

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA



**ANÁLISIS A LA GESTIÓN ADMINISTRATIVA DE LAS
AGUAS SUBTERRÁNEAS PARA LOS SECTORES HIDROGEOLÓGICOS
DE APROVECHAMIENTO COMÚN (SHAC) ÑUBLE Y CHANGARAL.**

VALENTINA ELISA CASTRO QUEZADA

HABILITACIÓN PROFESIONAL
PRESENTADA A LA FACULTAD DE
INGENIERÍA AGRÍCOLA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN, PARA
OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL

CHILLÁN – CHILE

2021

**ANÁLISIS A LA GESTIÓN ADMINISTRATIVA DE LAS AGUAS
SUBTERRÁNEAS PARA LOS SECTORES HIDROGEOLÓGICOS DE
APROVECHAMIENTO COMÚN (SHAC) ÑUBLE Y CHANGARAL**

Aprobado por:

José Luis Arumí Ribera
Ingeniero Civil, Ph. D.
Profesor Titular

Profesor Guía

Waldo Lama Torres
Ingeniero Civil Agrícola, Mg.
Evaluador Externo

Profesor Co-Guía

Luis Octavio Lagos Roa
Ingeniero Civil Agrícola, Dr.
Profesor Asociado

Profesor Asociado

Nicole Uslar Valle
Ingeniero Civil Agrícola, Ph. D.
Profesora Asistente

Directora de Departamento

María Eugenia González Rodríguez
Ingeniero Agrónomo, Ph. D.
Profesora Asociado

Decana



ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
Resumen.....	1
Summary.....	3
1. INTRODUCCIÓN	4
2. OBJETIVOS	7
2.1. Objetivo General	7
2.2. Objetivos Específicos.....	7
3. ANTECEDENTES GENERALES	8
3. 1. Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común de la Región de Ñuble.	8
3. 2. Derechos de Aprovechamiento de Agua otorgados en la Región de Ñuble. .9	9
4. METODOLOGÍA	11
5. RESULTADOS y DISCUSIÓN	22
5. 1. Derechos de aprovechamiento otorgados en cada SHAC.....	22
5. 1. 1. Derechos de aprovechamiento otorgados en SHAC Changaral.....	22
5. 1. 2. Derechos de aprovechamiento otorgados en SHAC Ñuble.....	26
5. 1. 3. Captaciones y demanda comprometida a nivel de SHAC.	31
5. 2. Requerimientos hídricos de los cultivos respecto al volumen de agua subterránea otorgado en cada SHAC.....	35
5. 2. 1. Requerimiento hídrico de los cultivos.	35
5. 2. 2. Superficie de riego en cada SHAC.	36
5. 2. 3. Superficie de riego relacionada al volumen otorgado y a los requerimientos hídricos de los cultivos.....	39
5. 3. Impacto sobre la sustentabilidad de las aguas subterráneas, actual gestión y marco jurídico.	42
5. 3. 1. Marco jurídico y gestión actual del agua.....	42
5. 3. 2. Impacto de la gestión administrativa sobre la sustentabilidad de las aguas subterráneas.....	54
8. CONCLUSIONES	59
7. LITERATURA CITADA.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1.	Sectores de Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común de la Región de Ñuble.....	9
Figura 2.	Extracto de campos incluidos en la planilla aportada por la DGA correspondiente al SHAC Ñuble.....	12
Figura 3.	Ejemplo de captación en sitio eriazo delimitado por su rol, sin aparente uso del agua, captación denominada como “Sin Uso”.....	14
Figura 4.	Capa de propiedades rurales de la Región del Biobío, actualizada al año 2016.....	20
Figura 5.	Distribución porcentual del volumen otorgado respecto a su uso en SHAC Changaral. a) Para valores oficiales de volumen otorgado y b) para valores no oficiales de volumen otorgado incluyendo los valores oficiales.....	24
Figura 6.	Volumen total otorgado por año y volumen acumulado en el tiempo para SHAC Changaral desde el año 1980 a 2020.....	25
Figura 7.	Captaciones por año y captaciones acumuladas en el tiempo para SHAC Changaral desde el año 1980 a 2020.....	25
Figura 8.	Distribución porcentual del volumen otorgado respecto a su uso en SHAC Ñuble. a) Para valores oficiales de volumen otorgado y b) para valores no oficiales de volumen otorgado incluyendo los valores oficiales.....	29
Figura 9.	Volumen total otorgado por año y volumen acumulado en el tiempo para SHAC Ñuble desde el año 1980 a 2020.....	30
Figura 10.	Captaciones por año y captaciones acumuladas en el tiempo para SHAC Ñuble desde el año 1980 a 2020.....	30
Figura 11.	Geolocalización de los derechos de aprovechamiento de SHAC Ñuble y Changaral.....	33
Figura 12.	Superficie de los roles con sus respectivas captaciones de agua subterránea para uso en riego en SHAC Changaral.....	37
Figura 13.	Superficie de los roles con sus respectivas captaciones de agua subterránea para uso en riego en SHAC Ñuble.....	38

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Volumen otorgado y número de captaciones según su uso para los derechos pertenecientes al SHAC Changaral.....	23
Tabla 2. Volumen otorgado y número de captaciones según uso del agua obtenido de la visualización satelital de las captaciones “Sin Información” correspondientes al SHAC Changaral.....	23
Tabla 3. Volumen otorgado y número de captaciones según su uso para los derechos pertenecientes al SHAC Ñuble.....	27
Tabla 4. Volumen otorgado y número de captaciones según uso del agua obtenido de la visualización satelital de las captaciones “Sin Información” correspondientes al SHAC Ñuble.....	28
Tabla 5. Superficie, oferta y demanda comprometida del recurso hídrico para SHAC Ñuble y Changaral.....	34
Tabla 6. Requerimiento hídrico de los cultivos (Etc).....	35
Tabla 7. Superficie de relacionada a las captaciones para uso de agua en riego para los SHAC Ñuble y Changaral.....	36
Tabla 8. Superficie por cultivo que podría ser regada en cada SHAC.....	41

ÍNDICE DE ECUACIONES

	Página
Ecuación 1. Precipitación efectiva mensual.....	17
Ecuación 2. Evapotranspiración de referencia.....	17
Ecuación 3. Requerimiento teórico del cultivo.....	39
Ecuación 4. Superficie posible de regar.....	40



**ANÁLISIS A LA GESTIÓN ADMINISTRATIVA DE LAS AGUAS
SUBTERRÁNEAS PARA LOS SECTORES HIDROGEOLÓGICOS DE
APROVECHAMIENTO COMÚN (SHAC) ÑUBLE Y CHANGARAL**

ANALYSIS OF THE ADMINISTRATIVE MANAGEMENT OF GROUNDWATER
FOR THE HYDROGEOLOGICAL SECTORS OF COMMON EXPLOITATION
(SHAC) ÑUBLE AND CHANGARAL

Palabras claves: derecho de aprovechamiento de agua, riego, sustentabilidad de las aguas subterráneas.

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue analizar desde una perspectiva administrativa, la disponibilidad y sustentabilidad de las aguas subterráneas en los SHAC Ñuble y Changaral. El análisis fue realizado a partir de los datos de derechos de aguas subterráneas constituidos de cada SHAC, distinguiendo los diferentes usos, principalmente el uso para riego, además, se incluyen las demandas hídricas de los cultivos en función de los derechos otorgados y finalmente se realizó un análisis al marco jurídico vigente del agua en Chile, enfocado a las aguas subterráneas. Los resultados muestran que más de un 60% de los derechos de aprovechamiento otorgados en ambos SHAC corresponden al uso del agua para riego y que el volumen otorgado para este uso está sobrestimando la demanda hídrica de los cultivos. Finalmente, se concluye que la gestión hídrica requiere de un trabajo holístico, el cual permitirá el mantener la calidad y cantidad de las aguas

subterráneas, promoviendo el derecho humano al agua y la conservación de los ecosistemas dependientes de este recurso.



**ANALYSIS OF THE ADMINISTRATIVE MANAGEMENT OF GROUNDWATER
FOR THE HYDROGEOLOGICAL SECTORS OF COMMON EXPLOITATION
(SHAC) ÑUBLE AND CHANGARAL**

Keywords: right of exploitation of water, irrigation, sustainability of groundwater.

Summary

The objective of this work is to analyze from an administrative perspective, the availability and sustainability of groundwater in the SHAC Ñuble and Changaral. The analysis is carried out from the groundwater rights data of each SHAC, distinguishing the different uses, mainly the use for irrigation, besides includes the water demands of the crops are included according to the rights granted and finally an analysis is carried out of the current legal framework for water in Chile, focused on the groundwater. The results show that more than 60% of the exploitation rights granted in both SHACs correspond to the use of water for irrigation and that the volume granted for this use is overestimating the water demand of the crops. Finally, it is concluded that water management requires a holistic work which will allow maintaining the quality and quantity of groundwater. promoting the human right to water and the conservation of ecosystems dependent on this resource.

1. INTRODUCCIÓN

Se conoce que el agua subterránea es la fuente de agua dulce más abundante en la Tierra y el volumen total almacenado oscila entre 8 a 10 millones de km³, o 96% del agua dulce no congelada, según lo publicado por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (2020). En lo informado también se destaca que, el agua subterránea abastece casi el 50% del agua potable mundial y 43% de toda el agua utilizada para riego en la agricultura. Los cambios en la disponibilidad y calidad del agua subterránea tienen un impacto en la salud del ser humano, medios de vida, seguridad alimentaria y desarrollo económico nacional. Muchos ecosistemas acuáticos y su biodiversidad dependen del agua subterránea.

En Chile, la administración y gestión de las aguas se fundamenta en el Código de Aguas, el cual entró en vigencia el año 1981. De acuerdo a un análisis hecho por el Banco Mundial (2011), el Código de Aguas permitió fomentar las inversiones relacionadas con el agua y mejorar la eficiencia de su uso. Sin embargo, el otorgamiento de derechos de aprovechamiento de agua sin límites ni restricciones pronto dio origen a problemas, tales como el acaparamiento de derechos de aprovechamiento y la escasez jurídica/administrativa de acuíferos.

En el Artículo 129° del Código de Aguas se indica que los derechos de aprovechamiento de agua serán constituidos por la Dirección General de Aguas (DGA) velando por la preservación de la naturaleza y la protección del medio ambiente. Es por esto que con base en lo normado por los Artículos 63°-68° del Código de Aguas, la DGA está facultada para declarar zonas de prohibición y áreas

de restricción para nuevas explotaciones de aguas subterráneas, en un determinado sector hidrogeológico, con el objeto de proteger el acuífero y los derechos de terceros constituidos con anterioridad en la cuenca (Banco Mundial, 2011).

Un elemento fundamental que se ha utilizado en la toma de decisiones para otorgar derechos de aprovechamiento en la DGA ha sido el uso del concepto de “Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común”, que es definido en el Reglamento de Aguas Subterráneas (Decreto N°203 de 2013) como “el acuífero o parte de un acuífero cuyas características hidrológicas espaciales y temporales permiten una delimitación para efectos de su evaluación hidrogeológica o gestión en forma independiente” (Ministerio de Obras Públicas, 2014).

Para constituir derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en un sector acuífero, la Dirección General de Aguas establece la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo (Volumen Sustentable), como aquel volumen que permite un equilibrio de largo plazo del sistema, otorgando respaldo físico a los derechos de aprovechamiento constituidos de aguas subterráneas, no generando afección a derechos de terceros (tanto superficiales como subterráneos), y no produciendo impactos no deseados a la fuente y al medio ambiente (Dirección General de Aguas, 2016).

El Acuífero Ñuble está compuesto por dos Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC), los cuales son denominados Ñuble y Changaral. El primero de estos presenta una oferta de recurso hídrico de $15,27 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, esto es $481.554.720 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$. Por otro lado, el SHAC Changaral presenta $6,39 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$,

equivalente a 201.398.844 m³ año⁻¹, volumen correspondiente a la recarga media anual de los sectores hidrogeológicos (Dirección General de Aguas, 2016).

Los valores de volúmenes de recarga y los provenientes de los volúmenes otorgados por los derechos de aprovechamiento de aguas son los concluyentes para la DGA al momento de otorgar nuevos derechos. Es por esto que el acaparamiento de derechos de agua es un grave hecho que puede llevar a restringir el otorgamiento de nuevos derechos, a una mala gestión hídrica de los acuíferos y al deterioro de los ecosistemas que viven en función de ellos.



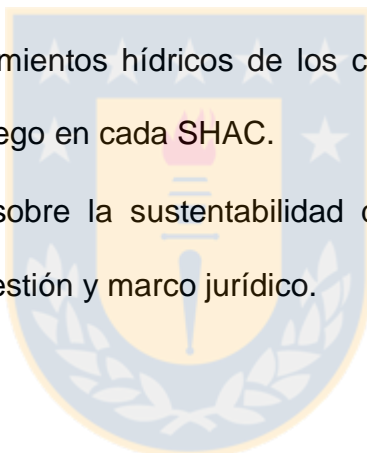
2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Analizar desde una perspectiva administrativa, la disponibilidad y sustentabilidad de las aguas subterráneas en los Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común Ñuble y Changaral.

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar la cantidad de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas otorgados en cada SHAC.
- Comparar los requerimientos hídricos de los cultivos respecto al volumen de agua otorgado para riego en cada SHAC.
- Analizar el impacto sobre la sustentabilidad de las aguas subterráneas en función de la actual gestión y marco jurídico.



3. ANTECEDENTES GENERALES

3. 1. Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común de la Región de Ñuble.

La Región de Ñuble la componen 12 diferentes Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común, de los cuales 5 de ellos son compartidos en distintas proporciones con las regiones vecinas del Maule y Bío Bío. Los SHAC que componen a la Región de Ñuble son los siguientes:

- | | |
|-------------------|--------------------|
| 1. Cauquenes | 7. Laguna del Laja |
| 2. Chanco Alto | 8. Maule Medio Sur |
| 3. Changaral | 9. Ñuble |
| 4. Cobquecura | 10. Ñuble Alto |
| 5. Itata Inferior | 11. Pingueral |
| 6. Itata Superior | 12. Río Laja |

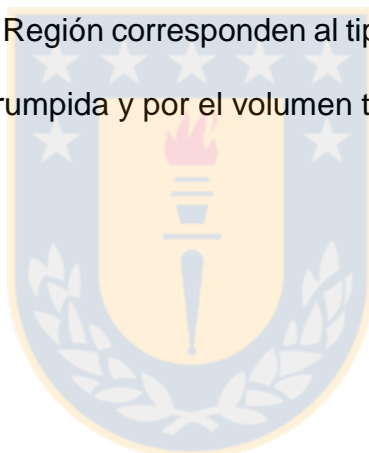


Los SHAC que Ñuble comparte con las regiones aledañas corresponden al Cauquenes, Laguna del Laja, Maule Medio Sur, Pingueral y Río Laja.

La distribución espacial de los SHAC de la Región de Ñuble se puede observar en la Figura 1, también se pueden distinguir las comunas que implica cada Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común.

En cuanto a los tipos de derechos, 8.182 son derechos de Uso Consuntivo y 456 derechos son de Uso No Consuntivo, esto quiere decir que la mayor parte de los derechos otorgados en la Región de Ñuble tienen como fin utilizar el recurso hídrico y no ser restituido al medio del cual se extrajo.

Sobre el ejercicio del derecho, que corresponde al tipo de uso del agua otorgada, existen 196 derechos que son del tipo Eventual y Continuo, 199 del tipo Eventual y Discontinuo, 46 Permanente y Alternado, 8.026 Permanente y Continuo, y finalmente 169 derechos son del tipo Permanente y Discontinuo. La mayoría de los derechos otorgados en la Región corresponden al tipo que permite utilizar el recurso hídrico de manera ininterrumpida y por el volumen total que fue otorgado.



4. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la cuantificación de los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en los SHAC Ñuble y Changaral se tiene como base los datos del Catastro Público de Aguas realizado por la DGA. Desde la plataforma de la DGA se obtiene la planilla Excel para la Región de Ñuble: “Derechos Concedidos XVI Región”, la cual contiene la totalidad de derechos otorgados hasta la fecha de consulta (30 de marzo de 2021), estos corresponden a 8.479, de los cuales 5.537 son derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas.

A través de un aporte de la DGA de la Región de Ñuble se obtiene información en formato Excel, la cual contiene los derechos otorgados para cada SHAC, Ñuble y Changaral. La planilla cuenta con los siguientes campos:

- FID
- Código Expediente
- Nombre de Solicitante
- Fecha Ingreso
- Comuna
- UTM (m) WGS84 Norte 19
- UTM (m) WGS84 Norte 18
- Situación Actual
- Caudal Solicitado (L/s)
- Caudal Otorgar o Posible (L s⁻¹)
- Volumen Total Anual Otorgado o Posible (m³ año⁻¹)

Como se puede ver en la Figura 2 esta base de datos no contiene un campo correspondiente al “Uso del Agua”, el cual es necesario para llevar a cabo el objetivo de este análisis, por lo tanto, se debe implementar un tratamiento de los datos para agregar el campo faltante.

Fecha Ingreso	Comuna	UTM (m) WGS84 Norte 19	UTM (m) WGS84 Este 19	Situación Actual	N° Res.	Fecha Res.	Caudal otorgado o solicitado (l/s)	Volumen Total Anual otorgado o solicitado (m3/año)	Volumen Acumulado (m3/año)	Disponible (m3/año)
26-05-2009	Pinto	5.935.438	240.200	A	186	30-09-09	0,1	568,0	237.446.086	244.108.634
25/04/2016	Coihueco	5.939.965	243.630	A	423	05/09/2018	0,1	2.838,2	237.448.924	244.105.796
04-10-2005	Chillan	5.941.057	228.498	A	4.093	30-12-13	0,1	504,6	237.449.428	244.105.292
19/10/2012	Portezuelo	5.945.761	197.571	A	36	14/04/2014	0,1	2.523,0	237.451.951	244.102.769
17-11-2005	Coihueco	5.944.259	250.075	A	1.066	22-09-14	0,1	495,0	237.452.446	244.102.274
13-12-2005	Chillan	5.943.991	217.267	A	4.320	30-12-13	0,1	441,5	237.452.888	244.101.832
14/09/2012	Chillan Viejo	5.933.635	220.344	A	248	02/11/2016	0,1	2.207,0	237.455.095	244.099.625
07-11-2005	Pinto	5.932.754	244.761	A	557	10-07-13	0,1	378,4	237.455.473	244.099.247
05-12-2005	Chillan	5.946.509	225.217	A	972	22-09-14	0,1	378,0	237.455.851	244.098.869
05-12-2005	Chillan	5.946.355	225.177	A	122	22-02-13	0,1	378,0	237.456.229	244.098.491
10/10/2013	Coihueco	5.950.690	251.983	A-REG	-		0,1	1.892,0	237.458.121	244.096.599
06/03/2014	Chillan	5.942.362	226.504	A-REG	-		0,1	1.886,0	237.460.007	244.094.713
09/10/2013	Coihueco	5.940.417	245.164	A-REG	-		0,1	1.734,5	237.461.742	244.092.978
15-12-2005	Chillan	5.946.602	225.210	A	4.166	30-12-13	0,1	315,4	237.462.057	244.092.663

Figura 2. Extracto de campos incluidos en la planilla aportada por la DGA correspondiente al SHAC Ñuble.

Mediante la función “BuscarV” del software Excel, utilizando como campo común el “Código de Expediente”, se procede a cruzar las bases de datos para incluir el nuevo campo de “Uso del Agua”, llevando los datos de “Uso del Agua” de la planilla “Derechos Concedidos XVI Región” a la planilla aportada por la DGA de Ñuble.

Con el cruce de datos mediante la función BuscarV no es posible completar todos los datos del campo solicitado, por lo tanto, se debe buscar de manera manual los Usos de los derechos faltantes. Para esto se ingresa a la plataforma web de la DGA, específicamente al apartado de “Resoluciones y Expedientes Digitalizados”, esta página incluye una ventana que permite ingresar los “números de expedientes” de cada derecho, de esta forma se procede a buscar los expedientes que no se completaron al utilizar la función de Excel.

Finalizando este trabajo, las planillas de cada SHAC se encuentran completas con el nuevo campo, el cual contiene los siguientes Usos del Agua:

- Bebida / Uso Doméstico / Saneamiento
- Riego
- Uso Industrial
- Otros Usos
- Sin Información

Este último “uso” se debe a que no en todas las solicitudes de derechos de aprovechamiento que ingresan a la DGA se indica el uso del agua, por lo tanto, esos derechos no contienen información en ese ámbito. Es por esto, que para tener una mejor noción sobre el uso que se les da a los derechos que aparecen como “Sin Información”, se procede a trabajar en ArcGis para visualizar a través de la imagen satelital, cada una de estas captaciones proyectadas en el software. De esta manera se obtiene una apreciación del uso del agua más amplia en cada SHAC.

Cabe destacar que la información que se obtiene de este trabajo no será utilizada como “valores oficiales”, si no que como “valores inferidos”, ya que, a través de la visualización satelital solo se puede obtener una apreciación del uso del agua que queda a criterio de la persona que lo observe, por lo tanto, los valores resultantes de estos no serán incluidos como números oficiales. También, es importante mencionar que las captaciones “Sin Uso” en ambos SHAC, corresponden a captaciones en sitios eriazos, en los cuales no se observa ningún tipo de obra en la cual se pueda utilizar el agua solicitada ni ningún tipo de cultivo que sea necesario regar, inclusive se visualizan sitios eriazos con un volumen otorgado muy alto, los

cuales no se logran justificar con la visualización a través de la imagen satelital. En la Figura 3 se puede apreciar una captación en la cual no se puede llegar a concluir ningún tipo de uso del agua y tiene otorgado un volumen de $709.560 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$. Por otro lado, los derechos categorizados como “Otros Usos” corresponden a aquellos que tienen la finalidad de ser utilizados en centros educacionales, iglesias, municipalidades, terminales de transporte público, entre otros.

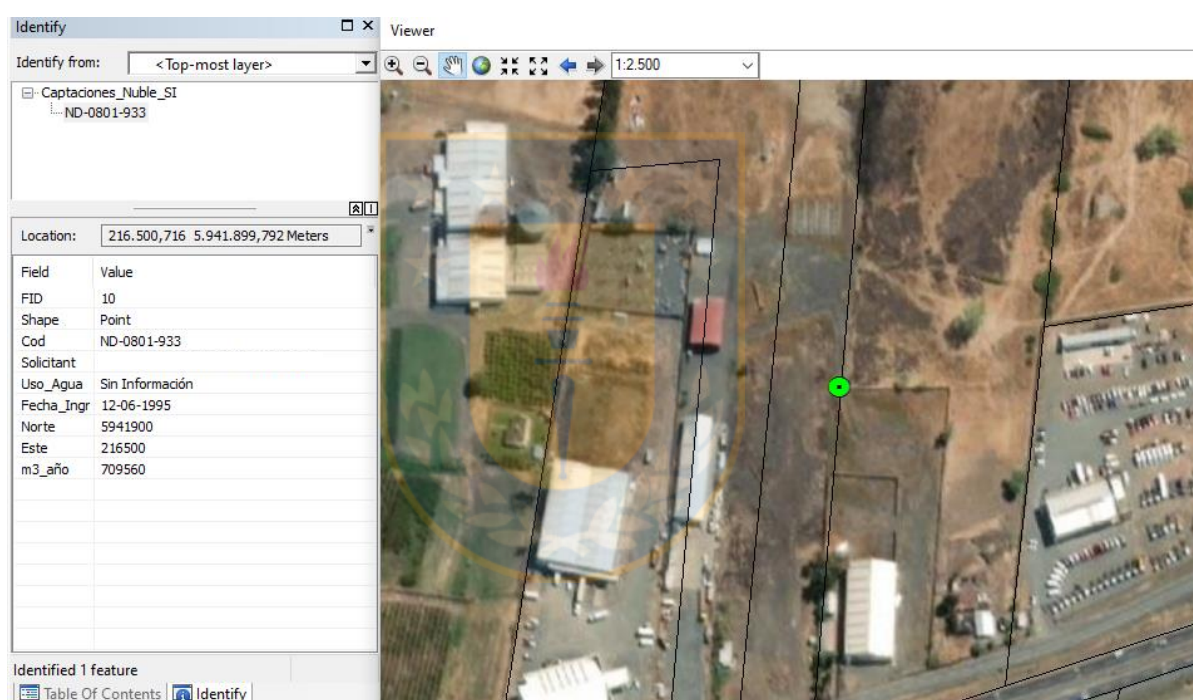


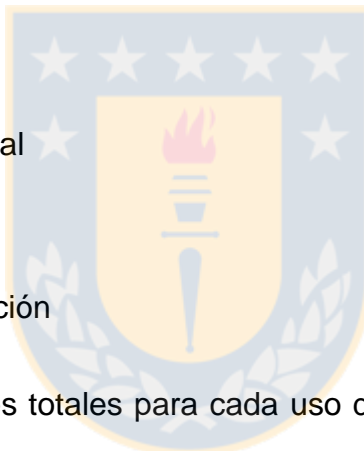
Figura 3. Ejemplo de captación en sitio eriazo delimitado por su rol, sin aparente uso del agua, captación denominada como “Sin Uso”.

Fuente: Elaboración propia.

Para lograr un análisis de los datos se comienza a trabajar en cada SHAC con los campos de Fecha de Ingreso, Volumen Total Anual Otorgado o Posible ($\text{m}^3 \text{ año}^{-1}$) y Uso del Agua. A través de la suma de los volúmenes para uso del agua y año, se obtiene el volumen anual otorgado ($\text{m}^3 \text{ año}^{-1}$) para cada año y para cada uno de los

usos. Los años con los cuales se trabaja son desde 1980 a 2021, con algunos saltos entre los años 1980 y 1999. De esto se obtiene una nueva planilla para cada SHAC, que será con la que se realizarán los análisis posteriores en formato de tabla de datos. Los campos que componen esta nueva hoja de cálculo son:

- Año
- Volumen Total ($\text{m}^3 \text{ año}^{-1}$)
- Volumen para Uso del Agua ($\text{m}^3 \text{ año}^{-1}$)
 - o Bebida / Uso Doméstico / Saneamiento
 - o Riego
 - o Uso Industrial
 - o Otros Usos
 - o Sin Información



Además de los volúmenes totales para cada uso del agua y año, se puede hacer una contabilización del número de captaciones para cada uno de estos, lo que corresponde al número de derechos de aprovechamiento otorgados. La información obtenida de este ejercicio también es presentada en formato de tabla de datos.

Finalizando el trabajo en las planillas Excel, se cuenta con 1.551 derechos en el SHAC de Ñuble y 391 en el SHAC Changaral. A partir de esta planilla final se llevan las coordenadas al Software ArcGis, el cual permitirá generar un mapa con las captaciones caracterizadas para cada SHAC. En ArcGis, se transforman las coordenadas de las planillas a dos shapefiles: SHAC_Changaral y SHAC_Nuble.

Luego, se cargan las siguientes capas y se trabaja en la generación del mapa:

- Acuíferos_SHAC_Abril_2021, obtenida de la Mapoteca de la DGA
- Comunas, obtenida de la Mapoteca de la Biblioteca del Congreso Nacional.

Para el segundo objetivo es necesario conocer los requerimientos hídricos de los cultivos, es decir, la evapotranspiración del cultivo (ETc). Para esto, primero se tienen los valores de coeficiente de cultivo (Kc) para cada grupo de cultivo obtenidos desde el Boletín 56° de la FAO. Por otro lado, se obtienen valores de evapotranspiración de referencia (ETo) mensuales desde octubre a marzo para un sector ubicado entre cada SHAC, estos valores son obtenidos del mapa de evapotranspiración del Sistema de Información Integral de Riego, lo cual fue revisado a través de <https://esiir.cnr.gob.cl/>. También, se tienen valores de precipitación normal mensual los cuales son obtenidos desde la plataforma web de la Dirección Meteorológica de Chile: <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/historico/datosNormales/360011>, estos valores corresponden a la Estación Meteorológica General Bernardo O'Higgins ubicada Chillán, a cada uno de estos valores se le resta el valor de precipitación efectiva el cual corresponde a 10 mm¹, con esto se obtienen valores de precipitaciones efectivas mensuales, este procedimiento se hace aplicando la ecuación 1. Con la diferencia entre los valores de ETo y los de precipitación efectiva para cada mes, se obtiene una nueva ETo. Luego, se procede a calcular un valor de

¹ Octavio Lagos. Investigador asociado CRHIAM. Universidad de Concepción. 2021 (comunicación personal).

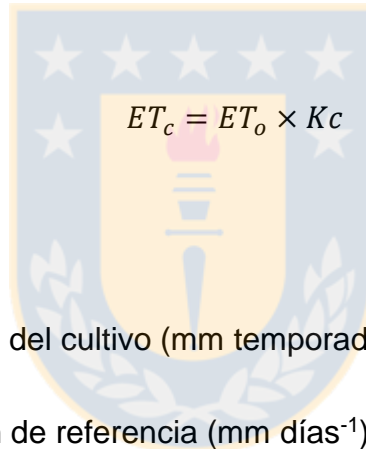
ETc preliminar aplicando la ecuación 2 para cada grupo de cultivos, multiplicando los valores de Kc con la nueva ETo.

$$PE_{mensual} = PP_{mensual} - 10 \quad [1]$$

Donde:

$PE_{mensual}$ = Precipitación efectiva mensual (mm).

$PP_{mensual}$ = Precipitación normal mensual (mm).



$$ET_c = ET_o \times Kc \quad [2]$$

Donde:

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm temporada⁻¹).

ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm días⁻¹).

Kc = Coeficiente de cultivo.

Se tiene también la eficiencia de riego para cada cultivo¹ en dos escenarios, el primero considerando un riego tecnificado (con eficiencias de riego desde 75% a 90%) y el segundo sin riego tecnificado (con eficiencias de riego de un 30% a 45%). La eficiencia del riego para los cultivos es aplicada a cada ETc obtenida anteriormente para ambos escenarios. Considerando el siguiente supuesto: que un 85% de los cultivos regados con agua subterránea utilizan riego tecnificado y que un

15% de los cultivos no riegan con riego tecnificado, se procede a calcular un promedio aplicando este porcentaje a los valores de ETc bajo los dos escenarios mencionados anteriormente. Con este último procedimiento se obtienen los requerimientos hídricos de los cultivos.

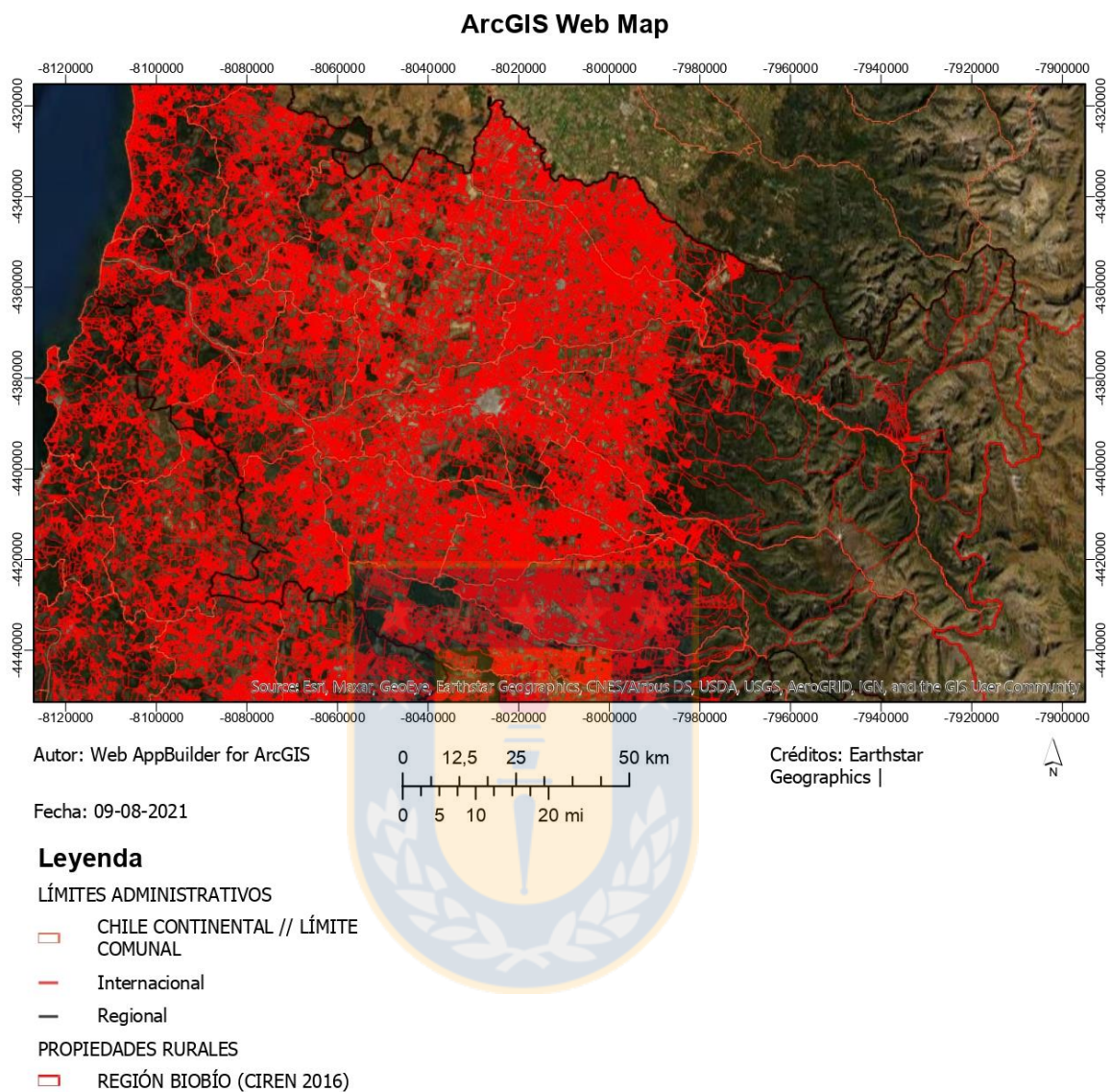
Los valores de requerimiento hídrico obtenidos se sintetizan en formato de tabla con el fin de ser utilizados posteriormente en el análisis que se hace frente a los valores de volumen otorgado y la superficie de riego de cada SHAC.

La cuantificación del área relacionada a derechos otorgados para riego se hace en ArcGis con el siguiente procedimiento:

1. Se tienen dos shapefiles con la geolocalización las captaciones en ambos SHAC, en estas capas se seleccionan sólo los derechos que son de “Uso de Agua” para “Riego” a través de una selección por atributos. Con esta selección se crean dos nuevas capas: “Riego_Changaral” y “Riego_Ñuble”, las cuales contienen sólo las captaciones que son para uso en riego.
2. Por otro lado, se carga a ArcGis una capa de “Propiedades rurales, Región del Biobío (2016)”, la cual se puede visualizar en la Figura 4 y es obtenida de la plataforma web de Infraestructura de Datos Espaciales del Ministerio de Agricultura: <https://ide.minagri.gob.cl/>. Esta capa es utilizada como la capa de roles, la cual contiene valores de áreas. Con la herramienta “Clip” se recorta

la capa de acuerdo a los shapefiles de cada SHAC y de esto se obtienen dos capas con los roles correspondientes para cada SHAC.

3. Con la herramienta de "Intersect (Analysis)" se junta la capa de roles obtenida en el punto 2 con el shapfile de captaciones para riego obtenido en el punto 1, este proceso se hace para cada SHAC. Con esta herramienta se logra asociar un área a cada captación para uso en riego, a través de la asociación de un polígono (rol) con un punto (captación).
4. En las tablas de atributos de las nuevas capas que se obtuvieron en el paso anterior, se procede a crear un nuevo campo del tipo "float", con el cual se calculará el área que está relacionada a los roles y las captaciones. En este nuevo campo se selecciona la opción de "Calculate Geometry", aquí se escoge el área en hectáreas, luego se selecciona toda la columna y se utiliza la función de "Statistics", con esto se puede obtener el área total relacionada a las captaciones para uso en riego. Este paso se hace en la tabla de atributos de cada SHAC.



Sistema de Referencia: WGS 1984 Web Mercator Auxiliary Sphere

Las capas de información geográfica de este mapa son propiedad de cada una de las instituciones que son parte del programa IDE Minagri.



Figura 4. Capa de propiedades rurales de la Región del Biobío, actualizada al año 2016.

Fuente: IDE-MINAGRI.

Este mismo procedimiento se repite en ambos SHAC, pero ahora agregando los nuevos derechos de agua (valores no oficiales) para uso en riego obtenidos de la visualización satelital que se hizo anteriormente para el primer objetivo.

Finalmente, teniendo los valores de superficie de riego y los valores de requerimientos hídricos de los cultivos, se crea una tabla con el fin de obtener un balance hídrico con el volumen otorgado para uso del agua en riego en cada SHAC y los requerimientos hídricos de los cultivos relacionados a las superficies de riego. Además, otra tabla que permita conocer superficies de cultivo posibles de regar con el volumen otorgado en cada SHAC.

Por último, para analizar el impacto de la actual gestión y administración de las aguas subterráneas sobre la sustentabilidad de los recursos hídricos, se realiza principalmente un análisis al Código de Aguas, a Resoluciones de la DGA y Decretos Supremos, enfocado a identificar las facultades administrativas de la DGA para otorgar Derechos de Aprovechamiento de Aguas, haciendo énfasis a la protección de la sustentabilidad de las aguas subterráneas.

5. RESULTADOS y DISCUSIÓN

5. 1. Derechos de aprovechamiento otorgados en cada SHAC.

5. 1. 1. Derechos de aprovechamiento otorgados en SHAC Changaral.

El SHAC Changaral cuenta con 391 derechos otorgados hasta la fecha de consulta (18 de mayo del 2020), los cuales en su totalidad son del tipo consuntivos, permanentes y continuos. Estos derechos corresponden a un volumen de $174.998.270 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$, equivalentes a un caudal de $5.549,2 \text{ L s}^{-1}$. En cuanto a los usos, se observa en la Tabla 1 que el volumen otorgado según los valores oficiales para los derechos clasificados como “Riego” es el predominante, correspondiente a $102.977.035 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$. El volumen otorgado para los derechos “Sin Información” de su uso son los que ocupan el segundo lugar, seguido por “Bebida, Uso Doméstico, Saneamiento” y en último lugar “Otros Usos”.

Si bien, el “Riego” representa el mayor volumen otorgado de los derechos de aprovechamiento del SHAC Changaral, el uso “Sin Información” contiene la mayor cantidad de captaciones de los 391 derechos otorgados en el SHAC. Como se puede apreciar en la Tabla 1, los $102.977.035 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ que corresponden al volumen otorgado en el uso para “Riego” son distribuidos en 146 captaciones, en cambio, $50.034.601,8 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ de los derechos “Sin Información” se distribuyen en 210 captaciones. En la Figura 5 a) se puede apreciar la distribución de los volúmenes otorgados, y de esto se obtiene que el 59% del volumen otorgado es para uso en Riego, un 28% no indica su uso, un 11% es para uso humano y un 2% para otros usos.

Tabla 1. Volumen otorgado y número de captaciones según su uso para los derechos pertenecientes al SHAC Changaral.

Uso del Agua	Volumen Otorgado (m ³ año ⁻¹)	Nº de Captaciones
Bebida, Uso Doméstico y Saneamiento	19.047.951,6	32
Riego	102.977.035	146
Uso Industrial	-	-
Otros Usos	2.938.682	3
Sin Información	50.034.601,8	210
Total	174.998.270	391

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Volumen otorgado y número de captaciones según uso del agua obtenido de la visualización satelital de las captaciones “Sin Información” correspondientes al SHAC Changaral.

Uso del Agua	Volumen Otorgado (m ³ año ⁻¹)	Nº de Captaciones
Bebida, Uso Doméstico y Saneamiento	7.308.005,8	72
Riego	32.381.276,7	83
Uso Industrial	214.501,8	8
Otros Usos	6.782.891,0	11
Sin Uso	3.347.926,5	36
Total	50.034.601,8	210

Fuente: Elaboración propia.

De las 210 captaciones que corresponden a las que no entregan información de su uso (Sin Información), se obtuvo a través de la visualización satelital que el uso de

agua en riego sigue siendo el predominante, el cual representa al 64% del volumen otorgado. Según lo observado en la Figura 5 b) al incluir los valores no oficiales al volumen otorgado de los valores oficiales se obtiene que el uso del agua para riego aumenta a un 76% del volumen otorgado en el SHAC. En la Tabla 2 se pueden observar los valores para los demás usos.

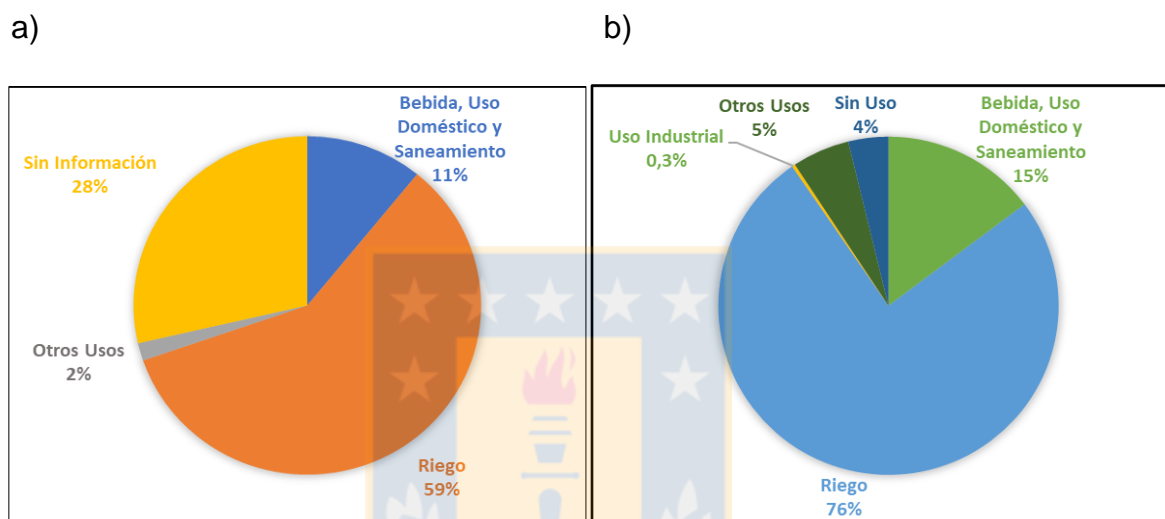


Figura 5. Distribución porcentual del volumen otorgado respecto a su uso en SHAC Changaral. a) Para valores oficiales de volumen otorgado y b) para valores no oficiales de volumen otorgado incluyendo los valores oficiales. Fuente: Elaboración propia.

La variación de los volúmenes otorgados en el tiempo en el SHAC se plasma en el gráfico de la Figura 6. A la fecha del 18 de mayo del 2020 el SHAC tiene un volumen acumulado de $174.998.270 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$. Los años 2017, 2018 y 2019 representan los años con los volúmenes otorgados más grandes, tal como se puede apreciar en la Figura 6.

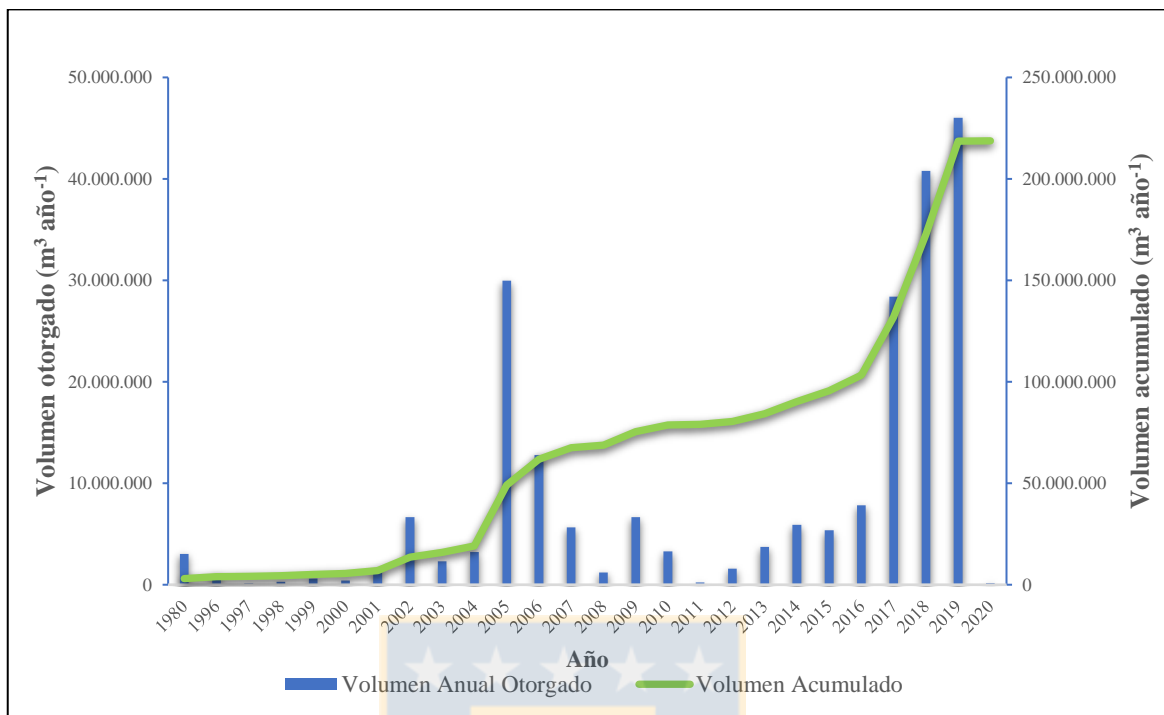


Figura 6. Volumen total otorgado por año y volumen acumulado en el tiempo para SHAC Changaral desde el año 1980 a 2020.
Fuente: Elaboración propia.

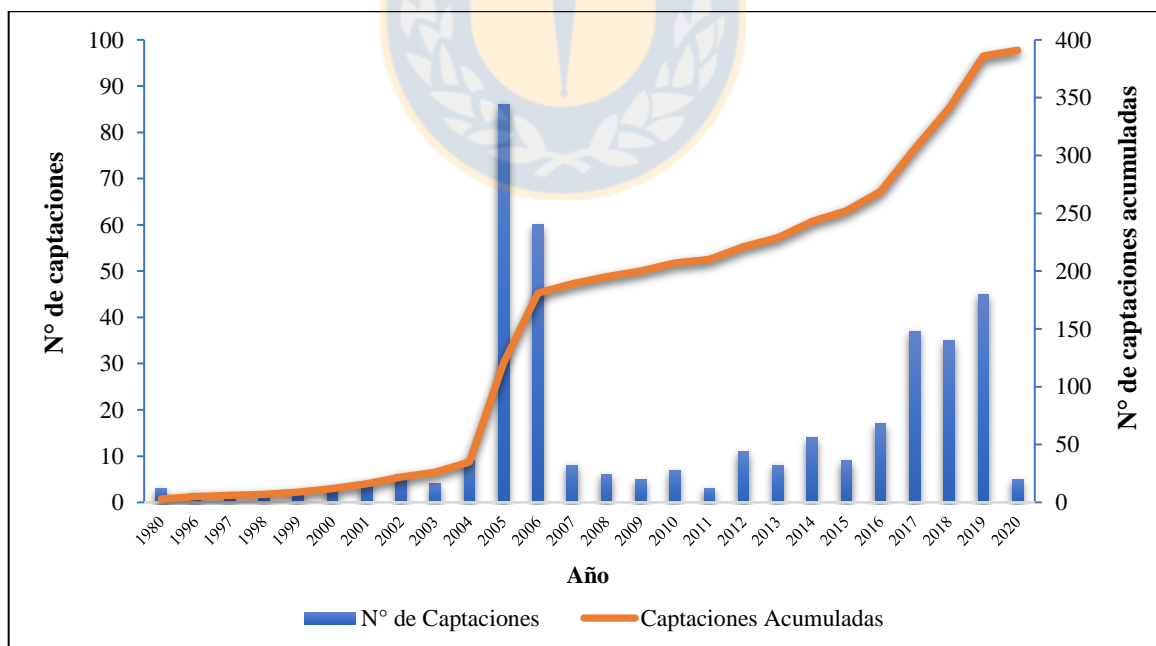


Figura 7. Captaciones por año y captaciones acumuladas en el tiempo para SHAC Changaral desde el año 1980 a 2020.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 7 se pueden observar las captaciones constituidas por año y el total de captaciones acumuladas desde el año 1980 al año 2020. Se puede apreciar que en el año 2005 y 2006 se encuentra el mayor número de captaciones constituidas, sin embargo, estos valores no son proporcionales al volumen otorgado, según lo visto en la Figura 6.

Como se pudo observar en los resultados, el riego representa el volumen otorgado mayor en este SHAC y también el mayor número de captaciones. Al momento de revisar los derechos “Sin Información”, el riego sigue ocupando los valores más altos, lo que indica que los derechos otorgados en este SHAC están asociados al desarrollo agrícola. Tomando en cuenta estos últimos datos, el 76% de las captaciones estarían dirigidas para este uso. Si bien el desarrollo agrícola es importante para la zona, el volumen otorgado para riego representa un valor muy importante, lo cual genera una preocupación al momento de pensar si el riego se estará realizando o no de manera sustentable para mantener la cantidad y calidad de los acuíferos.

5. 1. 2. Derechos de aprovechamiento otorgados en SHAC Ñuble.

Este SHAC contiene 1.551 derechos de aprovechamiento hasta la fecha de consulta (31 de julio de 2020), los cuales equivalen a un volumen de 421.518.338,7 m³ año⁻¹ y a un caudal de 13.366,3 L s⁻¹ otorgados hasta la fecha. Los derechos de este SHAC son en su totalidad del tipo consuntivos, permanentes y continuos.

El trabajo con los datos oficiales de este SHAC se resume en la Tabla 3. De esto se obtiene que los derechos para uso del agua en “Riego” acaparan la mayor cantidad de volumen otorgado, correspondiente a 204.378.836 m³ año⁻¹. Como se puede ver en la Figura 8 a), el volumen de los derechos para uso en “Riego” ocupan un 49% del total, “Sin Información” corresponden a un 39%, el uso para “Bebida, Uso Doméstico y Saneamiento” ocupa un 10%, el “Uso Industrial” y los “Otros Usos” corresponde a un 1% cada uno.

El mayor número de captaciones se concentra en los derechos “Sin Información”, los cuales equivalen a 63,6% de los derechos otorgados dentro del SHAC Ñuble. Los usos del agua que menos captaciones representan son “Uso Industrial” y “Otros Usos”, lo que coincide con los menores valores de volúmenes otorgados. Por otro lado, el volumen de 204.378.836 m³ año⁻¹ del uso del agua para riego se distribuye en 421 captaciones, el cual corresponde al segundo con más captaciones dentro del SHAC.

Tabla 3. Volumen otorgado y número de captaciones según su uso para los derechos pertenecientes al SHAC Ñuble.

Uso del Agua	Volumen Otorgado (m ³ año ⁻¹)	Nº de Captaciones
Bebida, Uso Doméstico y Saneamiento	43.995.232,8	125
Riego	204.378.836,0	421
Uso Industrial	4.719.298,0	9
Otros Usos	4.908.171,7	9
Sin Información	163.516.800,2	987
Total	421.518.338,7	1.551

Fuente: Elaboración propia.

De los derechos denominados como “Sin Información”, se obtienen los valores de volumen y número de captaciones según los aparentes usos que se lograron obtener con el trabajo en ArcGis, estos valores se pueden observar en la Tabla 4.

Tabla 4. Volumen otorgado y número de captaciones según uso del agua obtenido de la visualización satelital de las captaciones “Sin Información” correspondientes al SHAC Ñuble.

Uso del Agua	Volumen Otorgado (m ³ año ⁻¹)	N° de Captaciones
Bebida, Uso Doméstico y Saneamiento	25.730.601,5	448
Riego	84.242.899,9	304
Uso Industrial	20.239.119,0	72
Otros Usos	18.166.791,4	68
Sin Uso	15.137.388,4	95
Total	163.516.800,2	987

Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la Figura 8 b) que al sumar los valores de la Tabla 4 a los de la Tabla 3, en este SHAC, al igual que en el anterior, el mayor volumen otorgado continúa siendo el correspondiente a los derechos otorgados para utilizar el agua en riego, seguido por uso para “Bebida, Uso Doméstico y Saneamiento”, en este gráfico se observa que el 68% del volumen otorgado estaría siendo utilizado aparentemente para riego.

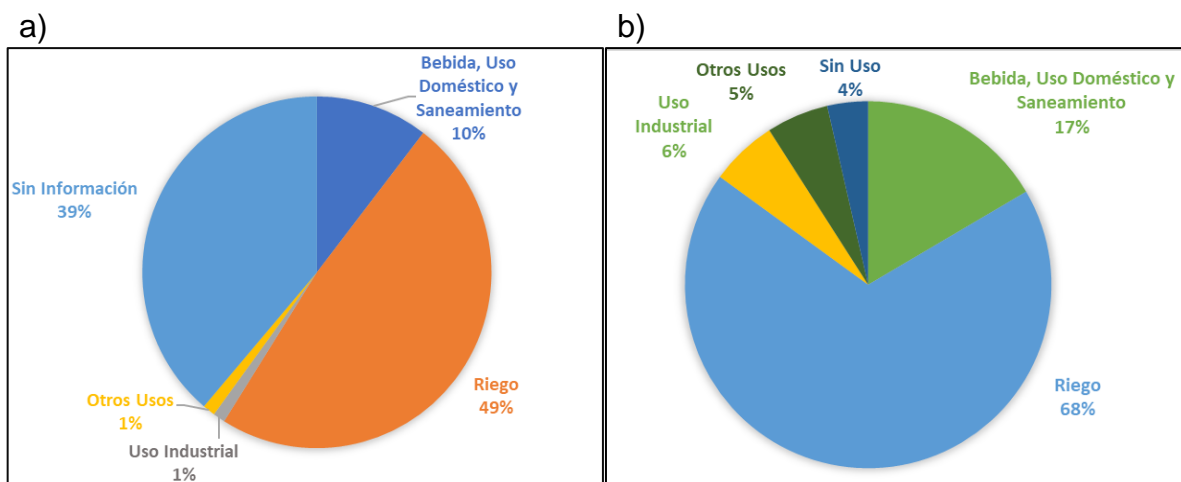


Figura 8. Distribución porcentual del volumen otorgado respecto a su uso en SHAC Ñuble. a) Para valores oficiales de volumen otorgado y b) para valores no oficiales de volumen otorgado incluyendo los valores oficiales.

Fuente: Elaboración propia.

Los volúmenes otorgados por años y el acumulado en el tiempo se puede apreciar en el gráfico de la Figura 9. Se obtiene que los mayores volúmenes fueron otorgados entre los años 2016 y 2019, donde en este último se encuentra el año con más volumen otorgado, el cual corresponde a $57.210.426,36 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$. Entre el año 2015 y 2016 ocurre el mayor aumento de volumen otorgado dentro del SHAC Ñuble, este aumento equivale a $34.691.410,16 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ más que el año anterior.

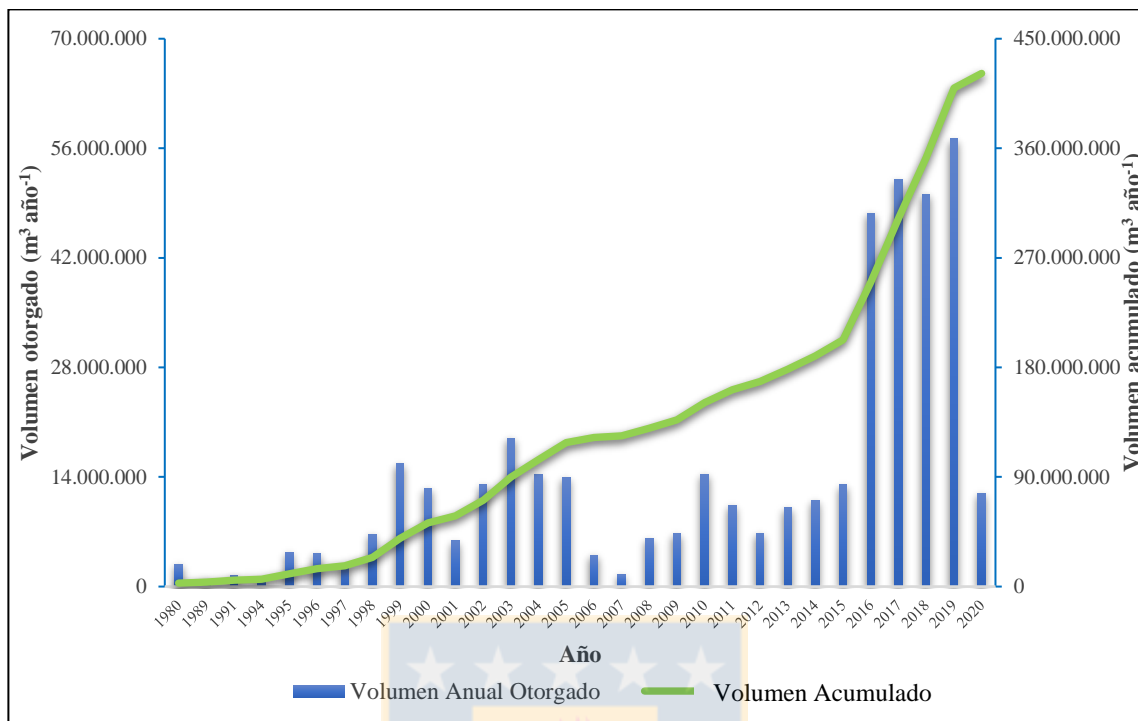


Figura 9. Volumen total otorgado por año y volumen acumulado en el tiempo para SHAC Nuble desde el año 1980 a 2020.

Fuente: Elaboración propia.

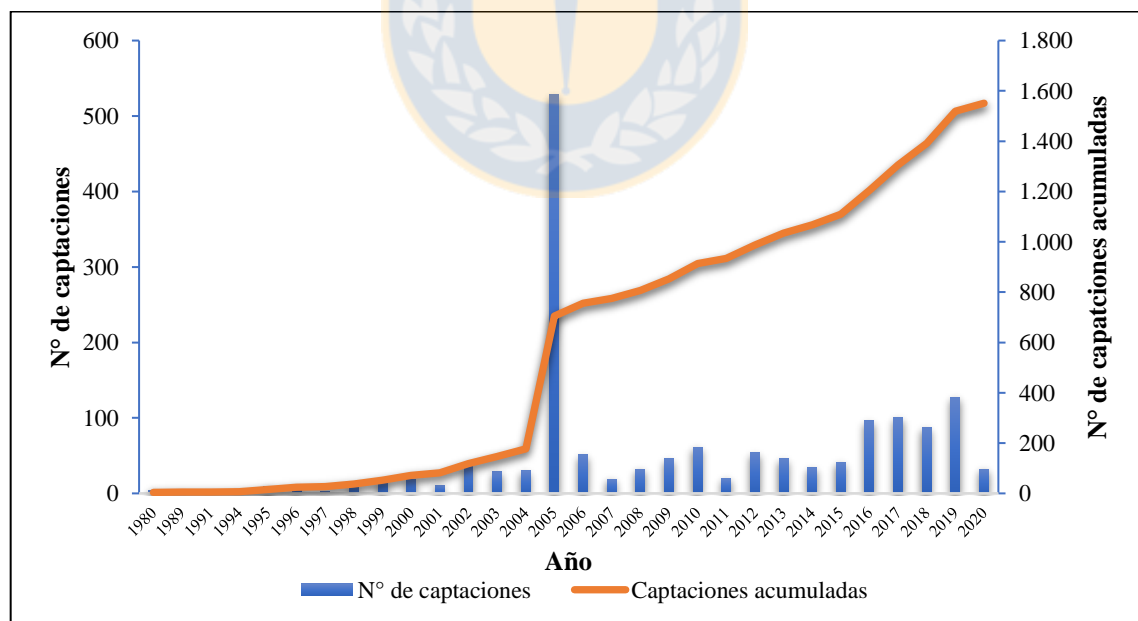


Figura 10. Captaciones por año y captaciones acumuladas en el tiempo para SHAC Nuble desde el año 1980 a 2020.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, en la Figura 10 se puede observar la dinámica de las captaciones constituidas por año, donde se indica que el año 2005 es el año con mayor número de captaciones constituidas, sin embargo, este año no corresponde al año con mayor volumen otorgado.

En este SHAC es importante tomar en consideración los derechos “Sin Información”, ya que, corresponde a una parte importante del total de los derechos otorgados. Tomando en consideración estos valores, se puede ver que el riego contiene la mayor cantidad de captaciones en el SHAC, específicamente 725 captaciones, seguido por el uso para “Bebida, Uso Doméstico y Saneamiento”, el cual corresponde a 573 captaciones. Con esto valores se puede notar, que el SHAC Ñuble tiene una alta actividad agrícola, por lo tanto, es de importancia analizar este uso del agua.

5. 1. 3. Captaciones y demanda comprometida a nivel de SHAC.

La representación espacial de las captaciones para ambos SHAC se obtiene a través de ArcGis con el trabajo de capas y con las coordenadas de cada derecho de aprovechamiento subterráneo.

De la capa del SHAC de Ñuble se obtiene una superficie de 2.355,1 km², por otro lado, el SHAC Changaral posee 718 km². En la Figura 11 se puede observar el mapa de la distribución de las captaciones en cada SHAC. Se puede apreciar que el mayor número de derechos otorgados se encuentra en el SHAC Ñuble y que estos se encuentran concentrados en el lado oeste del SHAC, debido a que en esta zona se

encuentra la mayor parte de la población y la actividad agrícola del SHAC. También se distingue que el SHAC Changaral contiene a las comunas de San Carlos y San Nicolás, y en este SHAC la distribución de las captaciones se aprecia de manera aleatoria, esto debido a que en esa zona la mayor parte de la población habita en sectores rurales, y por lo tanto el desarrollo agrícola se desarrolla de la misma forma. Por otro lado, en el SHAC Ñuble se visualizan las comunas de Coihueco, Chillán, Chillán Viejo, Pinto, y una fracción de San Carlos, San Nicolás y Portezuelo.



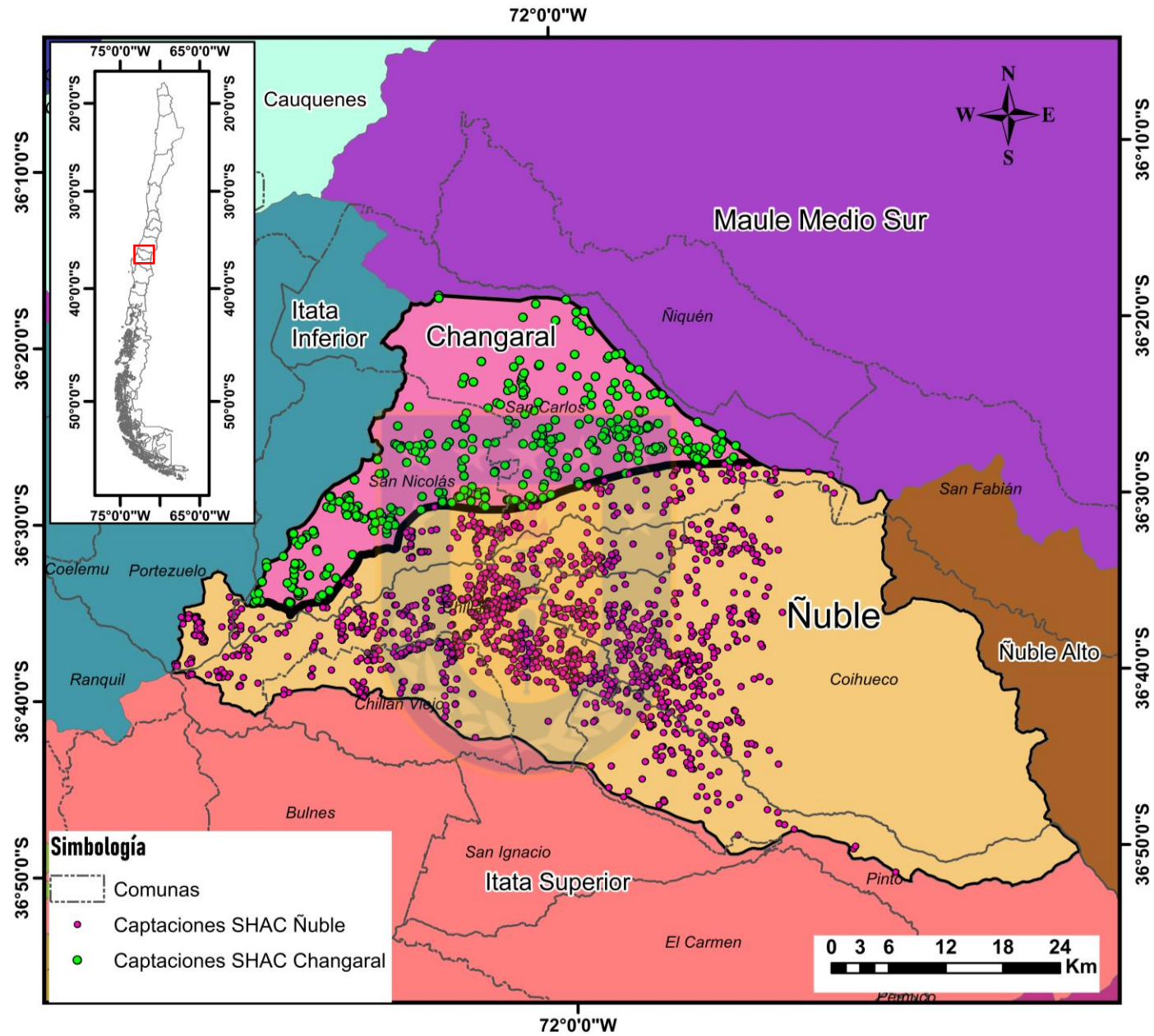


Figura 11. Geolocalización de los derechos de aprovechamiento de SHAC Ñuble y Changaral. Fuente: Elaboración propia.

Las captaciones o derechos de aprovechamiento representan la demanda comprometida del recurso hídrico subterráneo de los SHAC. En la Tabla 5 se puede apreciar la relación entre la superficie del SHAC, la oferta de recurso hídrico (Dirección General de Aguas, 2016) y la demanda comprometida a la fecha de consulta.

Tabla 5. Superficie, oferta y demanda comprometida del recurso hídrico para SHAC Ñuble y Changaral.

SHAC	Superficie (km ²)	Oferta (m ³ año ⁻¹)	Demanda comprometida (m ³ año ⁻¹)
Ñuble	2.355,1	481.554.720	421.518.338,7
Changaral	718	201.398.844	174.998.270

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que a la fecha de consulta la demanda comprometida está cercana a llegar al valor de oferta del recurso hídrico, en ambos casos. Esto significa que ambos SHAC están en peligro de ser declarados como áreas de restricción. Es por esto, que resulta interesante observar los usos que se le da a los volúmenes otorgados en cada SHAC y poder estimar si el volumen otorgado es justificable, principalmente en el riego, ya que, corresponde al mayor volumen de agua otorgado en ambos SHAC.

5. 2. Requerimientos hídricos de los cultivos respecto al volumen de agua subterránea otorgado en cada SHAC.

5. 2. 1. Requerimiento hídrico de los cultivos.

Se obtuvieron valores de demanda hídrica para 11 grupos de cultivos, entre los meses de octubre a marzo, los cuales corresponden a la temporada de riego. Los grupos de cultivos utilizados son basados en el Cuadro 12 del Boletín 56 de la FAO. Los requerimientos hídricos están expresados en unidades de $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{temporada}^{-1}$ y estos se pueden apreciar en la Tabla 6.

Tabla 6. Requerimiento hídrico de los cultivos (Etc).

Tipo cultivo	Etc ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{temporada}^{-1}$)
Hortalizas pequeñas	10.893,7
Hortalizas -Familia de las Solanáceas	11.103,6
Hortalizas -Familia de las Cucurbitáceas	9.869,7
Raíces y Tubérculos	10.946,1
Leguminosas	11.361,4
Hortalizas Perennes	9.869,7
Cultivos Oleaginosos	10.746,7
Cereales	10.793,3
Forrajes	10.683,6
Uvas	6.804,4
Árboles frutales	8.097,4

Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar que los valores obtenidos van desde $6.804,4 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{temporada}^{-1}$, el cual corresponde al requerimiento hídrico para cultivos de Uvas, hasta el mayor

de ellos que equivale a $11.361,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ temporada⁻¹, el cual representa a la demanda hídrica del grupo de las leguminosas.

5. 2. 2. Superficie de riego en cada SHAC.

Del trabajo en ArcGis, se obtuvieron las áreas relacionadas a las captaciones de agua para riego, las cuales se representan en la Tabla 7. Además de estos valores, la tabla se complementa con el volumen otorgado para uso de agua en riego y la superficie de cada SHAC.

Tabla 7. Superficie de relacionada a las captaciones para uso de agua en riego para los SHAC Ñuble y Changaral.

SHAC	Superficie en riego (ha)	Volumen otorgado en riego ($\text{m}^3 \text{ año}^{-1}$)	Superficie SHAC (ha)
Ñuble	21.155	204.378.836	2.355.100
Changaral	8.428	102.977.035	71.800

Fuente: Elaboración propia.

De los derechos de agua para uso en riego que fueron obtenidos de los definidos como “Sin Información”, se obtiene una superficie de riego de 29.888,7 hectáreas para el SHAC Ñuble y 10.493,8 hectáreas para el SHAC Changaral. Tomando en cuenta estos últimos valores, se puede notar que la superficie de riego en cada SHAC aumenta considerablemente, teniendo en cuenta que es la superficie para solo un tipo de uso.

En la Figura 12 se aprecia el resultado del trabajo en ArcGis con la capa de roles y de captaciones, este permite ver la relación entre las captaciones de agua

subterránea para riego y los polígonos de los roles que representan la superficie adjunta a cada derecho de aprovechamiento en el SHAC Changaral. Del mismo modo, en la Figura 13 se ve el resultado para el SHAC Ñuble.

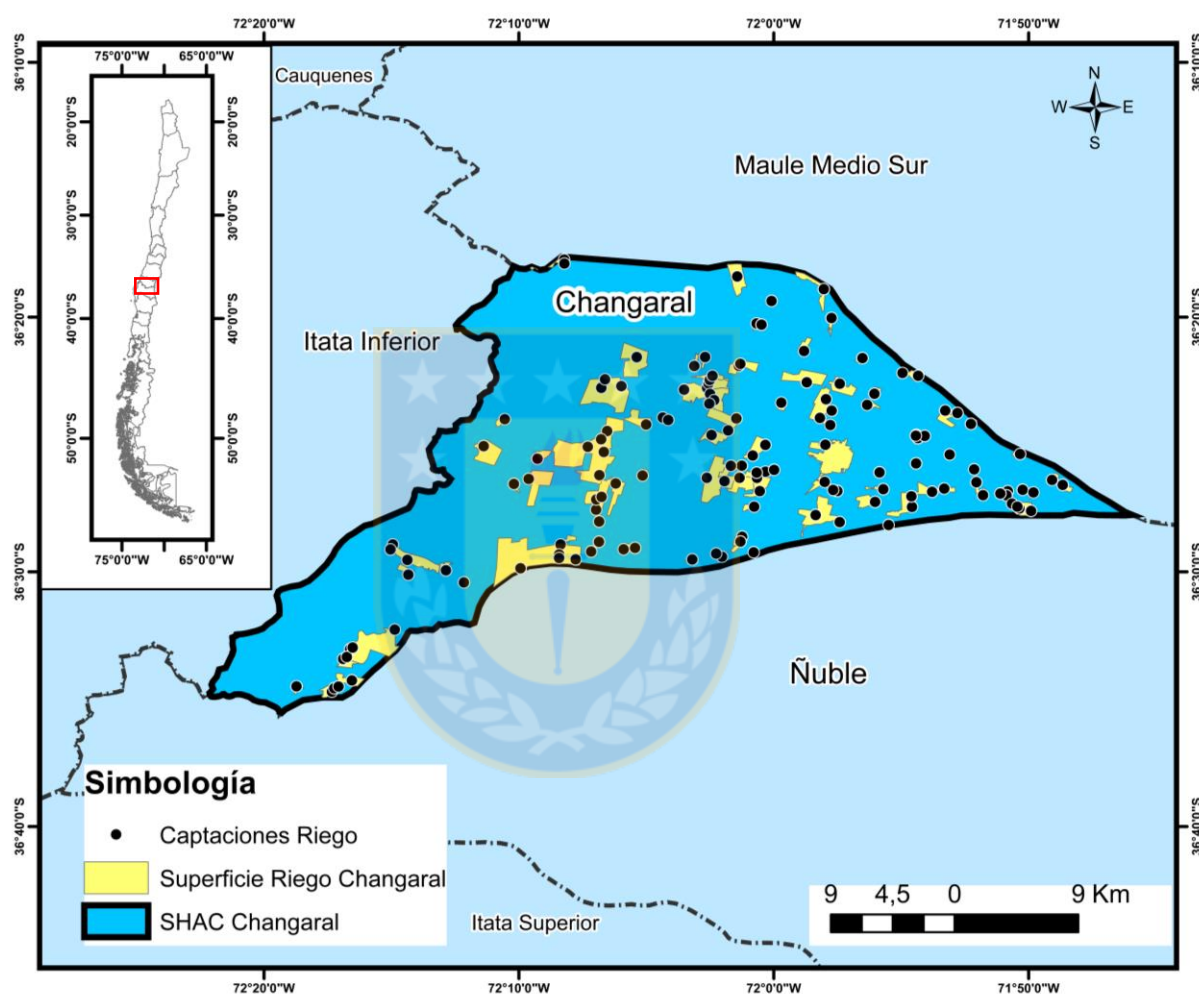


Figura 12. Superficie de los roles con sus respectivas captaciones de agua subterránea para uso en riego en SHAC Changaral. Fuente: Elaboración propia.

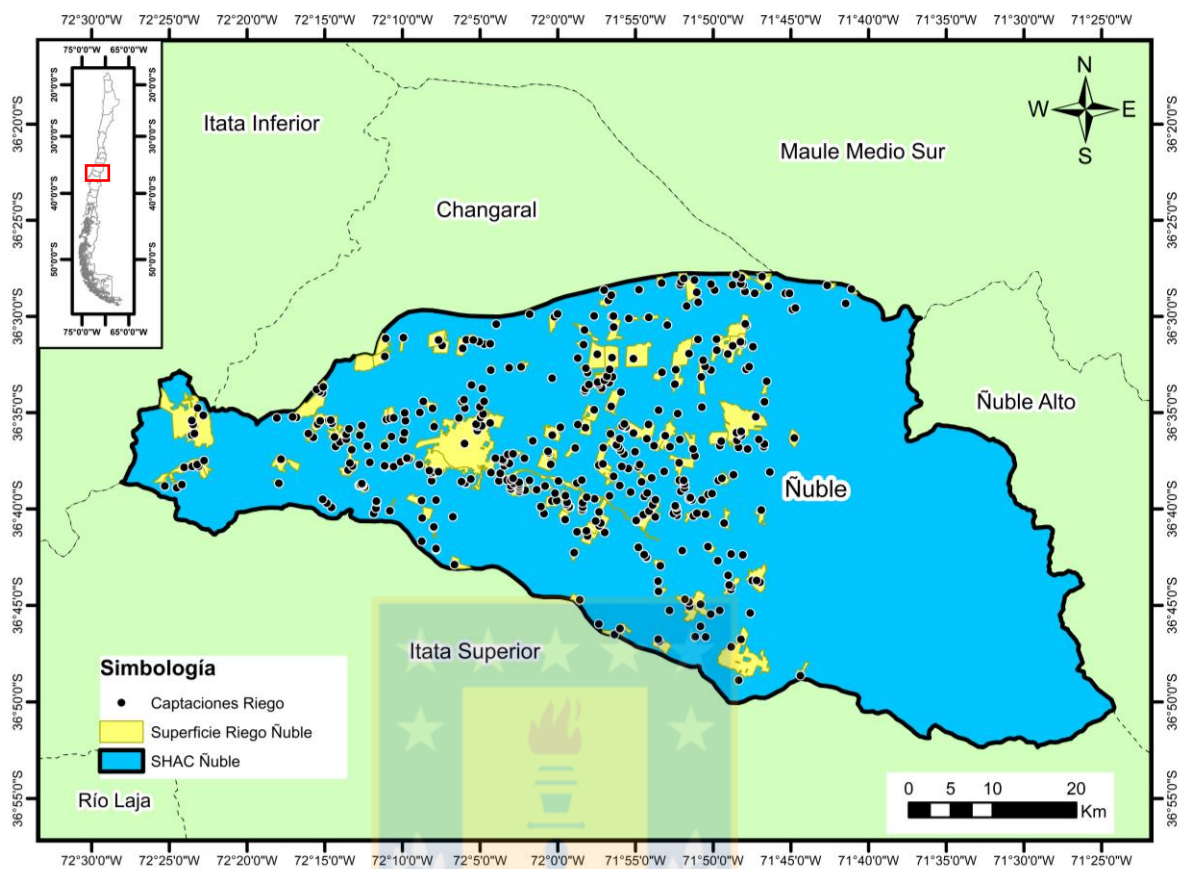


Figura 13. Superficie de los roles con sus respectivas captaciones de agua subterránea para uso en riego en SHAC Ñuble.

Fuente: Elaboración propia.

5. 2. 3. Superficie de riego relacionada al volumen otorgado y a los requerimientos hídricos de los cultivos.

Con los valores de la superficie relacionada a las captaciones de riego y los requerimientos hídricos se puede hacer un balance que permite determinar si el volumen otorgado para riego a través de los derechos de aprovechamiento de agua es suficiente, deficiente o si está sobre otorgado.

Para realizar este análisis se realizará la relación que aparece en la ecuación 3, con la cual se obtendrá un valor, el cual será comparado con los requerimientos hídricos de la Tabla 6. El resultado de la ecuación 3 será denominado “Requerimiento teórico”, y este será calculado con los valores de ambos SHAC. Este resultado podría ser descrito como el requerimiento hídrico de un cultivo ficticio, el cual podría ser regado con el volumen otorgado para riego en cada SHAC.

$$\text{Requerimiento teórico} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{año}} \right) = \frac{\text{Volumen otorgado en riego} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{año}} \right)}{\text{Superficie en riego (ha)}} \quad [3]$$

El requerimiento teórico calculado con la ecuación 3 para el SHAC Nuble corresponde a $9.661 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, por otro lado, el resultado para el SHAC Changaral es $12.219 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Para realizar el análisis estos valores deben ser comparados con los requerimientos hídricos de los cultivos de la Tabla 6. A modo general, se puede ver que el requerimiento teórico del SHAC Changaral es mayor

que cualquiera de los requerimientos hídricos de los cultivos de la Tabla 6, en cambio el obtenido para el SHAC Ñuble es cercano al promedio.

Al repetir este mismo ejercicio, pero con los valores de volumen y superficie que incluyen los otros derechos de agua para uso en riego se obtienen los siguientes valores: 9.656,6 m³ ha⁻¹ año⁻¹ para el SHAC Ñuble y 12.898,9 m³ ha⁻¹ año⁻¹ para el SHAC Changaral. Se puede estimar, que el valor obtenido de ecuación 3 tiene el mismo comportamiento que el obtenido con los valores oficiales de volumen otorgado. Esto indica que se debe observar con mayor detalle y cuidado el uso del volumen otorgado en el SHAC Changaral.

De una manera similar, se puede calcular cuántas hectáreas de un cultivo serían posibles de regar con el volumen de agua subterránea otorgada para uso en riego. Este valor se puede obtener con la ecuación 4.

$$Superficie\ regada(ha) = \frac{Volumen\ otorgado\ en\ riego\ \left(\frac{m^3}{año}\right)}{Requerimiento\ hídrico\ (m^3/ha/año)} \quad [4]$$

En la Tabla 8 se aplica la ecuación 4 a cada grupo de cultivo con el fin de poder analizar las superficies que podrían ser regadas.

Tabla 8. Superficie por cultivo que podría ser regada en cada SHAC.

Tipo cultivo	Superficie regada (ha)	
	SHAC Changaral	SHAC Ñuble
Hortalizas pequeñas	9.452,9	18.761,2
Hortalizas -Familia de las Solanáceas	9.274,2	18.406,6
Hortalizas -Familia de las Cucurbitáceas	10.433,6	20.707,7
Raíces y Tubérculos	9.407,7	18.671,4
Leguminosas	9.063,7	17.988,8
Hortalizas Perennes	10.433,6	20.707,7
Cultivos Oleaginosos	9.582,2	19.107,8
Cereales	9.540,8	18.935,6
Forrajes	9.638,8	19.130,1
Uvas	15.133,9	30.036,3
Árboles frutales	12.717,3	25.240,0

Fuente: Elaboración propia.

Se tiene como dato que la superficie frutícola total de la Región de Ñuble corresponde a 14.184,5 hectáreas (CIREN, 2019), comparando este valor con los valores de la Tabla 8, se puede realizar el siguiente análisis. Si todo el volumen de agua subterránea otorgado para riego en el SHAC Changaral fuera utilizado sólo para satisfacer la demanda hídrica de los cultivos frutales, este volumen estaría a poco de ser capaz de regar toda la superficie frutícola de la Región de Ñuble, teniendo en consideración que se trata solo de agua subterránea. Por otro lado, en el caso del SHAC Changaral, el volumen otorgado para riego podría regar casi dos

veces la superficie frutícola de toda la Región de Ñuble. Este análisis permite determinar que el volumen otorgado para riego está sobrestimando la demanda hídrica de los cultivos, por lo tanto, administrativamente existe un volumen de agua que no está siendo utilizado para su fin o podría no estar siendo utilizado para riego, de este modo se podría decir que está siendo acaparado administrativamente.

5. 3. Impacto sobre la sustentabilidad de las aguas subterráneas, actual gestión y marco jurídico.

5. 3. 1. Marco jurídico y gestión actual del agua.

Como se mencionó en el comienzo, en Chile el principal cuerpo legal dedicado a la administración y gestión de las aguas es el Código de Aguas (CA), el cual está bajo la jurisdicción del Estado. Este poder administrativo se subdivide en más de cuarenta organismos que están involucrados en su gestión (Banco Mundial, 2013). Estos organismos pertenecen a tres grandes divisiones, las cuales son Organismos de Gobierno, Organismos Autónomos y Organizaciones de Usuarios de Agua (OUA).

El Título II del CA contempla todo lo que tiene relación con el “dominio y aprovechamiento de las aguas”, dentro de este se encuentra el Artículo 5, aquí se indica una de las facultades de la DGA, la cual corresponde al poder de otorgar Derechos de Aprovechamiento de Agua (DAA) a particulares que presenten todo lo requerido según el Artículo 140.

Con la finalidad de evaluar cómo afecta el actual marco jurídico a la sustentabilidad de las aguas subterráneas se hace mención al Título IV del CA. En este se contempla todo lo que tiene relación con las aguas subterráneas. Los puntos más importantes a tomar en cuenta de este Título son los siguientes:

- ARTICULO 56°. *“Cualquiera puede cavar en suelo propio pozos para las bebidas y usos domésticos, aunque de ello resulte menoscabarse el agua de que se alimente algún otro pozo; pero si de ello no reportare utilidad alguna, o no tanta que pueda compararse con el perjuicio ajeno, será obligado a cegarlo.”*
- ARTICULO 58°. *“Cualquiera persona puede explorar con el objeto de alumbrar aguas subterráneas, sujetándose a las normas que establezca la Dirección General de Aguas.
Si dentro del plazo establecido en el inciso primero del artículo 142 se hubieren presentado dos o más solicitudes de exploración de aguas subterráneas sobre una misma extensión territorial de bienes nacionales, la Dirección General de Aguas resolverá la adjudicación del área de exploración mediante remate entre los solicitantes...”*
- ARTICULO 60°. *“Comprobada la existencia de aguas subterráneas, el interesado podrá solicitar el otorgamiento del derecho de aprovechamiento respectivo, el que se constituirá de acuerdo al procedimiento establecido en el Título I del Libro II de este Código.”*

- ARTICULO 62°. *“Si la explotación de aguas subterráneas por algunos usuarios afectare la sustentabilidad del acuífero u ocasionare perjuicios a los otros titulares de derechos, la Dirección General de Aguas, de oficio o a petición de uno o más afectados, podrá establecer la reducción temporal del ejercicio de los derechos de aprovechamiento, a prorrata de ellos, mediante resolución fundada.”*
- ARTICULO 63°. *“La Dirección General de Aguas podrá declarar **zonas de prohibición** para nuevas explotaciones, mediante resolución fundada en la protección de acuífero, la cual se publicará en el Diario Oficial.
La declaración de una zona de prohibición dará origen a una comunidad de aguas formada por todos los usuarios de aguas subterráneas comprendidos en ella.”*
- ARTICULO 65°. *“Serán **áreas de restricción** aquellos sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común en los que exista el riesgo de grave disminución de un determinado acuífero, con el consiguiente perjuicio de derechos de terceros ya establecidos en él.
Cuando los antecedentes sobre la explotación del acuífero demuestren la conveniencia de declarar área de restricción de conformidad con lo dispuesto en el inciso anterior, la Dirección General de Aguas deberá así decretarlo.
Esta medida también podrá ser declarada a petición de cualquier usuario del respectivo sector, si concurren las circunstancias que lo ameriten.”*

El apartado del CA que tiene relación con “protección de las aguas y cauces” corresponde al Título X. Este contempla la definición de un caudal ecológico con el fin de velar por *“la preservación de la naturaleza y la protección del medio ambiente”* al constituir nuevos DAA, pero se debe mencionar que la definición de caudal ecológico solo se establece para DAA superficiales corrientes o detenidas. Por otra parte, en el Artículo 129 bis 2° del mismo título, indica que la DGA puede hacer modificaciones de medidas mitigatorias *“a nuevas obras en cauces naturales que signifiquen la disminución en la recarga natural de los acuíferos”*. Por último, el Artículo 129 bis 3° hace énfasis en el deber que tiene la DGA de implementar *“una red de estaciones de control de calidad, cantidad y niveles de las aguas tanto superficiales como subterráneas en cada cuenca u hoya hidrográfica”*.

Finalmente, para estudiar las restricciones que puede imponer la DGA y sus facultades al momento de solicitar y otorgar un DAA se debe prestar atención al Título I del Libro Segundo de los Procedimientos del CA, específicamente en el Artículo 140°. Este, indica todo lo que debe contener la solicitud para poder otorgar un DAA.

En primer lugar, se deben incluir datos personales del solicitante e indicar la naturaleza del agua que se desea aprovechar, si es superficial o subterránea. Para esta evaluación se tomará en cuenta desde este momento los requisitos exclusivos para aguas de naturaleza subterránea.

En caso de ingresar una solicitud de DAA para agua subterránea se debe:

- solicitar un radio de protección de 200 metros tomando como eje el punto de captación;
- indicar el uso que se le dará a las aguas;
- el volumen de agua que se necesita extraer, indicando el caudal máximo que se necesita extraer en un instante dado y el volumen total anual que se desea extraer desde el acuífero;
- y, por último, el o los puntos desde donde se desea captar el agua.

En cuanto al volumen solicitado, el Artículo 140° indica que la solicitud debe incluir una Memoria Explicativa en caso de que el volumen medio sea superior a lo indicado en los Artículos 129 bis 4° (100 L s⁻¹ desde las Regiones Primera a Metropolitana y 500 L s⁻¹ en el resto de las Regiones, para DAA no consuntivos) y 129 bis 5° (10 L s⁻¹ desde las Regiones Primera a Metropolitana y 50 L s⁻¹ en el resto de las Regiones, para DAA consuntivos). La Memoria Explicativa deberá incluir el volumen de agua que se necesita extraer según el uso que se le dará, entre otros antecedentes. Este documento será entregado a la DGA bajo declaración jurada sobre la franqueza de los datos entregados. Sobre el volumen que se solicita extraer no existe otro impedimento si este fuese menor al indicado en los Artículos antes mencionados.

Uno de los organismos con poder administrativo sobre las aguas y nombrado anteriormente, son las Organizaciones de Usuarios de Agua (OUA). Estas se establecen según el Artículo 186° del Título III, Libro Segundo del CA, en este se indica que las OUA se forman cuando “*dos o más personas tienen derechos de*

aprovechamiento en las aguas de un mismo canal, embalse, o aprovechan las aguas de un mismo acuífero” y que tienen por objetivo “repartir las aguas entre los titulares de los derechos, construir, explotar, conservar y mejorar las obras de captación, acueductos y otras que sean necesarias para su aprovechamiento”. También se les atribuye el poder de establecer normas permanentes en sus estatutos para la distribución de las aguas.

Finalizando con el análisis del CA, se llega al Título II del Libro Tercero, el cual tiene relación con las facultades de la Dirección General de Aguas. La misión principal de la DGA según el Artículo 299° del CA es planificar el recurso hídrico, investigarlo, medirlo y monitorearlo, tanto en su calidad como su cantidad con el fin de conservarlo y evitar el agotamiento de los acuíferos. Para cumplir con su propósito de conservación de los recursos hídricos, respecto a lo indicado en el Artículo 299° la DGA está facultada para:

- Mantener y operar el servicio hidrométrico nacional, proporcionando información pública sobre cantidad y calidad de las aguas;
- Delegar a terceros la realización de estudios e informes técnicos y la implementación de obras de medición e investigación, y al mismo tiempo deberán coordinar las actividades realizadas, ya sean por entidades públicas o privadas;
- Declarar la alerta de amenaza asociada al recurso hídrico, informando el nivel y cobertura del mismo, y comunicarla de manera oportuna y suficiente al

Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres, en la forma que determinen los protocolos generados para estos efectos;

- Dentro de este último punto se indica que la DGA debe ejercer la policía y vigilancia de las aguas, en cuanto a la cantidad y cantidad, también a las modificaciones o construcciones de obras, extracciones ilícitas desde los acuíferos, y supervigilar el funcionamiento de las OUA. Por último, se indica que la DGA puede solicitar auxilio a la fuerza pública para ejercer su facultad de policía del agua.

De acuerdo al Artículo 314°, el *“presidente de la República, a petición o con informe de la Dirección General de Aguas, podrá, en épocas de extraordinaria sequía, declarar zonas de escasez por períodos máximos de seis meses, no prorrogables.”*

Esto último faculta a la DGA para redistribuir las aguas en base a la disponibilidad de las fuentes naturales, con el objeto de reducir los daños provocados por la sequía. Además, se incluye la facultad de *“suspender las atribuciones de las Juntas de Vigilancia, como también los seccionamientos de las corrientes naturales que estén comprendidas dentro de la zona de escasez”*.

Una vez revisado todo lo relacionado al Código de Agua y las aguas subterráneas, y su preservación, es necesario revisar otros documentos legales. Es por eso que a continuación se mencionan otros cuerpos legales que tienen relación con lo mencionado anteriormente.

1. Resolución DGA N°1800.

En el apartado “III. Respecto de la Solicitud y Memoria Explicativa”, indica que se deberá presentar Memoria Explicativa si un titular solicitara más de un DAA y la suma de estos supera el volumen establecido en los Artículos 129° bis 4 y 129° bis 5. También se indica que según lo dispuesto en la Ley N°19.300 *“toda solicitud relativa a derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, cuyo punto de captación se ubique dentro de un área protegida, deberá acompañar una Resolución de Calificación Ambiental Favorable”*.

2. Manual de normas y procedimientos del Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos (DCPRH).

Este documento hace énfasis en las principales atribuciones de la DGA con respecto a la conservación de las aguas que han sido descritas en el CA y las enlaza con otras que han sido establecidas en la Ley N°19.300. Entre estas se destaca la mantención de la cantidad de los recursos hídricos. Asimismo, al DCPRH se le atribuye la siguiente función: *“Proponer y desarrollar la política sobre conservación y protección de los recursos hídricos y coordinar las funciones que correspondan en estas materias a los distintos organismos y servicios públicos”*.

Dentro de este Manual, también se indica que la DGA tiene participación en algunos procesos de Evaluación de Impacto Ambiental Según el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. De acuerdo al CA, existen tipos de obras y proyectos que deben solicitar permiso sectorial a la DGA con el fin de proteger la cantidad y calidad de las aguas, luego se deberán aplicar fiscalizaciones de seguimiento ambiental a los proyectos u obras que hayan sido aprobados previamente por una Resolución de Calificación Ambiental (RCA).

En el apartado 5. 1. 5. de este documento, se explica más sobre la Memoria Explicativa y en qué situaciones la DGA debe exigirla. También, se indica que, aunque el volumen solicitado sea superior al indicado en las Tablas de Referencia del D.S. N° 743, este podrá ser aumentado en un 25%, quedando esto a criterio de la DGA.

3. Decreto Supremo N° 743.

Este documento da a conocer las tablas de equivalencia de caudales de agua según su uso, para distintas actividades habituales del país.

Los caudales indicados en este documento permiten a la DGA limitar los caudales concedidos a los solicitantes de DAA en caso de que el caudal solicitado no tenga relación con el uso que se le necesite dar.

El requerimiento de agua para riego por fuente subterráneas que se indica en el DS es de $15.000 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ (demanda promedio anual) y $2,5 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ (demanda máxima puntual).

4. Decreto Supremo N°203.

El DS 203 hace referencia a todas las medidas, normas y restricciones que existen para la exploración y explotación de las aguas subterráneas.

En el Artículo 11° de este decreto se hace mención a la restricción de que no se autorizará a un solo solicitante el permiso para explorar, en conjunto o separadamente, una superficie mayor a 50.000 hectáreas.

El Artículo 13° indica cuando la DGA deberá denegar o limitar una solicitud de exploración de aguas subterráneas, para ello se indican 5 situaciones:

- a) *“Cuando no se hayan cumplido los requisitos establecidos en el Código de Aguas y en el presente Reglamento.*
- b) *Cuando perjudique o menoscabe derechos de terceros.*
- c) *Cuando signifique grave peligro para la vida o salud de los habitantes.*
- d) *Cuando según antecedentes técnicos, signifique un riesgo de contaminación del acuífero por desplazamiento de aguas contaminadas o de la interface agua dulce-salada.*
- e) *Por causales debidamente acreditadas por un acto fundado, en virtud de las cuales se comprometa gravemente el manejo y desarrollo de un determinado acuífero.”*

Por otro lado, el Artículo 20° indica en qué situaciones la DGA aprueba una solicitud de explotación. Las situaciones relacionadas al objetivo de este análisis son:

- Cuando exista disponibilidad de agua subterránea en el SHAC;

- Cuando la explotación sea la adecuada para su conservación y protección en el largo plazo, considerando los antecedentes técnicos de recarga y descarga, así como las condiciones de uso existentes y previsibles;
- Y cuando se cuente con una RCA favorable, en el caso de que el punto de captación se ubique en alguna de las áreas que se encuentren bajo protección oficial.

El Artículo 29° indica en qué situaciones la DGA puede limitar la explotación de las aguas subterráneas y reducir el ejercicio temporal de los DAA. Una de estas situaciones es cuando se compruebe que la explotación está produciendo contaminación o una alteración significativa a la calidad de las aguas de un SHAC o de una parte de este.

El Artículo 30° y 35° indica la facultad de la DGA para decretar áreas de restricción y zonas de prohibición, respectivamente, para nuevas solicitudes de explotaciones en ciertos SHAC.

Sobre las Comunidades de Aguas Subterráneas se escribe en los Artículos 37° al 41°. Estas Comunidades se forman cuando la DGA declara un área de restricción o una zona de prohibición. Los derechos y deberes de estas comunidades son los siguientes:

- Distribuir las aguas del SHAC entre los comuneros.
- Promover una gestión integrada y sustentable del SHAC.

- Instalar y operar un sistema de control de extracciones, mediciones de niveles, cantidad y calidad de las aguas subterráneas.
- Mantener un registro de producción de cada captación.
- Atender oportunamente los requerimientos de información de la DGA y de sus usuarios, así como las obligaciones de envío de información contenidas en el CA.
- Mantener y mejorar sus obras de captación.
- Realizar estudio e implementar técnica que permitan la recarga artificial de la fuente subterránea.
- Regular la explotación del SHAC, haciendo evaluaciones en forma permanente y oportuna para prevenir efectos asociados a la sobreexplotación de sus aguas.
- Realizar estudios que justifiquen la aplicación de medidas para reducir la explotación cuando sea necesario.

Aparte de lo indicado anteriormente, según lo establecido en los Artículos 67° y 68° del CA, la DGA puede exigir a las comunidades de agua o a usuarios individuales la instalación de un sistema de medición periódica sobre los niveles y calidad de las aguas subterráneas y de los caudales y volúmenes explotados, pudiendo requerir esta información a los comuneros en cualquier momento.

Finalmente, se destaca del DS N°203, el punto en el que se tratan las recargas artificiales de acuíferos, esto es en los Artículos 47° al 50°. Se indica que cualquier persona podrá ejecutar obras de recarga artificial con una previa

autorización de la DGA, según lo dispuesto en el CA. Lo principal para solicitar una autorización para ejecutar obras de recargas es realizar una memoria técnica que indique puntos tales como: la descripción de las obras, las características geológicas e hidrogeológicas del sector de recarga, una caracterización de las aguas que serán infiltradas artificialmente al acuífero, un plan de monitoreo y finalmente un plan de acción frente a una eventual contaminación del sector influenciado directamente por la recarga.

5. 3. 2. Impacto de la gestión administrativa sobre la sustentabilidad de las aguas subterráneas.

De acuerdo a lo indicado por Rivera-Hernández et al. (2017), se define la sustentabilidad como aquello que da prioridad a la conservación de los recursos antes que el desarrollo económico, en otras palabras, el concepto de sustentabilidad se fundamenta en una ética que implique impulsar la solidaridad, reciprocidad y el bien común por encima del principio egoísta de producir ganancias, riquezas y comodidad basado en un acceso privilegiado a los recursos naturales. El término “sustentable” es utilizado como una forma de conciliar el crecimiento económico con el equilibrio de los ecosistemas, tratando de mantener una alta producción y proteger a la vez los recursos naturales.

Teniendo en consideración el marco jurídico actual en cual se basa la administración de las aguas tanto subterráneas como superficiales, se considera que:

- Estas carecen de un reglamento estricto que regule su uso y su distribución.

- No existe mayor impedimento más que la Memoria Explicativa al momento de solicitar grandes volúmenes de agua subterránea, por lo tanto, puede existir un excedente de agua que no está siendo utilizado realmente y este se encuentra acaparado administrativamente.
- Al no existir mayores impedimentos al momento de solicitar un derecho de agua, el sobre otorgamiento y la mala asesoría amenaza con el agotamiento de los acuíferos, por lo tanto, en el mediano plazo podría afectar a la disponibilidad del agua para uso humano y a la seguridad alimentaria.
- Aunque el volumen solicitado no supere lo indicado en el CA, esto no quiere decir que el volumen solicitado esté relacionado al uso efectivo que se le dará al agua, por lo tanto, no garantiza que la tasa de extracción del derecho otorgado sea un volumen sustentable.
- Puede llegar a existir una gran cantidad de extracciones de aguas subterráneas que no estén inscritas legalmente, lo cual aumentaría la demanda del recurso, poniendo en riesgo la disponibilidad de este.
- No existe una adaptación al cambio climático sobre los acuíferos dentro del CA más que los decretos de zonas de escasez, lo cual es importante tenerlo en consideración, ya que, el cambio climático amenaza con reducir la recarga de los acuíferos.
- La mantención de un caudal ecológico está dirigida solo a las aguas superficiales, lo cual aporta a mantener los ecosistemas acuáticos y

terrestres, pero también es de suma importancia tener en consideración el aporte de las aguas subterráneas a la mantención de este caudal ecológico y a los ecosistemas dependientes de este, por lo tanto, se debiera dar el mismo énfasis a las aguas subterráneas al momento de hablar de caudal ecológico.

- Finalmente, las solicitudes de derecho de aprovechamiento de aguas las puede realizar cualquier persona natural, sin conocimientos técnicos previos sobre requerimientos hídricos según el uso del agua, esto no contribuye al uso eficiente y sustentable del recurso hídrico.

De todos estos puntos mencionados anteriormente se rescata el hecho de que el marco jurídico actual no permite exigir un uso eficiente y sustentable del agua subterránea, es por esto, que el mal asesoramiento al momento de solicitar un derecho de aprovechamiento ha aportado a la mala administración del recurso en general, lo que junto con los efectos del cambio climático, amenaza con agotar los acuíferos, disminuir la disponibilidad de agua para usos humanos y pone en riesgo la seguridad alimentaria de las regiones.

A esto último, también se le debe incluir la importancia de la disponibilidad de las aguas subterráneas para mantener a los ecosistemas que dependen de ella, ya que, parte de ella alimenta a las aguas superficiales, de las cuales dependen ecosistemas tan importantes como los humedales, bosques nativos, turberas, entre otros.

Para contabilizar el impacto que ha tenido la administración y gestión de las aguas subterráneas bajo el marco legal vigente, se tiene como dato que existen 535 SHAC a nivel nacional, de los cuales actualmente 146 se encuentran decretados como “Área de Restricción” y 30 como “Zona de Prohibición” (DGA, 2019). Afortunadamente, hasta el momento en la Región de Ñuble no existe ningún SHAC con alguna de estas dos categorizaciones, pero según lo estudiado anteriormente, se pudo observar que los valores de la demanda (volumen otorgado) están cercanos a los valores de oferta (recarga) del recurso hídrico, lo que quiere decir que si se sigue implementando la misma gestión (que no considera el uso sustentable del agua) los SHAC de Ñuble y Changaral prontamente serán incluidos en estos números de Sectores decretados como “Área de Restricción” o “Zona de Prohibición”.

Es importante recalcar, que la administración y gestión de las aguas en general ha impactado negativamente a la sustentabilidad de las aguas subterráneas, y esto queda demostrado con los números mencionados anteriormente. A la mala administración, también se le debe adicionar el efecto del cambio climático sobre la recarga de las aguas subterráneas y a la disminución de las aguas superficiales, lo que ha provocado un aumento sostenido en el tiempo de la extracción de agua subterránea para ser utilizada, ya sea para agua potable, como para el desarrollo económico del país.

Finalmente, se demuestra que una gestión sustentable del recurso hídrico subterráneo requiere de un complemento entre el marco legal vigente y la asesoría

técnica que tenga una mirada hacia el uso eficiente del agua, en cualquiera de los usos que esta se implemente. De esta manera, se puede asegurar la sustentabilidad en el tiempo de la disponibilidad de las aguas subterráneas, lo que permite garantizar el derecho humano al agua y el desarrollo económico del país, ya que, la mayor parte del agua subterránea utilizada en los SHAC estudiados está relacionada al uso y desarrollo agrícola.



8. CONCLUSIONES

Los Derechos de Aprovechamiento constituidos en cada SHAC, muestran que, tanto en los datos oficiales de la DGA como en los datos inferidos para este trabajo, existe una alta cantidad en volumen anual de agua subterránea que es utilizada para riego.

El análisis comparativo entre volumen otorgado para riego y los requerimientos hídricos de los cultivos, muestra que los derechos de aprovechamiento de agua subterránea están sobre otorgados respecto a la superficie cultivada en cada SHAC.

La DGA posee atribuciones con el fin de prevenir el deterioro de las aguas subterráneas, sin embargo, estas atribuciones son muy generales y, no se relacionan con la realidad y las necesidades hídricas de cada región.

Las aguas subterráneas son un recurso limitado, el cual actualmente está viendo amenazado su disponibilidad y calidad, debido a la gestión y administración de estas, además del uso ineficiente en sectores como el agrícola. Es por esto que es de suma importancia encontrar formas de mejorar la gestión y administración de estas que apunten al uso sustentable del recurso, ya que, producto del cambio climático y la masiva explotación de las aguas superficiales, la extracción de aguas subterráneas ha demostrado un incremento sostenido en los últimos años, sobre todo para su uso en riego.

7. LITERATURA CITADA

1. Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes y M. Smith. 2006. Evapotranspiración de cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje N°56. FAO. Roma, Italia.
2. Cross, K., P. Laban, M. Paden y M. Smith. 2020. Acuíferos. Gestión sostenible de las aguas subterráneas. UICN. ORMACC. San José, Costa Rica.
3. Decreto N°203. Aprueba reglamento sobre normas de exploración y explotación de aguas subterráneas. Diario Oficial de la República de Chile. 07 marzo 2014. Santiago, Chile.
4. Decreto N°743. Fija tabla de equivalencias entre caudales de agua y usos, que refleja las prácticas habituales en el país en materia de aprovechamiento de aguas. Diario Oficial de la República de Chile. 16 diciembre 2005. Santiago, Chile.
5. DFL N°1.122. Fija texto del Código de Aguas. Diario Oficial de la República de Chile. 29 octubre 1981. Santiago, Chile.
6. DGA (Chile). 2016. Actualización de disponibilidad de recursos hídricos subterráneos en los sectores acuíferos Ñuble y Changaral, Región del Bío Bío. Informe Técnico DARH N°285. Dirección General de Aguas. Santiago, Chile.

7. GCF Ingenieros. 2014. Metodología para la delimitación y sectorización de acuíferos a nivel nacional. Informe final [en línea]. S.I.T. N° 341. Ministerio de Obras Públicas, Chile.
<https://dga.mop.gob.cl/estudiospublicaciones/Series%20documentales/1__Informe%20v00.pdf>. [Consulta: 17 junio 2021].
8. Lajaunie, M.-L., S. Scheierling, J. Zuleta, L. Chinarro y V. Vásquez. 2011. Chile - Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos [en línea]. The World Bank, USA.
<<https://documents1.worldbank.org/curated/en/452181468216298391/pdf/633920ESW0SPAN0le0GRH0final0DR0REV-0doc.pdf>>. [Consulta: 17 junio 2021].
9. Larragaña, P., M.A. Osoreo. 2019. Catastro frutícola: Región del Ñuble. Principales resultados / Julio 2019. ODEPA. CIREN. Santiago, Chile.
10. MOP (Chile). 2008. Manual de normas y procedimientos para la administración de recursos hídricos. S.I.T. N°156. Dirección General de Aguas. Santiago, Chile.
11. Resolución DGA N°1.800. Establece criterios de la Dirección General de Aguas en materias que indica. Diario Oficial de la República de Chile. 14 julio 2010. Santiago, Chile.
12. Rivera-Hernández, J.E., N.V. Blanco-Orozco, G. Alcántara-Salinas, E.P. Houbron y J.A. Pérez-Sato. 2017. ¿Desarrollo sostenible o sustentable? La

controversia de un concepto [en línea]. Posgrado y Sociedad. Revista Electrónica del Sistema de Estudios de Posgrado 15(1): 57-67.

<<https://revistas.uned.ac.cr/index.php/posgrado/article/view/1825>>.

[Consulta: 17 junio 2021].

