

**SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**  
**XXIV CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**

**DIAGNÓSTICO DE LA INFORMACIÓN DE DERECHOS DE AGUA EN CHILE  
CONTINENTAL**

**NERY BUDE G.<sup>1</sup>**  
**PABLO MENDOZA Z.<sup>2</sup>**  
**NICOLÁS VÁSQUEZ P.<sup>3</sup>**  
**CAMILA ÁLVAREZ G.<sup>4</sup>**  
**PILAR BARRÍA S.<sup>5</sup>**

**RESUMEN**

Este trabajo muestra un análisis íntegro de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) disponibles en la base de datos de la Dirección General de Aguas (DGA), enfocándose en los derechos que no poseen coordenadas y/o hay un error en las mismas. En primer lugar, se realiza una caracterización general de la base de datos, clasificando y cuantificando los derechos según su tipo, naturaleza de la fuente de aprovechamiento y ejercicio del derecho; también se analiza la distribución de los mismos, por región, en cantidad y volumen de caudal correspondiente a estos, encontrando que es en la Región Metropolitana, donde se encuentra el mayor volumen de caudal asignado como DAA. Luego, se realizan análisis independientes de los DAA que no poseen coordenadas, así como los DAA que sí las poseen, pero son erróneas; dichos análisis también se enfocan en determinar la manera en que se distribuyen los derechos por región. En base a esto, se identifican los DAA que, debido a que no cuentan con la información necesaria, no permiten desarrollar un análisis robusto de oferta hídrica y su relación con la intervención antrópica. Para concluir, se propone una metodología que aborda el problema de los DAA que no poseen coordenadas y se sugiere elaborar más estudios, de libre acceso, para proveer las equivalencias correspondientes entre acciones y unidad de caudal en l/s, por región o cuenca hidrográfica.

---

<sup>1</sup>Estudiante de Magíster, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile– nbudde@ing.uchile.cl

<sup>2</sup>Prof. Asistente, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile– pamendoz@uchile.cl

<sup>3</sup>Ingeniero de Proyectos, Arcadis– nicolas.vasquez@arcadis.cl

<sup>4</sup>Investigadora postdoctoral, Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2)– camila.alvarez@uach.cl

<sup>5</sup>Prof. Asistente, Departamento de Gestión Forestal y su Medio Ambiente, Universidad de Chile– pbarria@uchile.cl

## 1. INTRODUCCIÓN

La disponibilidad hídrica natural está determinada por la heterogeneidad espacial y temporal de características climáticas (e.g., precipitación, temperatura, flujos radiativos) y físicas (e.g., topografía, uso y tipos de suelo), que varían en el tiempo y en el espacio, combinándose para definir la respuesta hidrológica a la escala de cuenca (e.g., Wagener et al., 2007; Berghuijs et al., 2014; Addor et al., 2018). Durante las últimas décadas, se han reportado notables avances en esta línea, facilitados en gran parte por el surgimiento de estudios de *large sample hydrology* (Andréassian, Hall, Chahinian, & Schaake, 2006; Gupta et al., 2014), rama de la hidrología que busca mejorar la comprensión de distintos tipos de similitud (i.e., física, climática e hidrológica) y su inter-relación a partir de muestras grandes de cuencas. Todo este progreso ha permitido, por ejemplo, el desarrollo de nuevas metodologías para la predicción de caudales en cuencas sin información fluviométrica (ver resumen en Hrachowitz et al., 2013).

Sin embargo, la caracterización e inclusión de intervención antrópica en estudios hidrológicos sigue siendo un desafío, tanto para el desarrollo de bases de datos nuevas (Addor et al., 2019) como en la implementación de modelos (e.g., Wada et al., 2017; Veldkamp et al., 2018). Si bien los efectos que obras civiles, cambios en cobertura vegetal y usos del agua tienen en la producción de escorrentía han sido documentados para distintos lugares del mundo (e.g., Vertessy, 2000; Brown et al., 2005; Alvarez-Garreton et al., 2019), la intervención antrópica es pocas veces abordada en problemas de hidrología, principalmente por la dificultad de sintetizar el comportamiento humano a través de indicadores.

En Chile, conocer el grado de intervención humana resulta fundamental para caracterizar posibles implicancias en el comportamiento hidrológico y lograr una gestión eficiente y sostenible del recurso hídrico. Todo análisis que busque explorar la relación entre intervención antrópica y la respuesta hidrológica de una cuenca requiere contar, al menos, con información del uso de agua dentro de la cuenca. Dado el sistema de gestión del agua vigente en Chile, dicha información se determina a través de datos fiables de los derechos de aprovechamiento de agua (DAA) otorgados dentro de una cuenca, que incluyan, al menos, sus coordenadas reales, el volumen otorgado y el tipo de uso.

El trabajo de Alvarez-Garreton et al. (2018) constituye un avance importante en esta línea, al ser la primera base integrada de datos a escala de cuenca que, además de proveer descriptores físicos e información hidrometeorológica, proporciona un índice de intervención antrópica basado en derechos consuntivos permanentes. Recientemente, Barría et al. (2019) evaluaron la vulnerabilidad del actual sistema de otorgamiento de derechos de agua en la cuenca del río Perquillauquén en Quella, concluyendo que existe una sobre-asignación de recursos en la actualidad, condición que podría exacerbarse al considerar escenarios de menor disponibilidad hídrica futura.

A pesar de los avances recientes en Chile, aún no se cuenta con un análisis nacional de la calidad de los datos de DAA, lo que constituye un vacío de información clave para el estudio de los recursos hídricos del país y su gestión sostenible. En este trabajo se presenta un diagnóstico de la base de datos de DAA elaborada por la Dirección General de Aguas (DGA). El objetivo de este análisis es identificar y, eventualmente, corregir posibles inconsistencias en la información, pavimentando el camino para su utilización en estudios de predictibilidad hidrológica.

## 2. ANTECEDENTES

En Chile, el sistema de asignación de aguas opera en base a un modelo de mercado de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA), regulado por el Código de Aguas de 1981 (Congreso de la República de Chile, 1981); en el artículo 6 de dicho Código se define el derecho de aprovechamiento de la siguiente manera:

*“El derecho de aprovechamiento es un derecho real que recae sobre las aguas y consiste en el uso y goce de ellas, con los requisitos y en conformidad a las reglas que prescribe este Código. El derecho de aprovechamiento sobre las aguas es de dominio de su titular, quien podrá usar, gozar y disponer de él en conformidad a la ley.”* (Congreso de la República de Chile, 1981)

El Código de Aguas de 1981 también clasifica a los derechos de aprovechamiento como consuntivos o no consuntivos, de ejercicio permanente o eventual, y de ejercicio continuo, discontinuo y alternado.

La Dirección General de Aguas tiene a disposición pública una base de datos donde se encuentra la información correspondiente a los derechos de aprovechamiento originales y solicitudes asociadas registradas en la Dirección General de Aguas, tales como traslados del ejercicio del derecho, cambios de punto de captación y de abastecimiento aprobados, así como a transferencias informadas por usuarios, de acuerdo a lo contemplado en el artículo 122 del Código de Aguas. Dicha base de datos incluye información sobre la fuente de aprovechamiento (aguas superficiales o subterráneas), el tipo de derecho (i.e. consuntivo o no consuntivo), uso (i.e. agua industrial, de riego, doméstica y potable, energía hidroeléctrica, piscicultura, minería y clasificado como "otros usos"), flujo anual asignado (expresado en unidades de volumen por tiempo o como "acciones") y asignación temporal (i.e. permanente y continua, permanente y discontinua, permanente y alterna, eventual y continua, eventual y discontinua, o eventual y alternado) (Alvarez-Garreton et al., 2018).

## 3. METODOLOGÍA

La metodología que se realiza para el análisis íntegro de la base de datos de los derechos de aprovechamiento es la siguiente:

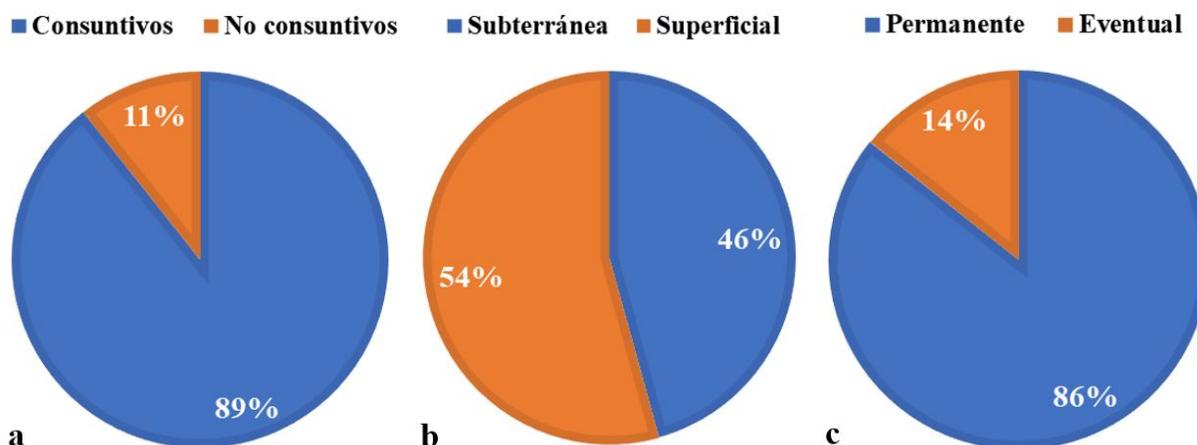
1. Caracterización general de los DAA disponibles en la base de datos de la DGA.
  - 1.1. Cuantificación de los DAA según su tipo (consuntivos y no consuntivos), naturaleza de la fuente de aprovechamiento (superficial o subterránea) y ejercicio del derecho de aprovechamiento (permanente o eventual).
  - 1.2. Identificación y posterior eliminación de los DAA cuyo código de expediente tiene las iniciales “VT” debido a que hacen referencia a un traslado en el ejercicio de un derecho de aprovechamiento existente; al no eliminarlos, se estaría duplicando la información.
2. Análisis de la distribución espacial de los DAA en Chile Continental.
  - 2.1. Cuantificación (cantidad y volumen de caudal) de los DAA por región. Para obtener el volumen de caudal asignado a DAA, se consideran únicamente los derechos de aprovechamiento cuya unidad de caudal es l/s, ya que, si bien hay estudios en los cuales se han encontrado conversiones para transformar acciones a l/s en algunas cuencas o

secciones de cuencas (e.g., Barría et al., 2019; DGA, 2018), los documentos oficiales de la DGA donde se indique dicha conversión no son siempre de libre acceso.

3. Análisis de la distribución espacial de los DAA que no se pueden desagregar a nivel de cuenca.
  - 3.1. Identificación y cuantificación (cantidad y volumen de caudal), por región, de derechos de aprovechamiento sin coordenadas.
  - 3.2. Verificación de validez en las coordenadas de los demás derechos de aprovechamiento mediante la identificación visual y cuantificación por región (cantidad y volumen de caudal) de coordenadas que presentan error; es decir, los DAA cuya ubicación está fuera de los límites de Chile Continental.
  - 3.3. Suma de derechos de aprovechamiento sin coordenadas y derechos con coordenadas que presentan error, para así obtener un total de la información (cantidad y caudal asignado a DAA por región) que no puede ser atribuida a ninguna cuenca hidrográfica.

#### 4. RESULTADOS

La Figura 1 muestra la cantidad de DAA otorgados desde 1901 a la fecha, clasificados según su tipo, naturaleza y ejercicio. Se observa que la mayor parte de los DAA que se han asignado son consuntivos, de ejercicio permanente. La distribución por naturaleza de la fuente es más homogénea, con una cantidad levemente mayor de DAA de origen subterráneo. Cabe destacar que esta figura hace referencia a cantidad de derechos y no a volumen de agua otorgado.



**Figura 1.** Caracterización general de los DAA según (a) tipo, (b) naturaleza de la fuente de aprovechamiento, y (c) ejercicio de derecho permanente o eventual.

La cantidad de derechos de aprovechamiento cuyo código de expediente hace referencia a un traslado en el ejercicio del derecho (iniciales “VT”) corresponde a un 1% (Figura 2) y, aunque este porcentaje es muy bajo, dichos derechos se eliminan de la base de datos obtenida para evitar que la información sea duplicada. En la misma figura, del 99% restante, también se muestra la distribución, en cantidad, de los derechos de aprovechamiento asignados por región, donde se observa que la mayor parte de estos se concentran en las regiones de la Araucanía, Bío Bío y Los Lagos (zona sur de Chile).

Un 90% de los derechos de aprovechamiento se encuentran asignados bajo la unidad de l/s, y su distribución por región en volumen de caudal anual promedio se muestra en la Figura 3, donde se observa que la Región Metropolitana es en donde se ha asignado un mayor volumen de caudal como derechos de aprovechamiento.

La visualización del número de DAA asignados por región respecto al volumen de caudal anual promedio que representan se muestra en la Figura 4, donde lo que sobresalta es que, a pesar de que la Región Metropolitana no tiene la mayor cantidad de derechos de aprovechamiento asignados, el volumen de caudal que estos representan es mucho mayor respecto al de las demás regiones.

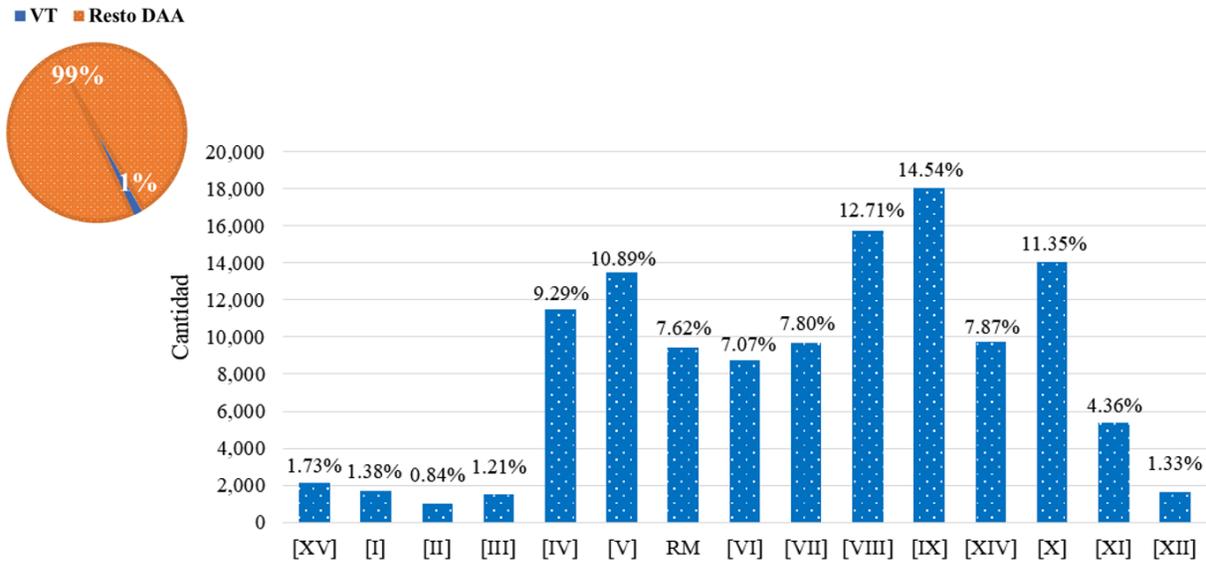


Figura 2. Distribución nacional del número de DAA asignados por región.

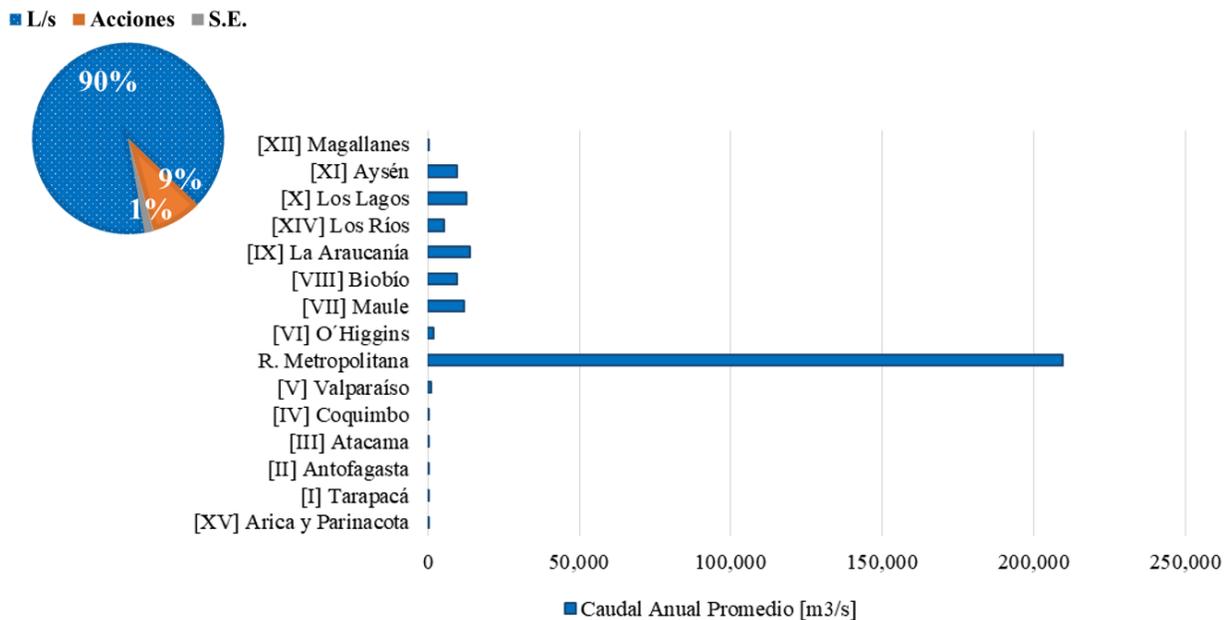
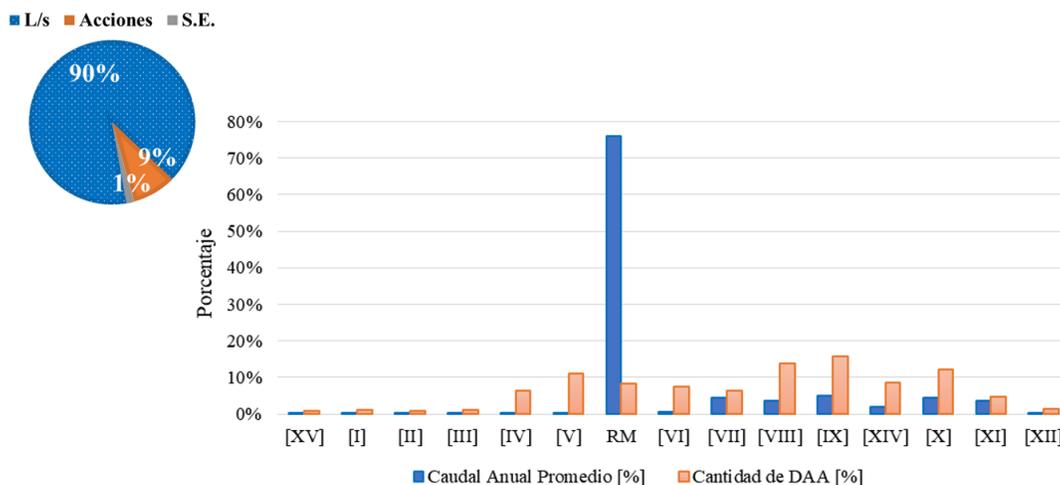
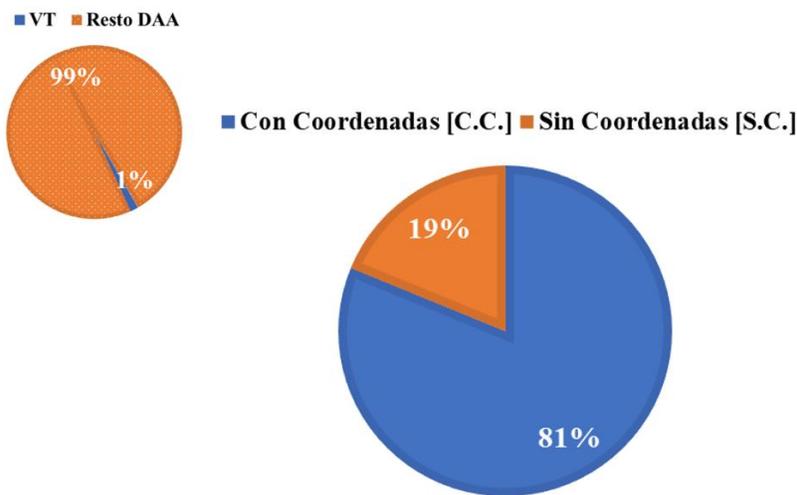


Figura 3. Volumen de caudal anual promedio asignado como DAA por región.

Respecto a la cuantificación de derechos de aprovechamiento que no poseen coordenadas (Figura 5), se obtiene que corresponden al 19% del total de la base de datos de la DGA, es decir, un 19% del 99% de la base de datos que no incluye derechos duplicados (DAA con código de expediente “VT”); esta porción de derechos de aprovechamiento se distribuyen por región como se muestra en la Figura 6, donde se observa que la mayor cantidad de DAA que no poseen coordenadas se ubican en las regiones de Coquimbo, Metropolitana y Valparaíso (zona centro-norte de Chile).



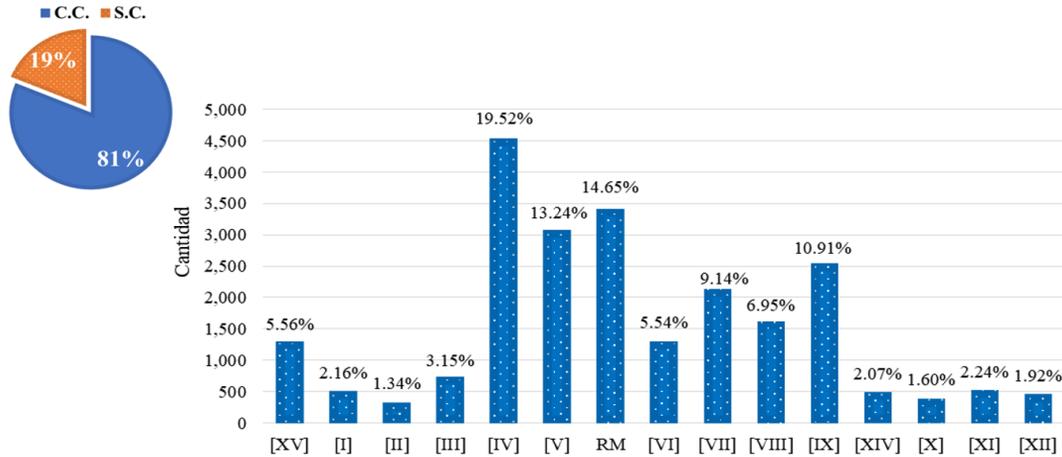
**Figura 4.** Relación entre cantidad y volumen de caudal anual promedio asignado como DAA, por región.



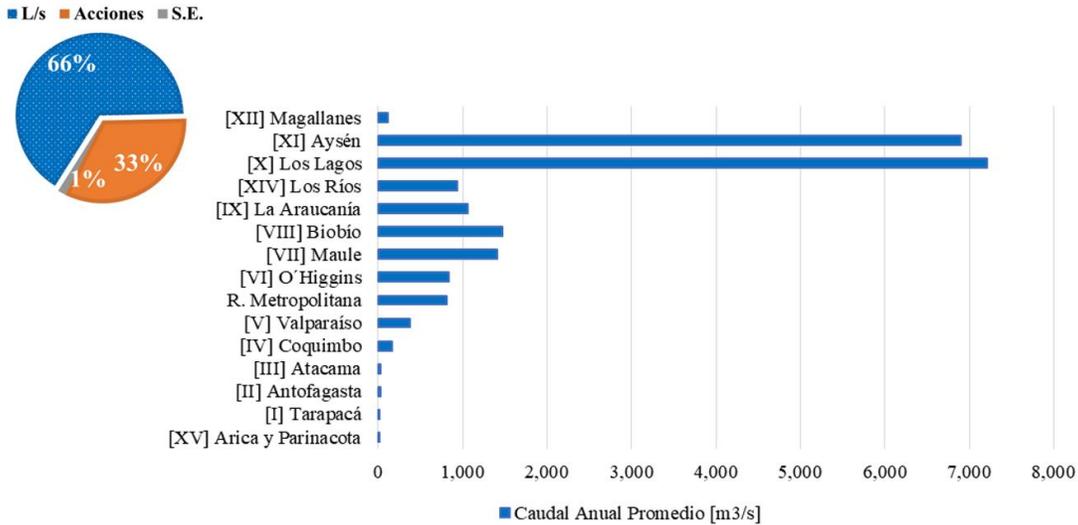
**Figura 5.** Cuantificación de DAA según posesión de coordenadas.

Dentro del grupo de DAA que no poseen coordenadas, solamente el 66% se encuentra asignado bajo la unidad de l/s; la Figura 7 ilustra el volumen de caudal anual promedio asignado como derechos de aprovechamiento, por región, que pertenecen a dicho porcentaje. En esta figura se observa que en las regiones de Los Lagos y Aysén es en donde se obtiene el mayor volumen de caudal extraído como DAA, y sin poder ser atribuido a un punto específico (zona austral de Chile). Asimismo, en la Figura 8 se muestra la cantidad de derechos de aprovechamiento asignados respecto al volumen de caudal anual promedio que representan. Se observa que, en las regiones de Los Lagos y Los Ríos (zona Sur de Chile), el volumen de caudal asignado a DAA sin coordenadas

es mucho mayor respecto a las demás, tomando en cuenta que, en cuanto a cantidad de DAA, son de las regiones más bajas.

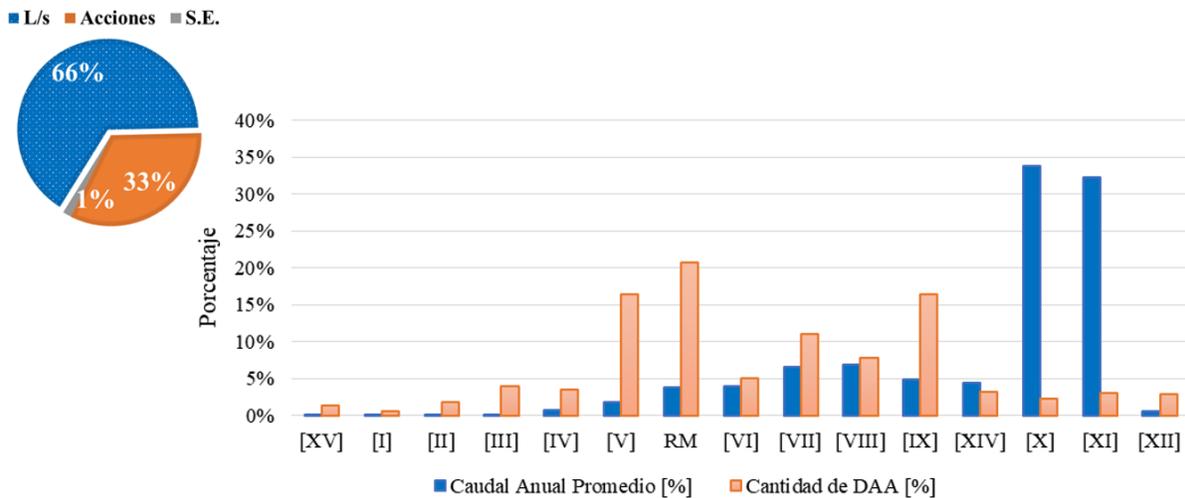


**Figura 6.** Distribución nacional del número de DAA que no poseen coordenadas.

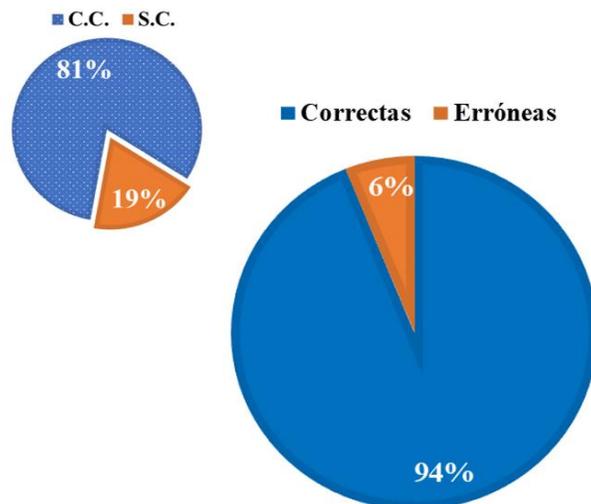


**Figura 7.** Volumen de caudal anual promedio, por región, asignado a DAA que no poseen coordenadas.

Respecto al grupo de derechos de aprovechamiento que sí poseen coordenadas (un 81% del 99% de la base de datos que no incluye derechos duplicados), el 6% de estas presentan errores (Figura 9), debido a que muestran su ubicación fuera de los límites de Chile Continental. A partir de lo anterior, la Figura 10 ilustra la distribución nacional de dichos derechos de aprovechamiento, observándose que la mayor cantidad de DAA con coordenadas erróneas se ubican en la región del Maule (zona central de Chile). Dentro del grupo de DAA que poseen coordenadas con error, solamente el 68% se encuentra asignado bajo la unidad de l/s, lo cual se muestra en la Figura 11. En esta figura también se observa que la mayor cantidad de caudal asignado a DAA que poseen coordenadas con error corresponde a la región de Los Ríos. De manera similar a los casos anteriores, la relación entre cantidad de DAA con coordenadas erróneas respecto al volumen de caudal anual promedio que le corresponde presenta mucho contraste (Figura 12), principalmente en la región de Los Ríos.



**Figura 8.** Relación entre cantidad y volumen de caudal anual promedio, por región, asignado a DAA que no poseen coordenadas.



**Figura 9.** Cuantificación de DAA que poseen coordenadas con error.

Finalmente, para poder estimar la cantidad de derechos de aprovechamiento, junto al volumen de caudal correspondiente, que no poseen coordenadas (o las mismas son erróneas), se suman los resultados expuestos en las Figuras 6, 7 y 8 (DAA que no tienen coordenadas) junto a las Figuras 10, 11 y 12 (DAA que tienen coordenadas con error). Las Figuras 13, 14 y 15 muestran, al igual que los casos anteriores, la distribución nacional del total de DAA que no poseen coordenadas (Figura 13), distribución del volumen de caudal correspondiente a dichos DAA y que se encuentran asignados bajo la unidad de l/s (Figura 14) y, finalmente, la relación entre cantidad y volumen asignado de caudal correspondiente a estos últimos (Figura 15).

En esta última figura, se logra observar que el volumen de caudal asociado a todos los DAA sin coordenadas (o coordenadas con error), aumenta de norte a sur, incrementándose considerablemente en la región de Los Lagos y de Aysén, mientras que, en cantidad de DAA, estos se concentran en la región central del país, y disminuyen gradualmente de centro a sur.

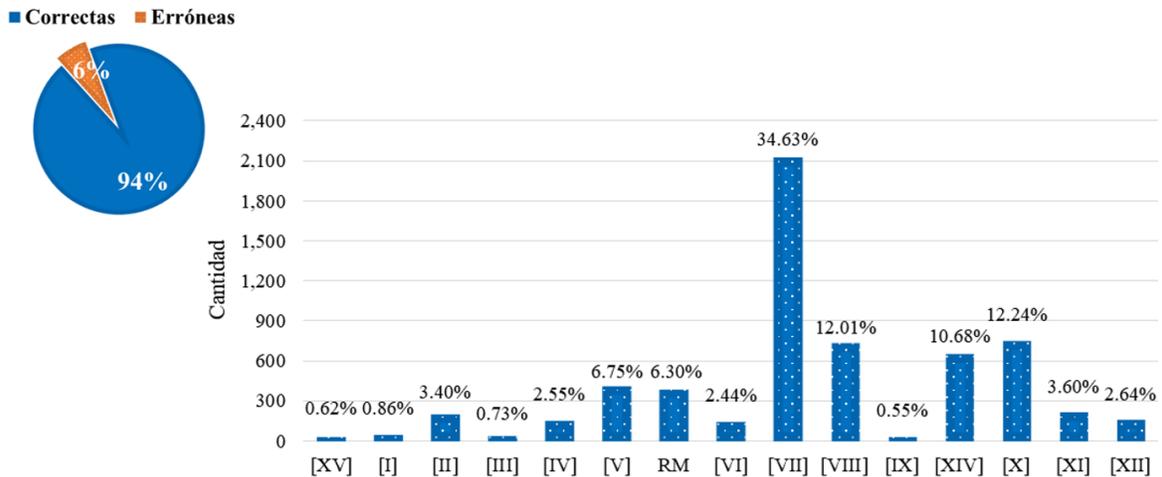


Figura 10. Distribución nacional de los DAA que poseen coordenadas incorrectas.

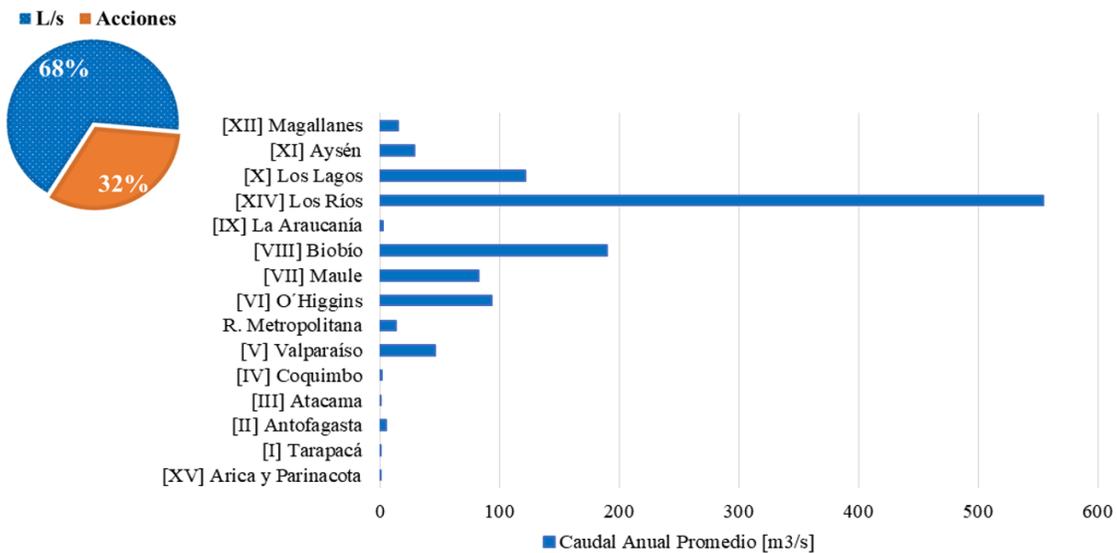


Figura 11. Volumen de caudal asignado a DAA que poseen coordenadas incorrectas.

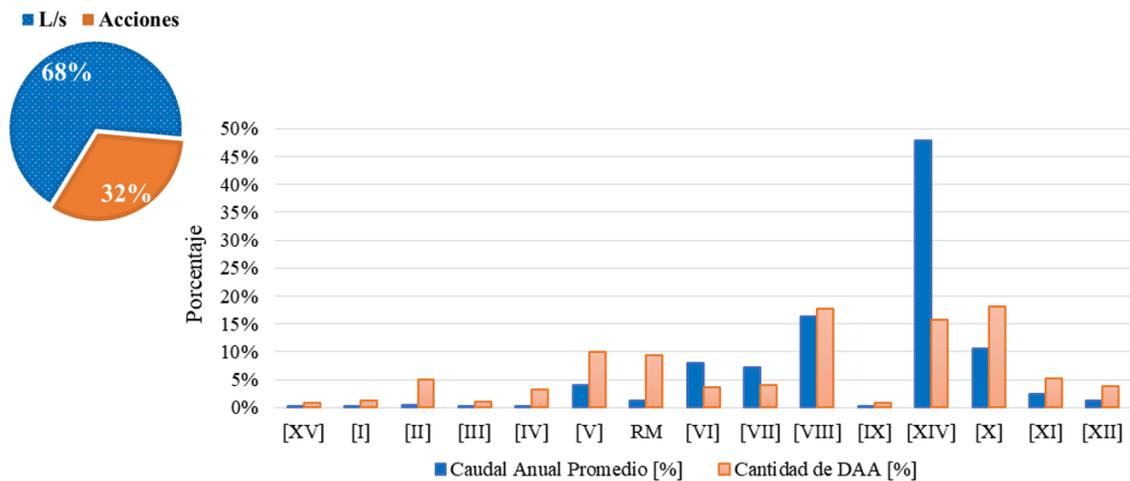
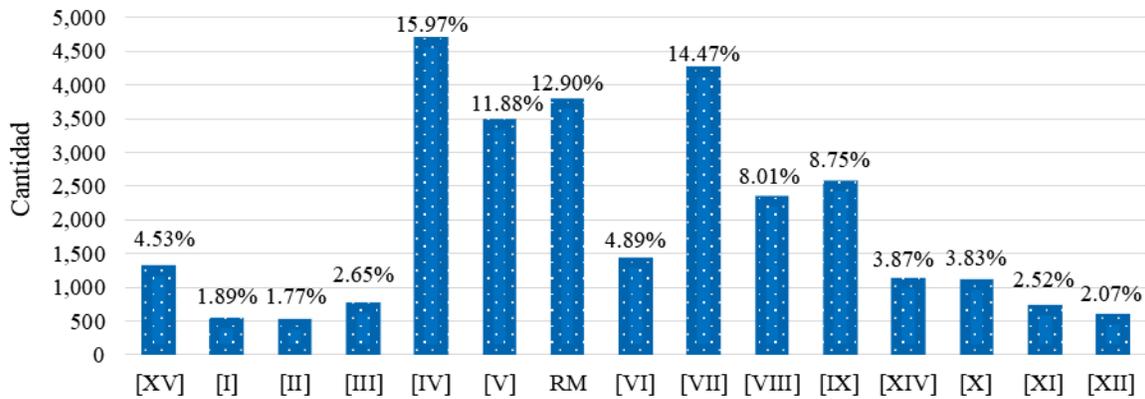
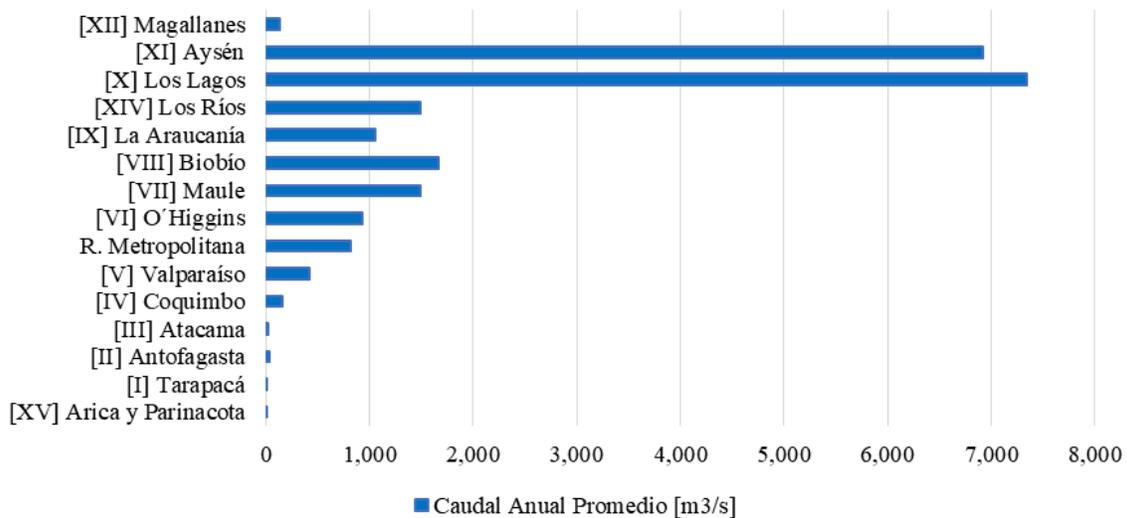


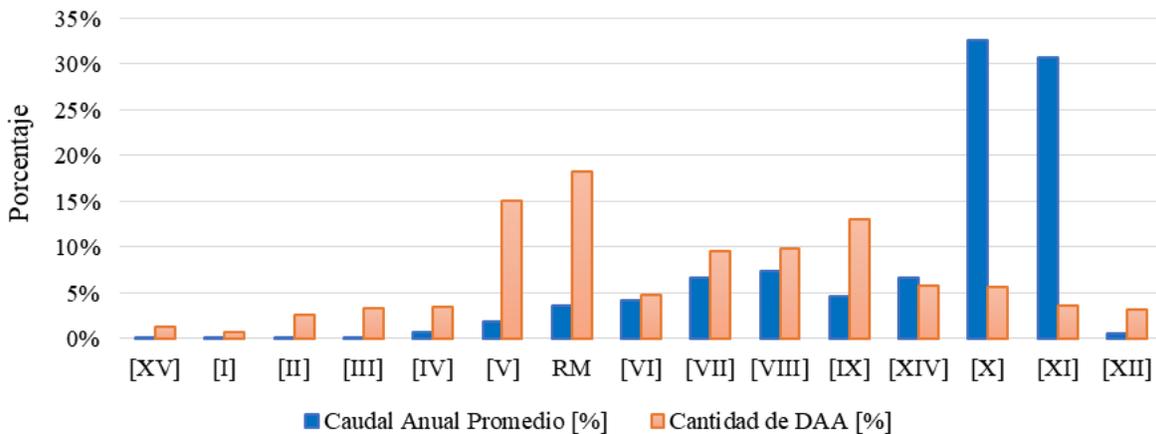
Figura 12. Relación entre cantidad y volumen de caudal asignado a DAA que poseen coordenadas incorrectas.



**Figura 13.** Distribución nacional de los DAA que no poseen coordenadas, o estas son incorrectas.



**Figura 14.** Volumen total de caudal anual promedio, por región, asignado a DAA que no poseen coordenadas, o estas son incorrectas.



**Figura 15.** Relación entre cantidad y volumen total de caudal anual promedio, por región, asignado a DAA que no poseen coordenadas, o estas son incorrectas.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base al diagnóstico de la base de datos nacional de derechos de aprovechamiento de aguas efectuado en este trabajo, y considerando la importancia que tiene la información contenida en dicha base de datos para la cuantificación y gestión de los recursos hídricos de Chile, se concluye lo siguiente:

1. Es necesario que la base de datos disponible de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas sea completada y/o corregida respecto a la ubicación geográfica de los mismos, ya que sin ello se torna difícil estimar el nivel de intervención junto a la disponibilidad del recurso hídrico en las fuentes de aprovechamiento y, por ende, las cuencas hidrográficas.
2. En cuanto a cantidad de derechos de aprovechamiento, las regiones entre Coquimbo y Maule son las que tienen la mayor cantidad de DAA sin coordenadas. Esto podría deberse a que la zona es altamente agrícola, lo cual podría asociarse a una mayor asignación de derechos de aprovechamiento de ejercicio eventual.
3. El elevado volumen de caudal asignado en DAA sin coordenadas en la región de Los Lagos y Los Ríos, podría asociarse a una mayor disponibilidad de los recursos hídricos en esa zona, por lo que la posibilidad de asignar volúmenes de caudal mayores en los derechos de aprovechamiento es factible.
4. A partir del elevado volumen de caudal asignado como DAA en la Región Metropolitana, se insta a reforzar los mecanismos de supervisión a los derechos existentes, así como a la regulación en la asignación de nuevos derechos de aprovechamiento en la región.

Para subsanar el problema de DAA sin coordenadas (o coord. erróneas) se recomienda adoptar alguna metodología de corrección de coordenadas; un ejemplo es la metodología desarrollada por el equipo de trabajo perteneciente al Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile (Munita, 2018), donde se logró ubicar los derechos de aprovechamiento carentes de coordenadas, desde la región de Arica y Parinacota hasta la región del Maule, mediante la información de la subsubcuencas (SSC) y las referencias de cada derecho asignado. La metodología propuesta se puede revisar y/o mejorar por las autoridades correspondientes con el fin de solventar el problema de la falta de coordenadas y/o coordenadas erróneas en los DAA.

También es importante recordar que, durante el análisis de los volúmenes de caudal asignado a derechos sin coordenadas, o coordenadas con error, no se tomaron en cuenta los DAA que se encuentran asignados bajos acciones, ya que los documentos o estudios elaborados por la DGA donde se indica la equivalencia de una acción en l/s, por región o cuenca hidrográfica, son limitados y no siempre se encuentran en lugares de libre acceso, por lo que se insta a elaborar los documentos necesarios para que se pueda disponer de dicha información a nivel nacional.

Finalmente, es importante resaltar que el diagnóstico realizado en este trabajo es de suma importancia para la correcta cuantificación y gestión de los recursos hídricos de Chile, así como la futura utilización de la base de datos nacional de DAA en estudios de predictibilidad hidrológica.

## AGRADECIMIENTOS

Camila Alvarez-Garreton agradece el financiamiento del proyecto de postdoctorado FONDECYT No. 3170428.

## REFERENCIAS

- Addor, N., Do, H., Alvarez-Garretón, C., Coxon, G., Fowler, K., & Mendoza, P. (2019). Large-sample hydrology: recent progress, guidelines for new datasets and grand challenges. *Journal of Hydrological Sciences*, Under review.
- Addor, N., Nearing, G., Prieto, C., et al (2018). A Ranking of Hydrological Signatures Based on Their Predictability in Space. *Water Resources Research*. <https://doi.org/10.1029/2018WR022606>
- Alvarez-Garretón, C., Lara, A., Boisier, J. P., & Galleguillos, M. (2019). The impacts of native forests and forest plantations on water supply in Chile. *Forests*. <https://doi.org/10.3390/f10060473>
- Alvarez-Garretón, C., Mendoza, P. A., Boisier, J. P., 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>
- Andréassian, V., Hall, A., Chahinian, N., & Schaake, J. (2006). Why should hydrologists work on a large number of basin data sets? *Large Sample Basin Experiments for Hydrological Model Parameterization. Results of the Model Parameter Experiment - MOPEX. IAHS Publ. 307*, 1–5.
- Barría, P., Rojas, M., Moraga, P., Muñoz, A., Bozkurt, D., & Alvarez-Garretón, C. (2019). Anthropocene and streamflow: Long-term perspective of streamflow variability and water rights. *Elementa*. <https://doi.org/10.1525/elementa.340>
- Berghuijs, W. R., Sivapalan, M., Woods, R. A., & Savenije, H. H. G. (2014). Patterns of similarity of seasonal water balances: A window into streamflow variability over a range of time scales. *Water Resources Research*. <https://doi.org/10.1002/2014WR015692>
- Brown, A. E., Zhang, L., McMahon, T. A., et al (2005). A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. *J Hydrology* 310:28–61. doi: 10.1016/j.jhydrol.2004.12.010
- Congreso De La República De Chile: Decreto Fuerza de Ley 1122. 1981. Fija Texto del Código de Aguas, 1–68.
- DGA, 2018. Diagnóstico Nacional de Organizaciones de Usuarios. Departamento de Estudios y Planificación, Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Santiago, Chile.
- Gupta, H. V., Perrin, C., Blöschl, G., et al (2014). Large-sample hydrology: A need to balance depth with breadth. *Hydrology and Earth System Sciences*. <https://doi.org/10.5194/hess-18-463-2014>
- Hrachowitz, M., Savenije, H. H. G., Blöschl, G., et al (2013). A decade of Predictions in Ungauged Basins (PUB)-a review. *Hydrological Sciences Journal*. <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.803183>
- Munita, D. 2018. Metodología de la ubicación de los Derechos de Aguas en Chile. Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
- Veldkamp, T. I. E., Zhao, F., Ward, P. J., et al (2018). Human impact parameterizations in global hydrological models improve estimates of monthly discharges and hydrological extremes: A multi-model validation study. *Environmental Research Letters*, 13(5). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aab96f>
- Vertessy, R. A. (2000). Impacts of Plantation Forestry on Catchment Runoff. In E. . S. Nambiar. & A. G. Brown (Eds.), *Plantations, Farm Forestry and Water* (pp. 37426–37497). Melbourne.
- Wada, Y., Bierkens, M. F. P., De Roo, A., et al (2017). Human-water interface in hydrological modelling: Current status and future directions. *Hydrol Earth Syst Sci*, 21(8), 4169–4193. <https://doi.org/10.5194/hess-21-4169-2017>
- Wagener, T., Sivapalan, M., Troch, P., & Woods, R. (2007). Catchment Classification and Hydrologic Similarity. *Geography Compass*. <https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2007.00039.x>