



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE POSTGRADO

**EVALUACIÓN DE LOS INDICADORES E ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA
PROPUESTOS PARA EL PLAN DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO
EN CHILE
CASO ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO MAIPO**

Actividad Formativa Equivalente para optar al Título Profesional de
Ingeniera en Recursos Naturales Renovables y al Grado de Magíster en
Gestión Territorial de Recursos Naturales

LORETO ANDREA VEGA CONTADOR

Profesor Guía de AFE
Dr. Rodrigo Fuster Gómez

Profesores consejeros
Dr. Carl J. Bauer
Dra. Beatriz Bustos Gallardo

Profesor Externo
Dr. Sebastián Vicuña Díaz

SANTIAGO – CHILE
2023

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

**EVALUACIÓN DE LOS INDICADORES E ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA
PROPUESTOS PARA EL PLAN DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO
EN CHILE**
CASO ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO MAIPO

AFE para optar al Título Profesional de Ingeniera en Recursos Naturales
Renovables y al Grado de Magíster en Gestión Territorial de Recursos
Naturales

LORETO ANDREA VEGA CONTADOR

Calificaciones

GUIA DE TESIS/AFE

Rodrigo Fuster Gómez
Ingeniero Agrónomo/a, MS, Dr.


Rodrigo
Fuster Gomez
14.243.708-2
19/06/2023 - 10:49
UNIVERSIDAD
DE CHILE
ESTE DOCUMENTO CONTIENE FIRMA ELECTRÓNICA AVANZADA
<https://ceropapel.uchile.cl/validacion/verificador>
CV: 64906af0b3d20ed4392854f1

6,8

PROFESORES/AS CONSEJEROS/AS

Beatriz Bustos Galladro
Administrador Público, Mg, Ph.D.

6,7

Carl J. Bauer
Geólogo, MS, Ph.D.

5,0

PROFESOR EXTERNO

Sebastián Vicuña Díaz
Ingeniero, MS, Ph.D.

Santiago, Chile
2023

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA

Parto dando las gracias a mi querido Profesor Guía Rodrigo Fuster, por la oportunidad de desarrollar esta AFE, por su confianza, por su paciencia y por compartir sus conocimientos y tiempo durante el desarrollo de este trabajo.

A las grandes amigas que me regaló la universidad, Pancha, Piluli y Jo, gracias por todo. Sin duda los años universitarios fueron mejores con ustedes.

A mis amigos Nacho, Ogalde, Gabito, Dani, Seba, Basti y Shago, por todos los momentos en que tuvimos la oportunidad de reír, compartir, estudiar, copuchar y carretiar.

A mi Felipito, por su amor incondicional, por ser mi compañero.

A mis hermanos Mati, Fran, Vicho y Anto, y por supuesto a mis padres, Bárbara y Edgardo, todo lo que soy se lo debo a mi amada familia, les agradezco desde lo más profundo de mi corazón, por siempre apoyarme y confiar en mí. Este logro va dedicado a ustedes.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	1
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	3
OBJETIVOS	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos:	3
MATERIALES Y MÉTODOS	4
Área de Estudio	5
Evaluación de la Disponibilidad y Calidad de la información.....	7
Evaluación de la Disponibilidad	7
Evaluación de Calidad	8
Evaluación de la coherencia de los resultados de los indicadores e índices con el estado hídrico en la cuenca del río Maipo.....	10
Estimación de Indicadores en la cuenca del río Maipo.....	10
Valoración de los indicadores e índices de Seguridad Hídrica	14
Consulta criterio experto y comparación con fuentes de información secundarias	16
Utilidad de los indicadores e índices para la toma de decisiones y Propuestas de Mejora	17
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
Evaluación de la disponibilidad y calidad de la información	18
Evaluación de la coherencia de los resultados de los indicadores e índices con el estado hídrico en la cuenca del río Maipo.....	25
Estimación de las variables de oferta y disponibilidad hídrica Escenarios 1 y 2.....	26
Estimación y valoración de los indicadores de Seguridad Hídrica en la Cuenca del Río Maipo	32
Valoración de los índices Seguridad Hídrica en la Cuenca del Río Maipo	40
Utilidad de los indicadores e índices para la toma de decisiones y Propuestas de Mejora	42
Limitantes y debilidades para la estimación de indicadores de Seguridad Hídrica	42
Utilidad de los indicadores e índices para la toma de decisiones	43
Propuestas de Mejora y Recomendaciones	44
CONCLUSIONES	47
LITERATURA CITADA	48
ANEXOS	53
APÉNDICES.....	55

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Categorización de la Calidad de la información	9
Cuadro 2. Calificación y Categorización de Indicadores <i>S</i> y <i>VS</i> a nivel subdimensión.....	15
Cuadro 3. Calificación y Categorización de Índices de Seguridad Hídrica a nivel Dimensión según valor obtenido	15
Cuadro 4. Elección expertos para entrevistar.....	25
Cuadro 5. Estimaciones de las variables Oferta Hídrica de Indicadores de Satisfacción Hídrica (<i>S</i>) para Escenario 1 y Escenario 2.....	27
Cuadro 6. Estimaciones de las variables Oferta Hídrica de los indicadores de Vulnerabilidad Hídrica (<i>VS</i>) para Escenario 1 y Escenario 2	28
Cuadro 7. Estimación de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) de uso consuntivo en la cuenca del río Maipo actualizados al 31 de octubre de 2022	30
Cuadro 8. Estimación de la variable <i>Disp</i> para los Indicadores de Satisfacción Hídrica (<i>S</i>)	31
Cuadro 9. Estimación de la variable <i>Disp</i> para los indicadores de Vulnerabilidad Hídrica (<i>VS</i>).....	31
Cuadro 10. Resultado Indicador de Satisfacción Hídrica (<i>S</i>) para las Actividades de Subsistencia Familiar	32
Cuadro 11. Resultado Indicador de Vulnerabilidad Hídrica (<i>VS</i>) para las Actividades de Subsistencia Familiar	32
Cuadro 12. Resultado Indicador de Satisfacción Hídrica (<i>S</i>) para las Necesidades Humanas Básicas	33
Cuadro 13. Resultado Indicador de Vulnerabilidad Hídrica (<i>VS</i>) para las Necesidades Humanas Básicas	33
Cuadro 14. Estimación indicador PRM	34
Cuadro 15. Resultado Indicador de Satisfacción Hídrica (<i>S</i>) para las Actividades Productivas Extractivas de Agua	35
Cuadro 16. Resultado Indicador de Vulnerabilidad Hídrica (<i>VS</i>) para las Actividades Productivas Extractivas de Agua	35
Cuadro 17. Resultado Indicador de Satisfacción Hídrica (<i>S</i>) para las Actividades Productivas no Extractivas de Agua - Sector Hidroeléctrico.....	36
Cuadro 18. Resultado Indicador de Satisfacción Hídrica (<i>S</i>) para las Actividades Productivas no Extractivas de Agua – Sector Turismo	37
Cuadro 19. Resultado Indicador de Vulnerabilidad Hídrica (<i>VS</i>) para las Actividades Productivas no Extractivas de Agua - Sector Hidroeléctrico.....	37
Cuadro 20. Resultado Indicador de Vulnerabilidad Hídrica (<i>VS</i>) para las Actividades Productivas no Extractivas de Agua – Sector Turismo.....	37
Cuadro 21. Resultado Indicador de Satisfacción Hídrica (<i>S</i>) para la Protección y Conservación de los Ecosistemas	38
Cuadro 22. Resultado Indicador de Vulnerabilidad Hídrica (<i>VS</i>) para la Protección y Conservación de los Ecosistemas	39
Cuadro 23. Resultado Indicador de Satisfacción Hídrica (<i>S</i>) para el Control de la Contaminación	39

Cuadro 24. Resultado Indicador de Vulnerabilidad Hídrica (<i>VS</i>) para el Control de la Contaminación	39
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Dimensiones y subdimensiones de Seguridad Hídrica aplicados en la cuenca del río Maipo	4
Figura 2. Área de Estudio.....	6
Figura 3. Categorización de calidad para “Disponibilidad de los datos y/o series”	19
Figura 4. Categorización de calidad por criterio para los datos y/o series utilizados	20
Figura 5. Cantidad de Variables según método de obtención.....	23
Figura 6. Distribución de los caudales medios mensuales superficiales para Escenario1 y 2 en Estación Río Maipo en el Manzano	27
Figura 7. Distribución de los caudales medios mensuales superficiales para Escenario1 y 2 en Estación Río Mapocho en Los Almendros.....	28
Figura 8. Valoración de los Índices de Seguridad Hídrica para Escenario 1	40
Figura 9. Valoración de los Índices de Seguridad Hídrica para Escenario 2.....	41

ANEXOS

Anexo 1. Descripción de tipos de fuente o métodos.....	53
--	----

APÉNDICES

Apéndice 1. Propuesta pauta temática para entrevistas semiestructuradas a expertos	55
Apéndice 2. Consentimiento informado entrevistas	56
Apéndice 3. Evaluación de calidad de la información utilizada para obtener las variables que alimentaron los Indicadores de Seguridad Hídrica para los Escenarios de Oferta Hídrica 1 y 2.....	57
Apéndice 4. Descripción de los criterios de calidad evaluados en las fuentes de información utilizadas para obtener las variables que alimentaron los Indicadores de Seguridad Hídrica para Escenario 1 y 2	68

RESUMEN

En las últimas décadas, el concepto de Seguridad Hídrica ha adquirido una creciente importancia debido a la necesidad de una gestión más sostenible y efectiva de los recursos hídricos, especialmente en el contexto actual de Cambio Climático. En Chile, en el marco de la formulación del Plan de Acción Nacional del Cambio Climático (2017-2022), el Ministerio de Medio Ambiente, mandató el “Estudio de Seguridad Hídrica en Chile en un contexto de Cambio Climático” (LAT, 2017), el cual propuso una definición de Seguridad Hídrica integradora, que relaciona metas de igual forma para el bienestar humano con aquellas relacionadas a la conservación de los ecosistemas. A su vez, se propusieron una serie de indicadores e índices que permiten valorar el estado de la Seguridad Hídrica a escala de cuenca y que pretenden ser un insumo para el Plan de Adaptación de Recursos Hídricos al Cambio Climático. El presente estudio evaluó dichos indicadores e índices, los cuales fueron aplicados en la cuenca del río Maipo considerando dos escenarios de disponibilidad hídrica. El Escenario 1 consideró la oferta hídrica dada por el caudal medio anual (superficial y subterráneo) de los últimos 30 años desde 1991 hasta 2020. El Escenario 2 tomó en cuenta el caudal medio anual (superficial y subterráneo) del año 2020. Esto, con intención de reflejar la realidad hídrica tanto en condiciones normales, como en condiciones de sequía o vulnerabilidad dadas por el contexto actual de Megasequía. A partir de lo anterior, primeramente, se realizó una evaluación de la disponibilidad y la calidad de la información, donde se obtuvo información disponible para la mayoría de las variables que alimentan los indicadores, pero con baja frecuencia de actualización y coberturas temporales incompletas. Estos datos son coincidentes con las grandes brechas informativas con relación al agua a nivel país. Consecutivamente, se estimaron todos los indicadores en la cuenca, donde los resultados fueron comparados con la realidad hídrica. En general, las estimaciones fueron coherentes de forma global. No obstante, se identificaron algunas limitantes y debilidades relacionadas principalmente a la oferta y disponibilidad real del agua en la cuenca y sus variaciones temporales y espaciales. A partir de lo anterior, se discutió sobre el potencial uso de los indicadores e índices para la toma de decisiones y su aporte a la política pública, así proponiendo mejoras que permitan obtener resultados más precisos. En conclusión, los indicadores permiten valorar el estado de la Seguridad Hídrica en la cuenca del río Maipo de forma global, pero requieren de mejoras para ser un insumo en la toma de decisiones y lineamientos que permitan aproximarse a la Seguridad Hídrica.

Palabras clave: Seguridad Hídrica, Disponibilidad Hídrica, Cuenca del Río Maipo.

ABSTRACT

In the last decades, the concept of Water Security has acquired growing importance due to the necessity of effective and sustainable management of water resources, especially in the present context of Climate Change. In Chile, in the frame of the Climate Change National Plan of Action (2017-2022), the Department of Environment commanded the "Study of Water Security in Chile in a Context of Climate Changing" (LAT, 2017), which proposed an integrated definition of Water Security, that equally relate the human welfare objectives with those associated with the ecosystem conservation. At the same time, a series of indicators and signs were proposed to assess the condition of Water Security at the basin scale, which pretends to be an input for the Adaptation Plan of Water Resources to Climate Change. The present study evaluated those indicators and signs applied to the Maipo River basin concerning two scenarios of water disponibility. Scenario 1 considered the water supply is given by the water flow annual average (surface and groundwater) of the last 30 years from 1991 to 2020. Scenario 2 considered the water flow annual average (surface and groundwater) in 2020. This research intended to reflect the water reality in normal conditions and drought or vulnerability given by the current Megadrought context. Based on the above, firstly, an evaluation of the information availability and quality was carried out. The available information was obtained from most variables that compose the indicators, with a low frequency of updates and incomplete temporary coverages. This data coincides with the big informative gap related to water at a country level. Consecutively, all the indicators of the basin were estimated, and the results were compared to the water reality. In general, the measures were globally coherent. Nevertheless, some limitations and weaknesses were identified. They were principally related to the offer and availability of the basin water and their temporal and spatial variations. Based on the above, the present study discussed the potential usage of indicators and signs for decision-making and its contribution to public policies, thus proposing improvements that allow for acquiring more accurate results. In conclusion, indicators let globally assess the state of Water Security in the Maipo River Basin, but they require improvements to be an input in the decision-making process and guidelines that allow proximate to Water Security.

Keywords: Water Security, Water availability, Maipo River Basin.

INTRODUCCIÓN

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), en su Sexto Informe de Evaluación (2023), ha indicado que se han producido cambios generalizados y rápidos en la atmósfera, el océano, la criósfera y la biosfera. El cambio climático antropogénico está afectando de múltiples formas a todas las regiones de la tierra, donde, además, las proyecciones indican que en las próximas décadas los efectos del cambio climático se verán intensificados, conllevando a consecuencias significativas a nivel mundial (IPCC, 2021).

Uno de los efectos del cambio climático es la modificación del ciclo hidrológico (IPCC, 2021), lo que se traduce en una mayor frecuencia y magnitud de eventos extremos, como sequías prolongadas y precipitaciones muy intensas, tal como se ha observado en Chile y otras partes del mundo (Vicuña *et al.*, 2020), lo cual ha generado una drástica reducción en la disponibilidad del agua para sus diferentes usos (Santibáñez, 2018).

En este escenario, durante las últimas décadas se ha otorgado una gran importancia en la definición de un objetivo estratégico que los países debiesen alcanzar en cuanto a la gestión del agua. Esto es especialmente relevante en el contexto actual de cambio climático, que junto con los cambios de uso de suelo producto de la intensificación de las actividades agrícolas, están afectando significativamente la disponibilidad y calidad del agua en un corto y largo plazo (Peña, 2016; Bretas *et al.*, 2019).

Por lo anterior, es que, a partir del año 2000 se ha incorporado crecientemente el concepto de Seguridad Hídrica, el cual surge en respuesta a la preocupación por la escasez de agua y la necesidad de una gestión más efectiva y sostenible de los recursos hídricos que pueda dar frente a los desafíos globales relacionados con el agua (Peña, 2016). Si bien, a lo largo del tiempo se han formulado variadas definiciones del concepto, esta se ha incluido en diversas declaraciones y acuerdos internacionales (Peña, 2016).

En Chile, en el marco de la formulación del Plan de Acción Nacional del Cambio Climático (2017-2022), el Ministerio de Medio Ambiente, mandató el “Estudio de Seguridad Hídrica en Chile en un contexto de Cambio Climático” (LAT, 2017) el cual propuso una definición de Seguridad Hídrica que tuviera coherencia con el estado hídrico a nivel nacional. Esta corresponde al “*acceso al agua en un nivel de cantidad y calidad adecuada, definida por cada cuenca, para su sustento y aprovechamiento en el tiempo, tanto para la salud, subsistencia, desarrollo socioeconómico y la conservación de los ecosistemas, manteniendo una alta resiliencia frente a amenazas asociadas a sequías, crecidas y contaminación*”, definición que fue adaptada e incorporada en la Ley N°21.455 “Ley Marco de Cambio Climático” (BCN, 2022).

La propuesta corresponde a una definición integradora, ya que relaciona de igual forma las metas para el bienestar humano con aquellas relacionadas a la conservación de los ecosistemas. A su vez, también se incorporan elementos de sostenibilidad y riesgos asociados a la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos producidos por el cambio climático (LAT, 2017).

Por otra parte, para poder facilitar la medición de los objetivos de Seguridad Hídrica, esta se dividió en diferentes dimensiones, las que, a su vez, se subdividieron en subdimensiones dependiendo del tipo de uso asociado. Asimismo, en el estudio se proponen diversos indicadores e índices que buscan medir el estado de la Seguridad Hídrica en Chile, a través de la valoración de los cambios en la condición de cada una de las dimensiones y subdimensiones evaluadas (LAT, 2017).

Por lo tanto, la propuesta considera un objetivo estratégico y un conjunto de indicadores para poder evaluar la Seguridad Hídrica a una escala espacial de cuenca, resultando pertinente probar su aplicabilidad y utilidad en las hoyas hidrográficas del país.

En dicho contexto, una de las cuencas que se ha visto afectada por los efectos del cambio climático en Chile, es la del río Maipo (Ocampo-Melgar *et al.*, 2016), lo cual se ha traducido en altas temperaturas en los periodos estivales; disminución de las precipitaciones, las que a su vez, se encuentran altamente concentradas en periodos cortos de tiempo; elevación de la isoterma cero, incrementando la ocurrencia de eventos como aluviones e inundaciones; y periodos de sequía extrema (EH 2030, 2022). Esta última, ha tenido un impacto significativo en la región, ya que ha provocado una disminución de los caudales de los ríos, afectando la producción agrícola (EH 2030, 2022; Barría *et al.*, 2019) y la calidad del agua potable (DGA, 2015) generando conflictos por el uso del agua entre los diferentes usuarios (DGA, 2021).

Así, la gestión del agua en la cuenca – y en Chile – enfrenta varios desafíos, donde tender a hacia la Seguridad Hídrica, es una meta para garantizar la salud de las personas, la protección al medio ambiente y las actividades económicas (Bretas *et al.*, 2019).

Por consiguiente, con el fin de que los indicadores e índices propuestos puedan ser un insumo en la toma de decisiones para aproximarse a la Seguridad Hídrica, el objetivo general de la presente Actividad Formativa Equivalente (en adelante AFE) busca evaluar los indicadores e índices de Seguridad Hídrica propuestos en el marco de la elaboración del Plan de Adaptación al Cambio Climático (2017-2022), utilizando como caso estudio la cuenca del río Maipo. Con los resultados del presente estudio, se proyecta poder identificar brechas y limitantes de los indicadores e índices para la aplicabilidad a otras cuencas, discutir sobre el potencial aporte a la política pública y en la toma de decisiones, y la relación que pudiesen tener los indicadores e índices para el desarrollo de planes de gestión y adaptación de los recursos hídricos en la cuenca.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Se puede evaluar el estado de la Seguridad Hídrica a nivel de cuenca utilizando los indicadores e índices propuestos en el “Estudio de Seguridad Hídrica en Chile en un contexto de Cambio Climático” (LAT, 2017) para la toma de decisiones de la gestión del agua en Chile?

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar los indicadores e índices de Seguridad Hídrica propuestos para la elaboración del Plan de Adaptación de los recursos hídricos al Cambio Climático, en la cuenca del río Maipo.

Objetivos específicos:

Como objetivos específicos del presente trabajo de investigación, se presentan los siguientes propósitos:

- Evaluar la disponibilidad y calidad de la información requerida por los indicadores e índices para la cuenca del río Maipo.
- Evaluar la coherencia de los resultados de los indicadores e índices de Seguridad Hídrica con el estado hídrico de la cuenca del río Maipo.
- Explorar la utilidad de los indicadores e índices de Seguridad Hídrica para la toma de decisiones de los gestores hídricos en la cuenca del río Maipo.
- Proponer mejoras a los indicadores e índices de Seguridad Hídrica elaborados en el marco del Plan de Adaptación de los recursos hídricos al Cambio Climático.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para abordar el objetivo de la presente AFE, se utilizaron los indicadores e índices propuestos en el “Estudio de Seguridad Hídrica en Chile en un contexto de Cambio Climático para la elaboración del Plan de Adaptación de los recursos hídricos al Cambio Climático” (LAT, 2017) mandatado por el Ministerio de Medio Ambiente, los cuales fueron aplicados en la cuenca del río Maipo.

Según se definió en el estudio, un indicador corresponde a una variable cuantitativa o cualitativa que provee información válida y confiable acerca del estado de los objetivos y metas de la Seguridad Hídrica para un momento y territorio en particular (LAT, 2017). Así, el indicador permitirá valorar los diferentes cambios en las condiciones de cada una de las dimensiones o subdimensiones que la componen. Por otro lado, un índice también corresponde a una variable cuantitativa o cualitativa, sin embargo, este será compuesto por la información de dos o más indicadores, por lo que cada subdimensión de Seguridad Hídrica será valorada mediante un índice que estará construido a partir de los indicadores que componen la subdimensión en análisis (LAT, 2017).

Las dimensiones que componen la definición de Seguridad Hídrica corresponden a “Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para el consumo humano”, “Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para asegurar el desarrollo productivo sustentable”, “Cuerpos de agua con cantidad y calidad para garantizar la salud humana, el medioambiente y los diferentes usos” y “Nivel de riesgos relacionados a contaminación y eventos extremos”.

Cabe destacar que, para fines del presente estudio, el análisis se centró en la oferta y demanda de agua para los diferentes usos productivos, ecosistémicos y humanos, por lo que la dimensión “Nivel de riesgos” quedó excluida del análisis. En la Figura 1 se presentan las dimensiones y subdimensiones que fueron evaluadas.

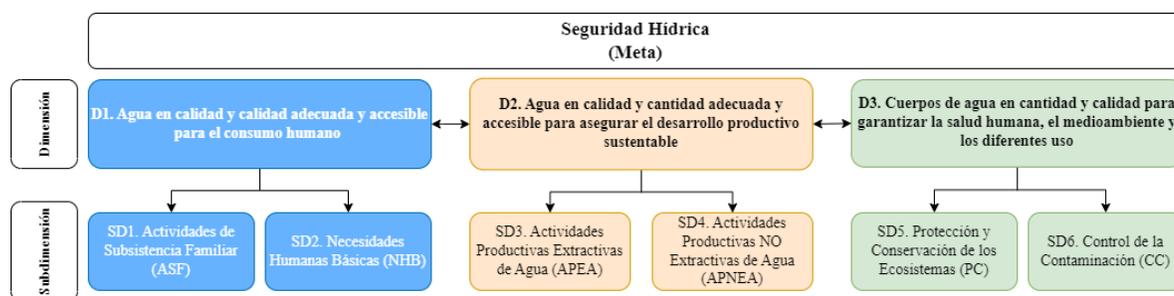


Figura 1. Dimensiones y subdimensiones de Seguridad Hídrica aplicados en la cuenca del río Maipo

Fuente: Elaboración propia en base a LAT (2017), 2023

Respecto a la escala temporal de trabajo, se utilizaron dos escenarios de oferta hídrica. El Escenario 1, consideró la oferta hídrica dada por el caudal medio anual (superficial y subterráneo) de los últimos 30 años del periodo 1991-2020¹. El Escenario 2, consideró el caudal medio anual (superficial y subterráneo) del año 2020. Lo anterior, con el fin de poder reflejar la realidad hídrica tanto en condiciones normales como en condiciones de sequía o vulnerabilidad dadas por el contexto actual de megasequía.

Vale precisar que, la elección del año 2020 como escenario de disponibilidad, se fundamentó en el propósito de representar la condición hídrica más actual posible. Además, si bien corresponde a un año dentro del periodo de megasequía, este no es catalogado como un año de “hipersequía”, como los años 2019 o 2021, los cuales se encuentran dentro de los cinco años “hipersecos” para la zona central de Chile desde que se posee registro, con un déficit de precipitación de 39% y 43% respectivamente (Dirección Meteorológica de Chile, 2022).

Por otra parte, para la evaluación de los indicadores e índices de Seguridad Hídrica en estudio, se utilizó como principal insumo la “Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe” (Quiroga, *et al.*, 2009), la cual fue elaborada por la División de Estadísticas y Proyecciones de CEPAL de las Naciones Unidas y que ha sido utilizada por diversas instituciones, tanto públicas como privadas, para la elaboración y diseño de indicadores como insumos para diversas materias ambientales y territoriales (e.g. Lacambra *et al.*, 2015; Párraga, 2016).

Área de Estudio

El área de estudio corresponde a la cuenca del río Maipo, la cual se ubica en la zona central de Chile, entre 32°55'-34°15' de latitud Sur y 69°55'-71°33' de longitud Oeste con una superficie de 15.304 km². Esta cuenca abarca un 91% de la Región Metropolitana, y una pequeña parte de las regiones de Valparaíso (provincia de San Antonio y Valparaíso) y de O'Higgins (Provincia de Cachapoal), con un 4% y 5% de sus superficies respectivamente (DGA, 2021). La cuenca del río Maipo es una de las más importantes del país, dado que es la principal fuente de agua para cerca del 42% de la población en Chile (EH 2030, 2022) concentrando aproximadamente 7.405.097 habitantes (INE, 2017), siendo su principal afluente el río Maipo, el cual posee una longitud aproximada de 250 kilómetros. Este río nace en la cordillera de Los Andes y fluye hacia el oeste hasta desembocar en el océano pacífico (DGA, 2021). En la siguiente Figura se presenta la ubicación de la cuenca junto a sus principales componentes.

¹ La Dirección Meteorológica de Chile define las normales de precipitación, al periodo 1991-2020 con observaciones continuas.

(<https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/diario/boletinClimatologicoDiario/actual>)

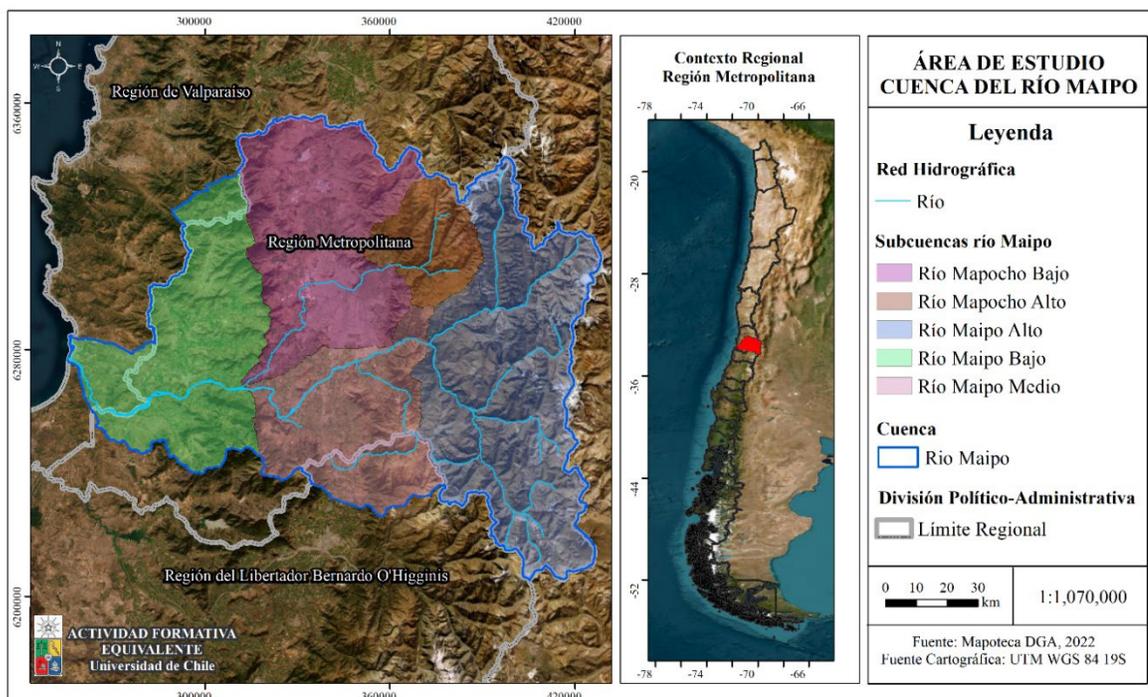


Figura 2. Área de Estudio

Respecto al clima, la cuenca se caracteriza por presentar un clima templado cálido, con precipitaciones concentradas en los meses de invierno y temperaturas máximas en los meses de verano, con un régimen hidrológico mixto (DGA, 2021). Por otra parte, las formaciones vegetacionales presentes en la cuenca son principalmente el bosque del tipo esclerófilo tanto en la cordillera de la costa como en la precordillera andina, además de otras formaciones como bosque espinoso costero e interior, bosque caducifolio, matorral esclerófilo y herbazal andino; los cuales han presentado grandes pérdidas en cuanto a extensión durante los últimos años, producto de los cambios de uso de suelo de origen antrópico en la cuenca (Pliscoff, 2020).

En lo que se refiere al uso del agua, una parte significativa se destina al sector agrícola. En dicho sentido, según lo catastrado en el último Censo Agropecuario y Forestal (INE, 2023) la cuenca posee alrededor de 130.000 hectáreas bajo riego, donde aproximadamente el 50% corresponden a cultivos permanentes de viñas y frutales. Esta condición genera una alta demanda del agua (Jaramillo, 2017), representando un 56% de su consumo en la cuenca (DGA, 2021).

Por otro lado, debido a la alta concentración de habitantes, la población urbana también ejerce una alta y creciente demanda del agua para usos domiciliarios, representando un 36% del consumo total en la cuenca (DGA, 2021). Además, existen otros usos del recurso asociados a industrias como centrales hidroeléctricas, las cuales se encuentran ubicadas en la zona alta de la cuenca, usos mineros relacionados a la extracción de cobre y carbonatos de calcio (Vicuña y Bustos, 2016), y usos destinados al Agua Potable Rural (APR) (DGA, 2021).

En lo que respecta a la oferta de agua, si bien las precipitaciones en la cuenca son muy variables (DGA, 2021), según diferentes estudios de proyecciones de cambio climático (e.g. Garreaud *et al.*, 2017; Vicuña *et al.*, 2020) se pronostica una fuerte tendencia a la baja de las precipitaciones, alza en las temperaturas y un aumento de magnitud y frecuencia de eventos extremos. Incluso, el río Maipo ocupa el noveno lugar entre los 18 ríos con mayor estrés hídrico del mundo, según un informe de World Resources Institute (WRI) el año 2014, siendo el único en Sudamérica en integrar dicho ranking.

Por lo anterior, la cuenca del río Maipo se encuentra bajo presión máxima (EH 2030, 2022) sobre todo en el contexto actual de cambio climático, donde la disponibilidad y calidad de agua podrían verse drásticamente afectadas (Saravia *et al.*, 2020) impactando negativamente las actividades sociales, económicas y ambientales que dependen del recurso hídrico. Debido a esto, resulta necesario establecer alineamientos que permitan promover una gestión más integrada y sostenible del agua en la cuenca, motivo por el cual se han aplicado los indicadores e índices de Seguridad Hídrica en la cuenca del río Maipo a fin de probar su aplicabilidad y su potencial aporte en la toma de decisiones.

Evaluación de la Disponibilidad y Calidad de la información

Evaluación de la Disponibilidad

La disponibilidad de información se define como la factibilidad o dificultad de los usuarios al acceso sistemático al dato, más allá de que formalmente se encuentre producido, por lo que la dificultad en el acceso a estos es un criterio fundamental para el diseño y posterior aplicación de un indicador (Quiroga *et al.*, 2009).

Según lo anterior, para evaluar la disponibilidad, en primer lugar, se realizó una revisión respecto a la información requerida por los indicadores según las variables que los componen. Consecutivamente, se determinó la existencia o inexistencia de la información requerida, considerando primeramente información hidrológica, series estadísticas o datos más actualizados que estuviesen disponibles para los Escenarios 1 y 2. Esto último, dependió de la frecuencia de actualización de la información requerida por los indicadores proveniente desde las distintas fuentes de información.

La información fue recopilada principalmente a partir de base de datos estatales o de acceso público², y de informes técnicos o estudios. Cabe destacar que no se recurrió a modelaciones de variables hidrológicas en caso de no contar con estas, debido a que dicho método se encuentra fuera de los alcances de la presente AFE y que, además, se pretendió alimentar los indicadores con la información que se encontrara disponible.

² Dirección General de Aguas (DGA), Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), Explorador de Cuenas Hidrográficas CAMELS-CL, Instituciones de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Instituto Nacional de Estadística (INE), Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO), Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), Ministerio de Medio Ambiente (MMA), entre otros.

Evaluación de Calidad

Para que los indicadores sean creíbles, pertinentes y útiles, se debe cumplir una serie de requisitos técnicos, uno de estos es la calidad de la información. Este es un aspecto importante al momento de desarrollar indicadores, lo cual dependerá, entre otros criterios, de la periodicidad de actualización de los datos, la metodología de levantamiento de información y la disponibilidad de la información requerida (Quiroga *et al.*, 2009).

Una vez obtenida la información requerida para la estimación de los diferentes indicadores, se procedió a evaluar la calidad de las fuentes de información recopiladas a través de diferentes criterios de calidad establecidos en base a Quiroga *et al.* (2009), los cuales se describen a continuación:

- Disponibilidad de los datos: se refiere a que tan fácil o difícil es el acceso sistemático al dato, más allá de que formalmente se encuentre producido. Por ejemplo, “Plenamente disponible en la fuente consultada”, “Acceso Restringido”, “Dato primario disponible, pero requiere de procesamiento”, entre otros.
- Escala: hace referencia a la cobertura espacial de los datos o series estadísticas disponibles (comunal, provincial, regional, etc.).
- Institución: este criterio corresponde al tipo de institución u organismo a cargo de generar la información que se presente en la fuente, ya sea público o privado.
- Frecuencia de Actualización: corresponde al periodo de tiempo en que se actualiza el dato (anual, mensual, diario, etc.).
- Cobertura temporal: corresponde a la temporalidad disponible de los datos y/o series para el periodo en análisis (caudales diarios, anuales y/o mensuales).
- Tipo de acceso: este criterio se refiere a si el acceso es de carácter público o privado, y si es que existe algún costo monetario relacionado que pueda restringir el acceso.

Cada criterio de calidad fue clasificado arbitrariamente según los objetivos de la presente AFE y sus respectivas descripciones, las que luego fueron categorizadas en baja, media o alta calidad (Cuadro 1). Posteriormente, cada fuente de información consultada fue evaluada a partir de las categorías establecidas.

Vale destacar que, los criterios “frecuencia de actualización” y “cobertura temporal” fueron calificados y categorizados de acuerdo con el tipo de dato y/o serie en análisis según correspondiese, dado que las estadísticas ambientales, en general, poseen una dinámica variable, requiriendo de monitoreos en diferentes escalas de tiempo, lo cual implica diferentes frecuencias de actualización y coberturas de los datos (Quiroga *et al.*, 2009).

Por lo anterior, la información de las variables que alimentaron los indicadores e índices se agruparon en: 1) información hidrológica y 2) estadísticas de demandas o consumos de agua. El primer grupo corresponde a todos los datos y/o series que den cuenta de la distribución, oferta y calidad del agua en la cuenca, y, el segundo grupo corresponde a las estadísticas de demandas o consumo de agua relacionadas a los usos productivos.

Adicionalmente, se identificó el tipo de fuente o método de levantamiento primario de la información utilizada (encuestas, censos, estaciones de monitoreo, entre otras). No obstante, este criterio no fue categorizado con puntajes de calidad, dado que el método depende del tipo de información que se quiera presentar y de las herramientas disponibles para realizar el levantamiento de la información (Quiroga *et al.*, 2009). Además, es importante señalar que todo método posee tanto ventajas como desventajas en su aplicación. En el Anexo 1, se presentan los posibles tipos de fuentes con sus descripciones, ventajas y desventajas.

Cuadro 1. Categorización de la Calidad de la información

Criterios de Calidad	Alta (3)	Media (2)	Baja (1)
Disponibilidad de los datos y/o series	Disponibilidad directa: Plenamente disponible en la fuente consultada	Disponibilidad indirecta: Dato y/o serie primaria disponible en la fuente, pero requiere procesamiento para generar la información requerida	Datos y/o series no disponibles o acceso restringido
Escala	Cuenca, subcuenca, comunal	Provincial, regional	Nacional
Institución	Institución u organismo público a cargo del levantamiento de información o registros oficiales	Institución u organismo privado a cargo del levantamiento de información o registros oficiales	Institución u organismo privado o público internacional a cargo del levantamiento de información o registros oficiales
Tipo de acceso	Público y en formato electrónico	Público mediante solicitud en línea	Privado con costo ya sea en formato electrónico o físico
Frecuencia de actualización*	Información Hidrológica: constante modificación y actualización (mensual) Estadísticas de demandas o consumo de agua: actualización anual	Información hidrológica: Anual Estadísticas de demandas o consumo de agua: cada 5 años	Información hidrológica: más de 1 año / una vez / sin información Estadísticas de demandas o consumo de agua: más de 5 años / una vez / Sin información
Cobertura temporal de los datos y/o series*	Información hidrológica: cobertura mínima mensual para periodo 1991-2020	Información Hidrológica: cobertura mensual incompleta o anual	Información Hidrológica: cobertura anual incompleta para el

Criterios de Calidad	Alta (3)	Media (2)	Baja (1)
	<i>Estadísticas de demandas o consumo de agua:</i> cobertura mensual para año 2020 en adelante para datos de consumo/demandas de agua; y cobertura anual desde año 2020 en adelante para datos de superficies agrícolas	para el periodo 1991-2020 <i>Estadísticas de demandas o consumo de agua:</i> cobertura mensual o anual periodo 2016-2019 para datos de consumo/demandas de agua; y cobertura anual periodo 2016-2019 para datos de superficies agrícolas	periodo en análisis o los últimos 30 años <i>Estadísticas de demandas o consumo de agua:</i> cobertura anual para el año 2015 o anterior ya sea para consumos/demandas de agua y/o datos de superficies agrícola.

(*) Criterios aplicados según el tipo de dato y/o serie evaluado

Fuente: Elaboración Propia, en base a Quiroga *et al.*, 2009; 2023

Evaluación de la coherencia de los resultados de los indicadores e índices con el estado hídrico en la cuenca del río Maipo

Estimación de Indicadores en la cuenca del río Maipo

Una vez obtenida y evaluada la información requerida por cada indicador, se procedió a aplicar los indicadores que contaran con toda la información para su cálculo en la cuenca del río Maipo. Luego, se construyeron los índices a partir de los resultados obtenidos. Cabe destacar que cada subdimensión está representada por un índice de seguridad hídrica, donde cada índice está compuesto por un indicador de Satisfacción Hídrica (*S*), el cual está determinado por variables de oferta y disponibilidad hídrica en condiciones normales (caudal medio anual), y por un indicador de Vulnerabilidad Hídrica (*V/S*), el cual está determinado por variables de oferta y disponibilidad hídrica en condiciones de baja disponibilidad hídrica (probabilidad de excedencia 85%).

Metodológica y conceptualmente, la fórmula de los indicadores, junto con las variables requeridas, se encuentran descritas en detalle en el “Estudio de Seguridad Hídrica en Chile en un contexto de Cambio Climático para la elaboración del Plan de Adaptación de los recursos hídricos al Cambio Climático” (LAT, 2017), por lo que cada indicador e índice se trabajó se acuerdo a lo indicado en dicho informe. No obstante, cabe recalcar que uno de los objetivos de la presente AFE, es evaluar su utilidad y eventuales propuestas de mejora.

Los indicadores e índices aplicados consideraron los diferentes usos del agua que se desarrollan en la cuenca. A continuación, se presentan los indicadores utilizados junto con su respectiva dimensión y subdimensión.

Dimensión 1: Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para el consumo humano

- a) Subdimensión 1. Actividades de subsistencia familiar (ASF): se estimó a través de las Ecuaciones 1 y 2.

$$S_{ASF} = \frac{HH_{ASF}}{(Q_T - Q_{UC})} \times 100$$

Ecuación 1

Donde, S_{ASF} corresponde al indicador de satisfacción hídrica para las actividades de subsistencia familiar; HH_{ASF} a la huella hídrica para las actividades de subsistencia familiar ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$); Q_T a la oferta de agua superficial ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) y Q_{UC} al caudal disponible para usos consuntivos ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$).

$$VS_{ASF} = \frac{HH_{ASF}}{(Q_{T85\%} - Q_{UC})} \times 100$$

Ecuación 2

Donde, VS_{ASF} corresponde al indicador de vulnerabilidad hídrica para las actividades de subsistencia familiar; HH_{ASF} corresponde a la huella hídrica para las actividades de subsistencia familiar ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$); $Q_{T85\%}$ a la oferta de agua superficial con probabilidad de excedencia del 85% ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$); y Q_{UC} al caudal disponible para usos consuntivos ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$).

- b) Subdimensión 2. Necesidades Humanas Básicas (NHB): se estimó a través de las ecuaciones 3, 4 y 5.

$$S_{NHB} = \frac{HH_{NHB}}{(Disp_{NHB})} \times 100$$

Ecuación 3

Donde, S_{NHB} corresponde al indicador de satisfacción hídrica para las necesidades humanas básicas; HH_{NHB} a la huella hídrica para necesidades humanas básicas ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$); $Disp_{NHB}$ a la disponibilidad de agua potable para las necesidades humanas básicas ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$).

$$VS_{NHB} = \frac{HH_{NHB}}{Disp_{85\% NHB}} \times 100$$

Ecuación 4

Donde, VS_{NHB} corresponde al indicador de vulnerabilidad para las necesidades humanas básicas; HH_{NHB} corresponde a la huella hídrica de las necesidades humanas básicas ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$);

y $Disp_{85\% NHB}$ a la disponibilidad de agua potable con probabilidad de excedencia del 85% para las necesidades humanas básicas ($m^3 s^{-1}$).

$$PRM = \frac{Di}{(RMB \times HT)}$$

Ecuación 5

Donde, PRM corresponde al indicador de proporción de la población que satisface sus requerimientos mínimos hídricos; Di corresponde a la disponibilidad de agua potable diaria en el territorio ($m^3 s^{-1}$); RMB a los requerimientos mínimos básicos ($m^3 s^{-1}$); y HT a la cantidad de habitantes del territorio.

Dimensión 2. Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para asegurar el desarrollo productivo sustentable.

- c) Subdimensión 3. Satisfacción de necesidades de actividades productivas extractivas de agua: se estimó a través de las ecuaciones 6 y 7.

$$S_{APEA} = \frac{HH_{SSAP} + HH_M + HH_I}{(Disp_{SSAP} + Disp_M + Disp_I)} \times 100$$

Ecuación 6

Donde, S_{APEA} corresponde al indicador de satisfacción hídrica para las actividades productivas extractivas de agua; HH_{SSAP} , HH_M , HH_I a las huellas hídricas del sector silvoagropecuario, minero e industrial respectivamente ($m^3 s^{-1}$); y $Disp_{SSAP}$, $Disp_M$ y $Disp_I$ a la disponibilidad de agua para cada uso ($m^3 s^{-1}$).

$$VS_{APEA} = \frac{HH_{SSAP} + HH_M + HH_I}{(Disp_{85\% SSAP} + Disp_{85\% M} + Disp_{85\% I})} \times 100$$

Ecuación 7

Donde, VS_{APEA} corresponde al indicador de vulnerabilidad hídrica para las actividades extractivas productivas de agua; HH_{SSAP} , HH_M y HH_I a la huella hídrica del sector silvoagropecuario, minero e industrial respectivamente ($m^3 s^{-1}$); y $Disp_{85\% SSAP}$, $Disp_{85\% M}$ y $Disp_{85\% I}$ a la disponibilidad de agua con probabilidad de excedencia del 85% para cada uso ($m^3 s^{-1}$).

- d) Subdimensión 4. Satisfacción de necesidades de actividades productivas no extractivas de agua: se estimó a través de las ecuaciones 8 y 9 para el sector hidroeléctrico y 10 y 11 para el sector turismo.

$$S_{SH} = \frac{Disp_{SH}}{Q_T} \times 100$$

Ecuación 8

Donde, S_{SH} corresponde al indicador de satisfacción hídrica del sector hidroeléctrico; $Disp_{SH}$ a la disponibilidad de agua del sector hidroeléctrico dada por los DAA no consuntivos asociados al proyecto hidroeléctrico con mayor cantidad de DAA ($m^3 s^{-1}$); y Q_T a la oferta de agua superficial ($m^3 s^{-1}$).

$$VS_{SH} = \frac{Disp_{SH}}{Q_{T85\%}} \times 100$$

Ecuación 9

Donde, VS_{SH} corresponde al indicador de vulnerabilidad hídrica del sector hidroeléctrico; $Disp_{SH}$ a la disponibilidad de agua del sector hidroeléctrico dada por los DAA no consuntivos asociados al proyecto hidroeléctrico con mayor cantidad de DAA ($m^3 s^{-1}$); y $Q_{T85\%}$ a la oferta de agua superficial con probabilidad de excedencia del 85% ($m^3 s^{-1}$).

$$S_T = \frac{Q_D}{Q_T - Q_{UC}} \times 100$$

Ecuación 10

Donde, S_T corresponde al indicador de satisfacción hídrica del turismo; Q_D al agua demandada por las actividades turísticas a nivel cuenca ($m^3 s^{-1}$); Q_T a la oferta de agua superficial ($m^3 s^{-1}$) y Q_{UC} al caudal disponible para usos consuntivos ($m^3 s^{-1}$).

$$VS_T = \frac{Q_D}{Q_{T85\%} - Q_{UC}} \times 100$$

Ecuación 11

Donde, VS_T corresponde al indicador de vulnerabilidad hídrica del turismo; Q_D al agua demandada por las actividades turísticas a nivel cuenca ($m^3 s^{-1}$); $Q_{T85\%}$ a la oferta de agua superficial con probabilidad de excedencia del 85% ($m^3 s^{-1}$); y Q_{UC} al caudal disponible para usos consuntivos ($m^3 s^{-1}$).

Dimensión 3. Cuerpos de agua en cantidad y calidad para garantizar la salud humana, el medioambiente y los diferentes usos.

- e) Subdimensión 5. Protección y conservación de los ecosistemas: se estimó a través de las ecuaciones 12 y 13

$$S_{PC} = \frac{Q_E}{Q_T - Q_{UC}} \times 100$$

Ecuación 12

Donde, S_{PC} corresponde al indicador de satisfacción hídrica para la protección y conservación de los ecosistemas; Q_E al caudal ecológico de la cuenca ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$); Q_T a la oferta de agua superficial ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) y Q_{UC} al caudal disponible para usos consuntivos ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$).

$$VS_{PC} = \frac{Q_E}{Q_{T85\%} - Q_{UC}} \times 100$$

Ecuación 13

Donde, VS_{PC} corresponde al indicador de vulnerabilidad hídrica para la protección y conservación de los ecosistemas; Q_E al caudal ecológico de la cuenca ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$); $Q_{T85\%}$ a la oferta de agua superficial con probabilidad de excedencia del 85% ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$); y Q_{UC} al caudal disponible para usos consuntivos ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$).

- f) Subdimensión 6. Control de Contaminación: se estimó a través de las ecuaciones 14 y 15

$$S_{CC} = \frac{HH_{GRIS}}{Q_T - Q_{UC}} \times 100$$

Ecuación 14

Donde, S_{CC} corresponde al indicador de satisfacción hídrica para el control de la contaminación; HH_{GRIS} a la huella hídrica gris total de la cuenca ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$); Q_T a la oferta de agua superficial ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) y Q_{UC} al caudal disponible para usos consuntivos ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$).

$$VS_{CC} = \frac{HH_{GRIS}}{Q_{T85\%} - Q_{UC}} \times 100$$

Ecuación 15

Donde, VS_{CC} corresponde al indicador de vulnerabilidad hídrica para el control de la contaminación; HH_{GRIS} corresponde a la huella hídrica gris total de la cuenca ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$); $Q_{T85\%}$ a la oferta de agua superficial con probabilidad de excedencia del 85% ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$); y Q_{UC} al caudal disponible para usos consuntivos ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$).

Valoración de los indicadores e índices de Seguridad Hídrica

Los indicadores fueron conceptualmente definidos y construidos bajo dos enfoques. El primero corresponde al de Huella Hídrica, el cual entrega información respecto al uso consuntivo del agua dulce y su contaminación. El segundo corresponde a un enfoque basado en los requerimientos de caudales con relación a la disponibilidad del recurso hídrico, el cual permite valorar el estado de la Seguridad Hídrica para los usos no consuntivos, como el turismo, hidroelectricidad, protección de los ecosistemas, entre otros (LAT, 2017).

Una vez estimados los indicadores, se procedió con la valoración de estos a nivel subdimensión, y luego a la valoración de los índices a nivel dimensión.

Para la valoración de los indicadores, se consideraron las siguientes calificaciones y categorías (Cuadro 2).

Cuadro 2. Calificación y Categorización de Indicadores *S* y *VS* a nivel subdimensión

Resultado Indicador	Calificación	Categoría
[0% - 85%]	1	Seguridad Hídrica
]85% - 100%]	2	Moderada Seguridad Hídrica
>100% o indeterminación	3	Alta Inseguridad Hídrica

Fuente: Elaboración propia a partir de LAT (2017); 2022

Respecto a la calificación de indicadores, en algunos casos, la disponibilidad de agua para satisfacer un uso no consuntivo (e.g. Protección y Conservación de los ecosistemas) corresponderá al caudal remanente entre la oferta hídrica superficial (Q_T) y el caudal total asignado en derechos de aprovechamientos de aguas a usos consuntivos (Q_{UC}) (LAT, 2017). En dicho contexto, en una situación de sobre otorgamiento del agua, es decir, un mayor caudal asignado que la oferta hídrica disponible, el resultado del indicador para ese caso, será siempre un valor “negativo”, lo que se interpretó como una situación de “indeterminación” del indicador cuando su resultado adquirió esa condición.

Por otra parte, cada dimensión fue valorada mediante un índice de Seguridad Hídrica, el cual se construyó integrando la información de los indicadores que componen cada una. Para lo anterior, se realizó una suma de las calificaciones obtenidas de los indicadores *S* y *VS* que componen cada dimensión. En la Ecuación 16, se muestra su notación.

$$SH_D = S_D | VS_D$$

Ecuación 16

Donde, SH_D corresponde al índice de Seguridad Hídrica a nivel dimensión; S_D a la suma de la calificación de los Indicadores de Satisfacción Hídrica de la dimensión; y VS_D a la suma de la calificación de los Indicadores Vulnerabilidad Hídrica de la dimensión.

Las D1 y D3 están compuestas por 2 Indicadores de Satisfacción Hídrica (*S*) y 2 de Vulnerabilidad (*VS*) cada una. Por otra parte, la D2 está compuesta por 3 Indicadores de Satisfacción Hídrica (*S*) y 3 de Vulnerabilidad (*VS*). Por lo tanto, la valoración a nivel dimensión a través de índices de Seguridad Hídrica, fue realizada mediante lo expuesto en el Cuadro 3, considerando los posibles valores obtenidos según la cantidad de indicadores que componen las dimensiones.

Cuadro 3. Calificación y Categorización de Índices de Seguridad Hídrica a nivel Dimensión según valor obtenido

Valor obtenido		Calificación	Categoría
D1 - D3	D2		
2	1-3	1	Seguridad Hídrica
3-4	5-6	2	Moderada Seguridad Hídrica
5-6	7-9	3	Alta Inseguridad Hídrica

Fuente: Elaboración propia a partir de LAT (2017); 2023

Consulta criterio experto y comparación con fuentes de información secundarias

Los resultados de los indicadores e índices fueron discutidos y evaluados por un escrutinio experto, lo cual se realizó a través de entrevistas semiestructuradas, dado que este método permite utilizar una guía de asuntos o preguntas específicas que se desean abordar, pero a su vez, dependiendo del contexto y las respuestas, el entrevistador posee la libertad de introducir preguntas adicionales si lo considera relevante para precisar conceptos u obtener mayor información (Hernández *et al.*, 2010).

Este tipo de entrevistas semiestructuradas permiten aplicarse a un número más reducido de personas para conocer en profundidad los fundamentos del experto (Hernández *et al.* 2010). En efecto, la presente AFE buscó conocer la percepción de tomadores de decisión o conocedores de la gestión y estado hídrico de la cuenca (criterio experto), considerando tanto el sector público como el privado. Cabe destacar que, el número de personas estuvo acotado a fines exploratorios, considerando actores que representen algún tipo de organización u organismo.

Las entrevistas fueron utilizadas para dos objetivos específicos: i) coherencia de los resultados, y ii) utilidad para la toma de decisiones (Apéndice 1). Por lo cual, se utilizó la misma instancia de entrevista para ambos objetivos. Las entrevistas fueron realizadas a través de la plataforma virtual Meet y de forma presencial, lo cual dependió de la disponibilidad del respectivo experto o experta. En cuanto a la duración, estas tuvieron un máximo de 40 minutos y fueron grabadas, siempre y cuando el entrevistado así lo permitiese, a través de un consentimiento informado (Apéndice 2), el cual fue firmado tanto por el entrevistador como por el entrevistado.

Posteriormente, para el análisis de las entrevistas, se realizó un Análisis Cualitativo genérico basado en Hernández *et al.* (2014), el cual incorpora las concepciones de diversos teóricos de la metodología del campo cualitativo (e.g. Savin-Baden y Major, 2013; Charmaz, 2013; Maxwell, 2013) y que posee la particularidad de ser adaptado de acuerdo con las circunstancias del estudio en específico y su naturaleza.

Para obtener los datos provenientes de las entrevistas se utilizó: a) material auditivo (grabaciones), b) expresiones verbales y no verbales (respuestas orales y gestos en la entrevista), y c) anotaciones y transcripciones por parte del entrevistador.

Posteriormente, una vez obtenidos los datos, se llevaron a cabo las siguientes actividades de las propuestas por Hernández *et al.* (2010): 1) explorar los datos, 2) imponerles una estructura (organizándolos en unidades y categorías), 3) describir las experiencias de los participantes según su opinión, lenguaje y expresiones; 4) vincular los resultados con el conocimiento disponible, y 5) generar una evaluación fundamentada de los resultados. Lo anterior, permitió evaluar si los resultados son coherentes con el estado hídrico de la cuenca, en base a el escrutinio experto.

Por otro lado, el análisis realizado de las entrevistas fue complementado con bibliografía atinente a cada dimensión o subdimensión. Particularmente, se analizó el resultado del indicador o índice en función de la categoría de seguridad hídrica que se haya adquirido (“alta

inseguridad hídrica”, “moderada seguridad hídrica”, “seguridad hídrica”), a fin de identificar si el resultado es coherente con el estado hídrico según la bibliografía disponible.

Utilidad de los indicadores e índices para la toma de decisiones y Propuestas de Mejora

Para que los indicadores sean útiles, estos deben describir y mostrar los estados y las principales dinámicas hídricas, generando información útil para mejorar el proceso de tomas de decisiones, implementación o evaluación de un plan, programa, políticas, etc. (Quiroga *et al.*, 2009; DANE, 2012). También, deberían ser capaces de monitorear el cumplimiento de acuerdos y compromisos, además de cuantificar los cambios en una situación que se considere problemática (DANE, 2012).

En función de lo anterior, es que en esta última parte metodológica se realizó una exploración de la utilidad de los indicadores para la toma de decisiones, para lo cual se utilizó un escrutinio experto, a través de las entrevistas realizadas a los expertos y expertas descritas en el acápite anterior. En el Apéndice 1, parte II de la pauta de entrevista, se presentan las preguntas atinentes a la exploración de utilidad de los indicadores para la toma de decisiones, utilizando los criterios propuestos por Quiroga *at al.* (2009), donde se consideró mensurabilidad, comparabilidad, interpretabilidad y monitoreo.

Por último, a partir de la discusión y análisis de los resultados obtenidos, se identificaron las limitantes, defectos o debilidades de los indicadores con el fin de poder proponer mejoras en estos para que puedan ser un insumo para los tomadores de decisiones, y también para las políticas, planes o programas relacionados a la gestión hídrica de la cuenca. En concreto, se propusieron posibles mejoras que podrían implementarse para solucionar las limitaciones identificadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de la disponibilidad y calidad de la información

Evaluación de Disponibilidad

Los indicadores de las dimensiones en análisis para la cuenca del río Maipo estuvieron compuestos por un total de 39 variables, las cuales podían alimentar 1 o más indicadores. Con respecto a la disponibilidad de la información para obtener las variables, un 92,31% pudieron ser obtenidas a través de diferentes fuentes de información, en su mayoría con libre acceso, mientras que 3 variables (7,69%) no tuvieron fuentes de información disponibles para el uso de estas en la estimación de los indicadores.

Específicamente, no se pudo obtener información mensual ni anual de los datos o series de caudales de recarga de las aguas subterráneas para el periodo histórico 1991-2020 que alimentan las variables de Oferta Hídrica del Escenario 2, y las variables de Oferta hídrica con PE 85% para Escenario 1 y 2. No obstante, se establecieron supuestos a fin de suplir la información faltante y proceder con el cálculo de los indicadores, los cuales serán explicados en los próximos acápite. Cabe precisar que, sólo se encontró disponible el promedio anual de la recarga subterránea para el periodo 1990-2019, proveniente de una modelación hidrológica en el contexto del Plan Estratégico de Gestión Hídrica de la cuenca (DGA, 2021).

Evaluación de Calidad de la Información

Respecto a la calidad de la información utilizada, cada variable podía estar compuesta por 1 o más datos y/o series estadísticas, los que, a su vez, podían alimentar 1 o más variables que componen los indicadores. En específico, se utilizaron 36 tipos de datos o series que alimentaron las variables, los cuales provinieron de 17 fuentes de información secundarias.

Por lo anterior, la calidad de la información fue evaluada para cada dato y/o serie que compusiera la variable en análisis. En dicho sentido, dado que en una misma fuente de información podía existir más de un dato o serie, se presentaron puntajes de calidad diferentes para una misma fuente en caso de que los criterios de calidad evaluados no fueran los mismos.

En el Apéndice 3 se presentan los resultados de la categorización del análisis de calidad junto con el tipo de fuente o método de levantamiento primario de la información utilizada (encuestas, censos, estaciones de monitoreo, entre otras); mientras que en el Apéndice 4 se muestra la descripción cualitativa de los criterios para las fuentes consultadas que atribuyeron al puntaje asignado.

Con relación a los criterios de calidad evaluados, en la Figura 3 se presentan los resultados obtenidos para el criterio “Disponibilidad de los datos y/o series”, donde se tiene que 27 datos y/o series fueron categorizados con una calidad “alta”, es decir, el dato se encontraba plenamente disponible en la fuente consultada; 9 con calidad media, esto es, datos primarios

disponibles pero requerían de procesamiento; y 3 con calidad baja, es decir, los datos que componían la variable en análisis no se encontraron disponibles.

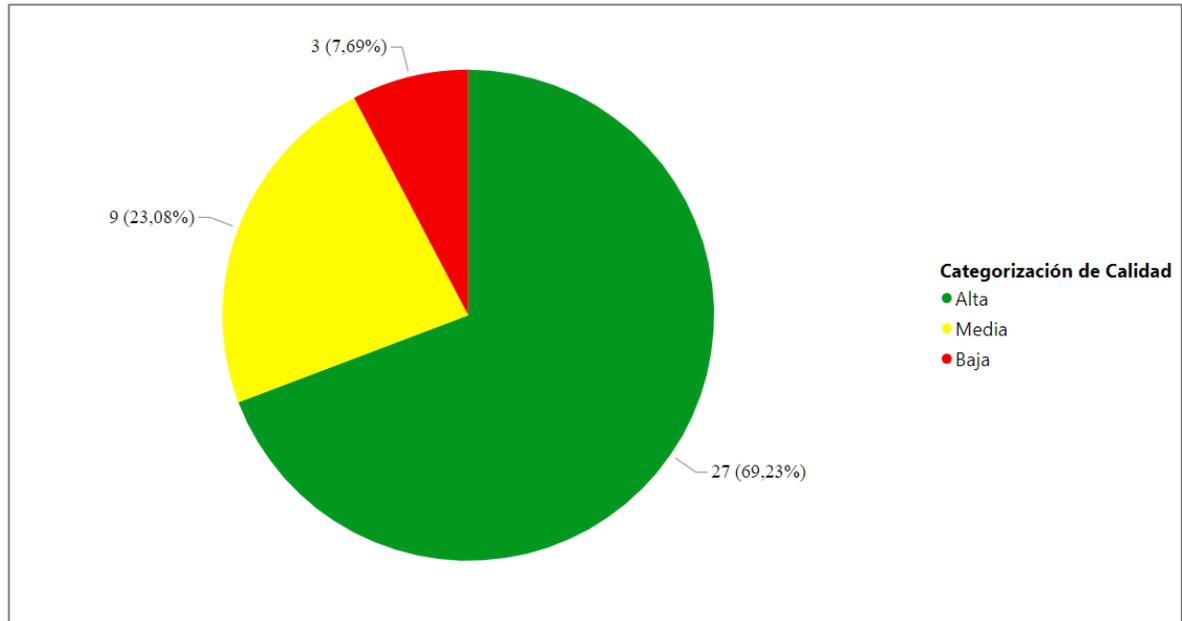


Figura 3. Categorización de calidad para “Disponibilidad de los datos y/o series”

Principalmente, los datos que requirieron de proceso fueron los asociados al caudal de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) asignado a cada uso según las subdimensiones o dimensiones en análisis. Lo anterior, dado que en el Catastro Público de Aguas (CPA) no todos los derechos están indicados en volumen por unidad de tiempo ni en la misma unidad (m^3s^{-1} , l/s, $m^3/año$, entre otros), sino que también están asignados en partes o acciones, los cuales poseen dificultades para transformarse en caudal, evidenciando una falta de estandarización de magnitud de caudal en la entrega de derechos (Barria *et al.*, 2020).

Es por esto que no se trabajó con la totalidad de DAA registrados en el CPA, generando incertidumbre en la estimación. Además, se debe considerar que, si bien el CPA es un instrumento con fines administrativos, este no entrega información respecto al uso real y efectivo de esos derechos, por lo cual surge la interrogante sobre la confiabilidad del uso de este instrumento en la estimación de los indicadores e índices de Seguridad Hídrica.

Por otra parte, respecto a los datos con calidad baja, según la revisión sólo se encontró el promedio anual para el periodo 1990-2019 en el Plan Estratégico de Gestión Hídrica de la cuenca (DGA, 2021), el cual fue obtenido a través de modelación hidrológica. No obstante, no fue posible acceder a la información anual o mensual, lo cual implicó que no fuera posible estimar el caudal de recarga subterránea con probabilidad de excedencia 85% para ningún escenario, ni tampoco para el año 2020 en condiciones normales.

Sobre la base de lo expuesto anteriormente, los criterios de calidad fueron evaluados para los datos y/o series que estaban disponibles, ya sea con calidad alta o media, lo cual equivale a

los 36 tipos de datos y/o series utilizados para estimar la batería de indicadores, según se detalla a continuación.

En la figura 4, se presenta la categorización de calidad de cada criterio para los datos y series en análisis, donde se puede inferir que: alrededor de un 41,4% de la información utilizada provenía de fuentes con una baja frecuencia de actualización; un 57,1% provenía de estudios con una cobertura temporal anual o incompleta para el periodo en análisis; un 88,9% de los datos que alimentaron las variables de la batería de indicadores, eran de instituciones u organismos públicos y oficiales; un 82,1% de los datos correspondían específicamente a la cuenca del río Maipo; y 97,2% fueron obtenidos mediante acceso público, en línea y sin costo asociado.

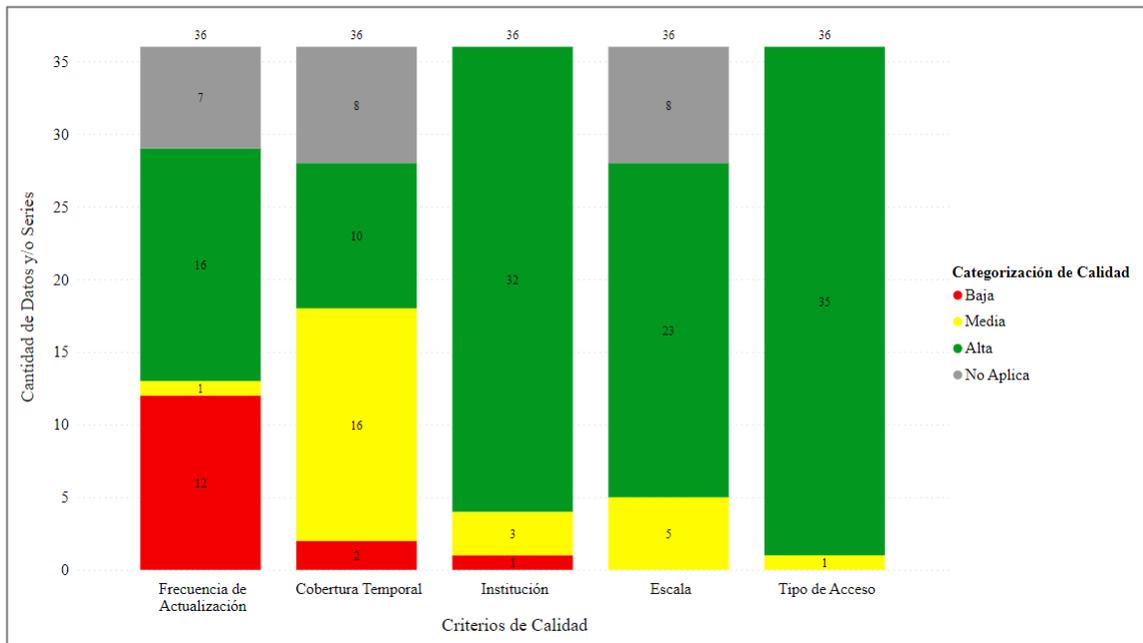


Figura 4. Categorización de calidad por criterio para los datos y/o series utilizados

A partir de la figura anterior, es posible evidenciar que uno de los aspectos críticos y peor evaluados en las fuentes consultadas corresponde a la “frecuencia de actualización de los datos”, lo cual implica que la mayoría de los datos o series están disponibles en fuentes que no poseen un periodo de actualización establecido; sólo se realizó una vez; o bien no ha sido actualizado en el periodo indicado (e.g. Censo Agropecuario y Forestal), lo que también se puede atribuir a la falta de información que existe en Chile sobre la demanda y oferta hídrica real a nivel cuenca y nacional (CEPAL y OCDE, 2016; LAT, 2017; EH 2030, 2018).

Esto último se justifica con la existencia de brechas informativas en Chile, relacionadas con la disponibilidad, cobertura y completitud de la información, en donde particularmente existe escasa información sobre la extracción y uso del agua. Además, las estaciones de monitoreo de calidad del agua sólo recopilan información de unos pocos parámetros, por lo que Chile posee grandes dificultades para proporcionar estadísticas ambientales completas (CEPAL y OCDE, 2016).

Respecto al punto anterior, es importante destacar que Chile se encuentra en un proceso de adaptación en cuanto al aumento de la información y mejora en los mecanismos de gestión del país relacionados a los impactos del cambio climático en los recursos hídricos (Gobierno de Chile, 2020). Parte de las acciones tienen que ver con metas a corto y mediano plazo, como la elaboración de Planes Estratégicos para todas las cuencas del país; y la implementación de un indicador a nivel nacional y a escala de cuenca, la cual permita hacer seguimiento a las brechas y riesgos hídricos para avanzar en aproximarse hacia la Seguridad Hídrica (Gobierno de Chile, 2020).

Los Planes de Gestión Hídrica (PEGH), tienen como principal objetivo promover la gestión hídrica sostenible en las diferentes hoyas hidrográficas del país, considerando aspectos económicos, sociales y ambientales que dependen del agua (DGA, 2021), siendo instrumentos fundamentales para alcanzar la Seguridad Hídrica, ya que buscan asegurar un uso equitativo y sostenible de los recursos hídricos.

Parte de los alcances que contemplan los PEGH es conocer la oferta y demanda del agua, establecer un balance hídrico y sus proyecciones a 30 años, diagnosticar calidad de las aguas superficiales y subterráneas, entre otros³; los cuales corresponden a insumos requeridos por la batería de indicadores e índices de Seguridad Hídrica. Sin embargo, en la actualidad no todas las cuencas cuentan con estos planes, por lo que la calidad y el acceso a la información en otras cuencas podría ser más limitada, y, por ende, también la aplicación de los indicadores e índices.

Sobre la cobertura temporal, sólo un 35,7% de los datos y series utilizados tuvieron cobertura temporal de “alta calidad”, lo que se traduce en información actualizada y disponible para el periodo 1991-2020 con cobertura mínima mensual (información hidrológica), y cobertura mensual para el 2020 en adelante (para estadísticas de demanda y consumo de agua).

Del resto de los datos y series, para un 57,1% se obtuvo principalmente una calidad “media”, lo cual implica que la mayoría de los datos y series que alimentaron los indicadores tenían una cobertura mensual incompleta o de escala anual para el periodo 1991-2020 para el caso de variables hidrológicas, conllevando a la presencia de brechas informativas para mostrar la dinamicidad de los indicadores, en lo que respecta al estado de la Seguridad Hídrica para un momento en particular.

Consecutivamente, se observa que el 88,9% de los datos y series provenían desde fuentes de información generadas por Instituciones u Organismos públicos y oficiales, los que a su vez son desarrollados por expertos en distintas materias, lo que favorece la credibilidad del indicador, pues le otorga un respaldo político a la información utilizada (Quiroga *et al.*, 2009)

Respecto a la escala espacial de los datos y series, la gran mayoría fue obtenida desde informes o estudios elaborados específicamente a nivel cuenca, lo cual facilita el acceso a la información y la aplicabilidad de los indicadores a dicha escala, permitiendo potenciar el uso de la cuenca como unidad de gestión. Además, es relevante mencionar que la ocurrencia de

³ DGA (Dirección General de Aguas). 2020. DGA NOTICIAS: Planes Estratégicos de Gestión Hídrica: <https://dga.mop.gob.cl/noticias/Paginas/DetalledeNoticias.aspx?item=714>

impactos de los fenómenos ambientales, no se distribuye considerando los límites políticos-administrativos, si no que, unidades espaciales más significativas como lo son las hoyas hidrográficas (CEPAL, 2021). No obstante, lo mencionado podría ser específico para la cuenca del río Maipo, dado que probablemente no se ha generado el mismo tipo de información para las otras cuencas del país, siendo la cuenca del río Maipo, objeto de diferentes estudios debido a la presión que existe sobre los recursos hídricos, la escasez hídrica, la concentración de población, entre otras condiciones (e.g. Ocampo-Melgar *et al.*, 2016; Vicuña y Bustos, 2016; DGA, 2017a; Escenarios Hídricos 2030, 2022).

Por último, en cuanto al “tipo de acceso” se puede destacar que todas las variables fueron obtenidas desde fuentes con acceso público, en línea y sin costo monetario asociado, lo cual facilita el acceso a la información para la estimación de los indicadores. Sin embargo, la cantidad y calidad de los datos disponibles sobre el estado de los recursos hídricos es, en general, limitada a nivel país (SNU, 2021), por lo cual el acceso queda condicionado a la cantidad de información disponible.

Consecuentemente, y tras lo señalado, existe información para alimentar casi todos los indicadores de Seguridad Hídrica en la cuenca del río Maipo. A pesar de esto, la mayoría de las variables fueron estimadas con información de baja frecuencia de actualización, y con coberturas temporales incompletas. Además, se debe considerar que el uso del Catastro Público de Agua en la estimación de la disponibilidad no posee una estandarización en la magnitud de los caudales de los derechos asignados (m^3/s , l/s, acciones, partes, entre otros), por lo que no fue posible trabajar con todos los que estuviesen registrados. Por lo tanto, los resultados podrían estar sobre estimados o con un grado de incertidumbre con relación a la oferta y disponibilidad real de agua en la cuenca.

Por otra parte, con relación al método de obtención de los datos y/o series que alimentan las variables de los indicadores, en la Figura 5 se muestra el medio de obtención de los datos y/o series utilizados, donde se tiene que: 15 provienen de registros administrativos, 13 desde estimaciones a partir de diferentes procesos metodológicos dependiendo de la información que se quiera generar (e.g. Huellas Hídricas, Caudal Ecológico, entre otros), 4 desde censos, 3 desde sistema de monitoreo y 1 a modelación.

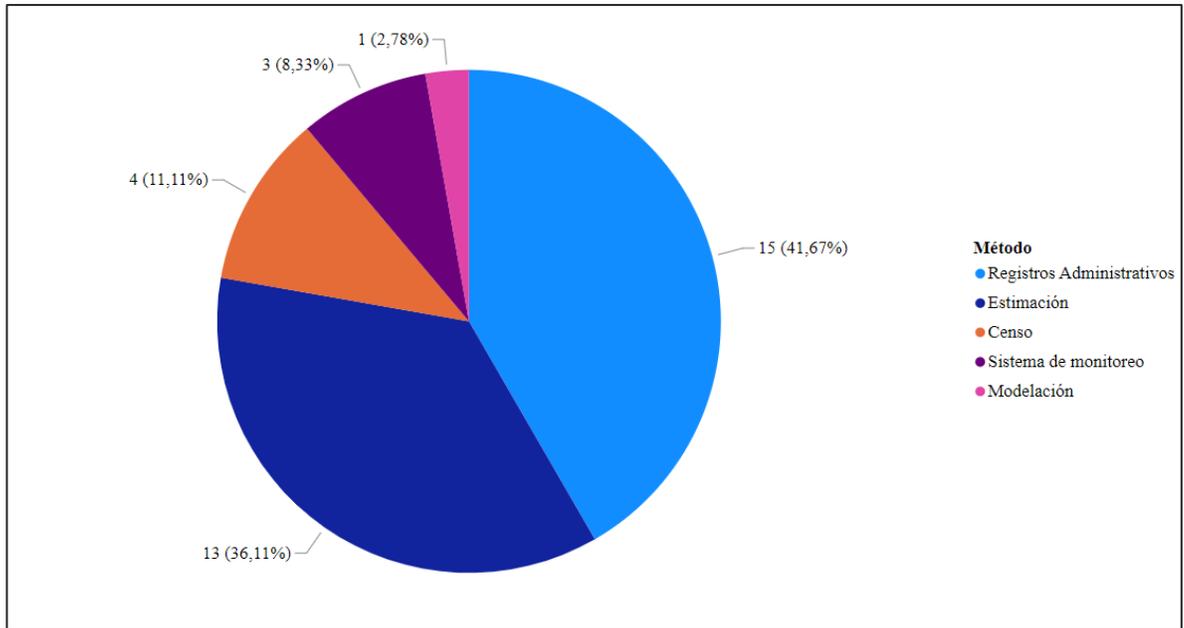


Figura 5. Cantidad de Variables según método de obtención

Respecto a los “registros administrativos”, la información procede principalmente de Instituciones u Organismos de carácter público con fines administrativos, por lo cual, la calidad de los registros podría ser cuestionable en términos de insuficiencia de metadatos para garantizar registros completos (Quiroga *et al.* 2009). Según se observa en la Figura 1, un 41,67% de los datos provinieron desde este método.

En el caso del Catastro Público de Aguas (CPA), el cual tiene como fin proporcionar a la autoridad toda la información necesaria para que ésta pueda cumplir eficientemente sus funciones de planificación y administración del agua, aún existe una falta de información importante relacionada a los Derechos de Aprovechamiento de Aguas inscritos (Barría *et al.*, 2020). Lo anterior, debido a que la gran mayoría de los derechos asignados con anterioridad al Código de Aguas de 1981, necesitan previamente pasar por un procedimiento de regularización para cumplir con los requisitos establecidos en el Código de Aguas (Banco Mundial, 2011), lo cual implica un grado de incertidumbre en la estimación de la oferta y demanda hídrica real de la cuenca.

Respecto al método “estimación”, este puede llevarse a cabo a través de diferentes procedimientos, los cuales pueden ser utilizados cuando no es posible monitorear o levantar directamente la información. Sin embargo, una de sus desventajas corresponde a que los resultados pueden ser cuestionados en función de las metodologías utilizadas (Quiroga *et al.*, 2009).

En línea con lo anterior, un 36,11% de los datos corresponden a dicho método, por ende, los resultados dependen del proceso metodológico utilizado por los autores de los informes o estudios consultados. Por otra parte, vale destacar que, el uso de este método tiene coherencia con la realidad chilena respecto a la falta de acceso a la información ambiental en relación con el uso del agua (CEPAL y OCDE 2016), dificultando monitoreos o levantamientos de

información directos. Dentro de los datos obtenidos a través de estimación, se encuentran los caudales con probabilidad de excedencia 85%, demandas de agua, huellas hídricas y caudal ecológico.

En cuanto a las variables obtenidas desde “censos”, lo cual corresponde a un 4%, y según señala Quiroga *et al.* (2009), este método es una fuente primaria de las estadísticas básicas de la población, las cuales son necesarias en términos de planificación económica y social. Además, sus resultados son representativos y precisos en diferentes escalas. Sin embargo, una de sus desventajas es que su periodicidad de actualización es apenas “decenal” probablemente debido al tiempo y costo que implica.

Específicamente, se utilizó el Censo de Población y Vivienda (INE, 2017) para determinar la cantidad de habitantes del territorio, y también se utilizó el Censo Agropecuario y Forestal (INE, 2023) para determinar las superficies agrícolas y forestales de la cuenca; donde este último se publicó con un desfase de actualización en más de 5 años, siendo un aspecto crítico por considerar en las estimaciones relacionadas a consumos o demandas hídricas del sector silvoagropecuario y forestal, dado que es un instrumento de carácter oficial que presenta de forma detallada la distribución y estructura organizacional de la actividad agropecuaria en el territorio nacional a diferentes escalas.

En cuanto a los datos obtenidos desde sistemas de monitoreo provenientes desde estaciones pluviométricas y pluviométricas de la DGA, si bien estos poseen mayor calidad y precisión en la medición, la captura de estos dependerá del estado del sistema de medición para el periodo en análisis, lo cual puede conllevar a estadísticas incompletas (Quiroga *et al.*, 2009).

En la cuenca del río Maipo, existe insuficiente cantidad y distribución de estaciones meteorológicas en la parte alta de la cuenca (se cuenta sólo con 6 estaciones sobre 1.000 m s.n.m. y con una estadística mayor a 10 años, y ninguna estación a una altitud por sobre los 3.000 m s.n.m.) (DGA, 2021), lo que implica que no hay suficientes datos disponibles en línea (OCDE, 2018). Además, es relevante mencionar que, la DGA posee sólo un 2,7% de inversión de su presupuesto destinado a la mantención e instalación de la red hidrométrica a nivel país (Mesa Nacional del Agua, 2022).

Por último, respecto a la “modelación” sólo uno de los datos utilizados fue obtenido mediante este método, correspondiente al promedio anual del caudal de recarga subterránea para el periodo 1990-2019, según se presenta en el Plan Estratégico de Gestión Hídrica de la cuenca. Asimismo, si bien este método permite simular los efectos del cambio climático, los usos de agua, la calidad del agua, entre otros factores, siendo una herramienta relevante para la gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos, existen grandes brechas informativas que condicionan su uso (DGA, 2021).

Evaluación de la coherencia de los resultados de los indicadores e índices con el estado hídrico en la cuenca del río Maipo

A partir de los datos y series recopilados, se procedió con la estimación de las variables que alimentaron los indicadores, y luego con la estimación de estos últimos para los Escenarios 1 y 2 de las Dimensiones 1, 2, y 3 de Seguridad Hídrica.

Los resultados fueron sometidos a consulta experta, a fin de evaluar la coherencia de los resultados con la realidad hídrica de la cuenca, y posteriormente, la utilidad de estos en la toma de decisiones. En total, se realizaron ocho (8) entrevistas semiestructuradas utilizando la pauta de entrevistas disponible en el Apéndice 1, la cual se estructuró partir de los objetivos planteados. A continuación, se presentan los expertos y expertas entrevistadas y su relación con el estudio en aspectos hídricos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Elección expertos para entrevistar

Id	Actor	Relación
1	Junta de Vigilancia río Maipo primera sección	Organismo de derecho privado sin fines de lucro que tiene como función administrar y distribuir las aguas de quienes poseen derechos de aprovechamiento. Propende a la adecuada convivencia entre los titulares que hacen usos del agua para la agricultura, hidroelectricidad, turismo, uso industrial, uso agroindustrial, entre otras actividades ⁴ .
2		
3	Sociedad de Canal de Maipo	Extraer, transportar y repartir de manera eficiente y segura las aguas del Río Maipo a sus asociados, según sus derechos; crear valor de forma sostenida y sustentable a través del desarrollo de actividades y servicios conexos centrados en las aguas, fomentar la seguridad y el desarrollo de sus trabajadores, y el cuidado del medio ambiente ⁵ .
4	Investigadores Proyecto MAPA	Proyecto académico encargado de desarrollar un plan de adaptación con respecto a la variabilidad y el cambio climático en la cuenca. Posee una fuerte preocupación por la gestión de los recursos hídricos en el territorio a través del diálogo entre los distintos usuarios de agua de la cuenca, el sector público y la sociedad civil ⁶ .
5	MMA (Ministerio del Medio Ambiente)	Organismo público encargado de generar y desarrollar políticas públicas y regulaciones eficientes en materia ambiental. Actualmente se encuentra desarrollando el “Plan de Adaptación de Recursos Hídricos al Cambio Climático” ⁷ .

⁴ <https://j7vriomaipo.cl/>

⁵ <https://www.scmaipo.cl/canalistas/>

⁶ <http://www.maipoadaptacion.cl/descripcion-2/proyecto-idrc-107081-001/>

⁷ <https://mma.gob.cl/>

Id	Actor	Relación
6	DGA (Dirección General de Aguas)	Organismo público dependiente del Ministerio de Obras Públicas, encargado de la planificación en materias de recursos hídricos, constitución de derechos de aprovechamiento, fiscalización, entre otros. Encargado de la formulación del “Plan Estratégico de Gestión Hídrica para la cuenca del río Maipo” ⁸ .
7	Fundación Chile	Organización público-privada cuyo propósito es impulsar la transformación de Chile hacia el Desarrollo Sostenible. En temas hídricos, se destaca su participación en Escenarios Hídricos 2030 ⁹ .
8	Aguas Andinas S.A.	Empresa privada encargada de realizar el suministro de agua potable y alcantarillado a gran parte de la Región Metropolitana. Ha impulsado diferentes iniciativas para enfrentar el cambio climático en materia de recursos hídricos ¹⁰ .

Estimación de las variables de oferta y disponibilidad hídrica Escenarios 1 y 2

La variable Q_T para el Escenario 1 está dada por el caudal medio anual superficial y subterráneo del periodo 1991-2020, mientras que para el Escenario 2, Q_T corresponde al caudal medio anual superficial y subterráneo del año 2020.

Las variables de oferta hídrica Q_T estuvieron compuestas por las series históricas de caudales medios mensuales para las subcuencas cabeceras, Río Maipo Alto y Río Mapocho Alto, en las estaciones fluviométricas “Río Maipo en el Manzano” y “Río Mapocho en los Almendros” respectivamente. En ambas estaciones fue necesario completar las series históricas, dado que no tenían el 100% de los caudales medios mensuales. Lo anterior fue realizado mediante correlaciones fluviométricas. Específicamente, se completaron los datos faltantes con las estaciones vecinas de “Río Maipo en San Alfonso” para la subcuenca río Maipo Alto y la estación “Estero Arrayán en la Montosa” para la subcuenca Mapocho Alto.

Por otra parte, es relevante precisar que, estas estaciones fueron elegidas bajo el supuesto de que las extracciones consuntivas son menores en ambas subcuencas, y es posible asociar los caudales medidos con la oferta hídrica natural del sistema. En el caso de las otras subcuencas, el grado de intervención antrópica es mucho más alto, por lo que no permite aplicar el mismo procedimiento (DGA, 2021).

Para los indicadores de Satisfacción Hídrica (S) se obtuvieron los siguientes resultados (Cuadro 5).

⁸ <https://dga.mop.gob.cl/acercadeladga/funciones/Paginas/default.aspx>

⁹ <https://fch.cl/iniciativa/agua/>

¹⁰ <https://compromiso.aguasandinas.cl/>

Cuadro 5. Estimaciones de las variables Oferta Hídrica de Indicadores de Satisfacción Hídrica (S) para Escenario 1 y Escenario 2

Variable	Dato y/o Serie	Estimación ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	Total ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
Oferta hídrica Escenario 1 ($Q_{T E1}$)	Caudal medio anual superficial periodo histórico 1991-2020 ($Q_{T\text{-superficial } E1}$)	105,41	189,1
	Caudal de recarga subterránea periodo histórico 1991-2020 ($Q_{T\text{-subterráneo } E1}$)	83,7	
Oferta hídrica Escenario 2 ($Q_{T E2}$)	Caudal medio anual superficial año 2020 ($Q_{T\text{-superficial } E2}$)	54,92	99,9
	Caudal de recarga subterránea año 2020 ($Q_{T\text{-subterráneo } E2}$)	45	

En la Figura 6 y Figura 7 se muestra la distribución mensual del caudal superficial para el periodo 1991-2020 (Escenario 1) y periodo 2020 (Escenario 2) de las estaciones Río Maipo en El Manzano y Río Mapocho en Los Almendros respectivamente. Cabe precisar que, no se posee información de los caudales subterráneos a escala mensual.

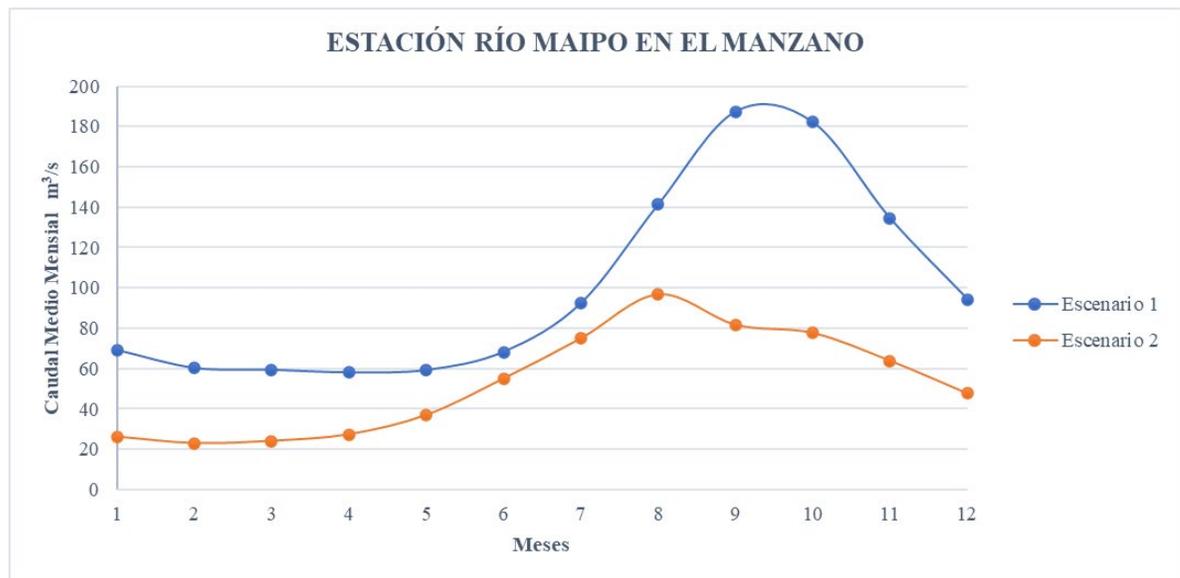


Figura 6. Distribución de los caudales medios mensuales superficiales para Escenario 1 y 2 en Estación Río Maipo en el Manzano

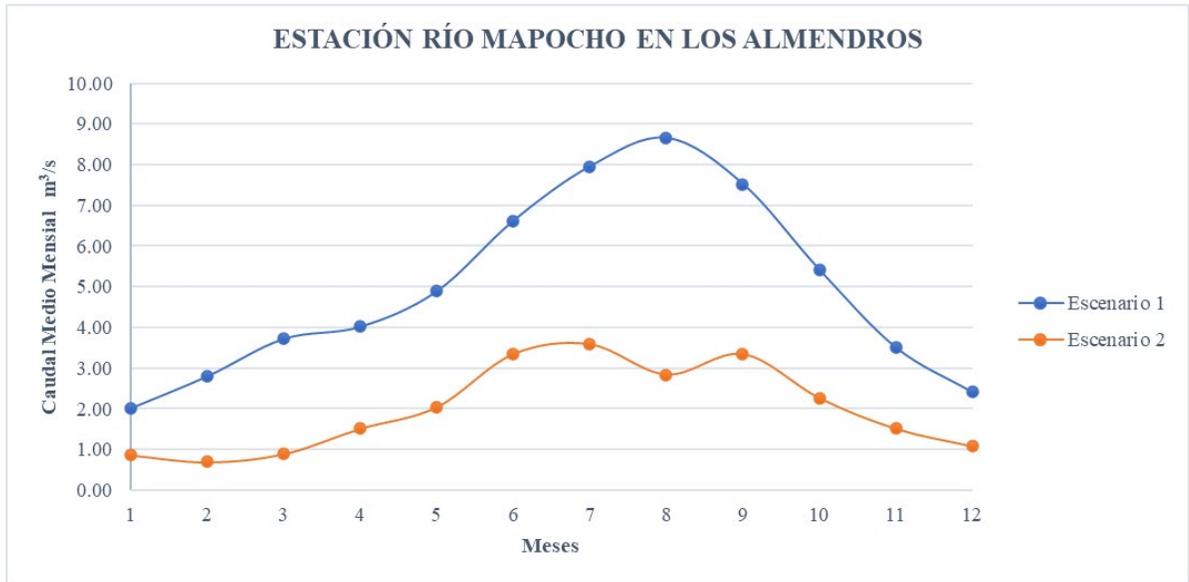


Figura 7. Distribución de los caudales medios mensuales superficiales para Escenario 1 y 2 en Estación Río Mapocho en Los Almendros

A partir de las figuras anteriores, se puede observar la variación temporal de los caudales medios mensuales para cada escenario. No obstante, los indicadores fueron trabajados con una escala temporal anual de acuerdo con lo definido metodológica y conceptualmente, por lo que las estimaciones no consideran la variabilidad mensual en cuanto a la disponibilidad hídrica.

Para los indicadores de Vulnerabilidad Hídrica (*VS*), se obtuvieron los resultados presentados en el Cuadro 6. Dado que estos están determinados por variables de caudales superficiales y subterráneos en condiciones de baja disponibilidad, es decir, con probabilidad de excedencia del 85%, se procedió a establecer supuestos para la estimación debido a la falta de información respecto a los caudales subterráneos para el periodo en estudio.

Cuadro 6. Estimaciones de las variables Oferta Hídrica de los indicadores de Vulnerabilidad Hídrica (*VS*) para Escenario 1 y Escenario 2

Variable	Dato y/o Serie	Supuesto	Estimación (m ³ s ⁻¹)	Total (m ³ s ⁻¹)
Oferta hídrica Escenario 1 con PE 85% ($Q_{T E1 85\%}$)	Caudal medio anual superficial periodo 1991-2020 año normal con PE 85% ($Q_{T-superficial E1 85\%}$)	Se realizó un análisis de frecuencia a través de la fórmula empírica de Weibull e interpolación, se clasificó en años húmedos, normales y secos a través de medidas estadísticas y se utilizó “año normal”, a fin de reflejar la realidad hídrica en condiciones normales	53,92	137,6

Variable	Dato y/o Serie	Supuesto	Estimación (m ³ s ⁻¹)	Total (m ³ s ⁻¹)
	Caudal de recarga subterránea periodo 1991-2020 año normal con PE 85% ($Q_{T-subterráneo E1 85\%}$)	Dado que no se contaba con información disgregada de los caudales de recarga para el periodo 1991-2020 y poder realizar el análisis de frecuencia para la PE 85%, se utilizó el valor del promedio anual del periodo obtenido desde el Plan Estratégico de Gestión Hídrica de la cuenca (DGA, 2021).	83.7	
	Caudal medio anual superficial periodo 1991-2020 año seco con PE 85% ($Q_{T-superficial E2 85\%}$)	Se realizó un análisis de frecuencia a través de la fórmula empírica de Weibull e interpolación, se clasificó en años húmedos, normales y secos a través de medidas estadísticas y se utilizó “año seco”, a fin de reflejar la realidad hídrica en condiciones de escasez hídrica o baja disponibilidad.	36.79	
Oferta hídrica				81,8
Escenario 2 con PE 85%				
	Caudal de recarga subterránea periodo 1991-2020 año seco con PE 85% ($Q_{T-subterráneo E2 85\%}$)	Dado que no se contaba con información disgregada de los caudales de recarga para el periodo 1991-2020 y poder realizar el análisis de frecuencia para la PE 85%, se utilizó el valor del promedio anual para el año 2016 obtenido desde el informe “Estimación de la Recarga en la cuenca del río Maipo a través del Modelo WetSpas (Palma y Barreiras, 2021)”.	45	

Por otro lado, las variables *Disp* para los Indicadores de Satisfacción Hídrica (*S*), tanto para el Escenario 1 y 2, correspondieron a una integración de las variables de oferta hídrica (Q_T), y los Derechos de Aprovechamiento de Agua (DAA) de uso consuntivo (Q_{UC}) del sector productivo según correspondiese. Además, las variables *Disp* para los indicadores de Vulnerabilidad Hídrica (*VS*), estuvo determinada por las variables de oferta hídrica con PE 85% y los DAA de uso consuntivo del sector productivo que correspondiese.

En función de lo anterior, es relevante señalar que, en el caso de que la oferta hídrica de una cuenca (caudal superficial y subterráneo), sea menor a la demanda dada por los DAA otorgados, la variable *Disp* corresponderá a una proporción del agua físicamente disponible, la cual fue calculada en base a la cantidad de DAA asignados para el uso que corresponda con relación al total de DAA consuntivos entregados a nivel cuenca (Ecuación 17) (LAT, 2017).

$$Disp = Q_T \times \frac{DAA_x}{DAA_{UC}}$$

Ecuación 17

Por lo tanto, dado que la cuenca posee una demanda total de 416,54 m³s⁻¹ de DAA de uso consuntivo superficial y subterráneo (Catastro Público de Aguas, 2022), y una oferta hídrica total de 189,1 m³s⁻¹ para el Escenario 1 y 99,9 m³s⁻¹ para el Escenario 2, se debió proceder con dicho prorrateo.

Los valores obtenidos respecto a los DAA (superficiales + subterráneos) asignados a cada sector y uso se presentan en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Estimación de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) de uso consuntivo en la cuenca del río Maipo actualizados al 31 de octubre de 2022

Uso	DAA Superficiales (m³s⁻¹)	DAA Subterráneos (m³s⁻¹)	Total (m³s⁻¹)
Riego	24,80	27,83	52,63
Uso Humano	61,54	16,23	77,77
Industrial	7,00	0,77	7,77
Mínero	0,05	0,00	0,05
Otros usos	2,27	33,51	35,78
Sin Información	171,36	71,18	242,54
Total	267,02	149,52	416,54

Considerando la información presentada en los Cuadros 5, 6 y 7 se calculó la variable *Disp* de ambos escenarios para los Indicadores de Satisfacción Hídrica (*S*) y Vulnerabilidad Hídrica (*VS*) los cuales se presentan en los cuadros 8 y 9 respectivamente.

Cuadro 8. Estimación de la variable *Disp* para los Indicadores de Satisfacción Hídrica (*S*)

Variable	Escenario 1 (m³s⁻¹)	Escenario 2 (m³s⁻¹)
Disponibilidad Hídrica para Necesidades Humanas Básicas (<i>Disp_{NHB}</i>)	35,31	18,66
Disponibilidad Hídrica para Sector Silvoagropecuario (<i>Disp_{SSAP}</i>)	23,90	12,63
Disponibilidad Hídrica para Minería (<i>Disp_{Min}</i>)	0,02	0,01
Disponibilidad Hídrica para Industria (<i>Disp_{Ind}</i>)	3,53	1,86

Cuadro 9. Estimación de la variable *Disp* para los indicadores de Vulnerabilidad Hídrica (*VS*).

Variable	Escenario 1 (m³s⁻¹)	Escenario 2 (m³s⁻¹)
Disponibilidad Hídrica para Necesidades Humanas Básicas (<i>Disp_{PE85%,NHB}</i>)	25,69	15,27
Disponibilidad Hídrica para Sector Silvoagropecuario (<i>Disp_{PE85%,SSAP}</i>)	17,39	10,33
Disponibilidad Hídrica para Minería (<i>Disp_{PE85%,Min}</i>)	0,02	0,01
Disponibilidad Hídrica para Industria (<i>Disp_{PE85%,Ind}</i>)	2,57	1,53

A partir de lo anteriormente expuesto, y según se detalla en el Cuadro 7, es relevante indicar que se desconoce el uso de la mayor cantidad de caudal otorgado en la cuenca, donde existe un caudal medio anual total de 242,54 m³s⁻¹ sin información asociada, lo cual corresponde a un 58,2% del total, generando incertidumbre en las estimaciones. Además, se debe adicionar la falta de regularización de DAA, el sobre otorgamiento con relación a la oferta hídrica de la cuenca, y considerar que el uso registrado no garantiza que efectivamente que sean utilizados por el sector señalado. Por lo tanto, dado que no existe precisión en cuanto a usos y magnitud del agua a partir de los DAA registrados en el CPA, la disponibilidad real de cada uso no está reflejada de forma apropiada, siendo cuestionable el uso de este instrumento administrativo-jurídico en la estimación de los indicadores de Seguridad Hídrica.

Por otra parte, con relación a las variables que determinaron la oferta o disponibilidad hídrica para estimar los indicadores de seguridad hídrica, se puede observar que al utilizar como escala temporal el caudal medio anual, ya sea para el Escenario 1 o 2, no se logran visualizar las dinámicas de disponibilidad promedio mes a mes según se observa en la Figura 6 y Figura 7. No obstante, se permite tener una visión general respecto a la oferta hídrica de la cuenca.

Estimación y valoración de los indicadores de Seguridad Hídrica en la Cuenca del Río Maipo

En el presente acápite se presentan los resultados y análisis de los indicadores S y VS para cada dimensión y subdimensión, junto a su respectiva calificación y categoría. Adicionalmente, en el Apéndice 3 y Apéndice 4 se presentan los datos y/o series que componen cada variable.

- **Dimensión 1: “Agua en cantidad y calidad adecuada y accesible para el consumo humano”**

Subdimensión 1. Actividades de Subsistencia Familiar

Los indicadores de esta subdimensión estuvieron determinados por la huella hídrica de las actividades de subsistencia familiar (HH_{ASF}), en función del caudal remanente entre la oferta hídrica y el caudal de usos consuntivos¹¹. La variable HH_{ASF} fue calculada como una proporción de la huella hídrica azul del sector agropecuario de la cuenca en base a la superficie de los pequeños agricultores para lo cual se obtuvo un valor de $0,31 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

En el Cuadro 10 se presenta el resultado del indicador de Satisfacción Hídrica (S) para las actividades de subsistencia familiar, y en el en el Cuadro 11 el resultado del Indicador de Vulnerabilidad Hídrica (VS).

Cuadro 10. Resultado Indicador de Satisfacción Hídrica (S) para las Actividades de Subsistencia Familiar

Escenario	Resultado %	Calificación	Categoría
Escenario 1	-0,13/ Indeterminado	3	Alta Inseguridad Hídrica
Escenario 2	-0,10 / Indeterminado	3	Alta Inseguridad Hídrica

Cuadro 11. Resultado Indicador de Vulnerabilidad Hídrica (VS) para las Actividades de Subsistencia Familiar

Escenario	Resultado %	Calificación	Categoría
Escenario 1	-0,11 / Indeterminado	3	Alta Inseguridad Hídrica
Escenario 2	-0,09 / Indeterminado	3	Alta Inseguridad Hídrica

Según los resultados expuestos, se obtuvo una categoría de alta inseguridad hídrica para las actividades de subsistencia familiar, tanto para condiciones normales de disponibilidad hídrica, como para condiciones de vulnerabilidad. La alta inseguridad está determinada principalmente por la indeterminación del indicador, lo cual se traduce en que la oferta hídrica de la cuenca es inferior al caudal asignado a los usos consuntivos, obteniendo un caudal remanente negativo, implicando que para ambos escenarios la disponibilidad de agua

¹¹ Se asume que el caudal remanente entre el caudal total y el caudal asignado a los usos consuntivos permitiría satisfacer aquellos usos no consuntivos.

para las actividades de subsistencia familiar sea crítica. A su vez, no se puede observar la dinámica de los requerimientos hídricos existentes de los cultivos, debido a la escala temporal anual.

Por otra parte, es relevante indicar que la construcción de estos indicadores no contempla los derechos de aprovechamiento de aguas asignados a los pequeños agricultores. En dicho contexto, según la Resolución Exenta N°60702/2016 del Ministerio de Agricultura, que aprueba las Normas Técnicas y Procedimientos Operatorios que regulan el Bono Legal de Aguas, tiene el objetivo de facilitar el acceso a la agricultura familiar campesina a los recursos hídricos para lo cual presta distintos tipos de apoyo, como el financiamiento parcial de la constitución de los derechos de aprovechamiento de aguas y su regularización. Por lo tanto, el supuesto del caudal remanente no aplicaría para esta actividad, más bien, debiese calcularse su disponibilidad en función de los DAA otorgados y regularizados a la fecha.

Subdimensión 2. Necesidades Humanas Básicas

Los indicadores de satisfacción y vulnerabilidad hídrica de esta subdimensión están determinados por la huella hídrica de las necesidades humanas básicas (HH_{NHB}), en función de la disponibilidad hídrica para dicho uso (Cuadro 8 y Cuadro 9). La variable HH_{NHB} fue calculada en base al consumo del agua potable urbana residencial ($15,85 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) (SISS, 2021a) y la demanda del Agua Potable Rural (APR) de la cuenca ($0,39 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) (DGA, 2019), donde se obtuvo un total de $16,24 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

A partir de lo anterior, en el Cuadro 12 se presenta el resultado del indicador de Satisfacción Hídrica (S) para las necesidades humanas básicas, y en el Cuadro 13 muestra el resultado del Indicador de Vulnerabilidad Hídrica (VS).

Cuadro 12. Resultado Indicador de Satisfacción Hídrica (S) para las Necesidades Humanas Básicas

Escenario	Resultado %	Calificación	Categoría
Escenario 1	46,00	1	Seguridad Hídrica
Escenario 2	87,05	2	Moderada Seguridad Hídrica

Cuadro 13. Resultado Indicador de Vulnerabilidad Hídrica (VS) para las Necesidades Humanas Básicas

Escenario	Resultado %	Calificación	Categoría
Escenario 1	63,21	1	Seguridad Hídrica
Escenario 2	106,35	3	Alta Inseguridad Hídrica

A partir de los resultados obtenidos, se observa que existe Seguridad Hídrica para el indicador de satisfacción (S) y vulnerabilidad hídrica para el Escenario 1. No obstante, en condiciones de vulnerabilidad, estos indicadores presentan una situación de moderada inseguridad hídrica para el Escenario 1 y alta inseguridad hídrica para el Escenario 2.

En el contexto actual de Cambio Climático y Megasequía, el resultado más coincidente con el estado hídrico de la cuenca es el de alta inseguridad hídrica. No obstante, a través de consulta experta, se identificó que existen acuerdos y convenios entre los privados, los cuales priorizan el acceso humano al agua, lo cual se encuentra plasmado en Artículo 5 bis del Código de aguas "*Siempre prevalecerá el uso para el consumo humano, el uso doméstico de subsistencia y el saneamiento, tanto en el otorgamiento como en la limitación al ejercicio de los derechos de aprovechamiento*". Esto último, implica que en una zona donde exista dificultad de acceso al vital elemento, como la cuenca del río Maipo, la autoridad podría eventualmente redistribuir y reducir temporalmente el ejercicio de este derecho a otros usos.

Por otra parte, los expertos también atribuyeron la cantidad de derechos de aguas que posee el sector sanitario por sobre los demás sectores, según señalaron algunos entrevistados: "*Primer indicador donde te dice que el agua potable no tiene mucha inseguridad, sale como intermedio ¿Sabes cuál es la explicación? La explicación es super clave y es porque las sanitarias en Chile tienen más derechos de agua que cualquiera*¹²". Esto último también se ve reflejado en el Cuadro 9 y Cuadro 10, donde el uso humano posee la mayor disponibilidad de agua en comparación a los otros sectores productivos, lo cual se debe a la cantidad de derechos asignados a dicho uso (Cuadro 8).

Adicionalmente, es relevante considerar que no se logra visualizar la seguridad hídrica disgregada entre el Agua Potable Urbana (APU) y el Agua Potable Rural (APR), los cuales dependen de distintas fuentes de agua y diferentes tipos de infraestructuras para su abastecimiento, no pudiendo valorar y diferenciar el estado real de la seguridad hídrica de cada sector. Esto se traduce en la potencial dificultad para poder implementar medidas de gestión para ambos sectores a través de los indicadores.

En cuanto al indicador PRM, este está determinado por la disponibilidad de agua potable diaria en el territorio, estimada a partir de la disponibilidad de agua para las necesidades humanas básicas (Cuadro 8), en función de los habitantes de la cuenca (7.405.097) (INE, 2017) y sus requerimientos mínimos básicos (100 litros p/día) (OMS, 2020).

Consecutiva y teóricamente, para satisfacer los requerimientos mínimos básicos de toda la población en la cuenca, se necesitarían aproximadamente $740.509,7 \text{ m}^3\text{día}^{-1}$ de agua potable, lo que se traduce en $8,6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. En este sentido, según se detalla en el Cuadro 8, se obtuvieron $35,31 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ y $18,66 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ de disponibilidad de agua potable para los Escenarios 1 y 2 respectivamente. A partir de lo anterior, en el Cuadro 14 se presenta el resultado del indicador.

Cuadro 14. Estimación indicador PRM

Indicador	Escenario 1	Escenario 2
PRM	4,12	2,18

En base a los resultados, se podría interpretar que existe agua para satisfacer los requerimientos de toda la población de la cuenca para ambos escenarios, inclusive, los

¹² Entrevistado 7. Representante Fundación Chile. Febrero 2023. Entrevista personal.

resultados indican que para el Escenario 1, podría abastecerse una población cuatro veces mayor, y dos veces mayor para el Escenario 2, pudiendo interpretarse que, en caso de una priorización del agua potable disponible actualmente para las necesidades básicas humanas, se podría abastecer a toda la población de la cuenca. En dicho sentido, el resultado es coherente con el indicador de necesidades humanas básicas, que indica un estado de Seguridad Hídrica para dicho uso.

Sin embargo, en la realidad, la situación hídrica en la cuenca es crítica, donde el suministro de agua potable para la población se ha visto gravemente afectada (EH-2030, 2019). Además, y según se define en el estudio de Seguridad Hídrica, este indicador no forma parte de los indicadores de satisfacción ni de vulnerabilidad hídrica, y tampoco se establecen metodologías ni categorías para que pueda ser integrado en la valoración de la Seguridad Hídrica a nivel global. Por lo tanto, si bien podría entregar información respecto a la priorización del agua para el consumo humano, no representa con claridad la realidad actual según bibliografía y criterio experto, resultando cuestionable su uso para la valoración de Seguridad Hídrica.

- **Dimensión 2: “Agua en cantidad y calidad adecuada y accesible para asegurar el desarrollo productivo sustentable”**

Subdimensión 3. Actividades Productivas Extractivas de Agua (APEA)

Los indicadores de satisfacción y vulnerabilidad hídrica de esta subdimensión, están determinados por la huella hídrica de las actividades productivas extractivas (HH_{APEA}) en función de la disponibilidad hídrica para cada uso consuntivo. La variable HH_{APEA} fue calculada en base a la suma de las HH_{SSAP} ($66,35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), $HH_{Industria}$ ($8,46 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), $HH_{Minería}$ ($2,02 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) obteniendo un total de $76,83 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

En el Cuadro 15 se presenta el resultado del indicador de Satisfacción Hídrica (S) para las actividades productivas extractivas de agua, y en el Cuadro 16 se puede observar el resultado del Indicador de Vulnerabilidad Hídrica (VS).

Cuadro 15. Resultado Indicador de Satisfacción Hídrica (S) para las Actividades Productivas Extractivas de Agua

Escenario	Resultado %	Calificación	Categoría
Escenario 1	279,89	3	Alta Inseguridad Hídrica
Escenario 2	529,71	3	Alta Inseguridad Hídrica

Cuadro 16. Resultado Indicador de Vulnerabilidad Hídrica (VS) para las Actividades Productivas Extractivas de Agua

Escenario	Resultado %	Calificación	Categoría
Escenario 1	385,61	3	Alta Inseguridad Hídrica
Escenario 2	647,17	3	Alta Inseguridad Hídrica

A partir de los resultados obtenidos, se puede indicar que existe una situación de alta inseguridad hídrica para los 3 sectores productivos, tanto para el Escenario 1 como para el 2. Si bien los resultados son coincidentes de forma general con la realidad hídrica de la cuenca, los indicadores no permiten visualizar las singularidades de cada sector, pues conceptual y metodológicamente los indicadores integran la información de todos los sectores. Por lo tanto, al igual que en el caso de la subdimensión “necesidades humanas básicas”, al analizar los resultados resulta complejo poder instaurar potenciales medidas a cada sector, si no se conoce el estado real de la seguridad hídrica.

En el caso de la Huella Hídrica del sector silvoagropecuario, no es posible visualizar los requerimientos mensuales de los diferentes cultivos, debido a la escala anual de los datos disponible para su estimación.

Por otra parte, estos indicadores no incluyen otras posibles fuentes de agua como el almacenamiento en embalses, uso de aguas servidas tratadas o agua desalinizada para satisfacer riego, minería u otras actividades industriales. Consecuentemente, los indicadores podrían estar sobreestimados con relación a la disponibilidad de agua para dichos sectores.

Subdimensión 4. Actividades Productivas No Extractivas de Agua (APNEA).

Los indicadores de satisfacción y vulnerabilidad hídrica para el sector hidroeléctrico están determinados por la disponibilidad de agua para el sector ($Disp_{SH}$) en función de la oferta hídrica en condiciones naturales de la cuenca, es decir, sin considerar los usos consuntivos. La variable $Disp_{SH}$ fue calculada en base al caudal medio anual del proyecto hidroeléctrico con mayor caudal en DAA otorgados en la parte alta de la cuenca, donde se obtuvo un valor de $31,54 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. El supuesto aquí es que este caudal satisface todas las demandas hidroeléctricas de menor caudal.

Por otra parte, los indicadores de satisfacción y vulnerabilidad hídrica para el sector turismo están determinados el caudal requerido para satisfacer las actividades turísticas de la cuenca (Q_D) en función del caudal remanente entre la oferta hídrica y el caudal asignado a los usos consuntivos. Para la variable Q_D se utilizó un valor de $236 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

A partir de lo anterior, en el Cuadro 17 y Cuadro 18 se presenta el resultado de los indicadores de Satisfacción Hídrica (S) para las actividades productivas no extractivas de agua, y en los Cuadros 19 y 20, el resultado de los Indicadores de Vulnerabilidad Hídrica (VS).

Cuadro 17. Resultado Indicador de Satisfacción Hídrica (S) para las Actividades Productivas no Extractivas de Agua - Sector Hidroeléctrico

Escenario	Resultado %	Calificación	Categoría
Escenario 1	16,68	1	Seguridad Hídrica
Escenario 2	31,56	1	Seguridad Hídrica

Cuadro 18. Resultado Indicador de Satisfacción Hídrica (*S*) para las Actividades Productivas no Extractivas de Agua – Sector Turismo

Escenario	Resultado %	Calificación	Categoría
Escenario 1	-103,77 / Indeterminado	3	Alta Inseguridad Hídrica
Escenario 2	-74,54 / Indeterminado	3	Alta Inseguridad Hídrica

Cuadro 19. Resultado Indicador de Vulnerabilidad Hídrica (*VS*) para las Actividades Productivas no Extractivas de Agua - Sector Hidroeléctrico

Escenario	Resultado %	Calificación	Categoría
Escenario 1	22,91	1	Seguridad Hídrica
Escenario 2	38,56	1	Seguridad Hídrica

Cuadro 20. Resultado Indicador de Vulnerabilidad Hídrica (*VS*) para las Actividades Productivas no Extractivas de Agua – Sector Turismo

Escenario	Resultado %	Calificación	Categoría
Escenario 1	-84,61 / Indeterminado	3	Alta Inseguridad Hídrica
Escenario 2	-70,50 / Indeterminado	3	Alta Inseguridad Hídrica

A partir de los resultados obtenidos, se puede observar que el sector hidroeléctrico posee una situación de seguridad hídrica en los indicadores de satisfacción y vulnerabilidad para ambos escenarios. Lo anterior, puede estar determinado al asumir que, en la parte alta de la cuenca, los proyectos hidroeléctricos operan antes de que existan los respectivos repartos a los usos consuntivos (LAT, 2017). No obstante, también existen otras hidroeléctricas que coexisten con empresas que poseen usos consuntivos de los ríos (DGA, 2021), lo cual implica que se puedan ver afectadas en circunstancias de baja disponibilidad de agua. Así lo indicó uno de los expertos *“En el caso del sector hidroeléctrico, en el río Maipo en particular, no están tan separados los tramos donde están los consumos no consuntivos versus sólo los consuntivos... Yo diría que ahí también ellos se han visto afectados, pero más que por un desbalance propio de su sector, las de sus derechos personas versus su disponibilidad, sino que, porque sobre todo las empresas que coexisten en el tramo donde hay uso consuntivo, obviamente se ven afectados por lo mismo que te acabo de comentar, cuando hay transferencias del sector agrícola o el sector sanitario, ellos están entre medio y obviamente eso les pega. Ahora si hay centrales que efectivamente están en la parte alta, que no les afecta, y ahí a lo mejor, ellos podrían sentirse más, mayormente representados por esa satisfacción que tú expones en ese índice¹³”*.

Por consiguiente, el resultado global de los indicadores podría estar subestimado para centrales hidroeléctricas emplazadas en otros sectores de la cuenca, o bien, para aquellas que coexisten con otras empresas.

¹³ Entrevistado 1, representante Junta de Vigilancia de la Primera Sección del río Maipo. Febrero 2023. Entrevista personal.

Por otra parte, respecto a los indicadores para el Turismo, todos adquirieron una condición de indeterminación, y, por ende, alta inseguridad hídrica. Según se menciona en los indicadores de la Subdimensión 1, dicha condición está determinado por el supuesto del “caudal remanente” para satisfacer aquellos usos no consuntivos. Sin embargo, la DGA (2017) en su estudio “Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile” determinó que los caudales mensuales con probabilidad de excedencia entre un 20% y un 50% son los adecuados para mantener el río en condiciones de poder realizar actividades turísticas, asignando un valor promedio anual de $236 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ para la cuenca del río Maipo; lo cual pareciera estar sobre estimado, ya que la disponibilidad de agua en las fuentes superficiales es inferior a esa magnitud.

Consecuentemente, no existen fuentes de información con una frecuencia de actualización mensual o anual que permita determinar los requerimientos hídricos para satisfacer las necesidades turísticas de la cuenca. A su vez, dada la alta magnitud “requerida” según la DGA (2017), resulta cuestionable el resultado para este indicador.

- **Dimensión 3: “Cuerpos de agua en cantidad y calidad para garantizar la salud humana, el medioambiente y los diferentes usos”**

Subdimensión 5. Protección y Conservación de los ecosistemas

Los indicadores de satisfacción y vulnerabilidad hídrica de esta subdimensión están determinados por el caudal ecológico de la cuenca (Q_E), en función del caudal remanente entre la oferta hídrica y el caudal asignado a usos consuntivos. Para la variable Q_E se utilizó un valor de $21,16 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, el cual fue estimado a partir de lo establecido en el Decreto Supremo 71/ 2014 del Ministerio de Medio Ambiente.

A partir de lo anterior, en el Cuadro 21 se presenta el resultado de los indicadores de Satisfacción Hídrica (S) para la protección y conservación de los ecosistemas, y en el Cuadro 22, el resultado de los Indicadores de Vulnerabilidad Hídrica (V_S).

Cuadro 21. Resultado Indicador de Satisfacción Hídrica (S) para la Protección y Conservación de los Ecosistemas

Escenario	Resultado %	Calificación	Categoría
Escenario 1	-9,30 / Indeterminado	3	Alta Inseguridad Hídrica
Escenario 2	-6,68 / Indeterminado	3	Alta Inseguridad Hídrica

Cuadro 22. Resultado Indicador de Vulnerabilidad Hídrica (*VS*) para la Protección y Conservación de los Ecosistemas

Escenario	Resultado %	Calificación	Categoría
Escenario 1	-7,59 / Indeterminado	3	Alta Inseguridad Hídrica
Escenario 2	-6,32 / Indeterminado	3	Alta Inseguridad Hídrica

Según los resultados obtenidos, se observa que existe una alta inseguridad hídrica para la Protección y Conservación de los Ecosistemas, lo cual estuvo determinado por la interminación del indicador; es decir, la oferta total de agua disponible es menor al caudal de usos consuntivos asignados en la cuenca, implicando que no exista un caudal remanente, por ende, no hay caudal ecológico que satisfaga las necesidades ecosistémicas. Si bien los resultados son coincidentes con el estado hídrico de la cuenca dado que existe una brecha hídrica de gran magnitud respecto a la disponibilidad y oferta del agua (EH 2030, 2022), se debe tener especial cuidado en la definición del caudal ecológico, puesto que en la cuenca se utilizan caudales hidrológicos basado en metodologías empíricas sin considerar las necesidades reales de los ecosistemas en su conjunto¹⁴.

Subdimensión 6. Control de la Contaminación

Los indicadores de satisfacción y vulnerabilidad hídrica de esta subdimensión están determinados por la huella hídrica gris de los sectores productivos (HH_{GRIS}), en función del caudal remanente entre la oferta hídrica y el caudal asignado a usos consuntivos. Para la variable HH_{GRIS} se utilizó un valor de $14,21 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

A partir de lo anterior, en el Cuadro 23 se presenta el resultado de los indicadores de Satisfacción Hídrica (*S*) para la protección y conservación de los ecosistemas, y en el Cuadro 24 se observa el resultado de los Indicadores de Vulnerabilidad Hídrica (*VS*).

Cuadro 23. Resultado Indicador de Satisfacción Hídrica (*S*) para el Control de la Contaminación

Escenario	Resultado %	Calificación	Categoría
Escenario 1	-6,2 / Indeterminado	3	Alta Inseguridad Hídrica
Escenario 2	-4,49 / Indeterminado	3	Alta Inseguridad Hídrica

Cuadro 24. Resultado Indicador de Vulnerabilidad Hídrica (*VS*) para el Control de la Contaminación

Escenario	Resultado %	Calificación	Categoría
Escenario 1	-5,09 / Indeterminado	3	Alta Inseguridad Hídrica
Escenario 2	-4,24 / Indeterminado	3	Alta Inseguridad Hídrica

¹⁴ En base a entrevistas criterio experto, 2023.

Según los resultados obtenidos, al igual que en la subdimensión anterior, se observa que existe una alta inseguridad hídrica para el control de la contaminación de la cuenca; lo cual estuvo determinado por la interminación del indicador, es decir, la oferta de agua disponible es menor al caudal de usos consuntivos asignados en la cuenca, implicando que no exista un caudal remanente que pueda diluir la emisión de efluentes contaminantes a los cuerpos superficiales y subterráneos.

Respecto a la coherencia del indicador con la realidad de la cuenca, esta es coincidente, dado que existen problemas de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas en la cuenca, producto de actividades industriales, actividades mineras, contaminación difusa, entre otros (DGA, 2021), donde la concentración de metales pesados supera las normas chilenas de agua potable (NCh 409) y riego (NCh 1333) para diversos elementos en diferentes sectores de la cuenca (DGA, 2017b). Es relevante señalar que, en el caso del Molibdeno y Mercurio, estos son superados en todos los sectores de la cuenca para ambas normas (DGA, 2017b).

Valoración de los índices Seguridad Hídrica en la Cuenca del Río Maipo

En base a los resultados anteriormente expuestos, se procedió a la valoración de los índices de cada dimensión, lo cual se basó según lo presentado en el Cuadro 1 de la metodología. Además, los resultados fueron sometidos a criterio experto para evaluar su coherencia con la realidad hídrica de la cuenca.

En las Figuras 8 y 9 se presenta la valoración de los índices a nivel dimensión para los Escenarios 1 y 2 respectivamente.

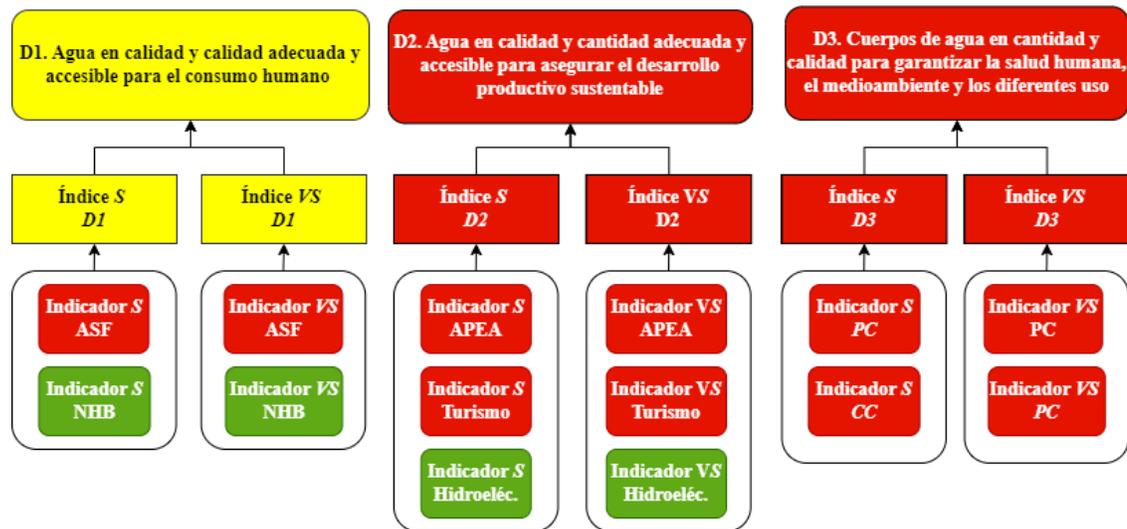


Figura 8. Valoración de los Índices de Seguridad Hídrica para Escenario 1

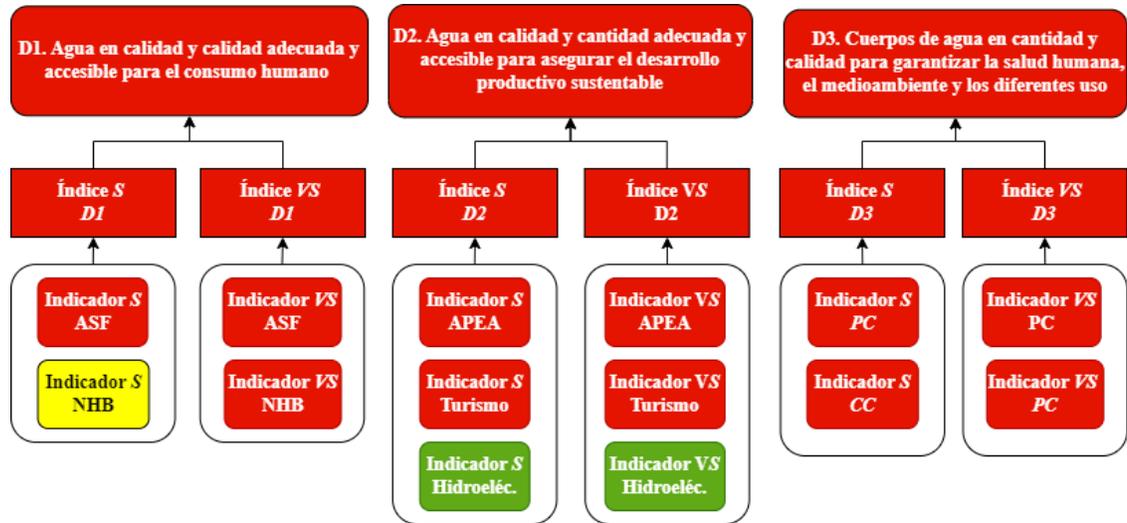


Figura 9. Valoración de los Índices de Seguridad Hídrica para Escenario 2

A partir de los resultados expuestos para cada subdimensión y dimensión, se puede evidenciar que la mayoría de los indicadores, tanto de satisfacción como de vulnerabilidad, describen una situación de “alta inseguridad hídrica” para ambos escenarios. En particular, aquellos indicadores que evalúan el consumo o demanda en función del caudal remanente entre la oferta hídrica y el caudal asignado a los usos consuntivos (e.g. Actividades de Subsistencia Familiar, Protección y Conservación de los Ecosistemas), adquirieron siempre una condición de “indeterminación”, ya que la cuenca posee un estado de sobre otorgamiento de DAA, lo cual implica que hay más derechos otorgados que agua física disponible, y que consecuente y teóricamente, no exista el “caudal remanente” para satisfacer aquellos usos.

En cuanto al uso de escenarios, se observa que no existe mayores diferencias entre los resultados y que sólo los indicadores de la subdimensión 2 sobre las necesidades humanas básicas, cambian su condición.

En lo que respecta a la coherencia de los resultados con el estado hídrico de la cuenca, se observa que en general estos si son coherentes, logrando representar la “criticidad” hídrica que existe actualmente a nivel cuenca¹⁵ (EH 2030, 2022). En este contexto, la mayoría de los resultados adquirieron una condición de alta inseguridad hídrica, lo cual representa una situación de déficit hídrico para satisfacer las necesidades naturales y antrópicas la cuenca, lo que podría poner en peligro las actividades productivas y la población en general.

¹⁵ En base a criterio experto. Entrevista personal. Febrero, 2023.

Utilidad de los indicadores e índices para la toma de decisiones y Propuestas de Mejora

Limitantes y debilidades para la estimación de indicadores de Seguridad Hídrica

A partir de los resultados expuestos en los acápite anteriores, si bien los resultados globales son acordes a la realidad hídrica de la cuenca, se identificaron algunas limitaciones y debilidades, las cuales se resumen a continuación:

Cuantificación: Los indicadores no transmiten que tan grave puede ser la inseguridad hídrica cuando la situación es de alta inseguridad, o cuando el resultado es indeterminado. De este modo, resulta complejo identificar que subdimensión o dimensión debiese priorizarse, pues no existen escalas que permitan interpretar dichos resultados

Escala Espacial: Los resultados de los indicadores no permiten visualizar en qué lugar físico y específico de la cuenca existe una condición de inseguridad. Lo anterior no permitiría poder implementar medidas adecuadas para el resguardo de las actividades productivas y ecosistémicas en la cuenca. Por ejemplo, en el caso de las necesidades humanas básicas, donde la disponibilidad de agua potable considera el sector urbano y rural en conjunto, no se logra percibir la realidad hídrica real de forma disgregada para cada sector, dificultando la toma de decisiones con relación al tipo de medida y el lugar de implementación.

Escala temporal: Las demandas y consumos de agua de los sectores productivos son dinámicos durante el año, por lo que la escala anual no permite visualizar esas dinámicas. A su vez, la oferta de agua también es variable mes a mes. En específico para el caso en estudio, el “caudal medio anual” del periodo histórico 1991-2020 no refleja la realidad en términos de disponibilidad, escondiendo la dinámica de los años actuales de sequía e hipersequía. En dicho contexto, en un eventual escenario de implementación de medidas de gestión, los indicadores no permiten identificar si estas debiesen ser permanentes o eventuales.

Uso del Catastro Público de Aguas: El uso del catastro público en la estimación de indicadores genera incerteza, debido a la falta de regularización de derechos que existe actualmente, la duplicidad de estos derechos, la falta de información respecto al uso efectivo del agua y el sobre otorgamiento de estos a nivel cuenca. Lo anterior no permite realizar una asignación proporcional de cada sector, sub o sobreestimando la disponibilidad real para cada uso.

Fuentes de agua: El uso de estaciones fluviométricas en subcuencas cabeceras para estimar la disponibilidad de agua en la totalidad de la cuenca no representan la disponibilidad en el resto del territorio. Tampoco se ve reflejado el factor asociado a infraestructura de acumulación de agua (e.g. embalses, desaladoras, tranques, entre otros).

Brechas Informativas: Según se menciona en el desarrollo de este trabajo, la falta de información asociada a la disponibilidad de agua en acuíferos, estadísticas pluvio y fluviométricas, consumos de agua de los diferentes sectores productivos, entre otros,

condicionan la estimación de los indicadores de Seguridad Hídrica, y, por ende, poder establecer lineamientos estratégicos para tender hacia la Seguridad Hídrica a nivel cuenca y subdimensión.

Consecuentemente, los indicadores e índices de seguridad hídrica propuestos por el LAT (2017), objeto de evaluación del presente estudio, si bien presentan coherencia con el estado hídrico de la cuenca, pudiendo valorar de forma general el estado de Seguridad Hídrica en la cuenca del río Maipo, estos presentan limitaciones o debilidades que dificultan su uso en la toma de decisiones.

Utilidad de los indicadores e índices para la toma de decisiones

Los indicadores de Seguridad Hídrica están estrechamente relacionados con las políticas públicas y la toma de decisiones, ya que estos permiten evaluar y monitorear la efectividad de la implementación de planes, políticas o programas relacionadas a la gestión sostenible e integrada de los recursos hídricos (Urquiza y Billi, 2020). A su vez, los indicadores también permiten poder valorar el estado de la Seguridad Hídrica en momentos y territorios en particular, permitiendo identificar aspectos hídricos críticos y, por ende, poder establecer lineamientos para la elaboración de la política pública, utilizando como meta el tender hacia la Seguridad Hídrica.

Por consiguiente, en base a los resultados expuestos en los acápite anteriores, estos fueron sometidos a consulta de criterio experto, donde se consultó sobre la utilidad de los indicadores para la toma de decisiones y potencial aporte a la política pública. Consecutivamente, se identificó que estos podrían ser útiles a nivel de gestión y planificación, pero que debiesen ser mejorados, principalmente a partir de las limitaciones identificadas en el acápite anterior. Según señalaron algunos expertos: *“podrían ser utilizados, pero no como están, como te digo, yo creo que hay que darle una segunda derivada a eso y que tiene que ver con la proyección futura, incluido el cambio climático y con el tema de la regulación de la cuenca, porque para tomar decisiones de política pública se necesita el estado real de lo que está sucediendo”*¹⁶; *“Sí, yo creo que sí. O sea, yo creo que son buenos indicadores, creo que están bien planteados, lo que pasa es que hay que cambiarle la base. Son consistentes y como que abordan todas las dimensiones, yo creo que es un buen análisis, pero hay que cambiar la base de input, digamos. Y cambiar, por ejemplo, los primeros indicadores de derecho, hay que cambiarlos por realidades”*¹⁷.

Es relevante señalar que uno de los problemas más graves en la planificación y gestión hídrica en Chile, es la falta de información acerca de los consumos y extracciones de agua en las cuencas (Stehr *et al.*, 2019). Al respecto, el poder mejorar la calidad y cantidad de la información ambiental es uno de los grandes desafíos que tiene el país (Saravia *et al.*, 2020) para poder mejorar las condiciones hídricas (LAT, 2017), y, por ende, una aplicación más precisa de los indicadores.

¹⁶ Entrevistado 5. Representante Ministerio de Medio Ambiente. Febrero 2023. Entrevista personal.

¹⁷ Entrevistado 7. Representante Fundación Chile. Febrero 2023. Entrevista personal.

Propuestas de Mejora y Recomendaciones

A partir de las limitaciones identificadas y la consulta a criterio experto, a continuación, se presentan propuestas de mejoras para la estimación e interpretación de los indicadores.

Escala Espacial: En la cuenca del río Maipo existen diferentes tipos de uso del agua, como la agricultura, minería, industria, consumo humano, conservación de los ecosistemas, turismo, entre otros, los cuales se distribuyen en diferentes sectores de la cuenca. Por lo tanto, se propone realizar una sectorización de la cuenca en base a los usos del agua y su respectiva disponibilidad, para poder darle una pertinencia territorial a los indicadores que se apliquen. Por ejemplo, según la metodología utilizada por Escenarios Hídricos 2030 (2022) se podría asumir que las estaciones fluviométricas son representativas de un área aportante ubicada en una subcuenca aguas arriba, para luego en cada subcuenca evaluar los diferentes usos, y poder aplicar los indicadores de las subdimensiones que correspondiesen. Lo anterior permitiría conocer e identificar la seguridad hídrica a nivel cuenca de forma sectorizada, pudiendo establecer medidas prioritarias en los diferentes sectores de la cuenca.

Escala Temporal: Según se expone anteriormente, el uso de un caudal medio anual como escala temporal de trabajo para los indicadores, no permite visualizar la variabilidad intra anual de las dinámicas de oferta y demanda hídrica en la cuenca. Consecuentemente, se sugiere utilizar escalas temporales más acotadas como mensuales, dado que los indicadores podrían representar diferentes estados de la Seguridad Hídrica a medida que varía la oferta y demanda. Esto permitiría identificar la temporalidad de las medidas, ya sean permanentes o eventuales.

Factor Oportunidad: Actualmente, los indicadores miden la oferta hídrica de la cuenca a través del caudal medio anual dada por registros fluviométricos de estaciones en la parte alta de la cuenca, sin considerar otras oportunidades de acumulación de agua. En dicho contexto, se propone que los indicadores incluyan la variable oportunidad para estimar la oferta hídrica de la cuenca, de forma de poder complementar la “oferta natural” para un momento y tiempo en particular. Este factor oportunidad podría estar determinado por agua desalada, embalses, infiltración de aguas reutilizadas a las napas subterráneas o cualquier otro tipo de actividad relacionada a la acumulación/reutilización del agua.

Escalas de Inseguridad: Esta propuesta se basa en la construcción de una nueva escala de valoración de los resultados de los indicadores, para que los resultados permitan evaluar la magnitud de la inseguridad hídrica y su priorización para la implementación de medidas. Esto permitiría medir la efectividad o el desempeño de las medidas que se implementen (Quiroga *et al.*, 2009), a través de la comparación de los resultados obtenidos en diferentes momentos y zonas de la cuenca. A su vez, se sugiere que dichas escalas de inseguridad sean discutidas en mesas participativas incluyendo un comité de expertos y organismos públicos y privados.

Por otra parte, también se presentan dos recomendaciones generales que podrían implicar mayor precisión en la medición de la Seguridad Hídrica a partir de los indicadores. Lo anterior, según las grandes brechas informativas con relación a la oferta y demanda del agua (CEPAL y OCDE, 2016; Stehr *et al.*, 2019) y el uso de un instrumento administrativo-

jurídico como el Catastro Público de Aguas en la estimación de disponibilidad y demanda de los diferentes sectores productivos.

Modelación Hidrológica: Según se presenta en acápite anteriores, existen grandes brechas informativas con relación a la oferta y demanda del agua (CEPAL y OCDE, 2016). En este sentido, el uso de la modelación hidrológica como herramienta para la generación de la información, podría utilizarse para conocer de forma más precisa la distribución de la disponibilidad y demanda de agua a nivel cuenca, mejorando la calidad de los datos disponibles (CEPAL, 2021). Además, la modelación puede pronosticar eventos hidrológicos extremos como inundaciones o sequías, permitiendo incorporar estas variables en las estimaciones de oferta de agua.

Uso del Monitoreo de Extracciones Efectivas: Según se menciona en el análisis de la disponibilidad de la información, no existe información pública asociada a la oferta subterránea más que la estimación de un promedio anual para un periodo determinado. En dicho contexto, el Monitoreo de Extracciones Efectivas corresponde a un conjunto de normas y procedimientos que la DGA, por resolución fundada, establece en el marco de la implementación de la Ley N°21.064 que modificó el Código de Aguas, para que los titulares de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas midan las extracciones efectivas que realizan desde los puntos de captación y sus niveles freáticos, y luego transmitan la información generada a la DGA. Por lo tanto, de esta herramienta podría ser un insumo clave para el conocimiento de la disponibilidad y demanda de las aguas subterráneas de la cuenca.

A partir de lo anterior, se espera que, con la inclusión de las mejoras y recomendaciones se pueda valorar el estado de la Seguridad Hídrica en las diferentes cuencas del país, permitiendo ser un insumo para la elaboración de políticas, planes, y programas relacionados a la gestión hídrica a nivel cuenca.

Finalmente, es importante mencionar que, Chile enfrenta varios desafíos adicionales en materias hídricas que poseen relación con la Seguridad Hídrica y que también condicionan poder alcanzarla (LAT, 2017; Saravia *et al.*, 2019; Stehr *et al.*, 2019; EH 2030, 2021).

En este sentido, este trabajo permite señalar que, como mínimo, es esencial promover una gestión sustentable en donde se asegure un acceso equitativo a las necesidades humanas, productivas y ambientales sin comprometer las necesidades futuras; aumentar las capacidades del Estado para la fiscalización y sanciones en materia de recursos hídricos; promover la gobernanza del agua, entendiéndola como el conjunto de interacciones entre la ciudadanía y entes públicos y privados orientados a resolver problemas sociales, para crear oportunidades de participación ciudadana en los distintos marcos normativos (Zurbruggen, 2011), involucrando de forma integral la toma de decisiones de todos los actores que se vean afectados, y no sólo de los que poseen derechos de aprovechamiento; y por último, mejorar la institucionalidad del agua a nivel país, pues existen 56 organismos del estado que poseen atribuciones para la gestión del recurso, generando una dispersión de la información y de las responsabilidades sobre el agua (Fuster, 2013; EH 2030, 2021), provocando que la institucionalidad pública en Chile sea altamente burocrática, dificultando así la implementación de una gestión hídrica más integrada y sostenible.

A partir de lo anteriormente expuesto, y a modo de reflexión personal, durante el desarrollo de esta investigación, me surge una importante interrogante sobre la conceptualización de “Seguridad Hídrica”. Si bien, esta puede ser considerada como una meta en la que pueda ser posible establecer esfuerzos en alcanzarla, resulta cuestionable su aplicabilidad en la realidad. En este contexto, la disponibilidad del agua en la cuenca se encuentra bajo presión extrema y en constante cambio debido a diversos factores, por lo que asegurar un acceso equitativo al agua, aun cuando existen brechas importantes para la satisfacción de los diferentes usos, resulta difícil de alcanzar de manera permanente. Incluso, de acuerdo con los resultados presentados en esta investigación, se evidencia que es más esperable y realista vivir en condiciones de Inseguridad Hídrica que alcanzar una verdadera Seguridad Hídrica.

CONCLUSIONES

En base al análisis de disponibilidad de la información requerida por los indicadores e índices de Seguridad Hídrica, se dio cuenta que existe suficiente información para alimentar la mayoría de las variables. Sin embargo, no existe información disgregada de los caudales subterráneos para poder estimar su PE85%, ni tampoco para conocer la oferta subterránea y su respectiva variación mensual y anual.

Respecto a la calidad de la información, en general la frecuencia de actualización de las diferentes fuentes utilizadas es baja y con coberturas temporales incompletas, lo cual se dio principalmente en información relacionada a la oferta y demanda de los diferentes usos de agua en la cuenca. Además, se concluye que el uso Catastro Público de Aguas en la estimación de la disponibilidad o demanda del agua de los sectores productivos, no entrega información certera debido a la falta de regularización de los Derechos de Aprovechamiento de Agua, la falta de información relacionada al uso y la no existencia de una estandarización en términos de magnitud de caudal de los derechos concedidos.

Con relación a las estimaciones obtenidas, el indicador PRM (Proporción de la Población que satisface sus requerimientos hídricos mínimos) perteneciente a la subdimensión 2 “Necesidades Humanas Básicas”, no entrega resultados coincidentes con la realidad hídrica de la cuenca. Sus resultados tampoco se logran integrar a los indicadores e índices y de Seguridad Hídrica y su posterior valoración, dado que no existe un desarrollo metodológico que permita hacerlo, es decir, no posee rangos de clasificación de sus resultados. De forma concluyente, se sugiere una evaluación en cuanto a utilidad y reformulación del indicador debido a que pareciera entregar resultados sobreestimados.

Por otra parte, la estimación del resto de los indicadores e índices si fueron coherentes con la realidad hídrica de la cuenca de forma global, pero no se encontraron mayores diferencias entre el Escenario 1 (Oferta hídrica periodo 1991-2020) y el Escenario 2 (Oferta Hídrica 2020), lo cual puede deberse a la ausencia de una escala de inseguridad que permita evaluar la magnitud de los resultados cuando los indicadores adquirieron una condición de alta inseguridad hídrica o indeterminación.

En cuanto a la utilidad de los indicadores e índices, si bien estos podrían ser útiles en la toma de decisiones y ser aporte en la política pública a nivel de cuenca para poder alcanzar la Seguridad Hídrica, estos deben ser mejorados para que puedan entregar resultados que permitan implementar medidas priorizadas. En este contexto, se sugiere mejorar la escala temporal y espacial del indicador, establecer escalas de inseguridad para la toma de decisión, considerar nuevas fuentes de agua en la oferta e incorporar nuevas fuentes de información como el uso de monitoreo de extracciones efectivas y la modelación hidrológica.

Finalmente, se concluye que los indicadores permiten representar el estado hídrico de la cuenca de manera global, pero que deben ser mejorados para poder ser un insumo efectivo en la toma de decisiones. Además, se recomienda desarrollar metodológicamente los indicadores e índices en base a las propuestas de mejora y recomendaciones, junto con probar la aplicabilidad de los indicadores en otras cuencas de Chile, en futuras investigaciones.

LITERATURA CITADA

Banco Mundial. 2011. Chile: Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos. Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Región para América Latina y el Caribe. 92p.

Barría, P., M. Rojas, P. Moraga, A. Muñoz, D. Bozkurt and C. Alvarez-Garretón. 2019. Policy brief (CR)2: Derechos de agua en Chile: Una mirada discordante con los procesos naturales. Anthropocene and streamflow: Long-term perspective of streamflow variability and water rights. ElemSciAnth. 7(1). 2p

BCN (Biblioteca del Congreso Nacional). 2022. Ley Marco Cambio Climático N°21.455. Ministerio del Medio Ambiente. Fecha Promulgación 30 de mayo de 2022.

Bretas, F., G. Casanova, T. Crisman, A. Embid, L. Martin and F. Miralles. 2019. Agua para el Futuro: Estrategia de Seguridad Hídrica para América Latina y el Caribe. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (1). 218p.

CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) y OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos). 2016. Evaluaciones del desempeño ambiental: Chile, Santiago. 275p.

CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2021. Marco para el Desarrollo de las Estadísticas Ambientales (MDEA 2013). Publicación de las Naciones Unidas ST/ESA/STAT/SER.M/92. Santiago, Chile. 289p.

Charmaz, K. 2013. La teoría fundamentada en el siglo XXI: Aplicaciones para promover estudios sobre la justicia social. 270-325p. In: N. K. Denzin; Y. S. Lincoln, Estrategias de investigación cualitativa. (3° ed.). Buenos Aires: Gedisa.

COCHILCO (Comisión Chilena del Cobre). 2021. Anuario de estadísticas del cobre y otros minerales 2001-2020. Chile. 180p.

CR2 (Center of Climate and Resilience Research). 2022. CAMELS-CL Explorer.

DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística). 2012. Línea de Base de Indicadores. Estrategia para el fortalecimiento estadístico territorial, Bogotá, Colombia. 44p.

DGA (Dirección General de Aguas). 2015. Diagnóstico plan maestro de recursos hídricos Región Metropolitana de Santiago. S.I.T. N° 371. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación. Santiago, Chile. 428p.

DGA (Dirección General de Aguas). 2017a. Actualización del Balance Hídrico Nacional. SIT N°417, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. División de Estudios y Planificación. Santiago, Chile.

DGA (Dirección General de Aguas). 2017b. Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile. SIT N°419. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. División de Estudios y Planificación. Santiago, Chile.

DGA (Dirección General de Aguas). 2019. Sustentabilidad de asentamientos humanos rurales en Chile sustentabilidad de asentamientos humanos rurales en Chile. Análisis desde los comités de agua potable rural – cuenca del Maipo y cuenca del Yali. SIT N°439. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación. Santiago, Chile. 195p.

DGA (Dirección General de Aguas). 2021. Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la Cuenca del Maipo. SIT N°471. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación. Santiago, Chile. 420p.

DGA (Dirección General de Aguas). 2022. Catastro Público de Aguas (CPA). Santiago, Chile.

DGA (Dirección General de Aguas). 2022. Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea. Chile.

Dirección Meteorológica de Chile (2022). Reporte Anual de la Evolución del Clima en Chile. Chile. 46p.

EH 2030 (Escenarios Hídricos 2030). 2018. Radiografía del Agua: Brecha y riesgo Hídrico en Chile. Fundación Chile, Santiago, Chile. 144p.

EH 2030 (Escenarios Hídricos 2030). 2019. Transición Hídrica: El Futuro del Agua en Chile. Fundación Chile, Santiago, Chile. 230p.

EH 2030 (Escenarios Hídricos 2030). 2021. Gobernanza desde las cuencas: Institucionalidad para la Seguridad Hídrica en Chile. Fundación Chile, Santiago, Chile. 34p.

EH 2030 (Escenarios Hídricos 2030). 2022. Cuencas Regenerativas, de la crisis a la Seguridad Hídrica. Hoja de Ruta Maipo y Maule. Fundación Chile, Santiago, Chile. 83p.

Fuster, R. 2013. El estado de la gestión integrada de los Recursos Hídricos en Chile: Estudio de casos en la cuenca del Río Limarí. 146p. Tesis Doctoral. Universitat autònoma de Barcelona e Institut de Ciència i Tecnologia ambientals, Barcelona, España.

Garreaud, R., C. Álvarez Garretón, J. Barichivich, J. Boisier, D. Christie, M. Galleguillos, C. LeQuesne, J. McPhee and M. 2017. The 2010-2015 Megadrought in central Chile: Impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrology and Earth System Sciences*. (21). 6307–6327p.

Gobierno de Chile. 2020. Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) de Chile. Actualización 2020. Chile. 51p.

Hernández, R., C. Fernández and M. Baptista. 2010. Metodología de la Investigación. (5ª ed). McGRAW-HILL / Interamericana Editores, S.A. México D.F. 656p.

Hernández, R., C. Fernández and M. Baptista. 2014. Metodología de la Investigación. (6ª ed.). McGRAW-HILL / Interamericana Editores, S.A. México D.F. 634p.

INE (Instituto Nacional de Estadísticas). 2017. Censo de Población y Vivienda año 2017. Chile.

INE (Instituto Nacional de Estadísticas). 2023. Censo Agropecuario y Forestal año 2021. Santiago, Chile.

IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático). 2021. Summary for Policymakers. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. 32p. *In*: Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.). Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Electronic Session, 26 July - 6 August 2021.

IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático). 2023. Summary for Policymakers. Climate Change 2023: Synthesis Report. 36p. *In*: H. Lee and J. Romero (eds.). A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland.

Jaramillo, C. 2017. Aplicación de la metodología de contabilidad de Huella Hídrica directa a 15 regiones de Chile. Elaborado para el Banco interamericano de Desarrollo (BID) y Fundación Chile. Escenarios Hídricos 2030. Santiago, Chile. 148p.

Lacambra, S., G. Suárez, T. Hori, C. Rogers, L. Salazar, M. Esquivel, L. Narváez, O. Cardona, R. Durán, A. Torres, H. Sanahuja, C. Osorio, J. Calvo, G. Romero and E. Visconti. 2015. Índice de Gobernabilidad y Políticas Públicas en Gestión del Riesgo de Desastres. División de Medioambiente, Desarrollo Rural y Administración de Riesgos por Desastres del Bnco Iberoamericano de Desarrollo. 116p.

LAT (Laboratorio de Análisis Territorial de la Universidad de Chile). 2017. Estudio de Seguridad Hídrica en Chile en un contexto de Cambio Climático para elaboración del Plan de Adaptación de los recursos hídricos al Cambio Climático. Informe Final. Santiago, Chile. 129p.

Maxwell, J. 2013. Qualitative research design: an interactive approach. (3º ed.). Sage Publications, Inc. California. 232p.

Mesa Nacional del Agua. 2022. Informe Final. Mesa Nacional del Agua.

MMA (Ministerio del Medio Ambiente). 2018. Emisiones de Agua 2005-2018. Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC). Chile.

Ocampo-Melgar A., S. Vicuña, J. Gironás, R. G. Varady and C. Scott. 2016. Scientists, Policymakers, and Stakeholders Plan for Climate Change: A Promising Approach in Chile's Maipo Basin. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*. 58(5). 24-37p.

OMS (Organización Mundial de la Salud). 2020. Domestic water quantity, service level and health. In: Howard G., J. Bartam, A. Williams, A. Overbo, D. Fuente and, JA. Fuente. *Domestic water quantity, service level and health*. 2° ed. Geneva.

Palma, J. and N. Barreiras. 2021. Estimación de la recarga en la cuenca del río Maipo a través del modelo Wetspass. *Escenarios Hídricos 2030*. Santiago, Chile. 60p.

Párraga, J. 2016. Guía metodológica para la presentación y desarrollo de indicadores ambientales para el ordenamiento territorial en municipios colombianos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 202pp.

Peña, H. 2016. Desafíos de la Seguridad Hídrica en América Latina y el Caribe. Serie Recursos Naturales e Infraestructura N°178, CEPAL. 55p.

Plissock, P. 2020. Análisis del estado actual de los ecosistemas terrestres, asociados a dos cuencas en Chile central: Maipo y Maule. *Escenarios Hídricos 2030*. Santiago, Chile. 44p.

Quiroga, R., P. Stockins, M. Holloway, K. Taboulchanas and A. Sanchez. 2009. Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe. CEPAL Naciones Unidas, División de Estadística y Proyecciones Económicas de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. 129p.

Santibáñez F., P. Santibáñez, C. Caroca, F. Huiza, P. González, P. Perry and C. Melillán. 2015. Evapotranspiración de referencia para la determinación de las demandas de riego en Chile. ODEPA-CIREN, Comisión Nacional de Riego, Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile. 110p.

Santibáñez, F. 2018. El cambio climático y los recursos hídricos de Chile. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). *Agricultura chilena: Reflexiones y Desafíos al 2030*. Santiago, Chile: ODEPA. 298p.

Saravia, S., M. Gil, E. Blanco, A. Llanova and L. Naranjo. 2020. Desafíos hídricos en Chile y recomendaciones para el cumplimiento del ODS 6 en América Latina y el Caribe. Serie Recursos Naturales y Desarrollo, N° 198 (LC/TS.2020/134). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Santiago, Chile. 80p.

Savin-Baden, M. and Major, C. 2013. *Qualitative research: The essential guide to theory and practice*. (3° ed). Routledge. London. 608p.

SISS (Superintendencia de Servicios Sanitarios). 2022b. *Informes Sanitarios de la Superintendencia de Servicios Sanitarios, 2022: Consumo de agua potable urbana residencial año 2021*. Santiago, Chile.

SISS (Superintendencia de Servicios Sanitarios). 2022b. *Informes Sanitarios de la Superintendencia de Servicios Sanitarios, 2022: Consumo de agua industrial año 2021*. Santiago, Chile.

SNU (Sistema de las Naciones Unidas). 2021. *Escaseza Hídrica en Chile: Desafíos pendientes. Aportes para un Desarrollo Sostenible*. Santiago, Chile. 8p.

Stehr A., C. Álvarez, P. Álvarez, J. L. Arumí, C. Baeza, R. Barra, C. A. Berroeta, Y. Castillo, G. Chiang, D. Cotoras, S. A. Crespo, V. Delgado, G. Donoso, A. Dussailant, F. Ferrando, R. Figueroa, C. Frêne, R. Fuster, A. Godoy, T. Gómez, E. Holzapfel, C. Huneeus, M. Jara, C. Little, K. Lizama, M. Musalem, M. Olivares, O. Parra, R. D. Ponce, D. Rivera, I. Rodríguez, A. Sepúlveda, M. Somos, F. Ugalde, R. Urrutia, M. Valenzuela, C. Vargas, X. Vargas, S. Vásquez, I. L. Vera, S. Vicuña, G. Vidal and M. Yévenes. 2019. *Recursos hídricos en Chile: Impactos y adaptación al cambio Climático*. Mesa Agua, Comité Científico COP25, Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. Santiago, Chile. 65p

Urquiza, A., and M. Billi. 2020. *Seguridad hídrica y energética en América Latina y el Caribe: definición y aproximación territorial para el análisis de brechas y riesgos de la población*. Documentos de Proyectos (LC/TS.2020/138). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Santiago, Chile. 133p.

Vicuña, S. and E. Bustos. 2016. *Vulnerability and Adaptation to Climate Variability and Change in the Maipo Basin, Central Chile*. Final Technical report. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 101p.

Vicuña, S., X. Vargas, J. Boisier, P. Mendoza, T. Gómez, N, Vásquez, J. Cepeda. 2020. *Impacts of Climate Change on Water Resources in Chile*. Springer International Publishing. 347-363p.

World Resource Institute- WRI. (2014). *World's 18 Most Water-Stressed Rivers*. Disponible en: <https://www.wri.org/blog/2014/03/world-s-18-most-water-stressed-rivers> (Consultado en junio de 2023).

Zurbriggen, C. 2011. *Gobernanza: Una mirada desde América Latina*. Perfiles latinoamericanos. (38): 38p.

ANEXOS

Anexo 1. Descripción de tipos de fuente o métodos

Tipo de fuente o método	Definición	Ventajas	Desventajas
Registros administrativos	Proviene de la explotación con fines estadísticos de registros que se llevan en distintas agencias del Estado con propósitos administrativos, en las distintas escalas de un país (nacional, regional, provincial, municipal, etc.)	Alta periodicidad en la producción de la información, y, por tanto, alta frecuencia de actualización	Cuestionable calidad de los registros en términos de falta de continuidad, insuficiencia de metadatos para garantizar comparabilidad de las series
Sistemas de monitoreo	Incluye diversos sistemas y estaciones de monitoreo de calidad y contaminación de cuerpos receptores	Mayor calidad y precisión en los microdatos	Costos de instalación y mantención de los sistemas de monitoreo
Censos	Aunque es un instrumento de propósito general, los CENSOS a menudo pueden incluir aspectos ambientales referidos al lugar de habitación de la población.	Mejor representatividad del universo informante, mayor precisión de datos resultantes	Periodicidad apenas decenal
Encuestas	Incluye instrumentos de propósitos generales (que por cierto pueden incluir aspectos ambientales) tal como Encuestas de Hogares y Encuestas a Establecimientos; así como encuestas emergentes específicamente diseñadas para levantar información ambiental tales como las encuestas de gestión ambiental para establecimientos	Mayor periodicidad y por tanto mayor frecuencia de actualización de las series	Muestreo y representatividad de la muestra en el universo informante

Tipo de fuente o método	Definición	Ventajas	Desventajas
	(industria, turismo, agropecuaria, etc.), Encuestas de Gestión Ambiental a Municipios y Encuestas de percepción ambiental a la ciudadanía, entre otras.		
Percepción remota	Todos los tipos de percepción remota y herramientas espaciales que producen imágenes y su interpretación: imagen satelital, fotografía aérea, geodatos, geodesia, geomática, etc.	Muy precisos, pero aún es una fuente subutilizada en la región	Costo de interpretación de imagen continúan altos
Estimación	Estimaciones realizadas por diversos métodos como regresiones, modelos, simulación, escenarios, extrapolación e interpolación.	Pueden ser utilizados cuando no es posible monitorear o levantar la información directamente	Los resultados producidos pueden ser cuestionados en función de las metodologías utilizadas

Fuente: Quiroga *et al.*, 2009.

APÉNDICES

Apéndice 1. Propuesta pauta temática para entrevistas semiestructuradas a expertos

Nombre Experto:

Profesión:

Organización, institución, empresa u otro al que pertenece:

Mail de contacto:

Fecha:

PARTE I. Objetivo: Evaluar la coherencia de los resultados de los indicadores e índices de Seguridad Hídrica con el estado hídrico de la cuenca del río Maipo

Temas/Tópicos	Preguntas
Diagnóstico estado hídrico de la cuenca	1) Para conocerte un poco más, ¿hace cuánto pertenece en X, y cómo te relacionas con la gestión hídrica de la cuenca río Maipo?
Coherencia de los resultados	2) A su parecer/según su experiencia, ¿Cuál es el estado hídrico de la cuenca río Maipo? 3) A su parecer, ¿Son coherentes los resultados con el estado hídrico de la cuenca? ¿Por qué? 4) ¿Los resultados le permiten visualizar claramente el estado de la seguridad de la cuenca? ¿Por qué

Parte II. Objetivo: Explorar la utilidad de los indicadores e índices de SH para la toma de decisiones de los gestores hídricos en la cuenca del río Maipo

Temas/Tópicos	Preguntas
Identificación de limitantes, brechas, etc. de los indicadores/índices	5) ¿Los resultados podrían ser útiles para la toma de decisiones? ¿Por qué? (mensurables, comparables, interpretables y monitoreables).
Percepción utilidad según el experto	6) ¿Le parece amigable la forma cálculo de los indicadores? (fórmula, fuentes de información) 7) Desde su conocimiento y experiencia, ¿considera que el indicador podría ser un insumo para la toma de decisiones en cuanto a la gestión hídrica de la cuenca? ¿Por qué? 8) ¿Qué mejoras se podrían agregar a futuro – en relación con estos indicadores – en la medición de la seguridad hídrica?

Apéndice 2. Consentimiento informado entrevistas

Usted ha sido invitado a participar en el proyecto de Actividad Formativa Equivalente (AFE) de Ingeniería en Recursos Naturales y Magister en Gestión Territorial de Recursos Naturales de la Universidad de Chile titulado “Evaluación de los indicadores e índices de Seguridad Hídrica Propuestos para el plan de adaptación al cambio climático en Chile” a cargo de la estudiante Loreto Andrea Vega Contador, Rut: 19.671.675.0

Su participación en esta actividad no le implicara riesgos. Además de ello, cabe destacar que su participación no le reportará beneficios directos ni será remunerada. Las entrevistas se realizarán en un ambiente de respeto y estricta confidencialidad, considerando un tiempo aproximado de una hora. Estas serán grabadas y transcritas a fin de ser analizada según las necesidades de la actividad. Estas serán posteriormente guardadas en formato digital en el computador personal de la estudiante, bajo su responsabilidad. Sólo tendrá acceso a la información la Tesista y eventualmente su profesor/a guía de AFE, garantizando que la información recabada no será ocupada en objetivos ajenos a este estudio y no autorizados por usted.

Toda la información que se recoja o produzca en el marco de este proyecto de tesis será procesada de manera anónima y en lo que se produzca como informe se evitará la alusión a datos que hagan identificable a los entrevistados o la organización/institución a la cual pertenece. Su nombre o dirección no aparecerán nunca asociados a algunas de sus opiniones. Los resultados del estudio se entregarán en una AFE de Magister.

Consentimiento:

Fecha: __/__/__

Yo _____ Rut _____ he sido invitado(a) a participar en la investigación titulada “Evaluación de los indicadores e índices de Seguridad Hídrica Propuestos para el plan de adaptación al cambio climático en Chile”, correspondiente a una Actividad Formativa Equivalente (AFE) de Ingeniería en Recursos Naturales y Magister en Gestión Territorial de Recursos Naturales de la Universidad de Chile

Entiendo que mi participación consistirá en aportar al estudio a través de mi experiencia y conocimientos relacionados a temas hídricos. He leído la información del documento de consentimiento. He tenido tiempo para hacer preguntas y se me ha contestado claramente. No tengo ninguna duda sobre mi participación. Acepto voluntariamente participar y sé que tengo el derecho a terminar mi participación en cualquier momento. Este consentimiento se firma en dos ejemplares, uno para el investigador y otro para el participante.

Firma Participante

Firma Estudiante

Apéndice 3. Evaluación de calidad de la información utilizada para obtener las variables que alimentaron los Indicadores de Seguridad Hídrica para los Escenarios de Oferta Hídrica 1 y 2

ID	Variable	Dato y/o serie utilizado	Fuente de información	Método	D ¹	E ²	I ³	TA ⁴	FA ⁵	CT ⁶	Puntaje ⁷	Puntaje Máximo ⁸
1	Oferta hídrica Escenario 1 (Q_{TE1})	Caudal medio anual superficial periodo histórico 1991-2020	CAMELS CR2	Sistema de monitoreo	2	3	3	3	3	2	16	18
		Caudal de recarga subterránea periodo histórico 1991-2020	Plan Estratégico de Gestión Hídrica Cuenca río Maipo (DGA, 2021)	Modelación	3	3	2	3	1	1	13	18
2	Oferta hídrica Escenario 2 (Q_{TE2})	Caudal medio anual superficial año 2020	Estaciones Fluviométricas DGA	Sistema de Monitoreo	3	3	3	3	3	3	18	18
		Caudal de recarga subterránea año 2020	No disponible	-	1	-	-	-	-	-	-	-
3	Oferta hídrica Escenario 1 con PE 85% ($Q_{TE1\ 85\%}$)	Caudal medio anual superficial periodo 1991-2020 año normal con PE 85%	Estaciones Fluviométricas DGA	Estimación	2	3	3	3	3	2	16	18
		Caudal de recarga subterránea periodo 1991-2020 año normal con PE 85%	No disponible	-	1	-	-	-	-	-	-	-
4	Oferta hídrica Escenario 2 con PE 85% ($Q_{TE2\ 85\%}$)	Caudal medio anual superficial periodo 1991-2020 año seco con PE 85%	Estaciones Fluviométricas DGA	Estimación	2	3	3	3	3	2	16	18
		Caudal de recarga subterránea periodo 2010-2020 año seco con PE 85%	No disponible	-	1	-	-	-	-	-	-	-

ID	Variable	Dato y/o serie utilizado	Fuente de información	Método	D ¹	E ²	I ³	TA ⁴	FA ⁵	CT ⁶	Puntaje ⁷	Puntaje Máximo ⁸
5	Caudal de DAA asignado a usos consuntivos (Q_{UC})	Caudal anual promedio asignados a los usos consuntivos de la cuenca a octubre de 2022	Catastro Público de Aguas (DGA, 2022)	Registros Administrativos	2	3	3	3	3	2	16	18
6	Huella hídrica azul para necesidades humanas básicas (HH_{NHB})	Consumo de agua potable urbana residencial año 2021	Informes Sanitarios de la Superintendencia de Servicios Sanitarios, 2022 (SISS, 2021a)	Registros Administrativos	3	2	3	3	3	3	17	18
		Demanda de Agua potable rural año 2019	Sustentabilidad de asentamientos humanos rurales en Chile sustentabilidad de asentamientos humanos rurales en Chile. Análisis desde los comités de agua potable rural – cuenca del Maipo y cuenca del Yali (DGA, 2019)	Estimación	3	2	3	3	1	2	14	18
7	Huella Hídrica azul sector agrícola ($HH_{Agricultora}$)	Evapotranspiración de referencia año 2015	Evapotranspiración de referencia para la determinación de las demandas de riego en Chile (Santibáñez et. al, 2015)	Estimación	3	3	3	3	1	1	14	18
		Series históricas de precipitación periodo periodo 1979-2018	CAMELS-CR2	Sistema de Monitoreo	2	3	3	3	3	3	17	18
		Coefficientes de cultivo (kc)	Evapotranspiración de referencia para la	Estimación	3	-	3	3	-	-	9	9

ID	Variable	Dato y/o serie utilizado	Fuente de información	Método	D ¹	E ²	I ³	TA ⁴	FA ⁵	CT ⁶	Puntaje ⁷	Puntaje Máximo ⁸
			determinación de las demandas de riego en Chile (Santibáñez <i>et. al</i> , 2015)									
		Superficie Agrícola cuenca estimada año 2021	Censo Agropecuario y Forestal 2021 (INE, 2023)	Estimación	3	3	3	3	1	3	16	18
		Eficiencia de Riego cuenca río Maipo	Estimación de la Demanda Actual, Proyecciones Futuras y Caracterización de la Calidad de los Recursos Hídricos en Chile. Volumen N°1 (DGA, 2017b).	Censo	3	-	3	3	1	-	10	12
8	Huella hídrica verde sector agrícola (<i>HH_{V_Agrícola}</i>)	Series históricas de precipitación periodo 19879-2018	<i>Serie descrita en Variable ID 7</i>									
		Superficie agrícola estimada año 2021	<i>Dato descrito en Variable ID 7</i>									
		Cantidad de cabezas de ganado en la cuenca	Censo Agropecuario y Forestal 2021 (INE, 2023)	Censo	3	2	3	3	1	3	15	18
9	Huella hídrica azul Sector Pecuario (<i>HH_{A_Pecuario}</i>)	Requerimientos de agua para producciones pecuarias	Estimación de la Demanda Actual, Proyecciones Futuras y Caracterización de la Calidad de los Recursos Hídricos en Chile. Volumen N°1 (DGA, 2017b).	Estimación	3	-	3	3	-	-	9	9

ID	Variable	Dato y/o serie utilizado	Fuente de información	Método	D ¹	E ²	I ³	TA ⁴	FA ⁵	CT ⁶	Puntaje ⁷	Puntaje Máximo ⁸
10	Huella hídrica azul Actividades de Subsistencia Familiar (HH_{ASF})	Superficie de Unidades de Autoconsumo	Censo Agropecuario y Forestal 2021 (INE, 2023)	Censo	3	2	3	3	1	3	15	18
		Huella Hídrica azul sector agrícola	<i>Variable descrita en ID 8</i>									
		Huella hídrica azul sector pecuario	<i>Variable descrita en ID 9</i>									
11	Huella hídrica verde sector forestal ($HH_{V_{Forestal}}$)	Superficie forestal cuenca estimada año 2021	Censo Agropecuario y Forestal 2021 (INE, 2023)	Estimación	3	3	3	3	1	3	16	18
		Series históricas de precipitación periodo 19879-2018	<i>Variable descrita en ID 7</i>									
12	Huella hídrica azul sector Minero ($HH_{A_{Mineria}}$)	Consumo de agua en la minería del cobre año 2020	Anuario de estadísticas del cobre y otros minerales 2001-2020 (COCHILCO, 2021)	Registros Administrativos	3	3	3	3	3	2	17	18
13	Huella hídrica azul sector industrial ($HH_{A_{Industrial}}$)	Demanda de agua uso industrial año 2019	Plan estratégico de Gestión Hídrica cuenca río Maipo (DGA, 2021)	Estimación	3	3	3	3	1	2	15	18
		Consumo de agua industrial año 2021	Informes Sanitarios Superintendencia de Servicios Sanitarios, 2022 (SISS, 2021b)	Registros Administrativos	3	2	3	2	3	3	16	18
14	Disponibilidad de Agua para necesidades humanas básicas en escenario 1 ($Disp_{NHB_{E1}}$)	Oferta hídrica Escenario 1	<i>Dato descrito en variable ID 1</i>									
		Caudal de DAA asignado a los usos consuntivos	<i>Dato descrito en variable ID 5</i>									

ID	Variable	Dato y/o serie utilizado	Fuente de información	Método	D ¹	E ²	I ³	TA ⁴	FA ⁵	CT ⁶	Puntaje ⁷	Puntaje Máximo ⁸
18	Disponibilidad de Agua para sector silvoagropecuario en escenario 1 (<i>Disp_{SSAP_E1}</i>)	Oferta hídrica Escenario 1			<i>Dato descrito en variable ID 5</i>							
		Caudal de DAA asignado a los usos consuntivos			<i>Dato descrito en variable ID 14</i>							
		Caudal de DAA asignados a riego	Catastro Público de Aguas (DGA, 2022)	Registros Administrativos	2	3	3	3	3	2	16	18
19	Disponibilidad de Agua para sector silvoagropecuario en escenario 1 con PE 85% (<i>Disp_{SSAP_E185%}</i>)	Oferta hídrica con PE 85% Escenario 1			<i>Dato descrito en variable ID 3</i>							
		Caudal de DAA asignado a los usos consuntivos			<i>Dato descrito en variable ID 5</i>							
		Caudal de DAA asignados a riego			<i>Dato descrito en variable ID 18</i>							
20	Disponibilidad de Agua para sector silvoagropecuario en escenario 2 (<i>Disp_{SSAP_E2}</i>)	Oferta hídrica Escenario 2			<i>Dato descrito en variable ID 2</i>							
		Caudal de DAA asignado a los usos consuntivos			<i>Dato descrito en variable ID 5</i>							
		Caudal de DAA asignados a riego			<i>Dato descrito en variable ID 18</i>							
21	Disponibilidad de Agua para sector silvoagropecuario en	Oferta hídrica con PE 85% Escenario 2			<i>Dato descrito en variable ID 4</i>							

ID	Variable	Dato y/o serie utilizado	Fuente de información	Método	D ¹	E ²	I ³	TA ⁴	FA ⁵	CT ⁶	Puntaje ⁷	Puntaje Máximo ⁸
		Caudal de DAA asignados a la minería										
				<i>Dato descrito en Variable ID 22</i>								
		Oferta hídrica con PE 85% Escenario 2										
				<i>Variable descrita en ID 4</i>								
25	Disponibilidad de Agua para sector minero en escenario 2 con PE 85% (<i>Disp_{Minería E2 85%}</i>)	Caudal de DAA asignado a los usos consuntivos										
				<i>Variable descrita en ID 5</i>								
		Caudal de DAA asignados a la minería										
				<i>Dato descrito en Variable ID 22</i>								
		Oferta hídrica Escenario 1										
				<i>Variable descrita en ID 1</i>								
26	Disponibilidad de Agua para sector industrial en escenario 1 (<i>Disp_{Industria_E1}</i>)	Caudal de DAA asignado a los usos consuntivos										
				<i>Variable descrita en ID 5</i>								
		Caudal de DAA asignados a la industria	Catastro Público de Aguas (DGA, 2022)	Registros Administrativos	2	3	3	3	3	2	16	18
		Oferta hídrica con PE 85% Escenario 1										
				<i>Variable descrita en ID 3</i>								
27	Disponibilidad de Agua para sector industrial en escenario 1 con PE 85% (<i>Disp_{Industria_E1 85%}</i>)	Caudal de DAA asignado a los usos consuntivos										
				<i>Variable descrita en ID 5</i>								
		Caudal de DAA asignados a la industria										
				<i>Dato descrito en Variable ID 26</i>								

ID	Variable	Dato y/o serie utilizado	Fuente de información	Método	D ¹	E ²	I ³	TA ⁴	FA ⁵	CT ⁶	Puntaje ⁷	Puntaje Máximo ⁸
28	Disponibilidad de Agua para sector industrial en escenario 2 (<i>Disp</i> _{Industria_E2})	Oferta hídrica Escenario 2										
		Caudal de DAA asignado a los usos consuntivos										
		Caudal de DAA asignados a la industria										
29	Disponibilidad de Agua para sector industrial en escenario 2 con PE 85% (<i>Disp</i> _{Industria E2 85%})	Oferta hídrica con PE 85% Escenario 2										
		Caudal de DAA asignado a los usos consuntivos										
		Caudal de DAA asignados a la industria										
30	Disponibilidad de Agua para sector hidroeléctrico (<i>Disp</i> _{SH})	Caudal de DAA asignados a proyecto eléctrico con mayor DAA	Catastro Público de Aguas (DGA, 2022)	Registros Administrativos	3	3	3	3	3	2	17	18
31	Disponibilidad de Agua para sector turismo (<i>Disp</i> _T)	Caudal medio anual demandado por el sector Turismo año 2015	Estimación de la Demanda Actual, Proyecciones Futuras y Caracterización de la Calidad de los Recursos Hídricos en Chile (DGA, 2017b)	Estimación	3	3	3	3	1	2	15	18
32	Caudal Ecológico de la cuenca (<i>Q_E</i>)	Caudal ecológico de la cuenca según DS 71/2014 MMA	Plan estratégico de Gestión Hídrica cuenca río Maipo, (DGA, 2021)	Estimación	3	3	2	3	1	3	15	18

ID	Variable	Dato y/o serie utilizado	Fuente de información	Método	D ¹	E ²	I ³	TA ⁴	FA ⁵	CT ⁶	Puntaje ⁷	Puntaje Máximo ⁸
33	Huella Hídrica Gris sector Silvoagropecuario (HH_{G_SSAP})	Huella Hídrica sector silvoagropecuario calculada	Informe: Aplicación de la metodología de contabilidad de Huella Hídrica directa a 15 regiones de Chile. (Jaramillo, 2017). Elaborado para el Banco interamericano de Desarrollo (BID) y Fundación Chile.	Estimación	3	3	2	3	1	2	15	18
		Carga del contaminante minero (ton/año)	Emisiones de Agua del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) (MMA, 2018)	Registros Administrativos	3	3	3	3	3	2	17	18
34	Huella Hídrica Gris sector minero ($HH_{G_Mineria}$)	Concentración máxima del contaminante minero en aguas superficiales	Decreto Supremo N°90/2000, MINSEGPRES	Registros Administrativos	3	-	3	3	-	-	9	9
		Concentración máxima del contaminante minero en aguas subterráneas	Decreto Supremo N°46/2002, MINSEGPRES	Registros Administrativos	3	-	3	3	-	-	9	9
35	Huella Hídrica Gris sector industrial ($HH_{G_Industrial}$)	Carga del contaminante industrial (ton/año)	Emisiones de Agua del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) (MMA, 2018)	Registros Administrativos	3	3	3	3	3	2	17	18
		Concentración máxima del contaminante	Decreto Supremo N°90/2000, MINSEGPRES	Registros Administrativos	3	-	3	3	-	-	9	9

ID	Variable	Dato y/o serie utilizado	Fuente de información	Método	D ¹	E ²	I ³	TA ⁴	FA ⁵	CT ⁶	Puntaje ⁷	Puntaje Máximo ⁸
		industrial en aguas superficiales										
		Concentración máxima del contaminante industrial en aguas subterráneas	Decreto Supremo N°46/2002, MINSEGPRES	Registros Administrativos	3	-	3	3	-	-	9	9
36	Disponibilidad diaria de agua en el territorio Escenario 1 (Di_{E1})	Oferta Hídrica Escenario 1			<i>Variable descrita en ID 1</i>							
37	Disponibilidad diaria de agua en el territorio Escenario 2 (Di_{E1})	Oferta Hídrica Escenario 2			<i>Variable descrita en ID 5</i>							
38	Habitantes en la cuenca del río Maipo (HT)	Cantidad de Habitantes en la cuenca	Censo de Población y Vivienda (INE, 2017)	Censo	3	3	3	3	2	3	17	18
39	Requerimientos mínimos básicos (RMB)	Cantidad de agua para satisfacer los requerimientos mínimos básicos	Domestic water quantity, service level and health (OMS, 2020)	Estimación	3	-	1	3	-	-	7	9

(1) Disponibilidad de los datos; (2) Escala; (3) Institución; (4) Tipo de Acceso; (5) Frecuencia de Actualización; (6) Cobertura temporal; (7) Puntaje de calidad arbitrario de la fuente de información; (8) Puntaje máximo de calidad que puede obtener la fuente de información

Apéndice 4. Descripción de los criterios de calidad evaluados en las fuentes de información utilizadas para obtener las variables que alimentaron los Indicadores de Seguridad Hídrica para Escenario 1 y 2

ID	Variable	Dato y/o Serie	Fuente de Información	Método	Disponibilidad	Escala	Institución	Tipo de Acceso	Frecuencia de Actualización	Cobertura Temporal
1	Oferta hídrica Escenario 1 (Q_{TE1})	Caudal medio anual superficial periodo histórico 1991-2020	CAMELS CR2	Sistema de monitoreo	Dato primario disponible, pero requiere de procesamiento. Las series históricas de caudales se encuentran incompletas por lo que se debe recurrir a métodos hidrológicos para completar de datos	Cuenca	La elaboración de la información presentada en la base de datos se encuentra a cargo del CR2 y DGA	El acceso es público, en línea y sin costo asociado	Constante actualización (mensual)	Cobertura mensual incompleta para el periodo en análisis
		Caudal de recarga subterránea periodo histórico 1991-2020	Plan Estratégico de Gestión Hídrica Cuenca río Maipo	Modelación	El dato se encuentra plenamente disponible en la fuente consultada como promedio anual histórico	Cuenca	El autor oficial del documento es la Dirección General de Aguas, no obstante, la elaboración de la información estuvo a cargo de ICASS SpA.	El acceso es público, en línea y sin costo asociado	Según lo mandado por el código de aguas (art 293 bis) deberá ser actualizado cada 10 años o menos	Cobertura anual incompleta, sólo se presenta el promedio histórico para el periodo 1991-2020 y no los años disgregados
2		Caudal medio anual	Estaciones Fluviométricas DGA	Sistema de Monitoreo	Plenamente disponible	Cuenca	La información es generada	El acceso es público, en línea y	Constante actualización (mensual)	Cobertura mensual

ID	Variable	Dato y/o Serie	Fuente de Información	Método	Disponibilidad	Escala	Institución	Tipo de Acceso	Frecuencia de Actualización	Cobertura Temporal
		superficial año 2020			en la fuente consultada		por la Dirección General de Aguas	sin costo asociado		completa para el año 2020
	Oferta hídrica Escenario 2 (Q_{TE2})	Caudal de recarga subterránea año 2020	No disponible		1	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
3	Oferta hídrica Escenario 1 con PE 85% (Q_{TE1})	Caudal medio anual superficial periodo 1991-2020 año normal con PE 85%	CAMELS CR2	Estimación	Dato primario disponible, pero requiere de procesamiento. Las series históricas de caudales se encuentran incompletas por lo que se debe recurrir a métodos hidrológicos para completar de datos	Cuenca	La elaboración de la información presentada en la base de datos se encuentra a cargo del CR2 y DGA	El acceso es público, en línea y sin costo asociado	Constante actualización (mensual)	Cobertura mensual incompleta para el periodo en análisis
		Caudal de recarga subterránea periodo 1991-2020 año normal con PE 85%	Plan Estratégico de Gestión Hídrica Cuenca río Maipo (DGA, 2021)	-	No disponible. No hay información disponible de acceso gratuito o público que pueda	-	-	-	-	-

ID	Variable	Dato y/o Serie	Fuente de Información	Método	Disponibilidad	Escala	Institución	Tipo de Acceso	Frecuencia de Actualización	Cobertura Temporal
					satisfacer la variable					
4	Oferta hídrica Escenario 2 con PE 85% (Q_{TE2})	Caudal medio anual superficial periodo 1980-2020 año seco con PE 85%	Estaciones Fluviométricas DGA	Estimación	Plenamente disponible en la fuente consultada	Cuenca	La elaboración de la información presentada en la base de datos se encuentra a cargo del CR2 y DGA	El acceso es público, en línea y sin costo asociado	Constante actualización (mensual)	Cobertura mensual incompleta para el periodo en análisis. Los datos mensuales no consideran todos los días del mes en algunos casos. Pues no había información.
		Caudal de recarga subterránea periodo 2010-2020 año seco con PE 85%	Plan Estratégico de Gestión Hídrica Cuenca río Maipo (DGA, 2021)	-	No disponible	-	.	-	-	-
5	Caudal de DAA asignado a usos consuntivos (Q_{UC})	Caudal anual promedio asignados a los usos consuntivos de la cuenca a octubre de 2022	Catastro público de aguas (DGA, 2022)	Registros Administrativos	Dato primario disponible, pero requiere de procesamiento. Los DAA se encuentran en diferentes unidades de medida los cuales dificultan la cantidad real de caudal	Regional, Cuenca	La actualización y registro de los DAA en el CPA se encuentra a cargo de la DGA	El acceso es público, en línea y sin costo asociado	Los datos son actualizados y modificados constantemente, en función de las regularizaciones de los DAA y nuevas asignaciones	Se posee registro de los caudales mensuales y anual promedio de los DAA superficiales y subterráneos a octubre de 2022, pero no la totalidad, pues existen muchos DAA que faltan por regularizar

ID	Variable	Dato y/o Serie	Fuente de Información	Método	Disponibilidad	Escala	Institución	Tipo de Acceso	Frecuencia de Actualización	Cobertura Temporal
					asignado a los diferentes usos (partes, acciones, %).					
6	Huella hídrica azul para necesidades humanas básicas (HH_{NHB})	Consumo de agua potable urbana residencial año 2021	Informes Sanitarios de la Superintendencia de Servicios Sanitarios, 2022 (SISS, 2021a)	Registros Administrativos	Plenamente disponible en la fuente consultada	Región	El registro se encuentra a cargo de la Superintendencia de Servicios Sanitarios	El acceso es público, en línea y sin costo asociado	Anual	Consumo de agua potable urbana residencial mensual para el año 2021
		Demanda de Agua potable rural año 2019	Sustentabilidad de asentamientos humanos rurales en Chile sustentabilidad de asentamientos humanos rurales en Chile. Análisis desde los comités de agua potable rural – cuenca del Maipo y cuenca del Yali (DGA, 2019)	Estimación	Plenamente disponible en la fuente consultada	Cuenca	Información elaborada por la Dirección General de Aguas	El acceso es público, en línea y sin costo asociado	Se ha realizado una vez. No se posee información respecto a la actualización	Demanda hídrica de los sistemas APR de la cuenca para el año 2019
7	Huella Hídrica azul sector agrícola (HH_{A_Agrícola})	Evapotranspiración de referencia año 2015	Evapotranspiración de referencia para la determinación de las demandas de riego en	Estimación	Datos plenamente disponibles en la fuente consultada	Localidad	Información elaborada por la Comisión Nacional de Riego (CNR), Universidad de Chile y Centro de	El acceso es público, en línea y sin costo asociado	El estudio sólo se ha realizado 1 vez.	Evapotranspiración de referencia mensual y anual por localidad, actualizado al año 2015

ID	Variable	Dato y/o Serie	Fuente de Información	Método	Disponibilidad	Escala	Institución	Tipo de Acceso	Frecuencia de Actualización	Cobertura Temporal
			Chile (Santibáñez et al, 2015)				Agricultura y Medio Ambiente (AGRIMED)			
		Series históricas de precipitación periodo 1979-2018	CAMELS-CR2	Sistema de Monitoreo	Dato primario disponible, pero requiere de procesamiento para estimar la variable.	Cuenca	Información elaborada por el CR-2	El acceso es público, en línea y sin costo asociado	Constante actualización	Valores de Precipitación mensual para el periodo 1979-2019
		Coefficientes de cultivo (kc)	Boletín FAO N°56 para la determinación de las necesidades de agua de riego.	Estimación	Datos plenamente disponibles en la fuente consultada	No aplica. Valor Adimensional dependiente del cultivo de cada localidad	FAO, 2006	El acceso es público, en línea y sin costo asociado	No aplica.	No aplica.
		Superficie Agrícola cuenca estimada año 2021	Censo Agropecuario y Forestal 2021 (INE, 2023)	Estimación	Datos plenamente disponibles en la fuente consultada	Comuna Comunal, Regional, Nacional	INE	El acceso es público, en línea y sin costo asociado	Cada 10 años.	Superficie agrícola año 2021. Anual
8	Huella hídrica verde sector agrícola (<i>HH_v_Agrícola</i>)	Series históricas de precipitación periodo 1979-2018					<i>Serie descrito en Variable ID 7</i>			
		Superficie agrícola cuenca estimada año 2021					<i>Dato descrito en Variable ID 7</i>			

ID	Variable	Dato y/o Serie	Fuente de Información	Método	Disponibilidad	Escala	Institución	Tipo de Acceso	Frecuencia de Actualización	Cobertura Temporal	
9	Huella hídrica azul Sector Pecuario (<i>HH_{A_Pecuario}</i>)	Cantidad de cabezas de ganado en la cuenca	Censo Agropecuario y Forestal 2021 (INE, 2023)	Censo	Datos plenamente disponibles en la fuente consultada	Comunal, Regional, Nacional	INE	El acceso es público, en línea y sin costo asociado	Cada 10 años	Se posee la cantidad de cabezas de ganado al año 2021	
		Requerimientos de agua para producciones pecuarias	Estimación de la Demanda Actual, Proyecciones Futuras y Caracterización de la Calidad de los Recursos Hídricos en Chile. Volumen N°1 (DGA, 2017b)	Estimación	Datos plenamente disponibles en la fuente consultada	No aplica	Dirección General de Aguas, 2016	El acceso es público, en línea y sin costo asociado	No aplica	No aplica	
10	Huella hídrica azul Actividades de Subsistencia Familiar (<i>HH_{ASF}</i>)	Superficie de unidades de autoconsumo	Censo Agropecuario y Forestal 2021 (INE, 2023)	Censo	Datos plenamente disponibles en la fuente consultada	Cuenca	IN3, 2023	El acceso es público, en línea y sin costo asociado	Cada 10 años	Se posee la superficie de unidades de autoconsumo año 2021.	
		Huella Hídrica azul sector agrícola	<i>Variable descrita en ID 8</i>								
		Huella hídrica azul sector pecuario	<i>Variable descrita en ID 9</i>								
11	Huella hídrica verde sector forestal (<i>HH_{V_Forestal}</i>)	Superficie forestal cuenca estimada año 2021	Censo Agropecuario y Forestal 2021 (INE, 2023)	Censo	Datos plenamente disponibles en la fuente consultada	Cuenca	INE, 2023	El acceso es público, en línea y sin costo asociado	Cada 10 años	Superficie forestal año 2021.	
		Series históricas de precipitación	<i>Dato descrito en Variable ID 7</i>								

ID	Variable	Dato y/o Serie	Fuente de Información	Método	Disponibilidad	Escala	Institución	Tipo de Acceso	Frecuencia de Actualización	Cobertura Temporal
		periodo 1979-2018								
12	Huella hídrica azul sector Minero ($HH_{A_{Minería}}$)	Consumo de agua en la minería del cobre año 2020	Anuario de estadísticas del cobre y otros minerales 2001-2020 (COCHILCO, 2021)	Registros Administrativos	Datos plenamente disponibles en la fuente consultada	Regional	Corporación Chilena del Cobre (COCHILCO)	El acceso es público, en línea y sin costo asociado	Anual	Se posee información de los consumos anuales para el periodo 2001-2020
13	Huella hídrica azul sector industrial ($HH_{A_{Industrial}}$)	Demanda de agua uso industrial año 2019	Plan Estratégico de Gestión Hídrica Cuenca Río Maipo, 2021	Estimación	Datos plenamente disponibles para la fuente consultada	Cuenca	El autor oficial del documento es la Dirección General de Aguas, no obstante, la elaboración de la información está a cargo de ICASS SpA.	El acceso es público, en línea y sin costo asociado	Según lo mandado por el código de aguas (art 293 bis) deberá ser actualizado cada 10 años o menos	Sólo se posee información anual para el año 2019
		Consumo de agua industrial año 2021	Informes Sanitarios, Superintendencia de Servicios Sanitarios, 2022 (SISS, 2021)	Registros Administrativos	Acceso restringido	Regional	Información a cargo de la Superintendencia de Servicios Sanitarios	El acceso es público mediante solicitud (vía transparencia)	Anual	Se posee información anual completa para el periodo en análisis.
14	Disponibilidad de Agua para necesidades humanas básicas en escenario 1 ($Disp_{NHB_{E1}}$)	Oferta hídrica Escenario 1 Caudal de DAA asignado a los usos consuntivos Caudal de DAA asignados al uso humano	Catastro Público de	Registros Administrativos	Dato primario disponible,	Regional, Cuenca	La actualización y registro de	El acceso es público, en línea y	Los datos son actualizados	Se posee registro de los caudales
							<i>Variable descrita en ID 1</i>			
							<i>Variable descrita en ID 5</i>			

ID	Variable	Dato y/o Serie	Fuente de Información	Método	Disponibilidad	Escala	Institución	Tipo de Acceso	Frecuencia de Actualización	Cobertura Temporal
			Aguas (DGA, 2022)		pero requiere de procesamiento. Los DAA se encuentran en diferentes unidades de medida los cuales dificultan la cantidad real de caudal asignado a los diferentes usos (partes, acciones, %).		los DAA en el CPA se encuentra a cargo de la DGA	sin costo asociado	y modificados constantemente, en función de las regularizaciones de los DAA y nuevas asignaciones	mensuales y anual promedio de los DAA superficiales y subterráneos a octubre de 2022, pero no la totalidad, pues existen muchos DAA que faltan por regularizar
	Disponibilidad de Agua para necesidades humanas básicas en escenario 1 con PE 85% (<i>Disp85%_{NHB_E1}</i>)	Oferta hídrica con PE 85% Escenario 1 Caudal de DAA asignado a los usos consuntivos								<i>Variable descrita en ID 3</i>
15		Caudal de DAA asignados al uso humano								<i>Variable descrita en ID 5</i>
										<i>Dato descrito en Variable ID 14</i>
	Disponibilidad de Agua para necesidades humanas básicas en escenario 2 (<i>Disp_{NHB_E2}</i>)	Oferta hídrica Escenario 2 Caudal de DAA asignado a los usos consuntivos								<i>Variable descrita en ID 2</i>
16		Caudal de DAA asignados al uso humano								<i>Variable descrita en ID 5</i>
										<i>Dato descrito en Variable ID 14</i>

ID	Variable	Dato y/o Serie	Fuente de Información	Método	Disponibilidad	Escala	Institución	Tipo de Acceso	Frecuencia de Actualización	Cobertura Temporal
17	Disponibilidad de Agua para necesidades humanas básicas en escenario 2 con PE 85% (<i>Disp85%_{NHB_E2}</i>)	Oferta hídrica con PE 85% Escenario 2								
		Caudal de DAA asignado a los usos consuntivos								
		Caudal de DAA asignados al uso humano								
		Oferta hídrica Escenario 1								
		Caudal de DAA asignado a los usos consuntivos								
18	Disponibilidad de Agua para sector silvoagropecuario en escenario 1 (<i>Disp_{SSAP_E1}</i>)	Caudal de DAA asignados a riego	Catastro Público de Aguas (DGA, 2022)	Registros Administrativos	Dato primario disponible, pero requiere de procesamiento. Los DAA se encuentran en diferentes unidades de medida los cuales dificultan la cantidad real de caudal asignado a los diferentes usos (partes, acciones, %).	Regional, Cuenca	La actualización y registro de los DAA en el CPA se encuentra a cargo de la DGA	El acceso es público, en línea y sin costo asociado	Los datos son actualizados y modificados constantemente, en función de las regularizaciones de los DAA y nuevas asignaciones	Se posee registro de los caudales mensuales y anual promedio de los DAA superficiales y subterráneos a octubre de 2022, pero no la totalidad, pues existen muchos DAA que faltan por regularizar

ID	Variable	Dato y/o Serie	Fuente de Información	Método	Disponibilidad	Escala	Institución	Tipo de Acceso	Frecuencia de Actualización	Cobertura Temporal
19	Disponibilidad de Agua para sector silvoagropecuario en escenario 1 con PE 85% ($Disp_{85\%SSAP_E1}$)	Oferta hídrica con PE 85% Escenario 1								<i>Variable descrita en ID 3</i>
		Caudal de DAA asignado a los usos consuntivos								<i>Variable descrita en ID 5</i>
		Caudal de DAA asignados a riego								<i>Dato descrito en Variable ID 18</i>
20	Disponibilidad de Agua para sector silvoagropecuario en escenario 2 ($Disp_{SSAP_E2}$)	Oferta hídrica Escenario 2								<i>Variable descrita en ID 2</i>
		Caudal de DAA asignado a los usos consuntivos								<i>Variable descrita en ID 5</i>
		Caudal de DAA asignados a riego								<i>Dato descrito en Variable ID 18</i>
21	Disponibilidad de Agua para sector silvoagropecuario en escenario 2 con PE 85% ($Disp_{85\%SSAP_E2}$)	Oferta hídrica con PE 85% Escenario 2								<i>Variable descrita en ID 4</i>
		Caudal de DAA asignado a los usos consuntivos								<i>Variable descrita en ID 5</i>
		Caudal de DAA asignados a riego								<i>Dato descrito en Variable ID 18</i>
22	Disponibilidad de Agua para sector minero en escenario 1 ($Disp_{Mineria_E1}$)	Oferta hídrica Escenario 1								<i>Variable descrita en ID 1</i>
		Caudal de DAA asignado a los usos consuntivos								<i>Variable descrita en ID 5</i>
		Caudal de DAA asignados a la minería	Catastro Público de	Registros Administrativos	Dato primario disponible,	Regional, Cuenca	La actualización y registro de	El acceso es público, en línea y	Los datos son actualizados	Se posee registro de los caudales

ID	Variable	Dato y/o Serie	Fuente de Información	Método	Disponibilidad	Escala	Institución	Tipo de Acceso	Frecuencia de Actualización	Cobertura Temporal
			Aguas (DGA, 2022)		pero requiere de procesamiento. Los DAA se encuentran en diferentes unidades de medida los cuales dificultan la cantidad real de caudal asignado a los diferentes usos (partes, acciones, %).		los DAA en el CPA se encuentra a cargo de la DGA	sin costo asociado	y modificados constantemente, en función de las regularizaciones de los DAA y nuevas asignaciones	mensuales y anual promedio de los DAA superficiales y subterráneos a octubre de 2022, pero no la totalidad, pues existen muchos DAA que faltan por regularizar
	Disponibilidad de Agua para sector minero en	Oferta hídrica con PE 85% Escenario 1								<i>Variable descrita en ID 3</i>
2 3	escenario 1 con PE 85% (<i>Disp^{85%}_{Mineria_E1}</i>)	Caudal de DAA asignado a los usos consuntivos								<i>Variable descrita en ID 5</i>
		Caudal de DAA asignados a la minería								<i>Dato descrito en Variable ID 22</i>
	Disponibilidad de Agua para sector minero en	Oferta hídrica Escenario 2								<i>Variable descrita en ID 2</i>
2 4	escenario 2 (<i>Disp_{Mineria_E2}</i>)	Caudal de DAA asignado a los usos consuntivos								<i>Variable descrita en ID 5</i>
		Caudal de DAA asignados a la minería								<i>Dato descrito en Variable ID 22</i>

ID	Variable	Dato y/o Serie	Fuente de Información	Método	Disponibilidad	Escala	Institución	Tipo de Acceso	Frecuencia de Actualización	Cobertura Temporal
25	Disponibilidad de Agua para sector minero en escenario 2 con PE 85% (<i>Disp_{Minería_E2}</i>)	Oferta hídrica con PE 85% Escenario 2								
		Caudal de DAA asignado a los usos consuntivos								
		Caudal de DAA asignados a la minería								
26	Disponibilidad de Agua para sector industrial en escenario 1 (<i>Disp_{Industria_E1}</i>)	Oferta hídrica Escenario 1								
		Caudal de DAA asignado a los usos consuntivos								
26	Disponibilidad de Agua para sector industrial en escenario 1 (<i>Disp_{Industria_E1}</i>)	Caudal de DAA asignados a la industria	Catastro Público de Aguas (DGA, 2022)	Registros Administrativos	Dato primario disponible, pero requiere de procesamiento. Los DAA se encuentran en diferentes unidades de medida los cuales dificultan la cantidad real de caudal asignado a los diferentes usos (partes, acciones, %).	Regional, Cuenca	La actualización y registro de los DAA en el CPA se encuentra a cargo de la DGA	El acceso es público, en línea y sin costo asociado	Los datos son actualizados y modificados constantemente, en función de las regularizaciones de los DAA y nuevas asignaciones	Se posee registro de los caudales mensuales y anual promedio de los DAA superficiales y subterráneos a octubre de 2022, pero no la totalidad, pues existen muchos DAA que faltan por regularizar

ID	Variable	Dato y/o Serie	Fuente de Información	Método	Disponibilidad	Escala	Institución	Tipo de Acceso	Frecuencia de Actualización	Cobertura Temporal
27	Disponibilidad de Agua para sector industrial en escenario 1 con PE 85% (<i>DispIndustria_E1</i>)	Oferta hídrica con PE 85% Escenario 1								<i>Variable descrita en ID 3</i>
		Caudal de DAA asignado a los usos consuntivos								<i>Variable descrita en ID 5</i>
		Caudal de DAA asignados a la industria								<i>Dato descrito en Variable ID 26</i>
28	Disponibilidad de Agua para sector industrial en escenario 2 (<i>DispIndustria_E2</i>)	Oferta hídrica Escenario 2								<i>Variable descrita en ID 2</i>
		Caudal de DAA asignado a los usos consuntivos								<i>Variable descrita en ID 5</i>
		Caudal de DAA asignados a la industria								<i>Dato descrito en Variable ID 26</i>
29	Disponibilidad de Agua para sector industrial en escenario 2 con PE 85% (<i>DispIndustria_E2</i>)	Oferta hídrica con PE 85% Escenario 2								<i>Variable descrita en ID 4</i>
		Caudal de DAA asignado a los usos consuntivos								<i>Variable descrita en ID 5</i>
		Caudal de DAA asignados a la industria								<i>Dato descrito en Variable ID 26</i>
30	Disponibilidad de Agua para sector hidroeléctrico (<i>DispHidroeléctrico</i>)	Caudal de DAA asignados a proyecto eléctrico con mayor DAA	Catastro Público de Aguas (DGA, 2022)	Registros Administrativos	Datos plenamente disponibles en la fuente consultada	Regional, Cuenca	La actualización y registro de los DAA en el CPA se encuentra a cargo de la DGA	El acceso es público, en línea y sin costo asociado	Los datos son actualizados y modificados constantemente, en función de las	Se posee registro de los caudales mensuales y anual promedio de los DAA superficiales y subterráneos de usos no

ID	Variable	Dato y/o Serie	Fuente de Información	Método	Disponibilidad	Escala	Institución	Tipo de Acceso	Frecuencia de Actualización	Cobertura Temporal
									regularizaciones de los DAA y nuevas asignaciones	consuntivos a octubre de 2022, pero no la totalidad, pues existen muchos DAA que faltan por regularizar
31	Disponibilidad de Agua para sector turismo (<i>Dispturismo</i>)	Caudal medio anual demandado por el sector Turismo año 2015	Estimación de la Demanda Actual, Proyecciones Futuras y Caracterización de la Calidad de los Recursos Hídricos en Chile (DGA, 2017b)	Estimación	Datos plenamente disponibles en la fuente consultada	Regional, cuenca	El autor oficial del documento es la Dirección General de Aguas, no obstante, la elaboración de la información está a cargo de hídrica consultores spa y aquaterra ingenieros ltda (UTP)	El acceso es público, en línea y sin costo asociado	Más de 10 años	Caudales medios mensuales para el año 2016.
32	Caudal Ecológico de la cuenca (<i>Q_E</i>)	Caudal ecológico de la cuenca según DS 71/2014	Plan estratégico de Gestión Hídrica cuenca río Maipo, 2021	Estimación	Datos plenamente disponibles en la fuente consultada	Cuenca	El autor oficial del documento es la Dirección General de Aguas, no obstante, la elaboración de la información está a cargo de ICASS SpA.	El acceso es público, en línea y sin costo asociado	Según lo mandado por el código de aguas (art 293 bis) deberá ser actualizado cada 10 años o menos	Se posee el caudal medio mensual al año 2020 según los DAA registrados en el CPA. Datos mensuales completos. No obstante, no se define el periodo utilizado.

ID	Variable	Dato y/o Serie	Fuente de Información	Método	Disponibilidad	Escala	Institución	Tipo de Acceso	Frecuencia de Actualización	Cobertura Temporal
33	Huella Hídrica Gris sector agrícola (<i>HH_{G_S SAP}</i>)	Huella Hídrica Gris sector Silvoagropecuario calculada	Informe: Aplicación de la metodología de contabilidad de Huella Hídrica directa a 15 regiones de Chile. (Jaramillo, 2017.). Elaborado para el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y Fundación Chile.	Estimación	Datos plenamente disponibles en la fuente consultada	Comunal, Regional	Informe fue elaborado por experto para Fundación Chile y BID en el marco de Escenarios Hídricos 2030	El acceso es público, en línea y sin costo asociado	El informe se ha realizado sólo 1 vez	Se poseen las huellas hídricas de todos los sectores productivos para todas las comunas de Chile para el año 2017.
34	Huella Hídrica Gris sector minero (<i>HH_{G_Minería}</i>)	Carga del contaminante minero (ton/año)	Emisiones de Agua del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), Año 2018 (MMA, 2018)	Registros Administrativos	Datos plenamente disponibles en la fuente consultada	Regional, Comunal	Ministerio de Medio Ambiente	Público, en línea y sin costo asociado	Anual	Toneladas de emisiones de contaminantes (sulfatos) a nivel comunal. Datos anuales para el periodo 2005-2020. Se utilizan datos del año 2018 debido a que corresponden a los más completos.
		Concentración máxima del contaminante minero en aguas superficiales	Decreto Supremo N°90/2000, MINSEGPRES	Registros Administrativos	Datos plenamente disponibles en la fuente consultada	-	Norma elaborada por el Ministerio de la Secretaría General de la República	Público en línea y sin costo asociado	-	-

ID	Variable	Dato y/o Serie	Fuente de Información	Método	Disponibilidad	Escala	Institución	Tipo de Acceso	Frecuencia de Actualización	Cobertura Temporal
		Concentración máxima del contaminante minero en aguas subterráneas	Decreto Supremo N°46/2002, MINSEGPRES	Registros Administrativos	Datos plenamente disponibles en la fuente consultada	-	Norma elaborada por el Ministerio de la Secretaría General de la República	Público en línea y sin costo asociado	-	-
35	Huella Hídrica Gris sector industrial (<i>HH_GIndustrial</i>)	Carga del contaminante industrial (ton/año)	Emisiones de Agua del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), Año 2018 (MMA, 2018)	Registros Administrativos	Datos plenamente disponibles en la fuente consultada	Regional, Comunal	Ministerio de Medio Ambiente	Público, en línea y sin costo asociado	Anual	Toneladas de emisiones de contaminantes (sulfatos) a nivel comunal. Datos anuales para el periodo 2005-2020. Se utilizan datos del año 2018 debido a que corresponden a los más completos.
		Concentración máxima del contaminante industrial en aguas superficiales			<i>Dato descrito en Variable ID 34</i>					
		Concentración máxima del contaminante industrial en aguas subterráneas			<i>Dato descrito en Variable ID 34</i>					
36	Disponibilidad diaria de agua en el territorio Escenario 1 (<i>DI_{E1}</i>)	Oferta Hídrica Escenario 1			<i>Variable descrita en ID 1</i>					

ID	Variable	Dato y/o Serie	Fuente de Información	Método	Disponibilidad	Escala	Institución	Tipo de Acceso	Frecuencia de Actualización	Cobertura Temporal
37	Disponibilidad diaria de agua en el territorio Escenario 2 (DiE2)	Oferta Hídrica Escenario 2								
<i>Variable descrita en ID 5</i>										
38	Habitantes en la cuenca del río Maipo (HT)	Cantidad de Habitantes en la cuenca	Censo de Población y Vivienda (INE, 2017)	Censo	Datos plenamente disponibles en la fuente consultada	Comunal, Regional, Nacional	Información elaborada por el Instituto Nacional de Estadísticas	El acceso es público, en línea y sin costo asociado	El censo de población y vivienda se actualiza cada 10 años	Se posee la cantidad de población del año 2017 a nivel nacional. También se poseen datos a los años 2002, 1992.
39	Requerimientos mínimos básicos (RMB)	Cantidad de agua para satisfacer los requerimientos mínimos básicos	Domestic water quantity, service level and health (OMS, 2020)	Estimación	Datos plenamente disponibles en la fuente consultada	-	Información elaborada por la Organización Mundial de la Salud	El acceso es público, en línea y sin costo asociado	-	-