



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

Caracterización de la demanda hídrica asociada a derechos de aprovechamiento de aguas otorgados por el SAG en cuencas del centro-sur de Chile.

Boris Valenzuela Vergara

**Santiago, Chile
2022**



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

Caracterización de la demanda hídrica asociada a derechos de aprovechamiento de aguas otorgados por el SAG en cuencas del centro-sur de Chile.

Characterization of water demand associated to water use rights granted by the SAG in south-central Chile catchments.

Boris Valenzuela Vergara

**Santiago, Chile
2022**



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

Caracterización de la demanda hídrica asociada a derechos de aprovechamiento de aguas otorgados por el SAG en cuencas del centro-sur de Chile.

Memoria para optar al título
Profesional de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables

Boris Valenzuela Vergara

PROFESORA GUÍA

Sra. Pilar Barría S.
Ingeniera Hidráulica, Dr.

Calificaciones

7,0

PROFESOR EVALUADOR

Sr. Andrés De La Fuente D.
Ingeniero Agrónomo.

7,0

Sr. Gerardo Soto M.
Ingeniero Forestal, M.Sc. Dr.

7,0

Santiago, Chile
2022

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
MATERIALES Y MÉTODOS	7
Área de estudio.....	7
Clima	8
Hidrografía	9
Materiales	11
Base General de Proyectos SAG.....	11
Cuencas CAMELS-CL.....	11
Actualización del Balance Hídrico Nacional (BHN)	12
Archivos vectoriales de infraestructura de riego y catastro de propiedades rurales	12
Precipitaciones, Evapotranspiración y DAA DGA	12
Metodología	12
Sistematización espacial de proyectos SAG	12
Caracterización de la demanda comprometida por cuenca asociada a DAA otorgados por el SAG	16
Análisis de la relación entre DAA otorgados por el SAG y componentes del balance hídrico a escala de cuenca	19
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
Caracterización de proyectos con DAA otorgados por el SAG.....	21
Demanda comprometida asociada a DAA otorgados por el SAG	25
Relación entre DAA otorgados por el SAG componentes del balance hídrico a escala de cuenca.....	32
CONCLUSIONES	40
ANEXOS	42
Anexo I. Caudal observado por las estaciones Petorca en Longotoma y Ligua en Quinquimo. ...	42
APÉNDICES	43
Apéndice I. Caudal promedio para los meses de diciembre, enero y febrero, agrupados en períodos de 5 años entre 1980 y 2015, en la cuenca de Río Bueno.	43
BIBLIOGRAFÍA	44

RESUMEN

En Chile, desde el año 2010, se presenta un evento de sequía sin precedentes, que junto a la situación de escasez hídrica que atraviesa gran parte del país, han impulsado la planificación de estrategias y políticas por parte de la institucionalidad, enfocadas en abordar la problemática y proveer un acceso seguro al recurso hídrico. Sin embargo, los vacíos de información y la descoordinación institucional menguan la efectividad de la planificación en torno al agua. En la presente investigación se caracterizaron derechos de aguas no regularizados que fueron otorgados por el SAG en un proceso de transición de la Reforma Agraria a las políticas neoliberales que tomaron lugar durante gran parte de la década de los 70 y 80. Se sistematizaron bases de datos levantadas por la DGA para georreferenciar más de 1400 proyectos SAG a lo largo del territorio nacional y estimar el caudal de extracción ejercido por estos en 9 cuencas distribuidas en el centro-sur de Chile. Los resultados evidenciaron que la demanda potencial ejercida por estos derechos representa un porcentaje importante de la totalidad de DAA otorgados en determinadas cuencas, llegando a comprometer un 56% y un 79% en los casos más extremos. También se calcularon índices de intervención antrópica que cuantifican el nivel de sobreotorgamiento en las cuencas, identificando que al menos 4 de las 9 cuencas se encuentran sobreotorgadas. Se destaca la importancia de regularizar los derechos SAG en las cuencas analizadas, al presentar todas distintas problemáticas en torno al recurso hídrico y dado el entorpecimiento que genera la no consideración de grandes volúmenes de extracción agua en la toma de decisiones. Por último, se recomienda que los proyectos SAG cuya demanda no fue estimada en este trabajo, sean revisados y también regularizados en el corto plazo.

Palabras clave: Derechos de aprovechamiento de aguas; SAG; regularización; sobreotorgamiento; DGA.

ABSTRACT

In Chile, since 2010, there has been an unprecedented drought event, which, added to the situation of water shortage taking place in a large part of the country, has prompted strategies and policies planning by the institutional framework, focused on addressing the problem and providing a secure access to water resources. However, factors like information gaps and institutional lack of coordination undermine the effectiveness of planning around water. In the present investigation, non-regularized water rights that were granted by the SAG in a transition process from the Agrarian Reform to the neoliberal policies that took place during much of the 70s and 80s are characterized. Databases collected by the DGA were systematized to georeference more than 1400 SAG projects throughout the national territory and estimate the extraction flow exerted by these in 9 basins distributed in the center-south of Chile. The results show that the potential demand exercised by these rights represents a significant percentage of all DAA granted in certain basins, reaching 56% and 79% in the most extreme cases. Anthropogenic intervention indices were also calculated to quantify the level of over-allocation in the basins, indicating that at least 4 of the 9 basins are over-allocated. The importance of the SAG water rights regularization in analyzed basins is highlighted as they all present different problems around water resources, and given the hindrance generated by not considering large volumes of extracted water in decision-making. Finally, it is recommended that SAG projects whose demand was not estimated in this work are reviewed and regularized as well in the short term.

Palabras clave: Water use rights; SAG; regularization; over-allocation; DGA.

INTRODUCCIÓN

Durante la última década, la zona central Chile ha experimentado un evento de sequía sin precedentes en lo que respecta a persistencia temporal y extensión espacial, abarcando desde la Región de Coquimbo hasta la de Los Ríos (Garreaud et al., 2017). El evento denominado “Megasequía” se caracteriza por aumentos significativos en la temperatura media y déficits de precipitación que rodean el 30%, lo que ha generado una intensificación del problema de déficit hídrico a nivel nacional y ha traído consecuencias negativas en el sector agrícola de Chile central, así como en la calidad de vida de las comunidades asociadas, su vida personal, actividades productivas, manejo del agua y su medio ambiente (Aldunce et al., 2017; Garreaud et al., 2017; A. Muñoz et al., 2020). Frente a los efectos del cambio climático y el aumento esperado para los próximos años en la demanda de recursos hídricos, se hace necesaria la planificación de medidas y políticas que permitan gestionar el recurso de manera sostenible, con un entendimiento acabado de las vulnerabilidades a nivel local y asegurando un acceso seguro para la población (Boisier et al., 2016; Ministerio de Obras Públicas de Chile [MOP], 2013).

El modelo de gestión del agua en Chile se rige por lo estipulado en el Código de Aguas¹ (CA), promulgado en 1981, que regula el otorgamiento de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) como un derecho de propiedad, definiendo el recurso como un bien de uso público y otorgando a privados el derecho de su aprovechamiento, separándolo de la tierra y permitiendo su compra y venta por medio del mercado de aguas (Larraín, 2006; Valenzuela et al., 2013). De acuerdo con el artículo 122 del CA, todos los derechos de aprovechamiento deben ser inscritos en el Catastro Público de Aguas (CPA), llevado por la Dirección General de Aguas (DGA), organismo encargado de administrar el recurso hídrico y difundir la información hídrica nacional. El CPA es un elemento esencial de los sistemas de información sobre el recurso hídrico, ya que en él debe constatarse toda la información relacionada a la propiedad y pertenencia de las aguas, incluyendo los DAA, con su respectivo propietario, punto de captación, magnitud, fecha de inscripción y otros atributos. Su función es contar con información fidedigna y actualizada para la ciudadanía y la autoridad, para que esta última pueda cumplir sus funciones de planificación y administración eficientemente. Sin embargo, de acuerdo con el informe emitido por el Banco Mundial (2011), en la práctica se ha evidenciado la deficiente confección y actualización del CPA, obstaculizando la gestión adecuada por parte de la DGA. Uno de los problemas principales es la carencia de información actualizada sobre los DAA, para poder evaluar solicitudes de constitución o regularización y disminuir los conflictos entre usuarios y la DGA. Para que un DAA sea incorporado al CPA, su inscripción en el Registro de Propiedad llevado por los

¹ Decreto con Fuerza de Ley N° 1122. Código de Aguas. Santiago: Ministerio de Justicia, 1981. 70p. [Publicada en Diario Oficial el: 29 de octubre de 1981].

Conservadores de Bienes Raíces (CBR) debe especificar una serie de aspectos como el nombre del titular, la ubicación del acuífero, caudal, y otros aspectos relacionados a la naturaleza y ejercicio del derecho (consuntivo o no consuntivo, superficial o subterráneo). Si falta alguno de dichos aspectos, ya sea por omisión o por la no obligatoriedad a la fecha de su constitución (Contreras, 2020), el derecho no podrá ser registrado en el catastro, por estar incompleto. Para que un derecho deje de estar incompleto y pueda ser registrado oficialmente, este debe ser regularizado. Con la reforma al CA publicada en abril de 2022², los DAA no inscritos en su respectivo CBR, y por lo tanto en el CPA, pueden caducar si no son inscritos en el plazo de 18 meses desde la publicación de la reforma en el Diario Oficial.

A inicios de la década de los 70, el SAG otorgó derechos de agua asociados a proyectos de parcelación (rurales de producción agrícola), que dada la normativa vigente a la fecha, no fueron registrados como títulos inmobiliarios, generando una incertidumbre sobre estos DAA que persiste hasta la actualidad. De estos derechos, sólo unos pocos fueron posteriormente perfeccionados por la DGA, por lo que hoy en día muchos no presentan información precisa respecto a sus captaciones y caudales (Banco Mundial, 2011; Barría et al., 2020). La persistencia de los derechos incompletos o no perfeccionados se relaciona con factores como la escasa presión normativa e institucional, al no existir incentivos suficientes para los usuarios por inscribir o regularizar sus títulos, llegando incluso a suspenderse el requisito de esta acción para beneficiarse de los subsidios de riego y drenaje. En este sentido, la reciente reforma al CA establece que aquellos derechos SAG que se encuentran reconocidos como existentes por la legislación pero no se encuentran inscritos en el CBR a nombre de su actual titular, disponen de un plazo de 5 años a partir de la publicación de la reforma para efectuar su regularización, que será llevada a cabo exclusivamente por la DGA sin intervención judicial o del SAG. Esto a diferencia del proceso vigente previo a la reforma, donde el perfeccionamiento de los títulos incompletos era llevado a cabo por vía judicial y bajo el cumplimiento de normas establecidas en el CA.

Actualmente, el otorgamiento de DAA pasa por un proceso de estudio de disponibilidad, en el que la DGA emite un informe técnico de cuantificación de caudales de la cuenca en cuestión. En base a información de la red hidrométrica, se estima la disponibilidad hídrica sin considerar tendencias climáticas no estacionarias o cambio climático, y considerando un período máximo de 50 años de registros, por lo que se hace fundamental contar con información precisa y actualizada en los registros de agua otorgada y disponible para una gestión eficiente y sostenible (Barría et al., 2020; Barría et al., 2019). Sin embargo, la escasa coordinación interinstitucional (SAG y DGA) y la falta de perfeccionamiento generan incertidumbre respecto a la disponibilidad real de agua en las cuencas, afectando el otorgamiento de DAA y la toma de decisiones en torno al recurso hídrico.

Investigaciones de Barría et al. (2020) evidencian que en la cuenca de Aculeo, una mínima parte de los derechos asociados a parcelaciones SAG se ha perfeccionado e inscrito en el

² Ley N° 21435. Reforma el Código de Aguas. Santiago: Ministerio de Justicia, 2022. 40p. [Publicada en Diario Oficial el: 06 de abril de 2022].

CPA, siendo que estos corresponden aproximadamente a un 68% de la totalidad de los derechos otorgados en la cuenca. Además, algunos de los derechos que sí están contemplados en el CPA no presentan coordenadas de captación explícitas. Frente a esto, surge la necesidad de perfeccionar los DAA otorgados por el SAG, con el fin de menguar las brechas de información disponible, estableciendo una base más sólida para la toma de decisiones.

A nivel nacional, se están llevando a cabo esfuerzos institucionales de planificación por parte de la DGA para establecer cursos de acción en torno al recurso hídrico, contribuyendo a orientar las decisiones públicas y privadas para una gestión con función económica y social y en armonía con el medio ambiente y la sustentabilidad. Los Planes Estratégicos de Gestión Hídrica abordan objetivos como conocer la oferta y demanda histórica de agua e implementar modelos hidrológicos de las cuencas para su proyección a largo plazo, entre otros. En este contexto, es primordial que estos esfuerzos para la generación de escenarios futuros y planteamiento de cursos de acción cuenten con una base sólida y con la menor cantidad de vacíos de información, de manera que sus funciones sean llevadas a cabo en forma eficiente e informada. Esta investigación se enmarca en el proyecto Fondecyt N°11200854, que busca analizar los impactos relativos del cambio climático y la acción humana en el balance hídrico de cuencas del centro-sur de Chile mediante el análisis de distintos escenarios en modelos WEAP, buscando simular los efectos de distintos cursos de acción en la disponibilidad de agua, con forzantes como el uso potencial de agua (estimado a partir de los DAA) y cambios en el uso de suelo. En el presente estudio se busca contribuir a la generación de escenarios del proyecto, específicamente en variables relacionadas al consumo humano de agua, mediante la sistematización de información relacionada a derechos de agua otorgados por el SAG, georreferenciando los proyectos de parcelación y caracterizando la demanda de agua asociada a estos. Dichos derechos de agua poseen potencialmente una influencia en la disponibilidad hídrica de distintas cuencas, mientras que en la actualidad no se posee un conocimiento acabado en cuanto a sus ubicaciones y/o magnitudes. Los productos generados constituyen un insumo que podría contribuir a llenar brechas de información para futura planificación, como en el caso de los Planes Estratégicos de Gestión Hídrica. Adicionalmente, se caracteriza la demanda hídrica de los derechos SAG mediante comparaciones con la disponibilidad física, en distintas cuencas del centro-sur de Chile y abordadas en el proyecto Fondecyt.

Objetivo General

Caracterizar la demanda hídrica asociada a DAA otorgados por el SAG en cuencas de la zona centro-sur de Chile.

Objetivos específicos

- Generar un catastro con DAA otorgados por el SAG de los diferentes proyectos de parcelación de Reforma Agraria presentes en Chile, a nivel de fuente.
- Caracterizar la demanda comprometida por cuenca asociada a DAA otorgados por el SAG.

- Analizar la relación entre DAA otorgados por el SAG y componentes del balance hídrico en cuencas del centro-sur de Chile.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Para el primer objetivo, el área de estudio corresponde a todas las cuencas y SHAC del territorio continental de Chile que contengan proyectos SAG. Para el segundo y tercer objetivo, el área de estudio se acota a 9 cuencas que comprenden proyectos SAG en su territorio. Estas se distribuyen en el centro-sur de Chile, suman una superficie total de 16.400 km² y se encuentran en las macrozonas centro y sur, desde la Región de Valparaíso hasta la Región de Los Lagos, entre los paralelos 32° y 42° Latitud Sur (Figura 1). Las cuencas seleccionadas corresponden a las abordadas en el proyecto Fondecyt N° 11200854, de forma que los resultados obtenidos sirvan como insumo para la investigación.

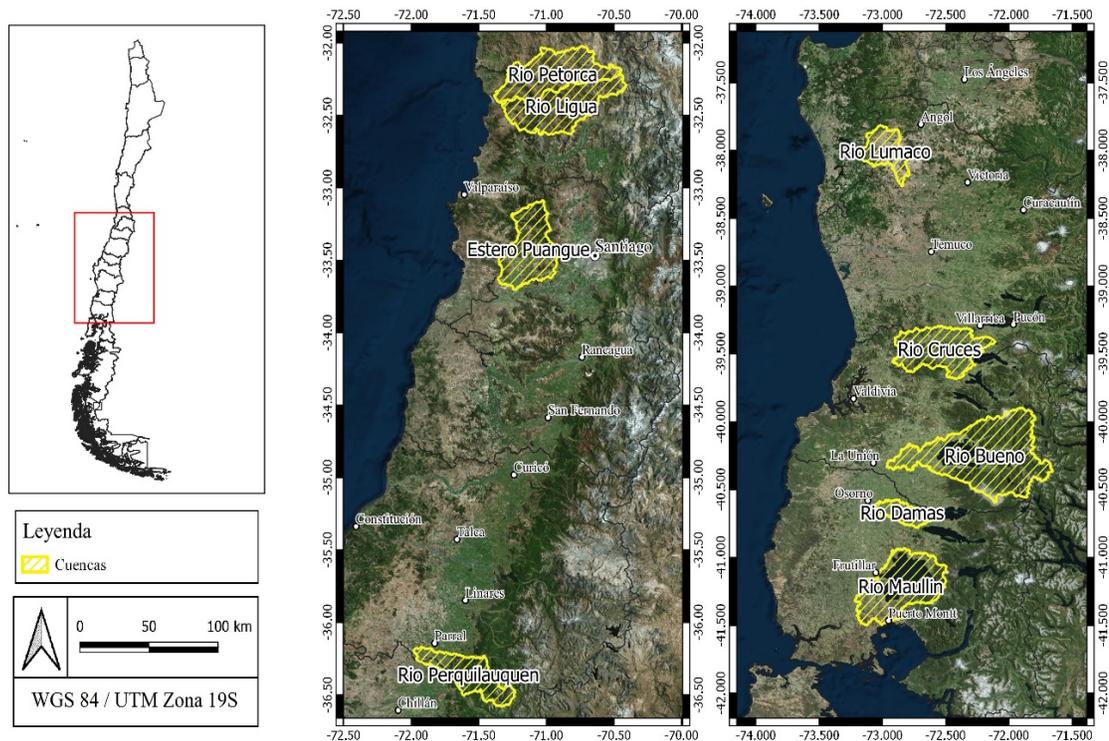


Figura 1. Cuencas a analizar. Río Petorca en Longotoma; Río Ligua en Quinquimo; Estero Puangue en Ruta 78; Río Perquilauquén en Ñiquén; Río Lumaco en Lumaco; Río Cruces en Rucaco; Río Bueno en Bueno; Río Damas en Tacamo; Río Maullín en Las Quemadas.

Clima

A continuación, se describe el clima de cada cuenca a partir del trabajo de Inzunza (2019) en base a Köppen.

Cuencas Río Ligua y Río Petorca

Ubicadas en el sector norte de la Región de Valparaíso, predominan los climas de estepa cálido y mediterráneo templado costero. El clima de estepa cálido se caracteriza por una baja humedad atmosférica y poca nubosidad, fuerte amplitud térmica diaria y temperatura media anual de 15°C, con precipitaciones del orden de 150 a 200 mm anuales. El clima mediterráneo templado costero tiene influencia a lo largo de la zona costera hasta el interior por los valles, con menor variación de temperaturas a lo largo del año por la influencia oceánica, con un promedio anual de 14°C y precipitaciones más abundantes que alcanzan los 450 mm anuales.

Cuenca Estero Puangue

Predomina el clima templado mediterráneo, de estación seca prolongada y con lluvias moderadas en invierno, con una temperatura media anual de 14°C y fuertes contrastes térmicos, las temperaturas extremas en invierno y verano alcanzan los 0°C y sobrepasan los 30°C, respectivamente. Las precipitaciones, concentradas en invierno, alcanzan los 350 mm anuales y son altamente irregulares, existiendo períodos de años lluviosos y otros muy secos.

Cuenca Río Perquilauquén

Continúa predominando el clima templado mediterráneo, pero con una estación seca de 4 meses, al ubicarse la cuenca en la zona sur de la Región del Maule y parte de ella en la zona cordillerana, donde aumentan las precipitaciones respecto a la depresión intermedia. Las máximas temperaturas medias anuales son de 19°C y extremas que superan los 30°C en verano y bajan de los 0°C en invierno.

Cuenca Río Lumaco

Predomina el clima templado mediterráneo de lluvia invernal, con temperaturas extremas que rodean los 23°C y 1°C en los meses más calurosos y fríos, respectivamente. Las precipitaciones varían de 1000 a 2500 mm anuales, con períodos secos de dos meses o más. Existen pequeños sectores fríos y de altura en la cuenca, asociados a la cordillera de Nahuelbuta, donde aumentan las precipitaciones, sin embargo, la mayoría de su superficie se asocia al valle central, donde disminuyen las precipitaciones por efecto de la misma formación montañosa y aumentan los períodos secos.

Cuencas Río Cruces y Río Bueno

Predomina el clima templado lluvioso, de alto contraste en las temperaturas medias, con mínimas de 1°C en invierno y máximas de 23°C en verano. Las precipitaciones varían entre 1000 y 2500 mm anuales, con períodos secos de dos o más meses. Los sectores de las cuencas asociados a la depresión intermedia presentan leve sequedad estival, mientras que en el sector andino de la cuenca río Bueno predomina el clima mediterráneo frío de lluvia invernal, donde

aumentan las precipitaciones a 3000 mm anuales y las temperaturas se mantienen bajas todo el año, con períodos secos de uno a dos meses.

Cuencas Río Damas y Río Maullín

Persiste en ambas cuencas el clima templado lluvioso, que a esta latitud se manifiesta con precipitaciones distribuidas en todo el año y sin períodos secos considerables. En la cuenca de río Damas presenta leve sequedad estival, mientras que en gran parte de la cuenca de río Maullín se presenta con influencia costera, y una fracción con leve sequedad estival.

Hidrografía

Cuenca Río Petorca

De forma semejante a la cuenca río Ligua, la hoya es de reducida extensión y no penetra mucho en la cordillera, lo que determina sus regímenes pluviales y con fuertes estiajes en verano. Con una superficie aproximada de 1.969 km², inicia a 2.800 m.s.n.m con el nombre de río Sobrante. Toma el nombre de río Petorca al unirse el estero Chalaco al afluente principal, a los 650 m.s.n.m. Desemboca posterior a un recorrido de 100 km, cerca de la desembocadura del río Ligua. Entre los principales afluentes de los ríos Sobrante y Petorca, se encuentran las quebradas La Laguna, El Chacay y El Bronce, junto con los esteros Las Palmas y Ossandón (Dirección General de Aguas [DGA], 2006).

Cuenca Río Ligua

Su superficie aproximada es de 1.951 km² y presenta una longitud del orden de los 90 km, con un ancho promedio inferior a 23 km, generando que los tributarios sean de recorrido corto, en especial en la vertiente norte del valle, donde se presentan también los afluentes del río Petorca. Se inicia a 4.100 m.s.n.m. con el nombre de río Alicahue, pasando a denominarse río Ligua unos kilómetros aguas arriba de la localidad de Cabildo. Desemboca en el mar luego de 90 km de recorrido y sus principales afluentes son los esteros Los Ángeles y Jaururo y las quebradas La Patagua y del Pobre. Junto con la cuenca río Petorca, han sido clasificadas como críticas respecto su vulnerabilidad a la variabilidad hidrológica, principalmente la sequía, lo que se asocia con las transformaciones que se han producido en el territorio en las últimas décadas. Pasando de la fisionomía rural tradicional, caracterizada por la hacienda, la pirquinería y la industria textil artesanal; a una fruticultura corporativa de exportación a gran escala, que compite fuertemente por el acceso al agua con los restantes sectores económicos y sociales que requieren acceso a ella (DGA, 2006).

Cuenca Estero Puangue

Desde los orígenes del estero hasta la confluencia con el estero Carén, las aguas avanzan encajonadas 16 km entre cordones montañosos que alcanzan alturas sobre los 2.000 m.s.n.m. Posteriormente, entre el estero Carén y la confluencia del estero Zapata, frente a la localidad de Curacaví, la cadena montañosa se separa, su altura decrece y da origen a un valle más amplio que concentra más actividades productivas, favorecido por la topografía suave con una menor pendiente y altura, fluctuando entre los 500 y 800 m.s.n.m. Finalmente, entre la localidad de Curacaví y la desembocadura del estero Puangue en el río Maipo, los cordones

montañosos no superan los 700 m, cortados por amplios valles drenados por los esteros tributarios. El estero Puangue avanza encajonado en su lecho desde la localidad de María Pinto hasta la carretera que une Cartagena con Melipilla, donde asume forma meándrica hasta 4 km aguas abajo del estero Peralillo. Un 80% del valle del estero Puangue se riega por los canales Las Mercedes y Mallarauco, que captan sus aguas del río Mapocho (DGA, 1993). La cuenca tiene una superficie aproximada de 1.713 km².

Cuenca Río Perquilauquén

Su superficie aproximada es de 1.208 km². Con una altitud que varía entre los 150 y 2.000 m.s.n.m., el régimen hídrico del río es predominantemente pluvial, con baja influencia nival en invierno (P. Muñoz, 2015). La longitud del cauce principal es de 306 km, con una pendiente media de 11.68% y un caudal medio mensual en la desembocadura de 55.2 m³/s, según registros recolectados entre 1979 y 2016 (Villalobos, 2020). Entre los principales afluentes del río Perquilauquén se encuentra el Río Catillo, a la altura de la localidad de San Gregorio, y los esteros Lavadero, Junquillo y Tricahue, en la parte más alta de la cuenca.

Cuenca Río Lumaco

Drena una superficie aproximada de 853 km² y su elevación va desde los 90 hasta los 1.400 m.s.n.m. Posee un régimen hidrológico pluvial, con caudales máximos entre los meses de mayo y octubre, alcanzando su máximo en julio. La longitud del río Lumaco es de 80 km y entre sus principales afluentes se encuentran los ríos Panqueco y Quillén.

Cuenca Río Cruces

Desde su nacimiento en la precordillera andina hasta la estación fluviométrica en Rucaco, la cuenca abarca una superficie aproximada de 1.802 km². El río Cruces nace en la precordillera, en la vertiente occidental de los cerros ubicados entre los lagos Villarrica y Calafquén, drenando por la depresión de San José al norte de Valdivia. Su principal afluente es el río Purlón a la altura de Lanco, y hacia su confluencia con el río Valdivia se suman afluentes como los ríos Pichoy y Cayumapu. Su régimen es del tipo fluvial, con aumento de caudales en invierno y no presenta lagos en su extensión (Troncoso, 2009).

Cuenca Río Bueno

Con una superficie aproximada de 4.156 km², la cuenca se extiende desde el límite cordillerano hasta cercano a la confluencia de los ríos Bueno y Pilmaiquén, con una elevación que va desde sobre los 2.000 hasta los 40 m.s.n.m. La longitud del cauce principal es de 131 km (DGA, 2018). Dentro de la cuenca se encuentran importantes masas lacustres, siendo la más extensa el lago Ranco, con una superficie de aproximadamente 410 km², seguido de los lagos Maihue y Huishue. El lago Ranco, cuya profundidad supera los 80 m, se encuentra rodeado por altos cordones montañosos y presenta varias penínsulas e islas. Se caracteriza además como un lago de ambiente generalmente oligotrófico, de baja productividad primaria debido al bajo contenido de nutrientes, estado que se puede mantener si no se aumenta la carga de nutrientes actual. Sus principales afluentes son los ríos Calcurrupe y Nilahue. El primero nace del lago Maihue, y el segundo de la cordillera de Los Andes. Se ha caracterizado a estos y otros afluentes del lago Ranco (Caunahue, Pitreño, Iculpe, Quiman) en un estado

contaminado, debido principalmente a descargas de piscicultura y otras fuentes (Zelada, 2017).

Cuenca Río Damas

El río Damas nace en la depresión intermedia, en un sector denominado Quema del Buey, cercano a los lagos Puyehue y Rupanco. Su cuenca drena una superficie de aproximadamente 467 km² y la longitud total del cauce es de 52 km, 48 de los cuales se emplazan en sectores rurales y los otros 4 en la zona urbana de Osorno, límite occidental de la cuenca y confluencia de los ríos Damas y Tijeral. El cauce presenta una pendiente baja, con una media de 1.8%, siendo sus principales tributarios los esteros Lutún, Pichidamas y Quebrada Honda, y los ríos Tijeral y Moro (Fuentes et al., 2021). El agua del río Damas es ampliamente utilizada para actividades agroindustriales, consumo de ganado y abastecimiento de agua potable, y recibe riles legales e ilegales por parte de las actividades productivas que también incorporan contaminantes de origen difuso a las aguas, generando un empobrecimiento de la macrofauna bentónica a lo largo de la cuenca (Figueroa et al., 2003).

Cuenca Río Maullín

Cuenca preandina con una superficie de aproximadamente 2.278 km² y que contiene al lago Llanquihue, el segundo más extenso del país (860 km²), con costas de lomajes suaves y profundidades que superan los 350 m. Recibe cortos tributarios; en la ribera oriente nacen como torrentes en la falda occidental del volcán Osorno y en la ribera sur descienden mayoritariamente de la falda norte del volcán Calbuco. Siendo de estos últimos el más importante el río Pescado. El río Maullín nace del lago Llanquihue y en su trayectoria recibe varios afluentes menores, como el río Negro y el río Calabozo. Su curso superior es tortuoso y más bien plano (DGA, 2004).

Materiales

Base General de Proyectos SAG

Archivo Excel complementario al informe de la DGA (2013) “Recopilación y Sistematización de Información de Derechos de Aguas otorgados por el SAG”, elaborado por el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). Contiene los proyectos de parcelación SAG que consideran derechos de aguas. Se utilizó también la documentación digitalizada de cada proyecto (planos y documentos) en los que se detalla acerca de la naturaleza del proyecto, características del terreno, fuentes de agua, etc.

Cuencas CAMELS-CL

La base de datos CAMELS-CL (Catchment Attributes and Meteorology for Large Sample Studies, Chile Dataset) (Alvarez-Garretón et al., 2018), contiene información de distintas variables hidrológicas en 516 captaciones (cuencas) delimitadas mediante una metodología

que difiere a la utilizada por la DGA en las cuencas del Banco Nacional de Aguas (BNA). Se utilizó esta base de datos debido a su accesibilidad y disponibilidad de información para posteriores análisis, incluyendo aquellos que serán llevados a cabo en el proyecto Fondecyt.

Actualización del Balance Hídrico Nacional (BHN)

Se trabajó con datos históricos de caudales mensuales modelados por la DGA (2017), que buscan cuantificar la disponibilidad de los recursos hídricos mediante la incorporación de 30 años de nuevos registros y nuevas fuentes de información.

Archivos vectoriales de infraestructura de riego y catastro de propiedades rurales

La primera contiene red de canales de riego a nivel nacional, y el catastro de propiedades rurales contiene polígonos correspondientes a las divisiones de propiedades rurales con su respectivo número de ROL. Ambos archivos fueron obtenidos del sitio web de Infraestructura de Datos Geoespaciales (IDE) (Ministerio de Bienes Nacionales [MBN], 2020).

Precipitaciones, Evapotranspiración y DAA DGA

Los datos de precipitaciones provienen de los registros públicos administrados por la DGA. Su recopilación fue facilitada por el equipo del proyecto Fondecyt, al igual que los cálculos de evapotranspiración y la recopilación de los DAA históricamente otorgados por la DGA a nivel de cuenca.

Metodología

Sistematización espacial de proyectos SAG

Los proyectos contenidos en la Base General fueron sistematizados y georreferenciados (localizados), generando un mapa de puntos, cada uno asociado a un proyecto. Adicionalmente, se registró la cuenca hidrográfica en la que se ubica cada proyecto, identificando las cuencas CAMELS, BNA y el Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común (SHAC). Para esto se utilizó el plano de cada proyecto, que comprende una representación gráfica de la geometría y distribución de unidades de cada proyecto, con fines de planificación. Estos planos señalan e identifican una serie de elementos ajenos al proyecto que contribuyen a su visualización y ubicación en el espacio, tales como ríos, esteros, canales, caminos, carreteras, predios vecinos, número de ROL, lagos, etc. Es relevante mencionar que el contenido y formato de los planos es altamente variable, existiendo algunos cuidadosamente estructurados y referenciados con coordenadas, que en general corresponden a proyectos más recientes, encontrándose también algunos dibujados a mano, con pocas o ninguna referencia y de escasa precisión, asociados a proyectos más antiguos. Esto hace que el proceso de localización de los proyectos en el espacio sea variable y adaptable a cada caso.

Proyectos con información de coordenadas

Aproximadamente un 28% de los proyectos presentan información de coordenadas de sus puntos de extracción en el archivo Excel, producto del trabajo realizado por CIREN en la recopilación y sistematización de información de derechos de agua otorgados por el SAG (DGA, 2013).

Para estos casos, la georreferenciación consistió en importar el listado de dichos proyectos en formato Excel a QGIS, generando automáticamente una capa vectorial de puntos en las coordenadas correspondientes. Se asignó un ID único para cada proyecto.

Proyectos sin información de coordenadas

Para el 72% restante de los proyectos, sin información de coordenadas, el proceso de georreferenciación contempla una serie de pasos y elementos considerados. En primer lugar, se revisaron los documentos y planos escaneados de los proyectos, en conjunto con múltiples capas vectoriales que fueron utilizadas como guía para la identificación visual de la ubicación de los proyectos; como la red vial, red hidrográfica, comunas, masas lacustres, áreas pobladas, y las propiedades rurales con sus respectivos números de ROL.

El primer paso para la ubicación de un proyecto sin información de coordenadas corresponde a la revisión de información de ubicación contenida en el plano (Figura 2). Los planos varían en su forma y contenido según diversos factores, como la fecha y ubicación del proyecto. Algunos planos más modernos, por lo general asociados a proyectos de la zona central, incluyen un pequeño recuadro que resume la ubicación general del proyecto (Figura 3), el cual es utilizado para la asignación del punto cuando se encuentra disponible.

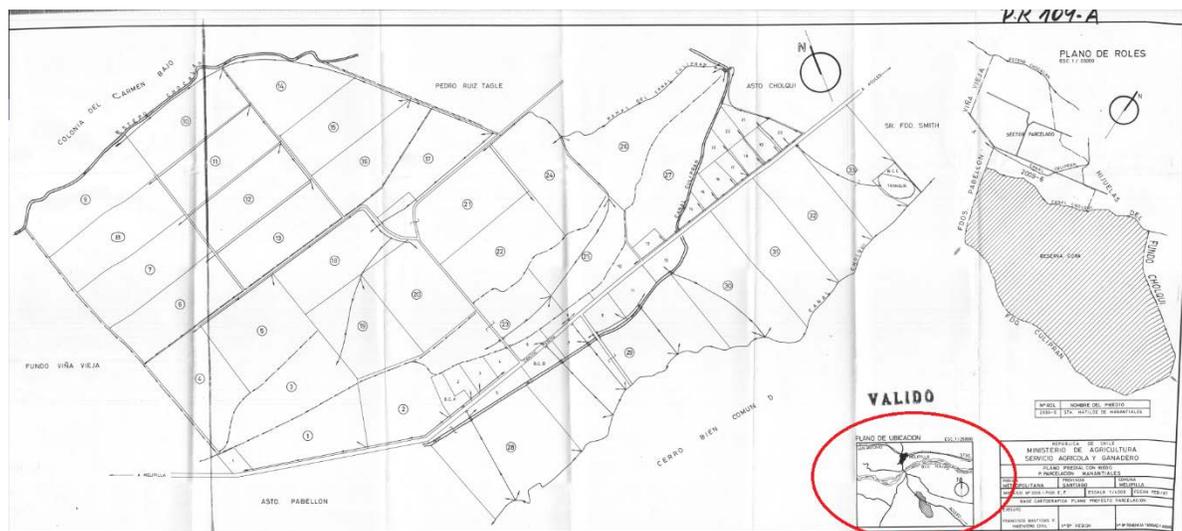


Figura 2. Plano escaneado de un proyecto SAG ubicado en la comuna de Melipilla (proyecto N° 109). Incluye recuadro de ubicación.

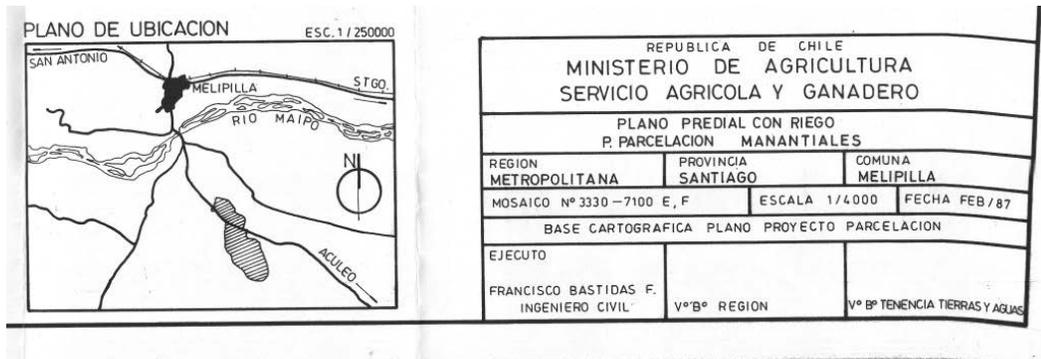


Figura 3. Recuadro de ubicación contenido en el plano del proyecto N° 109. Ejemplo del recuadro incluido en ciertos planos y utilizado como referencia para la localización del proyecto en la capa vectorial, cuando se encuentra disponible.

Si el plano no incluye recuadro de ubicación, se revisan todas las referencias disponibles que puedan ser de utilidad, ya sean cursos de agua cercanos, caminos, comuna en la que se ubica el proyecto, el número ROL de la propiedad y la geometría del polígono. En la Figura 4 se resaltan estos atributos en un plano de ejemplo.

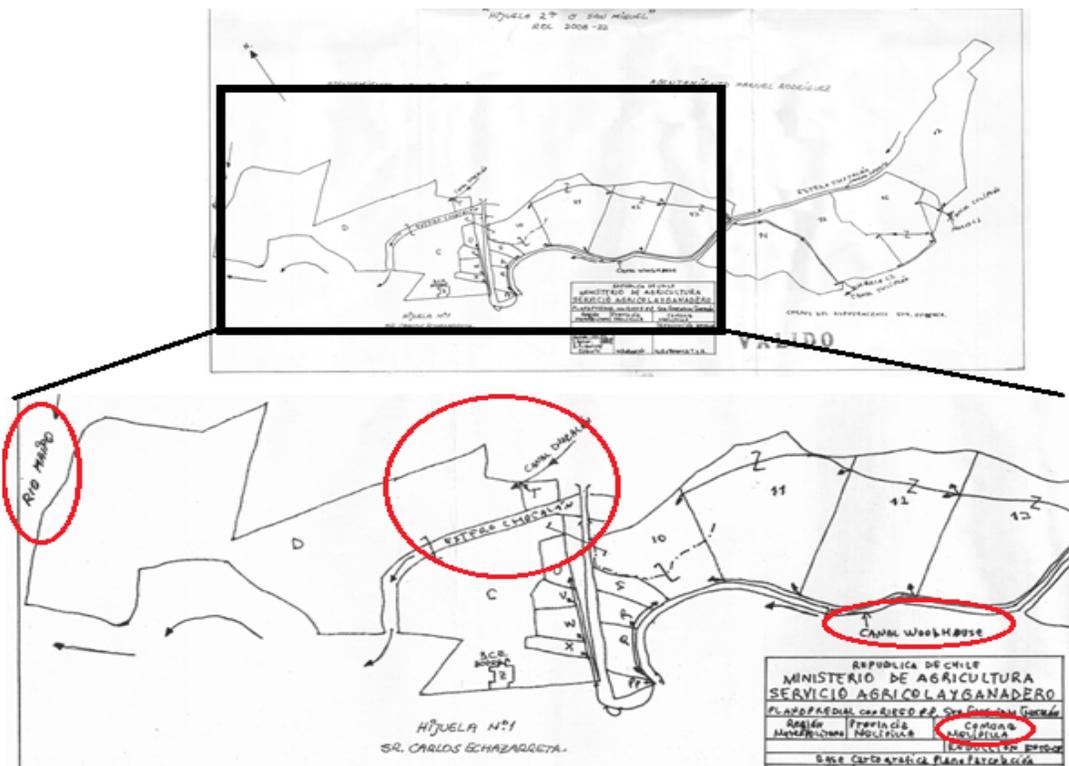


Figura 4. Referencias utilizadas para la georreferenciación de un proyecto sin información de coordenadas (proyecto N° 583).

A pesar de que el número de ROL declarado en los planos y/o documentos no suele coincidir de manera exacta con los presentados por la capa de propiedades rurales (por ejemplo, en el caso de las figuras 5 y 6 los números asociados al mismo proyecto son 2008-22 y 2008-170, respectivamente), constituye un guía de utilidad para la ubicación del proyecto. La mayoría de los casos requirieron una aplicación mixta e iterada de los pasos anteriores para lograr dar con su ubicación, habiendo algunas excepciones donde fue posible identificar rápidamente mediante atributos más únicos y/o geometrías conspicuas. En la Figura 7 se presenta un esquema resumen del proceso de georreferenciación de los proyectos.

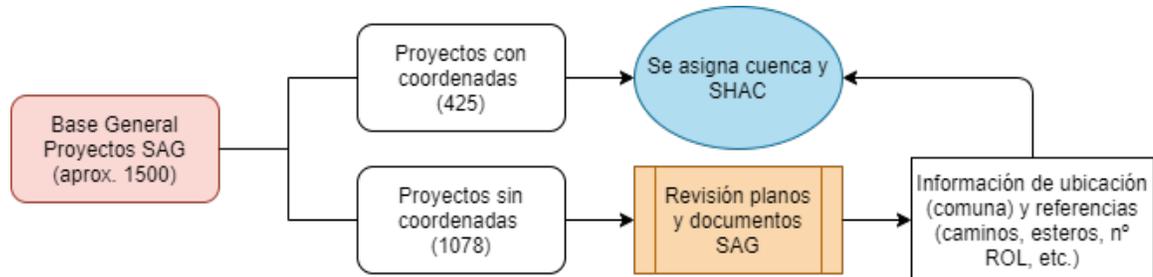


Figura 7. Resumen del proceso de georreferenciación de los proyectos.

Caracterización de la demanda comprometida por cuenca asociada a DAA otorgados por el SAG

En primera instancia, se identificaron los proyectos que potencialmente se encontrarán dentro de las cuencas abordadas en el proyecto Fondecyt N°11200854, con tal de generar un insumo para la construcción de los modelos planificados. Para esto, se filtraron los proyectos que se ubicaran en las comunas abarcadas por cada cuenca. Por ejemplo, la cuenca del Estero Puangue abarca las comunas de Curacaví, María Pinto, Melipilla y Quilpué. De esta forma, para individualizar los proyectos que potencialmente se encontrarán dentro de esta cuenca, se consideraron aquellos registrados en aquellas comunas.

Una vez obtenidos y ubicados los proyectos de cada cuenca, se llevó a cabo un proceso de vectorización en cada uno, traspasando su geometría a formato vectorial, y respetando las proporciones y dimensiones declaradas en su documentación. Esto fue aplicado a todos los proyectos ubicados en las cuencas de interés, con tal de dejar la información en un formato de utilidad para su posterior procesamiento en otras etapas del proyecto Fondecyt. Para esto se utilizó también la capa de propiedades rurales del IDE como guía para reconstruir el plano del proyecto. Una vez traspasada la geometría, se revisó si la superficie del polígono coincide con la superficie declarada en los documentos del proyecto, utilizando el criterio de aceptar un margen de error del 10% como máximo.

Los proyectos de parcelación incluyen distintas unidades que los subdividen (Figura 2), las que son definidas por su rol en el predio y sus dimensiones, encontrándose:

- Parcelas, que suelen ser las unidades predominantes y de mayor tamaño, generalmente destinadas a cultivos.
- Sitios, unidades de menor tamaño y generalmente asociadas a estructuras como vivienda, establo, etc.
- Bienes comunes, unidades pequeñas que corresponden a bienes de uso común para propietarios del sector, por lo general asociados a tranques de riego.
- Por último, las reservas CORA corresponden a porciones de tierra que no podían ser asignadas ni en forma individual ni como bienes comunes, bajo el supuesto de que no servían a los fines de la Reforma Agraria.

Por otro lado, para el funcionamiento de los modelos WEAP construidos para el proyecto Fondecyt, las cuencas son fragmentadas en subunidades denominadas HRU (Unidad de Respuesta Hidrológica). Las cuencas analizadas presentan entre 3 y 12 HRU. En los casos en que un proyecto abarca transversalmente dos o más HRU, éste debió ser subdividido, y vectorizado nuevamente a nivel de unidades (parcelas, sitios, bienes comunes, reservas CORA), es decir, a mayor detalle para no interferir con el procesamiento y la precisión de los modelos.

Se vectorizaron 100 proyectos distribuidos en las 9 cuencas. De ellos, 59 se extendían en una (1) HRU, por lo que la vectorización se limitó al perímetro del proyecto, mientras que para los 41 restantes se vectorizaron todas sus unidades, generando así una base de datos con información precisa a nivel espacial del consumo de agua (Figura 8).

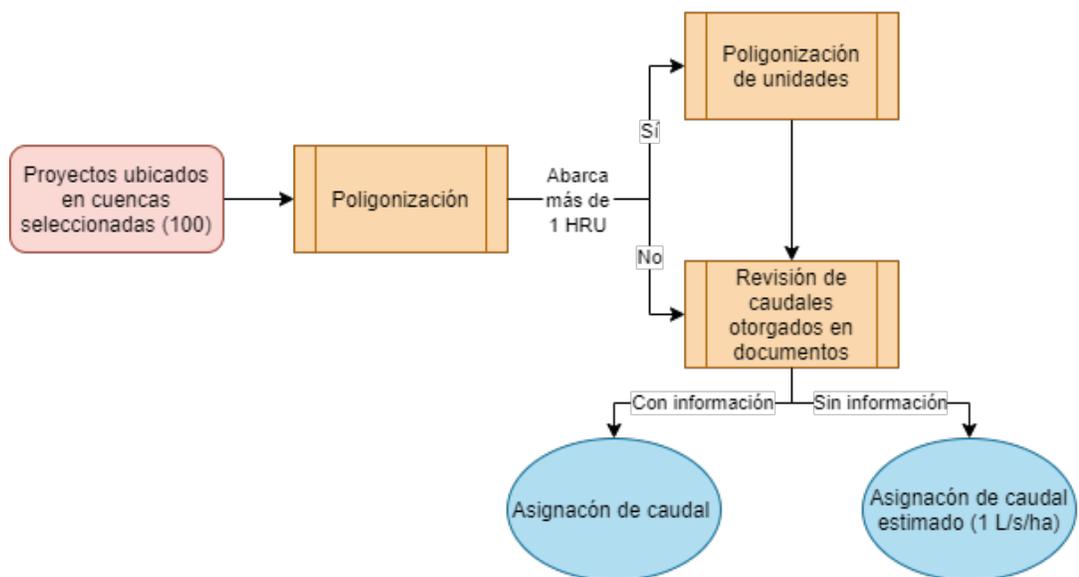


Figura 8. Resumen del proceso de vectorización y asignación de caudal de los proyectos.

Una vez obtenida la geometría de los 100 proyectos, se asignaron los volúmenes de extracción potencial respectivos. Para esto, se revisó la documentación de cada proyecto en forma individual, haciendo énfasis en el apartado de derechos de agua (Figura 9).

Predio "Hijuela Cuarta o La Isla del Plano de División del Fundo Isla de Chocalán".

a) 39,79 acciones o regadores del Canal Chocalán de la Asociación de Canalistas Canal de Chocalán.

b) La totalidad de los derechos de agua que poseía el ex-fundo La Isla de Chocalán en el Canal La Isla Huechún Bajo.

4. La distribución de estos derechos es la siguiente :

a) Derechos sobre el Canal Culiprán.

UNIDADES	SUP. RIEGO (HAS)	DERECHOS DE APROVECHAMIENTO CANAL CULIPRAN (Acciones o Regadores)
Parcela N° 10 (p)	2,67	0,16
11	7,00	0,44

Figura 9. Ejemplo del apartado de DAA en el documento del proyecto N° 583.

Posteriormente, se generó una nueva base de datos con los caudales de extracción asociados a cada unidad de cada uno de los proyectos y con sus fuentes diferenciadas, la que posteriormente fue integrada a la capa de polígonos, obteniendo una capa vectorial de los proyectos en su ubicación precisa, con su superficie real y con información de su consumo estimado de agua. Sin embargo, gran parte de los proyectos presentan documentación que contiene poca o nula información asociada al uso de agua. Para aquellos proyectos en los que no se cuenta con dicha información, se realizó una estimación de consumo en base a la superficie del proyecto, asignando un consumo de 1 L/s por hectárea, caudal conservador en comparación a los 2.5 l/s indicados en el Decreto 743 del Ministerio de Obras Públicas³ (Barría et al., 2020). Esto fue aplicado considerando la superficie de riego para los proyectos que incluían esta información, en caso contrario, se consideró la superficie total.

Adicionalmente, se integró información sobre la naturaleza de los derechos y su estado de perfeccionamiento. Se realizó también un análisis sobre la disponibilidad hídrica de cada cuenca, discutiendo sobre las implicancias que podría tener la extracción potencial ejercida por los DAA SAG en cada caso.

³ 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. Santiago: Ministerio de Obras Públicas, 2005. 5p. [Publicada en Diario Oficial el: 16 de diciembre de 2005].

Análisis de la relación entre DAA otorgados por el SAG y componentes del balance hídrico a escala de cuenca

Se generaron índices adimensionales que buscan cuantificar el nivel de intervención antrópica en las cuencas, basados en el trabajo de Barría et al. (2021), los Índices de Intervención Antrópica (IIA) se calcularon utilizando datos oficiales provenientes del BHN, relacionando el consumo de agua (caudales de extracción potencial asociados a DAA otorgados por el SAG) en función de la disponibilidad de agua en la cuenca. Los índices se definen como la razón entre el uso de agua (DAA otorgados sumado al caudal ecológico, calculado a partir de datos históricos de caudales) y la disponibilidad de agua, ambos a nivel de cuenca. El primer índice (Ecuación 1) considera la disponibilidad de agua a partir del caudal con un 85% de probabilidad de excedencia (Q_{85}), siguiendo el mismo enfoque utilizado por la DGA al momento de otorgar nuevos DAA (DGA, 2008). Sin embargo, como dicho parámetro ya se encuentra influenciado por el uso de agua en la cuenca, se propone un segundo índice (Ecuación 2) considera la disponibilidad a partir de la diferencia entre las precipitaciones y la evapotranspiración, también a nivel de cuenca y con un 85% de probabilidad de excedencia ($[PP-ET]_{85}$), bajo el supuesto que toda el agua que ingresa a la cuenca, exceptuando aquella que es evapotranspirada por la vegetación, se encuentra disponible ya sea de forma superficial o subterránea. El primer índice fue calculado para la ventana de tiempo 1979-2009, considerando el periodo previo a la Megasequía, mientras que el segundo se calculó con datos del período 2003-2015, incluyendo así 5 años de Megasequía. Esto debido a que los datos de evapotranspiración sólo se encuentran disponibles a partir de 2003 y los datos simulados del BHN abarcan hasta el año 2015. Para ambos índices se realizó un segundo cálculo que contempla los DAA otorgados por la DGA en el uso de agua, con la finalidad de aproximarse al nivel real de sobre otorgamiento en las cuencas, y no sólo aquel generado de manera potencial por los DAA SAG. Se utilizaron datos de caudales mensuales, mientras que los DAA consuntivos al año 2021, superficiales y subterráneos, fueron facilitados por el equipo del proyecto FONDECYT, que realizó la sistematización de los datos.

$$IIA_Q = \frac{Q_{sag} + Q_{ecol}}{Q_{85}}$$

Ecuación 1

$$IIA_{PP-ET} = \frac{Q_{sag} + Q_{ecol}}{(PP - ET)_{85}}$$

Ecuación 2

Donde:

IIA_Q : Índice de intervención antrópica calculado a partir de datos mensuales de caudal.

IIA_{PP-ET} : Índice de intervención antrópica calculado a partir de datos mensuales de precipitaciones menos evapotranspiración.

Q_{SAG} : Caudal de extracción ejercido por los derechos de agua SAG, superficiales y subterráneos, de manera potencial.

Q_{ecol} : Caudal ecológico.

Q_{85} : Caudal con un 85% de probabilidad de excedencia.

$(PP-ET)_{85}$: Precipitación menos evapotranspiración, con un 85% de probabilidad de excedencia.

Los valores de PP y ET fueron transformados a m^3/s utilizando la superficie de cada cuenca. El caudal ecológico (Q_{ecol}) fue calculado de acuerdo con los procedimientos de la DGA (2008) y a lo estipulado en el Decreto N° 14 del Ministerio del Medio Ambiente⁴, como lo plantean las Ecuaciones 3 y 4. Cabe destacar que en la actualidad se encuentra en proceso de elaboración un nuevo reglamento para la estimación del caudal ecológico.

1. Si el 50% del Q_{95} es menor al 20% del caudal anual promedio (Q_{anual}), entonces

$$Q_{ecol} = 0.5 \times Q_{95}$$

Ecuación 3

2. Si el 50% del Q_{95} es mayor al 20% del caudal anual promedio, entonces

$$Q_{ecol} = 0.2 \times Q_{anual}$$

Ecuación 4

Donde:

Q_{ecol} : Caudal ecológico.

Q_{95} : Caudal con un 95% de probabilidad de excedencia.

Q_{anual} : Caudal promedio anual.

Finalmente, se analizaron y discutieron los resultados de los índices como una aproximación cuantitativa preliminar de la influencia de los DAA otorgados por el SAG en la disponibilidad hídrica de las cuencas analizadas, obtenida por métodos que no coinciden en su totalidad con los utilizados por la DGA para declarar una cuenca como agotada. Se utilizaron los umbrales propuestos por Barría et al. (2021), donde un valor mayor a 1 indica una cuenca que se encuentra sobreotorgada, y por lo tanto bajo un alto riesgo de escasez hídrica, debido a que la disponibilidad calculada de agua no alcanza a suplir la demanda de agua ni los requerimientos ecosistémicos. Un valor mayor a 0.75 indica riesgo de futuro sobreotorgamiento.

⁴ Decreto N° 14. Aprueba reglamento para la determinación del caudal ecológico mínimo. Santiago: Ministerio del Medio Ambiente, 2013. 4p. [Publicada en Diario Oficial el: 30 de julio de 2013].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de proyectos con DAA otorgados por el SAG

Se localizó un total de 1401 proyectos, distribuidos entre la XV Región de Arica y Parinacota y la XII Región de Magallanes (Figura 10). Alrededor de 420 de estos fueron localizados a partir de la información de coordenadas recopilada por la DGA (2013) en conjunto con el CIREN, mientras que los otros 979 fueron localizados mediante la revisión individual de los planos respectivos y con el apoyo de bases de datos cartográficas. Los proyectos se distribuyen a su vez en 171 cuencas CAMELS.

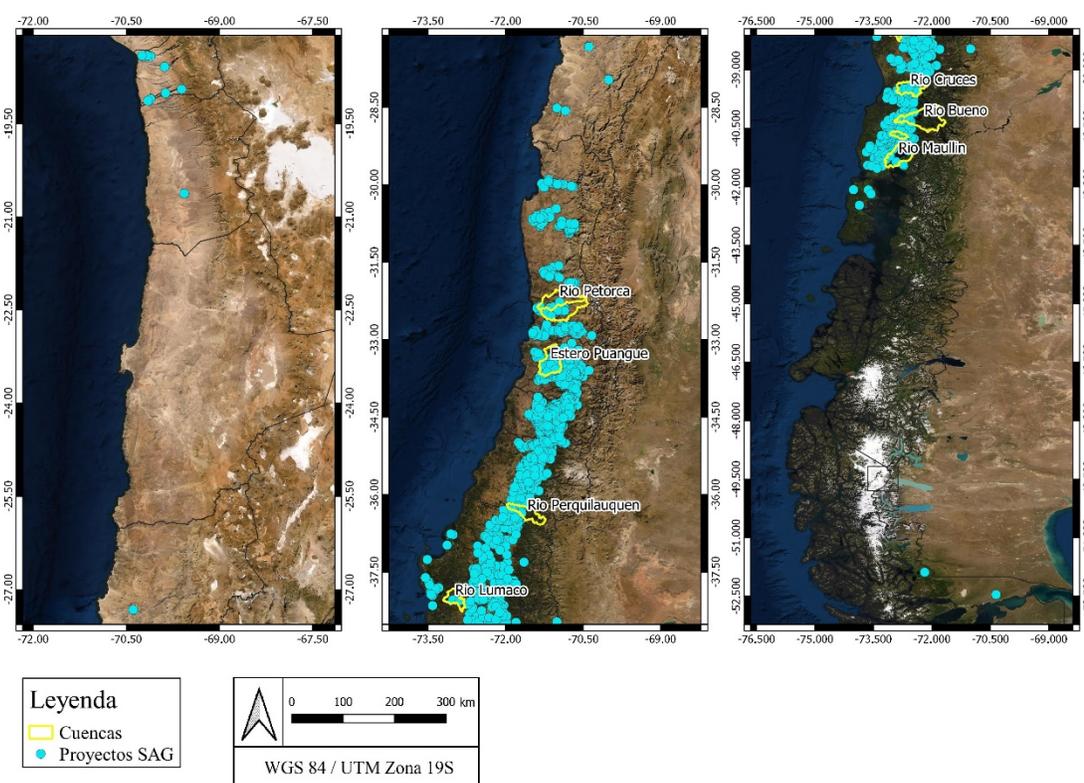


Figura 10. Distribución espacial de proyectos SAG a lo largo de todo el territorio nacional.

La metodología utilizada por CIREN para localizar cada proyecto se basó en la identificación de la bocatoma o punto de captación que lo alimenta, utilizando recursos como el “Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su proyección” de la Comisión Nacional de Riego [CNR] (2003) y el catastro de propiedades rurales. Esto implicó una alta precisión en las coordenadas recopiladas, pero por límites de tiempo identificaron los puntos y coordenadas de 420 proyectos, dejando al resto sin coordenadas de referencia.

La distribución espacial de los proyectos muestra que estos tienden a concentrarse en la zona centro y sur del país (Figura 10), predominando en la Región Metropolitana, del Libertador Bernardo O'Higgins y del Maule. La gran mayoría se emplaza en la depresión intermedia, existiendo algunos más próximos a zonas costeras, y muy pocos en zonas cordilleranas.

Existe un total de 100 proyectos distribuidos en las 9 cuencas de estudio (Figura 11). Algunos de ellos de gran envergadura, siendo relativamente comunes los proyectos que sobrepasan las 1000ha de superficie, y encontrándose dos de +4000ha en la cuenca del Río Ligua.

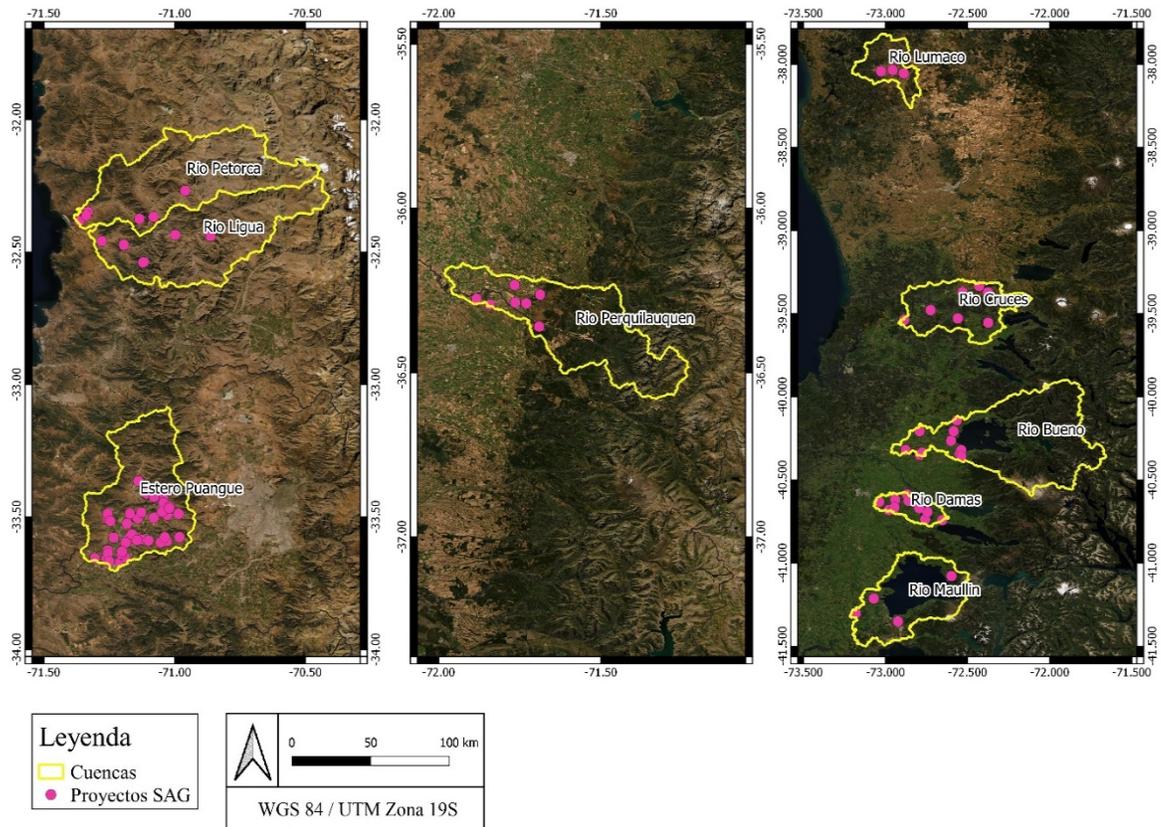


Figura 11. Distribución espacial de los proyectos SAG ubicados en las cuencas a analizar.

Los derechos de agua respectivos se encuentran perfeccionados en las cuencas de Ligua y Petorca (Figura 12), con los caudales de extracción explicitados en los documentos revisados. Mientras que en las cuencas de Puangue, Lumaco y Damas, sólo una parte de los derechos SAG se encuentran perfeccionados. Por otro lado, en las cuencas de Perquilauquén, Cruces, Bueno y Maullín ninguno de los derechos otorgados por el SAG se encuentra perfeccionados.

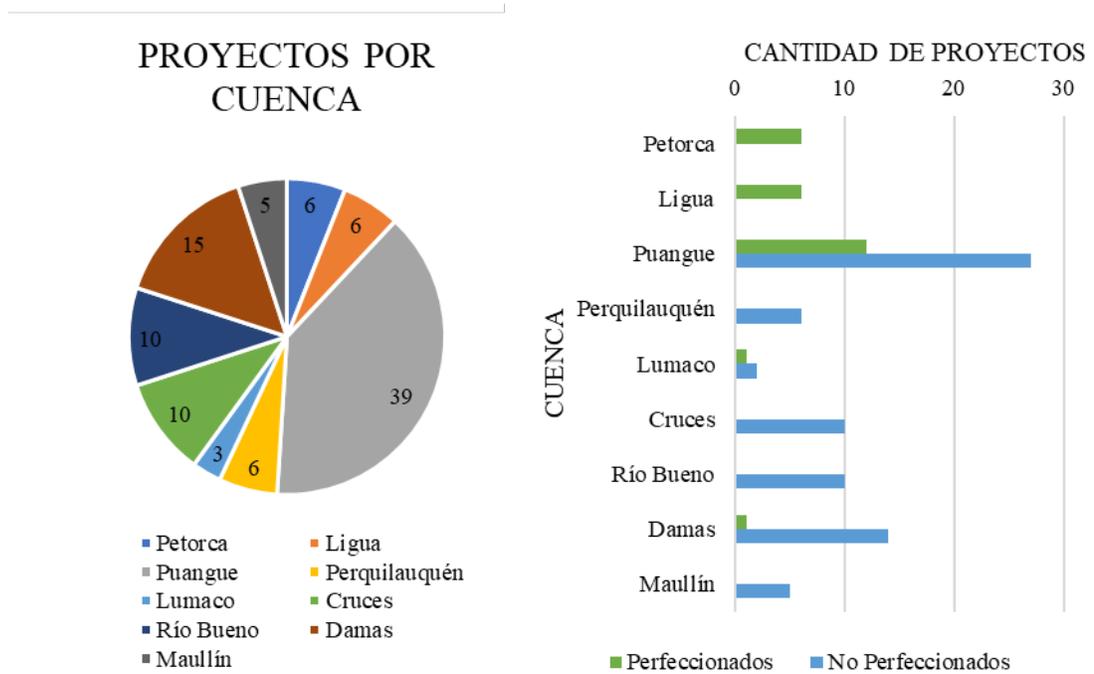


Figura 12. Cantidad de proyectos por cuenca analizada y nivel de perfeccionamiento en cada una de ellas.

En este sentido, se observa una tendencia espacial respecto a la información contenida en los documentos de cada proyecto, existiendo una mayor tasa de proyectos con DAA perfeccionados en las regiones de la zona central y una ausencia de proyectos perfeccionados en el extremo sur del área de estudio, a excepción de un (1) proyecto en la cuenca del Río Damas. Los proyectos de las cuencas de Ligua y Petorca presentan documentos en su mayoría de más de 30 páginas y actualizados entre el 2004 y 2006, con todas las fuentes de agua especificadas, la superficie regada e incluso con las coordenadas correspondientes a los pozos. Por otro lado, los documentos asociados a proyectos de Puangue, Perquillauquén y Lumaco fueron actualizados entre 1985 y 1990, especificando en su mayoría las fuentes de agua, pero con los volúmenes de extracción expresados en unidades no perfeccionadas (acciones, regadores, porcentajes), y explicitando también las superficies de riego de cada unidad. Algunos proyectos de estas cuencas sí contienen los DAA en l/s con sus respectivas fuentes, mientras que unos pocos no mencionan las fuentes ni los volúmenes de extracción. Por último, los proyectos de Cruces, Bueno, Damas y Maullín presentan documentos particularmente breves (no más de 20 páginas, muchos no más de 10) que se enfocan en describir y categorizar los tipos de suelo presentes en la zona y los costos y valores asociados a cada parcela y bien común, sin siquiera abordar la cantidad de agua a consumir ni las fuentes que serán utilizadas. A excepción de un proyecto ubicado en Damas en el que se actualizaron los derechos en el año 2010 mediante un estudio técnico, en el cual se especifican las fuentes, unidades regadas y volúmenes de extracción en l/s.

La situación de perfeccionamiento en Ligua y Petorca se relaciona directamente con la actual sobreexplotación en la región, donde las extracciones de aguas subterráneas aumentaron de 1 m³/s en 1995 a 10 m³/s entre 1999 y 2000, existiendo un sobre-otorgamiento de derechos que ha llevado a las comunas en cuestión a ser declaradas zona de catástrofe por sequía en 2012 y zona de escasez hídrica por el MOP (Aedo, 2015). Iniciativas de la DGA como el Programa de Apoyo a la Constitución de Comunidades de Aguas Subterráneas de los Acuíferos de Río La Ligua y Petorca (DGA, 2015) han aportado a regularizar la situación de los DAA subterráneos en estas cuencas, incentivando a los usuarios de agua a constituir y registrar Comunidades de Aguas Subterráneas con la finalidad de propender a una gestión eficiente del recurso mediante un sistema de control de extracciones. Desde la Región del Biobío hacia el sur, casi la totalidad de los proyectos no presentan DAA perfeccionados, a excepción de un proyecto en Lumaco y otro en Damas. Es más, en sus respectivos documentos no existe un apartado de DAA, por lo que no existe información alguna respecto al uso de agua, ya sea en relación con su magnitud, origen o naturaleza. El único proyecto en Damas con DAA perfeccionados se debe a que el propietario sometió a la consideración del SAG un “estudio técnico de distribución de DAA”, lo que corresponde a una iniciativa particular de este caso que no se repite en ninguno de los otros proyectos.

Por último, casi la totalidad de los proyectos en Petorca, Ligua y Puangue presentan DAA de naturaleza subterránea (Figura 13), a excepción de unos pocos proyectos “mixtos”, término que hace referencia a proyectos que presentan DAA superficiales y subterráneos. En el caso de Perquilauquén los derechos son de naturaleza superficial, mientras que en las demás cuencas no se encuentra explicitada la naturaleza de estos.

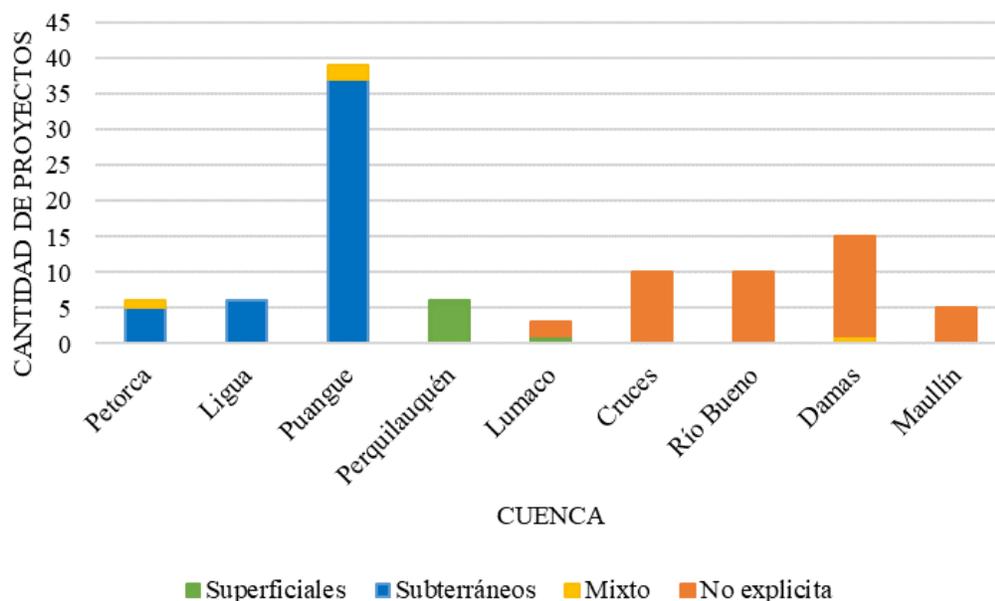


Figura 13. Naturaleza de los derechos de agua asociados a proyectos SAG.

Demanda comprometida asociada a DAA otorgados por el SAG

Como se mencionó en la introducción, los denominados proyectos SAG se asocian al proceso de expropiación de predios rurales en el contexto de la reforma agraria, y a su posterior proceso de normalización; donde se redefinieron los sectores expropiados y excluidos, constituyendo DAA asociados a estos, y de los cuales sólo algunos han sido perfeccionados por la DGA (Barría et al., 2020). Debido a la falta de perfeccionamiento y a la escasa coordinación entre instituciones, la mayoría de los DAA otorgados por el SAG no presentan equivalencia en litros por segundo (l/s), generando una brecha de información en el CPA, ya que no hay registro de la totalidad de derechos existentes y muchos de estos aún no han sido regularizados (Budds, 2004). En el contexto de sequía y escasez hídrica que actualmente afectan al territorio de Chile central, y frente al aumento esperado de la demanda de agua para los próximos años, se hace indispensable tomar medidas para asegurar el acceso al recurso hídrico, con una evaluación crítica de los modelos y protocolos de gestión actuales (Barría et al., 2021; MOP, 2013).

En la Figura 14 se presenta la demanda comprometida estimada por cuenca expresada en l/s, ejercida por los DAA SAG.

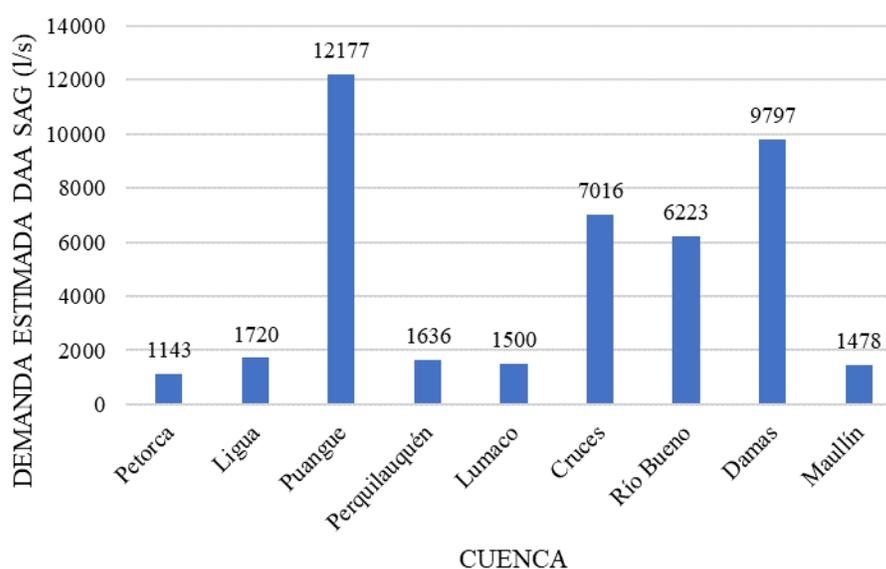


Figura 14. Demanda comprometida estimada por cuenca, ejercida por derechos de agua asociados a los proyectos SAG.

Para aquellos proyectos con DAA sin perfeccionar y sin unidad de medida aproximable a alguna equivalencia (acciones), se estimaron los caudales de extracción en base a la

superficie de riego de cada proyecto, asignando un consumo de 1 l/s por hectárea⁵. Esto permitió estimar la demanda comprometida ejercida por los DAA otorgados por el SAG en cada cuenca. Se debe tener en consideración que estos DAA fueron otorgados en su mayoría en la década de los 70, por lo que es incierto si en la actualidad se ejercen o no en su totalidad, limitando el análisis a una extracción o demanda potencial.

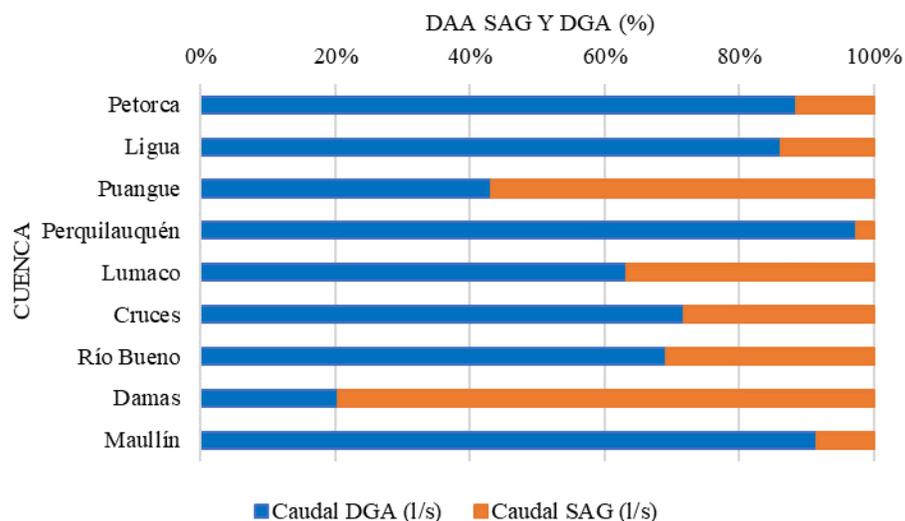


Figura 15. Comparación entre la demanda ejercida por DAA SAG y DAA DGA en cada cuenca.

Al comparar estos valores con los DAA otorgados por la DGA (Figura 15), se evidencia que los caudales de extracción potencial ejercida por los DAA SAG constituyen un porcentaje no menor de la totalidad de DAA otorgados en cada cuenca, siendo los casos de Puangue y Damas particularmente alarmantes; ya que al no estar contemplados estos derechos en el CPA, no se tiene un reconocimiento oficial y acabado de estas extracciones, lo que lleva a una subestimación del uso de agua en la cuenca, teniendo en cuenta que solo un 30% de los proyectos ubicados en Puangue se encuentran perfeccionados (equivalente a 12 de 39), y en Damas sólo un 7% (1 de 14). En las cuencas de Río Petorca y Ligua las extracciones potenciales ejercidas por los DAA SAG son de 1.143 y 1.720 l/s respectivamente (Figura 14). Estos caudales representan un 12 y 14% de la totalidad de extracciones. A pesar de que en estas cuencas se da la situación particular que todos estos derechos se encuentran perfeccionados, principalmente debido a su situación de escasez hídrica y sobreotorgamiento, y por lo tanto sí se encuentran considerados dentro del CPA, cabe destacar que el territorio ha sufrido un aumento exponencial de pozos en la década de los 90, relacionado con la previa asignación total de las aguas superficiales y una expansión de la agricultura a gran escala,

⁵ 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. Santiago: Ministerio de Obras Públicas, 2005. 5p. [Publicada en Diario Oficial el: 16 de diciembre de 2005].

llegando al punto en que se declaró zona de restricción para la entrega de nuevos DAA en la cuenca de Río Ligua. Sumado a esto, la escasez hídrica superficial ha provocado un déficit en el agua disponible de más del 300% en el Río Petorca en comparación con la década anterior, mientras que el Río Ligua presenta caudal sólo en ciertos tramos en la época de estiaje, dados por afloramientos de aguas subterráneas (Aedo, 2015; Fragkou et al., 2022; Rodríguez, 2014).

De acuerdo con Carvajal (2019), ciertas partes del acuífero de Puangue Alto podrían estarse viendo afectadas por la expansión de la cobertura arbórea frutal y los derechos otorgados de aguas subterráneas, existiendo sectores en los que se estima un exceso por más de un 50% de la explotación neta sustentable del acuífero. Dentro de los 12.177 l/s estimados para la extracción potencial ejercida por los DAA SAG, existen aproximadamente 8.425 l/s que no se encuentran perfeccionados. Al aplicar un coeficiente de uso de riego equivalente a 0.18, basado en valores utilizados por la DGA (2007), para una estimación aún más conservadora del uso de agua, el consumo real que se podría estar ejerciendo rodea los 1.500 l/s, lo que corresponde a más de un 16% del consumo contemplado en el CPA. Esto genera una situación cuya urgencia se ve enfatizada al encontrarse la cuenca con los derechos de aprovechamiento completamente otorgados, tanto superficiales como subterráneos, por lo que la regularización de los derechos SAG es necesario para cuantificar el volumen real de las extracciones y conocer el nivel efectivo de sobreotorgamiento.

Los datos de caudales generados en la Actualización del Balance Hídrico Nacional (en adelante BHN) reflejan la situación de estas cuencas. Al promediar los caudales registrados durante los meses de junio, julio y agosto (donde se registra el máximo anual) en estaciones ubicadas en la parte baja de las cuencas, se evidencia una tendencia a la disminución con el paso del tiempo (Figura 16).

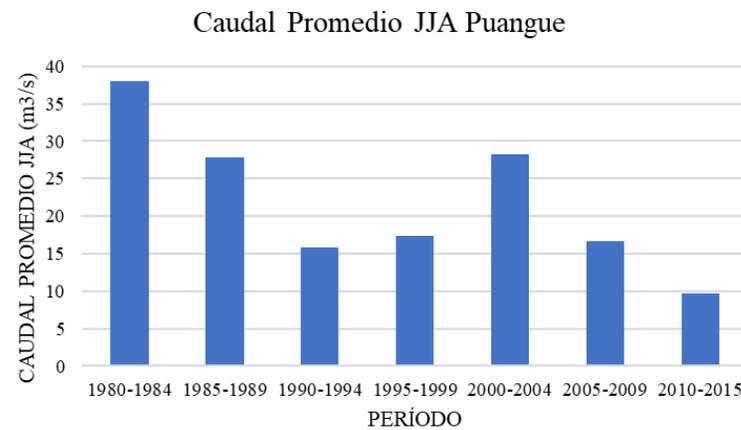
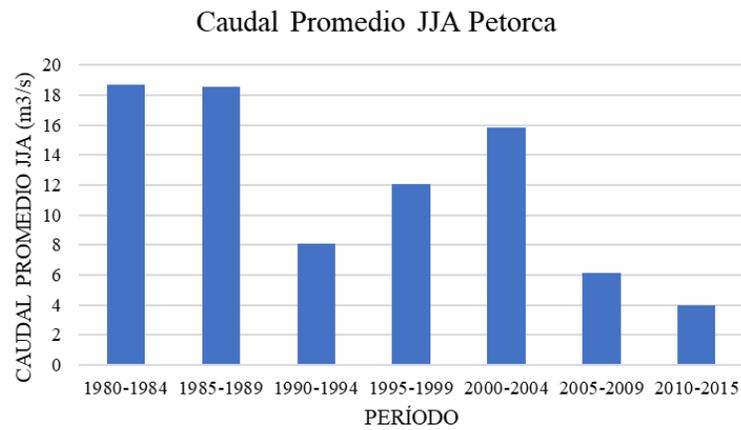
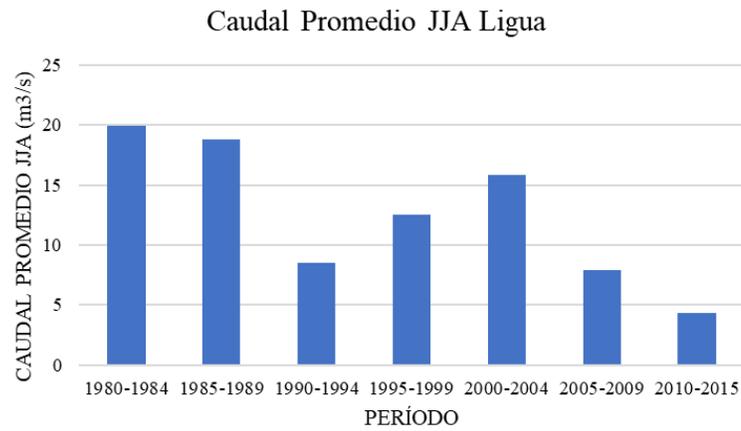


Figura 16. Caudal promedio para los meses de junio, julio y agosto, agrupados en períodos de 5 años entre 1980 y 2015, en las cuencas analizadas.

Se analizaron los valores de caudal de dichos meses para visualizar una parte del comportamiento del recurso hídrico y aproximarse a la variación en la disponibilidad, utilizando registros que datan de 1980 hasta el 2015. El caudal promedio de estos meses para

el periodo 2010-2015 disminuyó en un 78.3% respecto al periodo 1980-1984 en la cuenca de Ligua, mientras que para Petorca y Puangue la disminución fue un 78.7% y 74.6%, respectivamente.

Siguiendo con lo anterior, cabe destacar que, contrastando con los datos de caudales del BHN, los datos recolectados por la estación Petorca en Longotoma no superan el valor de 1 m³/s desde agosto del 2006. A pesar de los múltiples vacíos de registros en varios meses desde 2006 hasta el 2012, los pocos registros que hay muestran que por el río prácticamente ya no escurre agua, existiendo varios meses con valor 0 desde el año 2010, a excepción de septiembre y octubre del 2011 (0.01 m³/s), hasta que en el año 2012 cesaron los registros. Algo similar se observa en la estación Ligua en Quinquimo, donde desde octubre del 2008 se registran caudales que no superan los 2 m³/s, siendo los últimos meses registrados julio y agosto del 2010, con 0.05 y 0.01 m³/s respectivamente (Anexo 1).

En la cuenca de Perquillauquén los DAA SAG comprometen una extracción potencial de 1.636 l/s, equivalentes a menos del 3% del volumen total de los derechos SAG y DGA. A pesar de que dicha extracción no represente un porcentaje significativo, la cuenca se encuentra en una situación de sobreotorgamiento, donde el volumen de derechos otorgados excede el volumen disponible para otorgar, calculado con la metodología de la DGA (Barría et al., 2019). La incompletitud de los datos manejados por la DGA, la descoordinación interinstitucional y la información limitada, fraccionada e incluso contradictoria plantean severos desafíos para la gestión del recurso hídrico en la cuenca, y toma aún mayor importancia al momento de diseñar planes como el Plan Estratégico de Gestión Hídrica, que con el propósito de conocer la oferta y demanda y proponer una cartera de acciones futuras, debe contar con una base sólida de información que permita una toma de decisiones pertinente (Barría et al., 2019). Sumado a lo anterior, las proyecciones de cambio climático coinciden en una disminución de las precipitaciones, lo que resulta en menor escurrimiento superficial y menor recarga de acuíferos, que se encontrarían al límite de la sustentabilidad para el año 2050 (DGA, 2020). Además, ante la inexistencia de mecanismos públicos o privados para regular la demanda (salvo incentivos como la Ley N° 18450 de Fomento al Riego y Drenaje⁶), existe el riesgo que en el caso que aumente la demanda de agua, el consumo agrícola se dispare y se enfrenten nuevamente niveles de baja seguridad de abastecimiento.

A pesar de que en las cuencas situadas en el extremo sur del área de estudio (Lumaco, Cruces, Bueno, Damas y Maullín) los datos del BHN no muestran una disminución en el caudal de salida en los meses de diciembre, enero y febrero; la extracción potencial de los DAA SAG en las cuencas de Lumaco, Cruces, Bueno, Damas y Maullín representan un 36.7, 28.2, 30.9, 79.6 y 8.5% del volumen total otorgado, respectivamente. En las primeras cuatro, dicha extracción comprende magnitudes sensibles que podrían generar repercusiones en la disponibilidad del recurso hídrico, y al no estar consideradas en el CPA implicarían una

⁶ Ley N° 18450. Aprueba normas para el fomento de la inversión privada en obras de riego y drenaje. Santiago: Ministerio de Agricultura, 1985. 11p. [Publicada en Diario Oficial el: 30 de octubre de 1985].

subestimación de la demanda legal de agua en los actuales balances hídricos y planes estratégicos de la DGA. Considerando las falencias en los sistemas de información, control, fiscalización, monitoreo y vigilancia llevados por la DGA, que han sido fuentes de conflicto entre los usuarios y la autoridad, dichos volúmenes podrían implicar consecuencias negativas sobre las localidades y ecosistemas de cada cuenca, ya que cada una de estas presenta sus propias problemáticas socioambientales que aunque quizás no presenten una gravedad tan extrema como los casos de Ligua y Petorca, no deben dejarse desatendidas (Banco Mundial, 2011; Zelada, 2017).

Por ejemplo, en la comuna de Lumaco más de 800 familias se abastecen de agua mediante camiones aljibes debido a que alguna de las fuentes de agua de los APR (Programa de Agua Potable Rural, programa del MOP destinado al abastecimiento de agua potable en zonas rurales) se han visto agotadas en temporada seca (Gimeno, 2019). Por otro lado, en el humedal en el que culmina el río Cruces se han presenciado cambios en las poblaciones de luchecillo (*Egeria densa*) y una alta carga sedimentaria, mientras estudios demuestran que cambios en el uso de suelo de la subcuenca pueden gatillar bruscas alteraciones del estado ecológico del humedal, donde un aumento en la erosión (tala rasa de zonas forestales, cosechas de grandes extensiones agrícolas) puede incrementar el arrastre de sedimentos hacia los ríos, que en el humedal pasan a ser sólidos en suspensión que disminuyen la disponibilidad de luz para la fotosíntesis e incrementan la concentración de macronutrientes en el agua (Delgado et al., 2014; Ladera Sur, 2020).

En la cuenca de Bueno, los resultados del BHN no reflejan disminuciones anormales en el caudal entre 1980 y 2015, sin embargo, según informes de CNR (2021) y DGA (2018), en la cuenca se estaría generando una disminución en la disponibilidad de los recursos hídricos superficiales, particularmente en verano. También se ha visto reducida la disponibilidad legal del recurso considerando la gran cantidad de DAA superficiales en trámite. En cuanto a las aguas subterráneas, la DGA (2018) plantea que la explotación real de los acuíferos es baja respecto al volumen explotable de forma sustentable, pero que el volumen de DAA otorgados sí se encuentra cercano a la explotación sustentable, y recomienda precaución de no sobrepasar este umbral. Por otro lado, la CNR (2021) señala que la disponibilidad de agua subterránea en la cuenca sería baja, lo que ha llevado a que en abril de 2022 se declare área de restricción para nuevas extracciones de agua subterránea⁷. La CNR (2021) sugiere que en los próximos años se dará un aumento de la demanda bruta de agua del orden del 22.3%, asociado a la disminución de las precipitaciones efectivas en un 8.8% y aumento de la evapotranspiración potencial en un 8.7%, lo que llevaría a una disminución de la superficie factible de ser regada. Además, Oppliger et al. (2019) señalan que en la parte baja de la

⁷ Resolución N°2. Declara área de restricción para nuevas extracciones de agua subterránea en sector hidrogeológico de aprovechamiento común Río Bueno medio, en las regiones de Los Ríos y Los Lagos. Santiago: Ministerio de Obras Públicas, 2022. 4p. [Publicada en Diario Oficial el: 18 de abril de 2022].

cuenca los pobladores han experimentado escasez de agua y disminución de caudales en esteros y pozos de agua, principalmente en época estival.

En el Río Damas se ha determinado la presencia de contaminantes y químicos industriales en el cauce, encontrándose principalmente coliformes fecales, además de fósforo y nitrógeno total que se relacionan con las disminuciones de oxígeno disuelto y pérdida de biodiversidad, llegando a encontrarse en algunas estaciones localizadas en el núcleo urbano de la ciudad de Osorno concentraciones de coliformes fecales que sobrepasan hasta 80 veces los umbrales establecidos en la normativa (Fuentes et al., 2021; Hermosilla & Rival, 2022). Se ha identificado la situación de emergencia ambiental en cinco de estas estaciones, según lo establecido en la Norma de Calidad Primaria, lo que pone en inminente riesgo la salud de las personas que realizan actividades de contacto directo en el Río Damas, como por ejemplo los bañistas en la época de verano. La actividad agrícola y ganadera en la cuenca se ha expandido hasta abarcar más de un 65% de su superficie y se relaciona con un incremento en las concentraciones de nutrientes, bacterias y sedimentos en los cuerpos de agua por aportes como efluentes de mataderos, piscicultura, lecherías y fuentes difusas provenientes de la actividad agrícola y ganadera, lo que ante la falta de control de fuentes de contaminantes, ha llevado a que el Río Damas lleve siendo impactado por más de 30 años, bajo un marco regulatorio deficiente que ha provocado que las políticas públicas referentes a la protección de la calidad de sus aguas sean ineficaces (Figuroa et al., 2003; Fuentes et al., 2021). Frente a esto, se ha planteado una estrategia de restauración con líneas de acción que incluyen la prevención de deterioros adicionales. Siguiendo con esta línea, los DAA SAG otorgados en la cuenca constituyen una extracción potencial importante y de gran volumen en comparación a la situación de las demás cuencas, y que al no estar considerada en los registros legales, podría obstaculizar la búsqueda de fuentes de contaminantes. Más aún considerando que de los proyectos ubicados en la cuenca, sólo uno presenta sus derechos perfeccionados (con extracciones que suman alrededor de 20 l/s), mientras que el resto no cuenta con información respecto al uso efectivo de agua, pero al estimar el caudal de consumo este asciende por sobre los 9.000 l/s, o 1.760 l/s si se aplica el coeficiente de uso. Dichas extracciones, en caso de que estén siendo efectivas en la actualidad, podrían implicar una participación en la contaminación de la cuenca, al tratarse de proyectos agrícolas, por lo que se hace urgente una revisión de estos derechos para conocer su estado actual.

Mientras tanto, en la cuenca de Maullín los DAA SAG representan aproximadamente un 9% de la totalidad de DAA otorgados, lo que corresponde a una extracción potencial de 1.478 l/s. A pesar de ser esta una cuenca con alta disponibilidad de agua, no se encuentra exenta de amenazas a la seguridad hídrica, tales como la contaminación y malas prácticas agro-ganaderas, existiendo más de diez industrias que descargan sus RILes al río Maullín o sus afluentes, lo que se suma al proceso de eutrofización que actualmente ha tomado lugar en el río y provoca la acumulación de sedimentos en el fondo, generando embancamiento en el estuario y pudiendo provocar pérdida de biodiversidad, como se ha visto con la disminución drástica de poblaciones de peces nativos de agua dulce (Almonacid & Araos, 2021; Fundación Conservación Marina & Manomet, 2021). Ante esto, no disminuye la importancia

de regularizar los DAA SAG, a manera de conocer los impactos que tienen estos sobre la disponibilidad de agua y el balance hídrico en la cuenca.

Respecto a los datos del BHN y sin desmerecer su carácter oficial, en el estudio de Vargas et al., (2017), “Actualización Balance Hídrico en Chile. Metodología y Desafíos de Modelación”, se describen las limitaciones dadas por la incertidumbre en muchas de las variables analizadas para la modelación, tales como la baja disponibilidad y escala temporal de datos meteorológicos, la resolución espacial de la información de uso de suelos, y la incertidumbre respecto a las extracciones efectivas de agua. Debido a estos y otros factores, los autores plantean que es necesaria una constante revisión de los resultados obtenidos. Es importante mencionar que al analizar los datos recolectados por las estaciones fluviométricas en estas cuencas, se observan leves disminuciones en el caudal de salida con el paso de los años, exceptuando a la cuenca de Bueno, que ha permanecido estable (Apéndice 1).

Relación entre DAA otorgados por el SAG componentes del balance hídrico a escala de cuenca

Se calcularon índices de intervención antrópica que relacionan la demanda potencial ejercida por los DAA de los proyectos SAG con la disponibilidad de agua. Esta última abordada (1) a partir del caudal de salida de la cuenca (Q_{85} , basado en el método utilizado por la DGA) y (2) del agua teóricamente disponible en la cuenca, considerando su ingreso mediante las precipitaciones y restando la pérdida por procesos de evapotranspiración (PP-ET), también con una probabilidad de excedencia del 85%.

Los resultados del primer índice (Cuadro 1), calculado para el período 1979-2009, indican que, al considerar los DAA otorgados por el SAG como única extracción, las cuencas de Ligua y Puangue ya se encontrarían sobreotorgadas; esta última sobrepasando ampliamente el umbral de 1 ($IIA > 4$). Al considerar la totalidad de DAA otorgados, tanto por la DGA como por el SAG, 4 de las 9 cuencas se encuentran sobreotorgadas (Petorca, Ligua, Perquillauquén y Estero Puangue), todas ellas ubicadas de la zona centro del país. De las cuencas de la macrozona sur se encuentra en riesgo de sobreotorgamiento la cuenca de Damas, que coincide con ser la cuenca de la zona con el mayor volumen de derechos SAG. En las figuras 17 y 18 se observa esta tendencia espacial, donde las cuencas de color rojo se encuentran sobreotorgadas y las de color naranja en riesgo de sobreotorgamiento.

Cuadro 1. Índice de intervención antrópica calculado a partir del Q_{85} (IIA_Q), considerando DAA SAG y DAA totales (SAG más DGA).

Cuenca	DAA SAG	DAA DGA	Q_{ecol}	Q_{85}	IIA_Q DAA SAG	IIA_Q DAA total
	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s		
Petorca	1,14	8,76	0,40	1,78	0,87	5,81
Ligua	1,72	10,76	0,54	2,07	1,09	6,29
Puangue	12,18	9,25	0,74	3,05	4,24	7,27
Perq.	1,64	61,25	3,92	30,46	0,18	2,19
Lumaco	1,50	2,58	2,38	15,53	0,25	0,42
Cruces	7,02	17,87	11,97	75,49	0,25	0,49
Bueno	6,22	13,89	51,69	255,52	0,23	0,28
Damas	9,80	2,51	4,30	20,68	0,68	0,8
Maullín	1,48	15,89	20,98	100,93	0,22	0,38

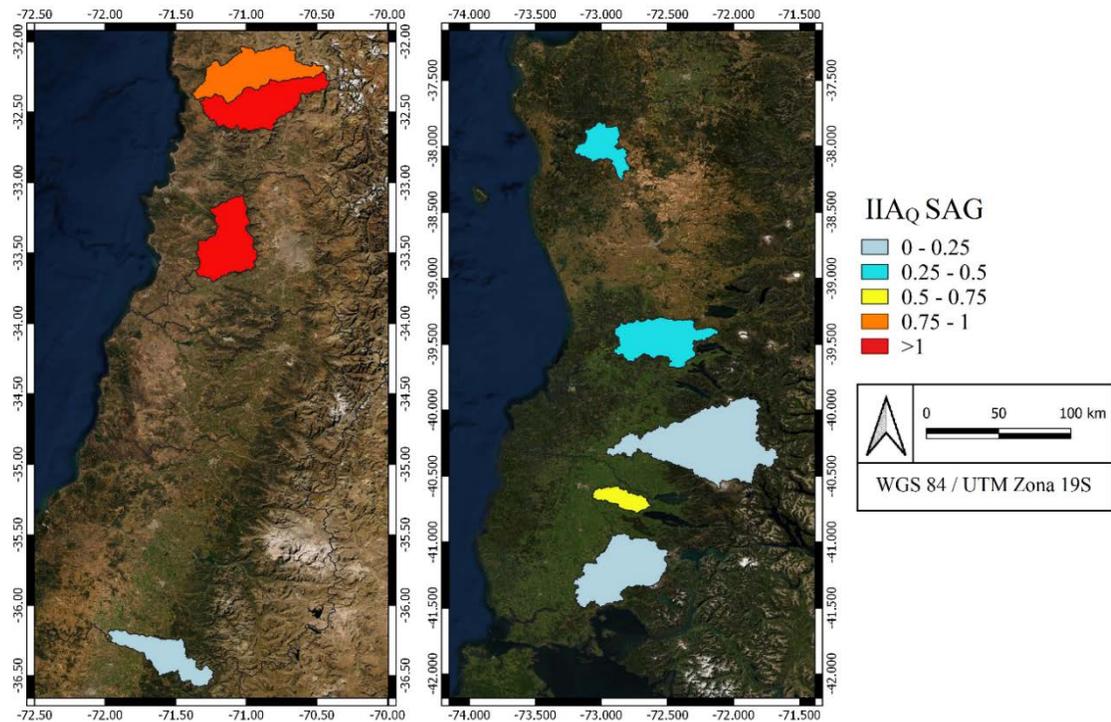


Figura 17. Resultados del IIA_Q en las cuencas analizadas, considerando DAA SAG.

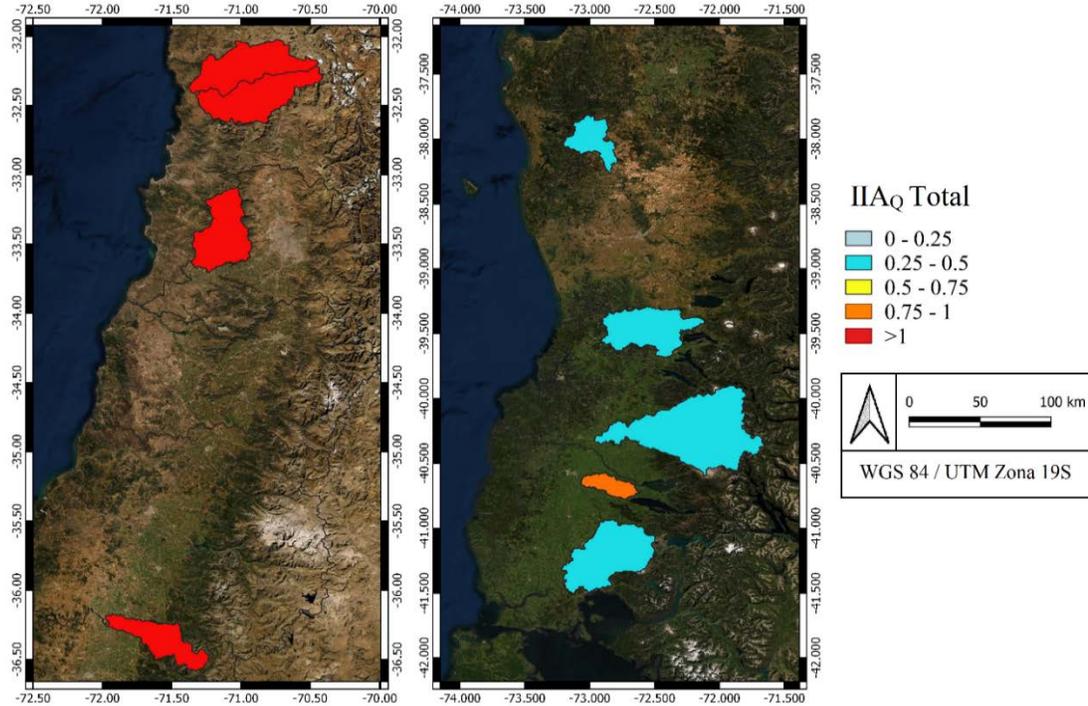


Figura 18. Resultados del IIA_Q en las cuencas analizadas, considerando DAA totales.

Los resultados del segundo índice IIA_{PP-ET} (Cuadro 2), para el período 2003-2015, fueron calculados utilizando la superficie de la cuenca para convertir los datos de m³/s a mm, y se analizan en dos partes. En primer lugar, resaltan las cuencas de Petorca, Ligua y Puangue con valores negativos, esto se debe a los valores negativos que presenta el cálculo de (PP-ET)₈₅, lo que se relaciona en parte a los cambios que se han registrado (y proyectado para el futuro) en las tendencias climáticas; disminución de las precipitaciones y aumentos de la temperatura media. El aumento de la temperatura ha provocado aumentos en la evapotranspiración, lo que sumado a los déficits de precipitación provoca una disminución de la escorrentía superficial, percolación y descarga, disminuyendo así la disponibilidad hídrica. Un aumento anormal en la evapotranspiración también se relaciona a un cambio en las condiciones ambientales, llevándolas a un estado de clima árido e incluso hiper-árido en algunos casos (Martínez-Retureta et al., 2021; UNESCO, 2007). Teniendo esto en consideración junto con los resultados del IIA_Q, se estableció que las cuencas con IIA negativo se encuentran sobretorgadas. Por otro lado, si se considera como única fuente de extracción los DAA otorgados por el SAG, la cuenca de Damas ya se encontraría en alto riesgo de sobretorgamiento. Al considerar la totalidad de DAA otorgados esta se encontraría sobretorgada junto con la cuenca de Perquilauquén. Las cuencas de Lumaco, Cruces, Bueno y Maullín presentan valores más bajos que no implican un riesgo de sobretorgamiento (figuras 19 y 20).

Cuadro 2. Índice de intervención antrópica calculado a partir de $(PP-ET)_{85}$ (II_{PP-ET}), considerando DAA SAG y DAA totales (SAG más DGA).

Cuenca	DAA SAG	DAA DGA	Q_{ecol}	$(PP-ET)_{85}$	Índice SAG	Índice DAA total
	mm	mm	mm	mm		
Petorca	18,29	140,34	7,64	-17,06	-1,52	-9,75
Ligua	27,79	173,90	9,03	-82,81	-0,44	-2,54
Puangue	224,12	170,20	10,67	-188,26	-1,25	-2,15
Perq.	42,68	1597,57	83,44	487,76	0,26	3,53
Lumaco	55,46	95,50	90,90	455,38	0,32	0,53
Cruces	122,74	312,63	211,69	1212,88	0,28	0,53
Bueno	47,19	105,34	392,60	1891,88	0,23	0,29
Damas	661,89	169,71	285,05	1016,54	0,93	1,09
Mauflín	20,45	219,98	285,08	1490,08	0,21	0,35

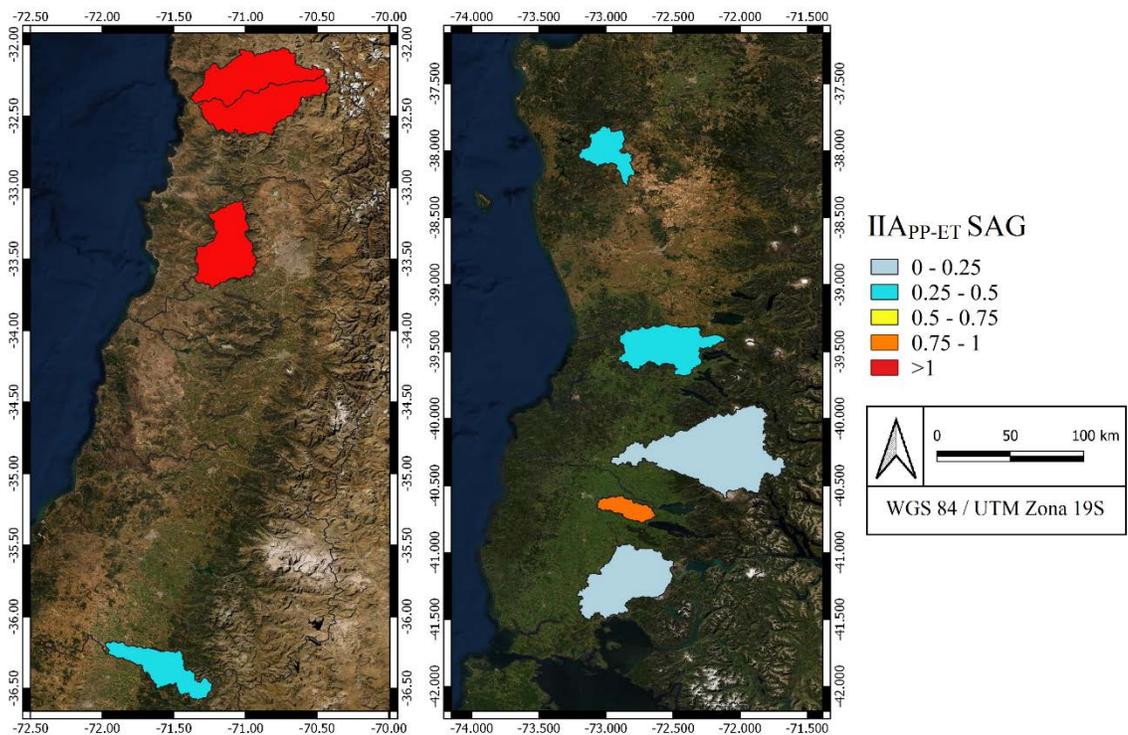


Figura 19. Resultados del II_{APP-ET} en las cuencas analizadas, considerando DAA SAG.

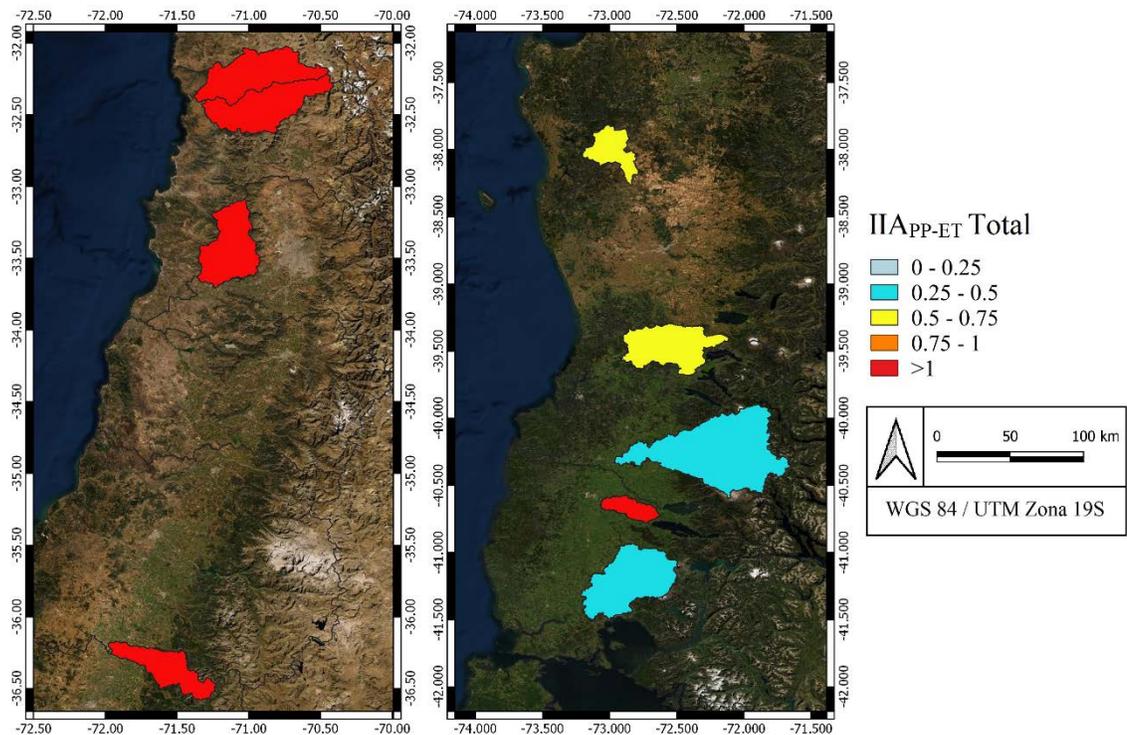


Figura 20. Resultados del II_{APP-ET} en las cuencas analizadas, considerando DAA totales.

Desde 1990 se ha registrado un aumento sustancial en las solicitudes de DAA subterráneos en zonas donde el recurso superficial se ha vuelto escaso, relacionado al crecimiento económico del país, lo que ha generado en la actualidad un sobreotorgamiento de DAA subterráneos desde la Región de Arica y Parinacota hasta la Región de O'Higgins, resultando en acuíferos sobreexplotados y conflictos entre la población local (Hearne & Donoso, 2014; Valdés-Pineda *et al.*, 2014; MOP, 2013). En la Figura 21 se observa que el volumen otorgado de DAA superficiales ha disminuido drásticamente su ritmo de crecimiento en todas las cuencas a excepción de Maullín, que continúa con una tendencia al alza. En las demás cuencas se observan eventos más puntuales en los que ha aumentado el volumen otorgado, presentando una notoria disminución en su crecimiento en los años 90 las cuencas de Ligua, Puangue, Perquillauquén, Lumaco, Cruces y Bueno, mientras que en Petorca y Damas el crecimiento se ha estancado en años más recientes (2002 y 2017 aproximadamente).

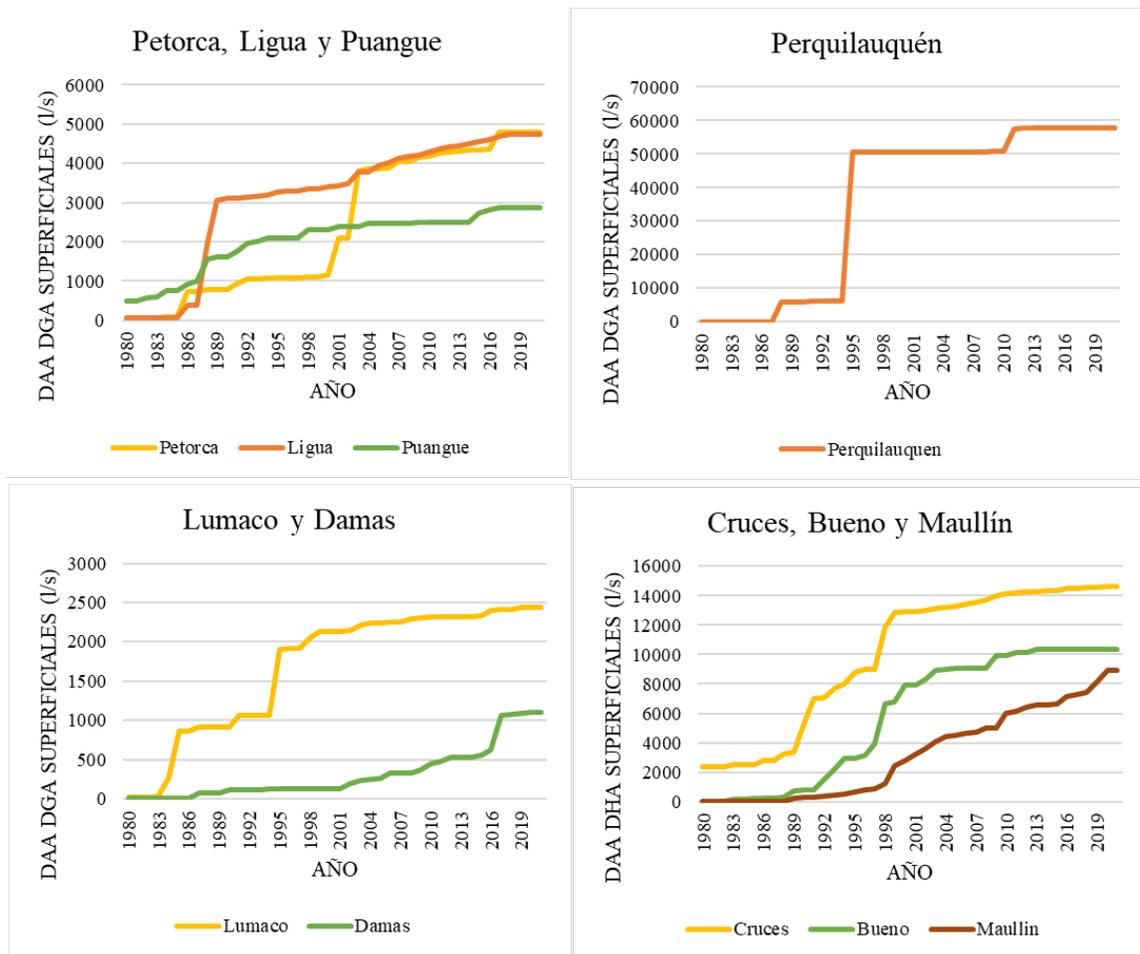


Figura 21. Caudal DAA DGA superficiales acumulado en el tiempo.

En la Figura 22 se observa que el otorgamiento de DAA subterráneos se ha estancado sólo en las cuencas de Ligua, Petorca, y de manera más paulatina en Puangue. Para las demás cuencas este volumen continúa con una tendencia al alza, destacándose la cuenca de Lumaco con una reciente incursión en la extracción de aguas subterráneas, que ha comenzado recién en el año 2008, y la cuenca de Maullín, debido al aumento sostenido en el volumen de DAA subterráneos, que ha llegado a duplicar el volumen de las cuencas vecinas como Cruces y Bueno, y que se mantiene hasta la actualidad.

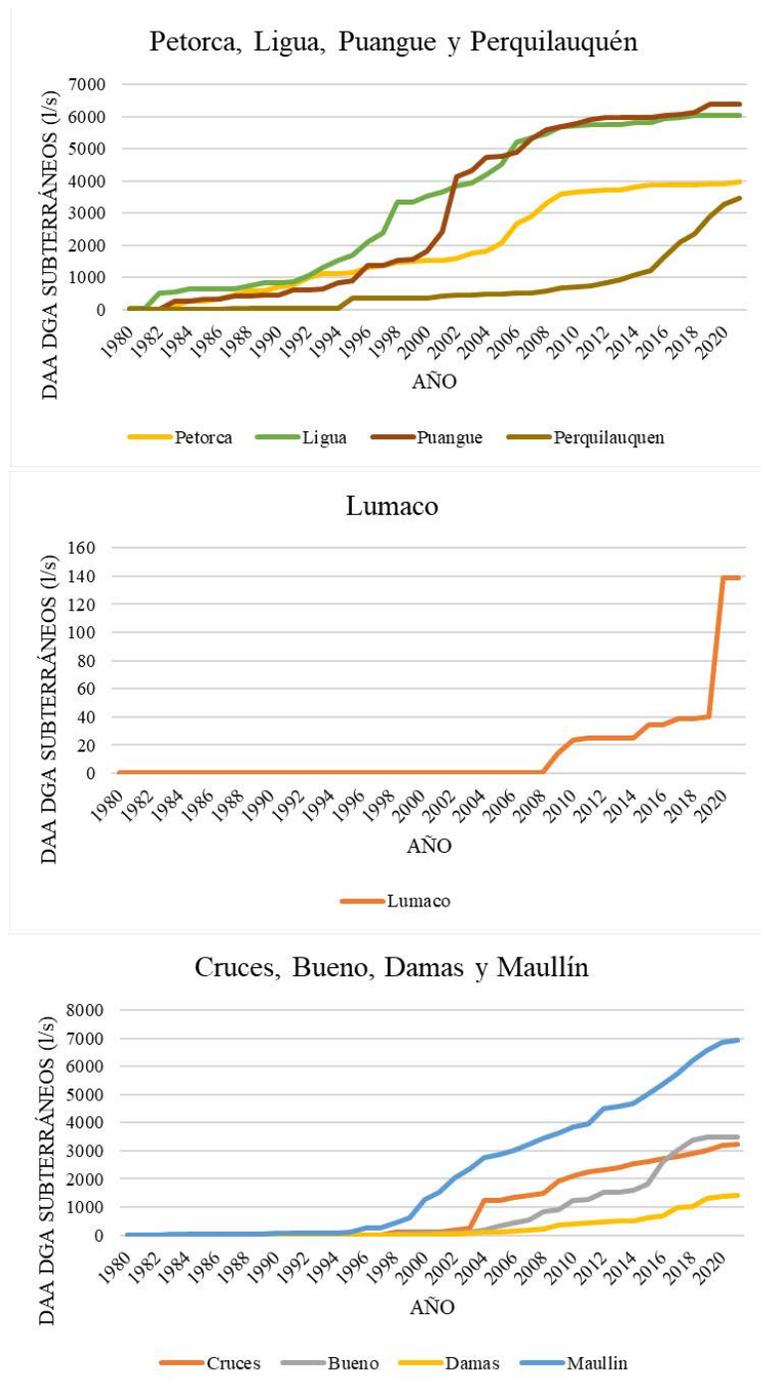


Figura 22. Caudal DAA DGA subterráneos acumulados en el tiempo.

El crecimiento sostenido del otorgamiento de DAA, especialmente aquellos de naturaleza subterránea, en las cuencas de la zona sur del país, puede asociarse a la alta disponibilidad física que presenta el territorio. Sin embargo, las declaraciones de pobladores en Bueno respecto a disminuciones en los caudales y el reciente decreto de escasez hídrica en la Región de Los Lagos denotan bajos niveles de seguridad hídrica que deben ser abordados mediante

una gestión eficiente del recurso, lo que requiere mejorar la incorporación de información en torno al uso del agua para reducir incertidumbres en los balances y estudios de disponibilidad. Esto cobra aún más importancia para el país si se considera el enorme presupuesto administrado por organismos como el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), con un presupuesto que se ha duplicado en los últimos tres años, alcanzando los 32 mil millones de pesos, la CNR, cuyo presupuesto se ha duplicado en los dos años previos a 2021, disponiendo de 135 mil millones de pesos, y el Ministerio de Agricultura (MINAGRI), que en el año 2021 dispuso 8 mil millones de pesos como fondo de emergencia para 146 comunas afectadas entre la Región de Coquimbo y Los Lagos, destinados a la toma de medidas por parte de los productores de forma de atender sus necesidades (MINAGRI, 2021). Debido a lo anterior y a los procedimientos de la DGA para el otorgamiento de nuevos derechos, que no consideran tendencias climáticas no estacionarias, es que los DAA otorgados por el SAG deben ser regularizados en el corto plazo, para que exista pleno reconocimiento legal y técnico en torno a la existencia y ejercicio de estos derechos, aportando así información valiosa a la toma de decisiones y/o formulación de planes, estrategias y políticas públicas.

CONCLUSIONES

Los DAA SAG se encuentran distribuidos a lo largo de todo el territorio nacional, sumando un total de aproximadamente 1.401 proyectos. Se desconoce el volumen de extracción de agua asociado a la totalidad de estos, por lo que se recomienda una revisión en un futuro cercano para su regularización e incorporación a los registros públicos, lo que a partir de la entrada en vigor de la reforma al CA se convierte en una obligación. De los 100 proyectos revisados y distribuidos en las cuencas de estudio, aquellos ubicados en las cuencas de la zona centro presentan información respecto al volumen de agua a consumir, y en particular en el caso de las cuencas de Petorca y Ligua, todos los derechos están regularizados y perfeccionados. Sin embargo, 33 de 57 proyectos distribuidos en las cuencas de la zona central (Petorca, Ligua, Puangue y Perquillauquén) solo mencionan las fuentes de agua, sin especificar el volumen a extraer, dejando el análisis limitado a estimaciones. Asimismo, los proyectos de las cuencas de la zona sur del país presentan una cantidad mínima de información en sus documentos y planos y no abordan en lo absoluto las fuentes o volúmenes de agua a utilizar. Esto, se presume, puede deberse a la alta disponibilidad de agua en la zona y a la antigüedad y contexto en el que se establecieron los proyectos, donde se priorizaba el desarrollo económico.

La demanda hídrica potencial asociada a los DAA otorgados por el SAG representa un porcentaje importante del agua extraída en las cuencas analizadas, particularmente en Puangue (56%) y Damas (79%), donde este volumen llega incluso a exceder al otorgado por la DGA. Al no estar registrados en el CPA, conllevan una subestimación del consumo de agua al momento de realizar estudios de disponibilidad para el otorgamiento de nuevos DAA y comprometen la toma de decisiones a nivel administrativo al no estar contemplados por medios legales. En cuanto al resto de las cuencas, cada una de ellas presenta volúmenes de extracción diferentes asociados a los derechos SAG, no obstante, todas presentan problemáticas y/o conflictos en torno al recurso hídrico, como en el caso de Bueno y Lumaco, con localidades que reciben agua potable mediante camiones aljibe y presentan una escasez que se ve agravada en la época estival. Asimismo, Perquillauquén, que a pesar de presentar una baja demanda potencial asociada a los DAA SAG, se encuentra afectada por un alto nivel de sobreotorgamiento.

Al contrastar los volúmenes otorgados, tanto por el SAG como por la DGA, con componentes del balance hídrico como el Q85 y (PP-ET)85, estableciendo los IIA, queda en evidencia el nivel de sobreotorgamiento que ha tomado lugar principalmente en las cuencas de Petorca, Ligua, Puangue y Perquillauquén, y el riesgo que existe en Damas de que se desencadene la misma situación, en parte dada por la disminución de la escorrentía y precipitaciones. Se evidencia también un aumento sostenido en el volumen de DAA otorgados por la DGA, principalmente en las cuencas del sur del país, donde aquellos de naturaleza subterránea presentan una tendencia que sugiere que se mantendrían al alza.

Finalmente, cabe señalar que dentro de las principales limitantes para la estimación y caracterización de la demanda potencial ejercida por los DAA SAG, se encuentra la poca información contenida en los documentos y planos de los proyectos, que corresponden a la única fuente de información respecto a su extensión, actividad productiva y consumo de agua. Sólo en las cuencas de Petorca y Ligua fue posible determinar de manera más precisa la demanda ejercida por estos derechos, mientras que para el resto de las cuencas se incorporan estimaciones basadas en la superficie de los proyectos y un uso teórico de agua de 1 l/s/ha. Por otro lado, la baja cantidad de registros fluviométricos también dificulta estimar la disponibilidad de agua y los niveles de sobreotorgamiento, ya que como se mencionó anteriormente estos cálculos fueron realizados a partir de datos generados por el BHN al ser estos de carácter oficial, sin embargo, al contrastar éstos con los registros observados que se encuentran disponibles queda en duda la correlación y exactitud de estos datos. Es por esto que se enfatiza la necesidad de mejorar los registros, tanto de datos históricos como de DAA otorgados, de manera que la labor institucional de gestionar del recurso hídrico, con toda su importancia intrínseca, sea llevada a cabo de manera responsable e informada.

ANEXOS

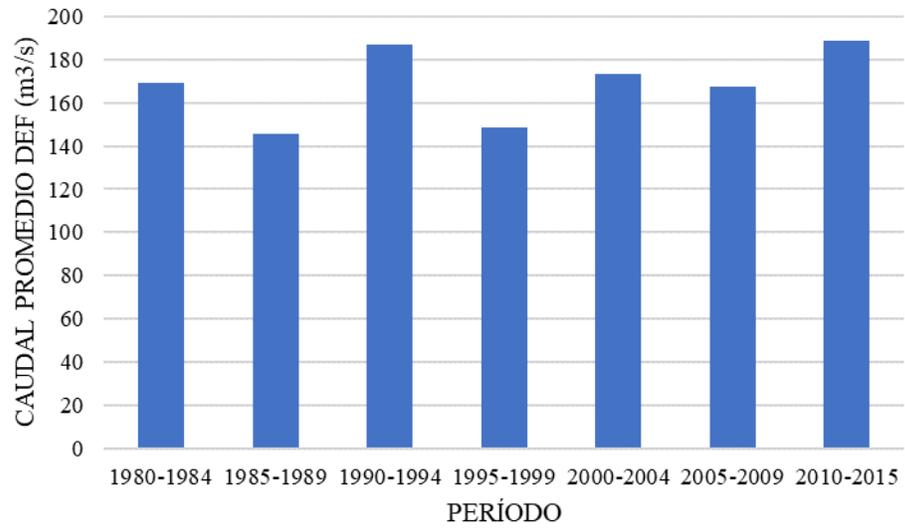
Anexo I. Caudal observado por las estaciones Petorca en Longotoma y Ligua en Quinquimo.

Fecha	Caudal observado Petorca (m3/s)	Fecha	Caudal observado Ligua (m3/s)
Apr-09	0	Sep-07	0.08
May-09	-	Oct-07	0.04
Jun-09	-	Nov-07	0.01
Jul-09	-	Dec-07	-
Aug-09	0.11	Jan-08	-
Sep-09	0.05	Feb-08	-
Oct-09	-	Mar-08	-
Nov-09	-	Apr-08	-
Dec-09	-	May-08	-
Jan-10	-	Jun-08	-
Feb-10	-	Jul-08	-
Mar-10	-	Aug-08	11.59
Apr-10	-	Sep-08	2.73
May-10	-	Oct-08	1.07
Jun-10	-	Nov-08	1.09
Jul-10	0	Dec-08	0.1
Aug-10	0	Jan-09	-
Sep-10	0	Feb-09	-
Oct-10	-	Mar-09	-
Nov-10	0	Apr-09	-
Dec-10	0	May-09	-
Jan-11	0	Jun-09	0.06
Feb-11	0	Jul-09	0.18
Mar-11	0	Aug-09	1.1
Apr-11	0	Sep-09	1.16
May-11	0	Oct-09	0.37
Jun-11	0	Nov-09	0.05
Jul-11	0	Dec-09	0
Aug-11	-	Jan-10	-
Sep-11	0.01	Feb-10	-
Oct-11	0.01	Mar-10	-
Nov-11	0	Apr-10	-
Dec-11	-	May-10	-
Jan-12	0	Jun-10	0.02
Feb-12	0	Jul-10	0.05
Mar-12	0	Aug-10	0.01

Fuente: Dirección General de Aguas (DGA). 2021.

APÉNDICES

Apéndice I. Caudal promedio para los meses de diciembre, enero y febrero, agrupados en períodos de 5 años entre 1980 y 2015, en la cuenca de Río Bueno.



BIBLIOGRAFÍA

- Aedo, M. V. (2015). ESTUDIO DE LA PROPIEDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA CORRESPONDIENTE AL ACUÍFERO DEL RÍO LA LIGUA, REGIÓN DE VALPARAÍSO, CHILE (Universidad de Chile). Universidad de Chile, Santiago. Recuperado a partir de <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/150758/Estudio-de-la-propiedad-del-agua-subterranea-correspondiente-al-acuifero-del-R%C3%ADo-La-Ligua-Region-de-Valparaiso-Chile.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aldunce, P., Araya, D., Sapiain, R., Ramos, I., Lillo, G., Urquiza, A., & Garreaud, R. (2017). Local perception of drought impacts in a changing climate: The mega-drought in central Chile. *Sustainability (Switzerland)*, 9(11). <https://doi.org/10.3390/su9112053>
- Almonacid, J., & Araos, F. (2021). Confluencias del río Maullín: modos de vida locales y conservación de la biodiversidad. *Revista LIDER*, 23(38), 64–90. <https://doi.org/10.32735/s0719-5265202138329>
- Alvarez-Garreton, C., Mendoza, P. A., Pablo Boisier, J., Addor, N., Galleguillos, M., Zambrano-Bigiarini, M., ... Ayala, A. (2018). The CAMELS-CL dataset: Catchment attributes and meteorology for large sample studies-Chile dataset. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(11), 5817–5846. <https://doi.org/10.5194/hess-22-5817-2018>
- Banco Mundial. (2011). CHILE Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos. Recuperado a partir de https://dga.mop.gob.cl/eventos/Diagnostico%20gestion%20de%20recursos%20hidricos%20en%20Chile_Banco%20Mundial.pdf
- Barría, P., Chadwick, C., Ocampo, A., Díaz, R., Galleguillos, M., Poblete, D., ... Vivero, P. (2020). Balance Hídrico en la cuenca Laguna de Aculeo. En Maval SpA (Ed.), *Análisis del Balance Hídrico en la cuenca Laguna de Aculeo* (pp. 30–65). Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza de la Universidad de Chile. Recuperado a partir de www.giih.uchile.cl
- Barría, P., Rojas, M., Moraga, P., Muñoz, A., Bozkurt, D., & Alvarez-Garreton, C. (2019). Anthropocene and streamflow: Long-term perspective of streamflow variability and water rights. *Elementa*, 7(2). <https://doi.org/10.1525/elementa.340>

- Barría, P., Sandoval, I. B., Guzman, C., Chadwick, C., Alvarez-Garreton, C., Díaz-Vasconcellos, R., ... Fuster, R. (2021). Water allocation under climate change: A diagnosis of the Chilean system. *Elementa*, 9(1). <https://doi.org/10.1525/elementa.2020.00131>
- Boisier, J. P., Rondanelli, R., Garreaud, R. D., & Muñoz, F. (2016). Anthropogenic and natural contributions to the Southeast Pacific precipitation decline and recent megadrought in central Chile. *Geophysical Research Letters*, 43(1), 413–421. <https://doi.org/10.1002/2015GL067265>
- Budds, J. (2004). Power, Nature and Neoliberalism: The Political Ecology of Water in Chile. *Singapore Journal of Tropical Geography*, 25(3), 2–22. Recuperado a partir de https://www.researchgate.net/publication/42792524_Power_Nature_and_Neoliberalism_The_Political_Ecology_of_Water_in_Chile
- Carvajal, C. (2019). MEJORAMIENTO DE LOS MODELOS CONCEPTUAL GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO DEL SECTOR ACUÍFERO DE PUANGUE ALTO, CURACAVÍ, REGIÓN METROPOLITANA (Universidad Andrés Bello). Universidad Andrés Bello, Santiago. Recuperado a partir de https://www.researchgate.net/profile/Cristian-Carvajal-3/publication/354960607_Mejoramiento_de_los_modelos_conceptual_geologico_e_hidrogeologico_del_sector_acuifero_de_Puangue_Alto_Curacavi_Region_Metropolitana/links/6155c6f661a8f466708f8f00/Mejoramiento-de-los-modelos-conceptual-geologico-e-hidrogeologico-del-sector-acuifero-de-Puangue-Alto-Curacavi-Region-Metropolitana.pdf
- Comisión Nacional de Riego. (2003). DIAGNÓSTICO ACTUAL DEL RIEGO Y DRENAJE EN CHILE Y SU PROYECCIÓN. Santiago.
- Comisión Nacional de Riego. (2021). DIAGNÓSTICO INTEGRAL DE RIEGO, CUENCA RÍO BUENO. Recuperado a partir de https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/147682/CNR-0544_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Contreras, S. (2020). REGULARIZACIÓN Y PERFECCIONAMIENTO DE DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS EN CHILE (Universidad de Chile). Universidad de Chile, Santiago, Chile. Recuperado a partir de <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/178002/Regularizacion-y-perfeccion-de-derechos-de-aprovechamiento-de-aguas-en-Chile.pdf?sequence=1>

- Delgado, L. E., Tironi, A., Vila, I., Verardi, G., Ibáñez, C., Agüero, B., & Marín, V. H. (2014). El humedal del Río Cruces, Valdivia, Chile: Una síntesis ecosistémica. *Latin American Journal of Aquatic Research*, Vol. 42, pp. 937–949. Escuela de Ciencias del Mar. <https://doi.org/10.3856/vol42-issue5-fulltext-1>
- Dirección General de Aguas. (1993). DIAGNÓSTICO, DISPONIBILIDAD Y REQUERIMIENTOS DE AGUA EN LA REGIÓN METROPOLITANA. Recuperado a partir de <https://snia.mop.gob.cl/sad/ADM529.pdf>
- Dirección General de Aguas. (2004). DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE LOS CURSOS Y CUERPOS DE AGUA SEGÚN OBJETIVOS DE CALIDAD. Recuperado a partir de <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/Maullin.pdf>
- Dirección General de Aguas. (2006). EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS PETORCA y LA LIGUA Vª REGIÓN. Santiago. Recuperado a partir de <https://snia.mop.gob.cl/sad/SUP4496.pdf>
- Dirección General de Aguas. (2007). EVALUACIÓN DE LA EXPLOTACIÓN MÁXIMA SUSTENTABLE DEL ACUÍFERO PUANGUE-MELIPILLA. Santiago. Recuperado a partir de <https://snia.mop.gob.cl/sad/SUB4828.pdf>
- Dirección General de Aguas. (2008). MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS. Santiago. Recuperado a partir de https://dga.mop.gob.cl/legislacionynormas/normas/Reglamentos/proced_darh.pdf
- Dirección General de Aguas. (2013). RECOPIACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE INFORMACIÓN DE DERECHOS DE AGUA OTORGADOS POR EL SAG. Santiago. Recuperado a partir de <https://www.canalistas.cl/wp-content/uploads/2019/05/INFORME-FINAL.pdf>
- Dirección General de Aguas. (2015). APOYO A LA CONSTITUCIÓN DE COMUNIDADES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LOS ACUÍFEROS DEL RÍO LA LIGUA Y RÍO PETORCA. Santiago. Recuperado a partir de https://snia.mop.gob.cl/sad/ADM5590_resumen.pdf
- Dirección General de Aguas. (2017). ACTUALIZACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO NACIONAL. Santiago. Recuperado a partir de <https://snia.mop.gob.cl/sad/REH5796v1.pdf>

- Dirección General de Aguas. (2020). PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL MAULE. Santiago. Recuperado a partir de <https://snia.mop.gob.cl/sad/ADM5907.pdf>
- Dirección General de Aguas. (2018). SECTORIZACIÓN Y DETERMINACIÓN DE OFERTA HÍDRICA DEL ACUÍFERO DEL RÍO BUENO. Santiago. Recuperado a partir de <https://snia.mop.gob.cl/sad/SUB5804.pdf>
- Figueroa, R., Valdovinos, C., Araya, E., & Parra, O. (2003). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 76, 275–285. Recuperado a partir de <http://www2.udec.cl/~rfigueroa/PDF/WQInvertebrates.pdf>
- Fragkou, M.-C., Monsalve-Tapia, T., Pereira-Roa, V., & Bolados-Arratia, M. (2022). Abastecimiento de agua potable por camiones aljibe durante la megasequía. Un análisis hidrosocial de la provincia de Petorca, Chile. *EURE*, 48(145). <https://doi.org/10.7764/eure.48.145.04>
- Fuentes, N., Ríos-Henríquez, C., & Arriagada, A. (2021). Diagnóstico ambiental “Propuestas para Programas de Vigilancia de la calidad primaria y secundaria de las aguas de los ríos Rahue y Damas”.
- Fundación Conservación Marina, & Manomet. (2021). Estado y resguardo de los servicios ecosistémicos en el Santuario de la Naturaleza “humedales del río Maullín”. Santiago. Recuperado a partir de https://whsrn.org/wp-content/uploads/2021/05/reporte-maullin_ok.pdf
- Garreaud, R. D., Alvarez-Garretón, C., Barichivich, J., Pablo Boisier, J., Christie, D., Galleguillos, M., ... Zambrano-Bigiarini, M. (2017). The 2010-2015 megadrought in central Chile: Impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(12), 6307–6327. <https://doi.org/10.5194/hess-21-6307-2017>
- Gimeno, F. (2019). EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA HIDROLÓGICA BAJO DISTINTOS ESCENARIOS DE USO DE SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO LUMACO, REGIÓN DE LA ARAUCANÍA, CHILE (Universidad de Chile). Universidad de Chile, Santiago. Recuperado a partir de <http://mgpa.forestaluchile.cl/Tesis/Gimeno%20Fernando.pdf>

- Hermosilla, I., & Rival, N. (2022). Muestreo determina contaminación en Río Damas: municipio de Osorno se querrela contra responsables. Recuperado 17 de septiembre de 2022, a partir de Bio Bio Chile website: <https://www.biobiochile.cl/especial/aqui-tierra/noticias/2022/06/25/muestreo-determina-contaminacion-en-rio-damas-municipio-de-osorno-se-querrela-contra-responsables.shtml>
- Inzunza, J. (2019). Climas de Chile. En Universitaria (Ed.), *Meteorología Descriptiva* (pp. 421–451). Santiago: Universitaria. Recuperado a partir de http://nimbus.com.uy/weather/Cursos/Curso_2006/Textos%20complementarios/Meteorologia%20descriptiva_Inzunza/cap15_Inzunza_Climas%20de%20Chile.pdf
- Ladera Sur. (2020, diciembre 4). Analizan cambios ambientales en humedal del Río Cruces luego de reportar la ausencia de lucheillo y turbidez del agua.
- Larraín, S. (2006). El agua en Chile: entre los derechos humanos y las reglas del mercado. *Polis*, 14. Recuperado a partir de <http://journals.openedition.org/polis/5091>
- Martínez-Retureta, R., Aguayo, M., Abreu, N. J., Stehr, A., Duran-Llacer, I., Rodríguez-López, L., ... Sánchez-Pérez, J. M. (2021). Estimation of the climate change impact on the hydrological balance in basins of south-central Chile. *Water*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/w13060794>
- MINAGRI. (2021, agosto 26). Ministerio de Agricultura decreta zona de emergencia agrícola en cuatro regiones del país. Recuperado 17 de septiembre de 2022, a partir de Ministerio de Agricultura website: <https://www.minagri.gob.cl/noticia/ministerio-de-agricultura-decreta-zona-de-emergencia-agricola-en-cuatro-regiones-del-pais/>
- Ministerio de Bienes Nacionales. (2020). Infraestructura de Datos Geoespaciales. Recuperado 15 de septiembre de 2022, a partir de Catastro de Propiedades Rurales website: <https://www.ide.cl/>
- Ministerio de Obras Públicas de Chile [MOP]. (2013). Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012-2025. Recuperado a partir de https://www.mop.cl/Documents/ENRH_2013_OK.pdf
- Muñoz, A., Klock-Barría, K., Álvarez-Garreton, C., Aguilera-Betti, I., González-Reyes, Á., Lastra, J. A., ... Lequesne, C. (2020). Water crisis in petorca basin, Chile: The combined effects of a mega-drought and water management. *Water (Switzerland)*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/w12030648>

- Muñoz, P. (2015). Dinámicas Hidrológicas de la cuenca del Río Perquilauquén (Universidad Católica de la Santísima Concepción). Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción. Recuperado a partir de <http://repositoriodigital.ucsc.cl/handle/25022009/233>
- Oppliger, A., Höhl, J., & Fragkou, M. (2019). Escasez de agua: develando sus orígenes híbridos en la cuenca del Río Bueno, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 73, 9–27. Recuperado a partir de <https://www.scielo.cl/pdf/rgeong/n73/0718-3402-rgeong-73-00009.pdf>
- Rodríguez, J. (2014). ANÁLISIS ESPACIO TEMPORAL DEL MERCADO DE LOS DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS ACUÍFEROS DEL RÍO LA LIGUA Y PETORCA, REGIÓN DE VALPARAÍSO, CHILE (Universidad de Chile). Universidad de Chile, Santiago. Recuperado a partir de <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/148407/Rodr%c3%adguez-%20An%c3%a1lisis%20espacio%20temporal%20%282014%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Troncoso, D. (2009). SIMULACIÓN HIDROLÓGICA DEL EFECTO DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO SOBRE EL CAUDAL EN LA CUENCA DEL RÍO CRUCES (Universidad Austral de Chile). Universidad Austral de Chile, Valdivia. Recuperado a partir de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcit853s/doc/bmfcit853s.pdf>
- UNESCO. (2007). Zonation of Water Regimes in Latin America and the Caribbean from a climatic point of view, focusing on vulnerable areas. Recuperado a partir de <https://snia.mop.gob.cl/sad/PHI848.pdf>
- Valenzuela, C., Fuster, R., & León, A. (2013). Chile: ¿Es eficaz la patente por no uso de derechos de aguas? *CEPAL*, 109, 175–198. Recuperado a partir de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/11578/109175198_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Vargas, X., McPHEE, J. T., Vicuña, S., Suarez, F., Meza, F., Daniele, L., ... Caro, A. (2017). Actualización Balance Hídrico en Chile. Metodología y Desafíos de Modelación. Conference: XXIII Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica. Recuperado a partir de https://www.researchgate.net/publication/337196146_ACTUALIZACION_BALANCE_HIDRICO_EN_CHILE_METODOLOGIA_Y_DESAFIOS_DE_MODELACION

- Villalobos, A. (2020). CALIBRACIÓN Y USO DEL MODELO HYDRO-BID PARA EL ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD FUTURA DE RECURSOS HÍDRICOS EN CUENCAS PLUVIALES DE LA REGIÓN DEL MAULE (Universidad de Chile). Universidad de Chile, Santiago. Recuperado a partir de <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/179274/Calibracion-y-uso-del-modelo-Hydro-Bid-para-el-analisis-de-disponibilidad-futura-de-recursos-hidricos-en-cuencas-pluviales-de-la-Region-del-Maule.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Zelada, S. (2017). Antecedentes y Marco conceptual para una gestión sostenible de la calidad del agua en la cuenca del Río Bueno, X Región de Los Lagos. Chile. Sustainability, Agri, Food and Environmental Research, 5(3), 27–40. Recuperado a partir de https://www.researchgate.net/publication/321088990_Antecedentes_y_Marco_conceptual_para_una_gestion_sostenible_de_la_calidad_del_agua_en_la_Cuenca_del_Rio_Bueno_X_Ragion_de_Los_Lagos_Chile