales y subterráneas en los 20 sectores los análisis efectuados fueron:

- aguas superficiales en canales: normas de riego y de agua potable y bacteriológicos
- aguas subterráneas en pozos: normas de riego y de agua potable, bacteriológico y pesticidas (Tabla 4 de la norma de agua potable NCh 409 of 2005).

Se efectuó un análisis comparativo de la calidad de las aguas superficiales que se usarán para recarga y de la de las aguas subterráneas del sector donde se efectuarán los proyectos.

La calidad de las aguas subterráneas en los sectores escogidos para recarga artificial, cumple con la norma de riego y respecto a la de agua potable, sólo se presentan excesos de arsénico y de hierro en 2 o 3 sectores. Sobre la calidad de las aguas superficiales a ser usadas en la recarga, cumplen la norma de riego, excepto el parámetro litio cítrico en 11 sectores. De la norma de agua potable, existen excesos de arsénico en 12 sectores, de hierro en 17 sectores y de manganeso en 7 sectores. El detalle de esto, se presenta en el capítulo 4 del informe principal.

### 4.1.2 Geofísica

Se efectuó un estudio geofísico, en que se midieron estaciones TEM (5 en cada sitio de proyecto), y perfiles de Tomografía ERT, en los 20 sitios.

Los resultados indican la presencia de un estrato superficial apto para recarga entre los 20 m y 50 m. Además, hasta 100 m, no se detectaron estratos de material fino en los perfiles.

### 4.1.3 Mecánica de Suelos

Se ejecutaron calicatas de 6.0 m de profundidad y sondajes mecánicos hasta 16 m, con ensayos de permeabilidad e infiltración. La Tabla 4-1 es un resumen de los resultados.

**Tabla 4-1 Resultados de ensayos de permeabilidad en 20 sitios**

SITIO RAG	Permeabilidad (m/s)		SITIO RAG	Permeabilidad (m/s)	
	Porchet	Lefranc		Porchet	Lefranc
Río Cachap 1	4,0E-04	*	CCH23	5,8E-05	3,52E-06
Río Tingui 1	6,0E-05	6,82E-06	CCH26	1,6E-04	1,79E-05
Río Tingui 4	1,0E-06 **	3,01E-05	CCH28	1,8E-04	*
Río Tingui 8	3,2E-05	*	CCH29	3,7E-05	1,70E-05
CCH6	1,0E-04	7,68E-06	TIN-1	1,0E-06 **	2,96E-05
CCH15	2,9E-05	2,09E-05	TIN-2	3,1E-05	3,97E-05
CCH17	8,1E-05	3,54E-05	TIN-5	5,5E-04	2,80E-05
CCH18	5,6E-05	1,56E-05	TIN-6	7,4E-05	6,83E-05
CCH19	9,7E-05	3,24E-07	TIN-14	1,6E-04	*
CCH22	3,0E-05	2,23E-05	TIN-16	5,8E-05	4,27E-06

Fuente: Elaboración Propia

(\*) No se pudo realizar ensayo ya que no se estabilizó el nivel

(\*\*) Resultado a partir de ensayo en laboratorio (carga constante)

### 4.1.4 Topografía

Se construyeron monolitos de hormigón en cada sitio para 2 PRs y su monografía. En los 10 sectores finales, se hicieron levantamientos de detalle con Estación Total y GPS en modo RTK. Con ello, se elaboraron archivos magnéticos con planos (planta y puntos levantados), malla TIN y coordenadas. Además, hubo un autocontrol topográfico en los 10 sectores, todo según el Manual de Procedimientos Geodésicos y Topográficos (CNR).

#### **4.1.5 Medición de Niveles de Napa**

Durante el catastro de pozos se midió la profundidad de la napa en 469 de ellos, varios cerca de los sitios posibles para proyectos RAG, y se instalaron 6 sondas transductoras de presión, para medición continua de niveles (3 en cuenca de Cachapoal y 3 en cuenca del Tinguiririca).

### **4.2 Derechos de Aguas y Organizaciones de Usuarios en los 20 Sitios**

#### **4.2.1 Derechos de Agua**

Para los derechos subterráneos, se identificaron los titulares o solicitantes que se ubican dentro de un radio de 5 km, desde el centro de cada sitio preseleccionado, en los acuíferos de Cachapoal y Tinguiririca, que podrían ser beneficiados con los proyectos RAG. A su vez, para los derechos superficiales se identificaron aquellos que corresponden a canales, que se han considerado como fuente de agua de los proyectos, con el antecedente del beneplácito de los presidentes de canales y de las respectivas juntas de vigilancia para materializarlos.

#### **4.2.2 Organizaciones de Usuarios de Agua**

Se identificaron los canales y OUA's desde los cuales se obtendrán los recursos de agua para abastecer cada uno de los 20 sitios de proyectos preseleccionados. Se sostuvo reuniones con cada uno de los presidentes de las organizaciones y con las juntas de vigilancia, para asegurar la disposición de ellos a suministrar las aguas para los proyectos y el compromiso de suscribir convenios con los titulares de los proyectos para estos efectos.

### **4.3 Levantamiento de los Usos de Agua en los 20 Sitios Seleccionados**

Para este tema, se generó un listado de predios del total del área de influencia del estudio dentro de un radio de 5 km, ordenados por sector y estrato de tamaño, señalando el número de estos y sus superficies. De allí, se aplicaron encuestas agroeconómicas a los 20 sectores a una muestra del 20% de los predios totales y de un 25% de las superficies de las áreas de influencia.

Se consultó respecto a la tenencia de la tierra, al área de riego superficial o subterráneo, de seco, sin uso y forestado, a la mano de obra por género, con su pago por jornada. Además, se agregaron consultas respecto a ganadería, de lo que se obtuvo poca respuesta, de nivel tecnológico en cultivos y frutales

según correspondiera, además de las fuentes de financiamiento a las que los agricultores acuden, tanto públicas como privadas. En cuanto al uso del suelo, se repite que entre el 5 y el 12% sin uso tienen potencial de riego.

Sobre temas relacionados con su quehacer diario, se les consultó sobre las restricciones que ven, siendo la más importante el agua disponible, seguida por la mano de obra. Ante la consulta sobre el interés en el proyecto y sus posibles beneficios, todos manifestaron estar interesados en su ejecución, y la mayoría manteniendo los actuales patrones de cultivo.

En cuanto al uso de aguas, la totalidad de los encuestados tienen sus DAA superficiales inscritos, semejante a la situación de los agricultores que riegan con pozos. Un grupo no menor de DAA subterráneos son de los SSR. Sobre si pertenecen a alguna asociación de canalistas, la gran mayoría manifiesta que es así, salvo pocas excepciones.

Adicionalmente, se les consultó sobre la calidad del riego en año normal, en lo cual, la mayoría señaló que no tienen problemas. En cuanto a la calidad del agua, predominan las de buena calidad, salvo en ciertos sectores donde sería regular.

En el acápite 4.3 del informe principal se incluye el desarrollo detallado de este tema.

#### **4.4 Demandas de Agua en los 20 Sitios Seleccionados**

Se desarrolló una caracterización productiva de las situaciones actual y futura con proyecto en los 20 sectores preseleccionados. En situación actual se definió el patrón de uso del suelo por estratos de tamaño y del total de la superficie de cada sector, mientras que en situación futura se determinó la asignación de cultivos y los criterios aplicados. Además, se agrega el estudio de mercados, comercialización y precios, y la evaluación de demandas de agua de riego para situaciones actual y futura de cada sector.

En cuanto a mercados, el destino de la producción y la comercialización de los distintos productos, está en la venta directa a molinos, ferias ganaderas y agroindustrias y exportación, según contratos o con intermediarios que adquieren directamente en el predio la producción. En frutales, los agricultores la entregan a las empresas exportadoras, y el descarte va a la agroindustria o al mercado interno. A su vez, el ganado bovino es llevado a ferias para remate y, en menor escala, es adquirido por intermediarios en el predio.

En cuanto a los criterios que contemplen la transición entre la situación actual y la futura, se debe señalar que, a predios menores o iguales a 5 ha, se les asignó principalmente hortalizas, a predios mayores de 5 ha, frutales y vides, contemplando un incremento de alrededor del 50% de la superficie actualmente sin uso o en condiciones de secano. Por otra parte, para la totalidad de los estratos de tamaño, cultivos como el trigo, praderas naturales y artificiales, fueron sustituidas por especies más rentables y de menor consumo hídrico.

La estructura de uso futuro del suelo se planteó suponiendo que se mantendrán los mismos factores y prioridades del uso actual de la tierra, adaptándolo a las condiciones hidrológicas esperadas y seguridad de riego ligada, con programas de asistencia técnica y capacitación.

Establecido lo anterior, se evaluaron las demandas de agua de riego, para cada uno de los 20 sectores, según demandas netas de agua y eficiencias de riego, para definir las tasas de riego y demandas brutas, en situación actual y en situación futura, con los proyectos RAG.

#### **4.5 Análisis Ambiental en los 20 Sitios Seleccionados**

La zona donde se ubican los 20 sectores preseleccionados está fuertemente intervenida por cultivos agrícolas y uso urbano, con remanentes de vegetación natural muy escasos.

La metodología para abordar el análisis ambiental y determinar las áreas de restricción en el ámbito de los 20 sitios, consideró especificar criterios para la determinación de las áreas de sensibilidad, de riesgo y, posteriormente, de las áreas de restricción.

El proceso metodológico consiste en adicionar capas de información para generar las áreas requeridas, en dos escalas distintas: los análisis de sensibilidad y riesgo se efectúan a escala de cuenca, para los acuíferos de Cachapoal y Tinguiririca, y el análisis de restricción, se trabaja a escala de sitio, considerando las superficies asociadas a los proyectos RAG.

Las áreas protegidas están principalmente en las zonas montañosas cordilleranas, donde no queda ninguno de los 20 proyectos RAG. Dos de ellas pertenecen al SNASPE, dos son Santuarios de la Naturaleza, dos son Sitios Prioritarios reconocidos en el SEIA, 17 son Sitios Prioritarios identificados por la Estrategia Regional de Biodiversidad; hay 4 humedales urbanos declarados, además de 1 en proceso y habría también iniciativas de conservación privada.

A su vez, otras áreas están asociadas a distintos riesgos (incendios forestales, remoción en masa, volcanismo, inundaciones fluviales), dentro de las cuales, 489 son áreas de riesgo de inundaciones fluviales, (47 se vinculan a asentamientos humanos), mientras 434 áreas de riesgo involucran infraestructura. En este caso, dentro del área que ocuparían los proyectos RAG, habría 8 de estas áreas que afectarían a 5 de los sectores preseleccionados.

## 5. SELECCIÓN DE LOS 10 SITIOS RAG

### 5.1 Criterios de Selección

Las variables más relevantes y su valoración, para definir la aptitud de los 10 sitios para implementar en ellos proyectos RAG han sido:

- Seguridad de la fuente, en este caso canales de riego (20%)
- Condiciones hidrogeológicas de permeabilidad [0,35 relativo], profundidad de napa [0,35 relativo], volumen disponible para embalsar en el acuífero [0,20 relativo] y calidad de aguas [0,10 relativo] (total ponderación 20%)
- Tipo y número de potenciales beneficiarios de encuestas agropecuarias (10%)
- Cercanía con CAS/Pozos Comunitarios/pozos de SSR (10%)
- Usuarios cercanos con DAA subterránea (10%)
- Costos preliminares de implementación de los proyectos (15%)
- Sensibilidad y riesgos ambientales en torno a los sitios de proyectos (15%)

En la Tabla 5-1 se presenta el resultado de la calificación de los 10 sitios elegidos y en la Figura 5-1 la ubicación de cada uno de ellos.

**Tabla 5-1 Listado Priorizado de Sitios para Proyectos RAG**

Orden de Precedencia	Sitio RAG	Cuenca	Comuna	SHAC	Calificación Final
1°	TIN6	Río Tinguiririca	San Fernando	San Fernando	7,83
2°	TIN1	Río Tinguiririca	Chimbarongo	Chimbarongo	7,87
3°	TIN14	Río Tinguiririca	Chimbarongo	Chimbarongo	7,54
4°	CCH6	Río Cachapoal	Rancagua	Graneros-Rancagua	7,43
5°	TIN5	Río Tinguiririca	San Fernando	San Fernando	7,01
6°	TIN2	Río Tinguiririca	Chimbarongo	Chimbarongo	6,89



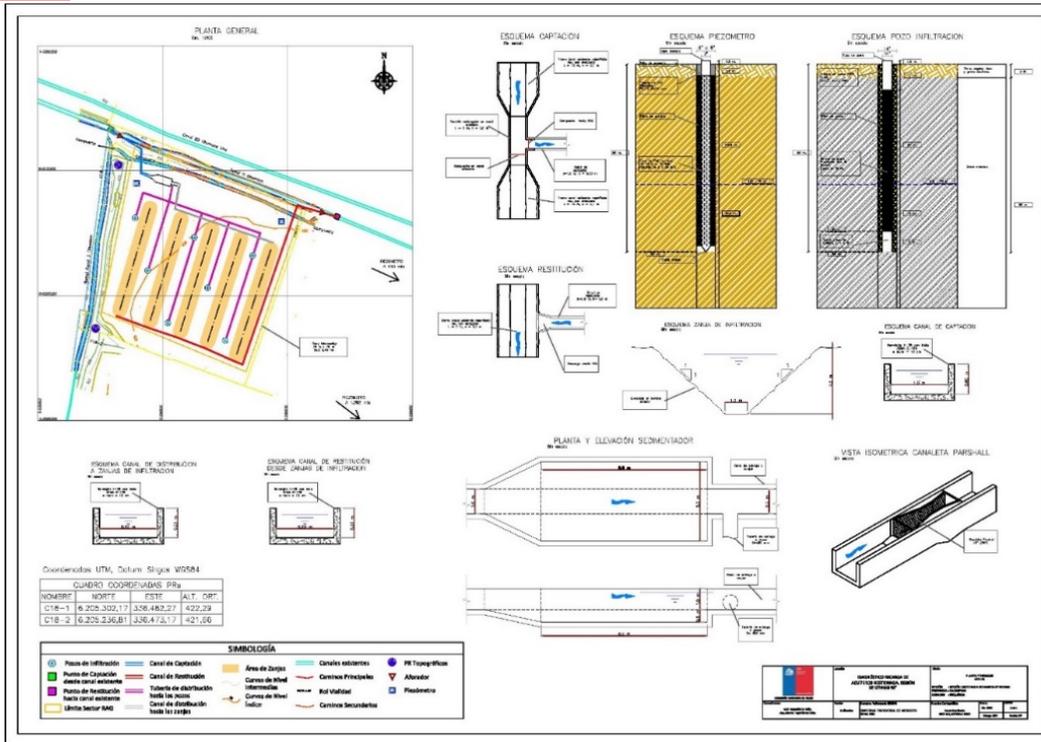
## 5.2 Criterios de Diseño

Las obras de infiltración que componen los 10 proyectos RAG son zanjas y pozos de infiltración, o una combinación de ambos. Consisten en una captación lateral desde el canal alimentador, donde se construirá el canal de aducción hasta el sitio del proyecto. En ese lugar se construirá un sedimentador para eliminar los sólidos suspendidos de las aguas, con lo que quedarán en condiciones de disponerse en las zanjas y/o pozos según corresponda. Una vez completo el proceso de recargas en los dispositivos que se usen, los sobrantes serán conducidos al canal de origen mediante una canaleta abierta que desembocará en la obra de devolución de las aguas. Se controlarán los flujos de entrada y de salida con flujómetros y se instalarán 4 piezómetros en el entorno a cada proyecto para control de niveles y de la efectividad del mismo.

Los criterios de diseño utilizados han sido descritos en detalle en el capítulo 5 del informe principal, dentro de los cuales los más destacados son:

- La recarga se realizará de forma continua durante 4 meses, de mayo a agosto.
- Las zanjas de infiltración tendrán una profundidad de 4 m y base de 1 m, separadas al menos por 2 m una de otra.
- Para estimar el caudal de recarga desde las zanjas, se ha utilizado una tasa de infiltración del orden de 30 mm/hr (asociada a suelos tipo arena).
- Los pozos de infiltración se perforarán en 14" hasta 10 m bajo el nivel de la napa y se habilitarán en 10" con cribas slot 40 desde bajo el estrato de suelo superficial fino hasta el fondo.
- El caudal de recarga alcanzará los 30 l/s en los SHAC del acuífero del Cachapoal y 15 l/s en los del acuífero del Tinguiririca.
- Se instalará un pozo de 3" junto al sitio para medir niveles y muestreos de calidad.
- Se instalarán 4 piezómetros con sensores para monitoreo continuo de niveles de napa y la calidad del agua subterránea.
- Se medirán caudales de entrada y salida contemplando canaletas Parshall para su control.
- Se construirá sedimentador que asegure precipitar partículas menores de 0,1 mm.
- El canal de entrada será de hormigón, con 2 compuertas en el canal alimentador.
- La distribución de aguas desde el sedimentador será: a los pozos de infiltración con tubería de HDPE PE100 PN6 y a las zanjas con un canal revestido de hormigón
- La limpieza del sedimentador será como máximo mensual, según su estado, y la de las zanjas, anual.

En la imagen de la Figura 5-2, a continuación, que corresponde al Plano 5.2-1 del Capítulo 5 del informe (Volumen 3), se muestran todas las obras que contiene un proyecto tipo. A su vez, en la Tabla 5-2 se consignan las características principales de estos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-2. Plano tipo de proyecto RAG mixto con zanjas y pozos de infiltración

Tabla 5-2. Características Principales de los 10 Proyectos RAG Seleccionados

Proyecto RAG	Fuente	Área (há)	Caudal a Infiltrar (l/s)			Conduc. desde toma (m)	Distrib. a pozos (m)	Pozos		Distrib. a Zanjas (m)	Zanjas				Restitución (m)	
			Pozos	Zanjas	Total			Cant.	Prof. (m)		Cant.	L. total (m)	Ancho basal (m)	Ancho Sup. (m)		Prof. (m)
TIN6	Ramal Canal Ugartino	0,78	60	0	60	15	160	4	35	-	0	-	-	-	-	-
TIN1	Canal Común	1,82	120	26	146	80	455	8	65	195	7	655	1	9	4	174
TIN14	Canal Común	2,04	120	0	120	25	345	8	40	-	0	-	-	-	-	-
CCH6	Der. El Crucero del C. San Pedro	0,45	120	8	128	5	160	4	55	45	4	210	1	9	4	50
TIN5	Ramal Canal Ugartino	0,94	60	24	84	230	255	4	35	75	4	594	1	9	4	260
TIN2	Canal Almarza	0,83	60	11	71	20	215	4	50	55	3	275	1	9	4	45
CCH22	Der. Santa Amalia del Canal Comunidad	1,33	180	29	209	10	345	6	70	80	5	725	1	9	4	70
CCH17	Canal Cerro	2,09	540	0	540	35	460	18	80	-	0	-	-	-	-	-
CCH19	Canal Apaltas	1,50	300	18	318	75	475	10	65	80	4	440	1	9	4	824
CCH26	Der. Chumaco del C. Comunidad	0,49	210	9	219	10	215	7	85	80	5	215	1	9	4	140

Fuente: Elaboración Propia

Sobre la calidad de aguas, en antecedentes sobre obras de recarga artificial no se definen límites de parámetros físico-químicos y bacteriológicos de aguas; sí hay recomendaciones para su monitoreo y control. En el caso de los 10 proyectos RAG, los efectos de la dilución de los caudales propios de las

napas, además, serían suficientes para mantener As, Fe y Mn bajo los valores límite de la norma NCh 409/05, excepto Fe en los proyectos CCH6 y TIN14, aunque los límites que impone el DS 46 son mayores a los valores en esos 2 sectores. Se concluye así, que no se requerirán tratamientos adicionales a las aguas filtradas.

### **5.3 Análisis Ambiental de los 10 Proyectos RAG**

#### **5.3.1 Características Ambientales**

En este análisis se determinó la composición de flora y fauna de los 10 sitios con proyectos. De ello, se definió presencia potencial de 19 especies de flora del tipo Bosque espinoso mediterráneo interior de *Acacia caven* - *Prosopis chilensis*, y 22 de flora para el Bosque espinoso mediterráneo interior de *Acacia caven* - *Lithraea cáustica*. En cuanto a la fauna, esta es muy variada, con diferentes especies de aves, anfibios, mamíferos y reptiles.

En cuanto a la condición ambiental de los 10 sitios, se concluyó que sólo en uno de ellos habría limitaciones (CCH19), por encontrarse junto a un pequeño bosque de eucaliptus en su borde sur y a un terreno usado en el depósito sedimentos de las labores de limpieza de canales que realiza la respectiva Asociación de Canalistas. Por ello, se desplazó el sitio de proyecto, ubicándolo adyacente al otro lado del canal que lo abastecerá. El resto de los sitios seleccionados, no presenta ninguna restricción ambiental de este o de otro tipo.

#### **5.3.2 Pertinencia de Ingreso al SEIA**

Los proyectos de recarga artificial de acuíferos no están incluidos como tales en el listado de proyectos y actividades susceptibles de causar impacto ambiental, según el artículo 10 de la Ley 19.300, para ser sometidos al SEIA. Es por ello que se evaluó si, como una causa secundaria, alguno de estos proyectos presenta alguna de las condiciones que impondrían el requerimiento de ingreso. Dada la tipología y características de los 10 proyectos RAG de este estudio, se concluye que ninguno de estos proyectos requiere ser ingresado al SEIA, salvo que en el futuro modifiquen sus características y/o formen parte de un proyecto mayor que requiera ingreso al SEIA, en cuyo caso deberán ser estudiados ambientalmente.

En cuanto a efectos que pudieran generar sobre los cauces, la disminución que se produce por el ejercicio de los caudales de invierno debido a los proyectos RAG es como máximo, un 1,1% en términos de porcentaje de los flujos por los cauces superficiales, mientras que en términos de magnitudes, esa

variación negativa es de 130 l/s, para el período de simulación de la situación histórica, lo que es poco significativo respecto a los caudales de invierno.

En esa misma línea, no habrá afectación a los caudales ecológicos, toda vez que ese caudal tiene una prioridad mayor de uso al de las aguas de los proyectos RAG.

## **6. MODELO DE GESTIÓN Y OPERACIÓN**

### **6.1 Diseño del Modelo de Gestión -Operación**

#### **6.1.1 Introducción y Alcances de la Modelación**

A objeto de estudiar el funcionamiento y efectos de los proyectos RAG en las cuencas de interés, se efectuó una modelación numérica integrada superficial - subterránea.

Para efectuar las simulaciones de caudales superficiales se construyó un modelo en WEAP, y para las simulaciones de agua subterránea, un modelo con el motor MODFLOW. La integración de estos modelos permite simular la gestión y operación integrada del sistema.

El escenario base comprende el período 1981 a 2021, dentro del que se analizan las distintas alternativas de proyectos RAG, con la suposición que las condiciones actuales de clima se mantienen. Por otra parte, por los impactos que a futuro se prevén debidos al cambio climático, se ha incorporado un análisis de sensibilidad con esta condición.

La topología del modelo superficial (WEAP), ha sido construida incorporando la ubicación de los proyectos RAG definidos, de manera de cuantificar de la mejor manera los caudales disponibles en estos sectores.

De la misma forma, para el modelo subterráneo, la malla de cálculo se ha construido tomando en cuenta las zonas de interés hidrogeológico y ambiental, con celdas de hasta 50x50 m, que entregan una resolución espacial adecuada. Así, la disponibilidad de agua en los sitios de RAG y sus efectos en el acuífero, se obtienen de usar el modelo integrado.

La modelación integrada, requiere de información hidrológica, hidrogeológica, de derechos de agua, red de drenaje, demandas agrícolas, etc., para construir el modelo conceptual, acoplando ambos en las variables recarga e interacción río acuífero. En los modelos habrá una interacción entre ambos que

opera para que, la modelación superficial genere las series de recarga al acuífero desde las subcuencas (y desde el embalse Convento Viejo y otras), para ejecutar el modelo subterráneo con datos del superficial. Los flujos de entrada y salida al acuífero por la interacción con el río se obtienen de los balances en las subcuencas.

En la calibración y validación, el método que se aplica es calibrar en forma aproximada el modelo WEAP, sin entradas subterráneas, ajustando parámetros, y el MODFLOW con los datos de entrada de WEAP. Luego se recalibra WEAP con datos de MODFLOW y viceversa a continuación, hasta llegar a que las entradas desde un modelo a otro no cambien.

Se definieron en los análisis previos a la modelación, las subcuencas donde se captarían aguas superficiales para alimentar los proyectos, refinando la malla del modelo subterráneo, para poder realizar los balances hídricos, de manera precisa, y estimar el efecto del proyecto de RAG en magnitud (recuperación de niveles) como en el espacio (distancia del efecto generado) y tiempo (hasta cuándo se logra percibir el efecto generado).

La modelación superficial abarca las cuencas del Cachapoal y Tinguiririca, divididas en un total de 155 subcuencas, que serían: confluencias relevantes, estaciones fluviométricas, bocatomas de canales y ubicación de las captaciones de los proyectos RAG que se evaluarán. Se usó el software ArcGis y el DEM SRTM<sup>1</sup>, para luego realizar un refinamiento manual en la plataforma Google Earth, debido a la falta de precisión en algunos cauces o por la ausencia de estos en las capas del SIG.

Por su parte, la modelación subterránea abarca espacialmente los acuíferos comprendidos en las mismas cuencas, siguiendo la delimitación contacto relleno construida en base a la Carta Hidrogeológica de Chile, Hoja Rancagua, escala 1:250.000 (Sernageomin, 1990). Para el sector norte de la cuenca, se ha considerado la divisoria de aguas superficiales del estero Codegua, como divisoria del acuífero, y para el borde sur el entorno al estero Chimbarongo.

Los dominios de ambos modelos son coincidentes. La recarga al acuífero proveniente de la precipitación en las cuencas del Cachapoal y del Tinguiririca, se distribuyen espacialmente en el acuífero en función de las propiedades del uso de suelo definidas para cada zona.

---

<sup>1</sup> Shuttle Radar Topography Mission, corresponde a un modelo digital de elevación elaborado por la NASA (Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio) y la NGA (Agencia Nacional de Inteligencia Geoespacial).

Los detalles sobre la forma en que fueron construyéndose los modelos, condiciones iniciales y de borde de entrada y salida de ellos, parámetros, variables, demandas, extracciones y la forma de considerar la interacción entre ambos, se describen en detalle en el capítulo 6 del informe.

### **6.1.2 Calibración y Validación del Modelo Superficial**

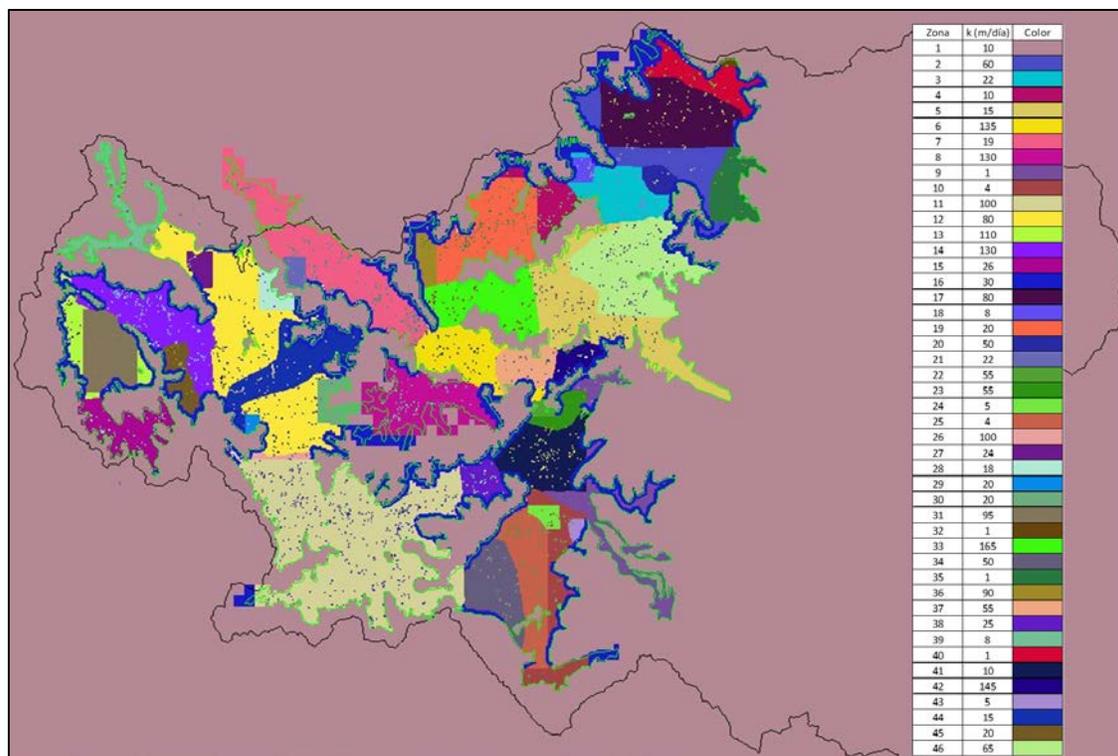
Para la calibración del modelo superficial se utilizó datos de 16 estaciones fluviométricas con medición de caudales. Como excepción, en la estación río Cachapoal en Puente Termas de Cauquenes se consideró su caudal natural, incluyendo el caudal que es captado en el sector de la descarga de la central hidroeléctrica de pasada Coya, 6 km aguas arriba de la estación, el cual luego es conducido por el canal Sauzal hasta las centrales de pasada Sauzal y Sauzalito, 8 y 11 km aguas abajo de la estación, y de allí restituido al cauce del río Cachapoal. Por otra parte, la estación Canal Teno en km 13.465 no fue calibrada, ya que corresponde a un caudal de entrada al modelo del aporte desde el río Teno al embalse Convento Viejo.

La calibración abarcó el período abril 1995 a marzo 2021 (26 años), mientras la validación lo fue para el período 1981 a 1995 (14 años), obteniéndose indicadores estadísticos razonables. Puede señalarse que el comportamiento estacional de los caudales está bien representado en las simulaciones, ya que los meses o períodos de máximos y mínimos coinciden, aunque, valores puntuales difieren en ciertos puntos, a pesar de la bondad del ajuste estadístico.

### **6.1.3 Calibración y Validación del Modelo Hidrogeológico**

En cuanto a las condiciones de borde, los 23 ríos que se simulan en el modelo superficial se han representado mediante celdas tipo río en el subterráneo, 131 subcuencas de las 155 generan recargas por precipitación a la napa, además del embalse Convento Viejo, la descarga al lago Rapel se representa mediante una condición variable en el tiempo de nivel constante. Las extracciones provienen de 3.606 pozos para distintos usos, dentro de los cuales se han utilizado 506 que cuentan con mediciones de niveles, para la calibración.

El proceso de calibración se efectuó en forma iterativa con el del modelo superficial para la condición histórica transiente de niveles, ajustando los parámetros hidráulicos. Para validar la calibración se utilizó niveles medidos en diciembre 2020, obteniéndose ajustes aceptables. Los resultados de permeabilidades ajustadas en el dominio del modelo son los que se muestra en la Figura 6-1.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 6-1 Distribución final de permeabilidades**

## 6.2 Modelación de las Alternativas

### 6.2.1 Escenarios de Modelación y Resultados

Se han simulado 3 escenarios distintos, cuyo mayor detalle y resultados se presentan en el capítulo 6 del informe, junto con los Anexos 6.3-1 a 6.3-17. El primero de los escenarios es el de la situación histórica que contempla la recarga producto de los 10 proyectos RAG, a la que se agrega la infiltración desde canales de riego sólo durante esa temporada, entre septiembre y abril, del 4% de la demanda de riego durante esos meses, con el que se pretende determinar la efectividad neta de los proyectos RAG. En el escenario 2 se agrega la recarga desde los canales que conducen aguas de invierno a los proyectos, no considerada en el primero, con lo que se determina el efecto de recarga integrado. Finalmente, el escenario 3, agrega a los proyectos RAG, que durante el invierno todos los canales de riego de la región operen con una dotación menor que en verano, para aumentar el efecto de las recargas sobre el acuífero.

### **a) Resultados escenario 1: efecto neto de proyectos RAG**

El mayor efecto se produce en el último mes de recargas (agosto) del último año (2020). Las mayores diferencias puntuales alcanzan a 3 m en el acuífero de Cachapoal y de 5 m en el acuífero de Tinguiririca, mientras que entre noviembre y marzo (sin recarga artificial) muestra que la diferencia de niveles disminuye con el tiempo, variando de 2 a 1,6 m en la cuenca del Cachapoal y de 3 a 2,5 m en Tinguiririca.

Aunque las magnitudes de recarga de los proyectos RAG de la cuenca del Cachapoal son mayores a los proyectos RAG de la cuenca del Tinguiririca, la máxima recarga local se produce en la cuenca del Tinguiririca. Esto se atribuye a que los efectos de los proyectos RAG en la cuenca del Cachapoal son más extensos que en el Tinguiririca.

### **b) Resultados escenario 2: efecto de proyectos RAG e infiltración de sus canales**

Al incorporar la infiltración desde los canales que suplen en invierno los proyectos RAG, se agrega un efecto positivo, siendo la situación más realista esperada. Las diferencias positivas en este caso son sólo marginales, consiguiéndose ascensos de unos pocos cm en los sectores donde la recarga artificial genera los mayores ascensos de los niveles de napa, e imperceptibles en otros sectores donde allí sólo los proyectos generan efectos positivos.

En la cuenca de Cachapoal, el efecto adicional máximo alcanza a sólo 1 cm y en el Tinguiririca sube hasta 6 cm, representando en ambos casos un aporte promedio máximo a los niveles del 1%, diluyéndose a menos de 3,5 km del sector de las recargas de los canales.

### **c) Resultados escenario 3: efecto de proyectos RAG e infiltración en todos los canales durante el invierno**

Este escenario es el que genera los mayores efectos sobre los niveles de napa, al agregarse a los proyectos RAG la infiltración desde todos los canales de riego de la región, si estos se operaran con una dotación baja durante el invierno. En este caso, las diferencias positivas resultan ser del orden del 10% respecto al escenario 1, lo que podría ser relevante, más aún, si el efecto espacial se amplía más allá del área de influencia de cada proyecto específico.

#### d) Efectividad individual y conjunta de los proyectos RAG

Dado que algunos proyectos se encuentran cercanos a otros, se efectuó un análisis de interferencias entre los 10 proyectos, para detectar que varios se superponen generando un efecto sinérgico interesante, en caso de construirse todos ellos. En la Tabla 6-1 se muestra el resultado de este análisis (el proyecto CCH6 es el único que no influye ni recibe influencia de otros proyectos RAG).

**Tabla 6-1. Superposición de Áreas de Influencia de Sitios RAG Seleccionados**

SITIO RAG	SUPERPOSICIÓN DE ÁREAS DE INFLUENCIA DE LOS SITIOS
TIN14	TIN1 y TIN2
TIN1	TIN14 y TIN2
CCH17	CCH26, CCH22 y CCH19
CCH22	CCH26, CCH17 y CCH19
TIN6	TIN5
TIN2	TIN14 y TIN1
TIN5	TIN6
CCH19	CCH22 y CCH17
CCH6	-
CCH26	CCH17 y CCH22

Fuente: Elaboración Propia

Al analizar los efectos individuales de los proyectos RAG para compararlos con los de la operación del conjunto de todos los proyectos, se aprecia que el mantener funcionando solo algunos proyectos RAG hace que los efectos sinérgicos sean bastante menores a que si funcionan en conjunto. Los niveles máximos de aumento respecto al escenario en que todos funcionan se reducen a menos del 50 % en ambos casos, llegando a 1,6 m en el acuífero del Cachapoal como máximo y a 2,37 m en el Tinguiririca. Es por ello que lo ideal es que operen todos juntos, para conseguir los mayores beneficios de estos proyectos RAG.

#### 6.2.2 Análisis de sensibilidad por cambio climático

Para la selección del GCM a utilizar en las modelaciones de escenarios futuros, se analizó previamente la variación futura esperada de las variables precipitación y temperaturas, respecto de la data histórica, eligiéndose el GCM MIROC-ESM, por mostrar transiciones más suaves de futuro cercano a futuro intermedio en los descensos de la precipitación. Los resultados obtenidos son los de la Tabla 6-2.

**Tabla 6-2. Variación en precipitación y temperatura para horizontes futuros**

Variable	Variación respecto al período histórico							
	CCSM4		CSIRO-Mk3-6-0		IPSL-CM5A-LR		MIROC-ESM	
	Período 2021-2045	Período 2046-2070	Período 2021-2045	Período 2046-2070	Período 2021-2045	Período 2046-2070	Período 2021-2045	Período 2046-2070
Precipitación (%)	31,0	3,8	-23,3	-33,4	9,7	-33,3	-9,4	-21,7
Temperatura (°C)	2,2	3,8	2,2	4,0	2,7	4,4	2,5	4,4

Fuente: Elaboración propia

Se operó el modelo incorporando las variaciones que impone el cambio climático al caso del Escenario 2, concluyéndose que la menor precipitación genera descensos mayores a los ascensos motivados por los proyectos RAG, generando un efecto neto negativo en la mayoría de los pozos de control cerca de los distintos proyectos RAG, usados en este análisis. De los resultados se aprecia que, a pesar que los proyectos en situación histórica generan ascensos de niveles por sobre 3 m en el Cachapoal y sobre 5 m en el Tinguiririca, los mismos proyectos ante la condición de cambio climático, no revierten el efecto, sino que sólo lo amortiguan en parte, dando como resultado neto descensos de niveles.

## 7. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS PROYECTOS RAG SELECCIONADOS

### 7.1 Determinación de los Beneficios de los Proyectos RAG

#### 7.1.1 Efectos de los 10 Proyectos RAG sobre los Niveles de la Napa Circundante

Para determinar los efectos de los proyectos en la napa circundante, y evaluar los beneficios que generan, se han identificado dos conjuntos de usos de aguas subterráneas: pozos de producción existentes para riego y pozos de producción asociados a SSR. Para ambos tipos, es posible obtener el aumento del nivel freático producido, a partir de los resultados de la modelación de los escenarios sinérgicos en la ubicación de pozos asociados a cada uso (capítulo 6). Los escenarios parten del Escenario 2, que considera la situación histórica más la recarga de proyectos RAG y la pérdida por conducción en los canales que los abastecen.

#### 7.1.2 Determinación de los Beneficios para los SSR

Con el fin de precisar el efecto que tienen los proyectos RAG en los SSR, se identificaron 12 pozos cercanos a estos proyectos, en cuyo entorno se generan subidas de niveles, que serían un aporte para

paliar la tendencia que están teniendo los pozos de los SSR a descender en el tiempo. Los efectos positivos por el aumento de niveles freáticos, se pueden traducir en un aumento de los caudales actuales de extracción, siempre que los caudales extraídos no superen los derechos otorgados.

Es así como los beneficios en los SSR, se podrán materializar en el número de nuevos arranques a agregarse a los actuales, manteniendo las condiciones de los niveles de napa. Los beneficios económicos mensuales fluctúan entre \$551.000 y \$12.000.000, con un promedio de 4,6 millones de \$/mes. Los beneficios asociados al aumento del nivel de agua subterránea, determinados como el ahorro de energía eléctrica por la menor altura de elevación del agua desde los pozos, en términos económicos, son sólo marginales.

Como resumen, en la Tabla 7-1 se muestra el aumento de caudales y el número de arranques adicionales en cada SSR, con los proyectos RAG, en la cual se han diferenciado con colores los proyectos del acuífero del Cachapoal respecto a los del Tinguiririca.

**Tabla 7-1 Caudales y Arranques Adicionales por SSR, al Implementar Proyectos RAG**

SSR	Caudales Adicionales (l/s)	Arranques Adicionales	Al Implementar Proyecto RAG
La Gonzalina	4,92	354	CCH6
Santa Amalia	13,51	973	CCH22, CCH17 y CCH26
La Alianza (Pozo 1)	7,55	543	CCH22 y CCH17
La Alianza (Pozo2)	7,15	514	CCH22 y CCH19
Chumaco	11,74	845	CCH17 y CCH26
La Paloma	0,93	67	TIN5 y TIN6
Angostura	0,61	43	TIN5 y TIN6
Quicharco	5,01	361	TIN1, TIN2 y TIN14
San Juan de la Sierra	3,24	233	TIN1, TIN2 y TIN14
Tinguiririca	4,31	311	TIN1, TIN2 y TIN14
Unión Polonia	1,11	80	TIN5 y TIN6
Cuesta Lo González	0,93	68	TIN1, TIN2 y TIN14

Fuente: Elaboración propia

### 7.1.3 Determinación de Beneficios Agrícolas

Para determinar beneficios agrícolas, se efectuó una caracterización económica de los sitios seleccionados en situación actual, optimizada y futura, con fichas técnico económicas, gastos indirectos, márgenes, inversiones y costos en asistencia técnica. Se elaboraron las fichas o estándares

productivos y económicos por nivel tecnológico para cada uno de los rubros productivos identificados en situación actual, para cada sector.

Por otra parte, para la situación actual optimizada, base para la evaluación económica del proyecto, se definió un conjunto de acciones con cambios en la actividad agropecuaria del área, sin la realización de obras de mejoramiento. Los supuestos para definir la situación futura es que la tecnificación llevará a eficiencias de riego del 90% en frutales y hortalizas y al 75% en chacras, cereales y praderas, mientras que la transición para nuevas plantaciones irá entre 2 y 6 años, según si los predios son mayores a 50 has, o menores de 1 ha.

De los caudales adicionales para riego en el área de influencia de cada sector con proyecto RAG y del análisis agrícola para la situación futura, se determinó la nueva superficie de riego en cada sector con la disponibilidad de agua subterránea adicional, obtenidos del modelo hidrogeológico de gestión (capítulo 6). Así, el caudal y área de riego adicional en cada sector asociado a los proyectos RAG son los que se presentan en la Tabla 7-2.

**Tabla 7-2 Caudales y Superficies de Riego Adicionales por Sector**

Sector Asociado al Proyecto	Caudal Adicional (l/s)	Superficie Adicional Regable (has)
CCH6	14,9	41,6
CCH22	26,2	91,9
CCH17	12,5	39,1
CCH19	62,2	217,0
CCH26	10,5	32,4
TIN1	26,9	76,3
TIN2	22,1	70,7
TIN14	20,8	60,4
TIN5	20,9	68,2
TIN6	17,9	56,5

Fuente: Elaboración propia

#### 7.1.4 Determinación de Beneficios Ambientales

De las ubicaciones de los sectores de sensibilidad ambiental y los sitios de proyectos RAG, se concluyó que, las áreas de sensibilidad están lejos de los proyectos RAG. Lo anterior significa que, dado que los 10 sitios RAG seleccionados se localizan exclusivamente en la depresión intermedia y en torno a zonas

agrícolas de baja relevancia ecosistémica, no se proyectan beneficios ambientales específicos de los proyectos RAG.

## 7.2 Evaluación Económica de los Proyectos RAG

Se efectuó una evaluación económica privada y social de cada uno de los 10 proyectos RAG desarrollados, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los costos en las evaluaciones son totales (directos, gastos generales y utilidades).
- Se agregan costos de energía eléctrica en bombeos adicionales de pozos de riego.
- Los beneficios de los proyectos contemplan los debidos al aumento de la superficie regada y al aumento de arranques para los SSR, gracias a los caudales adicionales.
- No se incluyen costos ambientales por no existir.
- No se incluyen costos por expropiaciones o arriendos de sitios por ser estos cedidos.
- La rentabilidad de los proyectos se obtuvo aplicando los indicadores económicos básicos según criterios del Ministerio de Desarrollo Social y Familia (MIDESOF) y del Banco Mundial:
  - o Valor Actualizado Neto (VAN)
  - o Tasa Interna de Retorno (TIR)
  - o Razón Beneficio Neto - Inversión (N/K)
- Los parámetros básicos usados en la evaluación económica privada han sido:
  - o Tasa de interés: 12%
  - o Período de evaluación: 30 años
  - o Duración de la construcción de obras civiles: 1 año (año 0)
  - o Inicio del desarrollo agrícola: al segundo año (años 0, 1)
  - o Costo anual de operación y mantenimiento de obras: 4% de la inversión total
  - o Costos de obras civiles como costos directos (precios de septiembre de 2022), más 10% de gastos generales y 15% de utilidades e imprevistos

En la evaluación social se considera un factor de corrección para llevar los precios privados a precios sociales de distintos tipos de mano de obra y divisa de componentes importadas, según lo recomienda el MIDESOF, el cual se ha considerado como factor único igual a 0,93. Además de ello, la tasa de interés baja al 6% según definición del MIDESOF de 2015.

Los resultados finales de la evaluación económica, a precios de mercado y a precios sociales, se muestran en la Tabla 7-3 y Tabla 7-4, respectivamente. Como conclusión de las evaluaciones

económicas con los índices resultantes se puede decir que los proyectos más atractivos para ser materializados son CCH19, TIN2 y CCH22.

Al efectuar un análisis de sensibilidad económico, se concluye que, la condición que más influye en las evaluaciones, es aumento de márgenes agrícolas y la disminución de costos.

Al incorporar en estas evaluaciones el costo de una planta de abatimiento de arsénico, que aparece en exceso, por sobre la norma de agua potable NCh 409, of 2005, en las muestras de agua de los canales que abastecerán a 6 de los proyectos RAG, se concluye que ninguno de estos 6 proyectos resulta rentable (aumento en el costo de obras entre 22 a 213 MM\$).

**Tabla 7-3 Resultados de la Evaluación Económica a Precios de Mercado**

Proy.	Costo	Costo Neto	Beneficio Neto	Valor Neto	TIR (%)	IVAN	N/K	Área	Costo	Caudal	Costo
	Total	Actualizado	Actualizado	Actualizado				Benef.		Infiltr.	
	MM(\$)	MM(\$)	MM(\$)	MM(\$)				(ha)	(M\$/ha)	(l/s)	(M\$/l/s)
CCH6	636,96	892,61	456,64	-215,88	9,3	0,51	0,65	42	15.312	128	4.976
CCH17	2.677,86	3.752,61	681,44	-1.535,38	4,5	0,18	0,19	39	68.417	540	4.959
CCH19	1.423,08	1.994,22	3.224,87	1.037,99	15,0	1,62	1,90	217	6.557	318	4.475
CCH22	1.051,67	1.473,76	1.540,36	369,25	13,9	1,05	1,24	92	11.440	209	5.032
CCH26	1.257,27	1.761,86	1.252,47	277,62	14,0	0,25	0,25	32	38.769	219	5.741
TIN1	1.207,69	1.692,39	1.148,82	-282,72	10,3	0,68	0,78	76	15.824	146	8.272
TIN2	577,68	809,53	1.370,74	520,71	15,8	1,69	1,99	71	8.166	71	8.136
TIN5	504,49	706,96	913,86	42,92	12,4	1,29	1,69	68	7.399	84	6.006
TIN6	406,10	569,09	783,67	37,48	12,4	1,38	1,70	56	7.191	60	6.768
TIN14	796,34	1.115,95	1.053,99	118,21	12,9	0,94	1,09	60	13.191	120	6.636

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 7-4 Resultados de la Evaluación Económica a Precios Sociales**

Proy.	Costo	Costo Neto	Beneficio Neto	Valor Neto	TIR (%)	IVAN	N/K	Área	Costo	Caudal	Costo
	Total	Actualizado	Actualizado	Actualizado				Benef.		Infiltr.	
	MM(\$)	MM(\$)	MM(\$)	MM(\$)				(ha)	(M\$/ha)	(l/s)	(M\$/l/s)
CCH6	592,38	1.013,14	1.402,25	747,97	11,4	1,38	0,81	42	14.240	128	4.628
CCH17	2.490,41	4.259,36	1.824,18	68,97	6,2	0,43	0,23	39	63.628	540	4.612
CCH19	1.323,46	2.263,52	8.852,44	6.274,79	16,1	3,91	2,20	217	6.098	318	4.162
CCH22	978,06	1.672,78	4.345,47	3.166,18	15,4	2,60	1,46	92	10.639	209	4.680
CCH26	1.169,26	1.999,79	2.184,76	1.468,23	12,1	1,09	0,60	32	36.055	219	5.339
TIN1	1.123,15	1.920,93	3.288,97	1.793,37	12,3	1,71	0,95	76	14.716	146	7.693
TIN2	537,25	918,85	3.912,06	2.927,18	17,5	4,26	2,40	71	7.595	71	7.567
TIN5	469,17	802,43	2.570,48	1.500,67	13,1	3,20	1,92	68	6.881	84	5.585
TIN6	377,67	645,94	2.180,29	1.245,59	13,3	3,38	1,96	56	6.688	60	6.295
TIN14	740,60	1.266,65	3.042,87	2.069,99	14,9	2,40	1,32	60	12.268	120	6.172

Fuente: Elaboración propia

## 8. ASPECTOS NORMATIVOS DE LOS PROYECTOS RAG

En primer lugar, se debe destacar que el propósito de estas iniciativas de la recarga de acuíferos es la preservación ecosistémica y la sustentabilidad del acuífero, que ha sido el incentivo principal del estudio.

En cuanto a los permisos asociados para la construcción de obras RAG, se debe presentar una solicitud ante DGA, servicio que autoriza la construcción del proyecto. La presentación de la solicitud y del proyecto, debe ceñirse a la Guía Metodológica para la presentación de Proyectos de Recarga Artificial (DGA, 2016), en la cual se indican los requisitos mínimos técnicos y legales que debe incluir la solicitud. Debe tomarse en consideración también la Minuta DGA DCPRH N°56 sobre los requisitos de calidad de agua y su control, al igual que el artículo 158 del Reglamento del SEIA. Debe señalarse que no existen excepciones para los servicios públicos del MOP para no tramitar permisos de proyectos asociados a RAG.

De igual manera, las obras de RAG requieren permisos y, en caso de no cumplir con éstos, se podría aplicar sanciones establecidas en el Código de Aguas. En efecto, de efectuarse modificaciones al proyecto no informadas ni aprobadas por la DGA, usar agua de recarga cuya calidad pueda afectar daños en el acuífero y en la salud de quienes aprovechan sus aguas, son algunos casos en que el Código de Aguas define aplicar multas, las cuales pueden verse aumentadas por tratarse de acuíferos declarados áreas de restricción o zonas de prohibición, como son los de este estudio. El Artículo 173 y siguientes del Código establecen los procedimientos para ello.

Las posibilidades de conseguir DAA nuevos a partir de los resultados de un proyecto RAG cambiaron con la reforma al Código de Aguas de abril de 2022, en el sentido que de acuerdo con el Artículo 66 bis, se pierde la figura de un derecho provisional, reemplazándose por una autorización de la DGA para extraer agua adicional gracias a los efectos del proyecto RAG, lo que quedó explícitamente expresado así: *"Artículo 66 bis.- El titular de un derecho de aprovechamiento que haya efectuado las obras a que se refiere el inciso primero y que desee reutilizar las aguas infiltradas, sea en el mismo u otro punto del acuífero, podrá solicitar a la Dirección General de Aguas que le autorice a ejercer su derecho sobre la mayor parte de las aguas recargadas que, de acuerdo al análisis técnico de los antecedentes presentados, considere las pérdidas propias del proceso, la sustentabilidad del acuífero y los derechos de terceros"*.

Por otra parte, habiendo revisado los documentos legales que rigen a las OUA en cuanto a la administración, gestión y regulación de aguas subterráneas, relacionados con las obras de recarga artificial, se elaboró una propuesta para incorporar en los Estatutos de las OUA (Junta de Vigilancia, Asociación de Canalistas, Comunidad de Aguas Superficiales y Subterráneas) para la administración y/u operación de obras de tipo RAG, cuyo texto podría ser el siguiente: *"La organización dentro de sus facultades podrá promover una gestión integrada y sustentable del Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común (SHAC) en el que tiene jurisdicción, para instalar la obra RAG y operarla, midiendo su sistema de control de extracciones, realizar medición de niveles, velar por la cantidad y calidad de aguas subterráneas, realizar estudios e implementar técnicas que permitan la recarga artificial de la fuente subterránea"*. Con ello, cabría dentro de cada una de estas OUA la posibilidad de desarrollar proyectos RAG.

Se debe tener en cuenta que los proyectos RAG seleccionados están propuestos en SHAC's que son áreas de restricción (Graneros- Rancagua, San Fernando y Chimbarongo) o zona de prohibición (Requínoa-Rosario-Rengo-Quinta de Tilcoco), en cada uno de los cuales es recomendable que se constituya una CAS para resguardar este recurso único y escaso en el territorio que ocupa ese acuífero, de acuerdo con el Código de Aguas modificado en 2022. A partir de estas consideraciones, se ha planteado un modelo de gestión de los proyectos RAG, el cual se resume en el diagrama de la Figura 8-1, para definir a los actores que participen en ellos.

En este esquema de gestión aparecen primero, los 3 actores más relevantes, dentro de los cuales la CAS del SHAC donde se ubica el proyecto debe encargarse, como autoridad de ese acuífero, de supervigilar la operación y mantenimiento del proyecto para cumplir con las exigencias de la DGA y del Código de Aguas. Esa misma CAS podría ser Titular del proyecto.

Los Convenios que aparecen en segundo lugar, serían la documentación imprescindible con que debe contarse para que los proyectos puedan operar. En efecto, el titular del proyecto deberá suscribir un convenio con la OUA, según el cual esta última suministrará agua al proyecto desde el canal específico correspondiente, por un lapso mínimo de 10 años (según lo exigirían las bases de concursos de la Ley de Fomento 18.450). A su vez, deberá también suscribir otro convenio con el dueño del predio donde se ubique el proyecto RAG.

En la tercera línea están las actividades que componen el desarrollo mismo del proyecto.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 8-1. Modelo de Gestión para Proyectos RAG**

Algunos aspectos que deben considerarse en la estructuración de los proyectos RAG son:

- Las fuentes de financiamiento deben aportar al menos, para la construcción y puesta en marcha de los proyectos, así exista o no aporte de los titulares, y de ser posible a la operación y mantenimiento.
- Las alternativas de financiamiento para los proyectos RAG son: Concursos de la Ley de Fomento (Ley 18.450), Fondos del Gobierno Regional (con aval o control de la CNR) y Fondos de privados que puedan estar interesados en la implementación de un proyecto.

Los responsables de la titularidad de los proyectos deberán regular sus deberes y obligaciones mediante estatutos y/o reglamentos que quedarán incorporados en los documentos legales que los asocian, ciñéndose además a lo que establecen el Código de Aguas, los reglamentos, instructivos y oficios de la DGA sobre esta materia.

Como complemento a las conclusiones anteriores, se revisó el caso de que los SSR puedan ser administradores o titulares de los proyectos. En cuanto a requisitos formales, los SSR no tendrían impedimento para solicitar autorización de una obra RAG ante la DGA.

## 9. PROGRAMA DE RELACIONAMIENTO COMUNITARIO Y PARTICIPACIÓN CIUDADANA

### 9.1 Caracterización Social de los Sitios Priorizados

La caracterización social de los 10 sitios priorizados se enfocó en describir la ubicación del proyecto y su relación con localidades o comunidades cercanas. Luego, se realizó una breve reseña respecto a la evolución en el tiempo que ha tenido el área en cuanto al crecimiento por el aumento de las viviendas y su calidad constructiva, a la fuente de agua que las abastece, a la condición laboral y económica de sus habitantes, cuya actividad gira mayoritariamente en torno a agricultura de autosustento, a la necesidad de contar con alcantarillado en la mayoría de ellas, y a los beneficios que ven para la comunidad si el proyecto RAG respectivo llega a materializarse.

Donde se presentan los mayores problemas de abastecimiento de agua en el entorno a los sitios del proyecto, es en el caso de CCH6, en la comuna de Rancagua, donde pocos de sus habitantes están conectados a la red pública de agua potable, y la mayoría se abastece del SSR La Gonzalina que, dentro de todos los SSR que se caracterizó, es el más limitado, ya que las aguas del pozo que ocupa no son suficientes ni permanentes, por lo que deben acudir al uso de camiones aljibe para asegurar el abastecimiento. Su expectativa para solucionar sus problemas está en que se construya un nuevo pozo, cuyo financiamiento está pendiente.

Como conclusiones de la caracterización social elaborada se puede señalar lo siguiente:

- En términos culturales, no existen fiestas costumbristas en las localidades que son potenciales beneficiarios del proyecto, que revelen elementos culturales de la zona.
- Los dirigentes no identifican organizaciones indígenas, ni pueblos originarios.
- Uno de los principales problemas que afectan a las comunidades, es la conectividad.
- Hay interés en el desarrollo de proyectos RAG, con aprensiones sobre coordinación entre los actores locales, especialmente en cuanto a administración y operación.
- Los SSR son entidades reconocidas, que generan sinergia con otras organizaciones locales, como juntas de vecinos, centros de madres, club de adultos mayores, etc.
- Los SSR, potenciales beneficiarios de proyectos, no tienen problemas en la calidad y cantidad de agua, solo en La Gonzalina, donde hay problemas de abastecimiento.
- No existen CAS constituidas, y los SSR no están en conocimiento de que deban ser parte de una CAS, ni cómo se lleva a cabo el proceso para conformarlas.

## 9.2 Relacionamiento Comunitario y Participación Ciudadana

El relacionamiento comunitario y la participación de las comunidades fueron relevantes para conseguir los resultados del estudio. Las actividades de Participación Ciudadana realizadas fueron reuniones presenciales y a distancia, con autoridades, organizaciones de usuarios como Juntas de Vigilancia y Asociación de Canalistas, y comunidades de SSR. A esto se agregan entrevistas y encuestas a los dirigentes de los SSR. El detalle de estas actividades se encuentra en el capítulo 9 del informe.

La idea de estas reuniones ha sido involucrar a las OUA de las áreas en que se proponen proyectos RAG al igual que con los SSR, que podrían ser titulares de proyectos RAG. Se tuvo reuniones con los presidentes de Canales de cada uno de los matrices que aportarían aguas a los proyectos, para consultarles si serían titulares de proyectos con la responsabilidad que eso involucra (tramitar permisos y financiamiento, suscribir convenios con dueño del predio, operar y mantener las obras). En definitiva, a lo único que se mostraron dispuestos fue a comprometerse a abastecer los proyectos RAG con aguas invernales de sus canales.

Además, hubo reuniones con la Gerencia de Juntas de Vigilancia de la Región de O'Higgins, de los ríos Cachapoal y Tinguiririca y estero Chimbarongo, para asegurar la distribución de las aguas debido a la apertura de las bocatomas de los canales en invierno. En el caso de los dueños de predios, a los que se visitó, estuvieron llanos a ceder parte de su terreno para construir las obras.

Este involucramiento permitió incorporar en el estudio la diversidad de opiniones y miradas respecto a los proyectos de recarga de acuíferos. La caracterización social de los sectores de los sitios priorizados, que recoge esta diversidad de opiniones, permitió realizar las modificaciones requeridas para perfilar proyectos acordes a la realidad local.

Finalmente, se evalúa positivamente el proceso de relacionamiento comunitario y participación ciudadana, ya que permitió generar espacios de diálogo entre los diferentes actores relevantes, involucrados en el modelo de gestión planteado para la implementación de un proyecto de recarga artificial de acuíferos gestionada. Conocer y validar este modelo de gestión permitirá ir avanzando en esclarecer los roles y funciones que cada uno de los involucrados tendrá tanto en la formulación como la administración y operación de un proyecto RAG.

## 10. PRESENTACIÓN FINAL DE DATOS EN PLATAFORMA SIG

En el desarrollo del estudio, se generó información espacial, primaria y secundaria, a medida que se ejecutaron las diferentes etapas. Esta información permitió poblar un completo sistema de información geográfico usando el software QGIS, versión 2.18.3. Las coberturas se generaron en formato shape independientes, compuestos de los elementos gráficos y su espacialización, además de una completa base de datos con la información correspondiente al levantamiento de información y análisis realizados.

El SIG es a nivel regional y se enfoca en el entorno de las cuencas de los ríos Tinguiririca y Cachapoal. El proyecto "SIG Recargas Acuífero VI", contiene la información geográfica o shapes que se usaron en el desarrollo del estudio, organizada en las distintas capas temáticas tratadas en el estudio. En el proyecto los Layers o shapes se organizaron en 6 categorías: AGRONOMÍA, HIDROGEOLOGÍA, HIDROLOGÍA, LAYERS GENERALES, MODELO GWW Y PROYECTOS. Mayores antecedentes sobre el SIG y sobre las cerca de 90 capas o coberturas que incluye, se presentan en el capítulo 10 del informe principal.

## 11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio Diagnóstico Recarga de Acuíferos Gestionada, Región de O'Higgins, tuvo por objeto definir 10 sitios apropiados para implementar obras RAG, dentro de las cuencas de Cachapoal y Tinguiririca y desarrollar los diseños a nivel de perfil de estos proyectos. Debe señalarse que el principal objetivo de los proyectos RAG es fomentar la gestión integrada de los recursos hídricos de la cuenca, la sustentabilidad del acuífero y la preservación ecosistémica, buscando beneficios colectivos más que individuales. Eso significa que con estos proyectos se puede lograr aumentar la seguridad hídrica de quienes tienen derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, particularmente aquí, para usos en riego y agua potable, donde los SHAC que involucran a los proyectos son áreas de restricción o zonas de prohibición.

Algunas de las conclusiones más importantes obtenidas son las que se señala a continuación.

En primer lugar, existe una tendencia al descenso de los niveles de napa motivada por la disminución en la disponibilidad de agua de los acuíferos de la cuenca y por la presión para obtener recursos de esas napas, lo que ha llevado a que en la zona de estudio gran parte de los SHAC que la componen han sido declarados áreas de restricción o zonas de prohibición.

Gracias a que la DGA autoriza a utilizar aguas de invierno en canales cuyo destino pueden ser proyectos RAG, se han analizado distintas alternativas, mediante la modelación de distintos escenarios con los modelos de simulación superficial y subterráneo desarrollados, que llevan a concluir que, si las aguas captadas se destinan exclusivamente a proyectos RAG, el beneficio de ello se concentra en torno al área donde se ubican estos proyectos, acrecentando los niveles de manera considerable y atractiva.

A su vez, si durante el invierno se operara toda la red de riego, los efectos de la recarga serían mucho más extendidos, aunque significativamente menores a los puntuales que producen los proyectos RAG, lo cual lleva a una importante conclusión, cual es que los canales por sí solos, son un medio muy efectivo de recargar las napas de agua subterránea.

Por otra parte, los aumentos de niveles que generan los proyectos, permiten aumentar la disponibilidad de recursos de agua en un entorno acotado de unos 5 km, con lo que a mayores distancias el aumento de nivel se va perdiendo y no sería relevante. Así, mientras más cerca del proyecto se ubique el objetivo a beneficiar (pozo para riego o para agua potable), mayores serán los efectos positivos.

Además, proyectos cercanos generan efectos sinérgicos que aportan a la recuperación del nivel freático, por lo que la condición más favorable, es que operen simultáneamente. Los efectos que genera la recarga en invierno de los proyectos, son permanentes en el tiempo, siendo mayores al inicio de la temporada de riego, para irse disipando hasta el nuevo período de recargas.

Ante la situación de cambio climático, los efectos positivos de la recarga se ven largamente superados por los descensos de niveles del agua subterránea que se generaría, sirviendo con ello los proyectos RAG, sólo para aminorar los estragos que el cambio climático puede llegar a generar en la napa subterránea.

Los resultados de la evaluación económica a precios privados, dieron como resultados que 7 de los 10 proyectos evaluados dieron rentables, a su vez, los resultados de esta evaluación a precios sociales, dio como resultados que todos los proyectos son rentables. Los proyectos más rentables en la evaluación privada y sociales, fueron respectivamente TIN2 y CCH19, mientras que el menos rentable, tanto en la evaluación privada como social fue el CCH17.

Se concluye de la evaluación económica la conveniencia de construir en primera prioridad el proyecto CCH 19 que, a pesar de tener indicadores económicos algo menores al proyecto TIN 2, la superficie beneficiada producto de su implementación es casi 3 veces mayor, y tiene el menor costo por hectárea de entre los 10 proyectos evaluados (6,6 millones de \$/ha).

Las evaluaciones económicas de los 10 proyectos RAG seleccionados concluyeron con que a precios sociales todos son rentables, llegándose a TIR's de 13% en promedio. No obstante, del análisis de sensibilidad realizado, en el que se agregó la necesidad que existiría en algunos casos de incluir tratamientos adicionales a las aguas de recarga para mejorar su calidad por presencia de arsénico, los costos de inversión se incrementan notablemente, en más del doble, y los TIR caen a menos del 2% en promedio para los 6 proyectos que requerirían este tipo de tratamiento. Por lo tanto, la calidad de agua a infiltrar cobra relevancia en la toma de decisión para proponer un sitio RAG, puesto que se pueden tener las mejores condiciones hidrogeológicas para infiltrar, pero si la calidad de aguas no es la adecuada, los costos de las obras por tratamiento adicional hacen inmediatamente no rentable el proyecto. Finalmente, con la experiencia recogida del desarrollo de estos proyectos RAG, y dado que, en cuanto a rentabilidad, la razón entre el beneficio neto y la inversión es la que determina cuáles son los mejores, se concluye que estos serían los que tienen costos de inversión por hectárea menores y las hectáreas beneficiadas mayores. En cuanto a la infraestructura de los proyectos, resultan algo más rentables proyectos con mayor número de zanjas de infiltración que pozos, ya que el costo por l/s infiltrado en el caso de las zanjas está entre M\$2.593 en Cachapoal y M\$2.608 en Tinguiririca, y el de pozos, entre M\$3.205 y M\$4.531, respectivamente; en Tinguiririca la diferencia se hace mayor debido a la calidad del acuífero que es de menor calidad hidrogeológica que el de Cachapoal, generándose menor infiltración unitaria.

Dadas las características de los proyectos RAG elaborados y de acuerdo con los resultados obtenidos de la evaluación ambiental realizada, se concluye que ninguno de los proyectos requiere ser ingresado al SEIA. Las razones de ello, están en que se ubican en medio de zonas agrícolas donde no existiría ninguna limitación de tipo ambiental para su materialización, no se contemplan obras que requieran la autorización del Artículo 294 del Código de Aguas, no se considera la proyección de las obras en áreas bajo protección oficial, ni tampoco los proyectos forman parte de otros proyectos ingresados o que deban ingresar al SEIA, y, finalmente, no se contempla ejecutar obras cerca de humedales ni donde puedan producir alguno de los efectos señalados en el literal "s" del artículo 10 de la Ley 19.300.

Respecto a las actividades de participación ciudadana, se tuvo reuniones con los actores de mayor importancia para los proyectos, que fueron, con los que suministrarán el agua para recargas (OUA's de Canalistas), con quienes tienen como función distribuir las aguas de los cauces naturales (Juntas de Vigilancia), y con otros, que serían potenciales titulares de proyectos RAG ante la autoridad (CAS, SSR, regantes). Este proceso de relacionamiento comunitario, permitió generar espacios de diálogo entre los

diferentes actores relevantes, involucrando a algunos de ellos para incorporarse como actores en los proyectos, de acuerdo con el modelo de gestión planteado para la implementación de los proyectos RAG. A su vez, la caracterización social de los sectores con proyectos RAG, en que se recogieron opiniones de las comunidades, aportó a realizar algunas modificaciones para perfilarlos acordes a la realidad local.

En lo administrativo y legal, sería deseable que en la titularidad de los proyectos RAG participen actores como Cooperativas o Comités de agua potable rural (Servicios Sanitarios Rurales, SSR), o las CAS que deberán constituirse en torno a los SHAC que son áreas de restricción o prohibición, u otros interesados, particulares o empresas, potenciales beneficiarios de los proyectos. En particular, pudo detectarse en las labores de PAC que la temática RAG es desconocida para los SSR y usuarios del agua en general, pero que existe disposición de las organizaciones a participar de los proyectos, aunque con aprensiones para asumir la titularidad de la obra por las responsabilidades adicionales que esto conlleva. En razón de ello, podría pensarse que una alternativa para que estos proyectos sean exitosos, sería que el Estado asuma la titularidad de una obra RAG en un principio, y luego de su correcto funcionamiento la traspase a los usuarios, de manera similar a lo que ocurre con la construcción de los SSR por parte de DOH. Podría ser también aconsejable formar CAS en torno a los proyectos, ya que tanto administrativamente como legalmente esa figura, establecida y regulada por el Código de Aguas, daría mayores facilidades y posibilidades para que los proyectos RAG pudieran implementarse y operar correctamente.

A su vez, aprovechando las ventajas, en cuanto a subsidios que ofrecen los concursos de la Ley 18.450 de la CNR, se podrá tener otra forma de lograr que estos proyectos se hagan realidad, y que las limitaciones actuales en cuanto a disponibilidad de agua subterránea, se vean en parte aminoradas al contar con proyectos de recarga artificial de acuíferos. Analizando la efectividad de los proyectos, insertos en medio de áreas agrícolas, donde existen distintas comunidades y poblados, el aporte de estos estaría en la mayor seguridad de riego y superficie agrícola que podría regarse gracias a contar con más recursos y, en el caso de los SSR, conseguir mayor seguridad en el abastecimiento de agua, pudiendo incluso aumentar el alcance de sus servicios con un mayor número de arranques domiciliarios.

En lo específico los beneficios por la implementación de los proyectos RAG serían que:

- Los proyectos RAG para los SSR permitirán agregar nuevos arranques a sus sistemas y para los regantes con pozos con DAA, aumentar sus áreas de riego.

- Para los SSR los beneficios económicos son en promedio de 4,6 millones de \$/mes, para lo cual el número de arranques domiciliarios que se podría agregar van desde 43 a 973, con un promedio de 366 nuevos arranques por SSR.
- En cuanto a los beneficios agrícolas, se conseguiría aumentar las áreas de riego, o bien mantenerlas, pero disponer de reservas de agua frente a déficit hídrico o mejorar rendimientos y calidad de la producción.

Debe señalarse que en este trabajo ha sido posible identificar algunas brechas o limitaciones del estudio en aspectos técnicos, legales, administrativos y ambientales, como son las que sigue.

Respecto a las brechas técnicas, los proyectos desarrollados en este trabajo a nivel de perfil, requerirán ser complementados con el diseño del sedimentador, diseño estructural, plan de mantenimiento y operación, monitoreo de caudales, niveles y acciones ante una eventual contaminación, especificaciones técnicas de la instrumentación requerida y del resto de las obras del proyecto y planos, entre otras.

Por otra parte, a pesar de que los resultados de la modelación se consideran suficientes para los objetivos de diseñar las obras a nivel de ingeniería de perfil, el modelo en sí tiene algunas limitaciones. En efecto, debido a que la información existente para su construcción permitió definirlo con una sola capa en vez de hacerlo multicapa, si se hubieran efectuado prospecciones amplias que lo permitieran (geofísica y análisis detallados de estratigrafía de planos de construcción de pozos). Por otra parte, al no contarse con pruebas de bombeo con pozos de observación, no se obtuvo valores del coeficiente de almacenamiento de campo, sino que los que ofrece la literatura. Además, si la representación de la infiltración a lo largo de los pozos resultó adecuada, no lo es en las zanjas, por existir un tramo vertical de flujo en la zona no saturada del acuífero no modelado, que sería otra limitación. Señalar finalmente, que los resultados de la modelación se basaron en estimaciones del porcentaje de recarga proveniente de la red de canales de la región (2%-4%), por lo que se debería realizar estudios específicos para ajustar valores de infiltración a la realidad que presentan los canales.

A su vez, se ha podido reconocer la falta de actualización de los procedimientos de la DGA asociados a la autorización de obras RAG, debido al cambio del artículo 66 por la Reforma al Código de Aguas. De igual modo, se reconoce la importancia que tiene la calidad de las aguas de recarga en los proyectos,

pero lo que fue posible realizar es insuficiente para lo que exige la DGA, que son líneas base extensas (a lo menos de 1 año), que es mucho más que los datos puntuales muestreados en este estudio.

En lo administrativo, en primer lugar, es fundamental que una autoridad competente regule y apruebe técnicamente una obra hidráulica de este tipo, lo cual recae en la DGA. Sin embargo, existe una limitación asociada al proceso de aprobación de los proyectos, que se refiere a los plazos indefinidos para ello, donde el Código de Aguas no establece tiempos de respuesta por parte de la Autoridad.

Por otra parte, la existencia de la CAS en cada uno de los SHAC, donde se proponen proyectos RAG, es imprescindible, ya que deben encargarse de supervigilar la operación de los proyectos RAG. La limitación que existe es que en ninguno de los SHAC comprometidos con los proyectos están constituidas, que sería lo recomendable de acuerdo con el Código de Aguas, para todos los acuíferos que son áreas de restricción o zonas de prohibición.

Otra limitación de este tipo tiene que ver con la autorización para usar las aguas recargadas que señala el artículo 66 bis del Código de Aguas, ya que la DGA no ha definido la forma de obtener este beneficio particular, el cual llegaría al titular de la obra, de ser éste también, el titular de un derecho de aprovechamiento de aguas. Sin embargo, cualquier persona que tenga DAA subterráneos sobre el SHAC donde se encuentre la obra RAG, podrá aprovechar el beneficio colectivo del aumento del nivel de la napa debido a las aguas infiltradas de la recarga, siempre y cuando no se extraiga más agua que la permitida legalmente en sus títulos.

Además de ello, habría una brecha en la forma de relacionarse los distintos actores que participen en los proyectos, en cuanto a la forma y alcance que deben tener los convenios entre titular, OUA que provee el agua, el encargado de la operación y mantenimiento y la misma CAS que debe supervigilar la operación del proyecto, a no ser que ésta sea a la vez el titular u operador del proyecto RAG. En el caso específico de este trabajo, esta limitación proviene del modelo de gestión que debió proponerse, porque puede darse el caso que el titular de la obra sea el mismo dueño del predio y de los DAA, y en esa situación no es necesario que existan convenios entre terceros, con lo que esta limitación desaparece.

En cuanto a las recomendaciones que surgen del trabajo realizado se puede señalar:

- Promover la gestión integrada de recursos hídricos (GIRH) con la implementación de proyectos RAG, a través de la difusión de los resultados de este trabajo, para que en otras cuencas del país se

pueda evaluar los beneficios de estas obras con uso de aguas de invierno y recargas desde canales de riego.

- Se recomienda que la DGA defina con mayor claridad y prontitud los procedimientos técnicos, administrativos y legales asociados a la autorización de una obra RAG, en los que se contemplen las modificaciones del artículo 66 del Código de Aguas, de abril de 2022, para que de esta manera se logre fomentar el interés por implementar este tipo de proyectos y potenciar la sustentabilidad de los acuíferos del país.
- Para la correcta operación de las obras RAG, sería recomendable que existan guías e instructivos que la misma DGA provea para ayudar a que estos proyectos puedan concretarse.
- Una alternativa para conseguir que los proyectos RAG funcionen como se espera, es que el Estado asuma la titularidad de una obra RAG en un principio, y luego de su correcto funcionamiento la traspase a los usuarios, de manera similar a lo que ocurre con la construcción de los SSR por parte de DOH.
- Fomentar la creación de CAS para facilitar la gestación, administración, operación y mantenimiento de los proyectos RAG y motivar a otros potenciales beneficiarios de estas obras a participar en este tipo de iniciativas.
- Asegurar que el agua de recarga de los proyectos tenga, al menos, igual o mejor calidad que el agua subterránea, para garantizar la no afectación a extracciones de agua para consumo humano, de acuerdo a lo exigido por el artículo 66 bis del Código de Aguas.
- En los casos en que la calidad del agua de recarga no cumpla con ser de mejor calidad que la del acuífero, se recomienda efectuar modelaciones para determinar el efecto de dilución de la mezcla del agua de la napa subterránea con el agua de infiltración, para determinar si sería aceptable para la Autoridad. El estándar de las normas de calidad de agua potable y riego sería también una forma de comparación de ambas.
- Apoyar el desarrollo de proyectos RAG con financiamiento público a través de programas de la CNR, MOP y/o del GORE.
- Fomentar el desarrollo de proyectos piloto que permitan medir y validar los efectos que producirían las obras sobre los acuíferos beneficiados en relación con los niveles de la napa y la calidad del agua. En el caso de esta consultoría ese proyecto piloto podría ser el TIN2 que posee varias características que lo hacen más interesante que otros:

- Se ubica en la cuenca del río Tinguiririca donde los niveles de la napa se ubican a menor profundidad que en Cachapoal, lo que permite que la infiltración llegue antes a la napa subterránea y su alcance espacial sea más localizado.
  - Considera pozos de infiltración y zanjas, lo que lo hace más didáctico para los análisis de los resultados que se realicen.
  - La fuente de agua es el canal Almarza que tiene su bocatoma en el río Tinguiririca requiriéndose un recorrido de sólo 6 km desde el río hasta el sitio del proyecto.
  - Su costo está dentro de los menores entre los 10 proyectos seleccionados.
  - El proyecto TIN 2 resultó el más rentable en la evaluación económica.
- Modificar las actuales bases de concursos de infiltración de la Ley 18.450, de manera que se permita postular a distintas obras de infiltración, como zanjas y pozos de inyección, y no sólo limitarlas a balsas de infiltración como ha sido en los llamados a concursos de proyectos de recarga artificial hasta la fecha.