

# **SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**

## **XXV CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**

### **¿CUÁNTO SABEMOS ACERCA DE LA DEMANDA LEGAL DE AGUA EN CHILE? CASO DE ESTUDIO: CUENCAS DE LA REGIÓN DE LOS RÍOS Y REGIÓN DE LOS LAGOS**

**PILAR BARRIA S.<sup>1</sup>**

**CARLOS GUZMAN L.<sup>2</sup>**

**PAULINA RIQUELME O.<sup>3</sup>**

#### **RESUMEN**

Las proyecciones de cambio climático en Chile indican condiciones más secas a futuro, lo cual demanda una gestión sostenible y racional del recurso hídrico. Sin embargo, la falta de información clara y transparente sobre el uso del agua dificulta estas tareas. Los estudios de balance hídrico normalmente se basan en información de derechos de aprovechamiento de agua como un proxy de la demanda legal, o en evaluaciones de evapotranspiración de distintas coberturas o usos de suelo. Sin embargo, éstas últimas no consideran la totalidad de fuentes de otorgamiento de derechos de agua (DAA) permitidos por la actual legislación, o los cambios de uso de suelo que se están experimentando en las cuencas. El presente trabajo, corresponde a un análisis exploratorio de la relevancia de los factores antes mencionados en los balances hídricos de cuencas de las regiones de Los Ríos y Los Lagos, las cuales son frecuentemente visualizadas como cuencas sin problemas de disponibilidad hídrica. De acuerdo con los resultados, los DAA otorgados por el SAG, gran parte de los cuales no son considerados en los planes o estrategias nacionales, pueden ser hasta un 80% del total de DAA otorgados en las cuencas. Además, se observa un aumento sostenido del otorgamiento de DAA, que se exagera en los últimos 10 años, probablemente asociado a la dinámica de cambio de uso de suelo descrita. El análisis frente a proyecciones de cambio climático releva la importancia de considerar información completa de DAA y dinámicas de cambio de uso de suelo en la planificación del uso de agua.

---

<sup>1</sup> Profesora Asistente, Departamento de Ciencias de la Ingeniería, Universidad de Los Lagos – email: pilar.barria@ulagos.cl

<sup>2</sup> Estudiante de Doctorado, Facultad de Ingeniería, escuela de ingeniería hidráulica y ambiental, Pontificia Universidad Católica de Chile- email: crsguzman@uc.cl

<sup>3</sup> Ayudante de Investigación, Departamento de Ciencias de la Ingeniería, Universidad de Los Lagos - email: paulina.riquelme@ug.uchile.cl

## 1. INTRODUCCIÓN

Durante la última década la zona centro - sur de Chile ha experimentado un evento de sequía sin precedentes, en lo que respecta a persistencia temporal y extensión espacial. El evento denominado “Megasequía” se caracteriza por aumentos significativos en la temperatura media y déficits de precipitación de alrededor del 30%, lo que ha resultado en una intensificación del problema de déficit hídrico a nivel nacional, trayendo múltiples consecuencias en el sector agrícola y en la calidad de vida de las comunidades (Garreaud et al., 2017; Muñoz et al., 2020). Frente a los efectos del cambio climático y la creciente demanda de recursos hídricos, se hace necesario tomar medidas a corto y largo plazo que permitan atenuar el aumento de la demanda hídrica (real y legal) que se prevé para los próximos años (MOP, 2013; Boisier et al., 2015). Sin embargo, la falta de monitoreo de uso de agua en las cuencas, limita las estimaciones de balance hídrico necesarias para la toma de decisiones en esta materias, para lo cual usualmente se recurre a utilizar como proxy la información de derechos de aprovechamiento de agua (demanda legal) o estimaciones basadas en la evapotranspiración de las cuencas (demanda física).

El modelo de gestión del agua en Chile se rige por lo estipulado en el Código de Aguas, promulgado en 1981, basado en el otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas (DAA). A este respecto es relevante mencionar que los DAA no necesariamente corresponden a usos de agua, sino al título de propiedad de un aprovechamiento, los cuales podrían no ejercerse todo el tiempo y en toda su magnitud. Cabe destacar que conforme al artículo 122 del Código de Aguas, todos los DAA deben ser inscritos en el Catastro Público de Aguas (CPA) administrado por la Dirección General de Aguas (DGA). Sin embargo, la escasa presión normativa e institucional ha provocado que dicho catastro se encuentre constantemente desactualizado, contemplando la existencia de los llamados derechos imperfectos o incompletos (Valenzuela et al., 2013). Dichos derechos se originan en parte, por las diversas formas en que los derechos de aprovechamiento han sido concedidos históricamente, encontrándose en la actualidad 4 vías para el acceso a DAA (DGA, 2013).

-Sentencias del juez: Aquellos derechos de aprovechamiento cuyo reconocimiento legal se formaliza mediante el artículo 2° transitorio del Código de Aguas (regularizaciones).

-Resoluciones Servicio Agrícola y Ganadero (SAG): Son aquellos derechos de aprovechamiento de aguas que fueron otorgados en el contexto de la reforma agraria.

-Resoluciones DGA (Art. 140 Código de Aguas): Son aquellos derechos de aprovechamiento de aguas que se originan por vía administrativa, consecuencia de tramitación ante la Dirección General de Aguas.

- Mercedes de aguas: Corresponden a aquellos derechos de aprovechamiento que fueron otorgados por legislaciones previas al Código de Aguas.

En este sentido, es importante señalar que con seguridad el CPA consta con la información de aquellos derechos constituidos por el artículo 140 del Código de Aguas, sin embargo, en cuanto a sentencias judiciales, éstos no siempre notifican los fallos. Respecto a los derechos SAG y mercedes de aguas, existe incertidumbre de la magnitud que constaría en los actuales registros del CPA que se utilizan para ejercicios de planificación de recursos hídricos. Asimismo, el estudio de Barría et al. (2019a) evidencia que el sistema actual para calcular el volumen disponible para ser otorgado a usuarios de agua se encuentra desconectado de los procesos físicos no estacionarios de la cuenca, debido principalmente a la ventana de tiempo

utilizada para estimar el caudal disponible y al no considerar proyecciones futuras en condiciones de sequía.

Por otra parte, diversas investigaciones han abordado como los cambios en el uso suelo y cobertura vegetal afectan el comportamiento de la escorrentía y los balances hídricos a escala de cuenca (Barría et al, 2019b; Setyorini et al, 2017; Liaqat et al, 2021), lo cual sin embargo requiere de análisis de cobertura dinámica, que en Chile no se encuentra disponible.

La presente investigación busca desarrollar un análisis exploratorio de la relevancia de los derechos SAG, normalmente excluidos en los estudios de gestión de recursos hídricos, y de la dinámica de cambio de uso de suelo, en los balances hídricos a escala de cuenca de la zona sur de Chile. Mediante los resultados del análisis exploratorio se busca discutir y problematizar sobre el impacto que puede tener la magnitud de los derechos de aprovechamiento que se están considerando en estudios de gestión y planificación de recursos hídricos en Chile, y cómo esto puede afectar los diagnósticos respecto a las disponibilidades hídricas a futuro.

## 2. METODOLOGÍA

El análisis se centra en las cuencas Cruces en Rucaco y Río Bueno en Bueno, de la Región de Los Ríos, y en las cuencas Río Damas en Tacamó y Río Maullín en Las Quemadas, de la Región de los Lagos. Dichas cuencas, cuya ubicación se presenta en la Figura 1, comparten como condición la ocurrencia de rápidos cambios de uso de suelo durante la última década, que aún se encuentran en proceso de desarrollo, principalmente ligados a la ganadería, la industria forestal y la urbanización.

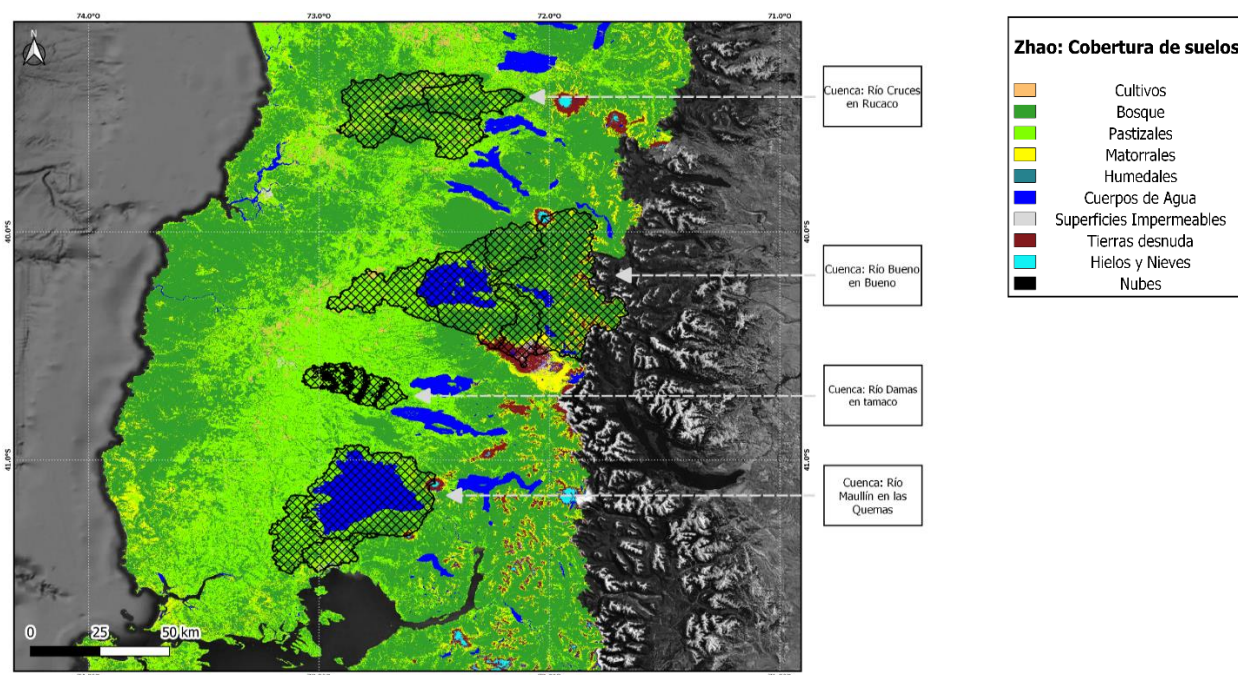
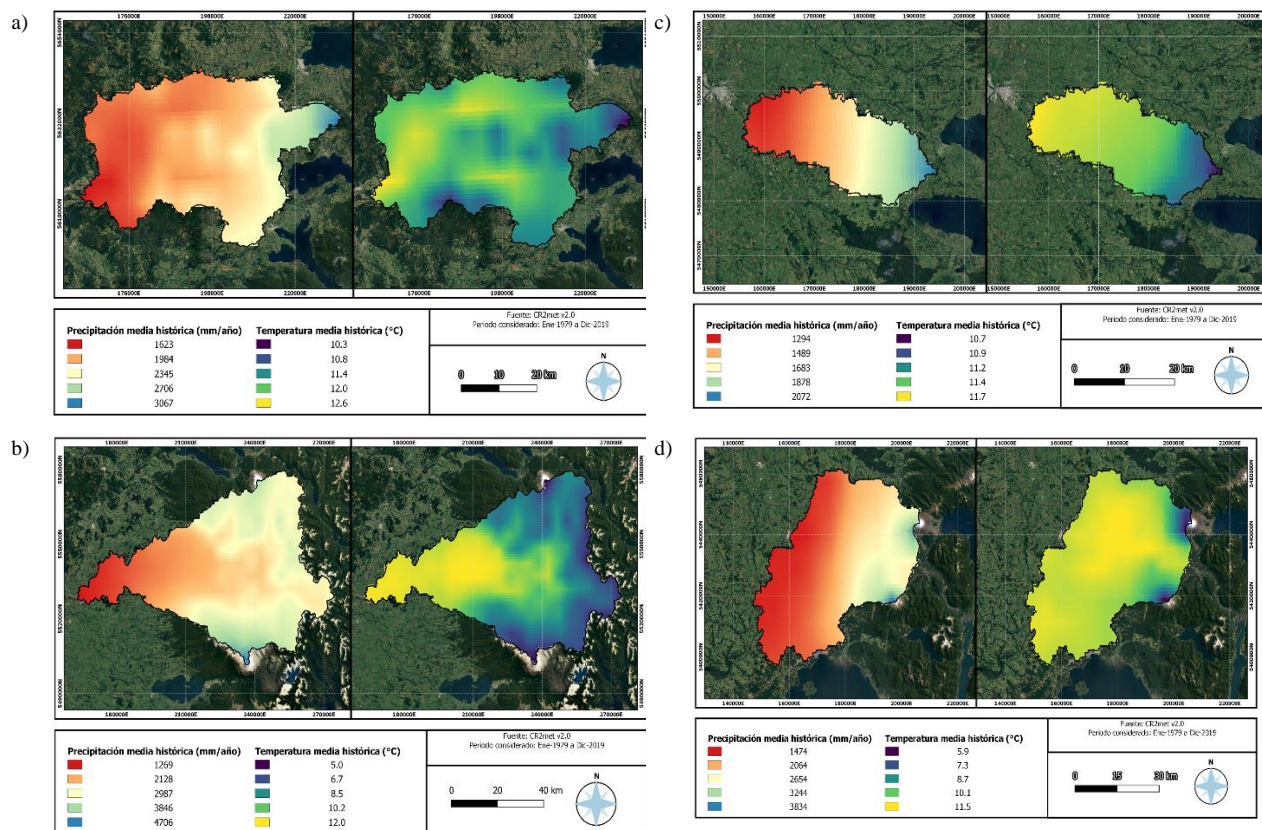


Figura 1 Ubicación cuencas de estudio

### 2.2 Clima de las cuencas

Las cuencas de los ríos Cruces, Bueno, Damas y Maullín poseen clima templado lluvioso, de alto contraste en las temperaturas medias. Debido al gradiente altitudinal se produce un

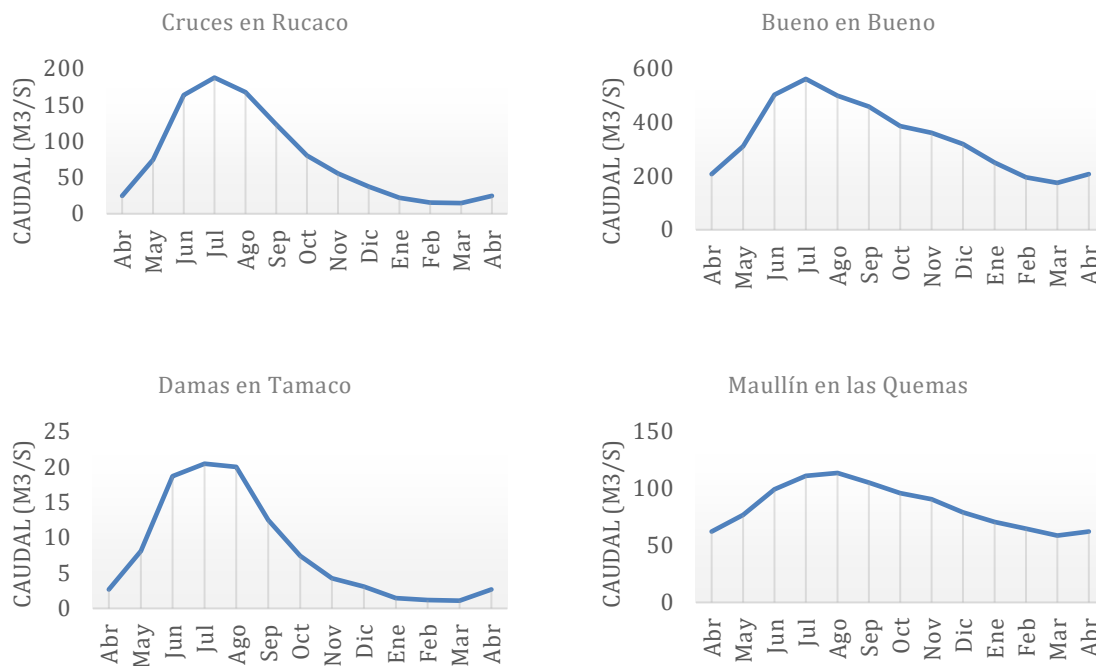
aumento paulatino de la precipitación (Figura 2), de oeste a este, tomando valores máximos hacia la Cordillera, los cuales fluctúan entre 1.500 y 3.000 [mm/año] en la cuenca del Río Cruces en Rucaco; entre 1.000 y 4.500 [mm/año] en la cuenca del Río Bueno en Bueno; entre 1.000 y 2.000 [mm/año] en la cuenca del Río Damas en Tamaco; y entre 1.500 y 4.000 [mm/año] en la cuenca del Río Maullín. En cuanto a la temperatura media anual se observa, en la Figura 2 un variación entre 5°C y 15°C en las regiones de estudio.



**Figura 2** Distribución espacial de la precipitación y la temperatura media anual del período 1979-2019 en las cuencas: a) Río Cruces, b) Río Bueno, c) Río Damas y d) Río Maullín

### 2.3 Hidrología de las cuencas

De acuerdo a lo presentado en la **Figura 3**, las cuencas de los ríos Cruces y Damas se caracterizan por un régimen de tipo pluvial, cuyos máximos caudales (190 m<sup>3</sup>/s y 20 m<sup>3</sup>/s respectivamente) ocurren en los meses de invierno, cuando las precipitaciones aumentan. Por otra parte, las cuencas de los ríos Bueno y Maullín, presentan un régimen de tipo pluvio nival, con caudales máximos del orden de 550 m<sup>3</sup>/s y 100 m<sup>3</sup>/s, y caudales mínimos del orden de 200 m<sup>3</sup>/s y 60 m<sup>3</sup>/s respectivamente.



**Figura 3** Régimen hidrológico de las cuencas de estudio para el período 1995-2019

## 2.4 Bases de datos de derechos de aprovechamiento de agua

Se utilizaron dos bases de datos y capas vectoriales provenientes de la DGA y el SAG, las cuales se describen a continuación.

**Base General de Proyectos SAG (DGA, 2013):** Archivo Excel complementario al informe de la DGA (2013), elaborado por el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). Contiene los proyectos de parcelación que incluyen otorgamiento de DAA por parte del SAG. Además, se cuenta con la documentación digitalizada de cada proyecto, de la que se obtendrá información como la localización, caudal otorgado y/o la superficie del proyecto.

**Los derechos de aprovechamiento de aguas considerados para efectos del presente estudio** corresponden a una base de datos depurada del Catastro Público de Aguas, solicitados por Ley de Transparencia a la DGA, los cuales fueron los procesados y analizados en Barria et al (2021). Los derechos de aprovechamiento se clasificaron acorde a su naturaleza superficial o subterránea, así como su ejercicio permanente o eventual. Para más detalles metodológicos al respecto, se sugiere ver Barría et al (2021).

## 2.5 Actualización del Balance Hídrico Nacional, Etapa III

Para este estudio se consideraron los resultados recientemente publicados de actualización del Balance Hídrico Nacional (BHN) etapa III, que proporciona datos de balance hídrico para las cuencas de las macrozonas sur y austral de Chile, bajo régimen natural, más simulaciones de proyecciones de cambio climático para el período 2030-2060 (DGA 2018). Para ello se utiliza el modelo de capacidad de infiltración variable (VIC), que permite obtener estimaciones mensuales de Evapotranspiración (ET) y escorrentía (Q) grillada (0.05° x 0.05°). Las proyecciones hidrológicas del BHN se presentan bajo el escenario de emisiones RCP8.5, mediante cuatro modelos que consideran distinta sensibilidad climática.

Las simulaciones del modelo VIC fueron post procesadas para el presente estudio mediante la agregación de la escorrentía en toda la superficie de las cuencas definidas por las estaciones fluviométricas seleccionadas. De esta forma, se obtuvo la serie temporal de caudal simulado para el período histórico 1980-2010 y futuro, para el período 2030-2060.

## **2.6 Metodología de análisis de los DAA SAG**

Los volúmenes de agua asociados a derechos SAG comprometidos en las cuencas en estudio, se calcularon en base al diagnóstico que realizó el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN), para el estudio DGA (2013), el cual permitió contar con una base de datos de las sentencias SAG que otorgaron derechos en el contexto de la reforma agraria. Dichas sentencias poseen información referencial de la ubicación de los proyectos de parcelación SAG a los cuales se asocia un derecho de agua. Sin embargo, no poseen información volumétrica del derecho, ni su ubicación precisa, por lo cual, en el marco de este proyecto, se procesaron las sentencias para obtener una base de datos georreferenciada a escala de cuenca con caudales estimados.

En lo principal, se georreferenciaron 1100 proyectos de parcelación SAG a escala de cuenca, y se poligonizaron los predios asociados a partir de los planos de las sentencias para estimar sus superficies de riego. En los casos de proyectos de parcelación que no cuentan con información volumétrica del derecho de agua, se empleó la estimación de que el riego de 1 hectárea requiere de 1 l/s basado en los criterios utilizados por personal de la Oficina de Tierras y Aguas del SAG.

## **2.7 Metodología de análisis de cambio de uso de suelo**

Para analizar el cambio de uso de suelo, se utilizó el método Historical Land Cover Mapping (HLMC), el cual es un algoritmo que permite la generación de mapas de coberturas de suelo dinámicos semiautomatizados, replicables a escala regional-nacional, a una resolución espacial de 30x30 metros (tamaño píxel Landsat). El método desarrollado por Ceballos et al. (2021), utiliza la serie temporal que ofrece la misión satelital Landsat, permitiendo su aplicación y replicabilidad a fechas anteriores y posteriores a 2018 (año de referencia). Actualmente, se está terminando de optimizar el método para su correspondencia con productos homologables de amplio uso (Zhao et al., 2016 y CBN-CONAF), lo cual permitirá contar con mapas de uso de suelo para las regiones entre la cuenca de Petorca y las del río Grande y Vilcún en Chiloé, entre los años 1990 y 2019. Sin embargo, a la fecha se cuenta con los mapas de cobertura desarrollados para los años 2013 y 2018.

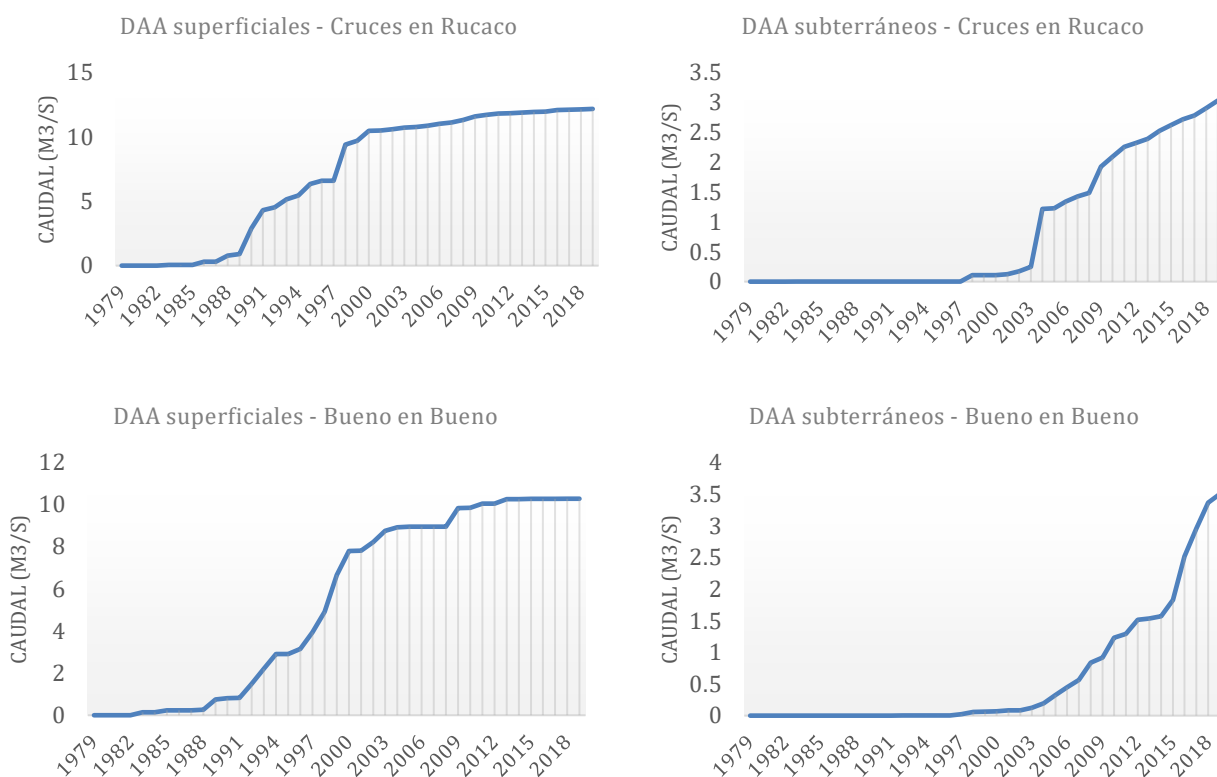
# **3. RESULTADOS**

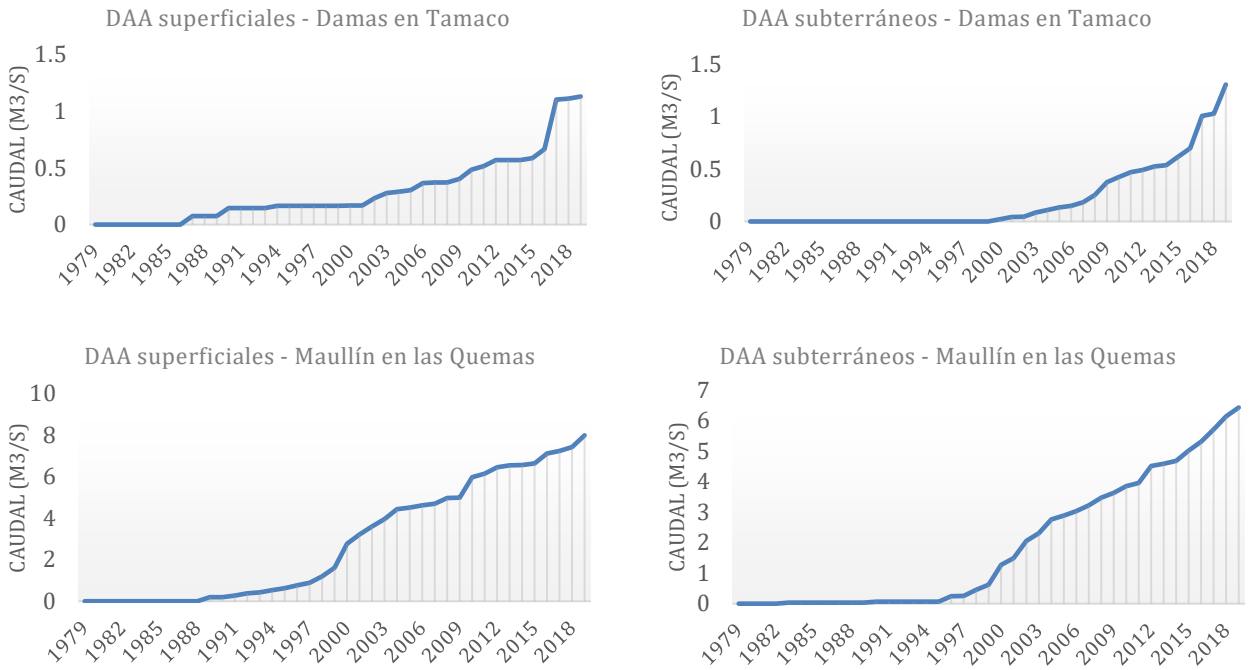
## **3.1 Análisis de DAA**

De acuerdo a la metodología de la sección 2, se sistematizaron los derechos de aprovechamiento de agua emanados desde la DGA y desde el SAG en las cuatro cuencas de estudio. En el caso de los DAA de la DGA, se filtraron los derechos de tipo consuntivos, y de uso permanente por cuenca, diferenciando aquellos que corresponden a derechos superficiales de los subterráneos, cuya evolución en las últimas décadas se presenta en la Figura 4. De acuerdo a la Figura 4, en las cuatro cuencas ha habido un aumento sostenido de los DAA otorgados tanto superficiales como subterráneos, en las cuales se observa que el aumento de los DAA superficiales comienza más de una década antes que los DAA subterráneos, sugiriendo una transición a un uso más intensivo de las aguas desde los acuíferos posiblemente asociado a disminuciones en la disponibilidad hídrica superficial por las tendencias climáticas. Por otra parte, se observa que en tres de las cuencas estudiadas, el

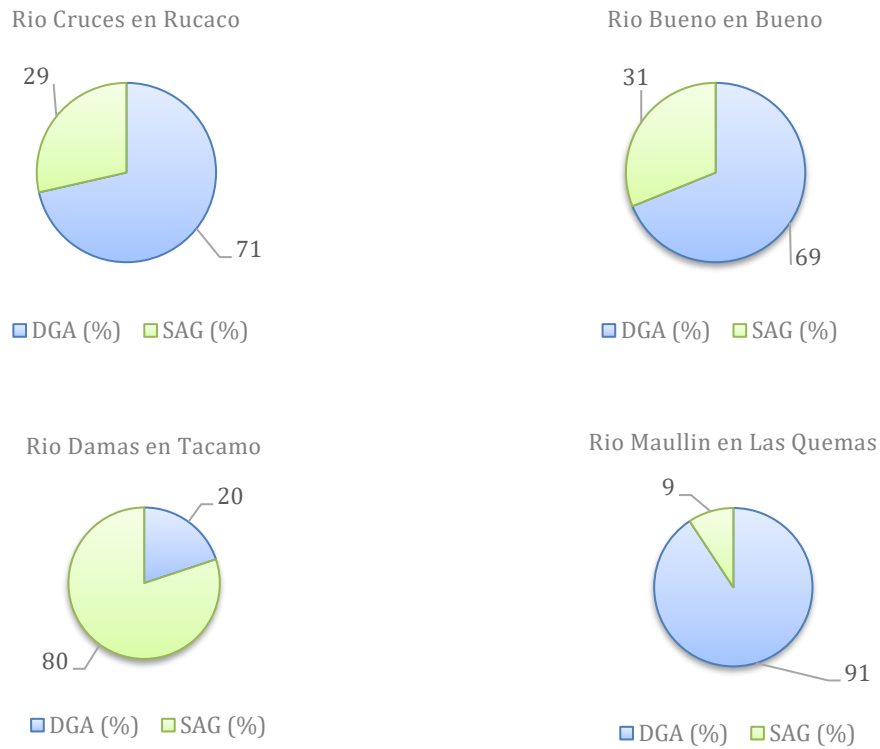
caudal otorgado como DAA superficiales se estabiliza (a pesar de no estar agotadas), mientras que el caudal otorgado como DAA subterráneos presenta una curva creciente, particularmente en la última década, en la cual en promedio hubo un aumento de 144% en el volumen otorgado, observándose los mayores aumentos en las cuencas de los ríos Damas y Bueno. Lo anterior es particularmente relevante considerando el decreto de escasez hídrica que afecta a las cuencas desde el 5 de abril del presente año (Decreto N°61), instrumento que habilita la opción de satisfacer derechos de aprovechamiento en cuencas afectadas por disminución de la oferta hídrica, a partir de pozos.

Luego, los DAA SAG se analizaron de acuerdo con lo explicado en la metodología, georreferenciando y poligonizando los proyectos y sus superficies de riego a partir de los planos e información de las sentencias emitidas durante la Reforma Agraria. De acuerdo con los gráficos que se muestran en la Figura 5, los derechos de aprovechamiento de agua otorgados por el SAG fluctúan entre un 9 hasta un 80% del total de los derechos otorgados en estas cuatro cuencas de estudio. Lo cual implica que la información basada en la CPA de la DGA es una subestimación de la demanda legal de agua en estas cuencas. Esto es especialmente preocupante en las cuencas de los ríos Bueno y Damas, las cuales coinciden con ser las que han presentado un mayor aumento en el otorgamiento de DAA subterráneos por parte de la DGA en la última década, basados en balances que consideran información incompleta.





**Figura 4** Evolución de los derechos de aprovechamiento de aguas otorgados en las cuencas de estudio entre el año 1979 al año 2019

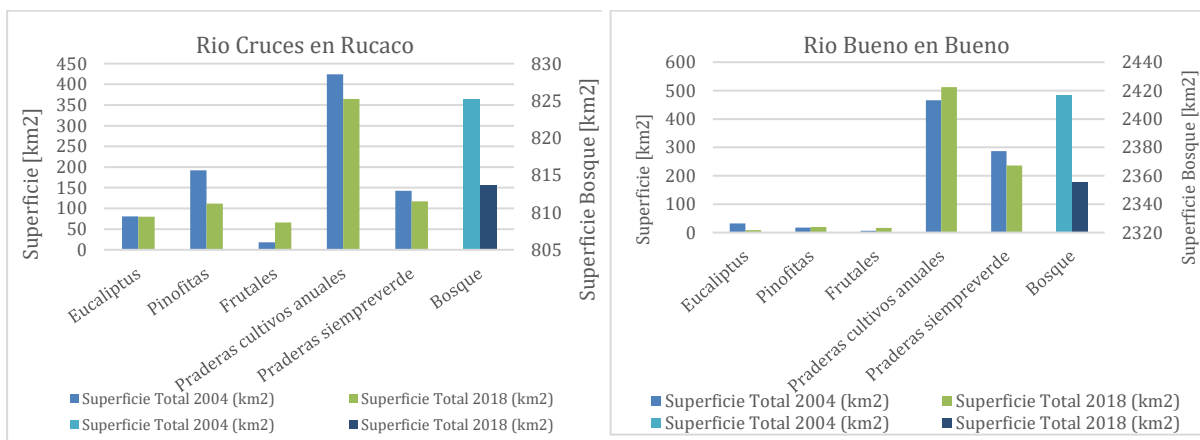


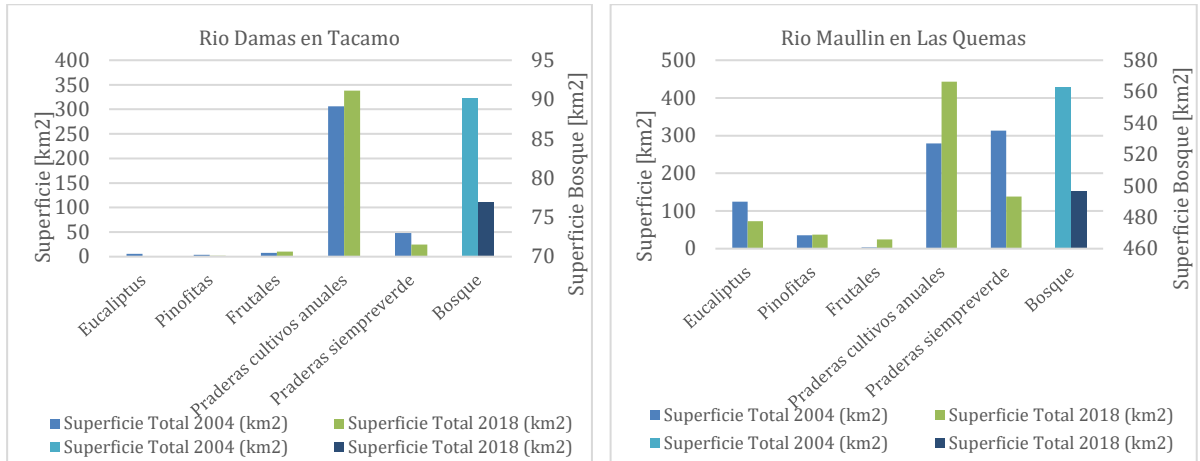
**Figura 5** Comparación del total de derechos de aprovechamiento de agua otorgados por la DGA y por el SAG en las cuencas de los ríos de estudio



### 3.2 Análisis descriptivo de cambios de uso de suelo

Como se indicó previamente, la falta de monitoreo de extracciones de agua en Chile limita los balances hídricos, en particular en la estimación del uso de agua. Esta tarea comúnmente se realiza a partir del análisis de los DAA, o mediante estimaciones de la evapotranspiración de las coberturas vegetacionales de distintos usos de suelo en las cuencas. Sin embargo, exceptuando estudios particulares de uso de agua en plantaciones forestales, los balances hídricos no consideran la dinámica de cambio de uso de suelo que afecta a las cuencas. Para explorar la relevancia de esta dinámica en la zona de estudio, se implementó un modelo de clasificación dinámica de uso de suelo, cuyos resultados preliminares se presentan a continuación. De acuerdo con el método HLCM, se han producido rápidos cambios de uso de suelo en las cuatro cuencas en los últimos quince años. En las cuencas del Río Cruces, Río Bueno, Río Damas y Río Maullín se observó una disminución del 8% de la cobertura de bosque nativo y de un 35% de pradera siempre verde, los cuales se pueden asociar principalmente a aumentos de cultivos frutícolas (260% en promedio en las cuatro cuencas). En las cuencas de los ríos Bueno, Damas y Maullín, parte de este cambio se asocia además a aumentos en la superficie de cultivos y praderas anuales (26% en promedio). En cuanto a las plantaciones forestales (Eucaliptus y Pinofitas), se observó una disminución de estas clases en las cuatro cuencas, en especial en la cobertura de Eucaliptus (en promedio un 50%). Sin embargo, en las cuencas del Río Bueno y Río Maullín se observó un aumento, en promedio, del 10% en la superficie de la clase de Pinofitas. Dichos cambios se asocian a actividades que requieren un uso intensivo de agua, y que tienen el potencial de modificar los balances hídricos en las cuencas en la partición entre evapotranspiración e infiltración, por tanto, es información que debiese ser considerada en modelos de gestión estratégica en las cuencas.



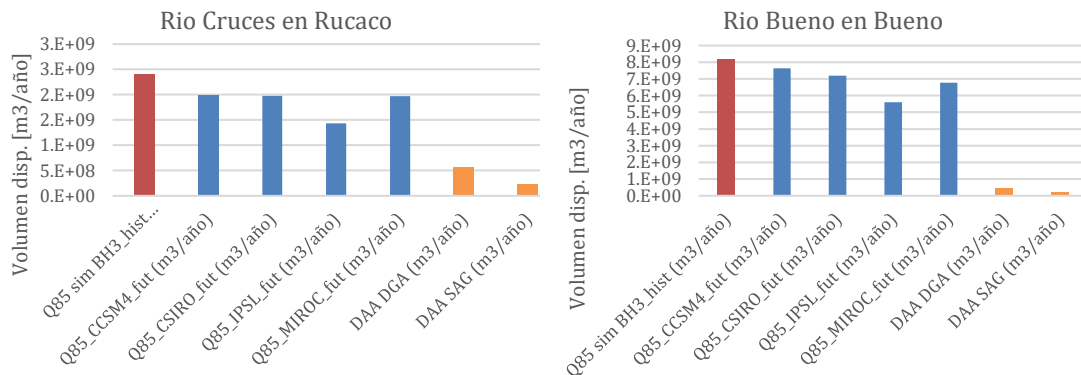


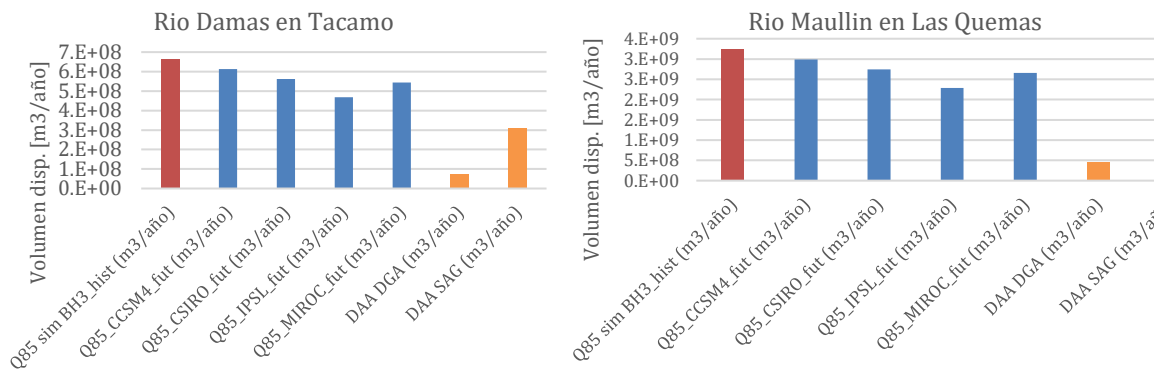
**Figura 6** Cambios de uso de suelo en las cuencas de estudio entre los años 2004 y 2018

### 3.3 Derechos de aprovechamiento de aguas en relación al balance hídrico de las cuencas

Finalmente, con el objetivo de establecer una relación entre la demanda legal de agua y el balance hídrico, se calcularon los caudales con probabilidad de excedencia de 85% en las cuatro cuencas considerando las series históricas y futuras del BHN. De acuerdo con lo presentado en la Figura 7, se observa una disminución promedio de 19% en los caudales simulados por los modelos de cambio climático para el período 2030-2060 en relación a los registros históricos en las cuatro cuencas (1979-2019). Siendo la cuenca del Río Cruces la que presenta la mayor reducción, la cual asciende a un 23%.

Además, se observa que considerando la totalidad de DAA otorgados tanto por parte de la DGA como el SAG, hay un otorgamiento promedio del 28% de la disponibilidad hídrica histórica, lo cual, considerando los caudales futuros, corresponde a un 35% de la disponibilidad simulada para el período 2030-2060. Considerando que las cuencas no se encuentran agotadas, aun pueden constituirse nuevos DAA, para los cuales se recomienda considerar las dinámicas que afectan los balances e hidrología que se han presentado en el estudio. Conforme a lo presentado, se observa que las dinámicas de cambios rápidos de uso de suelo, y la información faltante de derechos de DAA (SAG), debiesen ser considerados en los balances y en la planificación regional.





**Figura 7** Comparación entre caudal disponible histórico, futuro y derechos de aprovechamiento de aguas otorgados por la DGA y el SAG

#### 4. CONCLUSIONES

El estudio indica que los DAA otorgados por el SAG, normalmente no considerados en el CPA de la DGA, son relevantes en cuanto al total del volumen otorgado como derechos de aprovechamiento a escala de cuenca. En particular, en las cuatro cuencas de la macrozona sur, Río Damas, Cruces en Rucaco, Bueno en Bueno y Maullín en Las Quemadas, se demuestra que los DAA SAG corresponden a hasta un 80% del total del volumen otorgado para uso de agua en las cuencas. Esto indica que los actuales balances hídricos y Planes Estratégicos basados en la información de DAA del CPA, constituyen una subestimación de la demanda legal de agua en las cuencas. Asimismo, el estudio muestra la importancia de los rápidos cambios de uso de suelo de las cuencas, las cuales en cinco años han presentado aumentos en superficies asociadas a cultivos de frutales y praderas para ganado de hasta un 27%. Asimismo, se observa un creciente aumento en el otorgamiento de DAA por parte de la DGA en las cuatro cuencas, siendo mayores en los derechos de naturaleza subterránea. Considerando las proyecciones de cambio climático, que simulan reducciones de la disponibilidad hídrica de alrededor de un 20% en la zona de estudio, se enfatiza la importancia de mejorar la incorporación de información sobre uso de agua para reducir incertidumbres en los balances y en la gestión del recurso hídrico. Especialmente considerando el actual Decreto de Escasez Hídrica que afecta a dos de las cuatro cuencas analizadas.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado a través del proyecto Fondecyt N° 11200854 de la Agencia Nacional de Investigación (ANID). Los resultados de la actualización del Balance Hídrico Nacional fueron proporcionados por Dirección General de Aguas (DGA). Se agradece a Boris Valenzuela y Diego Cáceres por su apoyo en la generación de información.

## CITAS BIBLIOGRÁFICAS

Barría, P.; Rojas, M.; Moraga, P.; Muñoz, A.; Bozkurt, D. y Alvarez-Garretón, C. 2019a. Anthropocene and streamflow: Long-term perspective of streamflow variability and water rights. [en línea]. *Elementa: Science of the Anthropocene*

Barría, P.; Chadwick, C.; Ocampo-Melgar, A.; Díaz-Vasconcellos, R. y Galleguillos, M. et al. 2019b. Estudio de Balance Hídrico en la Cuenca Laguna de Aculeo. [en línea]. Proyecto FIC-R 2017 código BIP 40002646-0. Caracterización del consumo hídrico y del sistema hidrogeológico en la cuenca de Aculeo, determinación de posibles soluciones y campaña de educación Ambiental. Gobierno Regional Metropolitano, Santiago, Chile.

Boisier, J.P.; Rondanelli, R.; Garreaud, R. y Muñoz, F. 2015. Anthropogenic and natural contributions to the Southeast Pacific precipitation decline and recent megadrought in central Chile. [en línea]. *Geophysical Research Letters* 43(1).

DGA. 2013. Recopilación y Sistematización de Información de Derechos de Agua otorgados por el SAG. [en línea]. SIT N° 331, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Administración de Recursos Hídricos. Santiago, Chile. Realizado por: Centro de Información de Recursos Naturales.

DGA (Dirección General de Aguas), 2018. Aplicación de la metodología de actualización del balance hídrico nacional en las cuencas de las macrozonas norte y centro, SIT N° 435. Santiago, Chile.

Garreaud, R.; Alvarez-Garretón, C.; Barichivich, J.; Boisier, J. P.; Christie, D.; Galleguillos, M.; LeQuesne, C.; McPhee, J. y Zambrano-Bigiarini, M. 2017. The 2010-2015 megadrought in central Chile: impacts on regional hydroclimate and vegetation. [en línea]. *Hydrology and Earth System Sciences* 21: 6307-6327.

Liaqat, M. U., Mohamed, M. M., Chowdhury, R., Elmahdy, S. I., Khan, Q., & Ansari, R. (2021). Impact of land use/land cover changes on groundwater resources in Al Ain region of the United Arab Emirates using remote sensing and GIS techniques. *Groundwater for Sustainable Development*, 14, 100587. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2021.100587>

Ministerio de Obras Públicas [MOP]. 2013. Estrategia Nacional de Recursos Hídricos. [en línea]. Recuperado en: <[https://www.mop.cl/Documents/ENRH\\_2013\\_OK.pdf](https://www.mop.cl/Documents/ENRH_2013_OK.pdf)> Consultado el: 04 de enero de 2021.

Muñoz, A.; Klock-Barría, K.; Alvarez-Garretón, C.; Aguilera-Betti, I.; González-Reyes, A.; Lastra, J.A.; Chávez, R. O.; Barría, P.; Christie, D.; Rojas-Badilla, M. y LeQuesne, C. 2020. Water Crisis in Petorca Basin, Chile: The Combined Effects of a Mega-Drought and Water Management. [en línea]. *Water* 12(3): 648. Recuperado en: <<https://www.mdpi.com/2073-4441/12/3/648/htm>> Consultado el: 04 de enero de 2021.

Setyorini, A., Khare, D., & Pingale, S. M. (2017). Simulating the impact of land use/land cover change and climate variability on watershed hydrology in the Upper Brantas basin, Indonesia. *Applied Geomatics*, 9(3), 191–204. <https://doi.org/10.1007/s12518-017-0193-z>

Valenzuela, C.; Fuster, R. y León, A. 2013. Chile: ¿es eficaz la patente por no uso de derechos de aguas? [en línea]. *CEPAL 109*: 175-198. Recuperado en: <<https://repositorio.cepal.org/handle/11362/11578>> Consultado el: 04 de enero de 2021.

Vásquez, N., Cepeda, J., Gómez, T., Mendoza, P.A., Lagos, M., Boisier, J.P., Álvarez-Garretón, C., Vargas, X., 2021. Catchment-Scale Natural Water Balance in Chile, in: *Water Resources of Chile*. Springer, pp. 189–208.